

13. 小型航空機の運航支援に関する予備的研究

機上等技術領域 ※塩地 誠、山本 憲夫、小瀬木 滋、米本 成人、大津山 卓哉

通信・航法・監視領域 星野尾 一明

1. はじめに

わが国の航空機事故件数の半数以上は、小型航空機（固定翼機とヘリコプター）の事故である。小型航空機事故の背景には、わが国独自の急峻な山岳地形、気象(特に突然の視界不良)の影響、人の目や判断に頼る飛行等の事情があると考えられている。

事故をなくすには、ソフト面、ハード面のさまざまな対策が必要であるが、新しい技術を活用することで、小型航空機の操縦者に周辺の状況を分かりやすく伝える装置を提供することも有効な方法と考える。

操縦席の表示装置に、自機の周囲を飛行する航空機の位置をレーダー画面のように表示し、周辺の地形（特に危険な山岳）も表示すれば、目視による相互位置の把握や安全確認の手助けになると考えられる。さらに、音声で提供されている気象情報や安全運航支援情報などもいつでも画面上で確認できれば、安全運航を助けると考えられる。

これらの表示の情報源としては、航空機が自機の位置情報などを自動送信する ADS-B (放送型自動位置情報伝送・監視機能) の他、地上側から航空交通情報や安全運航支援情報を自動送信する仕組み (TIS-B: トラフィック情報サービス放送、FIS-B: 飛行情報サービス放送) が考えられる。これにより、小型航空機（操縦者）自体の情報収集能力の強化及び空と地上の情報共有が実現できると考えられる。

これらの技術は小型機のみならず大型機にも関連するので、平成 19 年度より「航空機の安全運航支援技術に関する研究」として研究を実施するところである。それに先立ち、平成 18 年度は「小型航空機の運航支援に関する予備的研究」として、航空局ならびに米国連邦航空局 (FAA) の協力の下に、米国の小型機安全運航技術の事例調査を行い、それに使用されるユニバ

ーサル・アクセス・トランシーバ (UAT: Universal Access Transceiver) の飛行実験を宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との共同研究によりアラスカ州で実施したので報告する。

2. 米国アラスカ州の小型機安全対策

2.1 アラスカ州の航空事情と安全対策

米国アラスカ州は、急峻な山岳や湿地帯に阻まれて陸上交通は不便であり、小型航空機が便利な交通手段となっている。小型機の機数、飛行回数とも多い上に、山岳、天候の変化などの要因も加わり、小型航空機の事故が多かった。

このため、航空の安全性を高めるためのアラスカ独自の活動が、FAA アラスカ地方局を中心に小型機運航業界、通信機製造業者、大学等の参加のもとに進められてきた。

まず、小型機操縦者への安全啓蒙活動 (Circle of Safety や Runway Safety) が実施された。パンフレットや DVD を用いて、飛行前の情報収集と周到な飛行計画が飛行中の事故を未然に防ぎ、飛行場内での無線の傍受と見張りが滑走路上の衝突事故を防ぐことを再認識させる。

メダリオン計画では、財団が設立されて移動式 (トレーラ装備) のフライトシミュレータを用いて小型航空機の操縦者に安全訓練を提供する。優良な操縦者や小型機運航事業者に認定証 (メダル) を与えて安全思想の普及を図る。

次に、ウェザーカメラ計画では、FAA 地方局が、小型機が飛行する主要地点や飛行場にテレビカメラを設置して周辺の静止画像 (10 分間隔) をインターネットで提供する。自家用機も含め、操縦者は事前に天候と視界を手軽に確認できる。小型機運航会社のカウンターでは顧客への説明にも使用できる。無理な飛行が減少する効果があるという。

2.2 キャプストーン・プログラム

前述の活動とともに、小型機安全運航活動の

総仕上げというべき Capstone Program(キャップストーン事業またはキャップストーン計画)が実施されている。

同計画のフェーズⅠ(第1期)は、UATによる小型航空機向けのADS-B、TIS-B、FIS-Bの実証実験として2000年より開始された。FAAはアラスカ州南西部のベセル(市)とアンカレッジ(市)付近に地上局(GBT: Ground-Based Transceiver)を設置し、計画に協力する小型航空機にUAT等の機材を貸与して評価を行った。

UATは、ADS-Bとして航空機相互間で位置、高度、速度、進行方向の情報を交換するとともに、地上側から送信される、航空官署が把握している周辺航空機の位置情報(TIS-B)や、航空安全に係る情報と気象情報(FIS-B)を受信する。

コックピットの表示装置(MFD)には、これらの情報と地形図(自機より高い山岳を赤色で表示する)と併せて、または切り替えて表示する。図1に表示例を示す。

キャップストーン計画の地上局GBTは、航空機からのADS-B信号を受信し、アンカレッジの管制センター、空港などではそれらの情報をディスプレイ上に表示できる。

これまで、航空路監視レーダーは高高度を飛行する大型航空機は捕らえることができるが、山間部(氷河で削られた幅の広いU字型の谷)を飛行する小型航空機は捕らえることが難しいという状況であった。ADS-Bの表示で、小型機の不時着位置を知ることができたので、救援活動がすばやく行われたと聞く。

TIS-Bの情報源は、アンカレッジ管制センターが航空路監視レーダー(NEXRAD)等で把握した航空機の交通情報を、FIS-B情報源は、同レーダーから抽出された気象画像をそれぞれ送信している。国家気象データ配信のネットワークには調査時点では接続されてなく、FIS-Bでの送信はされてなかったが、将来接続予定とのことであった。

次に計画のフェーズⅡとして、2003年からアラスカ州南東部の州都ジュノー市付近で、WAAS対応GPS機能を追加した機上装置を用いて、RNAVの実証実験も開始した。フェーズⅡの機上表示装置はフェーズⅠの機能に加えて、飛行経路のガイダンス表示も行うので、ポイン

タが目標に重なるように操縦桿を操作すれば、事前に設定したコースを飛行できるとのことである。この時点でUAT市販品も開発され、アラスカ州では一般ユーザーも自主的に搭載できるようになった。

GPS非精密進入の空港(飛行場)付近には、自動気象観測所(AWOS)も設置されている。観測データは、VHF(合成)音声で放送される。また、飛行開始前に電話で聴くこともできる。

ここまでの計画の進捗に伴い、アラスカ州の小型航空機の事故件数が減少したという。

キャップストーン計画フェーズⅢでは、地上局をアラスカ全州に展開する予定である。アラスカ大学アンカレッジ校では、フェーズⅢ向けの機材として、市販のタブレットパソコンやPDA(Windows版)上でADS-B等を表示するシステムを開発している。これらは、ブルートゥース規格の無線で接続されるため、機内や運航会社内で、自在に持ち運び、取り扱うことができる。また、地上で受信されたADS-Bの航空機情報はインターネット経由でも提供され、小型航空機の飛行状況をリアルタイムで見られるようになる。

3. UAT(ユニバーサル・アクセス・トランシーバ)

UATは、米国で開発された小型航空機搭載用のデジタル通信装置でRTCAやICAOの国際標準が定められている。周波数は978MHzで、1秒が1フレームと定義され、フレーム内にタイムスロットが決められたランダム通信方式で、1秒に1回、位置など情報を送信する。1Mbpsの情報伝送量を持つ。アンテナを機体の上部と下部に合計2個取付け、4秒の繰返し周期で、上下のアンテナを切り替えて送信する。

FAAの承認を受けたWAAS/GPS機能付きの装置が、800ドル程度で市販されている。GBTも、1090MHz拡張スキッタADS-Bも受信できる実運用品が製造されている。

航空機以外の用途として、UATは除雪車両の位置表示システムとして、ジュノー空港(アラスカ州都ジュノー市)に導入されている。車上および事務所のディスプレイ上には各車両がコースからの誤差も少なく表示される。



図1 「キャプストーン機上装置」(MFD)の例 (左から周辺交通状況、気象、地形の切替え表示例)

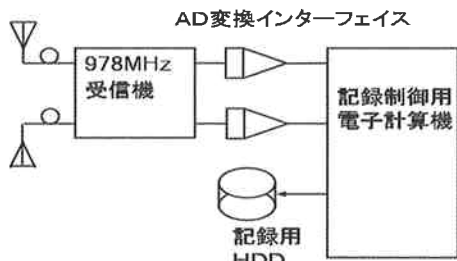


図2 UAT 信号強度測定記録装置の概念図

図3 測定記録装置の航空機内実装状況

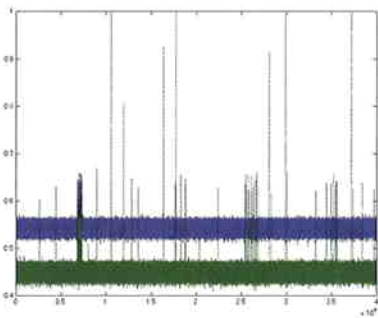


図4 4秒間の受信データ例
横軸: 時間(秒) 縦軸: 対数検波出力 (V)
(青: 上側アンテナ、緑: 下側アンテナ)

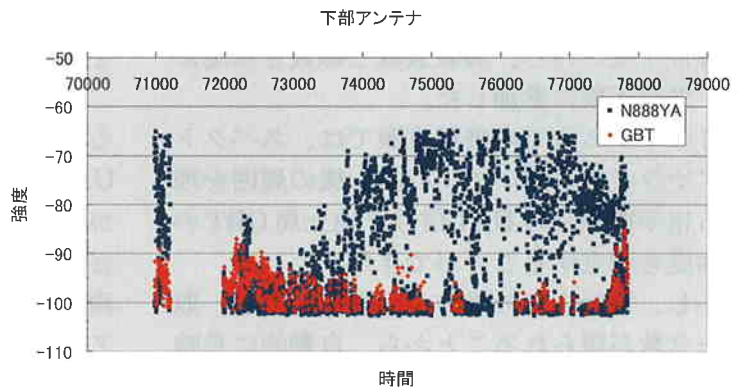


図5 飛行実験 (2時間) のデータ例(下側アンテナ)
横軸: 時間(秒) 縦軸: 信号強度換算値 (dB)
(青: 相手のADS-B メッセージ、赤: GBT)

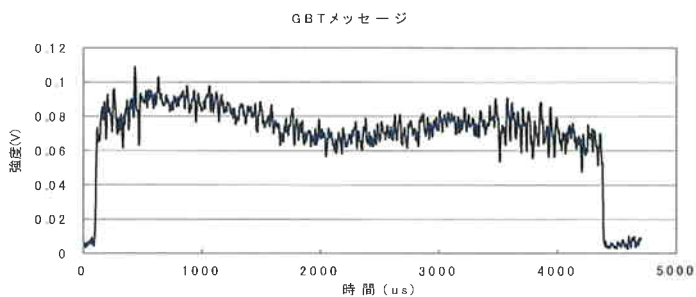


図6 GBT メッセージ拡大図
横軸: 時間 (μ 秒)、縦軸: ノイズレベルを0とした検波出力(V)

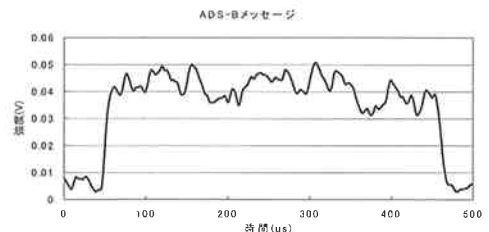


図7 ADS-B メッセージの拡大図
横軸: 時間 (μ 秒)、縦軸: ノイズレベルを0とした検波出力(V)

UAT で使われる周波数 978MHz は、航空航法用の周波数帯で地上 DME または地上タカンに割り当てられる周波数のひとつである。UAT 機材は ICAO で国際標準となっているが、わが国で運用するためには周波数の割当てなどの準備期間が必要かと思われる。

4. アラスカ州でのキャプストーン(UAT)飛行実験

JAXA との共同研究により、キャプストーン計画の飛行実験を米国アラスカ州にて実施した。

JAXA は単発小型航空機(以下 JAXA 機という)を購入して市販の UAT などの機材を搭載し、FAA の耐空証明を受け、正規の飛行ができるようにした。また、アンカレジ市内のメルル飛行場に定置場と実験事務所を設けた。飛行実験は、7月から10月に掛け、2期に分けて実施した。航空機間の通信実験では、JAXA 機の周囲を飛行する相手機として、もう1機の UAT 搭載機(以下、相手機という)をチャーターした。

電子航法研究所は、UAT の受信信号強度の測定と解析を受け持ち、実験装置と職員を現地に送り、飛行実験に参加した。

7月のアラスカでの飛行実験では、スペクトラムアナライザを用いて、JAXA 機の周囲を飛行する相手機からの UAT 信号と地上局 GBT の信号強度を測定することができた。

しかし、飛行中での操作が困難なことと、取得データ数が限られることから、自動的に長時間のデータを記録する装置が必要と考え、UAT 信号強度測定用受信装置とデータ記録装置を製作した。図2にその概念図を示す。UAT 周波数帯の信号を対数検波してログビデオ(信号強度: dB 値に比例するアナログ信号)を得て、4秒間単位(UAT のアンテナ切替えの周期)でデジタルサンプリングして記録する。測定系を2系統にして、UAT の上下のアンテナの信号をそれぞれ記録できるようにした。

9~10月の2回目のアラスカ飛行実験では、前述の装置を JAXA 機に持込み、UAT の上下のアンテナから分岐した信号を測定・記録した。図3に装置の実装状況を示す。

図4に記録データの1例を示す。横軸が時間(秒)で縦軸が記録したログビデオ電圧値で UAT の繰返し周期4秒間のデータを示している。青

色のグラフが上側アンテナの受信データで、緑色が下側アンテナのデータを示す。振り切れている緑の線は自機(JAXA 機)の ADS-B メッセージで、少し低い線が周囲を飛行する相手機の信号である。それぞれ1秒に1回、ランダムに送信しているのがわかる。図5は、1回の飛行実験(約2時間)のデータを時系列でプロットした例である。横軸は時間(秒)で縦軸は受信信号強度(dBm に換算したもの)である。青色が相手機の ADS-B メッセージの強度で、赤色が GBT の信号強度である。相手機は周囲を上下左右に位置を変えながら飛んでいるので、信号レベルは大きく変化している。この測定値は 20dB カップラを通した値であるので、この値であれば、UAT の受信感度を上回っていると考えられる。また、GBT の強度は JAXA 機が遠くへ行くにつれて、弱くなり、旋回して戻ると強くなる様子を示している。

参考に、図6に GBT 信号の拡大図(パルスの包絡線)を、図7に ADS-B メッセージの拡大図を示す。信号の時間(長さ)が違うのがわかる。

JAXA 機の周囲を相手機が上下左右に飛び回る飛行パターンでは、相手機的位置によって、UAT 装置が受信信号をデコードできないことがあった。機体の影響によるアンテナ指向性の谷間(ブラインド)かと懸念されたが、当所の測定データを解析したところ、上下どちらかのアンテナには十分な強度の信号を記録していた。

調査したところ、搭載した UAT 装置は、受信の際、上下のアンテナ信号の強い方を選択するのではなく、周期的に切り替える仕様になっていた。このため、相手機的位置と逆側のアンテナで受信することがあり、近距離では機体に遮られることもあると考えられる。

5. まとめ

FAA のキャプストーン計画と UAT に関する調査と現地での飛行実験について報告した。安全のためには総合的な対策が必要だが、新技術を活用することも有効な手法であると考えられる。19年度からは、大型機、小型機で共通に使える 1090MHz 拡張スキッタによる TIS-B 方式等の研究を行うが、今回の実験データは電波伝搬の検討に活用する予定である。