

1 1. 光ファイバ接続型ミリ波レーダによる異物探知技術

監視通信領域 ※ニッ森 俊一，森岡 和行，河村 暁子，岡田 国雄，米本 成人

1 はじめに

航空機等に損害を与え、危険な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]，[2]。これは、滑走路の利用効率改善のため、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時間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[3]。

本稿では、光ファイバ接続型ミリ波レーダについて、測定評価結果に基づき空港面応用に適したシステム構成法を明らかにした上で、仙台空港において実施した探知試験の概要を述べる。まず、光ファイバ接続型分散レーダシステムの概要を述べる。さらに、空港面におけるマイクロ波およびミリ波における RoF 伝送特性評価試験について議論を行い、RoF 技術を用いたミリ波レーダ信号伝送に適した光変調方式を示す。次に、試作した試験用光ファイバ接続型 96 GHz 帯ミリ波レーダシステムの構成法について諸元および概要を述べる。最後に、仙台空港において実施した評価試験について、空港面異物探知に適した信号処理方式の議論を行う。

2 光ファイバ接続型分散レーダシステム

空港面における異物探知性能として、直径 1 インチ×高さ 1 インチの円筒状の金属物体を 60 m の距離で探知することが最低性能として求められている[2]。このような非常に小さい異物を探知するためには、自動車に用いられる衝突防止用ミリ波レーダ等に比べ、高感度が求められると共に詳細な情報を取得するために高分解能が必要である。

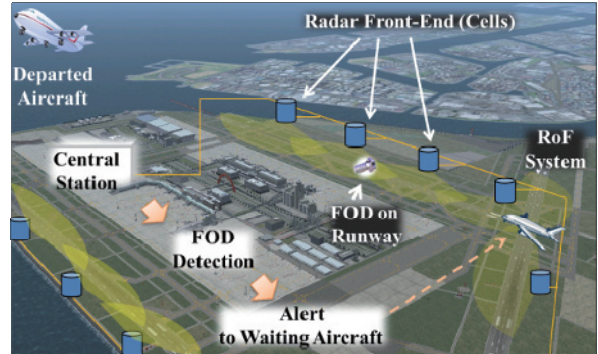


図 1 滑走路監視用ミリ波レーダシステム

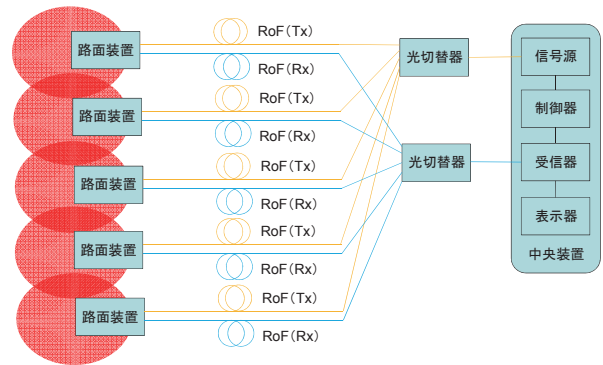


図 2 光ファイバ接続型
ミリ波レーダシステム概要ブロック図

ミリ波レーダを用いた監視システムは、高性能な監視システムを構築できる可能性を有する一方、所望性能実現のためには解決しなければならない技術的な課題が複数存在する。図 1 および図 2 にそれぞれ、滑走路監視用ミリ波レーダシステムの概念図およびブロック図を示す。光ファイバ接続型ミリ波レーダでは、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。レーダシステムは、複数の路面装置および一つの中央装置からなり、その間を光切替器およびファイバ無線機からなるファイバ無線ネットワークで接続する。ここで、提案しているレーダシステムは中央装置で生成したミリ波帯送信レーダ信号を、RoF 技術を用い、直接電気信号を光信号に変換して路面装置に配信することを大きな特徴としている[3]。

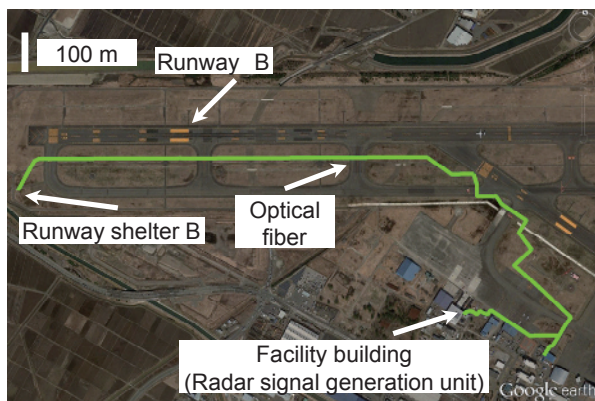


図3 仙台空港実験用光ファイバ敷設状況

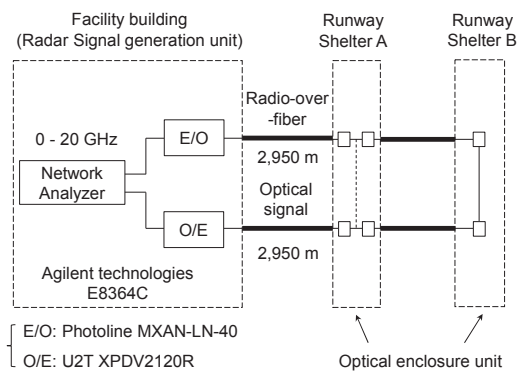


図4 空港面光ファイバ RoF 伝送特性測定ブロック図

3 空港面における RoF 伝送特性

光ファイバ接続型ミリ波レーダを用いた滑走路監視システムを実現するための要素技術である、RoF 技術を用いたレーダ信号の伝送特性について検討を行う。実環境において信号伝送特性を評価することが必要であるため、仙台空港において敷設された実験用光ファイバ特性評価を実施する。

仙台空港には多数の実験用光ファイバが設置されているが、使用可能なファイバの中で最も長距離となる光ファイバを選択する。図3に、実験に使用した光ファイバ敷設状況を示す。図の右下に電子航法研究所岩沼分室があり、左側に光成端箱を設置している実験用のシェルタがある。光ファイバの全長は岩沼分室局舎から滑走路脇の実験用シェルタまでの約 2,950 m であり、実験用シェルタ内において光パッチコードで接続し、対として全長約 5,900 m の伝送特性を取得する。光ファイ

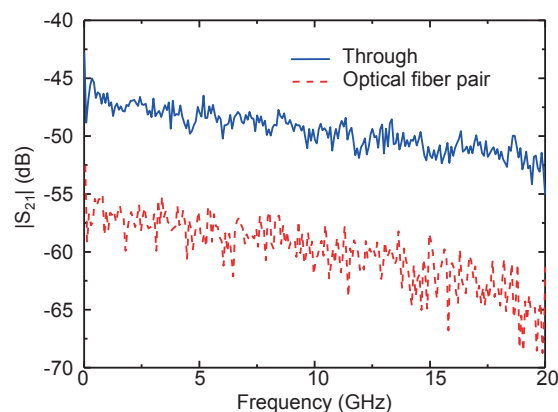


図5 空港面光ファイバ RoF 伝送特性測定結果例

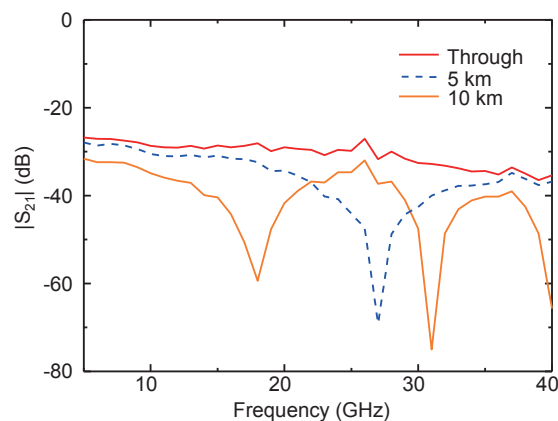


図6 RoF 長距離伝送特性測定結果例

バは、40 芯の 1,550 μm シングルモードファイバであり、市販の電気光変換器および光電気変換器を用いる。図4に、ベクトルネットワークアナライザを用いた RoF 伝送特性測定系を示す。

図5に、光ファイバ伝送特性測定結果の一例を示す。光ファイバによる伝送損失は、20 GHz 以下においては、約 10 dB 程度である。光ファイバ自体の損失としては大きい、ファイバ自体の伝送損失に加え、複数の融着点および光コネクタによる損失に起因する。一方、約 5,950 m においても約 10 dB 以下の伝送損失であることから、従来の電気信号伝送よりも大幅に低い伝送損失を確認した。ここで、20 GHz では光ファイバの群遅延特性により光変調信号側波帯位相が変化し、損失が若干増加している。これは、図6に示す実験

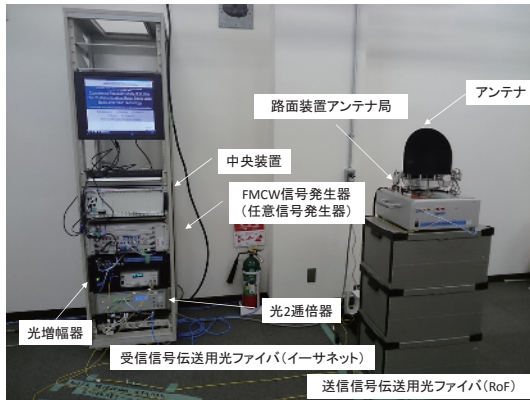


図7 ミリ波レーダシステムの概観

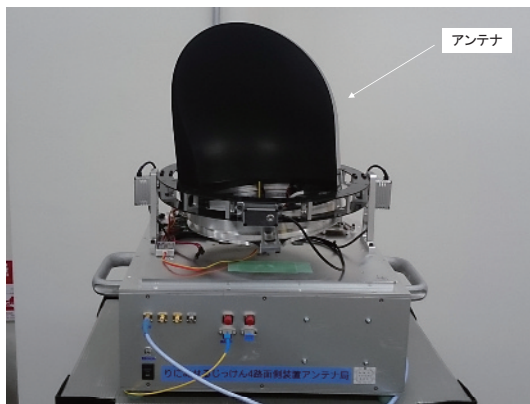


図8 路面装置アンテナ局の概観

室における長距離伝送試験で明らかであるように、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である。この結果を踏まえ、提案するシステム構成では送信信号周波数 96 GHz の 3 分の 1 の約 32 GHz での RoF 伝送を想定しているため、この影響を受けない光搬送波抑圧両側波帯変調を用いた光 2 通倍器を適用し、路面装置までのファイバ長さに無関係に設置できる構造とした。

4 光ファイバ接続型ミリ波レーダシステム

図7に、同一箇所に中央装置および路面装置アンテナ局を設置した全体システム概観図を示す。中央側装置は19インチラック内に設置してあり、信号発生装置、信号処理装置、光2通倍器および光増幅器を中心としている。また、図8に路面装置アンテナ局の概観拡大図を示す。光電気変換器およびミリ波送受信回路を同一筐体内に設置しており、2軸でア

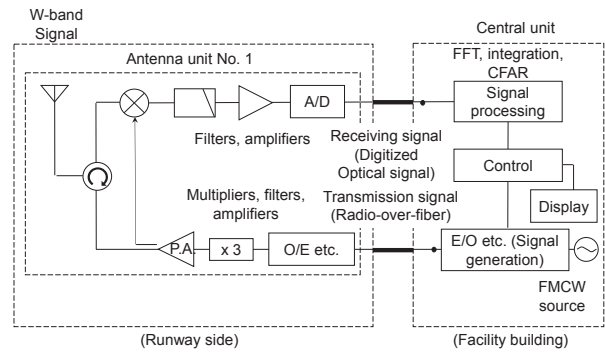


図9 ミリ波レーダシステムブロック図

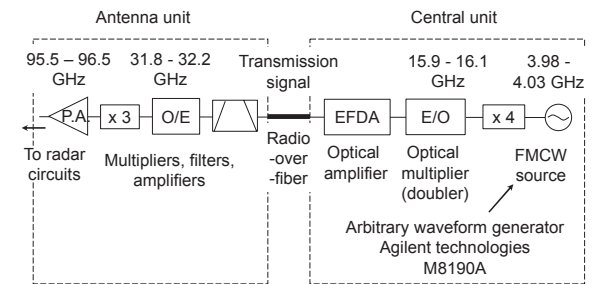


図10 送信信号生成・伝送系ブロック図

表1 光ファイバ接続型ミリ波レーダ仕様

周波数帯	95.5 GHz – 96.5 GHz
送信帯域幅	1 GHz
送信電力	26 dBm
アンテナ利得	42 dBi

ンテナビーム走査を制御可能なパラボラ反射板アンテナを用いる。パラボラ反射板アンテナの利得は 96 GHz において 42 dBi である。図9および図10に、それぞれ構築したレーダシステムの系統図およびレーダ送信信号生成系および伝送系ブロック図を示す。また、表1に構築した光ファイバ接続型ミリ波レーダの仕様を示す。本年度は、探知距離改善を目指した最大送信電力 400 mW の高出力型アンテナ局と距離分解能改善を目指した送信帯域幅 8 GHz の広帯域アンテナ局を構築したが、本稿では高出力型局について述べる。本レーダは FMCW 方式に基づくレーダであり、送信信号生成には任意信号発生器を用い、最大 10 kHz の高速 FM チャープを実現する。任意信号発生器で 4 GHz 帯の信号を生成した後に電気信号で 4 通倍し 16 GHz 帯信号に変換する。次に、光 2 通倍器を用いて光信号

で2通倍し、32 GHz帯の変調成分を含む光信号に変換する。さらに、中央装置において光増幅器を用い、光ファイバ伝送における損失を補償する。

5 仙台空港レーダ探知実験

構築した光ファイバ接続型ミリ波レーダシステムを用い、実験局免許取得後に仙台空港において滑走路上の反射器を探知する探知試験を実施した。レーダ受信信号処理回路では、高速FPGA回路を活用することで最大毎秒2回のリアルタイムPPIスコープ描画が可能である。さらに、CFAR (Constant False Alarm Rate) によるしきい値判定演算処理を実装した。CFARを用いることでノイズフロアからしきい値の差を定量的に設定することが可能となり、一定の誤警報確率が得られるとともに、対象物をより明確に判断することが可能となる。一方、CFAR処理の前にノイズフロアの平滑化を十分に行うことが必要となる。FPGA回路に平均数を2から65,536まで任意に変化可能なノンコヒーレント積分回路を実装し、毎秒最大10,000回のデータ更新レートを下げずに、CFARに適した回路を実現した。図11に、探知実験におけるレーダ反射器設置状況を示す。また、図12に滑走路における対象物の探知結果について、CFAR処理有無の比較結果を示す。ノイズフロアを平滑化し、適切なしきい値を設定することで対象物を明確に検知する信号処理回路を有するミリ波レーダシステムを実現した。

6 まとめ

光ファイバ接続型ミリ波レーダについて、空港面RoF伝送特性を評価し、異物探知応用に適した構成を明らかにした。さらに、構築した試作ミリ波レーダシステムを用い、高速FPGA信号処理回路を適用することで、探知試験において対象物明確化を実現した。

謝辞

本研究の一部は、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」により実施された。

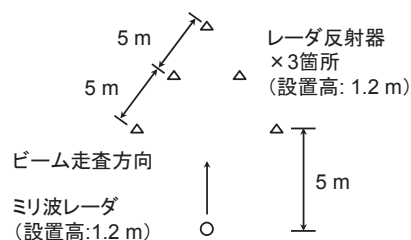
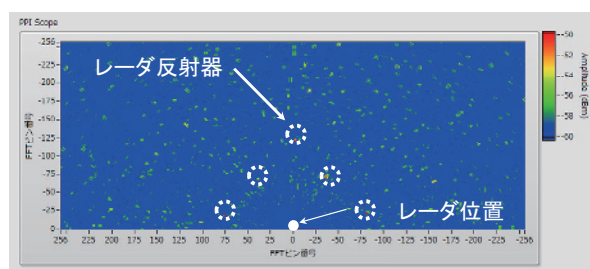
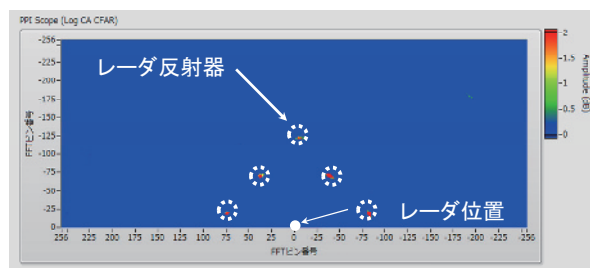


図11 仙台空港レーダ探知試験におけるレーダ反射器設置状況



(a)



(b)

図12 ミリ波レーダPPIスコープ表示例
(a) 信号処理なしおよび (b) 信号処理あり

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] S. Futatsumori, K. Morioka, A. Kohmura, K. Okada and N. Yonemoto, “Experimental feasibility study of 96 GHz FMCW millimeter-wave radar based upon Radio-over-Fiber technology”, Proceedings of IEEE MWP/APMP2014, TUEF-9, pp. 1-4, Oct. 2014.