

## ACAS受動型測位方式の実験と検討

電子航法開発部 田嶋 裕久 古賀 禎 小瀬木 滋  
 坂井丈泰\* 塩見格一\*\* 白川昌之\*\*  
 \*衛星航法部 \*\*管制システム部

### 1. はじめに

空港面等の航空機の監視にはそれぞれの位置の他、個々の航空機の識別が必要となる。現用のASDE（空港面監視レーダ）又はTV画像では、この識別に他のシステムからの情報と照合する必要がある[1]。

本稿では、航空機に既に搭載されている装置で識別が可能な信号を利用した測位方法について述べる。1995年に国際民間航空機関( ICAO )で旅客機を想定した航空機衝突防止装置( ACAS-II ) [2]の国際標準が設定され、日本では既にほとんどの旅客機で搭載されている。そこでACASを利用して、個々の航空機の識別を行うつつ高精度な測位を目指した方式を開発するため、平成14年度より「ACAS信号を用いた受動型測位方式の研究」を開始した。

ここでは、本方式の原理、電波無響室における基礎実験、羽田空港における実際の航空機の信号の受信実験、当研究所グラウンドにおける測位実験の検討結果について報告する。

### 2. 測位原理

図1のように航空機が平面上にある場合、その周辺に3箇所以上の受信アンテナを配置し、電波の相対到着時刻を測定する。それぞれのアンテナと目標の電波発信源との相対距離に変換し、目標の位置を算出できる。測位原理は電波の流れが逆であることを除いてGPS [3]と同様で、測位の計算式においてもGPSと同様で

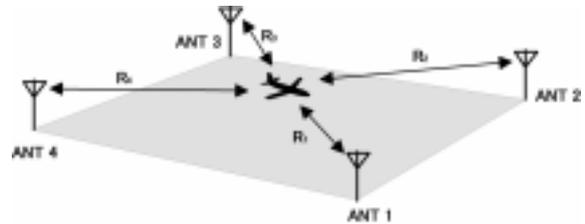


図1 目標と受信アンテナの配置

あるため、逆GPSと呼ぶこともできる。

測位誤差の目安もGPSと同様に測距誤差と、目標と受信アンテナの位置関係で決まるDOP (Dilution OF Precision: 精度低下率) [3]の積となる。測距は電波の伝播時間を信号の時間検出で行う。一般に波形の変化が急峻なほど時間検出誤差は小さくなり、時間領域の波形とフーリエ変換[4]の関係にある帯域幅は広がる。従って、帯域幅の広い信号が時間に検出に適している。空港面において航空機が送信する電波としては、ACASの1030MHzの質問信号が最も帯域が広い。ICAOの規定で比較すると、中心周波数から約20dB下がる帯域幅はACASの1030MHzで20MHz、MODE Sの1090MHzの応答は14MHz、DMEは1.1MHz以内となっており、ACASが最も測距精度が期待できる。本研究では図2に示すACASのMODE S質問信号のP6パルスの急峻な位相反転の波形を利用して、受信アンテナ間の受信信号の到着時間差を高精度に検出することを目指している。時間検出の方法としてはいろいろな方法が考

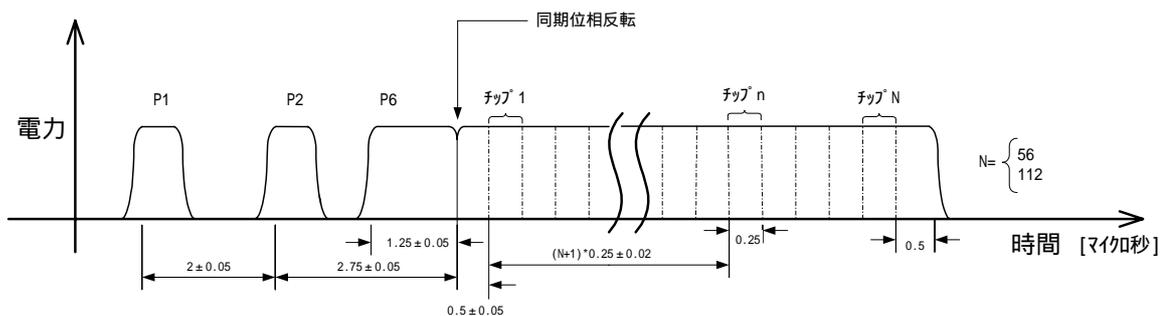


図2 MODE S 質問信号のタイミング

えられるが,ここでは GPS と同様に相互相関関数 [3][4] による方法を用いた。Wiener-Khintchine の公式[4]により相関関数はパワースペクトルのフーリエ変化となるので,信号の帯域幅が広いほど相関関数の山がシャープになり,精度と分解能も高くなる。

DOP を良くするには,発信源を取り囲むように受信アンテナを配置する必要がある。xy 平面上の測位であれば,未知数として x,y と GPS と同様に受信機時計誤差  $t$  の 3 個未知数を解くため,3個以上の受信アンテナが必要である。DOP は目標から見て受信アンテナが均等な角度で見える場合が最良となる。

尚,1090MHz の SSR/MODE S トランスポンダの電波を利用したこの様な原理のマルチラレーションは外国[5]や当研究所航空システム部[6]で研究されている。本研究ではより高精度なシステムに必要なマルチパス誤差等の基礎検討とその対策技術の開発に重点を置いている。

### 3. 無響室実験

基本的な測位誤差を測定するため,当研究所の電波無響室において近距離における測位実験を行った。図 3 に示すように無響室内に受信アンテナを 4 個正方形に配置し,ACAS 信号を直接記録できる帯域 1.5GHz のデジタルオシロスコープに接続した。ACAS 質問機を置き,その送信アンテナをこの正方形の領域内を動かしてデータを収集し,オフラインで後処理した。

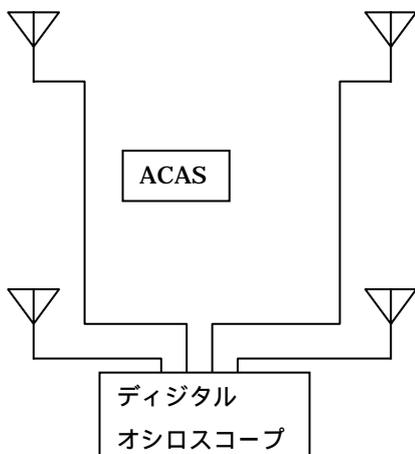


図 3 測定系ブロック図

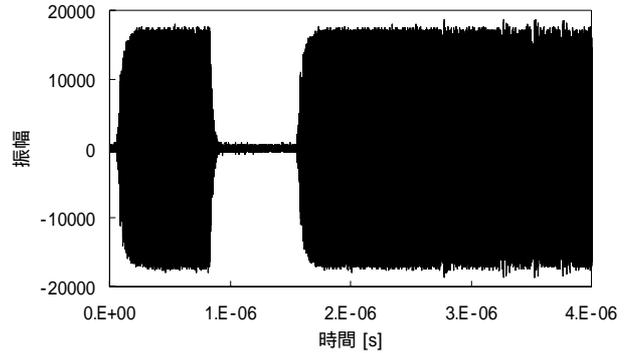


図 4 RF 信号波形

図 4 に 5GHz サンプルで収集した P2 と P6 の最初(図 2 参照)の 1030MHz の RF 信号波形の例を示す。図 4 の時間軸で  $2.8\mu\text{s}$  付近に位相反転があり,この部分が相関処理による時間検出に適している。

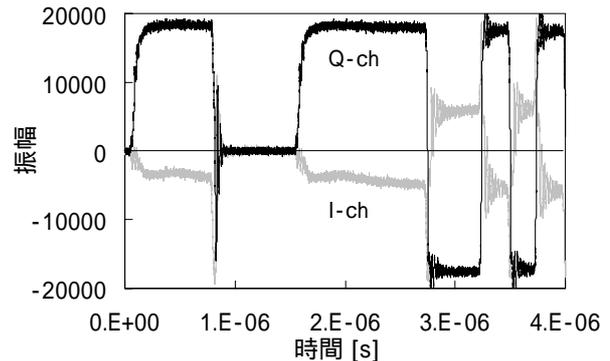


図 5 直交検波信号波形

図 4 の信号をソフトウェアによって直交検波と等価な処理を行い, I-ch, Q-ch 信号に変換すると図 5 のようになり  $2.8\mu\text{s}$  付近の位相反転が顕著に現れる。これは複素数で表したベースバンドの変調信号とみなすこともできる。図 4 の信号はキャリア周波数の 2 倍以上の十分なサンプリングを行っているが,実用上はキャリア周波数より低いサンプルレートでも,サンプリングオシロスコープと同様な原理で図 5 のベースバンド信号を得ることもできる。

図 3 に示す受信アンテナ信号の 1 個を基準信号として,他の受信アンテナ信号とこの位相反転部分の信号との相関関数の 1 例を図 6 に示す。相関関数は複素数となるのでここではその

絶対値を示している。このピークの時間が、2信号間の時間差である。このピークの先端が丸くなっているのは、位相反転にかかる時間によるものである。このように丸くなっているため、雑音やマルチパス成分が重畳されると、最大の点がずれて時間検出誤差を生ずる。位相反転時間がゼロの理想的な状態では、相関は三角形の角が尖った山になり、ある程度の雑音やマルチパス成分が重畳されても、ピークの位置は変わらないので誤差は生じない。

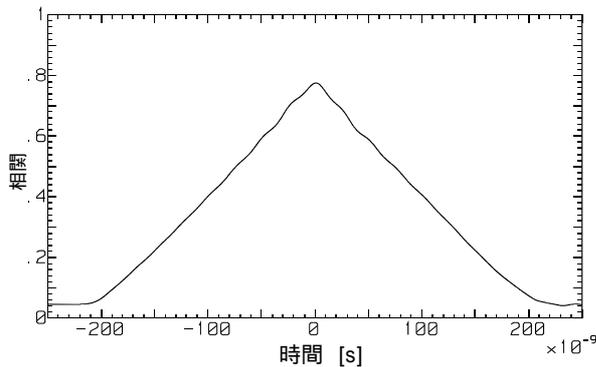


図6 相関関数

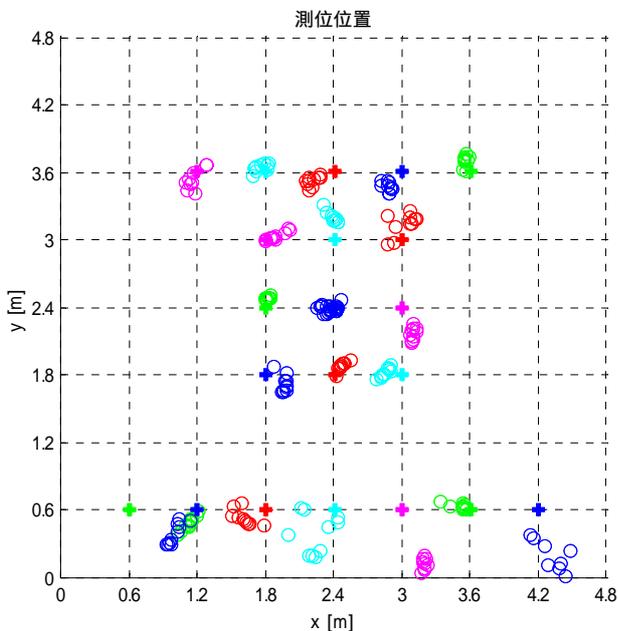


図7 測位演算結果

図7に2次元平面上の測位演算結果を示す。受信アンテナは図7の正方形領域の端の4頂点

にある。正方形領域内の+印で示した複数の格子点は、目標の送信アンテナの真の位置を示す。2次元であるため、3個の受信アンテナによる2組の時間差データで位置は決定できるが、ここでは4個の受信アンテナから得られた3組の時間差データを使って、GPSと同様に最小2乗法による処理[2]を行った。測位演算結果はそれぞれの+印と同じ色の印で示した。測定は同じ点で10回程度行ったが、バイアス誤差の他にオシロスコープのAD変換器の雑音等でばらつきがある。対応する+印と印の差が測位誤差である。DOPは図7の領域で2未満であり、中央で最小であるため誤差も小さい。誤差は大きいところでも1m以内の結果が得られた。

#### 4. 羽田空港実験

実際の航空機が送信している電波において、処理方式の妥当性を検討するため、平成14年12月に羽田空港においてACAS信号を受信・記録し、同様の後処理を行った。受信アンテナを図8に示すように、A滑走路とB滑走路に挟まれる点と、そこから約50m離れた点と約150m離れた点の3箇所(印)に設置した。

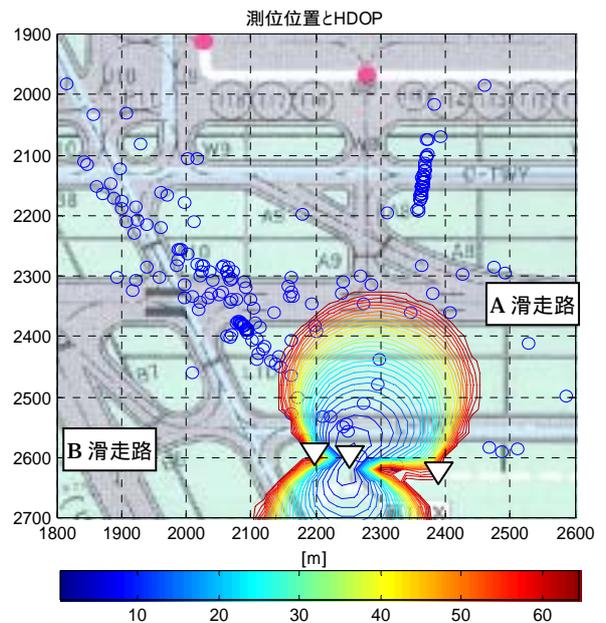


図8 羽田空港実験結果

RF アンプと同軸ケーブルを経由してデジタルオシロスコープでデータを記録した。

図 8 に、離陸する前の滑走路上の航空機の測位結果を青の+印で、DOP を下のカラーバーと対応する色の等高線で示す。この羽田空港の実験では、実験用ケーブルの制限で受信アンテナを航空機を取り囲むような配置にできなかったため、DOP が滑走路上で 60 から数百以上と非常に悪い。航空機の真の位置は分からないが、このため測位誤差も数百 m ある。しかし、適切なアンテナ配置にすれば測位誤差は小さくなるので、実際の航空機の信号で測位可能であることが実証できた。

## 5. 研究所内測位実験

当研究所内のグラウンドでも測位実験を行った。ここでは、四方を建物で囲まれているため特にマルチパス誤差が大きい状況のデータである。

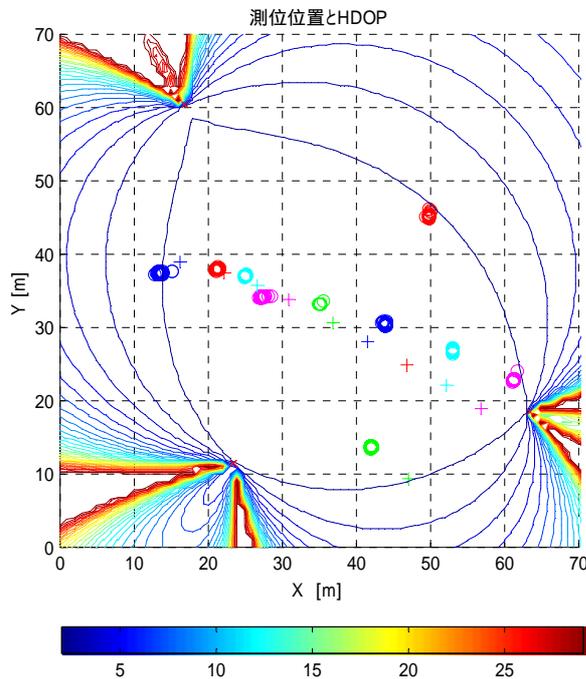


図 9 研究所内測位結果

図 9 に実験結果を示す。3 個の受信アンテナでほぼ囲まれる領域において、前の図 7 と同様に目標の送信アンテナの真の位置を+印で示した複数の点に配置した。測位演算結果はそれぞ

れの+印と同じ色の+印で示した。DOP は下のカラーバーと対応する色の等高線で示す。最も内側の線は DOP=2 である。この結果では DOP は 2 以下と良かったが大きなマルチパスのため赤い点のように 20m 以上の誤差が発生する場合もあった。

## 6. まとめ

逆 GPS の原理で航空機の測位を行う場合、理論的に精度の点からは帯域の広い ACAS 信号が適している。測位誤差は、ほぼ測距誤差と DOP の積となるので、両方の誤差が小さい無響室実験で測位誤差は 1m 未満の結果が得られた。羽田空港の実験では DOP が悪かったが、実用化するにはアンテナの配置を適切に選ぶことにより DOP は小さくできる。グラウンドにおける実験ではマルチパスが原因で 20m 以上の誤差が生じた。

平成 15 年度は、仙台空港において離れた 3 箇所の受信アンテナ間を光ケーブルで同期を取る方式で測位実験を行う計画である。またそれと並行して、測位誤差の主要な原因となるマルチパス誤差の改善方法を検討する。

## 謝辞

実験に御協力いただきました東京国際空港事務所、当研究所の住谷泰人研究員、金田研究員他関係各位に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 加来信之, "TV 画像を用いた ASDE 補完システム," 第 2 回電子研発表会概要, H14 年 6 月.
- [2] ICAO, "Aeronautical telecommunications, " Annex 10, Vol. I, Vol. IV.
- [3] 坂井丈泰, "GPS 技術入門," 東京電機大学出版, 2003 年 2 月.
- [4] 日野幹雄, "スペクトル解析," 朝倉書店, 1983 年 10 月.
- [5] Carl Evers, et al., "Analysis of ADS-B, ASDE-3 and multilateration surveillance performance - NASA Atlanta demonstration, " AIAA 17<sup>th</sup> Annual Digital Avionics Systems Conf., 1998.
- [6] 三吉, 宮崎, 古賀, "拡張スキッタ ADS-B による航空機監視の実験計画," 第 2 回電子研発表会概要, H14 年 6 月