

6. 着陸支援用ミリ波レーダ反射器の基本評価試験

監視通信領域 ※ニッ森 俊一、森岡 和行、河村 暁子、米本 成人

1. はじめに

ヘリコプタは、どこでも離着陸が可能で、空中での停止ができることから、災害救助・救急医療などで活躍している。一方、ヘリコプタは航空機の中でも比較的low高度を有視界飛行するため、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]。

電子航法研究所では、これまでミリ波レーダを中心とした様々な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[2]。さらに、近年のセンサデバイス等の性能向上により、システムの小型軽量化および高感度化を目指して、実機試験等を実施している[3]、[4]。本稿では、地上のレーダ反射器および機上のミリ波レーダを組み合わせ、地上に探知可能な目標物を設けることで、着陸時に周囲状況を把握するための支援装置として用いることを提案する。この提案は、ミリ波レーダの高分解能特性を活用し、詳細な周辺状況把握に用いるものである。試作したミリ波レーダを用い、着陸支援用レーダ反射器を実現するための基本評価試験について議論を行う。

最初に、評価試験に用いるミリ波レーダの諸元および概要を述べる。次に、レーダ反射器を用いた地上探知試験の概要および結果について議論を行う。ここでは、レーダを水平に設置し前方に反射器を設置する場合と、下向きに設置し前方下部に反射器を設置する場合について検討を行う。

2. 試験用ミリ波レーダ

レーダ反射器評価試験では、これまでに実機ヘリコプタで障害物探知の検討を行っている76 GHz帯ミリ波レーダを用いる[3]。図1



図1 回転翼航空機搭載状況
(宇宙航空研究開発機構
三菱式 MH2000A 型ヘリコプタ)

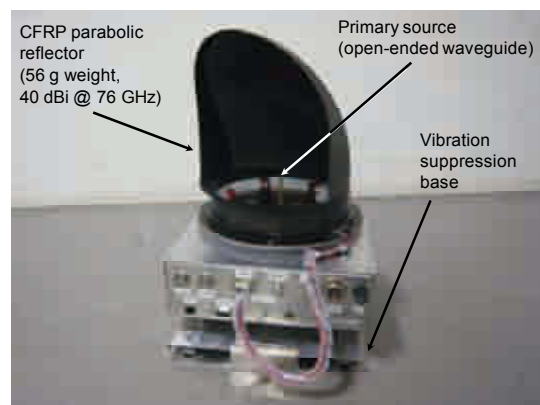


図2 試験用ミリ波レーダ概観

に、ヘリコプタ搭載試験における搭載状況を示す。ミリ波レーダは機体前方を監視するもので、水平面は機械走査を行い、探知範囲は前方±90度である。また、ヘリコプタ搭載時の最大探知距離は約1,000 mとなっており、これまでに（独）宇宙航空研究開発機構と共同で実施した搭載試験では、送電線鉄塔で約1,000 mおよび送電線で約500 mの探知距離を確認している[3]。

図2に、ミリ波レーダの概観を示す。このレーダの特徴は、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ことである。アンテナは、軽量の炭素繊維

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

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 200 mm×幅 200 mm、ビーム半値幅：1.7 度）を用いる。また、アンテナ下部には、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[2]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、対象物で反射されたミリ波帯信号は、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、イーサネット経由で接続したコンピュータでレーダスコープを描画する。

さらに、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[5]を満たすよう設計しており、定められた範囲内に送信電力出力およびアンテナ利得等を設定し、認証機関で技術適合証明を受けることで無線局免許が不要となる。今回使用しているミリ波レーダは、送信電力を特定小電力の低電力の規格内に収めながら高感度を達成するため、アンテナ利得を規格内で最大限に高め、信号処理部での雑音を極力抑える設計を行っている。

なお、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、送信周波数帯および帯域幅は拡大可能となるよう設計している、今回採用している FMCW レーダ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、詳細なレーダ測定が可能となる[4]。

3. レーダ反射器評価試験

複数のミリ波レーダ反射器を地上に設置し、前述の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

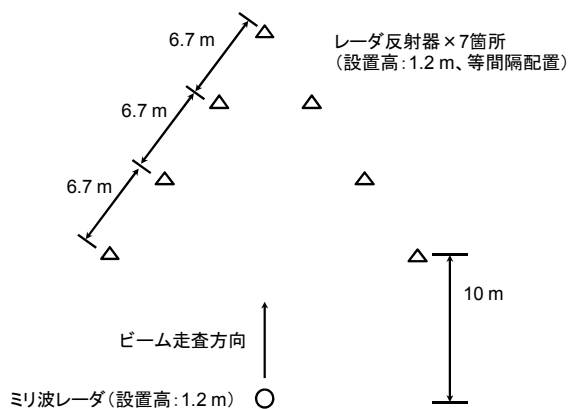


図3 レーダ反射器設置場所

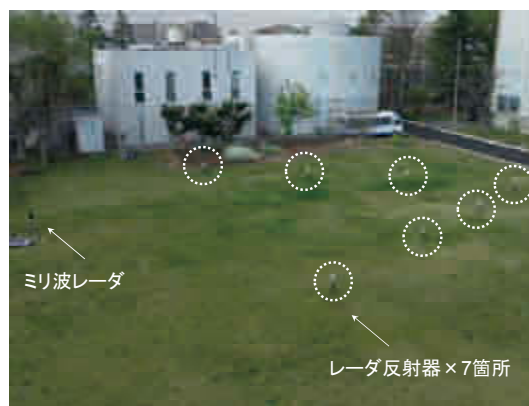


図4 レーダ反射器設置状況

るため、76 GHzにおいてレーダ反射断面積が 28 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。

3.1 水平面探知試験

機体の前方に着陸支援用ミリ波レーダ反射器が存在する場合を想定し、レーダを水平に地上設置し、正面にレーダ反射器を設置した場合の反射器特性を検討する。本測定の目的は、前方の反射器を確実に捉えることの確認である。図3に、レーダおよび反射器の設置場所を示す。反射器は1辺20mの正三角形上に、逆V字型に等間隔で合計7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1.2mとしている。

図4に試験時の設置状況を示す。電子航法研究所の敷地内で試験を行ったため、周囲に

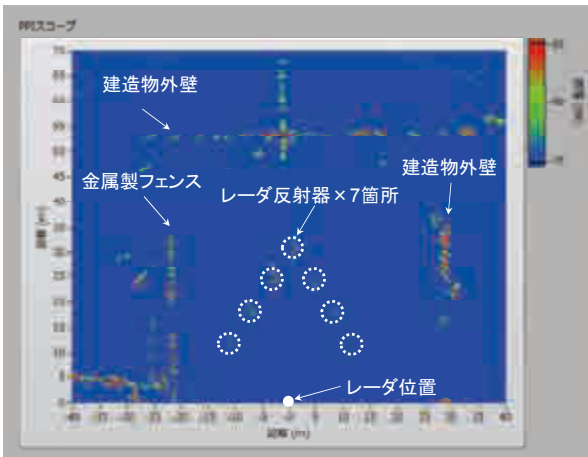


図5 ミリ波レーダ PPI スコープ表示例
(レーダ水平設置時)

は建造物や金属フェンス等が存在している。今回の測定条件では、レーダと反射器が比較的接近した場所に存在するため、反射波強度が高いことが予想されることから、レーダ受信感度を抑えた設定で測定を実施する。

図5に試験において得られた、レーダ PPI スコープ表示例を示す。前述のようにレーダの最大探知距離は約 1,000 m であるが、明瞭化のため最大距離を 75 m として表示する。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、7箇所を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。さらに、建造物外壁や金属製フェンス等の試験場所周辺の状況が表示されている。本試験から、レーダ反射器をパターン状に配置することで、周辺状況を推定することができることを確認した。

3.2 俯角探知試験

次に、着陸支援用レーダ反射器を地面に設置し、機体が上方から接近する場合を想定し、レーダを鉄塔上に俯角を設けて設置し、地面にレーダ反射器を配置した場合の反射器特性を検討する。本測定の目的は、地上にレーダ反射器を複数設置した場合に、異なる俯角における反射特性の確認である。

図6および図7に、レーダ反射器の水平面および垂直面配置状況を示す。反射器は1辺

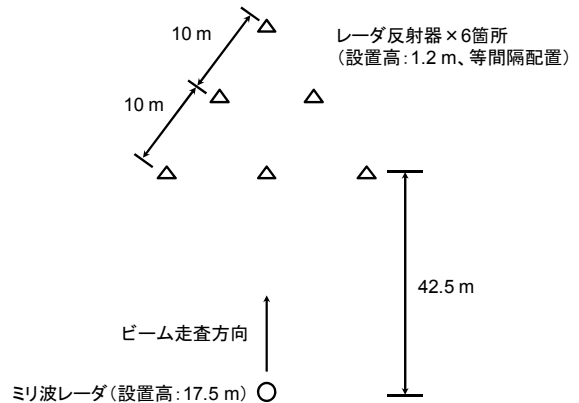


図6 レーダ反射器設置場所（水平面）

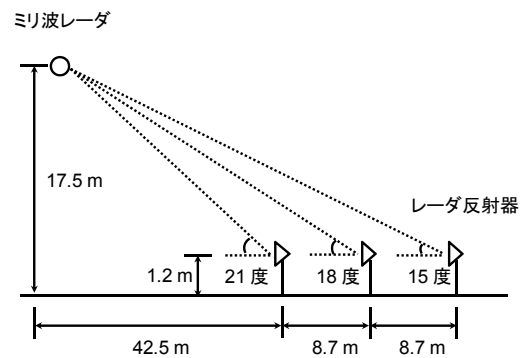


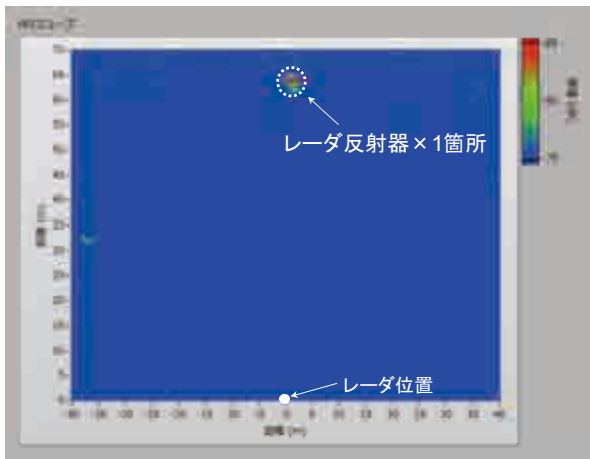
図7 レーダ反射器設置場所（垂直面）



図8 レーダ反射器設置状況

20 m の正三角形上に、各辺に等間隔で合計 6 箇所設置している。レーダ設置高は 17.5 m、反射器設置高は 1.2 m である。また、図8に試験時の設置状況を示す。

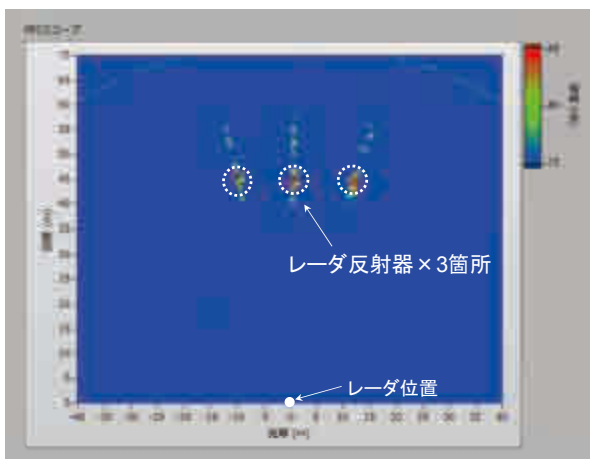
図8(a)、(b)および(c)に異なる俯角で得られた、ミリ波レーダ PPI スコープ表示例を示す。図8(a)は俯角15度で最も浅く、正三角形の頂点に配置した反射器を検知している。また、図8(b)および(c)はそれぞれ俯角18度および21度の測定結果である。



(a) 俯角 15 度



(b) 俯角 18 度



(c) 俯角 21 度

図9 ミリ波レーダ PPI スコープ表示例
(レーダ下向き設置時)

図7のレーダ反射器設置位置に対応した俯角でそれぞれの反射器を検知していることが確認できる。これは、レーダに用いているアンテナのビーム半値角が約2度と非常に狭く、スポット上に対象物を照射していることから、角度に対応した反射波が得られているためである。

4. まとめ

ミリ波レーダの高分解能特性を活用したミリ波レーダ反射器を用いた着陸支援装置について、基本評価試験を実施した。これまでヘリコプタ障害物探知に試作したレーダを地上試験で利用し、着陸時を想定した探知試験を行った結果、ミリ波レーダおよびレーダ反射器を用いることで、機体姿勢等を含めた周辺状況を把握可能であることを確認した。今後、周辺状況認識に適したアンテナ走査方式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] 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.
- [3] S. Futatsumori, et al., “Small transmitting power and high sensitivity 76 GHz millimeter-wave radar for obstacle detection and collision avoidance of civil helicopters”, Proceedings of the 42th European Microwave Conference 2012 (EuMC2012), pp. 178-181, Oct. 2012.
- [4] S. Futatsumori, et al., “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.
- [5] 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.