

# 17. TV画面を用いたASDE補完システム

航空システム部 ※加来 信之

## 1. はじめに

空港面を走行する航空機の監視は現在管制官の目視により行われているが、夜間や霧など気象条件の悪い場合このような方法では監視できない。そこで空港面の航空機を監視する準ミリ波の空港面探知レーダ[1](ASDE)が用いられている。ところが、これは反射信号をそのまま表示する1次レーダのため、表示された機影で航空機の位置は判読できるが、どのような航空機か識別することが難しい。そこでこのレーダ信号から航空機を検出・追尾し、航空機をシンボルで表わすとともに、コールサイン、機種などの航空機情報をタグとして付加する航空機自動識別表示システム[2][3](ASSS)を開発した。

しかし、ASDEは建物などによる遮蔽区域やアンテナ近傍での不感区域などのブラインドエリアが発生するため、レーダだけでは航空機を監視できなくなる場合がある。このブラインドエリアを走行する航空機を監視するため、TV画像から航空機の位置を検出しASDEと相互に航空機の情報を交換して、空港内の全ての航空機を監視するTV画像監視装置[4]を平成8年度に開発したが、天候などの環境変化や静止機体の検出などに問題を抱えていた。

これらの問題点を解消する目的で改修した監視装置を仙台空港に設置し評価実験[5]を行ったので、その評価結果を報告する。

## 2. ASSSの概要

ASSSは、空港面を走査するASDE、飛行中の航空機を監視する空港監視レーダ(ASR)と2次監視レーダ(SSR)及び全ての航空機の情報を管理する飛行計画情報処理システム(FDP)を用いて、航空機の位置、情報を取得し、管制官にその情報を提供するシステムである。地上の航空機はASDEの反射信号から航空機の位置を求められるが、どのような航空機であるかの識別ができない。そのため空港に着陸する前の航空機をASR/SSRを用いて検出し、各航空機が個別に保有する

SSRビーコンコードを解読する。この解読したビーコンコードとFDPデータとを追尾処理装置で照合して航空機のコールサイン、機種などの航空機情報を求め、高機能表示装置上に、航空機の位置をシンボルで表すとともに、航空機情報をタグとして付加する。ASSSのブロック図を図1に、高機能表示装置の表示例を図2に示す。

## 3. TV画像監視装置の概要

空港面のTV画像は、その大部分が滑走路、誘導路、芝地などの路面とターミナルビル、格納庫などの建物で占められており、ほとんどの画素の輝度の時間変動は緩やかである。このような特性を利用して、時間経過に対する変動を平滑化して背景画像を構成し入力画像との差分をとると、移動目標のような急激な変動がある画素は輝度に大きな差が生じる。この輝度差を用いて航空機を検出し、その位置を求めるのがTV画像監視装置である。

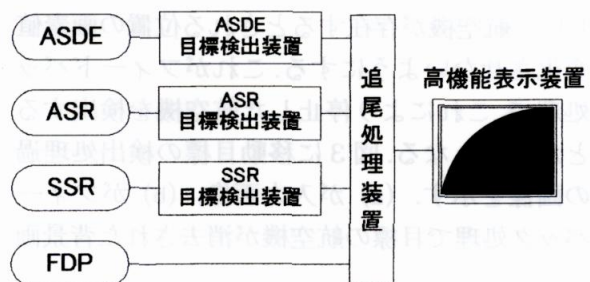


図1 ASSSブロック図

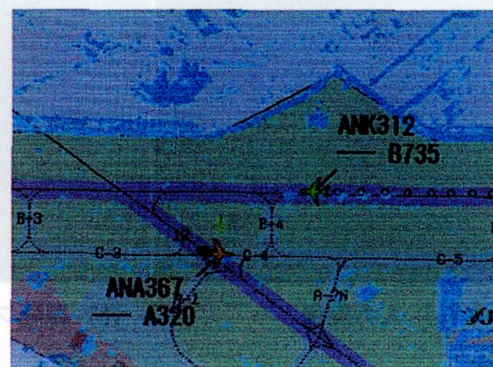


図2 ASSSの表示例(仙台空港)



(a) 入力画像

(b) 背景画像

(c) 移動目標検出結果

図3 移動目標検出処理

このような背景差分検出方式の問題点は、航空機が停止したとき検出が不可能になることと、移動する雲の陰を検出してしまふことである。これらの問題点を解決するため、停止した航空機の領域の背景画像を更新しないようにするフィードバック処理及び航空機の大きさに相当する輪郭の輝度情報を抽出することで、雲の影などの影響を防ぐ線幅フィルタ処理を採用した。

画像の時間経過による変動を平滑化して背景を作成する方式では、航空機が停止したときその航空機が背景の一部になってしまい、航空機が検出できなくなる。この問題を防ぐため、検出した移動目標の情報をフィードバックして、背景作成において航空機が存在するとされる位置の画素値を変化させないようにする。これがフィードバック処理で、これにより停止した航空機を検出することが可能となる。図3に移動目標の検出処理過程の画像を示す。(a)が入力画像、(b)がフィードバック処理で目標の航空機が消去された背景画

像、(c)がこれらの差分をとった移動目標検出結果である。

線幅フィルタは、空港面においては航空機の胴体や翼などの太さの要素で構成されるものが少ないことを利用し、路面に描かれた線や細かい模様を消去し、さらに航空機よりも大きな建造物、芝地、雲の影などの大きな陰影も消去するものである。これは平均値フィルタと中央値偏差フィルタで構成されている。平均値フィルタは注目している位置の画素値をその周辺の画素値の平均値とし、入力画像の画素値の空間的变化を穏やかにするものである。中央値偏差フィルタは、注目している位置の画素値とその周辺の画素値の中央値との差の絶対値を、出力画素値とし、入力画像の緩い輝度変化を取り除くものである。この両フィルタの結果の差分をとることにより、路面の模様のような細かい変化を除去し、芝地と路面との境界のような大きな変化を除去することができる。図4に線幅フィルタ処理過程の画像を示す。(a)が入力



(a) 入力画像

(b) 線幅フィルタ処理結果

(c) 目標候補抽出結果

図4 線幅フィルタ処理

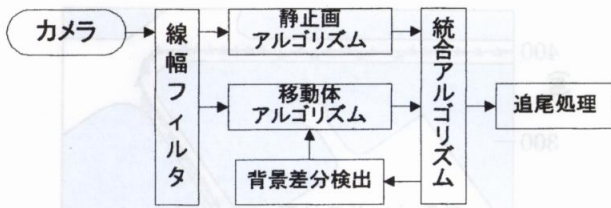


図5 TV画像監視装置ブロック図

画像、(b) が線幅フィルタ処理を行った結果で芝地と路面との境界や細かい模様が消えており、(c) がこれを2値化したもので目標の候補となる画像である。図5にこれらの機能を付加したTV画像監視装置のブロック図を示す。

航空機の位置は、検出目標画素を包含した方形の中心をその位置とし、画面の中におけるこの中心位置の画角とカメラ設置位置との関係から求める。従ってカメラが高い位置に設置可能であれば、カメラからの俯角により航空機までの距離を求めることができる。しかしカメラを低い位置にしか設置できない場合は、俯角の情報を利用できないため、カメラ2台を設けてステレオ方式で位置を求める必要がある。

ASDEのブラインドエリアには2種類あり、一つはアンテナ近傍の不感区域で、他は建物の遮蔽区域である。ASDEのアンテナは通常見通しのよい管制塔の上に設置しており、アンテナ近傍のブラインドエリアはカメラからの俯角が大きく得られる場所である。これに対して建物による遮蔽区域では大きな俯角を得ることができないので、ステレオ方式を用いなければならない。

#### 4 評価実験

改修したTV画像監視装置を仙台空港に設置した実験用ASSSに接続し、ASDEのブラインドエリアにおける航空機の監視性能を評価した。評価実験は、ASDE鉄塔にカメラを設置して俯角の得られる場合と、誘導路B3付近に仮想的なブラインドエリアを設けてステレオ方式による場合とを実施した。図6に仙台空港の地図とカメラの配置状況を示す。ASDEアンテナ周辺の赤い円が不感地帯を、左側の赤い矩形が仮想ブラインドエリアを示している。

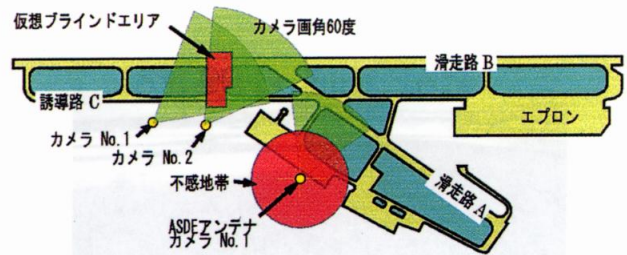


図6 仙台空港地図

#### 4.1 不感地帯における評価

レーダは送信パルスが受信機を破壊しないように、パルス送信後しばらく受信できないように作られている。そのためアンテナ周辺は、目標の検出ができない不感地帯が生じる。ASDEアンテナは通常空港内で最も高い管制塔上部に設置しているため、同じ場所にカメラを設ければこのような不感地帯に対しては十分な俯角が得られる。今回の実験は、ASDEアンテナを設置した鉄塔上部(30m)に視野角60度の可視カメラを設け、鉄塔近くのエプロンに出入りする実験用小型航空機(B-99:全長14m)を用いて実施した。図7に実験用ASDE鉄塔とカメラの設置状況を示す。

図8に評価実験のときのTV画面の例を示す。これはアンテナ直下のエプロンより出発した実験

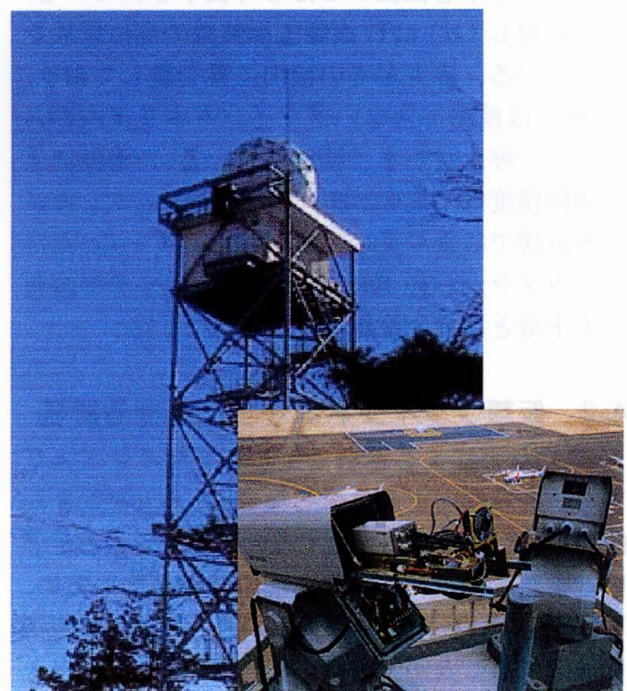


図7 ASDE鉄塔とカメラ



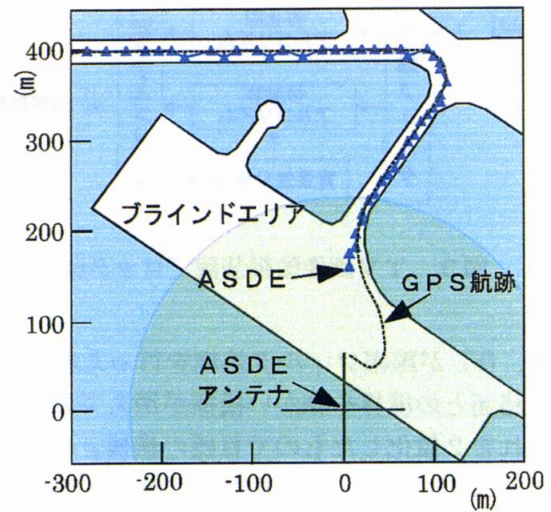
図8 TV画像での目標検出例 (B-99)

用航空機の検出位置を表したもので、白枠が航空機の位置とその大きさを、白点が検出位置の航跡を示している。

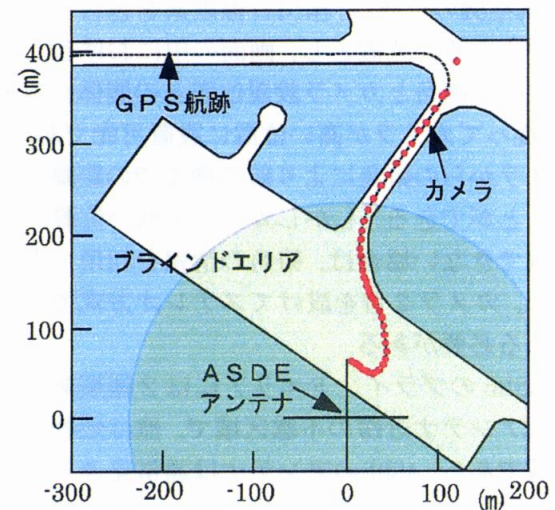
図9にASDEとTV画像による検出位置の航跡を示す。これは、着陸した航空機が誘導路CからASDE直下のエプロンに入り、スポットで停止するまでの航跡である。(a)がASDEで検出した航跡とキネマティックGPSで測定した航跡の比較例で、青三角が1秒毎のASDE検出位置を、点線がGPSの航跡を表している。エプロンの手前で薄く塗りつぶした円形のブラインドエリアに入るため、ASDEによる目標検出ができなくなるが、追尾処理による予想位置がしばらく表示されている。これに対し(b)はTV画像監視装置の測位結果を示している。赤丸がその検出位置を表しており、ASDEでは検出できないブラインドエリア内のスポットで停止するまで検出している。TV画像による測位精度は、ASDEの測位精度に比較して、カメラの近傍ではより良い精度が得られている。ただし、カメラから約400m離れると、カメラの俯角が不十分となり測位精度が劣化している。

#### 4.2 仮想ブラインドエリアにおける評価

建物などによる遮蔽で生じるブラインドエリアが誘導路などで発生する場合、カメラを大きな俯角が得られる所に設置するのが難しいことが多い。またエプロンのような照明装置がないため、可視光線では夜間や気象条件の悪い場合に航空機を検出することができない。そこで(1)二つ以上のカメラで航空機の位置を求めるステレオ方式と、(2)暗い状態でも検出可能な赤外線カメラを



(a) ASDE



(b) TV画像

図9 不感地帯における検出航跡の実例

用いることにした。赤外線カメラは、以前は冷却が必要で耐久時間が短く、かつ高価格であったため、長時間使用する空港面監視には採用できなかったが、非冷却方式の赤外線カメラが最近開発されて耐久時間が延び価格も画期的に低下したため、監視用センサーとして使用可能となった。

仙台空港の実験用ASDEには評価実験に適したブラインドエリアがないため、図6に示すように、空港西側の誘導路B3付近を仮想のブラインドエリアとしてASSSが検出処理をしないように調整し、このエリアを見通せる場所にカメラ2式を設置した。カメラは互いに約200m離れた場所に、可視カメラと赤外線カメラの2台を1式

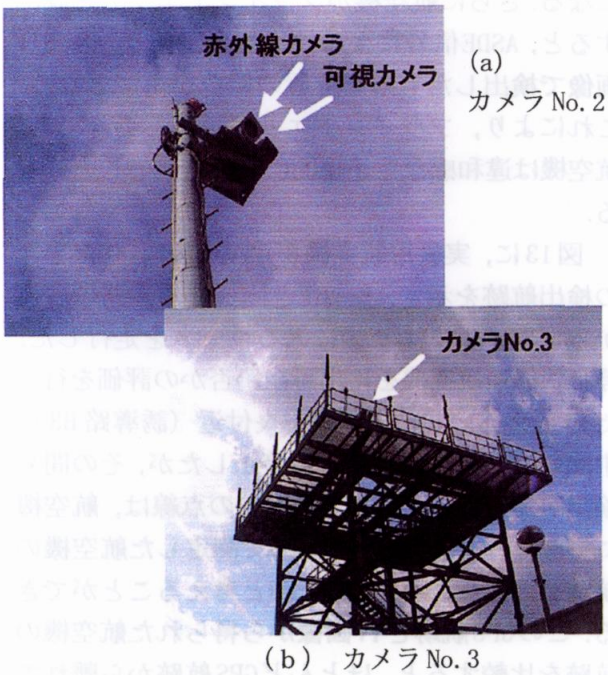


図10 仮想ブラインドエリアのカメラ配置状況

とし設置した。一つは地図の左側のカメラNo. 2で、図10(a)に示す仮設ハンザマスト型の鉄塔上に、誘導路面より20m（15mに変更可）の高さで設置した。もう1台は、地図の右側のカメラNo. 3で図10（b）に示す対空無線受信所の鉄塔の高さ15m（10mに変更可）に設置した。可視カメラと赤外線カメラとも視野角60度の広角レンズで、カメラの視野範囲は地図上に扇型の線で示している。仮想ブラインドエリア内の目標をステレオ方式で測位可能なように、カメラNo. 2とカメラNo. 3の視野範囲は両者ともこの区域をカバーしている。

#### 4.2.1 可視カメラによる検出

図11に可視カメラで撮影した航空機の画像を示す。(a)がカメラNo. 2の、(b)がカメラNo. 3で撮影した画像で、午前11時頃に着陸したB-767（全長47m）を検出したときのもので、白線の枠が検出した航空機の位置と大きさを示している。カメラからこの枠の中心への線を目標線とし、カメラNo. 2とカメラNo. 3で求めた目標線の交点を、航空機の検出位置として算出する。

図12にこのときの航空機の検出航跡を示す。着陸した後、滑走路Bの右側から走行し誘導路B



(a) カメラNo. 2



(b) カメラNo. 3

図11 可視カメラによる画像（B-767）

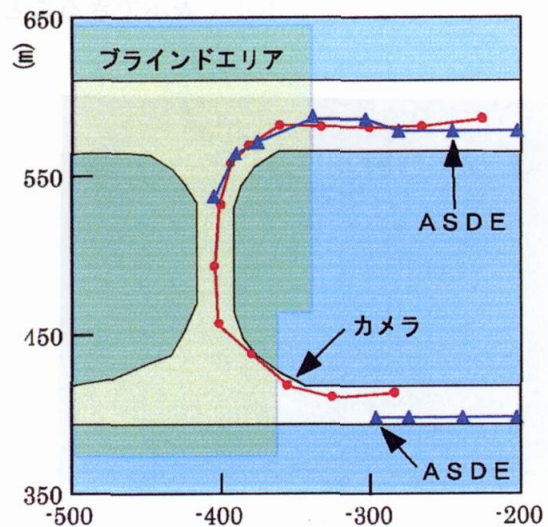


図12 可視カメラによる検出航跡(B-767)

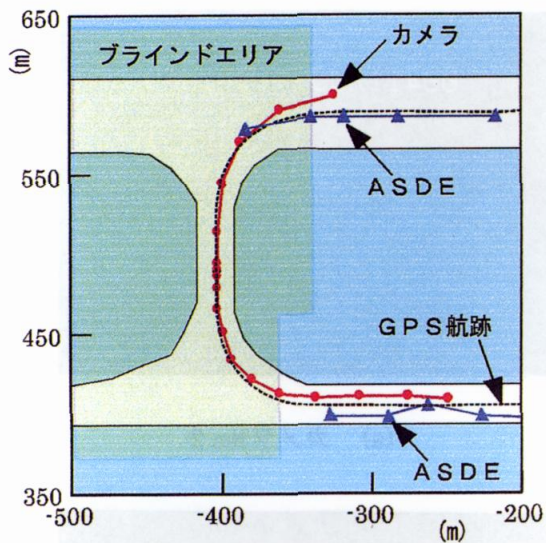


図13 可視カメラによる検出航跡 (B-99)

3に回り込んだときの航空機を検出したデータで、青三角がASDEで検出した2秒間隔の位置、赤丸がTV画像で検出した位置を示している。なお薄く塗りつぶした枠が仮想的なASDEのブラインドエリアを表している。航空機がブラインドエリアに入り込むまではASDE信号で検出し、このエリアに入った後はそれまでの検出結果を用いて予測位置を求めている。このとき既にTV画像からの検出が始まっているため、同一時刻での照合が可能となり、航空機情報をASDE信号からTV画像の検出データに移行させることにより、ブラインドエリアに入り込んで航空機の位置を途切れることなくシンボルで表示できること

になる。さらに航空機がブラインドエリアを脱出すると、ASDE信号による検出処理が始り、再びTV画像で検出したものと位置の照合が可能となる。これにより、ブラインドエリアがある場合でも、航空機は違和感なく連続的に表示されることになる。

図13に、実験用航空機B-99を走行させたときの検出航跡を示す。B-767と同様に滑走路の右側からブラインドエリアに入るコースを走行した。停止状態の航空機を検出可能か否かの評価を行うためブラインドエリアの中央付近（誘導路B3の中間地点）で約30秒間一時停止したが、その間も検出可能であった。なお、図中の点線は、航空機に搭載したキネマチックGPSで測定した航空機の航跡を表しており、真の航跡と考えることができる。このGPS航跡とTV画像から得られた航空機の航跡を比較すると、ほとんどGPS航跡から離れていないことが分かる。

#### 4.2.2 赤外線カメラによる検出

赤外線カメラにより撮影した画像を図14に示す。今回使用した赤外線カメラは、非冷却方式のカメラで、波長8～12 $\mu$ mの赤外線を検出する。図に示した画像は、19時半頃着陸した実験用航空機B-99を撮ったもので、この時間帯は既に真っ暗な状態で、可視カメラでは航空機の存在を確認することができなかった。赤外線カメラでは、エンジンと車輪部分の輝度が強く、機体全体の輝度は弱く現れている。

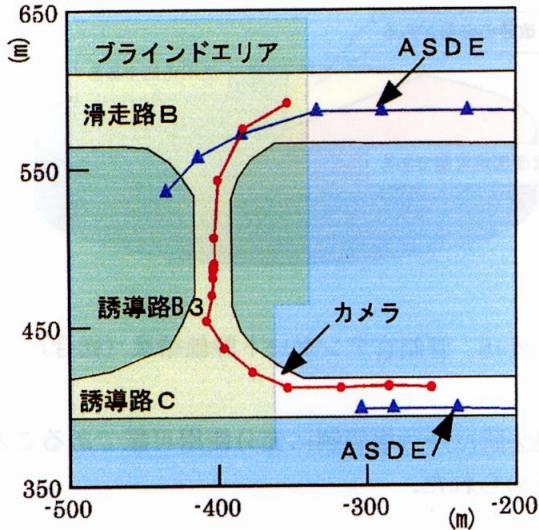


(a) カメラ No. 2

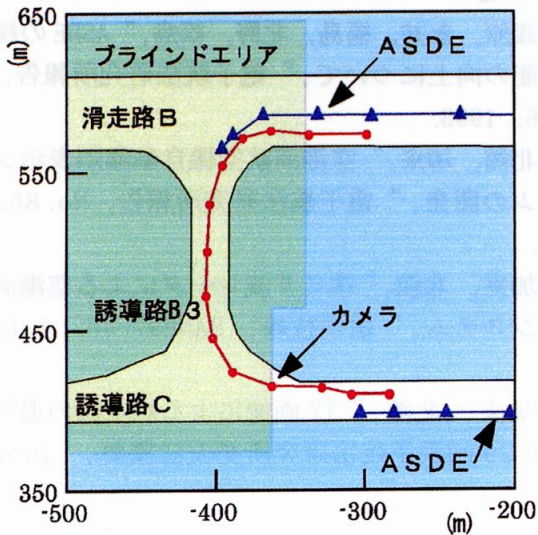


(b) カメラ No. 3

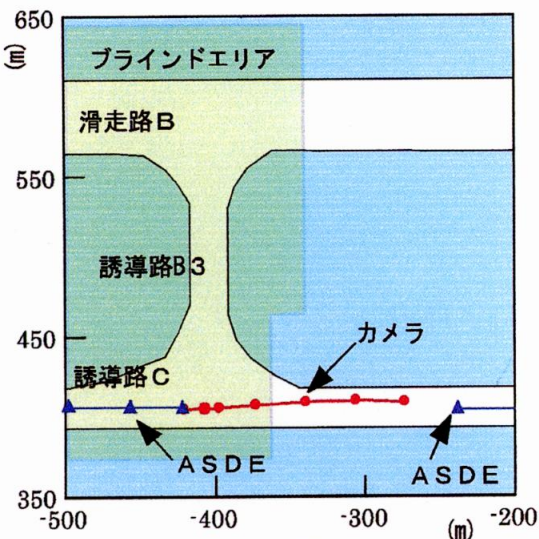
図14 赤外線カメラによる画像 (B-99)



(a) B-99



(b) MD-81



(c) 車両

図15 赤外線カメラによる検出航跡

図15 (a) にこのときの航空機の検出航跡を示す。可視カメラによる実験と同様に、ブラインドエリアの中央付近で約30秒間一時停止している。同一コースを走行した実験用航空機では、可視カメラと赤外線カメラとの間で検出精度に大きな差は生じなかった。

図15 (b) に、19時頃着陸した中型航空機MD-81 (全長約45m) を赤外線カメラで検出したときの航跡を示す。可視カメラで検出したB-767と同様に着陸した後、滑走路Bの右側から走行し誘導路B3に回り込んだときのもので、可視カメラと同じく表示装置上に途切れることなくシンボルを表示することができた。

図15 (c) は、夜間仙台空港の閉鎖後、誘導路を走行した車両の検出航跡である。車両はランドクルーザ (全長約6m) で、暖房状態であったため赤外線カメラにはかなりはっきりした画像で写っていた。車両は誘導路Cを左側から走行し、誘導路B3との交点付近で約30秒停止し、その後再び走行した。この航跡図では、カメラからASDEへの移行時に検出位置の重なりがなかったが、追尾処理をしているため表示装置上では連続して表示可能であった。

## 5. 管制官評価の方法

TV画像による航空機の監視が飛行場管制業務に使用できるか否か、管制官11名のアンケートによる運用評価を実施した。実施内容は、全部で5通りの記録データを再生して、周囲の明るさ、カメラの種類と高さ、目標とする航空機の種類及び走行状態などの使用環境が変化しても航空機の監視が可能か評価した。評価は、次の4点を主眼に実施した。

- (1) ASDE との連続性
- (2) 夜間における航空機の検出
- (3) 旋回時における航空機の検出
- (4) 一時停止時における航空機の検出

評価に用いたデータは、日中に可視カメラで撮影したB-767、夜間に赤外線カメラで撮影したMD-81、日中に赤外線カメラで撮影したB-99、日中に可視カメラで撮影したサーブ2000 (全長約29m) 及び夜間実験用車両を誘導路に乗り入れて赤外線カメラで撮影したときのデータである。こ

のような5種類のデータを再生・検出処理して、ASSSの表示画面にASDEと連続して航空機の位置をシンボルで表示し、管制官の意見を求めた。

実際の運用にこのシステムが使用可能か問うた総合評価の結果は、図16に示すように「使用可能である」が5名、「ほぼ使用可能である」が5名及び「改善の必要がある」が1名であった。「使用可能」と「ほぼ使用可能」が、11人中10人と圧倒的に使用可能と判断しており、TV画像監視装置は飛行場管制に充分使用可能と認められた。

## 6. むすび

ASDE信号から航空機を検出し、シンボルとして表示するとともに、その航空機のコールサイン、機種などをデータブロックとして付加するASSSを開発した。しかし、空港面においては建物によるレーダの遮蔽領域が発生しやすく、この領域に航空機が入ると検出不可能になり、航空機が監視できなくなる。そこで、遮蔽領域を走行する航空機をTV画像から検出し、レーダによる検出を補完するTV画像監視装置を開発した。

この監視装置を仙台空港に設置し評価実験をおこなった結果、TV画像から移動中でも停止中でも航空機を検出できるようになった。またASDEによる検出目標とTV画像による検出目標との相互の情報移行が可能となった。

その後TV画像による航空機の監視が飛行場管制業務に使用できるか否か、管制官11名のアンケートによる運用評価を実施した結果、TV画像

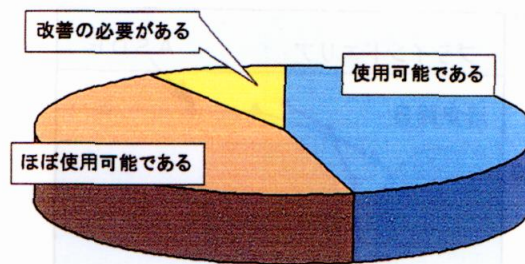


図16 管制官アンケート評価結果（総合）

監視装置は飛行場管制に充分使用可能であることが認められた。

## 参考文献

- [1] 篠原, 永井, 福島, 北野, 松島, "ASDEの探知性能の向上について," 電子航法研究所報告, No. 76, 1993.
- [2] 北舘, 加来, "空港面航空機自動識別表示システムの開発," 電子航法研究所報告, No. 86, 1996.
- [3] 加来, 北舘, "準ミリ波レーダによる空港面監視システム," 信学技報, SANE97-40, July 1997.
- [4] 加来, 北舘, "TV画像による航空機の追尾," 第29回電子航法研究所発表会概要, June 1997.
- [5] 加来, "TV画像による航空機の監視," 信学技報, SANE2001-103, Dec 2001.