

空港面監視システムによる航空機検出の位置精度

加 来 信 之

Position accuracy of Airport Surface Surveillance System

Nobuyuki KAKU

Abstract

We have developed the Airport Surface Surveillance System (ASSS) to enhance safety and efficiency of the ground control on airport surface. ASSS is capable of detecting aircraft on surface using Airport Surface Detection Equipment (ASDE) and displays detected aircraft on the screen as graphical symbols together with call-signs and other information. But the ASDE image of aircraft changes significantly with effect of aircraft attitude because of its extremely high resolution. This effect needs to be evaluated quantitatively to ensure the performance of ASSS. Then we have conducted an experiment to compare the aircraft position detected by ASDE with GPS-derived reference position to evaluate the detection error.

The result shows that the detection error is about 3.6m, which is the ASSS's minimum processing range unit, despite of aircraft attitude.

1 まえがき

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：Airport Surface Detection Equipment）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空港面監視システム（ASSS：Airport Surface Surveillance System）を開発した^(2,3,4,5)。

ASDEの機影は、航空機の形状を確認できるほど分解能が高いため、通常の航空管制用レーダとは異なり複雑な形状の認識処理を行う必要がある。そこでASSSの場合は、反射信号の方位方向および距離方向の連続性から機影の形状を認識し、機影の中心を航空機の位置と判断する処理を行った。ところが、機影の形状は航空機の向きにより大きく変化するため⁽⁶⁾、航空機が旋回したときその中心位置が航空機の真の位置からずれる可能性がある。

本論文では、このような機影の形状変化により検出位置がどのような影響を受けるかを知るため、GPSによる測位結果を基準としてASSSの検出位置精度を求めた結果を報告する。GPSはレーダに比べると非常に測位精度が高いため、近年レーダや航法援助施設の測位精度の検証に用いられている^(7,8)。

最初に、大きさによる誤差が現れにくい小さな車両を目標として、これにGPS受信機を搭載し、直進時と旋回時の検出位置精度を測定した。その後、実験用小型航空機にGPS受信機を搭載し、航空機に対する検出位置精度を調べた。さらに、旅客機の検出位置精度についても検討を行った。実験の結果、航空機の向きによる検出位置への影響はいずれもASSSの分解能と同程度以下にとどまり、実用上問題のないことが判明した。

2 ASDEの概要

ASDEは空港面を監視するのが目的であるため最大探知距離は3NM（1NM=1,852m）と非常に短い

表2.1 ASDEの性能

項目	定格等
送信周波数	24.25~24.75GHz
アンテナ出力	30kw（尖頭出力）
パルス幅	20±5 ns
繰返し周波数	14,000pps±10%
受信機雑音指数	5 dB以下
受信ビーム幅	0.3度
偏波	円偏波
アンテナ利得	45dBi
アンテナ回転数	60±10rpm

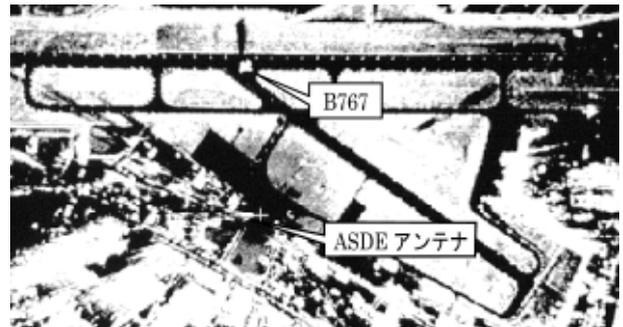


図2.1 ASDE表示画面

空港内の航空機と車両の位置確認に用いるため、他の航空管制用レーダと比べて距離および方位方向の分解能が高い。ASDEは表2.1に示すように、分解能を高めるため幅20nsのパルスを、水平ビーム幅0.3度のアンテナから、周波数24.5GHzで送信する。目標からの反射信号を表示装置に表示したとき、レーダから0.5NM離れた位置において、方位方向では10m、距離方向では8m離れた2つの目標をそれぞれ識別できる分解能を有している。図2.1に、表示装置に表示された反射信号の実例を示す。この表示例は、仙台空港に着陸したボーイングB-767が滑走路を走行しているときのものです。胴体と翼が判別できる。

図2.2は、滑走路を右から左へ走行しているB-767の反射信号を10nsでサンプリングしたもので、最大レベル2Vの信号を10等分して0.2V間隔の等高線で表わしている。縦軸はアンテナから放射状に見た方向（距離方向）で800nsすなわち120mの範囲を、横軸が方位方向で256 sweep（1 sweep≒0.026°）すなわち6.6°の範囲を示している。図の上下にあるレベルの高い部分は、滑走路脇の芝地からの反射信号である。なお上部の芝地の空白部分は、芝地が航空機で遮蔽されている領域である。滑走路面がほとんど0Vなのに対し、航空機は信号の大部分が1V以上でレベル差が大きいため、航空機の検出処理は

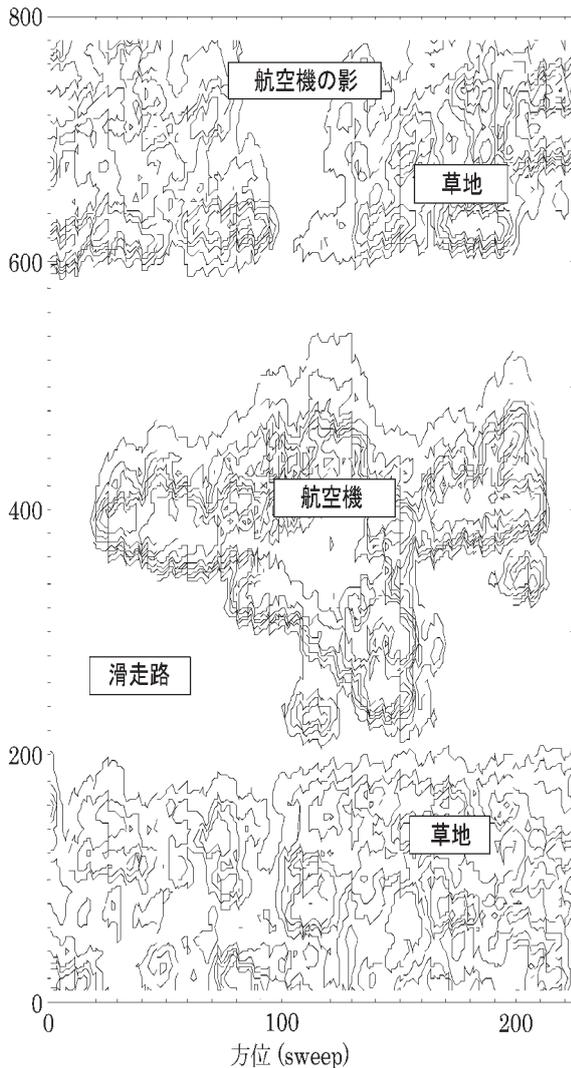


図2.2 ASDE 信号例 (B-767)

可能である。

3 航空機の検出方法

滑走路、誘導路上の航空機を検出するには、まず ASDE のビデオ信号をサンプリング周期 $1/2048\text{NM}$ (6.1ns)、量子化精度 8 ビットで A/D 変換した後、リアルタイム処理が可能のように距離方向及び方位方向に積分処理し、距離方向では $1/512\text{NM} \cong 3.6\text{m}$ (24.1ns)、方位方向は 1 ACP (Azimuth Change Pulse : $360^\circ/4096 \cong 0.088 \cong 3.4\text{sweep}$) をデータ処理単位 (セル) とする。その後、波長の短い準ミリ波レーダで発生しやすい降雨クラッタを抑圧するため、画像処理において雑音除去に用いる技術を応用した収縮処理⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾及び収縮処理による信号の分割を防止するなどの効果がある 2 次元移動平均処理⁽¹¹⁾⁽¹²⁾を行う。クラッタ抑圧処理のあと、処理対象セル

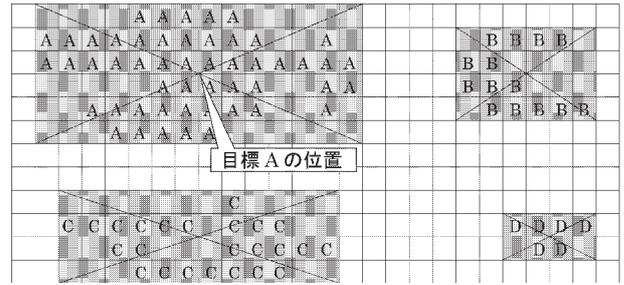


図3.1 航空機検出方法

の前後 64 セル (距離方向) の信号強度から、アダプティブスレッシュホールド検定処理で動的にスレッシュホールドレベルを算出して、すべての信号を 2 値化する。そして、信号強度がスレッシュホールドレベルより高いセルに注目し、図 3.1 に示すように距離方向または方位方向に連続しているセルに同一のラベルを付加していく。同一のラベルがついたセルの塊を一つの目標と認識し、そのセル全体を包含する方形の中心を目標の位置と判断する。これにより複雑な形状の航空機でも一つの目標と認識することが可能となり、さらに目標の大きさが求まるため、ある程度小さな塊はクラッタと認識して排除することができる。

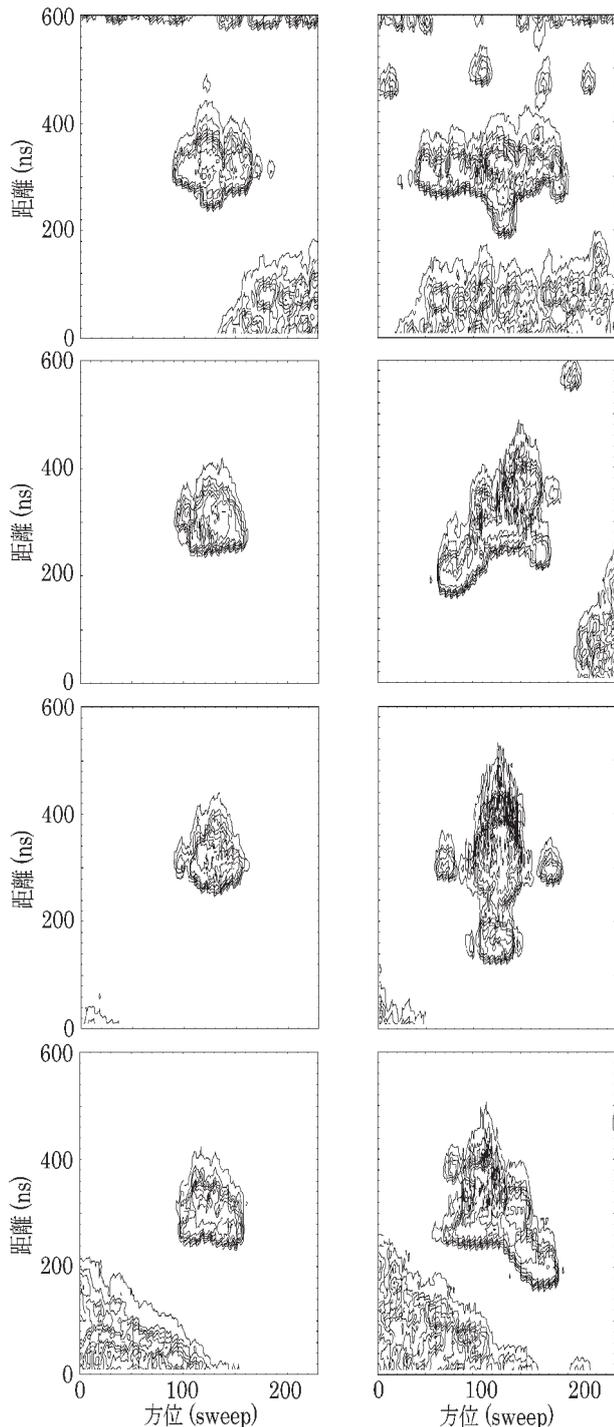
4 検出誤差の要因と実験方法

4.1 機影の形状変化

航空機の位置は、同一のラベルがついたセルの塊を包含する方形の中心と定めている。したがって、航空機の向きにより反射信号の形状が変わると、その中心位置が変動することになる。特に ASDE アンテナが低い場所に設置されていると、アンテナの反対側の機影が欠けることがあるため、こうした問題を検討しておく必要がある。

図 4.1 に、滑走路から誘導路へ左旋回しながら回り込んでいくときの、(a) 小型機 (ビーチクラフト B-99) と (b) 中型航空機 (マクダネルダグラス MD-81) の機影の変化を示す。それぞれ、上から横向き、左斜め側面、正面及び右斜め側面をアンテナに向けたときの機影である。小型機の場合、旋回しても機影の形状に大きな変化は認められない。しかし中型機の場合、胴体による遮蔽でアンテナより遠い側の翼が隠されるなど、アンテナに対する機体の向きで形状が大きく変化する。

このような機影の形状変化が、ASDE の検出精度にどのような影響を与えるか、誤差数 cm で測位可能なキネマチック GPS の測位結果を航空機の真の位置と仮定して、ASDE の検出位置の誤差を求めた。キネマチック



(a) B-99 (b) MD-81

図4.1 機影の変化

GPSは、基準局と移動局の二つの受信機で搬送波（1.6 GHz帯）の位相を測定して、移動局の正確な位置を求める測位方式である⁽¹³⁾。

4.2 GPSデータのASDE座標への変換

ASDEデータは、図4.2に示すように、ASDEアンテナ

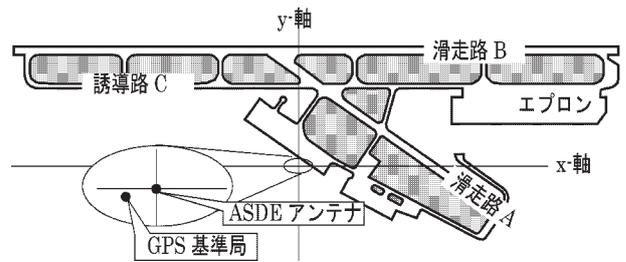


図4.2 仙台空港地区 (ASDE座標系)

を原点とし、滑走路の中心軸をx軸と平行にするASDE座標系を用いている。これに対しGPSデータは、地球を回転楕円体としたWGS-84座標系での緯度、経度、高さとして与えられるため、これをASDE座標系へ変換する必要がある。

まずWGS-84座標系から、回転楕円体の回転軸方向をZ軸、グリニッジ子午面と楕円体の赤道面が交わる方向をX軸、これらの2軸と右手系をなすY軸で構成される3次元直交座標の地球固定座標系 (ECEF: Earth-Centered Earth-Fixed) に変換する⁽¹³⁾。観測点のWGS-84座標が緯度 ϕ 、経度 λ 、高さ h で与えられるとき、地球固定座標系におけるこの点の座標 (X, Y, Z) は

$$\begin{aligned} X &= (N+h)\cos\phi\cos\lambda \\ Y &= (N+h)\cos\phi\sin\lambda \\ Z &= (N(1-e^2)+h)\sin\phi \end{aligned}$$

となる。ここで、 a は赤道半径、 b は極半径、 f は扁平率、 N は卯酉線曲率半径、 e は離心率を表す。

次に、ASDEアンテナの中心の緯度、経度、高さ、滑走路中心軸の真北からの角度を基に、原点移動と回転変換を行い、アンテナを原点として鉛直方向をz軸、滑走路の中心軸と平行なx軸、これらの2軸と右手系をなすy軸とからなるASDE座標系に変換する⁽¹⁴⁾。移動体のGPS測位結果のECEF座標を (X_1, Y_1, Z_1) 、ASDE座標の原点すなわちASDEアンテナの中心位置のECEF座標を (X_0, Y_0, Z_0) 、移動体のASDE座標を (x_1, y_1, z_1) とすると

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = R_z(90^\circ + \delta) R_y(90^\circ - \phi) R_z(\lambda) \begin{bmatrix} X_1 - X_0 \\ Y_1 - Y_0 \\ Z_1 - Z_0 \end{bmatrix}$$

の関係がある。ただし $R_y(\omega_y)$ 、 $R_z(\omega_z)$ はy、z軸周りの回転行列で

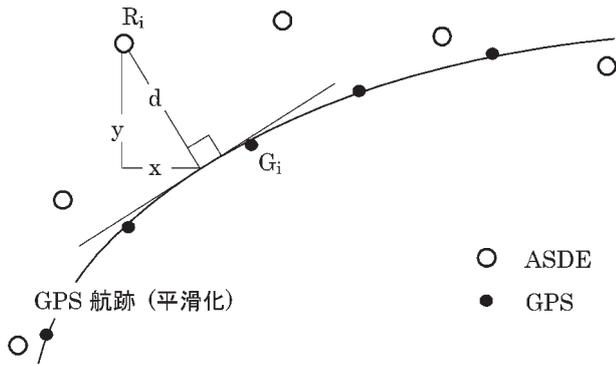


図4.3 検出位置誤差（コース偏差）

$$R_y(\omega_y) = \begin{bmatrix} \cos\omega_y & 0 & -\sin\omega_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\omega_y & 0 & \cos\omega_y \end{bmatrix}$$

$$R_z(\omega_z) = \begin{bmatrix} \cos\omega_z & \sin\omega_z & 0 \\ -\sin\omega_z & \cos\omega_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

と表される。

ここで ϕ , λ は ASDE アンテナの緯度及び経度, δ は真東から反時計回りに測った滑走路中心線の方向 (ASDE 座標系の x 軸とする方向) の角度である。この座標変換により GPS データは ASDE 座標となるため, ASDE データとの比較が可能となる。

4.3 検出位置誤差（コース偏差）の求め方

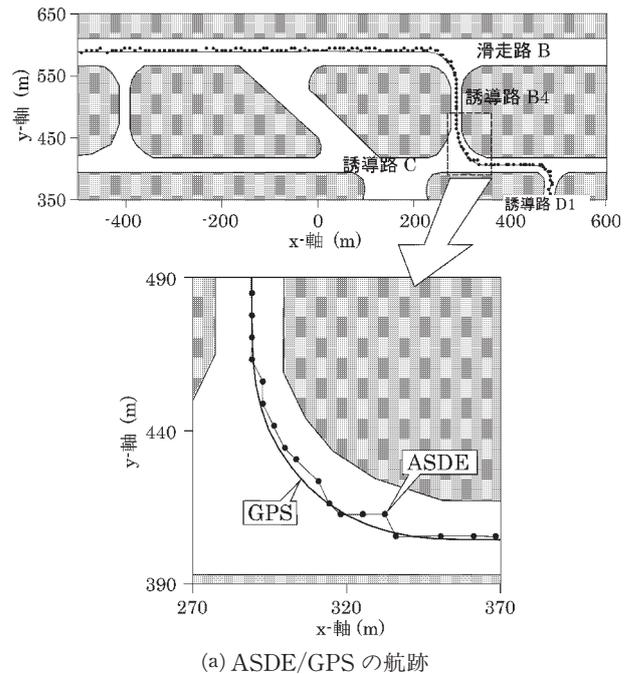
ASDE 信号による検出タイミングと GPS 測位のタイミングとが異なり直接には比較ができないため, GPS 航跡からのコース偏差を ASDE の検出位置誤差として求めた。

図4.3に, ASDE 検出位置 (白丸) と GPS 測位位置 (黒丸) の関係を示す。ASDE 検出位置に最も近い GPS 測位点の前後 5ヶ所を基に, 最小二乗法で GPS 航跡の平滑曲線を求め, これと ASDE 検出位置との距離を求めた。この距離は GPS による目標の推定位置からのコース偏差を表している。本論分では ASSS の精度評価にこのコース偏差を利用するが, これによるとコースに平行な方向に生じた誤差は評価されず, コースに直交する成分のみが評価対象となる。

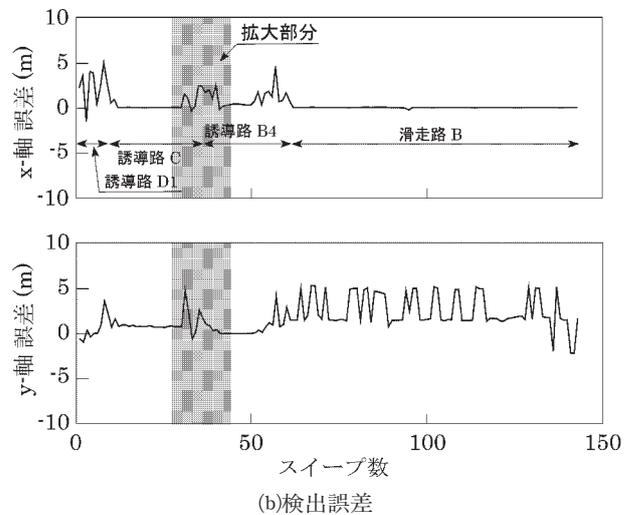
5 検出精度測定実験

5.1 車両による測定

旋回による誤差が現れにくい小さな目標として, ジープ型の車両 (全長: 5.8m, 全幅: 2.0m) に GPS 受信機



(a) ASDE/GPS の航跡



(b) 検出誤差

図5.1 車両による測位結果

を搭載して, 航空機の運航が終了した夜間の仙台空港に乗り入れ, 滑走路と誘導路を走行したときの測定例を図5.1に示す。(a)は ASDE と GPS で測位した車両の航跡を示した地図で, (b)はそのときの ASDE の検出誤差を表し, 上段は x 軸方向の, 下段が y 軸方向の誤差である。GPS の航跡は実線で, ASDE の検出位置は黒丸で示している。車両は図の右下の誘導路 D1から動き始め, 誘導路 C および B4を経由して滑走路 B の西側 (図の左側) に至るコースを約 30km/h で走行した。

(a)の下段は, 誘導路 C から B4へ右旋回したときの拡大図で, 縦横 100m の縮尺で表している。GPS はほとんど横ずれが生じていないのに対し, ASDE の検出位置は 1 秒間隔の測定毎に変動しているのが分かる。(b)の上段の x

表5.1 車両の検出誤差 (図5.1)

単位：m

走行状態と場所	N	コース偏差		x 成分		y 成分	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ
左旋回 (D1-C)	14	2.4	1.7	1.7	1.9	0.7	1.2
直進 (誘導路 C)	15	0.8	0.1	0.0	0.0	0.8	0.1
右旋回 (C-B4)	11	2.1	1.4	1.3	1.0	1.3	1.5
直進 (誘導路 B4)	10	0.3	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0
左旋回 (B4-B)	14	2.1	1.6	1.1	1.2	1.6	1.5
直進 (滑走路 B)	79	2.7	1.6	0.0	0.0	2.6	1.9

N：解析に用いたデータ数

軸方向の誤差は、誘導路Cと滑走路Bを直進走行しているときは零である。これに対し、下段のY軸方向の誤差は、滑走路に直角な誘導路B4の直線部分が零となっている。これは、前項で述べたように検出誤差をGPS航跡からのコース偏差で定義している関係上、x軸に平行して走行する場合はx軸方向、y軸に平行な場合はy軸方向には誤差が現れないためである。(a)の拡大図に対応した区間が(b)の網掛けの部分であり、この区間ではほとんど右回りで旋回していることから、x軸とy軸の両者に誤差を生じている。なお他の旋回区間でも同様な傾向を示した。

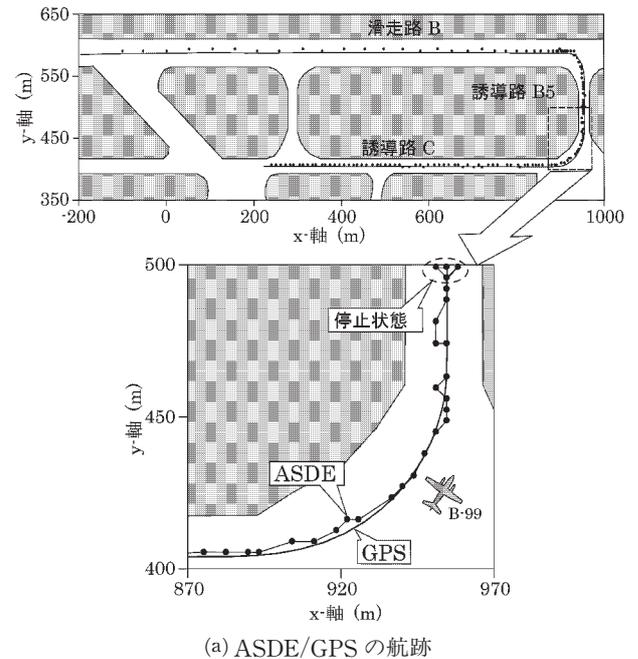
走行状態ごとに求めた検出誤差を、表5.1に示す。 μ が誤差の平均値を、 σ が標準偏差を表している。誘導路Cの直進走行では、ほとんど変動がなく、y軸成分の誤差は平均で0.8mであった。滑走路Bでのy軸の誤差平均値は2.6mであるが、実際には1.6m程度のバイアス誤差に、ASSSの最小処理単位である3.6mの櫛の歯状の変動が加わっている。誘導路CからB4への右旋回では、x軸とy軸ともその誤差成分の平均値は1.3mで、GPS航跡からのコース偏差は、平均で2.1mであった。また、誘導路B4から滑走路Bへの左旋回では、x軸成分の誤差は1.1m、y軸成分の誤差は1.6mで、コース偏差は平均で2.1mであった。この実験において最もコース偏差が大きかったのは、直進走行では滑走路Bを走行した場合の平均が2.7m、標準偏差が1.6mで、旋回の場合は誘導路D1からCへの左旋回時で平均が2.4m、標準偏差が1.7mであった。

このような小さな小さな目標である車両が直進走行しているときは、最小処理単位で櫛の歯状に変動しており、どちらの方向に旋回してもこれ以上に大きな誤差を生じることとはなかった。

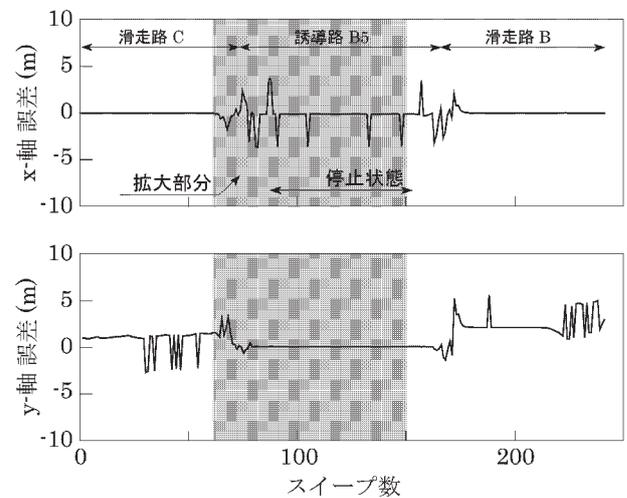
5.2 小型航空機による測定

次に実際の航空機の場合にどのような影響が生じるか、当所の実験用小型航空機B-99(全長：13.6m, 全幅：14.0m)を用いて実験を行った。誘導路Cから誘導路B5をとおり滑走路Bから離陸したときの測定例を図5.2に示す。図5.1と同様に、(a)はASDEとGPSで測位した小型航空機の位置を示し、(b)はそのときのASDEの検出誤差である。

この実験飛行のときは、他の航空機が着陸するまで、誘導路B5上でしばらく待機させられた。その間航空機は停止していたが、拡大図上部の楕円枠に示すようにASSSの測位位置は前後左右に変動している。この停止していたときの誤差を見ると、x軸において3.6mだけ左



(a) ASDE/GPS の航跡



(b) 検出誤差

図5.2 小型航空機の測位結果

表5.2 小型航空機の検出誤差 (図5.2)

単位：m

走行状態と場所	N	コース偏差		x 成分		y 成分	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ
直進 (誘導路 C)	64	1.3	0.5	0.0	0.0	0.7	1.2
左旋回 (C-B5)	14	1.5	1.2	-0.2	1.3	0.7	1.2
直進 (誘導路 B5)	84	0.5	1.1	-0.2	1.2	0.0	0.0
左旋回 (B5-B)	13	2.3	1.6	-0.5	1.6	0.8	2.1
直進 (滑走路 B)	66	2.4	1.1	0.0	0.0	2.4	1.1

N：解析に用いたデータ数

右にスパイク上に変動している。

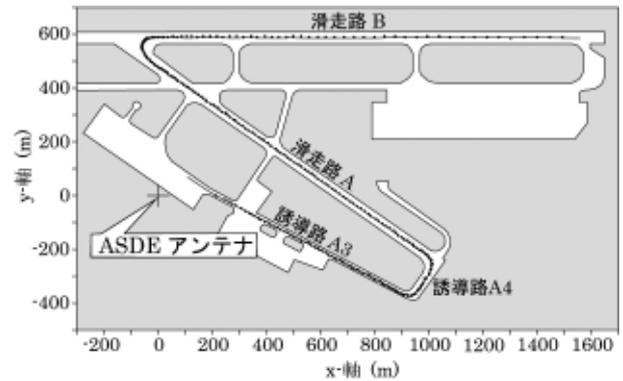
このときの走行状態ごとに求めた検出誤差を、表5.2に示す。誘導路Cを直進走行しているときのy軸誤差の平均値は0.7mであるが、実際は平均1.1mのバイアス誤差があるところに負の方向に最小処理単位で櫛の歯状に変動している。これに対し滑走路Bでは、平均1.9mのバイアス誤差に正の方向に最小処理単位で変動しており、平均値は2.4mである。旋回時のコース偏差誤差の平均値は、誘導路CからB5への場合1.5m、誘導路B5から滑走路Bへの場合で2.3mである。

この実験において最もコース偏差が大きかったのは、直進走行では滑走路Bを走行した場合の平均が2.4m、標準偏差が1.1mで、旋回の場合は誘導路B5から滑走路Bへの左旋回時で平均が2.3m、標準偏差が1.6mであった。

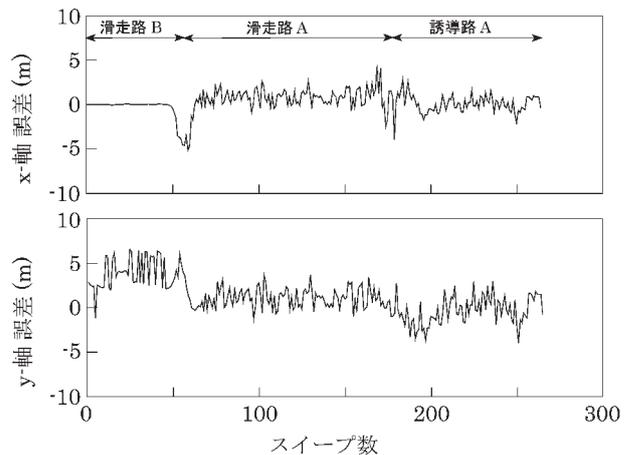
次にx軸に斜めに走行したときの誤差を求めるため、滑走路Bに対し35度傾いている滑走路Aを走行して検出位置精度を求めた。このときの測定例を図5.3に、検出誤差を表5.3示す。これはB滑走路の右側から着陸して、滑走路Aと誘導路Aをとおり、ASDEアンテナの近くまで走行したときのものである。

滑走路Bを直進走行したときのy軸の誤差は、2.2~4.0mのバイアス成分を伴いながら最小処理単位での変動をしている。左旋回した後に滑走路Aを直進走行したときの誤差の平均値は、x軸成分が0.8m、y軸成分が1.2mで、合成値であるコース偏差は1.6mであった。滑走路Aとは逆方向に走行する誘導路A3では、x軸成分が0.0m、y軸成分が-0.1mで、合成値であるコース偏差は1.4mであった。

x軸に斜めに直進した場合でも、コース偏差は115度方向(滑走路A)では平均値が1.6m、標準偏差が1.2m、295度方向(誘導路A3)では平均値が1.4m、標準偏差が0.9mである。小型航空機は、車両と同じく、各軸に平行な直進、斜めの直進、旋回時のすべてで、バイアス誤差



(a) ASDE/GPS の航跡



(b) 検出誤差

図5.3 小型航空機の測位結果(2)

表5.3 小型航空機の検出誤差(2) (図5.3)

単位：m

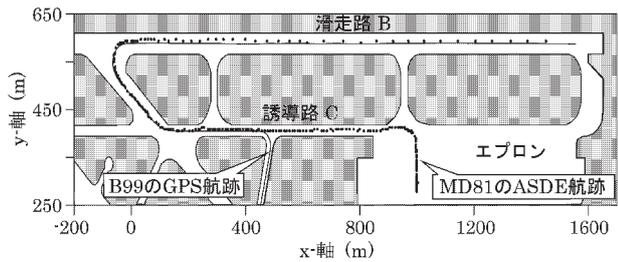
走行状態と場所	N	コース偏差		x 成分		y 成分	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ
直進 (誘導路 B)	50	3.9	1.7	0.0	0.0	3.9	1.8
左旋回 (B-A)	21	3.1	2.3	-1.7	2.2	1.8	2.0
直進 (誘導路 A)	95	1.6	1.2	0.8	0.8	1.2	1.1
右旋回 (A-A4)	9	2.2	1.6	1.4	2.2	0.9	0.8
直進 (誘導路 A4)	12	1.9	1.3	0.5	1.8	-0.4	1.2
右旋回 (A4-A3)	8	2.5	1.2	0.6	1.1	-2.1	1.4
直進 (誘導路 A3)	70	1.4	0.9	0.0	0.8	-0.1	1.5

N：解析に用いたデータ数

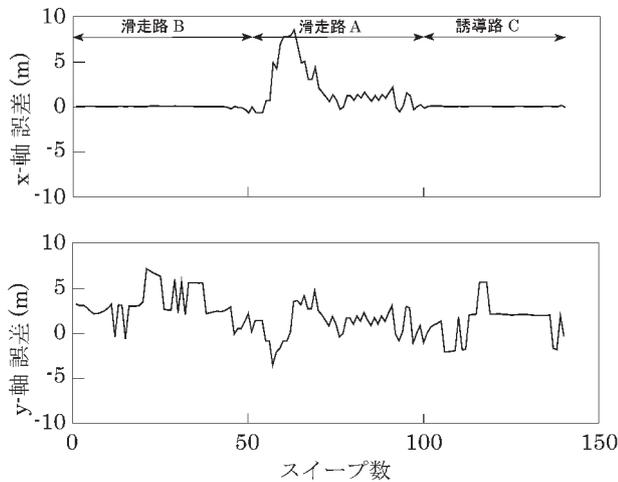
を除いた変動幅は最小処理単位である3.6m以内に納まっている。車両と小型航空機を用いた場合のコース偏差を比較するとほとんど同程度で、旋回時に機影の変化が少ない目標では検出誤差に大きな差は生じないと考えられる。

5.3 旅客機による測定

機体が大きく、旋回で機影が大きく変化する旅客機の



(a) ASDE/GPS の航跡



(b) 検出誤差

図5.4 中型航空機による測位結果 (MD-81)

場合に検出誤差がどのようになるか、図4.1の(b)に示すMD-81 (全長: 45.1m, 全幅: 32.9m) を用いて測定した。ただし、旅客機に実験用のGPS受信機を搭載することができなかったため、同一のコースを走行した実験用小型機の航跡を基準として検出誤差を求めた。航空機が滑走路及び誘導路を走行する場合は基本的に地上に描かれた中心線の上を走行するため、異なる航空機間でも大きな位置の差は生じないと考える。

この測定例は、図5.4に示すように、滑走路Bに着陸した後、滑走路Aと誘導路Cを通りエプロンで停止した中型旅客機である。これに対し、検出誤差の基準としたGPS搭載の小型機は、誘導路Cからエプロンには向かわず、誘導路D1を通過している。そのため、検出誤差の計算は、誘導路D1の手前で終了させた。

滑走路Bと誘導路Cを直進走行したときは、小型航空機と同様にバイアス誤差の上に最小処理単位のステップ誤差が生じている。このときのコース偏差を表5.4に示すが、直進走行でも旋回状態でも3.8m以下であった。滑走路Bから滑走路Aに左旋回する部分では、x軸方向にかなりの誤差が生じているが、コース偏差の平均値は3.8m、標準偏差が2.9mであり、最も大きな誤差でも9.1mである。この旋回区域は滑走路同士の交差部分で、地上

表5.4 旅客機の検出誤差 (図5.4)

単位: m

走行状態と場所	N	コース偏差		x成分		y成分	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ
直進 (滑走路 B)	45	3.5	1.7	0.0	0.0	3.4	1.8
左旋回 (B-A)	27	3.8	2.9	2.9	3.2	1.1	2.0
直進 (滑走路 A)	22	1.6	0.9	0.8	0.7	1.2	1.0
左旋回 (A-C)	10	1.2	1.1	0.3	0.6	0.7	1.4
直進 (誘導路 C)	36	2.2	1.1	0.0	0.0	1.4	2.1

N: 解析に用いたデータ数

表5.5 検出誤差

単位: m

走行状態と場所	車両		B-99		MD-81	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
直進	2.7	1.6	3.9	1.7	3.5	1.7
左旋回	2.4	1.7	3.1	2.3	3.8	2.9
右旋回	2.1	1.4	2.5	1.2	—	—

に航空機を誘導する中心線が描かれていないため、小型航空機とは異なった航跡を描いた可能性が高い。中心線が描かれている他の旋回場所では、同一方向の旋回にも拘わらず、コース偏差は平均値で1.2mであった。

5.4 実験結果のまとめ

車両、小型航空機及び旅客機の3種類の目標の走行状態毎のコース偏差の最大値を表5.5に示す。直進状態では、コース偏差の平均値が小さな目標の車両で2.7m、大きな目標の旅客機で3.5mと最小処理単位の3.6m以内に納まっており、標準偏差もおおよそ1.7mと最小処理単位の半分程度である。左旋回における平均値は車両で2.4m、旅客機で3.8mと、最大値でも最小処理単位の3.6m程度である。標準偏差は車両で1.7mであるが、旅客機で2.9mと直進走行に比べて大きくなっている。これは前項でも述べたように、小型航空機の航跡を基準として旅客機の検出誤差を求めているため生じたものと考えられる。右旋回の平均値は車両で2.1m、小型航空機で2.5mと最小処理単位の3.6m以内に納まっており、標準偏差も1.4m以下となっている。

ASSSにおける内部処理の単位が3.6mであるため、軸の傾きと位置の調整を行っても、バイアス誤差の発生を抑えることができない。そのため検出位置の誤差は、バイアス誤差を中心に最小処理単位で変動することになる。今回の目標検出実験では、小さな目標の車両から大きな目標の旅客機までコース偏差の平均値は最小処理単

位以内にほぼ納まっており、標準偏差も一部を除けばほぼ最小処理単位の半分に納まっているため、目標の大きさによる検出位置誤差の差はないと考える。

6 まとめ

空港面を走行する航空機を監視するため、ASDEの反射信号から航空機を検出・追尾し、その航空機情報を付加するASSSを開発した。このシステムは、ASDE信号の機影の中心を航空機の位置と判断しているため、航空機が方向転換したとき生じる機影形状の変化が、検出位置の誤差を発生させる可能性がある。

機影の形状の変化が検出位置にどのように影響するか、GPS測位位置を基準としてASSSの検出精度を求めた。しかし、ASDE信号による検出タイミングとGPS測位のタイミングとが異なり直接には比較ができないため、GPS航跡からのコース偏差をASDEの検出位置誤差とした。検証には、形状変化による誤差が現れにくい小さな車両及び小型航空機にGPS受信機を搭載し、直進時と旋回時の検出位置精度を測定した。その結果、検出誤差(コース偏差)の最大値は、直進時で平均値が3.9m、旋回時で3.1mとなった。個々の検出位置は、バイアス誤差にASSSの最小処理単位である3.6m以内の変動が加わっていた。小型航空機が滑走路の手前で停止していたとき、同じく3.6mで前後左右に変動しているため、旋回による機影の形状変化は検出精度に影響を与えていないと考える。

旅客型航空機の場合、GPS受信機を搭載することができなかったため、同一のコースを走行した小型航空機のGPS測位位置データを基準に検出誤差を求めた。滑走路Bから滑走路Aに左旋回する部分で大きな検出誤差が生じたが、この区域は走行時の目標となる中心線が描かれていない場所であり、基準とした小型航空機の航跡と異なるところを走行した可能性がある。しかし中心線が描かれている他の旋回場所では、コース偏差は平均値で1.2mと他の区間と同等な誤差であった。したがって機影の形状変化が大きな旅客機の場合においても、旋回により検出位置が大きく変化することはなく、空港面の監視には充分使用可能と考える。

実験に協力して頂いた航空局仙台空港事務所ならびに当所岩沼分室の関係各位に厚くお礼申し上げます。また、GPS測定とコース偏差の計算に協力して頂きました当所衛星技術部坂井研究官に感謝いたします。

参考文献

- [1] 篠原武三, 永井隆一, 福島荘之介, 北野宏久, 松島久男, “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] 加来信之, 北館勝彦, “レーダによる空港面監視システムの試作・実験,” 1995年電子情報通信学会, 総合大会講演会論文集, 通信, B-212, March 1995.
- [3] 加来信之, 北館勝彦, “走行状態の航空機の検出と追尾,” 計測自動制御学会学術講演会, 107C-2, July 1995.
- [4] 北館勝彦, 加来信之, “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.
- [5] 加来信之, 北館勝彦, “準ミリ波レーダによる空港面監視システム,” 電子情報通信学会技術研究報告, SANE97-40, July 1997.
- [6] 加来信之, 北館勝彦, “空港面探知レーダ(ASDE)の航空機反射信号特性,” 電子航法研究所報告, No. 88, 1997.
- [7] 長岡栄, 天井治, “GPSを用いた航空管制用レーダの較正のための飛行実験,” 日本航海学会論文集, No. 90, March 1994.
- [8] 古賀禎, 三吉襄, 宮崎裕己, “DGPSとSSRモードSの測位精度比較,” 第30回電子航法研究所研究発表会, June 1998.
- [9] 清水めぐみ, 幸谷智, 三輪進, 加来信之, “収縮法を用いたレーダSCRの改善,” 電子情報通信学会論文誌(B), vol.J83-B, No.7, July 2000.
- [10] 加来信之, “ASDEの降雨クラッタ対策効果,” 第1回電子航法研究所研究発表会, June 2001.
- [11] 幸谷智, 三輪進, “相関特性を考慮した2次元移動平均によるSCR改善,” 電子情報通信学会技術研究報告, SANE97-55, Sept. 1997.
- [12] 清水めぐみ, 三輪進, 加来信之, “2次元移動平均における平均化領域と相関特性に関する検討,” 1998年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-7, 1998.
- [13] 土屋淳, 辻宏道, “GPS測量の基礎,” 日本測量協会, June 1997.
- [14] 福島荘之介, “Cバンドデータ伝送を用いたLAASの飛行実験,” 航空無線, No.14, Dec. 1997.

(平成14年8月9日受付, 平成14年11月6日再受付)

独立行政法人 電子航法研究所報告編集委員会

委員長：東福寺則保

副委員長：山本 憲夫

委員：星野尾一明

矢田 士郎

板野 賢

事務局：総務課企画室

電子航法研究所報告の編集は、編集委員会が行う。

編集委員会は2名の査読委員の意見に基づいて論文の採録の可否を判定する。

本誌に掲載された論文は編集委員会で採録と決定されたものである。

本誌に掲載された論文の著作権は独立行政法人電子航法研究所（以下研究所という）に帰属する。本誌に掲載された論文を引用する場合は、出所を明示すれば研究所の許諾を必要としない。本誌に掲載された論文の全部又は一部を複製、転載、翻訳、あるいはその他に利用する場合は、個人が研究、学習、教育に使用する場合を除き、研究所の許諾を得なければならない。

ELECTRONIC NAVIGATION RESEARCH INSTITUTE PAPERS

No.101 February 2003

電子航法研究所報告 ISSN 1341-9102
(第101号)

平成15年2月25日 発行

編集兼発行人 独立行政法人 電子航法研究所

発行 独立行政法人 電子航法研究所
〒182-0012 東京都調布市深大寺東町7丁目42番地23
電話 0422-41-3168

印刷所 (株)丸井工文社
〒102-0073 東京都千代田区九段北1-12-4

Electronic Navigation Research Institute. Independent Administrative Institution
7-42-23. Jindaijihigashi-machi, Chofu, Tokyo,182-0012, Japan