

ACAS 信号を用いた受動型測位方式の評価実験  
電子航法開発部 古賀 禎、田嶋 裕久、小瀬木 滋

### 1. はじめに

当研究所では、空港面監視の一方法として、個々の航空機を識別すると共に高精度に位置測定する航空機測位方式の確立を目指し、平成 14 年より「ACAS (航空機衝突防止装置) 信号を用いた受動型測位方式の研究」を開始した。平成 14 年度には電波無響室およびグラウンドにて、規模の小さいシステムを用いた予備実験を行い、約 1m 程度の誤差で測位できることを確認した[1]。平成 15 年は、より規模の大きい ACAS 測位実験システムを構築し、仙台空港内で評価実験を行った。

本稿では、第2節で実験に用いた ACAS 実験システム、第3節で時間検出方式について述べた後、第4節にて仙台空港における評価実験の結果を報告する。

### 2. ACAS 測位実験システム

本節では、ACAS 測位実験システムについて述べる。図 1 にシステムの全体構成を示す。ACAS 測位実験システムは、受信と送信の2つのシステムに大別できる。

#### 2.1 受信システム

受信システムは、3 つの地上局 (主局、従局 1、従局 2) から構成される。主局と従局間は、時刻同期のため、光ファイバにて接続している。

地上局は、アンテナ、ACAS 受信機、デジタルオシロスコープ、光同期システムから構成されている。

ACAS 受信機は、1030MHz の RF 信号を 60MHz の同相信号 (Inphase: I 信号) と直交信号 (Quadrature: Q 信号) に変換する。また、ACAS 信号中の同期位相反転を検出するとトリガ信号を発生する。デジタルオシロスコープは、このトリガ信号により I/Q 信号を捕捉し、タイムスタンプをつけて記録する。光同期システムは、主局のトリガ信号を光ファイバを経て、従局 1 および従局 2 に伝送する。従局のオシロスコープは、主局からのトリガ信号により I/Q 信号を捕捉・記録する。このようにして、複数の局において同時に ACAS 信号を捕捉する。

主局—従局 1 の間は、地中に埋設された既設の光ファイバを使用した。また、主局—従局 2 の間は、実験時にケーブル (長さ 500m) を仮設した。

図 2 に地上局の配置を、表 1 に A 滑走路中央付近を原点とする局地座標系による座標を示す。主局は、A 滑走路の延長上付近にある MLS-AZ シェルタに設置した。主局のアンテナはシェルタの屋上 (高さ 約 3.1m) に設置した。従局 1 は岩沼分室内に設置した。従局 1 のアンテナは、分室横の VHF 鉄塔中段 (高さ 約 6.8 m) に設置した。従局 2 は、主局から光ファイバケーブル (500m) が届く範囲で 3 局を頂点とする三角形が大きくなる位置に設置した。従局 2 のアンテナは測量用三脚 (高さ 約 2.3m) に設置した。

#### 2.2 送信システム

送信システムはアンテナ、送信機、GPS 受信機から構成される。システムは、車両に搭載され、ACAS 搭載の航空機を模擬する。送信出力は 400W、送信アンテナは無指向性のグラウンドプレーン付きモノポールアンテナを使用した。信号の送信間隔は、オシロスコープのデータ収集の間隔以上となるように約 4 秒毎とした。GPS 受信機は、2 秒に 1 回車両の位置を測位する。実験後、基準 GPS 局データと合わせて、キネマティック処理し、車両の基準の位置を求めた。

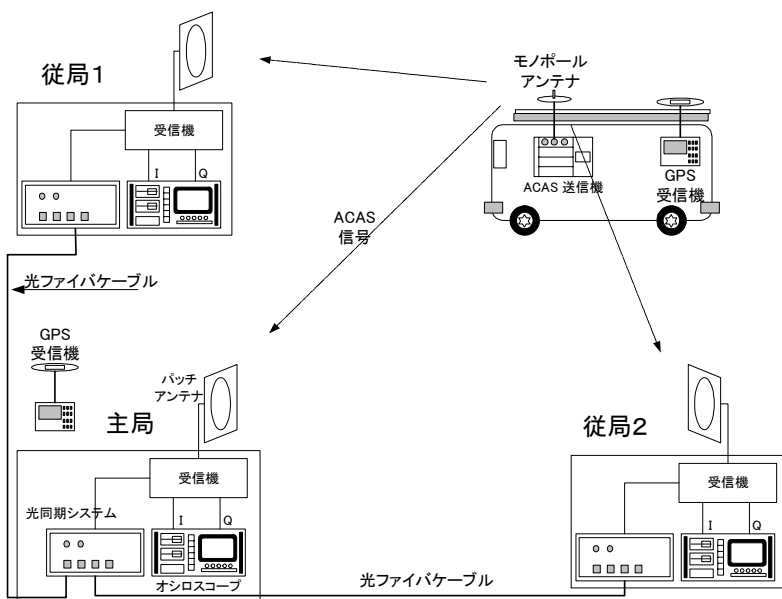


図 1 ACAS 実験システムの全体構成

表1 地上局の座標 (単位:m)

	X	Y	Z	主局までの距離
主局	686.45	-401.26	3.05	--
従局1	-513.53	163.07	6.83	1223.40
従局2	313.83	-44.79	2.33	515.67

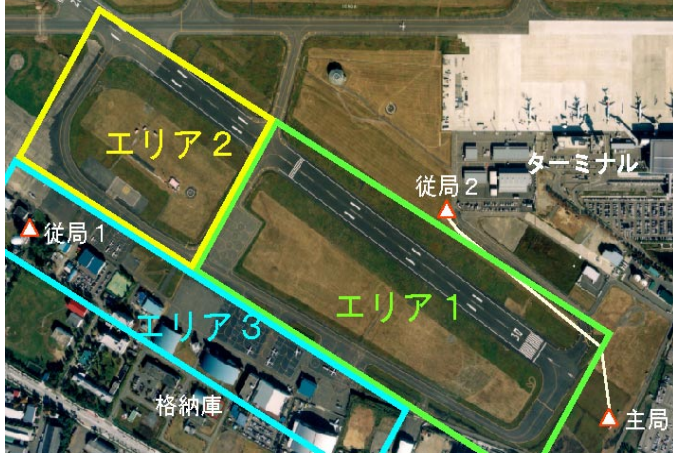


図2 地上局配置およびエリア区分

### 3. 時間検出方式

実験後、各局で記録した IQ 信号波形に対して、時間検出処理を施し波形毎の到達時間(TOA)を導出する。次に従局 TOA から主局 TOA を減算し、到達時間差(TDOA)を求める。この TDOA によって描かれる双曲線の交点を求めると、これが送信システムの2次元位置となる。本実験では、時間検出方式として、相互相関法と Delayed Attenuated Compare 法を適用した。

#### 3.1 相互相関法

相互相関法は、受信波形と基準波形の相互相関をとり、これが最大となる点を TOA とする。[1]では、主局で取得した波形を基準波形としたが、基準波形にマルチパスが混入した場合、測位誤差の要因となる。このため、本実験では、ACAS 送信機と受信機を同軸ケーブルで直結し取得した波形を基準波形とした。

#### 3.2 Delayed Attenuated Compare 法

DAC 法[2]は、受信波形を $\tau$ 時間遅延させた波形と A 倍( $A < 1$ )した波形を作成し、2つの波形が交わる点を検出時間とする方式である[2]。

MLS の DME/P において使用されており、パルスの立ち上がり部分において時間検出するため、マルチパスに強い

方式とされている。ACAS 信号は、50-100ns と立上時間は短く[3]、部分的には直線的と見なせるため、DAC を用いた時間検出を適用可能と考えられる。

## 4. 実験結果

本節では実験結果について述べる。4.1 で本実験による地上局配置による測位誤差について述べる。4.2 で、車両に対する測位結果について述べる。

### 4.1 測位誤差

図3に、本実験により地上局配置における測位誤差を示す。図中の等高線は、HDOP (水平方向の幾何学的精度劣化度)を示す。HDOP だけでは誤差の方向がわかりにくいいため、約17ns 誤差(距離誤差 5m)をもつ TDOA による測位をシミュレーションし、誤差の方向を求めた。図3中の青点の集まりが、測位結果である。同じ TDOA 誤差であっても、位置によって誤差が大きく異なることわかる。また、本実験における地上局配置では、x 軸方向のアンテナの配置間隔が、y 軸方向の配置間隔に比べ小さいため、y 軸方向に長く誤差が現れる傾向があった。

表2 エリア毎の特徴

エリア1	マルチパスが少なく、HDOP 良い
エリア2	遅延の長いマルチパス(従局2) DOP悪い
エリア3	格納庫・建物の近傍 遅延の短いマルチパス(従局2)

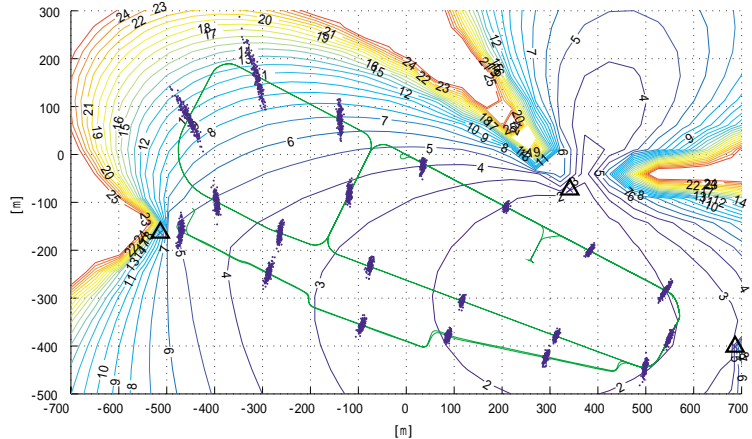


図3 地上局配置による測位誤差

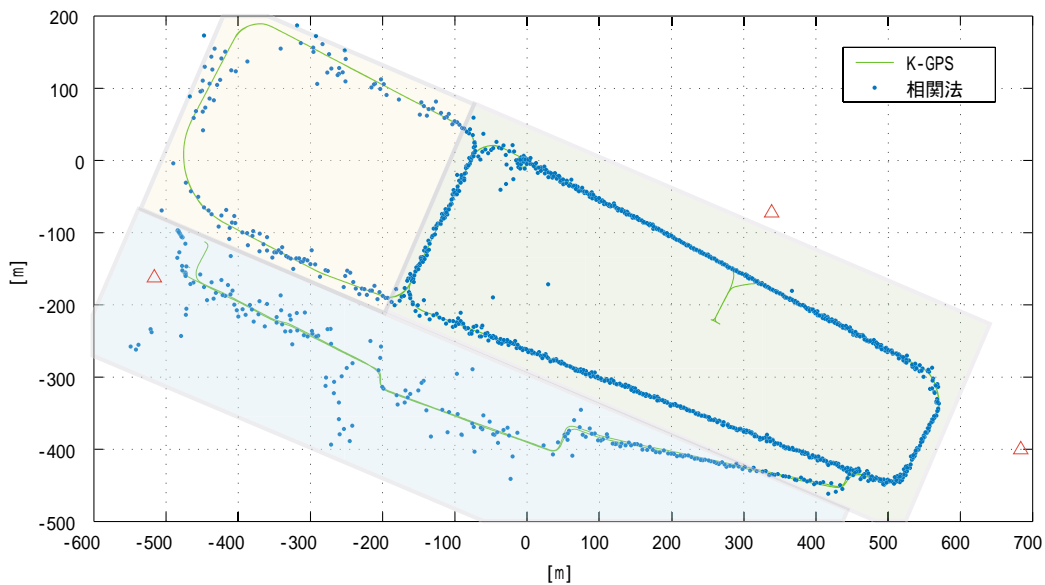


図 4 相互相関法による測位結果

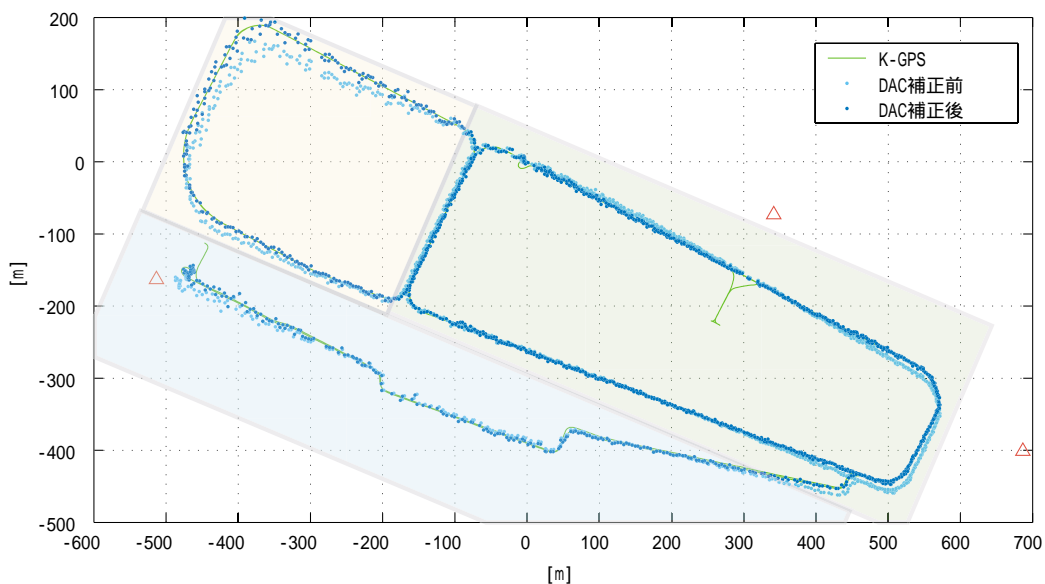


図 5 DAC 法による測位結果

## 4. 2 測位実験の結果

空港内の位置による測位精度の違いを区別するため、実験に使用したエリアを3分割して解析した。図2に各エリアの範囲、表2に各エリアの特徴を示す。

### 4. 2. 1 相互相関法による測位結果

図4に相互相関法による結果を示す。図中の青い点が相互相関法による測位位置、緑の線は、K-GPSによる航跡である。赤い△は、地上局アンテナの設置位置を示す。表3にK-GPS測位との比較結果として、X方向、Y方向、距離(R)の2乗平均誤差(RMS)を示す。表中の有効データ数と

は、距離差の誤差が30m以下となるデータの数であり、これを越える誤差は無効なデータとして解析の対象から除いた。

エリア1においては、K-GPS測位位置と比較して、2RMS(平均2乗誤差)がX方向1.78m、Y方向6.07m、距離差(R)6.33mとなり、モードSマルチラレーションの測位精度規定値[4]である7.5m以下で測位できた。

一方、エリア2、3では測位精度が劣化していた。劣化の主な原因としては、従局2の信号がマルチパスによって波形が乱れていたことが挙げられる。エリア2では、従局2の正面に建つ格納庫で反射

表3 測位の結果

	観測 データ 数	相互相関法				DAC法(補正後)			
		有効デ ータ数	誤差(2RMS)			有効デ ータ数	誤差(2RMS)		
			X	Y	R		X	Y	R
エリア1	1130	1090	1.78m	6.07m	6.33m	1113	1.18m	3.38m	3.58m
エリア2	220	136	11.98m	29.60m	31.88m	220	4.30m	10.04m	10.92m
エリア3	224	191	16.96m	44.56m	47.68m	200	4.04m	6.42m	7.58m

した遅延時間の長いマルチパスが従局2へ入射していた。また、エリア3では、車両近くの格納庫で反射した遅延時間の短いマルチパスが従局2へ入射していた。遅延時間の違うマルチパスは、時間検出に与える影響が異なるため、これを考慮したマルチパス対策が必要である。

#### 4.2.2 DAC法による測位結果

DAC法による測位結果を図5に示す。DACによる測位結果を水色の点で示す。DAC測位により、ばらつきの小さい航跡が得られた。しかしながら、滑走路両端付近においては、K-GPS航跡からオフセット誤差が発生していた。このオフセット誤差は、P1パルスの振幅が飽和するため、発生していた。本実験システムは時間検出方式として相関法を想定して設計したため、P1パルスの利得制御を行っていない。しかしながら、この問題については、DME/Pで使用されるIAGC (Instantaneous Automatic Gain Control)などによりP1パルスの利得を適切に制御することにより解決できる。

ここでは、測位誤差のうち、緩やかに変動する成分を飽和による誤差とし、これを取り除いた測位結果を評価した。図5中の青の点は飽和による誤差を補正した後の測位結果を、表3に補正後の測位誤差を示す。DACでは、エリア1で誤差が、X方向1.18m、Y方向3.38m、距離(R)3.58mとなり、ばらつきの小さい測位結果が得られた。また、相関法では測位が困難であったエリア2と3でも、測位結果が得られた。エリア1と3に比べ、エリア2のばらつき大きい理由は、主としてDOPによる影響と考えられる。

DACによりマルチパス環境下において高精度の測位が期待できることが明らかになった。

#### 5. まとめ

本報告では、平成15年度に仙台空港で行った

ACAS信号を用いた受動型方式による評価実験の結果について述べた。2つの時間検出方式(相互相関法およびDAC法)を用いて測位した結果、以下のことが明らかになった。

相互相関法は、マルチパスが少なく、配置(HDOP)がよいエリア1の目標に対しては、誤差6.50mで測位できた。しかしながら、マルチパスによる影響のあるエリア2と3では、測位精度が劣化しており、何らかの対策が必要である。

DAC法は、マルチパスに対して強く、エリア1には誤差3.58m程度の測位精度が期待できる。ただし、DACの利用にあたっては、IAGCなどにより信号の振幅を適切に制御する必要がある。

マルチパスの有無や程度がわかれば、マルチパスの影響を考慮して測位するなどして、測位精度を向上できる。今後は、マルチパスの解析を中心に研究を進めていく予定である。

#### 謝辞

実験に御協力いただきました仙台空港事務所、当研究所の岩沼分室職員他、関係各位に感謝いたします。

#### 参考文献

- [1]田嶋他、"ACAS受動型測位方式の実験と検討",ENRI発表会講演概要,H15-6(Jun,2003)
- [2] R.J.Kelly, "System Considerations for the New DME/P International Standard", IEEE Trans. AES, vol.AES-20, no.1, pp2-24, Jan. 1984
- [3] .ICAO, "Aeronautical telecommunications", Annex 10, Vol. I, Vol. IV.
- [4] EUROCAE,"MOPS For Mode S Multilateration systems for use in ASMGCS", Nov.2003