

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

電子航法研究所 監視通信領域

河村 暁子, 森岡 和行, 佐藤 正彦, 長縄 潤一, 呂 曉東, 米本 成人

はじめに

軌道ベース運用 (TBO) のカギ
→ 航空情報共有基盤 SWIM

高速
大容量

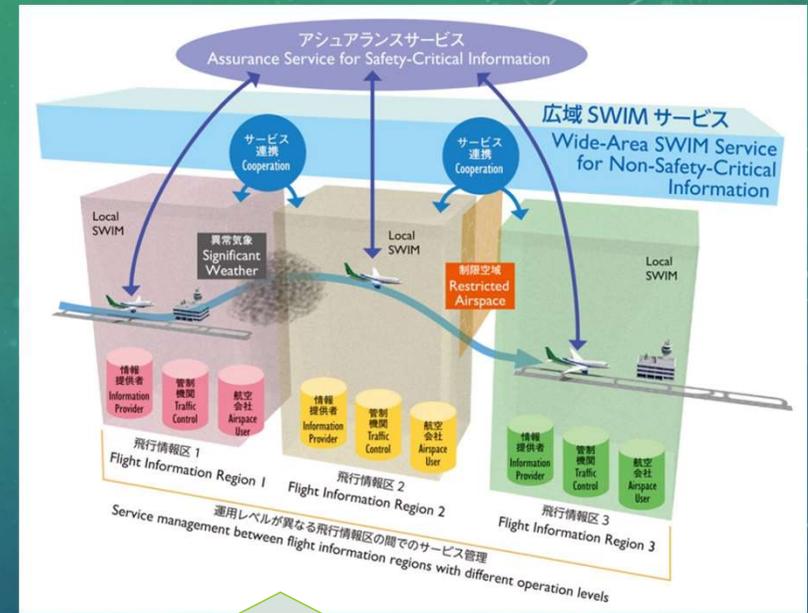
実現のための空地通信 : 次世代航空通信システム

- 次世代衛星通信システム (SB-S)
- AeroMACS
- LDACS

次世代航空通信システムの導入に向けた 次世代空地通信の実証検討

TBO: Trajectory Based Operation
SWIM: System-Wide Information Management
SB-S: Swift BroadBand Safety

AeroMACS: Aeronautical Mobile Airport Communications System
LDACS: L-band Digital Aeronautical Communications System



軌道ベース運用を支える将来の航空通信システム 実現に向けた課題と解決策

✓ 低スペック無線装置

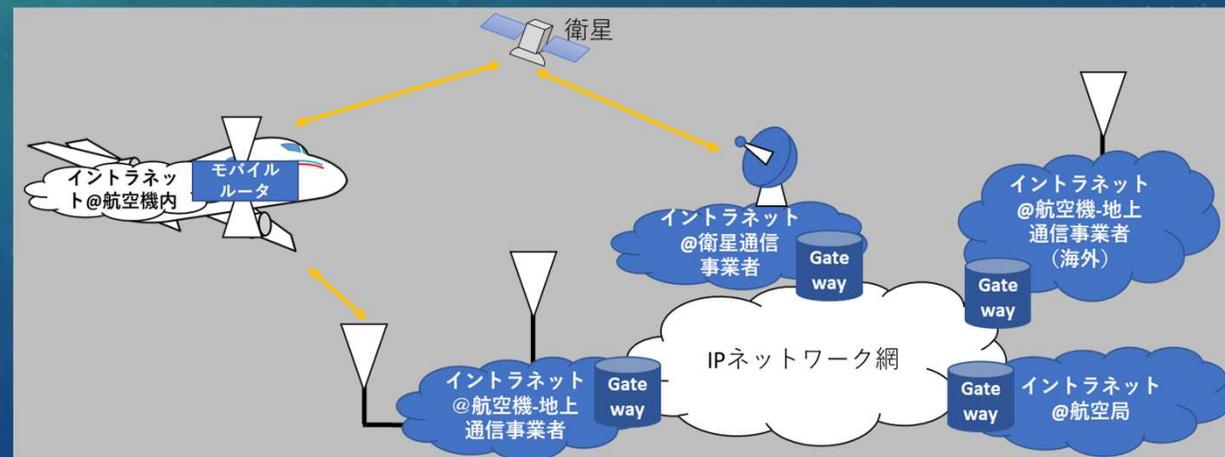
✓ 無線機毎に異なるプロトコル

→ 高速大容量の次世代航空通信システム

→ 通信プロトコルの統一 (IP化)

IP: Internet Protocol 08

	名称	利用フェーズ	通信速度 (bps)
現行	ACARS/VDL2	空港面・陸域	2.4 k/31.5 k
	HF	洋上	0.3 - 1.8 k
	Inmarsat/Iridium	全て (主に洋上)	10.5 k/2.4 k
次世代	AeroMACS	空港面/周辺	7 M
	LDACS	空港面・陸域	1.4 M
	次世代衛星	全て (主に洋上)	300 k



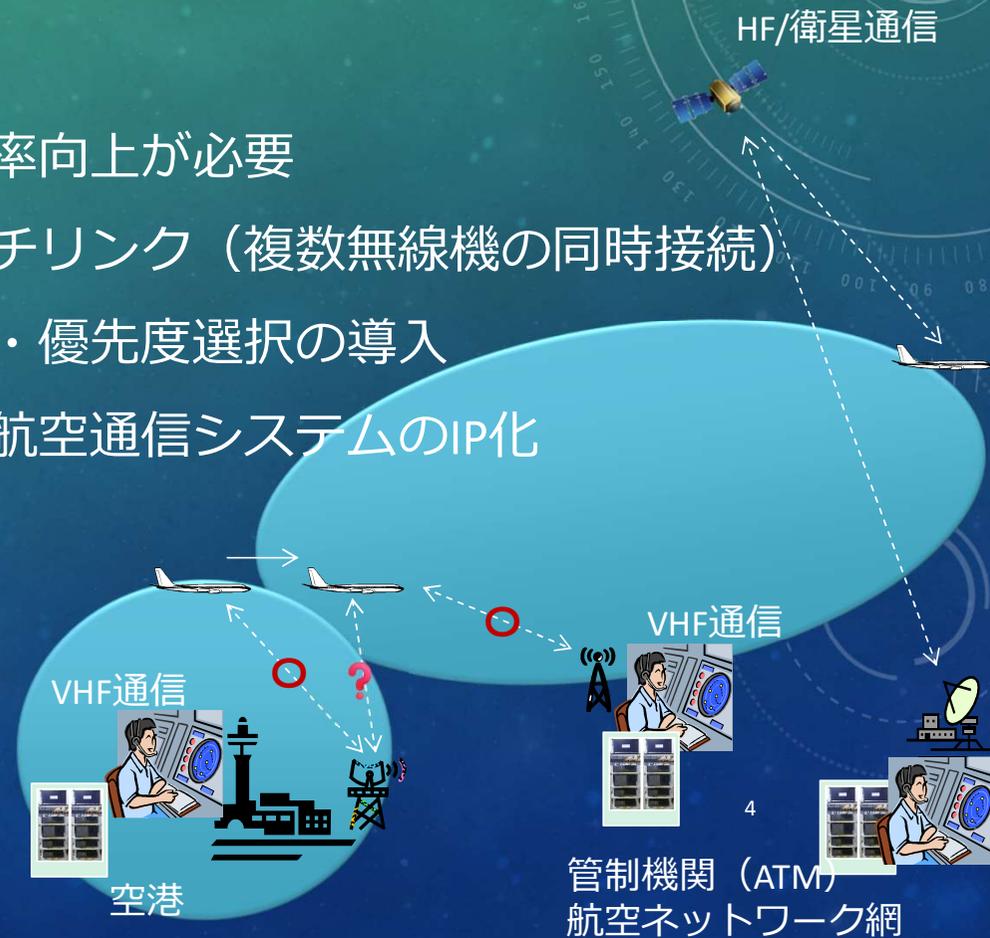
次世代航空通信ネットワークの社会実装概念

ACARS: Aircraft Communications Addressing and Reporting System
VDL: VHF Data Link

軌道ベース運用を支える将来の航空通信システム 実現に向けた課題と解決策

- ✓ 接続率（RCP）99.9%に未達 → 接続率向上が必要
- ✓ 覆域毎に無線機を切替え → マルチリンク（複数無線機の同時接続）
- ✓ セキュリティなし → 秘匿・優先度選択の導入
- ✓ 移行期間はどうする？ → 現行航空通信システムのIP化

それぞれの解決策について
装置を開発し
空地飛行通信実験のなかで実証



RCP: Required Communication Performance

航空通信システムの試作

- ✓ あらゆる仕様の通信システムを実現できる航空通信エミュレータ
- ✓ 実験用航空機搭載型通信システム*
 - ACARS
 - AeroMACS
 - 次世代衛星
- ✓ 実験室用通信システム
 - LDACS
 - Local 5G (周波数可変)

開発した通信システム	現行利用	利用フェーズ	通信速度 (bps)
ACARS*	○	空港面・陸域	2.4 k
LDACS		空港面・陸域	1.4 M
AeroMACS*		空港面/周辺	7 M
次世代衛星 (SBB)*	△	全て可能 (主に洋上)	300 k
Local 5G	航空外	空港面	10 G

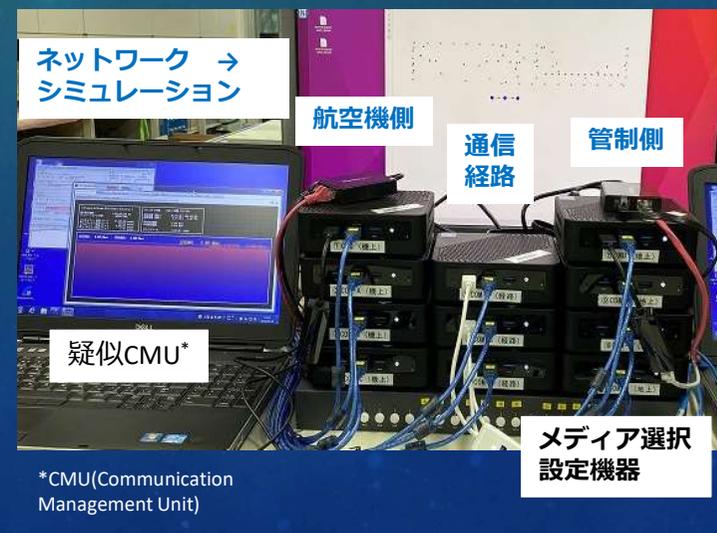
SBB: Swift Broadband



周波数可変Local 5Gシステム



マルチリンク実証システム



航空通信エミュレータ

EFB: Electronic Flight Bag

ACARSのIP化とSWIMメッセージ（一部）対応

課題

- 複数の通信システム/経路を扱うにはプロトコルの統一が必要 → IP化
- ほとんどのSWIMメッセージは容量的に既存航空無線機では扱えない → データ圧縮

- MIAMを導入し、テキスト⇄バイナリ
- ヘッダを付与し、IPパケットを形成
- セキュリティ強化



実験用航空機—地上局 のACARS通信システムに導入し
空地通信実験を実施

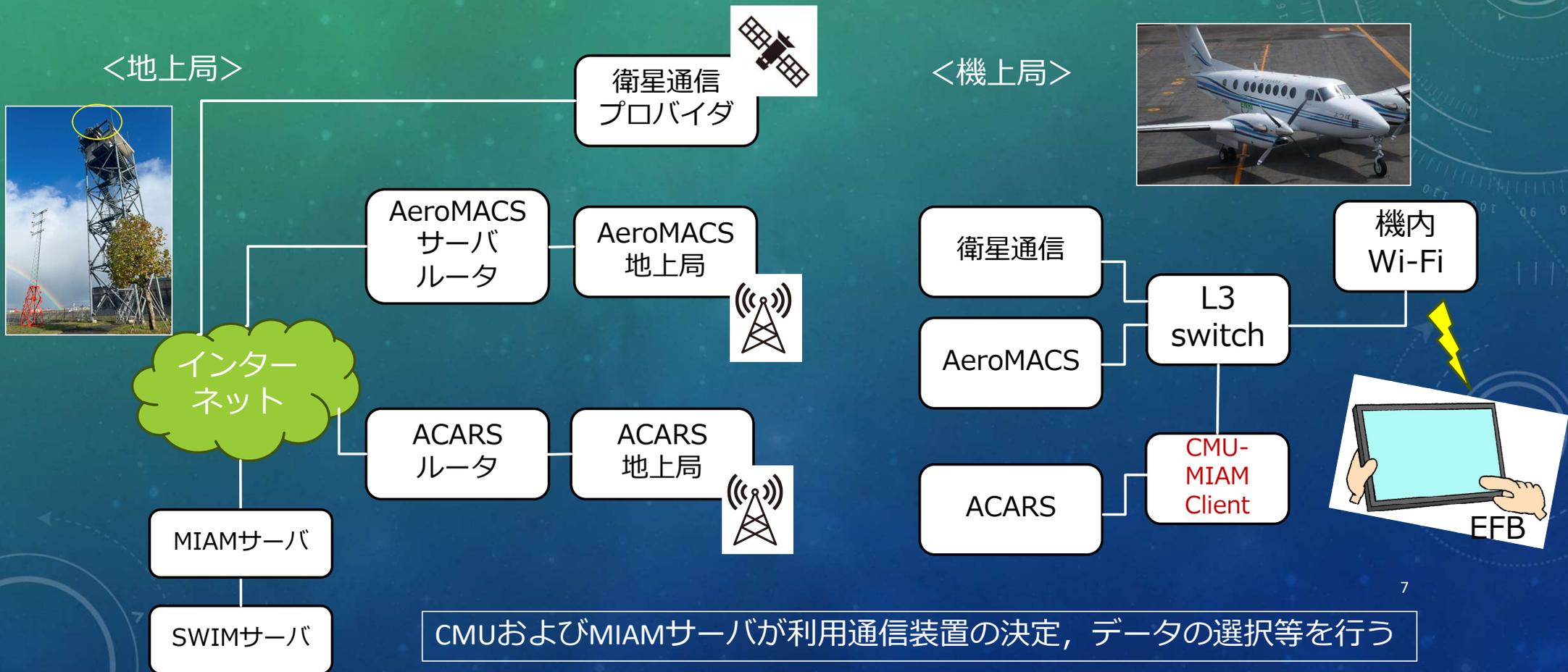
- 主要部分を抜き出し
- 2KB → 104Byte
- 現行無線機でも一部SWIMメッセージは送受可能

XML形式

```
<?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:crs:EPSG::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>
```

SWIM TRACKメッセージ（位置情報等）

複数の航空通信システムのIPによる統合

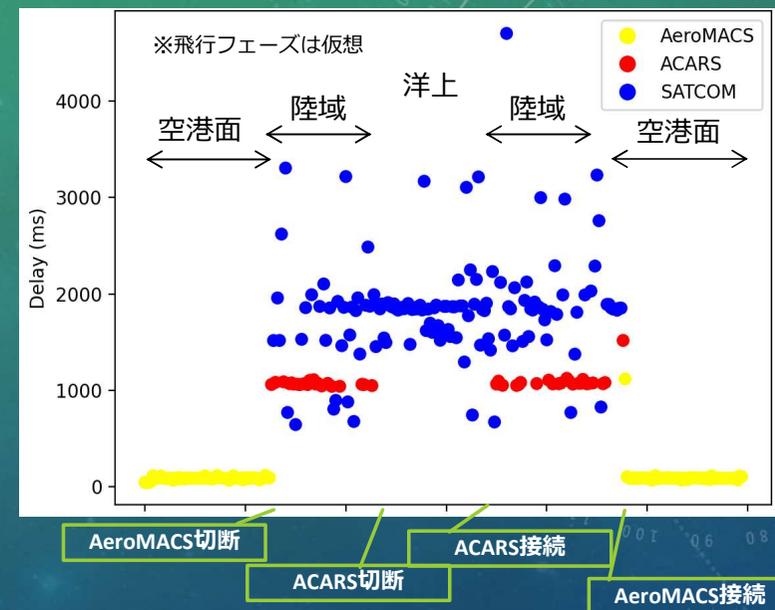


通信実験の結果

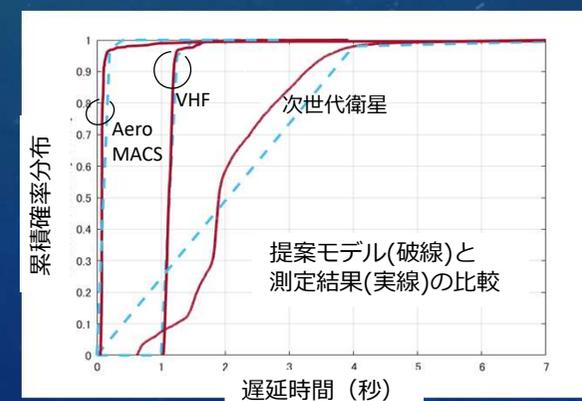
- 飛行中の航空機 ↔ 地上局 間でACARS・AeroMACS・次世代衛星通信を同時接続しながら通信実験を実施
- ACARSをIP化したことで、複数の通信システムをIPで統合して扱える
- SWIM位置情報を定期的に送信し遅延などを測定
- 3通信機中、一番先に地上サーバに届くメッセージを採用

✓ 陸域（ACARS覆域内）はACARSが優勢だが衛星通信も採用される
→ 複数通信機の同時接続が接続率向上に有効 ↗

✓ 通信機別の遅延（RTCP）の理論モデルと実験結果が一致 →



航空機駐機中に実施した通信試験結果

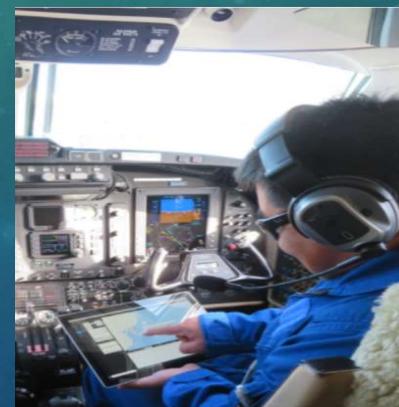


航空機 ↔ 地上局 間の遅延

RTCP: Required Communication Technical Performance

飛行中の航空機とのSWIMメッセージ交換

- 飛行中のSWIM利用実証試験を実施
- AeroMACSと次世代衛星を同時接続
- 仙台－函館間 IFR飛行
- 飛行前の地図画像取得，飛行計画提出，飛行中の各種データ送受，飛行計画変更などのシナリオを実施 → 機上疑似EFBへ表示



機上疑似EFB（タブレット端末）に情報を表示する運用イメージ

※写真は安全のため地上にて撮影

飛行中も空地での柔軟なTrajectory negotiation が可能に

利用無線機を選択

SWIMメッセージは大容量データを含むため
利用する無線機を戦略的に選ぶ必要がある

SWIMデータは、地図画像から位置情報まで様々
→ どのデータをどの通信装置に割り振るか？

- SWIM地図画像データ : AeroMACS
- SWIMデータ地図以外（Flight Plan等） : AeroMACS（空港面）/次世代衛星（飛行中）
- 位置情報（TRACKメッセージ） : ACARS/AeroMACS/次世代衛星

無線機	世代	利用フェーズ	通信速度 (bps)
ACARS	旧	空港面・陸域	2.4 k
AeroMACS	次	空港面/周辺	7 M
次世代衛星 (SBB)	次	全て可能 (主に洋上)	300 k

データと利用通信装置をあらかじめ固定するシンプルな優先度選択を実施
将来的には扱うデータの種類を増やし、無線機選択を自動化したい

まとめ

- 重点研究「航空通信基盤の高度化に関する研究」 (R2~R5)
- 多様な空地通信の検証ができるシステムの開発
 - 実験室：航空通信エミュレータ, LDACS試作機, Local 5G (周波数可変) システム
 - 実験用航空機搭載：ACARS, AeroMACS, 次世代衛星通信 (SBB)
- 現行航空無線機のIP対応化 → 次世代航空通信機との併用, SWIM利用が可能に
- 3つの航空通信装置を同時接続しての空地通信飛行実験の実施
 - ACARS IP化 (SWIMデータ送信) 実証
 - 複数の航空通信装置による接続率向上の検証
 - SWIM等大容量アプリケーションに対応するための通信装置の選択手法の検討
 - 次世代航空通信装置による飛行中のSWIMメッセージ交換の実証

課題と今後の研究

課題

- SWIM等の航空情報共有アプリケーションには大容量のデータ通信が必要
- 新旧航空通信システムの移行過渡期に，航空情報共有アプリケーション等を有効に活用するための更なる工夫が必要

展望

- 指定研究「航空管制用データ通信の大容量化に資する研究」（R6～R9）
- これまでに試作開発した複数の航空通信検証プラットフォームを用いた航空用通信制御方式の開発
- 公衆通信網を航空データ通信へ活用するための技術課題の評価