

16. ミリ波レーダを用いたヘリコプタ障害物探知試験

監視通信領域 ※ニッ森 俊一、河村 暁子、米本 成人
 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 小林 啓二、奥野 善則
 北海道放送株式会社 桂 信生

1. はじめに

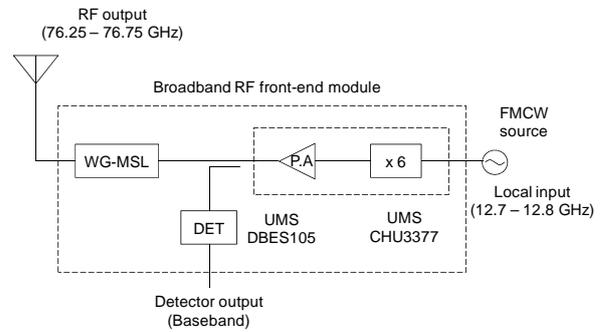
航空機の中でも比較的低高度を有視界飛行するヘリコプタの場合、気象や周囲構造物の影響で障害物等の発見に支障が生じ、事故等の危険な状況が発生する恐れがある。これら障害物等を事前察知し、周囲を監視するために操縦者を支援するシステムとして、可視・赤外カメラやレーダ等の様々なセンサを組み合わせたシステム等の研究がこれまで行われている[1]。さらに、送電線鉄塔等の障害物データベースと自機位置のGPS情報に基づき接近警報を発生するシステムも検討されている[2]。

電子航法研究所では、これまでミリ波レーダ、赤外線カメラ、カラーカメラ等のセンサからなる高度監視システムの研究を行い、成果を得ている[3], [4]が、近年のセンサデバイス等の性能向上により、さらなるシステムの小型軽量化および高感度化を目指して検討を行っている[5], [6]。本稿では、小型軽量かつ高感度な76 GHz帯ミリ波レーダについて、実機ヘリコプタに搭載し、障害物探知性能試験を実施した結果について議論を行う。

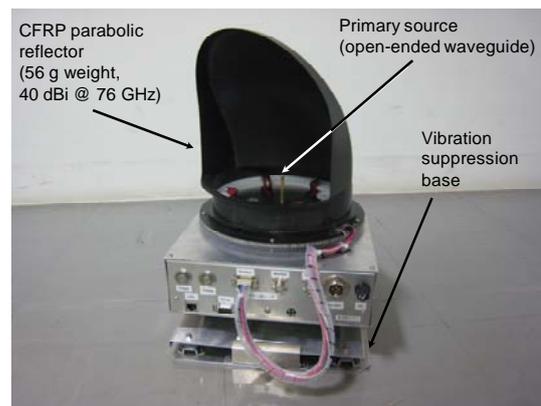
最初に、試作した探知試験に用いるミリ波レーダの準拠規格および概要を述べる。次に、障害物探知試験の概要および構成について議論を行う。最後に、試験で得られた結果例を示し、探知性能の評価を行う。

2. 障害物探知用ミリ波レーダ

探知試験に用いるミリ波レーダは、これまでに検討を行っている76 GHz帯ミリ波レーダを基本としている[5], [6]。図1に概要を示すミリ波レーダでは、小型軽量化および低コスト化を目指し、探知性能を維持しつつ回路の単純化を目指している。図1(a)の高周波回路部には、回路部品点数が大幅に減少可能となるダイレクトコンバージョン方式を採



(a) 高周波回路部構成図



(b) 概観

図1 障害物探知用ミリ波レーダ概要

表1 特定小電力ミリ波レーダ規格 (一部)

周波数帯	76.0 GHz - 77.0 GHz [※]
帯域幅	500 MHz 以内 [※]
送信電力	10 dBm 以下
アンテナ利得	40 dBi 以下

※周波数帯および帯域幅は今後拡張の見通し

用している。高周波回路部は、表1に示す特定小電力ミリ波レーダ規格[7]を満たすよう設計しているが、送信周波数帯および帯域幅は拡大可能である、これは、今後、周波数帯および帯域幅の拡張が見込まれているため

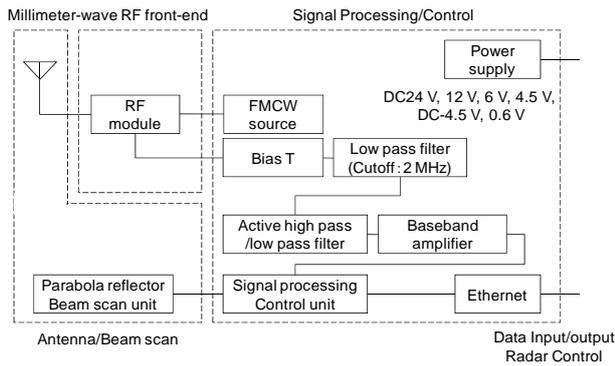


図2 ミリ波レーダシステム内部構成図

ある。本レーダで用いている FMCW 方式は送信信号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、信号帯域幅の拡張により、詳細なレーダ測定の実現につながる[5]。例えば、距離分解能の理論値は、30 cm（現状規格値：帯域幅 500 MHz）から 6 cm（高周波回路部最大値：帯域幅 6 GHz）に改善可能である。今回の試験では、無線局免許が不要な特定小電力無線局として技術基準適合証明を取得するため、表 1 の規格を満たすよう送信信号条件およびアンテナ利得等を決定している。

図 1 (b) にレーダの概観を示す。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[5]（開口部寸法：高さ 200 mm×幅 200 mm，ビーム半値幅：1.7 度）を用い、水平方向へのビーム走査を行う。また、本試験における最大探知距離は、信号設定条件等から約 1,040 m としている。アンテナ下部には、図 2 に示すシステム全体を同一筐体内に収めている。アンテナ部を含めた大きさおよび重量は、それぞれ高さ 400 mm×幅 250 mm×奥行き 300 mm および約 3.5 kg であり、従来システム[3]に比較して大幅な小型軽量化を達成している。

アンテナから放射され、障害物で反射されたミリ波帯の電波は、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る。これらの取得データをイーサネット経由で外部コンピュータに転送し、レーダスコープ描画およびデータ保存等を行う。アンテナ回転数は毎秒 1 回転（角度ステップ：1 度）であり、1 秒ごとのリアルタイム



図3 試験用回転翼航空機
宇宙航空研究開発機構
三菱式 MH2000A 型ヘリコプタ

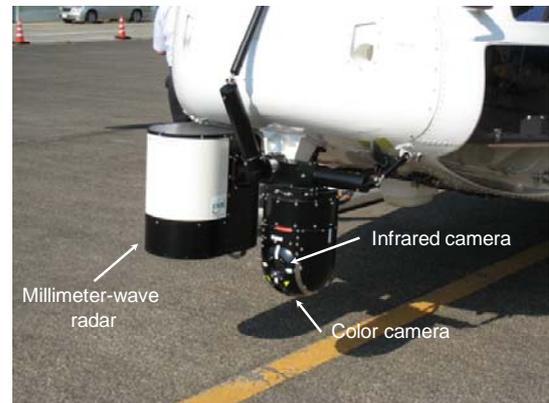


図4 ミリ波レーダおよび各種カメラの
取り付け状況

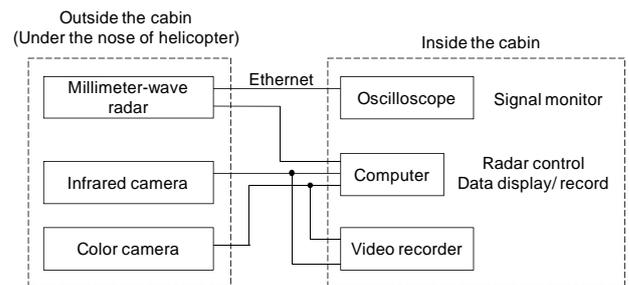


図5 ミリ波レーダ等機器接続系統図

データ更新が可能である。

3. ヘリコプタ障害物探知試験

試作したミリ波レーダを用いて、試験飛行許可得たうえでヘリコプタ障害物探知試験を行う。試験飛行のため、ミリ波レーダを設置するヘリコプタは、図 3 に示す、宇宙航空研究開発機構所有の試験用ヘリコプタ三菱式

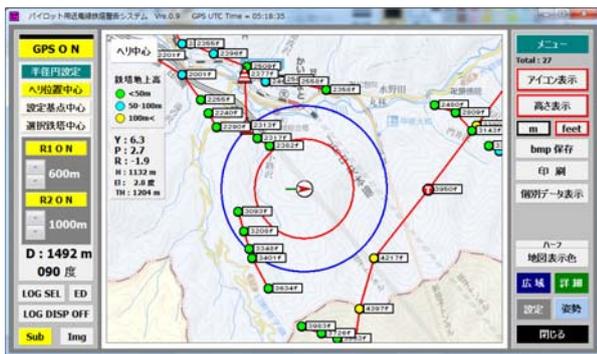


図 6 送電線鉄塔警告システムの画面例

MH2000A 型を用いる。

3.1 探知試験概要

図 4 に示すように、ミリ波レーダは機首部分に取り付け、前方の障害物を探知出来るよう水平に設置する。また、試験用ヘリコプタに設置している赤外カメラ(波長:8~14 μm, 遠赤外線)および可視カメラの映像についても比較参考用として記録する。機器接続は図 5 の通りであり、情報取得に必要なレーダとの接続線は、イーサネットケーブルと電源線のみである。また、レーダで得られた障害物情報を、ネットワークの接続先のコンピュータ上でレーダスコープとして描画する。

本試験では、送電線鉄塔等の障害物探知試験のために、北海道放送株式会社で開発されたヘリコプタ用送電線鉄塔警告システム[2]を用いる。当該警告システムは、国土交通省航空局が提供している送電線鉄塔位置や高度等の位置データベースに基づき、自機位置および送電線等の場所を地図上に示すことが可能である。さらに、条件設定等を行い、接近警告等を発生させることが可能である。しかし、データベース中に明らかな位置や高度等の誤りが約 1,000 件程度含まれていることが確かめられているため、早急なデータベースの改善が望まれる[8]。

図 6 に試験時の送電線鉄塔警告システムの画面例を示す。データベース上の鉄塔情報が電子地図上に描かれている。さらに、GPS 位置情報に基づく自機位置が地図の中心に示されており、試験用に選択した鉄塔までの距離および方位等が記されている。さらに、自機

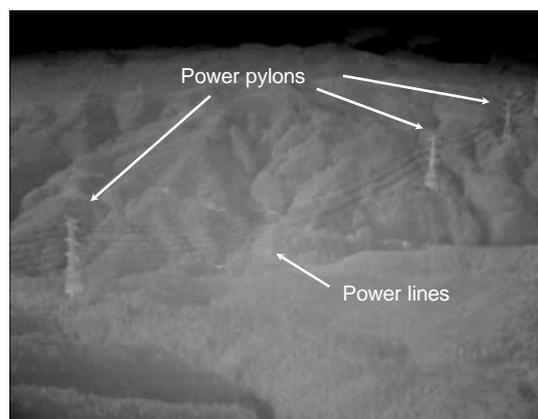


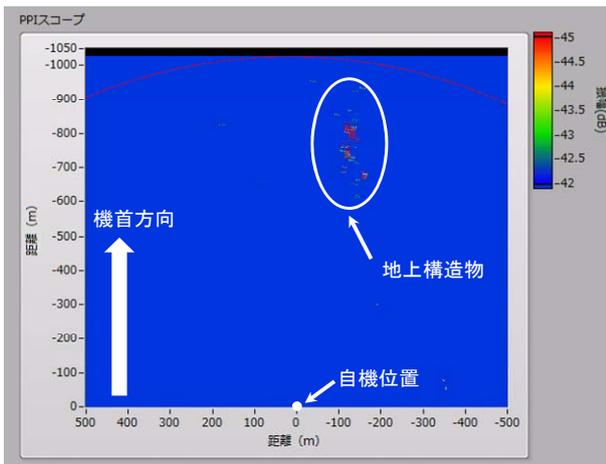
図 7 試験空域周辺における送電線鉄塔および送電線の赤外カメラ画像例

を中心とした円が描かれており、障害物との距離の把握が容易である。試験では、後席の測定者が画面を確認し、測定用の参考情報として利用する。なお、本試験に際し、送電線等の障害物からのレーダ反射波を詳細に評価するため、低高度での飛行申請を行い、許可を得ている。

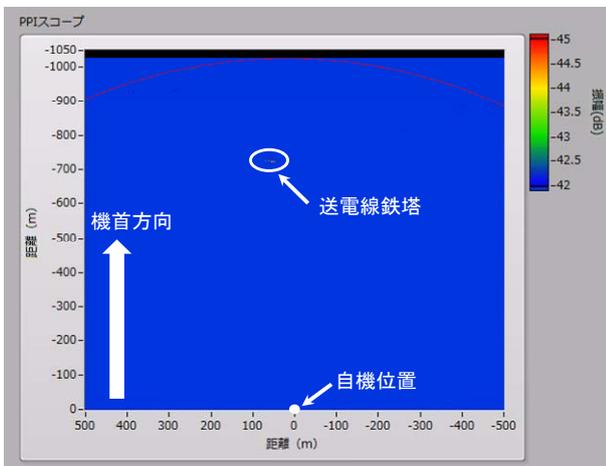
3.2 探知試験結果例

2012 年 4 月の延べ 4 日間、主として奥多摩・秩父・丹沢・竜爪山周辺において障害物探知試験を実施した。図 7 に試験中に得られた、試験空域周辺における送電線鉄塔および送電線の赤外カメラ画像例を示す。図に示す通り、主として山中の送電線鉄塔および送電線の探知試験を実施している。

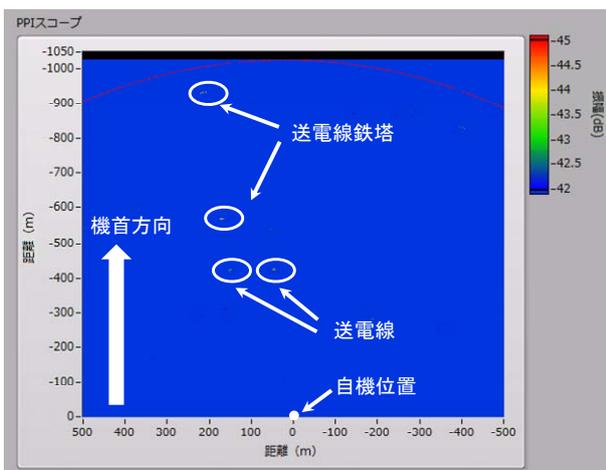
図 8 (a), (b) および (c) に試験中に得られた、代表的なミリ波レーダ PPI スコープ描画例を示す。レーダアンテナは、360 度方法に回転しデータを取得しているが、今回の実験では、金属筐体が後ろ半分を覆っているため、前方のデータのみを描画する。自機位置は図中最下部中央、機首方向は向かって上側である。図 8 (a) は離陸中に得られた障害物であり、ヘリコプタが前傾姿勢であったため、約 800 m 前後の地上構造物からの強い反射が得られている。さらに、図 8 (b) は送電線鉄塔に接近中に得られた反射波であり、鉄塔からの反射が約 730 m 先に確認できる。さらに、図 8 (c) は送電線に接近中に得られた、



(a) 離陸中



(b) 送電線鉄塔接近中



(c) 送電線接近中

図8 ミリ波レーダ PPI スコープ表示例

反射波である。ここでは、約 410 m 付近において、点状の横に伸びる送電線からの反射が観測されている。さらに、約 560 m および約 920 m 付近では交差する別の送電線鉄塔からの反射が得られている。

4. まとめ

ミリ波レーダを用いた障害物探知について、実機ヘリコプタ MH2000 に搭載して実施した試験結果を議論した。試作したミリ波レーダは、従来品に比較し小型軽量かつ低コストであり、無線局免許は不要である。さらに、約 1000 m 先までの送電線鉄塔および送電線等の探知が可能であることが試験で明らかとなった。今後、さらなるレーダ感度向上や探知障害物の表示法等について検討を行う。

参考文献

- [1] L. S. Sadovonik, et al., “Helicopter obstacle detection radar system”, Proc. SPIE, vol. 4023, pp.2-12, 2000.
- [2] パイロット用送電線鉄塔警告システム取扱説明書, 株式会社三新, Feb. 2012.
- [3] 山本 憲夫他, “ヘリコプタの障害物探知・衝突警報システム,” 日本航海学会誌, vol.148, pp.36-42, Jun. 2001.
- [4] 「先端 ICT を活用した安全・安心な交通システムの開発」平成 22 年度報告書, 独立行政法人電子航法研究所, Mar. 2011.
- [5] ニッ森 俊一他, “自律飛行ヘリコプタ搭載用 76GHz 帯ミリ波レーダシステムの探知性能評価実験”, 電子情報通信学会技術研究報告, SANE2011-53, pp. 49-54, Jul. 2011.
- [6] S. Futatsumori, et al., “Compact and high-performance 76 GHz millimeter-wave radar front-end module for autonomous unmanned helicopters”, Proceedings of the 41th European Microwave Conference 2011 (EuMC2011), pp. 21-24, Oct. 2011.
- [7] ARIB STD-T48 2.1 版, 特定小電力無線局ミリ波レーダ用無線設備標準規格, 社団法人電波産業会, 2006.
- [8] 米本 成人, “送電線検知技術によるヘリコプタの安全運航”, 電気評論, May 2012.