

## 次世代マルチリンク航空無線システムの実証実験について

監視通信領域 ※河村 晓子, 森岡 和行, 佐藤 正彦  
長繩 潤一, 呂 晓東, 米本 成人

### 1 まえがき

将来の航空交通システムの運用概念である軌道ベース運用[1] 実現のカギとして、航空システムから取得した様々な情報を関係者間で共有し、より安全で効率的な運用を行う SWIM (System Wide Information Management) [2-3]の導入が検討されている。このような次世代の航空情報共有は、クラウドベースで行われるため、IP (Internet Protocol) に対応できる次世代航空通信システムの利用が欠かせない。一方で、現在、航空機と管制機関の間で行われる航空データ通信 [4] は、HF, VHF データ通信 (ACARS(Aircraft Communications Addressing and Reporting System)/VDL(VHF Data Link)モード II), 衛星通信はほとんどが非 IP 対応であるうえに、いずれも異なるプロトコルを用いており統合が難しい。

よって、(A) 現状の航空通信システムで IP 型の航空情報共有をいかに行うか、(B) 近い将来の IP 対応型次世代航空通信システム導入にあたり未対応機も含む幅広い通信仕様をもつ航空機群をどう扱うか、などの課題がある。

本発表では、電子航法研究所が令和2～5年度に実施した重点研究「航空通信基盤の高度化に関する研究」のなかで、上記の課題に対する解決策として (A) には ACARS の IP 化を、(B) には航空通信システムの IP による統合および優先度選択の導入を提案し、開発実証を行った結果を報告する。

### 2 航空通信システム試作装置の開発

航空機と管制機関をつなぐ航空通信システムは、空港面、陸域、洋上と飛行フェーズに合わせて通信性能やコストなど優先される条件が異なり、また冗長性の観点からも複数必要になる。本研究では、先行研究から昨年度までに、表 1 に示す 5 種の航空通信システムの地上基地局と機上局を試作した。このうち、ACARS のみが

表 1 本研究で開発/利用した航空通信システム

SSB: Swift BroadBand			
名称	現行利用	利用フェーズ	通信速度 (bps)
ACARS ※	○	空港面・陸域	2.4k
LDACS		空港面・陸域	
AeroMACS ※		空港面・空港周辺	7M
次世代衛星通信 ※ (SSB)	△	すべて可能 (主に洋上)	300 k
Local 5G		空港面	10G

現行のシステムであり、次世代衛星通信は限られた一部の新型航空機で利用されている。それ以外の 3 種のシステムでは AeroMACS (Aeronautical Mobile Airport Communications System)だけが規格標準化を終了しており、いずれも搭載装置がメーカーから販売されていない。この 5 種のシステムのうち、ACARS, AeroMACS, 次世代衛星通信装置の 3 種については無線局免許を取得し、機上局を実験用航空機に搭載した。

LDACS (L-band Digital Aeronautical Communications System) は実験室用の試作無線機を開発し、国際規格上の仕様の検証[5]や機上トランスポンダとの干渉検討[6]を行った。また、近年 ICAO 通信パネルにて、WiMAX ベースの AeroMACS 規格を 5G 規格で再活用しようとする動きがあることから、既存の 4.7GHz 帯を利用する Local 5G 送受信機を AeroMACS と同じ航空用周波数帯 (5091-5150 MHz) に移行した Local 5G 試作無線機も開発した[7]。

### 3 ACARS での SWIM データの送受信

ACARS (A618) [8] は古くから管制・運航に用いられている VHF データ通信であり、現在でも国内線の旅客機を中心に広く利用されている。テキストベースで 1 つの無線フレーム当たり 210 byte のメッセージしか送受信できない。現在用いられている仕様のままでは、IP 非対応であること、SWIM メッセージのデータ量が大きいことから SWIM メッセージを送受することはできない。

そこで、後述の SWIM の TRACK メッセージの主要部分のデータをバイナリ化したものをペイロードとした IP パケットを形成し binary to text 変換したものを、MIAM (Media Independent Aircraft Messaging) プロトコル [9] を用いてカプセル化する。これにより ACARS 上 IP パケットを text data として送受信できるようにした [10] (図 1)。IP 対応することで、データの暗号

化や優先度選択なども導入可能となる。  
さらに、実地勘査回数を実現するため

さらに、空地軌道同期を実現するため、SWIM メッセージの中でも比較的データサイズが小さい TRACK メッセージ（図 2：緯度、経度、高度、時刻、機首方向、速度などを含む）を ACARS を通して送信することを検討する。SWIM メッセージは xml 形式で作られておりデータの大部分がフォーマット文であることに注目し、メッセージの中で真に必要な情報（図 2 中網掛け部分）のみを抜き出し、文字列ではなく float あるいは integer の値として扱うことでデータ量を大幅に削減し、元の xml 形式

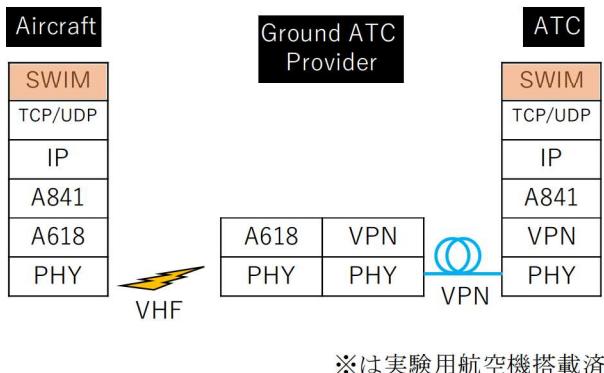


図1 IP化したACARSのプロトコル

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<Flight flightType="S" xmlns="http://www.fixm.aero/flight/4.1"
  xmlns:fb="http://www.fixm.aero/base/4.1"
  xmlns:mesg="http://www.fixm.aero/messaging/4.1"
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <current>
    <element>
      <point4D srsName="urn:ogc:def:crsEPSG::4326">
        <fb:pos>14.106624785020294 101.30790544236253</fb:pos>
        <level>
          <fb:altitude uom="FT">13503.0</fb:altitude>
        </level>
        <predictedGroundspeed
          uom="KT">245.0</predictedGroundspeed>
        <time>
          <absoluteTime>2021-03-19T14:12:59Z</absoluteTime>
        </time>
      </point4D>
      <routePoint xsi:type="fb:RelativePointType">
        <fb:bearing uom="DEG">232.60338497459068</fb:bearing>
      </routePoint>
    ...
  </current>
</Flight>
```

重要なのは網掛け部分のみ

図2 XML形式のSWIMメッセージの例  
(位置データの一部)

メッセージだと 2KByte 程度あるデータ量が IP ヘッダと誤り訂正用の hash data(32Byte) 込みで 104 Byte となり ACARS の 1 パケットに収めることができた。

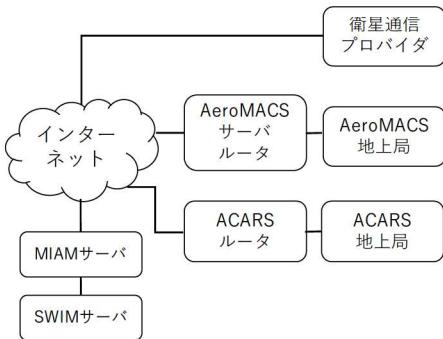
2章で示したACARS通信装置の試作機を用いて当該データの送受信試験を行い、SWIMの位置データを機上局から地上基地局へ送信し適切に復調できることを確認した。

## 4 複数の航空通信システムの IP による統合と SWIM メッセージ送受

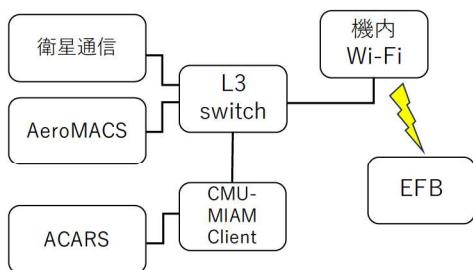
2章で紹介した、ACARS、AeroMACS、次世代衛星通信装置の3種の試作無線機について、飛行実証試験を行うことを念頭に、航空通信システムのIPによる統合を行う。また、この統合した航空通信システム上で、当初の目標であるSWIMメッセージの送受によって機能を確認する。

#### 4.1 複数の航空通信システムの IP による統合

現在の航空通信システムは、空港面と陸域でACARS、洋上では衛星通信、というように飛行場所（フェーズ）ごとに使用する航空通信シ



(a) 地上局



(b) 機上局

図3 統合した複数の航空通信システム

システムは単一であり、その切り替わりにおいてRCP(Required communication performance)等接続率が低下することが知られている[11]。次世代の航空通信では、複数の航空通信システムをあらかじめ接続しておき、通信内容などに応じて通信メディアを選択し、全体の接続率低下を防ぐ手法が提案されている[12]。これに従い、本研究においても ACARS, AeroMACS, 次世代衛星通信装置の3種の試作無線機を全飛行フェーズにおいて接続することを考える。

航空機に搭載された通信システムは、CMU (Communication Management Unit) を介してFMS (Flight Management System) に接続されており、このCMUが使用する通信システムの選択を担っている。ここに、前章で示したMIAM機能を入れ、ACARSを含めた扱うすべての通信システムがIP対応となった状態で、図2に示すSWIMの各種メッセージを空地間で送受信する。図3に機器接続構成を示す。

空地の飛行実験の前段階として、電子航法研究所仙台分室航空機ハンガー前の空き地に航空

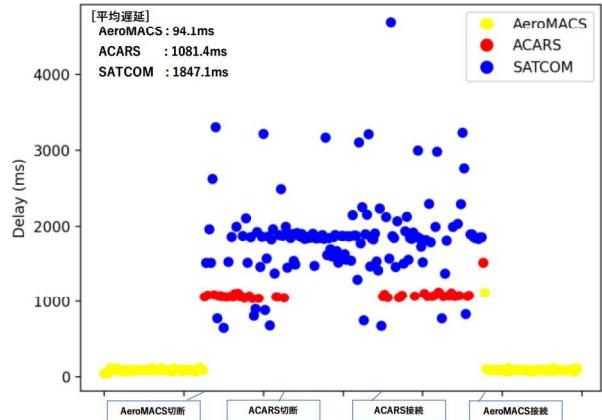


図4 航空機駐機中に実施した複数の通信システムを用いた通信実験の結果（遅延）

機を駐機した状態で、通信実験を実施した。複数の航空通信システムを同時に接続状態とすると、覆域の重なる場所では、同じデータが複数回届くことになる。そのため、一番最初に届くメッセージを採用することとする。機上データの到達先は、パイロット用 EFB (Electronic Flight Bag) 端末である。この予備実験では航空機が移動しないため、意図的に AeroMACS や ACARS を切断することで、覆域境界を模擬した。

実験結果（図4）より、ACARSはスループット（単位時間当たりの処理能力やデータ転送量）は低いが覆域内での接続が安定していること、衛星通信(SATCOM)はベストエフオート型のため、遅延のばらつきが大きいこと、常時接続可能なものの遅延が非常に大きくなることがあること、AeroMACSはスループットがよく覆域内ではかなり有効であることなどがわかった。よって、この3種の通信装置を同時接続してSWIMデータを送受信する場合、データの容量や内容を考慮し優先度選択[13]などの通信制御を行う必要があるといえる。

#### 4.2 SWIM メッセージの送受

SWIMメッセージには、離陸前の地図画像、飛行中の位置や速度情報、飛行計画の変更申請など様々な種類がある。この中で、画像を含む地図データは容量が大きく、位置情報は比較的小さい。また、飛行計画の変更申請は、ある程

度即時性が求められる。一方、前節にて明らかにした通り、通信装置側にも覆域だけでなくスループットやコストなどそれぞれに得手不得手がある。ACARSのようなスループットが低い通信線路に地図のような大きいデータを割り当てるることは適当でない。

よって、地図画像は航空機が空港面にあるときに AeroMACS を利用して送信、位置情報は3章で提案した手法でデータを圧縮し ACARS を利用、その他飛行中の飛行計画の変更等は衛星通信を利用するよう、CMU にてあらかじめ制御することとした。

今後、すべての航空機が次世代通信装置のみを搭載するようになるまで、SWIM 以外の DTAXI など今後利用が期待される空地アプリケーションにおいても、常にこのような通信メディア選択制御が必要になる。将来的には、このようなメディア選択をある程度自動化することが求められる。

## 5まとめ

本稿では、軌道ベース運用のカギとなる SWIM 運用を支える空地通信基盤について、将来導入が検討されている次世代航空通信システムだけでなく、現行の通信システムも含めた利用実現の技術的手法を提案した。さらに、その実証試験を、実際に航空機に搭載した試作無線機と地上局との間の通信試験により実施した。この結果、従来の通信システムでも一部の SWIM メッセージの送信が行えること、複数の通信装置の統合にあたって、通信メディアの選択制御が重要になることを明らかにした。

## 参考文献

- [1] ICAO. Global Air Traffic Management Operational Concept, 2005.
- [2] ICAO, “Doc 10039: Manual on the System Wide Information Management (SWIM) Concept, 2024.
- [3] X. Lu, K. Morioka, T. Koga, Y. Sumiya, “Air-Ground System Wide Information Management to Achieve Safe Flight Operation,” Proceedings of the IEEE 19th International Symposium on High Assurance Systems Engineering (HASE), Jan, 2019.
- [4] 北折潤, 山康博, “航空業務用無線通信システム,” 電子情報通信学会, 通信ソサイエティマガジン, vol. 11, no.2, pp.106-111, Sept. 2017.
- [5] K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto, L. Jansen, N. Maurer, T. Gräupl, M. Schnell, “Rapid Prototyping and International Validation Activity for the L-band Digital Aeronautical Communications System (LDACS)”, IEEE Open Journal of the Communications Society, Sept. 2023.
- [6] K. Morioka, A. Kohmura, N. Yonemoto, J. Naganawa, J. Honda, “Initial report on ENRI LDACS compatibility testing,” ICAO, CP, PT-T, PT-T/WM44 IP, Feb. 2024.
- [7] N. Yonemoto, A. Kohmura, K. Morioka, “Intermediate report on the construction of aeronautical communication system using the local 5G mobile communication system in Japan”, ICAO CP DCIWG WG-M/2, Oct. 2023.
- [8] ARINC: Air/Ground Character-Oriented Protocol Specification, Ch. 4.0 VHF ACARS ARINC Specification 618-5, ARINC, 2000.
- [9] ARINC, “MEDIA INDEPENDENT AIRCRAFT MESSAGING (MIAM),” ARINC SPECIFICATION 841-3, July 2016.
- [10] Yonemoto, A. Kohmura, K. Morioka, N. Miyazaki, M. Sato, “Intermediate report on the development of IPS connectivity through classic ACARS”, ICAO CP DCIWG WG-M/02, Oct. 2023.
- [11] “Performance Based Communications and Surveillance (PBCS) analysis,” <https://pbcsanalysis.herokuapp.com/> Accessed on: Apr. 30, 2024.
- [12] ICAO, CP-DCIWG, WG-I, “IPS SARPS VALIDATION REPORT,” Feb. 2023.
- [13] K. Morioka, X. Lu, J. Naganawa, N. Miyazaki, N. Yonemoto, Y. Sumiya, A. Kohmura, “Service assurance packet-scheduling algorithm for a future aeronautical mobile communication system,” Elsevier, Simulation Modelling Practice and Theory, Mar. 2020.