

7. ヘリコプタ用障害物探知システムの性能

電子航法開発部 ※山本 憲夫 米本 成人 山田 公男
 (株) IHI エアロスペース 安井 英己 森田康志*

1. まえがき

ヘリコプタは、輸送、監視、防災・救難等で低空を有視界飛行することが多い。このとき送電線や索道等目視では発見困難な障害物に衝突する事故がしばしば発生している。このような事故を防ぐため、前方をセンサで監視し、障害物を探知して警報を発すると共にパイロットに障害物の情報を見やすい形で提供できる技術の開発が望まれている。

有視界飛行するヘリコプタ向け衝突防止技術の必要性は世界的に認識され、これまで多くの研究が行われている。例えば、GPSと地図情報から障害物を予測する方法⁽¹⁾、レーザレーダによる障害物検出システム⁽²⁾、ミリ波レーダによる衝突防止技術⁽³⁾等が提案されている。しかし、これらは基礎研究段階のものや軍用を主目的としたものが多く、民間で使用するためには解決すべき課題が多いのが現状である。

電子航法研究所では、ヘリコプタや小型機に適した障害物探知・衝突警報システム実現のため研究・技術開発を進めてきた。まず、送電線等の細長い障害物を探知するセンサとして赤外線カメラに着目し、赤外線画像中の障害物を抽出できる画像処理手順を研究した⁽⁴⁾。障害物までの距離測定にミリ波レーダを利用することとし、実験用低出力レーダの開発、次いでヘリコプタ搭載用高出力レーダの開発を行った⁽⁵⁾。障害物の表示技術に関しては、赤外線カメラ、カラーカメラ及びミリ波レーダからの情報を高速で収集、融合、処理し、障害物をリアルタイムで強調表示できる画像・レーダデータ処理プログラムを開発した⁽⁶⁾。さらに、これらの技術を活用したヘリコプタ搭載障害物探知・衝突警報システムを開発し、検証実験を行った。

本稿では、まず障害物探知・衝突警報システムの概要と本研究の主要課題の一つである高出力ミリ波レーダについて紹介する。次に、最近開発したヘリコプタ搭載障害物探知・衝突警報システムについて述べる。また、このシステム

をヘリコプタに搭載して実施した検証実験をもとに、システムの性能について報告する。

2. 障害物探知・衝突警報システムの概要

本研究では、障害物探知・衝突警報システムの開発に際してヘリコプタ運航者の意見等を参考に以下の具体的目標を設定した。

- (1)約 800m 先の障害物（送電線）の探知
- (2)障害物回避に必要な情報のリアルタイム（約 1 秒以下）での提供
- (3)実験用障害物探知システムの開発と検証

図 1 は、これらの目標を考慮して構成した障害物探知・衝突警報システムで、ミリ波レーダ、赤外線カメラ、カラーカメラ、走査装置、制御装置及びデータ処理装置等からなる。ミリ波レーダは、エネルギー効率がよく回路が簡単で将来の小型化が見込める周波数 94GHz の FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式とした。赤外線カメラは、細長い送電線等を容易に検出できるよう画像分解能と感度が高い検知波長 3~5 μm のものを採用した。データ処理装置には、小型・軽量化、低価格化のためパソコンを用いた。なお、この処理装置はセンサからのデータ取り込みから表示まで一連の処理をリアルタイムで行う必要があることから、処理装置（パソコン）用の簡潔で高速化が容易な処理プログラム開発が必要である。

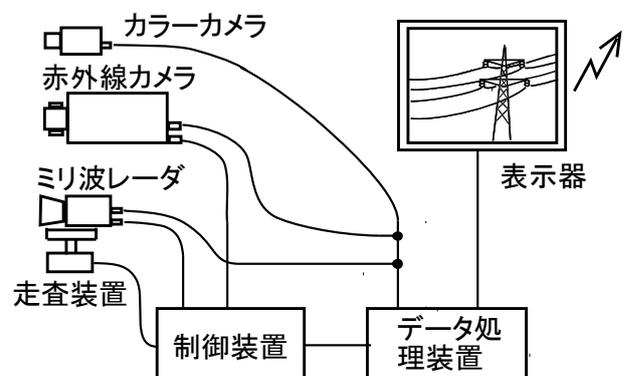


図 1 障害物探知・衝突警報システムの基本構成

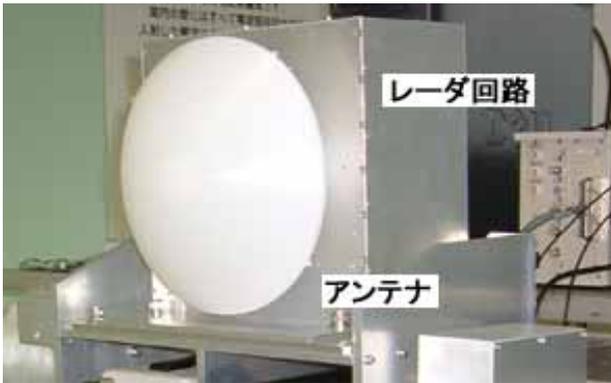


図2 ヘリコプタ搭載用高出力レーダ

本システムの特徴は、パイロットに提供する障害物の画像を赤外線及びカラーカメラで生成することである。ミリ波レーダは、障害物までの距離を測定するために使用する。この方法は、従来提案されてきたレーダビームの高速掃引による障害物画像生成法に比べ、画像生成が著しく容易となるため、レーダが簡易化できシステムの小型化に役立つ。

3. ヘリコプタ搭載高出力レーダの開発

ミリ波レーダは、自動車の衝突防止用としては広く研究され一部実用化されている。しかし、航空用は自動車用の10倍近い探知距離が必要なため、現在公表されたレーダは見あたらない。そこで、電子航法研究所は（株）IHIエアロスペース、日立エンジニアリング（株）、（株）アンプレット、電気通信大学及び仏・ニース大学と共同で航空用ミリ波レーダの開発に着手した。まず実験用低出力(10mW)レーダを開発し、その周波数安定性、距離精度、不要反射波抑圧特性等レーダの基本性能を評価した。その結果をもとに、ヘリコプタに搭載できる高出力レーダの設計・開発を行った。

図2は、ヘリコプタ搭載用高出力レーダの外観で、大きさ280 x 280 x 314mm、重さは約10kgである。図の白いレドーム内には直径25cm、利得44dBiのカセグレンアンテナが納められている。なお、このアンテナは将来高性能アンテナが開発されたときは交換できる構造としている。表1は、実験局として認定されたこのレーダの基本仕様で、周波数は94.05GHz、空中線電力は約0.1Wである。

このレーダの性能測定のため、（独）交通安全環境研究所・自動車試験場で地上実験を行った。図3は測定配置と測定結果である。測定対

表1 ヘリコプタ搭載用高出力レーダ仕様

中心周波数	94.050 GHz
占有周波数帯域幅	197MHz
空中線電力	0.102W (+20.1dBm)
不要放射電力(スプリアス)	< -19dBm

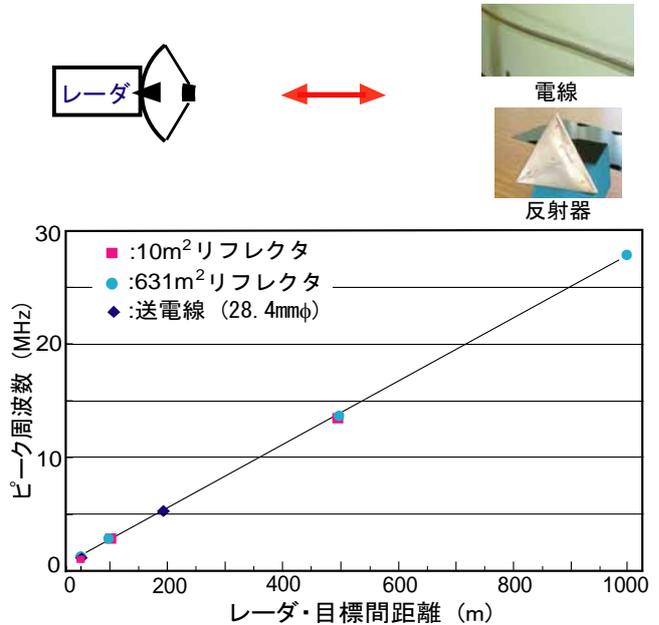


図3 高出力レーダの性能測定配置と測定結果

象は、直径28.4mm、長さ2mのアルミ電線（レーダ断面積最大約10m²）と2種類のレーダ反射器（レーダ断面積10m²及び631m²）で、それらとレーダ間の距離を変化させつつレーダ出力を観測した。測定結果の横軸は、レーザ測距装置（誤差±50mm以下）によるレーダと障害物間の距離、縦軸はレーダ出力波形（送・受信信号の合成で得られたビート周波数スペクトル）中の目標に対応するピーク信号の周波数である。このレーダは、レーダ断面積10m²及び631m²の反射器をそれぞれ50-500m及び50-1000mの範囲で探知した。一方、電線は設置高さが1mと低かったことから、地上反射波の影響を受け200mを超える遠方では検出できなかった。図3から、このレーダは距離誤差が2%未満と小さく、本研究の用途に十分適合できる高い精度を有することがわかった。

以上、開発した高出力レーダは1000m離れたレーダ断面積631m²の目標を探知でき、距離精度も充分高いことが明らかとなった。現在、探知距離を更に拡張できるように、レーダ出力のSN比を高める方法について検討している。

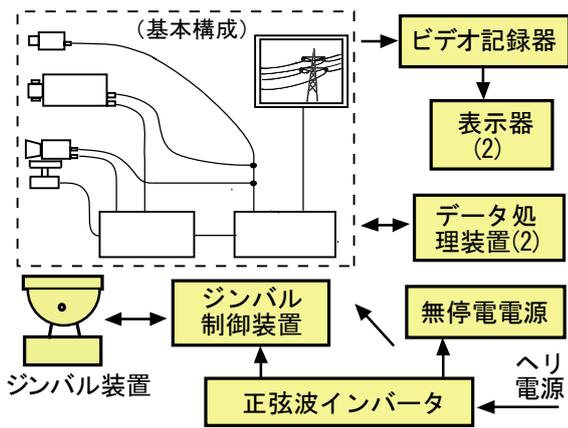


図4 搭載用障害物探知システムの構成



図5 ヘリコプタ上の障害物探知・衝突警報システム

4. ヘリコプタ搭載障害物探知システム

これまでの研究結果をもとに、ヘリコプタに搭載可能な障害物探知・衝突警報システムを試作した。図4はその構成で、破線内の基本構成（図1参照）にビデオ記録器、表示器(2)、ジンバル装置、同制御装置、無停電電源、データ処理装置(2)等を付加した。これらの付加装置は、実験データの記録や実験の信頼性向上のため必要な機器である。なお、基本構成中のレーダ走査装置は現在設計中でまだ設置されていない。

このシステムを用いた検証飛行実験の準備を川崎重工業（株）の協力で行った。実験用ヘリコプタは川崎ヘリコプタシステム（株）所有のBK-117型機である。まず、電源供給用正弦波インバータ（AC100V、1.5kVA）と2基の機器搭載用ラック（モニタラック、制御ラック）を機体に取り付け、次いでシステムを構成する各機器を搭載した。図5は、ヘリコプタ上の障害物探知・衝突警報システムで、ミリ波レーダ等のセンサはジンバル装置上に、データ処理装置、記録器、表示器等はモニタラック内に設置した。また、無停電電源、ジンバル制御装置等はモニタラック裏側の制御ラックに搭載した。

なお、上記ラックの寸法はそれぞれ 820 x 700 x 450mm、620 x 645 x 440mm、システムの総重量は約210kg、最高消費電力は約1.5kVAとなり、システム全体としては相当大型となった。しかし、図4の基本構成部分のみを考えれば、システムは大幅に小型・軽量化でき、現段階での重量は約47kgである。

このシステムをヘリコプタに搭載した状態で地上試験を行った。その結果、すべて機器は

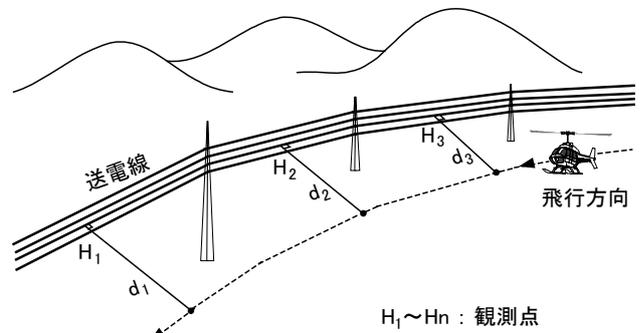


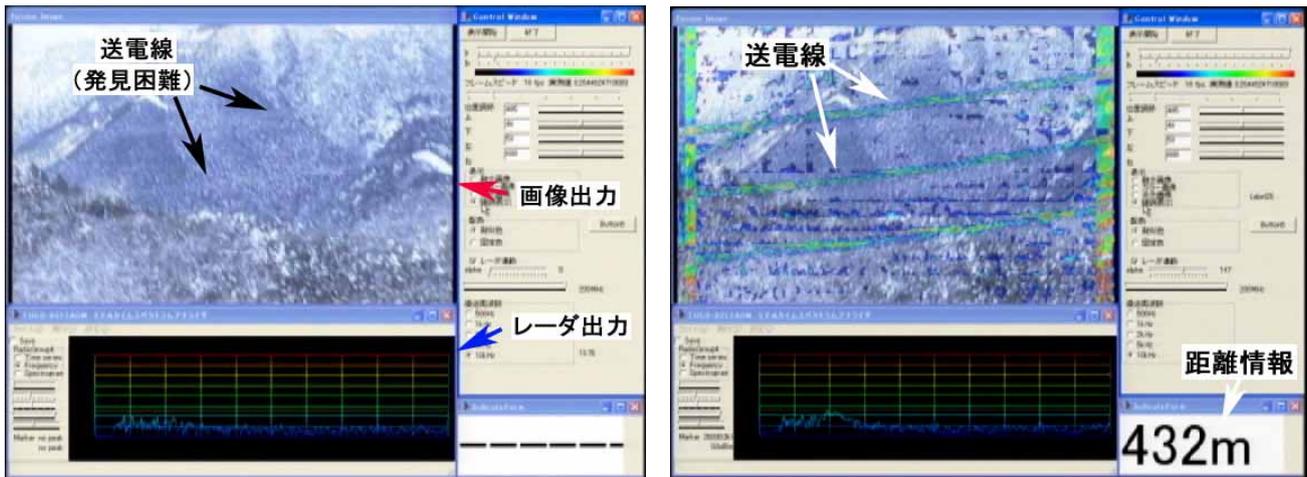
図6 検証飛行実験方法

支障なく機上で動作すると共にシステムの操作が機体に障害を与えることはないことを確認した。また電磁干渉試験から、システムがヘリコプタの機上装置に電磁干渉障害を与えることはないが、ヘリコプタからの無線通信波（VHF）がミリ波レーダの動作に干渉する可能性があることが判明し、レーダの受信部にフィルタを追加する等の改修を行った。

5. 飛行実験結果及び考察

開発した障害物探知・衝突警報システムを用い、送電線を目標に検証飛行実験を行った。図6はこの実験における飛行方法で、まず観測基準点（H₁、H₂等）を設定し、そこからヘリコプタまでの垂直距離（d₁、d₂等）を200から800mまで200m間隔で変化させて、それぞれの点でホバリングしつつ送電線を観測した。

図7はこのシステムによる表示例で、平成17年2月降雪状態の岐阜県武義郡洞戸村付近の山間で収集したものである。図中左上の窓は赤外線及びカラーカメラからの画像、左下の窓はミリ波レーダの出力波形である。図7(a)はカラー



(a) カラーカメラのみによる障害物表示 (b) 障害物を探知したときの表示
 図7 障害物探知・衝突警報システムによる障害物表示例

カメラのみによる障害物の表示で、この画像から送電線を発見するのは困難である。一方、図7(b)はこのシステムで障害物を探知したときの表示で、カラー画像と送電線が緑色に強調された赤外線画像とが融合して表示されると共に、レーダからの距離情報も加わっている。また、障害物探知、距離計算及び障害物の強調表示まで一連の処理は毎秒5回程度以上とリアルタイムで行えることが分かった。

現在、実験で収集したデータを詳細に分析中であるが、これまでに本研究の具体的目標である800m先の送電線の赤外線カメラ及びミリ波レーダによる探知、探知した障害物のリアルタイムでの強調表示、いずれも達成できることが明らかとなった。但し、現在のレーダには走査機構がなく、機体の動揺等で送電線を探知できない場合があった。このため、レーダに走査機構を付加し、監視範囲を広げることが今後の課題である。また、今後実用化を目指すためには、システムを小型・軽量化する方法について更に検討する必要がある。

6. むすび

ヘリコプタ搭載障害物探知・衝突警報システム用に、出力0.1W、周波数94.05GHzのFMCWレーダを開発した。地上実験結果から、このレーダは1000m離れた目標を充分高い精度で探知できることを示した。最近開発したヘリコプタ搭載障害物探知・衝突警報システムの構成、特徴等について述べた。次にこのシステムをヘリコプタに搭載して飛行実験を行った。その結

果、このシステムは800m先の送電線を探知し、かつそれをリアルタイムで強調表示できることが明らかとなった。

ヘリコプタ用障害物探知・衝突警報システムに関する要素技術の研究を進め、その技術を用いたヘリコプタ搭載システムの開発と性能検証をほぼ終えることができた。このシステムを実用化するときの主な課題としてシステムの小型化とレーダの監視範囲の拡大が上げられ、これらについて今後さらに検討を進めたい。

本研究は、(独)鉄道建設・運輸施設整備機構基礎研究制度の支援を受け実施しています。

文 献

- (1) 倉谷直彦, “対地衝突回避機能付き航空用GPS/MAP装置の概要”, 第14回誘導制御シンポジウム, pp.57-62, Nov.1997.
- (2) G M Hogg, “CLARA - A Coherent CO₂ Multi-Mode Laser Radar,” Proceedings of IEE Radar 97, No.449, pp.678-682, 1997.
- (3) H. Essen, S. B. Boehmsdorff, “On the Scattering Mechanism of Power Lines at Millimeter-Waves”, IEEE Trans. on GRS pp. 1895-1903, Vol.40, Sep. 2002
- (4) K. Yamamoto, K. Yamada, “Image Processing and Fusion to Detect Navigation Obstacles,” Proceedings of SPIE, Vol. 3374, pp.337-346, 1998.
- (5) 山本憲夫他, “ミリ波/赤外線によるヘリコプタ用障害物探知システム”, 第42回飛行機シンポジウム, Oct. 2004.
- (6) N. Yonemoto, et al., “A New Color, IR and Radar Data Fusion for Obstacle Detection and Collision Warning”, Proceedings of SPIE, Vol. 5424, pp.73-80, April, 2004.

