

# 11. 飛行障害物検出のための処理とミリ波レーダ

電子航法開発部 ※山田 公男 山本 憲夫 安井 英己\* 日比 祥博\*\* 根日屋 英之\*\*\*  
 \*(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

## 1. はじめに

ヘリコプタ等の小型機は、輸送、監視、農薬散布等のため低空を有視界飛行することが多い。この有視界飛行において送電線や架空線等の線状障害物に衝突する事故が発生している。運輸省航空事故調査委員会の報告書を見ても、衝突事故が繰り返し生じていることが分かる。これは、有視界飛行環境下においては、送電線等の障害物は細長くかつ色調が暗いため、背景との前後関係で日視での発見が困難になるのが原因の一つと考えられる。このため、前方をセンサで監視し、障害物を自動的に検出して、パイロットに警報を与える障害物探知・衝突警報システムの開発が望まれている。

これまでに、ヘリコプタ等の小型機の飛行障害となる線状障害物探知に関して多くの研究が行われている。例えば、GPSで得た自動位置データと地図データとの照合から障害物の位置を推定する方法<sup>(1)</sup>、レーザレーダの線状障害物検出性能に関する報告<sup>(2)</sup>、レーザレーダを用いた衝突警報システムの製品化<sup>(3)</sup>、ミリ波レーダを用いた送電線のレーダ断面積に関する解析<sup>(4)</sup>、また自動車の車間距離監視用として小型、軽量のミリ波レーダ等いろいろな報告がある。しかし、我々の研究の目的のためには、これらの研究は精度や検知距離がまだ不十分であり、また軍用が主目的であったり、基礎研究段階であったりするものが多く、実用化のためには多くの問題が残されているのが現状である。

そこで、当研究所ではヘリコプタ用に小型、軽量かつ安価な障害物検知・衝突警報システムを開発するための基礎技術とデータ処理手順等の研究を行っている。これまでに、センサとして赤外線カメラを使用し、その画像に含まれるノイズを低減し、送電線を識別するための画像

データ処理手順および障害物の表示方法について検討<sup>(5),(6)</sup>を進めている。さらに、赤外線カメラによる情報に障害物までの距離情報等を追加し補強するため、センサとしてミリ波レーダの併用を検討している。このため、ミリ波レーダに関する基礎研究と実験用ミリ波レーダの設計、試作を行っている。

本報告では、地上実験で得られた赤外線画像の特性について述べる。次に、赤外線画像から障害物を抽出するための画像データ処理手順について紹介する。さらに、画像データを補強するため、現在試作中の実験用ミリ波レーダの概要を述べる。

## 2. 赤外線カメラによる観測

### 2.1 観測システムの構成

検知センサとしての赤外線カメラを中心とする障害物観測システムを作り、線状障害物の観測・実験を行った。図1に観測システムの系統図を示す。

赤外線(IR)カメラとしては、三菱電機製IRM700を用いた。この赤外線カメラの検知波長は3~5μm、センサ画素数801×512、雑音等価

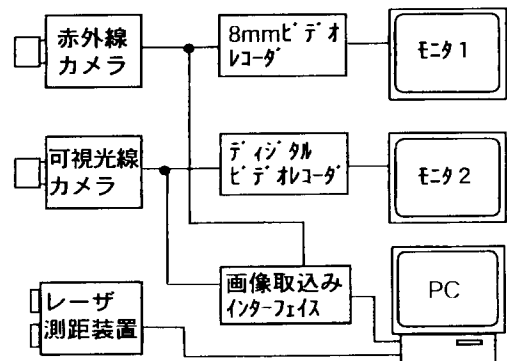


図1 障害物観測システムの系統図

温度差 $0.08^{\circ}\text{C}$ 、視野は $1000\text{m}$ 先で $250 \times 200\text{m}$ 、最小分解能は約 $0.5 \times 0.4\text{m}$ である。画像比較のため検知波長が異なる赤外線カメラ（ランクテラ ホブソン TICM II、検知波長 $8 \sim 12\mu\text{m}$ 、分解能は縦416本、横NTSC）を用いた。また、目視に対応する画像を得るため、水平解像度が570本の3CCDカラーカメラ（ソニー、XC-950）を用い、その視野はズームレンズにより前述の赤外線カメラとほぼ同一にした。赤外線画像の記録には $8\text{mm}$ ビデオレコーダを、カラー画像の記録にはデジタルビデオレコーダを用いた。

観測は、地上における測定車による実験と、航空機による実験を実施した。

地上観測では、地形、背景、目標までの距離、気象状況、観測時間等を変えて実験を行い、赤外線カメラによる線状障害物の検出特性を評価した。その結果、目視および可視光線カメラでは見落としやすい送電線を、赤外線カメラでは検出できる可能性がかなり向上することが分かった。ただし、雲や霧が深い環境では、赤外線カメラでも送電線の検出はむづかしくなり、それらに対する対策を検討する必要がある。また、赤外線カメラの画像は全体的にコントラストが低く、ノイズの影響も受けやすいため、障害物の位置、形状等の確認が容易になるように、画像の明瞭度を上げる必要がある。

## 2.2 測定結果と画像処理

地上において、測定車に障害物観測システムを搭載し、関東平野周辺の山沿いで送電線等の線状障害物を観測・記録した。その実験結果と画像処理の例を以下に示す。

図2は神奈川県相模原湖町で観測した例である。(a)はカラー画像で、(b)は赤外線画像である。観測時の天気は曇りで、カメラから送電線までの距離は約 $500\text{m}$ 、背景の山と建物までの距離は約 $700\text{m}$ であった。カラー画像では、背景が空の部分では送電線が確認できたが、山と建物を背景とする部分では送電線の確認は困難であった。一方、赤外線画像ではどの部分の背景でも送電線が白く表示されている。

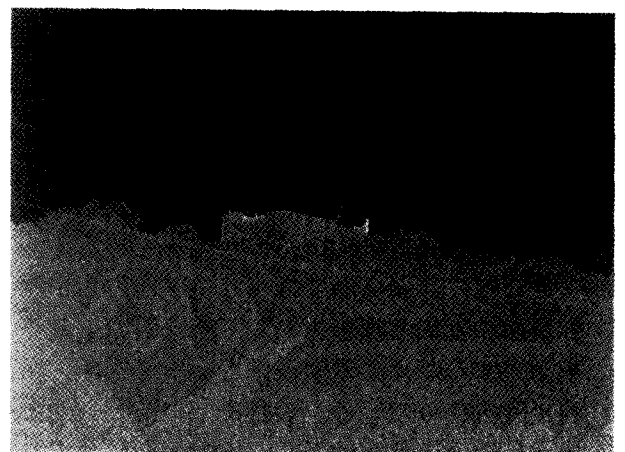
この赤外線画像において、黒(0)から白(255)までを256階調に分解して電線と背景の輝度を調べた。その結果、送電線や背景の輝度は場所

により異なるが、電線、背景間の輝度差（コントラスト）は、背景が山地と空の部分では約18で一定であった。しかし、背景が山の稜線や建物の部分では、コントラストは8程度以下と小さくなり、電線の輪郭が不明瞭となった。しかし、この輝度差を強調し、背景に含まれる不要な情報を抑圧して表示できれば、パイロットはこの障害物による危険の回避が容易になると期待できる。

画像処理としては、図2(b)について、まず背景のノイズを低減するため、アンシャープマスク処理と方向性ローパスフィルタ処理を行った。その結果を図3に示す。方向性ローパスフィルタ処理は、電線が水平方向に走っている特性を利用し、水平方向の画素を局所平均化する処理である。この方法によると水平方向に



(a) カラー画像



(b) 赤外線画像( $3 \sim 5\mu\text{m}$ )

図2 送電線観測例（相模湖町）

輝度が高い物体以外では輝度が平均化され、ノイズが低減されている。図3は図2(b)と比較すると電線が強調表示されていることが分かる。この処理は比較的簡単であり、ペンティアム300MHzのプロセッサを持つパソコンで処理時間は1秒足らずであった。ただし、処理された障害物は不明瞭であるため、更なる追加処理が必要である。

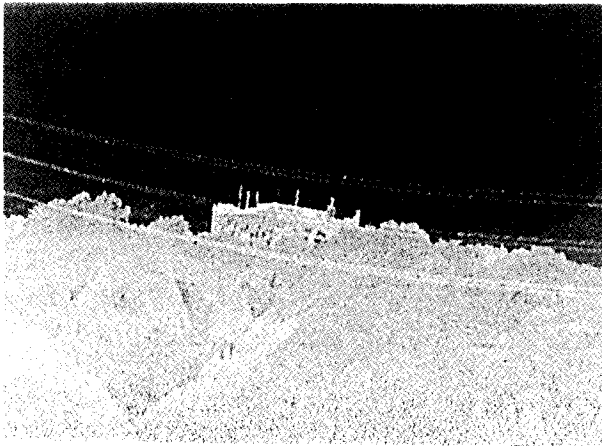


図3 送電線強調表示例(原図は図2(b))

### 3. ミリ波レーダの試作

障害物までの距離等の情報を得ると共に、悪天候で赤外線画像が不明瞭となったときのデータ補強としてミリ波レーダの利用を検討した。

ミリ波(30~300GHz)レーダは、他の周波数のレーダに比べ小型、軽量化が容易であるため、

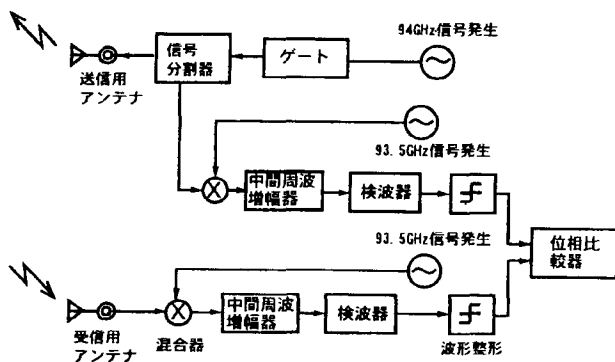


図4 実験用ミリ波レーダ系統図

自動車の車間距離監視用センサとして実用化研究が広く行われている。この自動車用レーダを参考に、ヘリコプタに適用できる実験用ミリ波レーダの設計と一部試作を行った。図4は実験用ミリ波レーダの構成図である。このレーダの周波数は94GHzで、これをゲート回路でパルス化し、カセグレンアンテナにより送受信する。送受信パルス間の位相差比較を行うことで距離測定を行う構成とした。ただし、今後線状障害物の検出に適した変調方式を検討できるように現在のパルス変調をFM-CW方式への変更も可能な設計とした。レーダ出力は10mW程度であるが、今後のパワーアップに対応しやすい設計とした。図5に試作したミリ波レーダの外観を示す。現在はこのレーダの調整と距離測定部分を製作しており、その性能評価実験を行っている。

実験は、送受信アンテナから72m離れた地点にコーナレフレクタを設置し、送信電波をレフレクタに向けて放射する。そして、受信アンテナの向きを変えながら、受信強度(1dB増幅)がスペクトラムアナライザにおいて最大となるような位置に調整した。

受信波形の検波出力と送信波形のタイミング出力をモジュレーションドメインアナライザに入力し、この両出力から距離に相当する位相差をアナライザから読み取った。その測定結果を図6に示す。この例で送受信パルスの位相差は512nsのため、これを距離に換算すると約76.8mとなる。一方、レーダとコーナレフレクタ間の実際の距離は72mのため、測距誤差は約7%であった。ただし、この誤差は複数のデータを

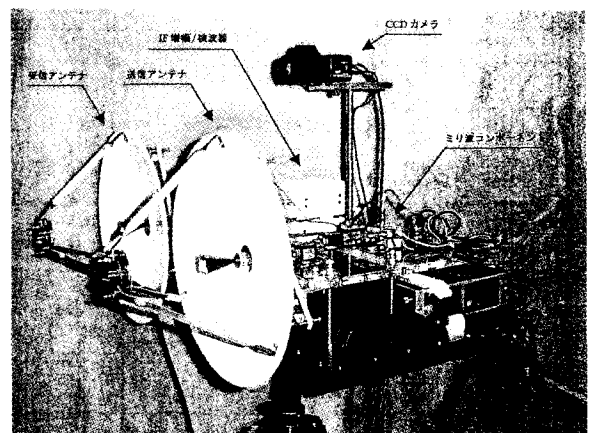


図5 ミリ波レーダの外観

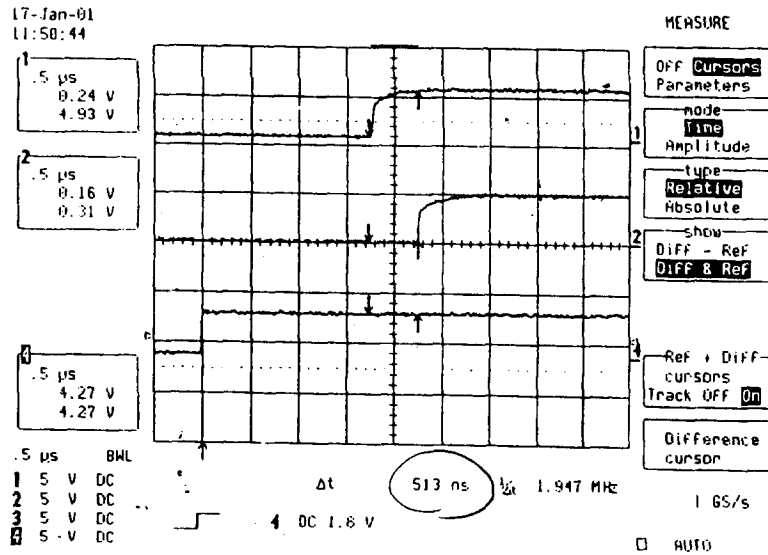


図6 観測結果の一例

平均化することにより低減できる。また、120 mの距離にコーナレフレクタを設置し、同様に測定した結果、正しい距離情報が得られた。以上により、120m以内では目標を検出できることを確認した。

#### 4. むすび

ヘリコプタ等の小型機用の障害物探知・衝突警報システム開発のため、センサとして画像分解能の高い赤外線カメラを用い、送電線を観測する実験を送電線の背景や距離等の条件を変えて行った。

その結果、雲や霧が深い場合を除き、赤外線カメラを用いると、目視では発見がむづかしい障害物を検出できる確率が大幅に高くなることが分かった。ただし、赤外線の画像はコントラストが低いいため、ノイズを低減しコントラストを上げるための画像処理手順について検討した。

また、障害物までの距離等の追加データを得るため、実験用ミリ波レーダの試作を行い、障害物に対応するコーナレフレクタを設置して距離を測定した結果、正常に動作することを確認した。

今後、赤外線画像から目標を識別する精度の向上法や処理手順の高速法、およびミリ波レーダでは送電線確認のための実験ならびにFM-CW

方式への変更やパワーアップによる検出距離の延長をはかる予定である。

#### 参考文献

- (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) 斉藤英明他, “レーザによる障害物探知技術について”, 電子情報通信学会 宇宙航行エレクトロニクス研究会, SANE93-89, pp. 1-6, Feb. 1994.
- (3) Daimler-Benz Aerospace, “HELLAS Obstacle Warning System for Helicopters”, (カタログ)
- (4) 山口裕之, 梶原昭博, 林尚吾, “高圧送電線のミリ波帯レーダ反射断面積の特徴”, 電子情報通信学会論文誌B Vol. J83-B No. 4 pp. 567-579 2000.4
- (5) 山本憲夫, 山田公男, “小型機用衝突警報のための障害物検出・識別法”, 日本航空宇宙学会 第36回飛行機シンポジウム, pp. 157-160, Oct. 1998
- (6) 山本憲夫, 山田公男, “ヘリコプタの障害物探知・衝突警報システム”, 日本航海学会航空宇宙研究会 秋季講演会 講演概要, Oct. 2000