

GPSを利用した航空大学校機監視システムの 試作及び実験結果について

須藤 宏朗・市川 明夫

Development and Experiment of GPS-based Tracking Device for Civil Aviation College Aircrafts

By

Hiroaki SUDO・Akio ICHIKAWA

1. はじめに

航空大学校の学生は、民間航空会社のパイロットとして乗務するために必要な事業用操縦士の資格を取得する。その際に必要な飛行経歴¹⁾を満たすために、航空大学校帯広分校及び宮崎本校の訓練において、それぞれ航空法に定められた飛行を実施する。その中で単独による離着陸、空中操作及び野外飛行の訓練を行うが、単独野外飛行訓練（学生一人のみ搭乗し、長時間且つ長距離、ベースの空港を離れて飛行する訓練飛行）では訓練の進度に応じて段階的に飛行する距離を伸ばし、最終的には一日かけて2つ以上の空港に着陸し、安全に元の空港へ戻って来る飛行を行う。帯広分校の訓練では、ほぼ北海道東部にて270km以上の経路を飛行し、また、宮崎本校の訓練では、ほぼ九州全土にて540km以上の経路を一人で飛行することとなる²⁾。

現在、この単独野外飛行訓練中は訓練周波数による交信以外、地上から訓練機の様子を知るすべは無い。適宜、交信による位置確認、状況報告等行わせるものの、それらが正確かどうかの確証は無く、一旦単独野外飛行訓練に送り出したあとは、監督者は無事帰投するのを待つのみ、というのが現状である。

過去の事例では、この単独野外飛行訓練時に、学

生が実際には自己の認識とは全く異なる地点を飛行していた例や、自分の位置を見失ってしまった例がある。また、気象条件の制約³⁾により、複数機が相前後して同一方面に飛行訓練に行かざるを得ないこともあるが、このような場合、衝突を避けるなど安全確保のためには、各機の正確な位置の把握が必要である。いずれの事例においても、地上より訓練機の位置が正確に把握できれば、危険な状態に陥る前に的確なアドバイスができ、トラブルを未然に回避することができる。

これらの問題を解消する方法の一つとして、GPSを訓練機に搭載してその位置データをリアルタイムに地上に送るシステムを構築すれば、訓練機の位置を正確に把握できるのではないかと考えた。今回は、電波の到達範囲を加味し、基地から50 NM 以内の距離での実験を実施した。

2. データ送受信方法の検討

システムの構築に先立ち、地上基地局側と航空機側とで各データを送受信する方法を検討した。

まず、我々の身近なところでの例で、タクシーの配車、運送トラックや徘徊老人の居場所を把握するために役立てられているケースを検討した。いずれ

もGPSによる位置データの送受信を民間のデータ通信サービスを利用⁴⁾して行っており、近くの基地局からの電波を受け、また同じ基地局へと電波を送っている。基地局からの電波は、基地局同士の電波の干渉を避けるため斜め下方へ向けて発射されており、水平上方へは発射されていない⁵⁾。このため、基地局よりも上方を飛行する航空機は基地局からの電波を受けることが出来ない理由により、本システムに用いるには不適當である。

次に、静止衛星やイリジウム衛星を用いる方法を検討した。ところが、市販の静止衛星電話は上空での使用は保証されておらず⁶⁾、また、イリジウム衛星電話は近い将来利用可能となる可能性は高いものの、現時点では日本においてまだ利用できる体制が整っていない⁷⁾ため、本システムに用いるには不適當である。なお、イリジウム衛星の利用について総務省と行われている審議を見守っている最中である。

その次に、パイロットが管制官との交信で利用する航空用無線を用いる方法を検討した。航空用無線はすべての航空機に必ず装備されているもので、既存の機器を用いる方法ではアンテナや送受信機を新たに準備する必要がないため、比較的成本が安く済むメリットがある。しかし、総務省の告示⁸⁾によると、航空用無線周波数での送受信は電波の形式⁹⁾がA 3 Eのものとして定められており、今回の実験におけるGPSの位置データを含んだ音声信号（電波の形式がA 2 D）の送受信は、法律的な面から現時点では本システムに用いるには不適當である。

更に、ADS（自動従属監視）^{10) 11)}システムを用いる方法を検討した。ADSシステムはインマルサット衛星やMTSAT等を経由してGPSによる位置データを通信するものである。しかし、民間航空機や管制機関向けであり、航空大学校機のような小型機での利用は困難である。

また、海上保安庁で既に使用されている航空機用

データ送信装置を用いる方法を検討した。三菱電機が海上保安庁専用開発した製品¹²⁾でHF電波を利用したものである。地上基地局からの問い合わせに答えるのではなく機体側から一方的に位置情報を送る仕組みであるが、専用周波数や余分な送受信機を持たない航空大学校機では管制機関との交信の妨げとなってしまう不適當である。

以上の検討の結果から、当面の目的は航空用無線を利用したシステムの实用化とし、法律的な問題が解決するまでの間に電波以外におけるシステムの実験を行うため、法律的に実験的利用が許可されているアマチュア無線^{13) 14)}を利用し、飛行中の航空機の位置を地上にてリアルタイムに把握する実験を行った。ただし、アマチュア無線は実用的な利用は許可されていないため、航空用無線の利用が可能となるまでの間の実験に利用するものとする。

3. システムの概要及び作動方法

3. 1 航空大学校機監視システムの概要

航空大学校機監視システムの概念図を図1に示す。地上基地局側からの信号を受信すると、航空機側は位置情報を送信し、離れた場所にあるパソコンにて航空機の位置、航跡等をリアルタイムに監視することができるシステムである。データの送受信に用いる音声信号は1800Hz付近を用い、1回のデータの送受信に要する時間は約1秒である。

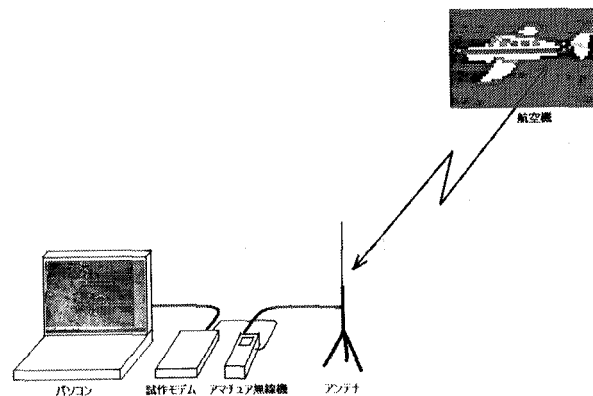


図1 航空大学校機監視システムの概念図

3. 2 システムの構成及び作動方法

3. 2. 1 地上から航空機への送信

地上基地局側のシステム構成図を図2に示す。航空機の位置情報を取得するためには、まず地上に設

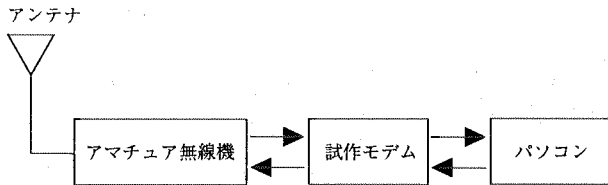


図2 地上基地局側システム構成図

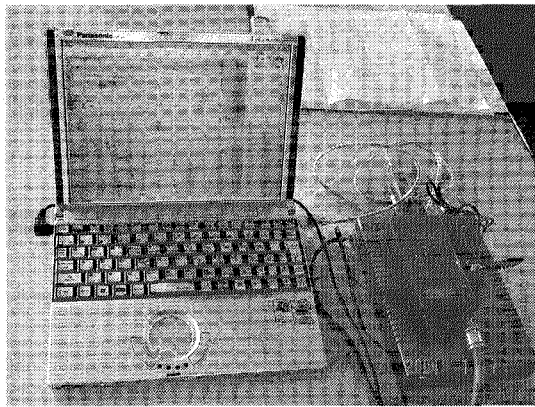


図3 PC、試作モデム及び送受信機
(地上基地局側)



図4 無線アンテナ(地上基地局側)

置したシステム(図3)から航空機へ向け、位置データを送らせる命令を送る。この操作はノートパソコンのキーボード上で設定したボタンを押せば必要ときに任意に送ることができる。今回の実験では5秒の一定間隔で自動的に信号を送り続けるよう設定した。アマチュア無線機は430MHz帯で出力5WのFMトランシーバを使用した。無線アンテナ(図4)は5/8λ2段の単一型を航空大学校の運管局舎屋上に設置した。

3. 2. 2 試作モデム

命令を音声信号に変換する試作モデムは、今回の実験用にパイオニア株式会社が製作したものをを使用した。試作モデムブロック図を図5に示す。試作モデムは主にMSK15) モデムICとCPUで構成される。CPUではパソコンやGPSからのデータをハーゲルバーガー符号化16) し連続6Bitまでの誤り訂正を可能とする。また、航空機側用の試作モデムは個別IDを持ち、地上基地局側からの位置要求に対し、IDが一致した場合のみ位置データの応答を行う。つまり、複数機飛行する場合は(今回の実験では1機のみ)、各モデムが自分に対しての信号なのか他機への信号なのかを区別し、自分への信号のときのみ応答する。

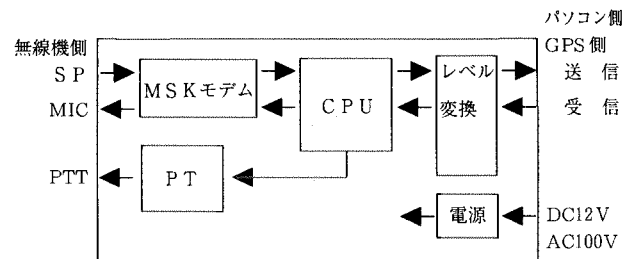


図5 試作モデムブロック図

なお、ハーゲルバーガー符号は畳込み符号の一種で、構成が簡単でデータのバースト誤り(データのビットが連続で間違ってしまう状態)の訂正に強いという特徴がある。

3. 2. 3 航空機から地上への送信

航空機側のシステムの構成図を図6に示す。航空大学校の訓練機であるビーチクラフトA36型機に実験のときのみ機器を持ち込み、飛行実験を実施した。アマチュア無線機は、航空用周波数に近い144MHz帯を利用する方法もあったが、アンテナの大きさを比較的小さくできる利点を活かし、430MHz帯のものを使用した。出力は5Wで、無線アンテナ(図7)は $1/4\lambda$ の単一型である。航空機に備え付けてあるVHF無線機とは一切切り離してデータの送受信を行ったため、パイロットが通常の通話操作を行う上ではなんら支障は無く、飛行への影響は全くない。無線アンテナで地上基地局からの信号を受信した航空機側は、GPSアンテナ(図8)で受信したGPSによる位置データを試作モデム(図9)にて処理し、音声信号に変換して地上基地局側へと自動的に送信する。航空機側からは、地上基地局側からの信号を受信しなくとも任意に地上基地局側へ位置データを送信することも可能である。GPSアンテナはパイオニアナビコム株式会社のGPS-2001ZZを使用した。

なお、航空機側の試作モデムにメモリーカードを接続し、3秒の一定間隔で自動的に信号を記録し続けるよう設定した。

3. 2. 4 航空機飛行軌跡のパソコンへの表示

地上の地上基地局側では、音声信号として送られてきたデータが試作モデムにて再びパソコンで処理できる信号へと変換され、パソコン画面の地図上に表示される。これにより航空機の現在の位置をリアルタイムに知ることができる。パソコンの表示に用いた地図データは市販のMapDKIVで、表示するソフトはパイオニア株式会社の試作品である。

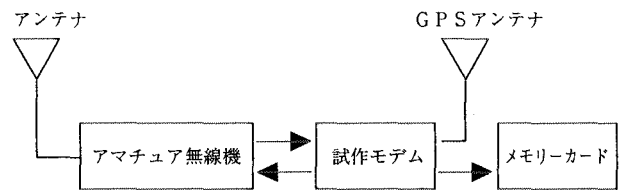


図6 航空機側システム構成図

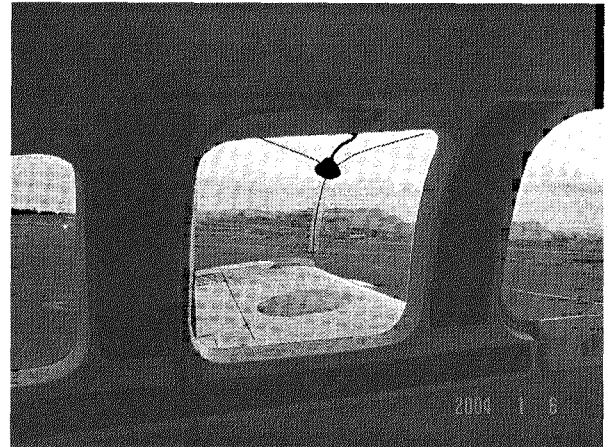


図7 無線アンテナ（航空機側）

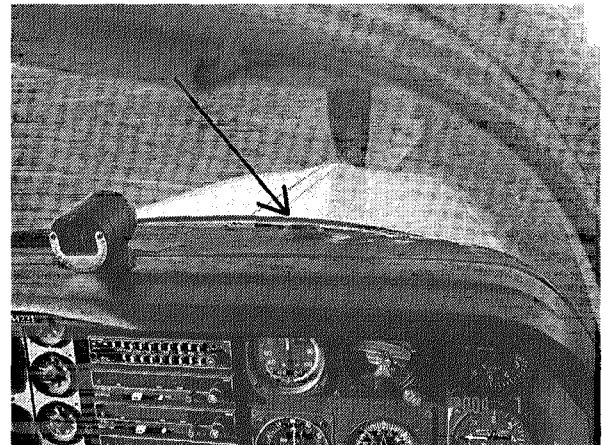


図8 GPSアンテナ

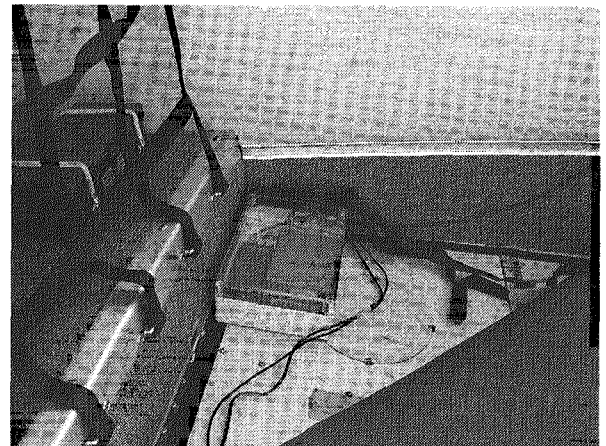


図9 試作モデム及び送受信機（航空機側）

4. 飛行実験及び実験結果

4. 1 飛行実験

実験装置を載せた航空機は、航空大学校のある宮崎空港から出発した後、飛行の軌跡が宮崎空港から磁方位で180度、175度、170度、165度となるように飛行を行った。これは電波を飛ばす際に障害となる山などが比較的少ない海上を飛行し、且つ宮崎空港や近隣の飛行場に離発着する航空機への影響が少ない空域を飛行するため、このような経路を選択した。飛行高度は航空法を遵守しながら、東行きでは7500ft、西行きでは6500ftでの飛行を行った。

4. 2 実験結果

4. 2. 1 地上滑走中における実験結果

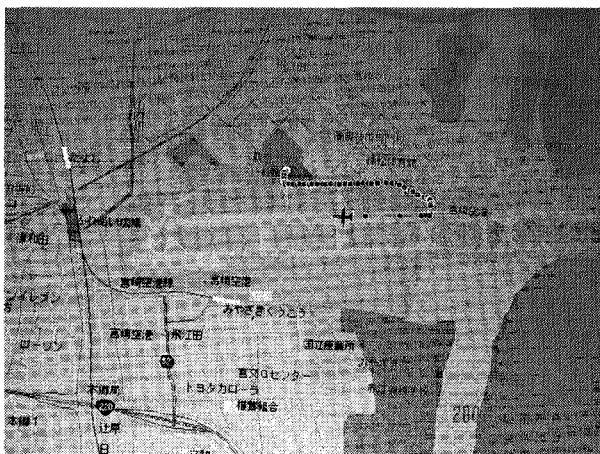


図10 航空機位置データの表示（地上滑走中）

図10は航空大学校エプロンから地上滑走して離陸するまでの航空機の位置をパソコン画面上に表示したものである。移動速度が比較的遅いところでは航空機の位置を表す赤い点が混み合って並んでいるものの、移動速度が比較的速い離陸滑走中では、赤い点の間隔が比較的開いていることがわかる。また、実際に飛行した経路とほぼ同じ場所に軌跡が表示されており、GPSデータの精度の高さも知ることができる。なお、今回は航空機の位置を赤い点で表示させたが、この色や形はパソコンの表示ソフトプログラムを変更することにより自由に設定できる。ま

た、GPSから得られた航空機の位置だけでなく高度や速度の情報も選択して必要に応じて表示することもできる。しかし、今回は表示上の見易さを考慮し赤い点のみとした。

4. 2. 2 飛行中における実験結果

図11は飛行中の航空機の位置をパソコン画面上に表示したものである。徐々に地上基地局から遠い地点まで飛行を行い、最大で約50NM離れた地点までのデータが得られた。ところどころ点が途切れている部分があるが、これは地上基地局側で位置データを取得できなかったことを示している。

一つの理由は地上基地局からのデータ要求電波の送信間隔（5秒毎）と航空機側のGPSアンテナによる位置データ取得間隔（3秒毎）が異なることによるものである。これは、実際に地上基地局に送られてきたデータを見ると時間間隔が一定ではなく、結果的にばらばらであることから知ることができた。この問題を解決するには、もっと地上基地局からのデータ要求の間隔を十分に広げることが必要であると推測される。

もう一つの理由はアンテナの取り付け位置によるものであると考えられる。すなわち、アンテナを左側後部の窓に貼り付けたため、アンテナの特に水平面のビームパターンは円になっていない。従って、機体の向きによっては弱電界の受信状態となっ

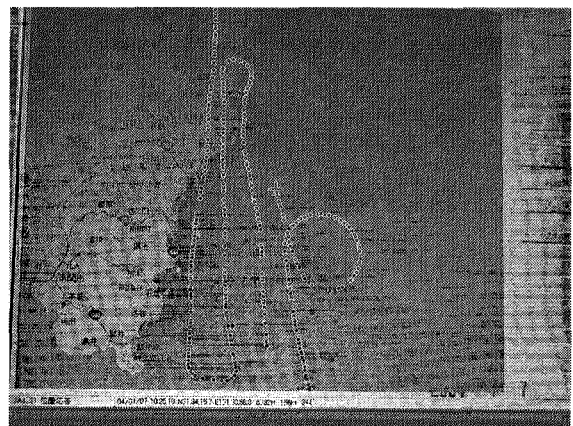


図11 航空機位置データの表示（飛行中）

まうものと推測される。確認のため360度の水平旋回飛行を行ったが、ちょうどアンテナが航空機の天井により陰となり電波が届かないと考えられる向きでは、実際にデータを受信できていない。また、参考に航空機側に取り付けたメモリーカードに記録されたGPSアンテナによる位置データを確認してみると、切れ目なく連続的にデータが取得できていた。この問題を解決するためには、既存のVHF無線用アンテナを利用するなどし、航空機の姿勢変化が起きたとしてもアンテナが機体の陰にならないようにする工夫が必要である。

5. まとめ

GPSモデム装置、および表示ソフトウェアを利用して、航空大学機監視システムの試作および実験を行った。得られた結果は以下の通りである。

- 1) GPSを利用した航空大学機監視システムにより、430MHzのアマチュア無線送受信機を使用しての実験では、約50NMまで航空機の位置を地図上に表示することができた。
- 2) 航空機の位置を確実に表示するためには、アンテナの向きが影響していることがわかった。
- 3) 今後は本システムを用いながら、データの送受信にVHF無線機及びVHFアンテナを用い、航空大学校における単独飛行訓練などの学生訓練において監視できるかどうかの実験を行う必要がある。
- 4) 複数の航空機を監視することができるかどうかの実験を行う必要がある。

最後に、この研究をまとめるにあたり、必要なデータ取得にご協力頂いたパイオニアナビコム株式会社の功力芳郎殿、パイオニア株式会社の吉田徹也殿、航空大学校宮崎本校実科教官の皆さんに心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 航空法施行規則 別表第二 事業用操縦士
- 2) 野外飛行の解釈及び運用について (空乗第2129号)
- 3) 単独飛行に係る安全基準 (飛行機) (空乗第2103号)
- 4) パイオニアナビコムホームページ
<http://www.pioneer-navicom.com/product/vehicle-A.html>
- 5) 大阪ベイエリア研究会ホームページ
http://www10.plala.or.jp/bay_area/keitai.html
- 6) NTTドコモホームページ
<http://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/disclosure/agreement/docomo/d04.pdf> 第63条
- 7) パイオニアナビコムホームページ
<http://www.pioneer-navicom.com/product/aircell.html>
- 8) 無線局運用細則第一百五十二条 総務省告示第五百五十九条
http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/pressrelease/japanese/sogo_tsusin/010511_2b.pdf
- 9) 電波法施行規則第四条の二
- 10) 総務省ホームページ
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/system/satellit/air.htm>
- 11) 日本航空 航空実用辞典ホームページ
<http://www.jal.co.jp/jiten/dict/p201.html>
- 12) 三菱電機株式会社 HF無線機接続 データ伝送装置カタログ
- 13) 無線局運用規則第八章 アマチュア局の運用
- 14) 社団法人日本アマチュア無線連盟ホームページ
<http://www.jarl.or.jp/index.html>
- 15) 西村芳一：無線によるデータ変復調技術、2002、P102-105、CQ出版社
- 16) 野坂邦史、村谷拓郎：衛星通信入門、P96-101、オーム社