

5. 光ファイバ接続型滑走路監視用ミリ波レーダの基本評価試験

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

滑走路面上の異物は、航空機等に損害を与え、事故等の危険な状態を引き起こす可能性がある。特に、2000年に発生したコンコルドの事故以降、そのような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]。これは、異物の有無を確認する安全点検の滑走路閉鎖時間等が無視できないためであり、繁忙空港では空港面の大幅な利用効率改善に寄与する技術である。滑走路面上の異物を検出するため、可視・赤外カメラやレーダ等の様々なセンサを組み合わせたシステム等の研究開発がこれまで行われている。

空港面における異物探知性能として、直径 1 inch×高さ 1 inch 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。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を主なセンサデバイスとする、光ファイバ接続型滑走路監視用ミリ波レーダシステムの研究を行っている [3]。

本稿では、光ファイバ接続型滑走路監視用ミリ波レーダの概要と従来型レーダに対する利点を述べる。次に、原理確認および基本評価試験のために試作した試験用 96 GHz 帯光ファイバ接続型ミリ波レーダシステムの諸元および概要を述べる。最後に試作したシステムを用い、仙台空港において実施した、レーダ反射器探知実験の結果について議論を行う。

2. 滑走路監視用ミリ波レーダ

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。

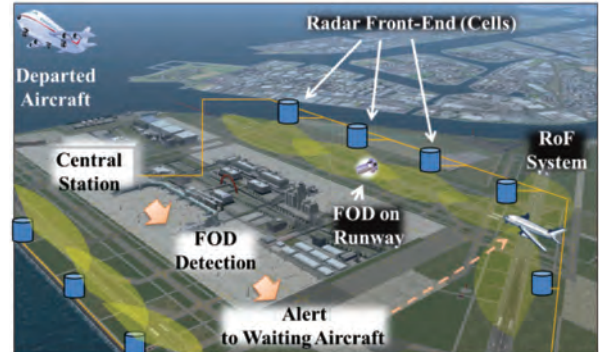


図1 滑走路監視用ミリ波レーダシステム

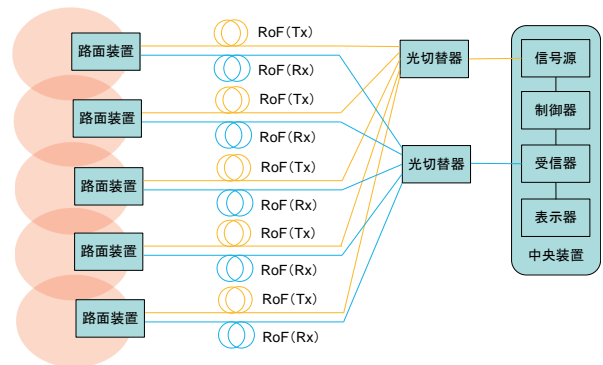


図2 光ファイバ接続型ミリ波レーダシステム概要ブロック図

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信号を、Radio-over-fiber (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]。

高性能レーダでは、送信信号の品質および方式が、レーダの性能を決定する重要なパラメータの一つである。また、受信信号の解析装置も分解能や探知性能のスループット等に

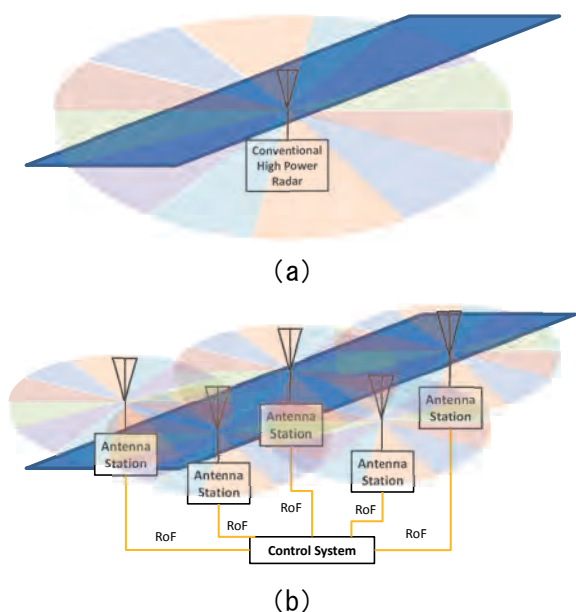


図3 (a) 従来型ミリ波レーダと
(b) 光ファイバ接続型ミリ波レーダ比較

表1 試験用 96 GHz 帯ミリ波レーダ仕様

周波数帯	95.5 GHz - 96.5 GHz
帯域幅	1 GHz
送信電力	17 dBm
アンテナ利得	45 dBi

対して大きな影響を与える。光ファイバ接続型ミリ波レーダシステムでは、中央装置内で生成したレーダ信号を、光ファイバ経由で多くの路面装置に配信することで、単一のレーダ信号源に開発コストを集中することができ、複雑な信号生成処理が可能となる。さらに、受信信号の解析についても、同様に光ファイバを用い、受信信号をアナログもしくはデジタルのいずれかで中央装置を伝送することで、一括して信号処理が可能となり、路面装置の極端な単純化および低コスト化が可能である。

また、図3に従来型ミリ波レーダと光ファイバ接続型ミリ波レーダの比較を示す。光ファイバ接続型ミリ波レーダでは、複数の路面装置で分割したセルを監視することで、単一のレーダで大面積を監視した場合に比較し、水平面分解能を改善することが可能である。さらに、一つの路面装置が監視する面積が少ないため、送信電力を低下することが可能と

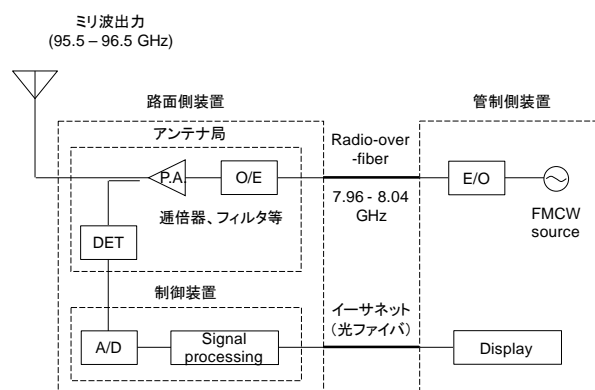


図4 試験用 96 GHz 帯ミリ波レーダシステム
ブロック図

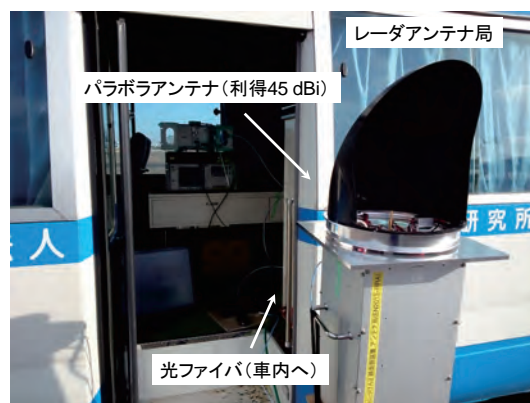


図5 試験用 96 GHz ミリ波レーダ
アンテナ局概観

なり、ミリ波帯の送信電力増幅器に必要なコストを削減することが可能となる。

3. 試験用 96 GHz 帯ミリ波レーダシステム

表1および図4に、それぞれ試験用 96 GHz 帯ミリ波レーダ仕様およびシステムブロック図を示す。周波数帯は、96 GHz を中心に 1 GHz としているが、今後は最大 8 GHz とする予定である。これは、今回採用している FMCW レーダ方式は送信信号の帯域幅が増加すると、距離分解能も増加する方式であるため、8 GHz への信号帯域幅拡張により、理論分解能 1.875 cm の距離分解能が達成可能となるためである[4]。また、図5に試験用ミリ波レーダのアンテナ局の概観を示す。アンテナは、軽量の炭素繊維強化プラスチック製オフセットパラボラアンテナ（開口部寸法：高さ 300 mm×幅 300 mm，利得：45 dBi，



図 6 仙台空港レーダ実験
アンテナ局設置状況

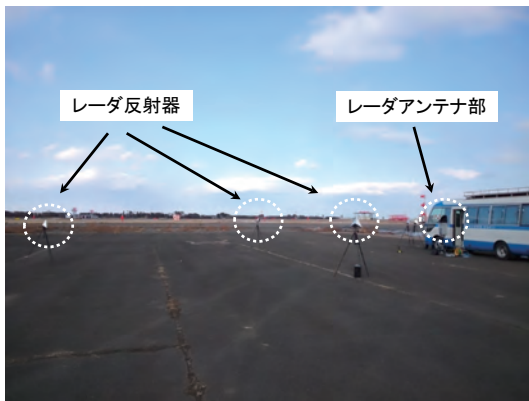


図 7 レーダ反射器設置例

ビーム半値幅：0.9 度）を用いる。パラボラの焦点距離には 1 次放射器を設置し、その焦点を中心にアンテナを回転させることで、水平面内を走査することが可能となる。アンテナから放射され、検知対象物で反射されたミリ波帯信号は、路面装置内の高周波回路部および信号処理回路で、障害物までの距離および角度情報に変換され、光ファイバを用いたイーサネット経由で接続した、遠方の管制側装置のコンピュータでレーダスコープを描画する。今後、複雑な信号処理を行う場合には、管制側の中央装置で一括して処理をするが、今回の実験では原理確認が目的であるため、基本的な信号処理のみを路面側の制御装置で実施している。

さらに、今回のレーダにおいて最も重要な要素技術である RoF については、管制側装置で 8 GHz 帯の信号を生成し、光ファイバで路面側装置に伝送を行う。路面側装置では通倍

回路を用い、ミリ波帯送信信号を生成する。現時点では、直接ミリ波帯送信信号を伝送していないが、回路構成を改良することでより送信信号に近い周波数の信号を伝送し、路面側装置のさらなる単純化を図る予定である。

構築した 96 GHz 帯ミリ波レーダを用い、実験試験局免許を取得した。取得に際し、試験を想定している電子航法研究所、仙台空港、東京国際空港および成田国際空港等を移動範囲として、電波天文との共用条件を計算し、条件を満足した上で無線局免許を取得した。

4. 仙台空港レーダ実験

空港環境において、複数のミリ波レーダ反射器を地上に設置し、試作した光ファイバ接続型ミリ波レーダを用いて観測した結果を議論する。ここでは、反射波を確実に取得するため、96 GHz においてレーダ反射断面積が 30 dBsm の三角コーナリフレクタを用いて試験を行う。三角コーナリフレクタの反射指向性は約±45 度である。図 6 に、仙台空港内の電子航法研究所エプロンにおけるレーダ実験時のアンテナ局設置状況を示す。管制側装置は実験用車両内に設置し、アンテナ局には光ファイバを用いてレーダ送信信号を伝送している。さらに、図 7 に、レーダ反射器の設置例を示す。アンテナ局の前方に反射器を設置し、その探知状況を確認し、レーダ基本特性を取得する。

図 8、図 9 および図 10 に、レーダ反射器の個数を変化させた場合の反射器設置状況およびレーダ PPI スコープ表示例を示す。反射器は 1 辺 10 m の正三角形上に、逆 V 字型にそれぞれ等間隔で最大 5 箇所設置している。レーダ反射器はミリ波レーダに正対するように角度を調整し、設置高はミリ波レーダおよびレーダ反射器を同一の 1.2 m としている。レーダ設置位置は最下部中央であり、正面方向から水平面±90 度を走査し、仰角は水平に固定している。図から、設置した全てのレーダ反射器からの反射波を取得していることがわかる。本実験により、光ファイバによる RoF 技術を用いたミリ波レーダの実現を確認し、その有効性を実証することができた。

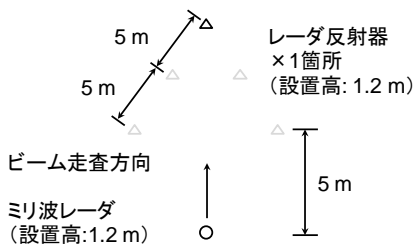
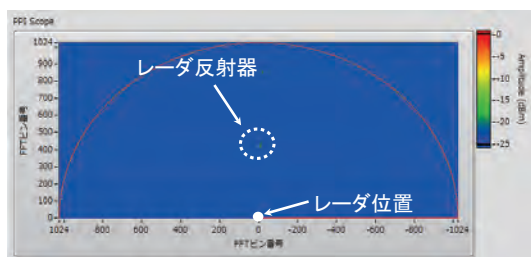


図 8 ミリ波レーダ PPI スコープ表示例
(反射器 1 個設置)

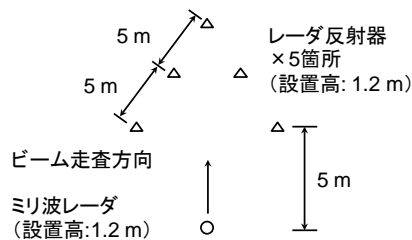
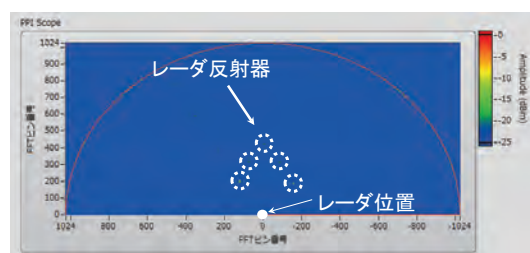


図 10 ミリ波レーダ PPI スコープ表示例
(反射器 5 個設置)

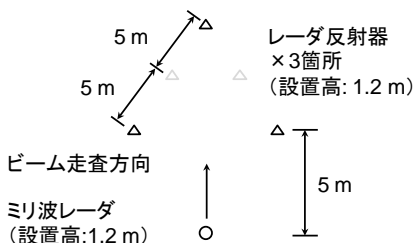
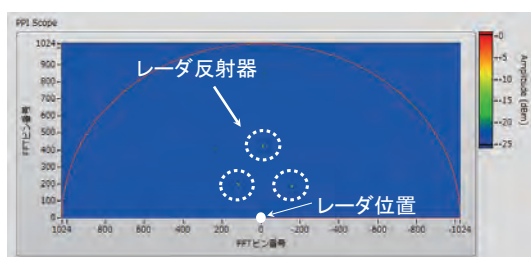


図 9 ミリ波レーダ PPI スコープ表示例
(反射器 3 個設置)

4. まとめ

光ファイバ無線ネットワークをミリ波レーダに適用することで高性能かつ画期的な性能を低コストで実現できる、新たな滑走路監視用ミリ波レーダシステムを提案した。試作したミリ波レーダを用いた実験から空港環境でのイメージング結果を示し、提案技術の有効性を実証した。今後、レーダ送信信号帯域幅の拡大を行い、センチメートル単位の距離分解能達成を目指す。さらに、所要性能を満たす探知目標達成のため、レーダ要素回路の改善を行う。

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。

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] A. Kohmura, S. Futatsumori, N. Yonemoto, and K. Okada, “Optical Fiber Millimeter-Wave Radar for FOD Detection on Runway”, Proceeding of the 10th European Radar Conference 2013 (EuRAD 2013), pp. 41-44, Oct. 2013.
- [4] S. Futatsumori, A. Kohmura, and N. Yonemoto, “Performance measurement of compact and high-range resolution 76 GHz millimeter-wave radar systems for autonomous unmanned helicopters”, IEICE Transactions on Electronics, vol. E96-C, no. 4, pp. 586-594, Apr. 2013.