

# 「ロボット・ドローンが活躍する 省エネルギー社会の実現プロジェクト」

## 事業原簿【公開】

### 6. 目標及び達成状況の詳細 (2/3)

#### 6.2. 研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム 及び衝突回避技術の開発」

##### 6.2.1. 無人航空機の運航管理システムの開発

	担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI部	
--	-----	---	--

—目次—

6.2. 研究開発項目②「無人航空機の通航管理システム及び衝突回避技術の開発」	
6.2.1. 無人航空機の通航管理システムの開発	
6.2.1.1 1) 通航管理統合機能の開発（物流）： 安心・安全で効率的な物流等のサービスを実現する通航管理システムの研究開発	6-530
6.2.1.2 2) 通航管理機能の開発（警備）：警備業務に対応した通航管理機能の研究開発	6-574
6.2.1.3 2) 通航管理機能の開発（災害）：複数無線通信網を利用した多用途通航管理機能の開発	6-652
6.2.1.4 2) 通航管理機能の開発（衛星/災害）：衛星通信を利用するドローンの通航管理システムの開発	6-688
6.2.1.5 3) 通航管理機能の開発（離島対応等）： 準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発	6-719
6.2.1.6 4) 情報提供機能の開発—空間情報基盤：無人航空機の安全航行のための空間情報基盤の開発	6-769
6.2.1.7 4) 情報提供機能の開発—気象情報提供機能ドローン向け気象情報提供機能の研究開発	6-790
6.2.1.8 5) 通航管理システムの全体設計：通航管理システムの全体設計に関する研究開発	6-804
6.2.1.9 6) 遠隔からの機体識別に関する研究開発： 遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発	6-820
6.2.1.10 7) 通航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発： 通航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発	6-960
6.2.1.11 8) 単独長距離飛行を実現する通航管理機能の開発（離島対応）： 単独長距離飛行を実現する通航管理機能の開発（離島対応）	6-1166
6.2.1.12 9) 地域特性を考慮した情報提供機能に関する研究開発）： 空の道を組み込んだ統合型情報提供機能の実用化	6-1209
6.2.1.13 9) 地域特性を考慮した情報提供機能に関する研究開発）： 地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発	6-1222
6.2.1.14 10) 地域特性・拡張性を考慮した通航管理システムの実証事業： 地域特性・拡張性を考慮した通航管理システムの実証事業	6-1240



## 6.2. 研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」

### 6.2.1. 無人航空機の運航管理システムの開発

#### 6.2.1.1 1) 運航管理統合機能の開発（物流）：

安心・安全で効率的な物流等のサービスを実現する運航管理システムの研究開発  
（実施期間：3年間（2017年度～2019年度））

（実施者：日本電気株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・データ、株式会社NTTドコモ、楽天株式会社、株式会社日立製作所）

#### （1）事業の背景・意義（目的・概要）

##### （1）事業目的

2016年度、政府省庁主導で開催された「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ<sup>1)</sup>が策定された。当該ロードマップにおいては2020年代以降に無人航空機が目視外・有人地帯における都市を含む地域での荷物配送を含む物流分野での利活用が実現される姿として掲げられている。さらに同協議会においてまとめられた「小型無人機の更なる安全確保に向けた制度設計の方向性」<sup>2)</sup>においても目視外飛行の実現においては安全が確保できる運航管理システムの構築やそれに伴う制度整備の重要性がうたわれている。

また経済産業省は、米国（NASA）や欧州（Eurocontrol/EUROCAE）における無人航空機の運航管理システム（UTM）の開発動向を視野に入れ、無人航空機システムの国際標準化推進体制と技術開発体制の整備を行おうとしている。

かかる国内外の状況において、我が国が無人航空機の幅広い利活用を目的とした国際競争力を備えた運航管理システムの研究開発を行うことは今後の我が国における無人航空機産業の国際的優位性を確立する上で極めて重要である。

以上の観点から、本研究開発においては無人航空機の、特に物流分野に代表される複数の無人航空機が空域を共有しつつ相互に安全確保が行える運航管理・情報共有の在り方を研究開発の主題とし、将来、多数の無人航空機が目視外環境下において、安全な飛行が可能となるよう、無人航空機の運航管理システムを構築する必要があると考える。さらに本研究開発は、運航管理システムが具備すべき要件として空域・空間や電波といった有限資源の効率的な活用を目的として、複数の無人航空機間の衝突を回避しつつ運航の最適化を図ることにより省エネルギー社会の実現に貢献することを目指した。

#### 参考資料

1) <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/shiryoku6.pdf>

2) <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/dai6/shiryoku3.pdf>

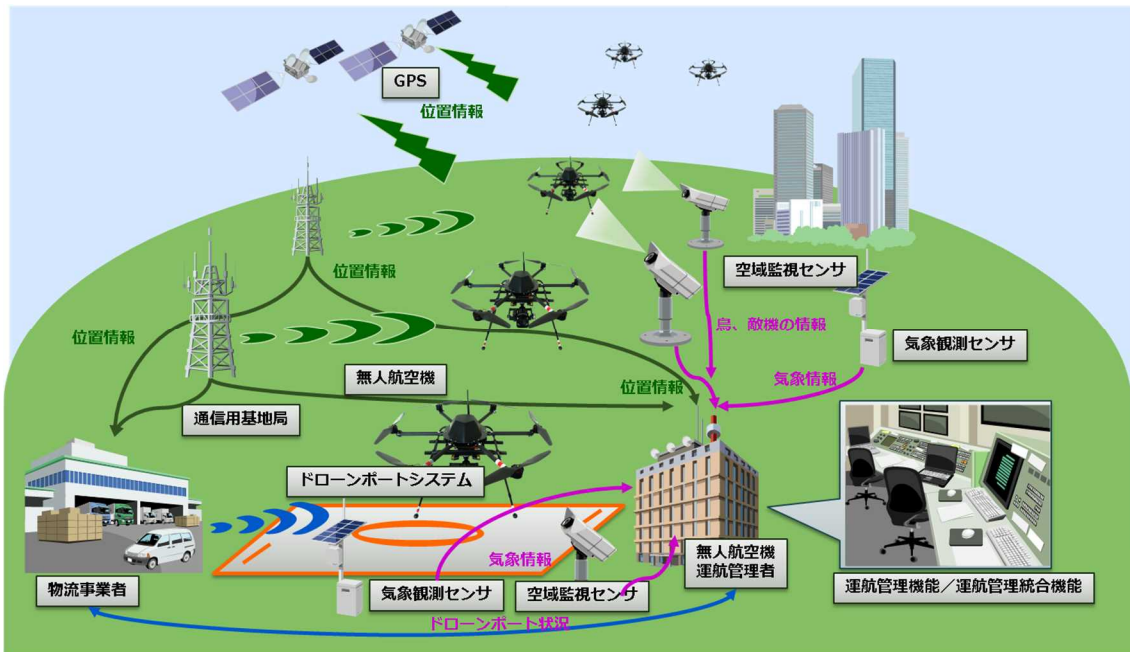


図 2. 2. 1. 1-1 運航管理システムのイメージ図

## (2) 事業概要

### [研究のスコープと進め方]

本プロジェクトでは、無人航空機の運航管理を実現するために、有人航空機航空管制、通信、物流、無人航空機、気象、地図の実績のある企業による共同実施体制を組み、以下のアプローチによる研究開発を行った。

- ① 運航管理システムのアーキテクチャの提案
- ② 無人航空機の運用を想定したユースケースの策定、および策定したユースケースから運航管理統合機能、運航管理機能の役割分担を策定し、機能間のインターフェースの策定の提案
- ③ 提案に基づく実験システムの構築
- ④ 運航管理システム全体の福島ロボットテストフィールドへの実装と実証実験による検証

[運航管理システムのアーキテクチャの提案]

提案する運航管理システムの基本アーキテクチャを図に示す。

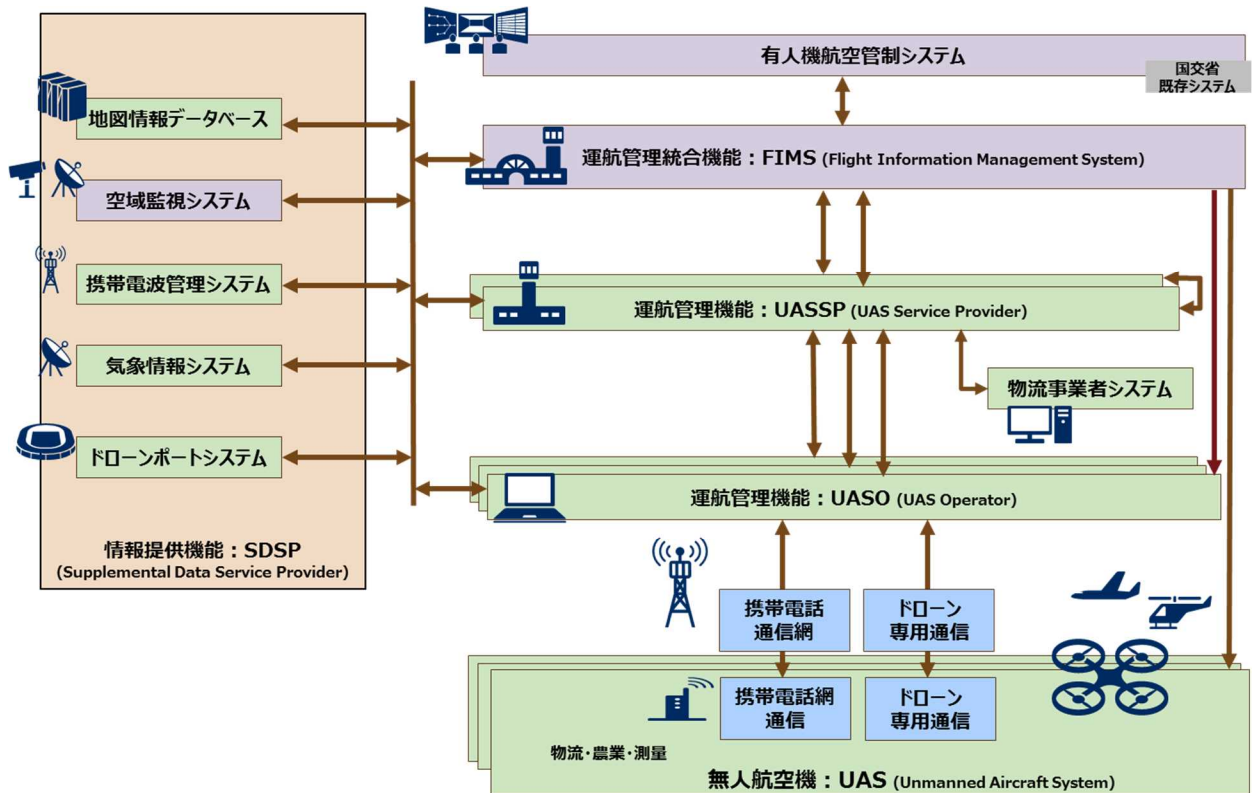


図 2.2.1.1-2 運航管理システムの基本アーキテクチャ

本提案時での各機能の役割を以下とする。また、詳細の役割・機能分担については本研究の中で明確化した。

運航管理統合機能 FIMS (Flight Information Management System) :

- ・ 運航管理機能から要求された無人航空機の飛行空域の効率的な割り当て、承認を実施する。
- ・ 無人航空機の飛行空域の安全性(他の空域との接近状態等)の確保を行う。
- ・ 有人航空機航空管制システムとの連携を図り、有人航空機との空域調整を実施する。
- ・ 無人航空機の緊急制御を実施する。

運航管理機能 UASSP (UAS Service Provider) :

- ・ 割り当てられた空域を飛行する個々の無人航空機の安全性の確保を行う。
- ・ 無人航空機の出発承認・誘導を実施する。
- ・ 運航管理機能(UASSP)間で空域の調整を実施する。

運航管理機能 UASO (UAS Operator) :

- ・ 無人航空機と直接通信を行い、現在位置情報等の情報を運航管理統合機能 (FIMS)、運航管理機能 (UASSP) に提供する。
- ・ 通信経路として携帯電話通信網の他に無人航空機専用通信を用意し、非常時の通信経路の切り替えを実施する。

情報提供機能 SDSP (Supplemental Data Service Provider) :

- ・ 運航管理統合機能 (FIMS)、運航管理機能 (UASSP)、運航管理機能 (UASO) で必要な以下の情報の提供を行う。

地図データベース :

無人航空機の飛行に必要な地形および建造物等の三次元情報、飛行が可能な空域及び飛行が禁止された空域、その他の地図情報として提供を行う。

空域監視システム :

レーダー等で無人航空機を監視し、検出した機体情報の提供を行う。

携帯電波管理システム :

無人航空機が飛行する空域における電波の利用状況に関する情報の提供を行う。

気象情報システム :

無人航空機が飛行する空域における、風 (風向及び風速等)、降水、気温及び気圧等の無人航空機の飛行に影響を与える気象観測情報および予測情報に気象情報 (風向、風速等) の提供を行う。

ドローンポートシステム :

無人航空機が離着陸するドローンポートの満空情報、離着陸の可否に関する情報の提供を行う。

無人航空機 UAS (Unmanned Aircraft System) :

- ・ 本プロジェクトの研究では、25kg 以下の小型無人航空機のうちマルチロータヘリ型の無人航空機を対象とする。

## (2) 研究開発目標と根拠

本プロジェクトでは、最終年度までに福島ロボットテストフィールドに運航管理システムを実装し、実証実験によるシステムの検証を行う。具体的に以下の検証を実施する。

- 南相馬～浪江町の 12km の距離を飛行すること。
- 実際の物流のシーンにあわせ、注文、モノの発送、受取、までの一連の運用を実施すること。
- 複数事業者の運航管理システムで管理された無人航空機が同じ空域を飛行すること。
- 10 機程度を同時に飛行させ、すれ違い、追い越しなどのシーンで衝突しないこと。
- 指定された空域を逸脱しないこと。
- 指定された空域の気象状況や飛行物体の位置・速度が複数事業者の運航管理システムで共有できること。
- 災害発生時など通信網が使えなくなった場合に、バックアップ通信網に切り替え、運航を継続できること。バックアップ通信網としてはロボット用無線帯域を用いた通信システムを利用すること。
- 2 以上の運航管理機能を有するシステムと結合した検証を実施すること。
- 3 以上のベンダーが提供する無人航空機を利用した検証を実施すること。
- 各サブシステムの接続にはセキュリティの担保をすること。
- 運航管理システムによる省エネルギー効果を評価すること。
- 1 時間 1 平方 km100 機の密度で運航管理システムの相互接続試験を実施すること。

本プロジェクトの目標の設定根拠について述べる。将来、無人航空機が大量、多頻度、高密度に飛行する社会を想定し、複数事業者、複数ベンダーの機体がある状態での試験を実施する。目標数字について、無人航空機が物流等のサービスで本格運用される時を想定し、1 時間 1 平方 km あたりに飛行するフライト数を見積もる。年間日本国内において宅配は約 40 億件発生している。人口 1 億人とすると、1 時間あたりに一人が受け取る荷物は  $50 \text{ 億個} \div 1 \text{ 億人} \div 365 \text{ 日} \div 8 \text{ 時間}$  (宅配便が 1 日に動く時間を想定) = 約 0.014 個となる。また、東京都の人口密度が約 6000 人/平方 km である。1 時間あたり、東京で 1 平方 km の範囲で 1 時間に荷物が届けられる数は、 $6000 \text{ 人/平方 km} \times 0.014 \text{ 個} = 82 \text{ 個}$  となる。そこで、1 時間 1 平方あたりに飛行する機体数を 82 個を超える 100 機と設定した。

### (3) 研究開発スケジュール・実施体制

#### [実施体制]

以下に、本プロジェクトにおける共同実施者の研究内容を示す。

表 2.2.1.1-1 共同実施者の研究分担

研究項目	内容
① 運航管理統合機能のフライト管理に関する研究（日本電気株式会社）	
A	FIMS のフライト管理に関する研究 機能分担、ルールに関する研究
B	FIMS と UASSP との連携の研究 FIMS と UASSP の IF 開発
C	FIMS と UASO/UAS との連携の研究 FIMS と UASO/UAS の IF 開発
D	空域監視システムと FIMS/UASSP/UASO の連携の研究 空域監視システムの基本装置製造と IF 開発
E	気象情報システムの FIMS/UASSP/UASO の連携の研究 気象情報システムの基本装置税像と IF 開発
F	FIMS の AI の研究 フライト管理などへの AI 適用
② 運航管理統合機能の空域情報管理に関する研究（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）	
A	FIMS の空域情報管理に関する研究 機能分担、ルールに関する研究
B	FIMS と 有人航空機情報との連携の研究 FIMS と 有人航空機関連システムとの IF 開発
C	地図情報データベースと FIMS/UASSP/UASO の連携の研究 3D マップの物流応用拡張と IF 開発
③ 電波品質に基づく運航管理機能に関する研究（株式会社 NTT ドコモ）	
A	電波品質等の情報に関わる研究 電波品質情報に関わる装置製造と IF の開発
B	UASSP/UASO と UAS 間機能に関する研究 障害時の無線機切り替えを含む、装置製造と IF 開発
C	UASSP と UASSP 間連携に関する研究 UASSP 間の機能分担、ルールに関する研究
D	携帯電波管理システムと FIMS/UASSP/UASO 間連携に関する研究 携帯電波管理システムの機能分担、ルールに関する研究
④ 事業サービスに応じた運航管理機能の開発（楽天株式会社）	
A	UASSP と UASO の連携の研究 IF 開発
B	物流サービスに応じた UASSP の研究 機能分担、ルールに関する研究
C	その他サービスに応じた UASSP の研究 機能分担、ルールに関する研究
⑤ 運航管理統合機能の運航状況管理に関する研究（株式会社日立製作所）	
A	運航状況管理における統合的判断の研究 運航状況の把握と診断/警報発出条件等に関する研究および開発
B	外部機関連携機能の開発 防災ヘリ等の動態管理システム/無人移動体画像伝送システム運用調整サービスとの IF 開発

[研究開発スケジュール]

以下に各社の研究開発スケジュールを示す。

表 2.2.1.1-2 スケジュール

事業項目	2017年度				2018年度				2019年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①日本電気株式 A)~C) ・運航管理システム機能設計 ・FIMSシステム設計 ・FIMS評価機材開発 ・FIMS評価 ・FIMSシステム設計(追加) ・FIMS評価機材開発(追加) ・全体評価		→	→				→	→		→	→	→
D)~E) ・空域監視、気象情報システム設計 ・空域監視、気象情報システム評価機材開発 ・FIMSと接続評価 ・空域監視、気象情報システム設計・追加開発 ・追加開発 ・全体評価		→	→				→	→		→	→	→
F) ・AIシステム設計 ・AI評価機材開発、評価 ・全体評価		→	→								→	→
②株式会社エヌ・ティ・ティ・データ A)~B) ・運航管理システム機能設計 ・FIMSシステム設計 ・FIMS評価機材開発 ・FIMS評価 ・FIMS評価機材開発(追加) 全体評価		→	→				→	→		→	→	→
C) ・地図情報データベース設計 ・地図情報データベース評価機材開発 ・全体評価		→	→								→	→
③株式会社NTTドコモ A)~D) ・UASSP、携帯電波管理システム機能設計 ・UASSP、携帯電波管理システム評価機材開発 ・他システムとの接続評価 ・評価機材開発(追加) ・全体評価		→	→				→	→		→	→	→
④楽天株式会社 A)~C) ・要件定義・設計 ・システム開発 ・単体評価・検証 ・他システムとの接続評価 ・プログラム改修・改良 ・全体評価		→	→				→	→		→	→	→
⑤株式会社日立製作所 A)~B) ・運航管理システム機能設計 ・FIMS評価機材開発 ・FIMS評価 ・FIMS評価機材開発(追加) ・全体評価		→	→				→	→		→	→	→

研究体制スキーム

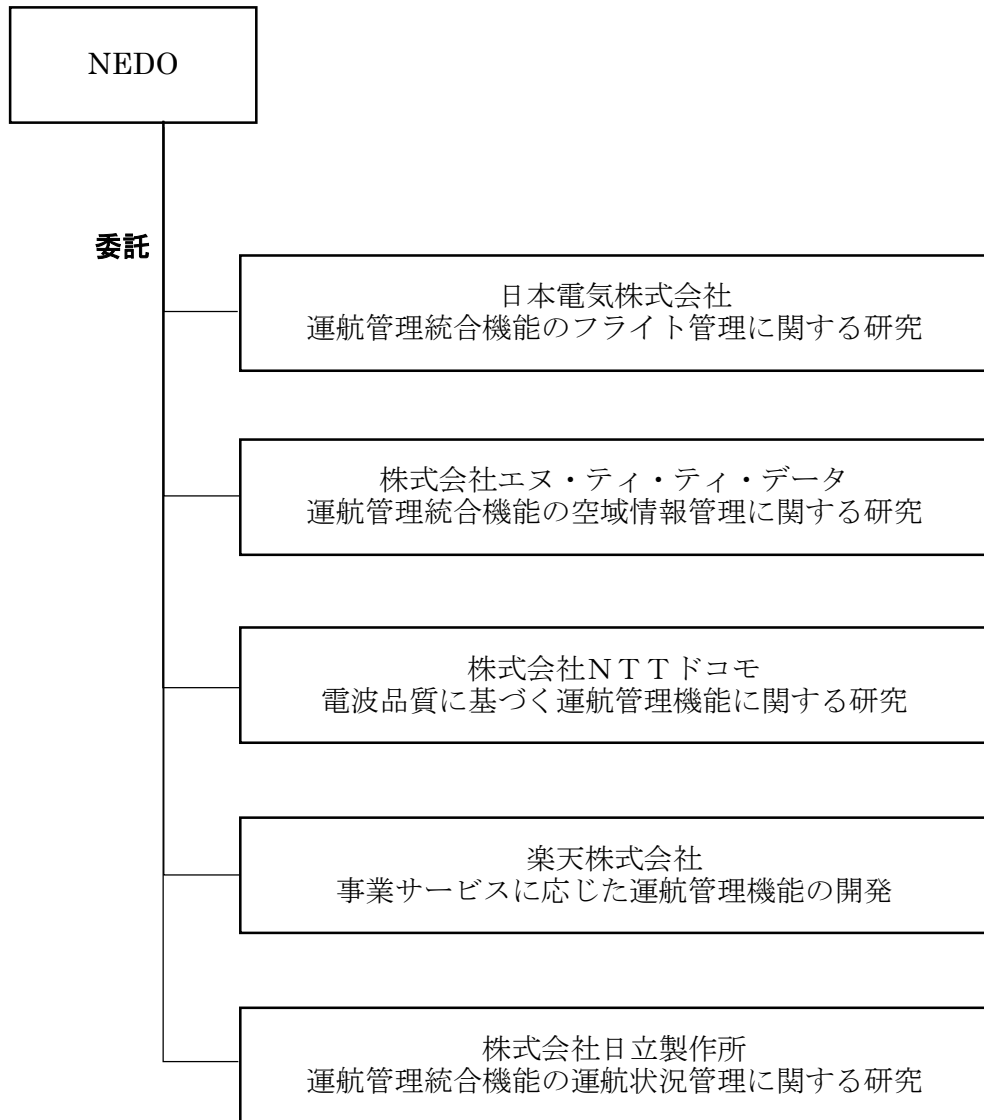


図 2.2.1.1-3 実施体制



#### (4) 研究開発目標と達成状況

[運航管理システムの実証試験に関する達成状況（日本電気、NTT データ、日立製作所、NTT ドコモ、楽天）]

2018 年度に「福島ロボットテストフィールド」（福島県南相馬市）にて同一空域で複数事業者の無人航空機が安全に飛行するための運航管理システムの実証試験を行った。実証試験の結果、運航管理統合システム（FIMS）が正常に作動し、基本的な運航管理機能に基づいて同一空域において、複数の運航管理事業者（UASSP）の飛行を支援できることを確認した。さらに、今回の試験では、無人航空機を活用した「災害調査」、「警備」、「物流」、「郵便」の 4 つの利用シーンを想定し、合計 10 機の無人航空機を目視外で自律飛行させることに成功した。

また、開発した運航管理システムの普及に向けて、現在参画している無人航空機事業者以外の国内外の無人航空機事業者が、運航管理統合機能と接続した無人航空機運航試験を福島ロボットテストフィールド内で実施できるよう、運航管理システムの API を 2019 年 6 月に公開した。今後、国際標準への提案を見据え、あらゆる無人航空機事業者が安心・安全に無人航空機を運航できる社会を目指す。

2019 年 10 月 23 日から 24 日に、「福島ロボットテストフィールド」（福島県南相馬市・浪江町）において、ドローン事業者 29 者が参加した、同一空域で複数事業者のドローンが安全に飛行するための各事業者の運航管理システムとの相互接続試験を実施し、1 時間 1 平方 km100 フライト以上のドローンの飛行試験に成功した。

#### 4.1 「①運航管理統合機能のフライト管理に関する研究」（日本電気株式会社）

(A) FIMS のフライト管理に関する研究/ (B) FIMS と UASSP との連携の研究/ (C) FIMS と UASO/UAS との連携の研究

運航管理統合機能のフライト管理に関する研究の研究開発目標と達成状況を以下の表 III 2.4.1 に示す。フライト管理として飛行計画の段階でのコンフリクト判定プログラム、および、飛行計画の登録プログラムの開発が完了し、運航管理機能との接続試験を行った。接続試験は、福島ロボットテストフィールドを活用した複数機の無人航空機の飛行を伴う試験であり、想定したアーキテクチャの最適性確認を行った。今後、更なるユースケースを想定した評価を実施することで目標達成できる見通しが立った。

(D) 空域監視システムと FIMS/UASSP/UASO の連携の研究

空域監視システムは UAS が飛行する空域をカメラなどのセンサを利用して監視して、空域に存在する飛行物体の位置、速度などを計測した情報を FIMS/UASSP/UASO に提供する。どのようにやりとりするかインターフェースについて研究を行った。更に、福島ロボットテストフィールドでの実証研究に向けて、上記のインターフェースの研究結果を反映した空域監視システムの試験用装置を製造した。具体的には、FIMS/UASSP/UASO に提供するに有効

な情報内容について検討し、インターフェース仕様を整備した。実証実験に向けて、飛行体の自動検知と識別機能、位置推算機能を有するステレオカメラ方式の評価装置を 1 セット製造した。

#### (E) 気象情報システムと FIMS/UASSP/UASO の連携の研究

UAS が離陸前に飛行可能かどうかを判断する為に必要な気象情報、更に UAS が飛行中の安全を確保する為に必要な気象情報を集約し、これらの観測/予測データを FIMS/UASSP/UASO に提供する為の「気象情報試験システム」を製造し、気象が要因となる事故を未然に防ぎ、安全運航管理に役立てる事を目標とした。具体的には、有人航空機に提供の航空気象情報より更に低高度の高解像度な情報提供となる無人航空機向けに必要な気象情報の選定を行い、気象情報システムのデータを FIMS/UASSP/UASO とどのようにやりとりするかについて研究を行った。また、データフォーマット・送信頻度・データ受け渡し手続き等の IF 及び気象の急変（UAS 飛行ルート周辺での急激な雨雲発達、落雷等）が発生した場合に、迅速な危険回避のアラート提供の設計、開発を行った。

#### F) FIMS の AI の研究

FIMS が UASSP に空域を割り当てる際、適切な枠組みがない場合、特定の事業者が空域を独占してしまい、空域の公平性が損なわれるという問題が生じる。また、有人航空機の臨時飛行や天候変化といった事象に応じて、UASSP の運航リスクを低減するための空域の再割当ても検討する必要がある。このような課題を解決するため、空域の安全性や効率性に加え、複数 UASSP 間の公平性と計画変更の柔軟性といった観点から、空域利用を最適に調整するための FIMS の AI 機能の研究を行った。

これまでに、UASO (UASSP) 間の飛行計画調整の枠組みとして 1 対 1 交渉、および、多数 UASO 間の調整調停の 2 つの枠組みを提案。

UASO 間の 1 対 1 の飛行計画交渉については、交渉プロトコルの提案と、飛行中に計画変更が必要となった場合を想定した簡易シミュレーションにより評価を完了した。

また、多数 UASO 間で計画調整を行う場合について、飛行計画調整を調停するコーディネータ機能の設計と、コアアルゴリズム実装、簡易シミュレーション評価を完了した。

表 2.2.1.1-3 フライト管理機能に関する研究開発目標と達成状況

研究分担	研究目標	成果	達成度
A) FIMS の フライト管 理に関する 研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運航管理システム全体としての各機能での役割の検討を行い FIMS の機能を定義し、運航管理システムおよび空域利用等に関するユースケースの検討を行う。</li> <li>・ 検討結果を基に FIMS の試験装置を製造する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS の試験装置を実装するにあたって FIMS /UASSP 各機能の役割定義を実施し、最適なアーキテクチャ、ソフトウェア構造を検討し FIMS 内の機能一覧を完成させた。</li> <li>・ フライト管理として飛行計画の段階でのコンフリクトの判定方針を策定した。</li> <li>・ 整理した機能に基づき FIMS 試験装置の製造を行った。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS のコンフリクト管理、ターゲット管理、運航実績および無人航空機への指示について検討を行う。</li> <li>・ 検討結果を基に FIMS の試験装置を製造する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS 機能を実装するにあたり必要なアプリケーション・フレームワークを開発し、FIMS 開発担当他社に提供を行った。</li> </ul>	◎
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS の緊急時の運用フロー、ユースケースを検討および有人航空機管制システムへの情報提供の検討を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS の更なるユースケース検討を実施した。</li> </ul>	○
B) FIMS と UASSP との 連携の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS-UASSP 間での空域情報共有等、FIMS-UASSP 間の共有情報について検討を行う。</li> <li>・ FIMS-UASSP 間で授受するデータの構造やデータ送信頻度、データ受け渡しのためのインターフェースについて検討を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS-UASSP (UASO 含む) 間インターフェース仕様の初版を完成させた。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2017 年度に作成する FIMS の試験装置と UASSP の試験装置との連携の評価を行う。福島ロボットテストフィールドにおいて 4 事業者の UASSP による 10 機の無人航空機を飛行させ、飛行計画管理やコンフリクト管理の検証を実施する。なお、限られた空域での多数機の飛行試験になるため、十分な安全対策を施す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ UASSP との接続評価を完了した。福島ロボットテストフィールドを活用した複数機の無人航空機の飛行を伴う試験であり、想定したアーキテクチャの最適性確認を行った。</li> <li>・ インターネットを介した接続であることを考慮し、セキュリティ向上のため FW/IDS (ファイアウォール/侵入検知・防御システム) を導入した。</li> </ul>	◎ (*1)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2018 年度までに開発した機能をもとに運航管理システム全体での試験を実施し、FIMS-UASSP 間の有用性および実用性を検証する。</li> <li>・ 福島ロボットテストフィールドに FIMS 機能のサーバを実装し、FIMS 機能の社会実装に向けた運用方式などを含む有用性および実用性を検証する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2019 年 7 月時点で福島ロボットテストフィールド設置用の FIMS サーバを構築中であり、8 月末までに現地設置を完了した。</li> <li>・ 9 月以降、社会実装時の運用を想定し、一般の無人航空機事業者で持ち合わせるシステムとの接続を可能とした。</li> </ul>	○
C) FIMS と UASO/UAS との連携の 研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS からの UASO および UAS にどのような指示が出来るかの検討を行う。FIMS-UASO/UAS 間で授受するデータの構造やデータ送信頻度、データ受け渡しのためのインターフェースについて検討を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS-UASSP (UASO 含む) 間インターフェース仕様の初版を完成させた。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2017 年度に作成する FIMS の試験装置と UASO/UAS の試験装置との連携の評価を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS-UASO との連携について検討を行った。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2018 年度までに開発した機能をもとに運航管理システム全体での試験を実施し、FIMS-UASO/UAS 間の有用性および実用性を検証する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2018 年度に実施した接続評価試験のユースケースを拡張し、検証した。</li> </ul>	○

D) 空域監視システムとFIMS/UASSP/UASOの連携の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・UASをカメラなどのセンサを利用して監視する仕組みについて検討し、検討結果を基に空域監視システムの試験装置を製造する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証実験に向けて、飛行体の自動検知と識別機能、位置推算機能を有するステレオカメラ方式の試験装置を1セット製造した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2019年度に作成する空域監視システムの試験装置とFIMSの試験装置との連携の評価を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FIMS/UASSP/UASOに提供するに有効な情報内容について検討し、インターフェース様式を整備した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2018年度までに開発した機能をもとに運航管理システム全体での試験を実施し、空域監視システムの有用性および実用性を検証する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機能・性能を向上のため、更なる改良を行い、実証実験用評価装置を2セット製造し、有効性および実用性を評価した。</li> </ul>	○
E) 気象情報システムのFIMS/UASSP/UASOの連携の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・UASが飛行中の安全を確保する為に必要な気象情報について検討し、検討結果を基に予測システムの試験装置を製造する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有人航空機に提供の航空気象情報より更に低高度の高解像度な情報提供となる無人航空機向けに必要な気象情報の選定を行った。</li> <li>・これに基づき、API仕様を整備し、プロトタイプを製造した。また、実証実験に必要な気象観測機器の現地調査検証と配備を実施した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象情報観測/予測システムとFIMSの試験装置との連携の評価を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象情報システムのデータフォーマット・送信頻度・データ受け渡し手続き等のAPI仕様を整備。</li> <li>・気象の急変（UAS飛行ルート周辺での急激な雨雲発達、落雷等）が発生した場合に、迅速な危険回避のアラート提供の設計を行った。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2018年度までに開発した機能をもとに運航管理システム全体での試験を実施し、気象情報システムの有用性および実用性を検証する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2018年度のプロトタイプで抽出した課題改善を目的とした改良を行い、その評価と福島RTFにおける実証評価にて、有効性および実用性を検証した。</li> </ul>	○
F) FIMSのAIの研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FIMSによる最適な空域管理のためのユースケースを検討し、検討結果を基にAIシステムを設計する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FIMSによる調整が必要なユースケースを検討し、それに基づいて、UASOの業務都合を考慮した飛行計画調整AIシステムのアルゴリズムを提案し、プロトタイプ設計、開発と評価を行った。</li> </ul>	◎ (*2)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2017年度に設計したFIMSのAIシステムの開発と評価を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2017年度の成果をもとに、UASO(UASSP)間の飛行計画調整の枠組みとして1対1交渉、および、多数UASO間の調整調停の2つの枠組みを提案。</li> <li>・UASO間1対1の飛行計画交渉については、プロトタイプ実装を行い、飛行中に計画変更が必要となった場合を想定した簡易シミュレーションによる評価を完了した。</li> <li>・多数UASO間の調整の調停を行うコーディネータ機能の設計を完了した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2018年度までに開発した機能をもとに運航管理システム全体での試験を実施し、FIMSのAI機能の有用性および実用性を検証する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JAXA無人機シミュレータを用いた飛行中の計画交渉・調整を評価するため、接続インターフェースの設計を完了した。</li> <li>・コーディネータ機能のコアアルゴリズム実装と簡易シミュレーション評価を完了した。</li> </ul>	○

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*1) (\*2) 目標を大幅に達成

## 4.2 「②運航管理統合機能の空域情報管理に関する研究」（株式会社エヌ・ティ・ティ・データ）

### A) FIMS の空域情報管理に関する研究

UASSP や FIMS 飛行計画管理が効率的な空域の割り当ておよび使用を考慮する際に必要とする共通的な空域情報と、それらの情報の一元的な管理および共有の方法について研究を行った。2018 年度までに地表障害物情報・飛行禁止空域情報を統合的に管理するとともに、FIMS および UASSP が無人航空機の飛行計画段階および飛行中における建物・地表・空域への接近判定に活用可能な機能を実装し API として提供することができた。

### B) FIMS と有人航空機情報との連携の研究

有人/無人航空機双方がそれぞれ必要とする情報と情報連携機能について評価を行った。2018 年度までに FIMS/UASSP と有人航空機との間で、無人航空機の飛行計画と動態情報を、また有人航空機の動態情報を共有するためのインターフェースを策定し実装した。また、有人航空機側の模擬システムを製造し、FIMS/UASSP の間で必要な情報を共有できることを検証した。

### C) 地図情報データベースと FIMS/UASSP/UASO の連携の研究

物流・災害対応の個別用途に必要となる地図情報の拡張仕様、提供手法の設計・開発を実施した。2018 年度までに全国避難所情報およびイベント情報を収集しデータベース化した。さらに、これらの情報を FIMS/UASSP に提供するためのインターフェースを実装した。

表 2.2.1.1-4 空域情報管理機能に関する研究開発目標と達成状況

研究分担	研究目標	成果	達成度
A) FIMS の空域情報管理に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運航管理システム全体としての各機能での役割を検討する。</li> <li>・ 運航管理システム全体としての空域運用に関するユースケースを検討する。</li> <li>・ FIMS で一元管理し UASSP と連携すべき空域情報を検討する。</li> <li>・ FIMS-UASSP 間のインターフェースを検討する。</li> <li>・ 空域情報管理のための試験装置を導入する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 限られた空域内を安全かつ効率的に多くの無人航空機を飛行可能とするシステムアーキテクチャおよび機能を共同実施者と共に検討し決定した。</li> <li>・ 決定したアーキテクチャに基づき、FIMS と UASSP との間で共有すべき空域情報案を検討し、外部インターフェース・DB 設計書を作成した。</li> <li>・ 一部試験装置の構築を行った。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS-UASSP 間の空域情報連携 I/F を開発する。</li> <li>・ FIMS と一部 UASSP を接続し、空域情報共有の評価を行う。</li> <li>・ 評価で明らかになった運用面/技術面の課題を整理し、機能・性能の向上策を検討する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 試験装置にインターフェースを実装し、FIMS 他機能および一部 UASSP と接続し評価を行った。</li> <li>・ 飛行禁止空域・地表障害物情報提供 API を製造し公開した。</li> </ul>	○

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複数の UASSP と接続し、共同実施者全体で空域情報を共有できる環境を整備する。</li> <li>・幾つかのユースケースに基づき実証実験を行い、構築した空域情報管理システムの有効性および複数 UASSP 間での空域調整運用の有効性・効率性を評価する。</li> <li>・福島ロボットテストフィールドへの FIMS 機能のサーバ構築にあわせ、空域情報管理機能の社会実装に向けた運用方式などを含む有用性および実用性を検証する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複数 UASSP および SDSP と接続し、空域情報共有の実証・評価を行った。</li> <li>・評価で明らかになった課題等、以下の項目について最終年度内に機能向上を検討し評価を完了した。 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 高精度障害物情報を用いた FIMS での衝突検知手法の検討および実装</li> <li>- 特定空域における無人航空機の交通量を定量的に測定する手法の検討</li> <li>- 避難所情報およびイベント開催エリア上空の飛行規制情報の FIMS への組み込み</li> </ul> </li> </ul>	○
B) FIMS と 有人航空機 情報との連 携の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運航管理システム全体としての各機能での役割を検討する。</li> <li>・運航管理システム全体としての有人航空機情報連携に関するユースケースを検討する。</li> <li>・FIMS で一元管理し UASSP と連携すべき有人航空機情報を検討する。</li> <li>・FIMS-有人航空機関連システム間のインターフェースを検討する。</li> <li>・有人航空機情報連携のための試験装置を導入する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・限られた空域内を安全かつ効率的に多くの無人航空機を飛行可能とするシステムアーキテクチャおよび機能を共同実施者と共に検討し決定した。</li> <li>・決定したアーキテクチャに基づき、FIMS と UASSP との間で共有すべき有人/無人航空機情報案を検討し、外部インターフェース・データベース設計書を作成した。</li> <li>・一部試験装置の構築を行った。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FIMS および UASSP と連携すべき有人航空機情報のデータベースを構築する。</li> <li>・FIMS と有人航空機関連システムとの I/F を製造する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有人/無人航空機動態情報を共有するデータベースを構築した。</li> <li>・これらの情報を共有するための API を製造し公開した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FIMS/UASSP/UASO 全体を連携させ、ユースケースに基づいた実証実験を行い、有人/無人航空機を含めた空域全体の安全性・効率性を向上させるために求められる有人航空機との情報連携要件（情報の種類、情報連携の手段・頻度など）を纏める。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有人航空機側システムの模擬装置を製造し、FIMS と UASSP 間で情報連携して評価できる環境を構築した。</li> <li>・引き続き様々な情報提供者から得られる有人航空機動態情報を効率的に収集/管理するための技術を検討し、評価を完了した。</li> </ul>	○
C) 地図情報 データベース と FIMS/UASSP /UASO の連 携の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物流/災害対応等の個別用途に必要な地図情報の要件定義を行う。</li> <li>・要件に応じた地図情報の拡張仕様を規定する。</li> <li>・規定した仕様の実装に向け仕様に準じた情報の収集・整備手法を検討するとともに、地図情報 DB と FIMS/UASSP/UASO のインターフェースを検討する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・要件定義を実施し、必要となる地図情報のデータ項目及び特性を規定した定義書を作成した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・前年度に策定した個別用途向けの仕様に準じて追加の地図情報を整備する。</li> <li>・物流向け地図情報提供 API については試験装置を製造する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地図情報の実現可能な収集・整備手法を明らかにし、地図情報提供 API の試験装置の開発計画を策定した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行実験用に地図情報 API の試験装置を提供する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全国避難所/イベント情報データベースの構築および API 提供を実施した。</li> <li>・データ項目等の仕様検討実施中。並行して FIMS での活用に向けた検討を完了した。</li> </ul>	○

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

#### 4.3 「③電波品質に基づく運航管理機能に関する研究」（株式会社NTTドコモ）

無人航空機 (UAS) の安全な目視外飛行を実現するためには、UAS が飛行中でも地上のUASSP/UASO から UAS に対し、状態監視（位置、高度、機体状態など）や制御指示（フライトプランの変更など）ができるよう、広域、高速かつ大容量の通信環境が必要となり、上空における携帯電話等の活用が期待されている。

上空での携帯電話の利用については、既存の地上ユーザの通信や他の業務への影響が無いように、携帯電話を活用した無人航空機の管理および運用が必要となる。

以上の経緯を背景に、NTTドコモは電波状況を考慮した運航管理システム（図 2.2.1.1-4）の開発を実施した。本テーマの研究開発項目および目標、研究成果と達成状況を表 2.2.1.1-5 に記載する。

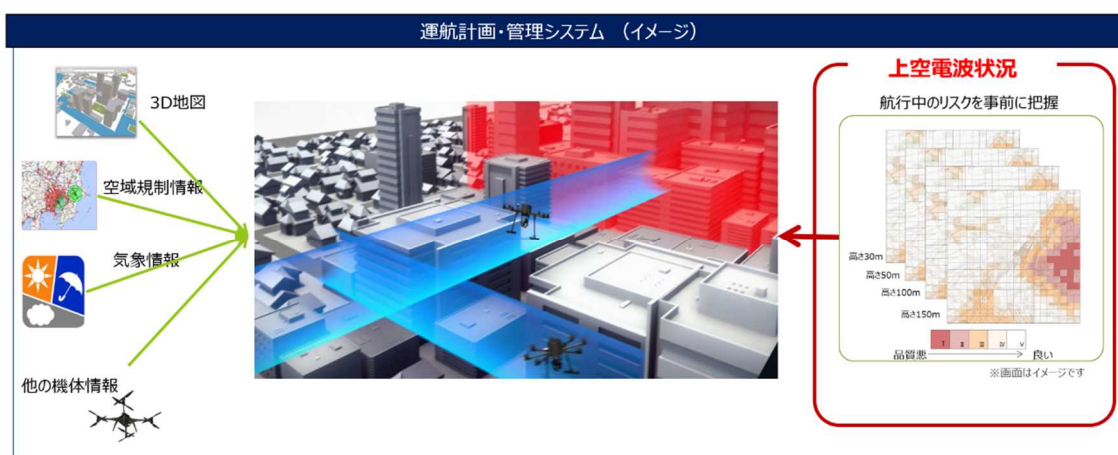


図 2.2.1.1-4 上空の電波状況を考慮した運航管理(イメージ)

表 2.2.1.1-5 運航管理機能に関する研究開発目標と達成状況

研究分担	研究目標	成果	達成度
A) 電波品質等の情報に関わる研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>電波品質を基にしたフライトプラン策定のため、地図情報等に電波情報を加えた FI (Flight information) のデータ構造等の定義</li> <li>UAS からのテレメトリ情報をもとにした FI の更新手法等の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FI のデータ構造等の定義について、2017 年度に設計完了した。</li> <li>FI の更新手法について、アーキテクチャの設計を完了した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>2017 年の検討内容をもとにした、FI 機能の開発</li> <li>B) の機能と連携した、FI の更新実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2018 年に試作および福島ロボットテストフィールドでの実証実験を完了した。</li> <li>FI の更新手法について、実証実験にて計画段階の FI と飛行中の FI を取得、比較し FI 更新の有用性を確認した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>2018 年の実証結果をもとにしたシステム改善</li> <li>開発した FI の機能を用いた、福島ロボットテストフィールドでの実証</li> <li>実証結果の評価及び実用化に向けた課題抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実測した電波情報の FI への更新機能を試作、所望の性能が得られることを確認した。</li> </ul>	○

B) UASSP/ UASO と UAS 間機能に関 する研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ UASSP/UASO と UAS 間の機能に関する処理内容、データの構造、データ送信頻度、データ受け渡しのためのインターフェース等についての検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2017 年度に当該インターフェースの設計を完了した。</li> <li>・ UASSP/UASO と UAS 間を LTE で接続するモジュールを試作し、所望の性能が得られることを確認した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2017 年の検討内容をもとにした、UASSP/UASO 及び UAS の機能の開発</li> <li>・ 開発した機能を用いた実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2018 年に試作および福島ロボットテストフィールドでの実証実験を完了した。</li> <li>・ PS-LTE (Public Safety-LTE : 公共安全-LTE) に対応した複数無線システムを活用したマルチ接続機能を開発し、UASSP/UASO と UAS 間の接続試験を完了した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2018 年の実証結果をもとにしたシステム改善</li> <li>・ 開発した UASSP/UASO 及び UAS 間の機能を用いた、福島ロボットテストフィールドでの実証</li> <li>・ 実証結果の評価及び実用化に向けた課題抽出</li> <li>・ 海外製 UAS への携帯電話通信機器の搭載に係る調査検討、および福島ロボットテストフィールドでの検証支援</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海外製 UAS への携帯電話通信機器の搭載に向けた機体の選定および搭載方法の検討を完了、福島ロボットテストフィールドでの実証試験を通じて計画通りの性能を確認した。</li> <li>・ 実証結果から今後の課題について抽出した。</li> </ul>	○
C) UASSP と UASSP 間連 携に関する 研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ UASSP 間の機能に関する処理内容、データの構造、データ送信頻度、データ受け渡しのためのインターフェース等についての検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2017 年度に当該インターフェースの設計を完了した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2017 年の検討内容をもとにした、UASSP 間の機能の開発</li> <li>・ 他システムとの I/F 機能実証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2018 年に試作およびスタブを用いた性能試験を完了した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2018 年の実証結果をもとにしたシステム改善</li> <li>・ 開発した UASSP 間の機能及び他システムを用いた、福島ロボットテストフィールドでの実証</li> <li>・ 実証結果の評価及び実用化に向けた課題抽出</li> <li>・ 携帯電波管理システムと FIMS/UASSP/UASO 間の機能に関する処理内容、データの構造、データ送信頻度、データ受け渡しのためのインターフェース等についての検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 開発した UASSP 間の調整インターフェースを用いたシナリオ実証実験を福島ロボットテストフィールドにて実施し、その機能の有効性を確認した。</li> </ul>	○
D) 携帯電波 管理システ ムと FIMS/UASSP /UASO 間連 携に関する 研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2017 年の検討内容をもとにした、携帯電波管理システムと FIMS/UASSP/UASO 間の機能の開発</li> <li>・ A) の機能と連携した、FI の更新実証及び評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2017 年度に当該インターフェースの設計を完了した。</li> <li>・ 2018 年に試作および福島ロボットテストフィールドでの実証実験を完了した。</li> <li>・ FI の更新手法について、実証実験にて計画段階の FI と飛行中の FI を取得、比較し FI 更新の有用性を確認した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2018 年の実証結果をもとにしたシステム改善</li> <li>・ 開発した携帯電波管理システムと FIMS/UASSP/UASO 間の機能を他研究課題の実証に活用し、その実証結果の評価及び実用化に向けた課題抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実測した電波情報の FI への更新機能について実装、福島ロボットテストフィールドでの実証試験を通じて所望の性能が得られることを確認した。</li> </ul>	○

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達



#### 4.4 「④事業サービスに応じた運航管理機能の開発」（楽天株式会社）

UASSP は UASO と FIMS の双方とコミュニケーションをとる機能を有しており、これは UAS の効果的かつ効率的な運航管理実現のために重要な構成機能の1つである。今後、UAS の運航数は大きく増加すると予測されるが、UASSP と FIMS 間、複数の UASSP 間、および UASSP と UASO 間の連携に関する最適なルールや要件を整理することは、UAS の安全な運航とその管理のために必要不可欠である。

本研究テーマでは、UAS の安全な運航管理を実現するため、具体的なアプリケーションの分野として物流分野に焦点をおくとともに、他のサービス分野での利活用も視野に入れて、以下の3項目について研究開発を実施した。

##### (A) UASSP と UASO の連携に関する研究開発

安全な UAS の運用を実施するために、UASSP に集約すべき情報（FIMS／他の UASSP／SDSP／物流システムからの情報）について検討・整理するとともに、UASSP が UASO に与えるべき情報について要件定義を行った。さらに、複数の UASO から UASSP が取得すべき情報（例えば UAS の機体情報、飛行場所、飛行時間、操縦者の情報など）についても検討した。上記のとおり UASSP と UASO 間で共有されるべき項目を整理し、その情報共有の方法について適切なデータ連携が行えるよう、データフォーマット、送信頻度、データ受け渡し手続き等のインターフェースについて設計を行った。

##### (B) 物流サービスに応じた UASSP の研究開発

省エネルギー社会の実現を推進するため、また社会的な課題（例えば買い物弱者の増加やトラック運転者の不足）に対する解決策として UAS の活躍が期待されており、物流分野における UAS の活用については、海外や我が国において既に積極的な取組みが始まっている。その一方、原則として目視内飛行が求められるなどの制約も存在している。

「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」が取り纏めた「小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ」では、2018 年頃以降に無人地帯での目視外飛行（レベル3）及び有人地帯での目視外飛行（レベル4）が記載されており、これに沿って物流分野で UAS の利活用を加速させるためには目視外飛行の実証に積極的に取り組むことが必要である。

本研究項目では物流 UAS の安全な目視外飛行を実現するために、UASSP と物流システムに関して、a) UASSP と物流システム間の情報連携機能、b) 最適な配送経路の調整・修正機能、c) 配送状況の追跡機能、d) 物流 UAS のデータ集積・分析機能、e) 物流システムと連携するためのインターフェースの開発、f) ドローンポートシステムとの連携機能、g) ドローンポートシステムと連携するためのインターフェースの開発、の7点について、必要に応じて飛行試験を含めた検討を行った。

##### (C) その他サービスに応じた UASSP の研究

物流を Point to Point の移動（線での飛行）とすると、点検・測量・農業は一定空間内での移動（面での飛行）であり、飛行ならびに運航管理の形態が異なる。物流のように線での飛行とは異なり、面での飛行を行うサービスでは、飛行承認を受けた UAS が一定の空間を一定時間占有することになる。UASSP には、これら 2 種類の異なる飛行形態に対応し得ることが求められるため、UASSP に求められる機能を検討し、a) UASSP が把握・共有すべき、面での飛行を行う UAS の情報、b) 面での飛行を行う UAS の飛行空域に対する管理機能、c) 最適な飛行空間の調整・修正機能、d) 以上の各機能と UASSP が連携するためのインターフェース開発、の 4 点について研究開発を行った。

以上の各項目に関して、3 年間の研究開発目標と達成状況を表 2.2.1.1-6 に示す。

表 2.2.1.1-6 運航管理機能に関する研究開発目標と達成状況

研究分担	研究目標	成果	達成度
A) UASSP と UASO の連携の研究	・ UASSP と UASO 間の連携に関する要件定義および I/F の検討	・ UASSP と、UASO および FIMS のそれぞれの間の連携に関して、種々のユースケースを検討し、UASSP として必要となる機能を明らかにして、要件定義を行うとともに、API の検討を行った。	○
	・ UASSP と UASO との IF の開発および検証 ・ 他システムとの連携について検証	・ 上記の検討結果に基づき、UASSP と UASO および FIMS との API 開発を行うとともに、その実機検証を行った。 ・ 他システムとの連携について検討を行い、複数の UASO から UASSP が取得すべき情報（UAS 機体情報、飛行場所、飛行時間、操縦者の情報など）の明確化を行った。	○
	・ FIMS、他の UASSP、SDSP との連携に関する追加実証およびシステムの改善	・ UASSP と、FIMS、他 UASSP、SDSP との連携に関して、それぞれの API の検討ならびに見直しを行い、実証に向けてソフトウェアを構築した。	○
B) 物流サービスに応じた UASSP の研究	・ 物流システムに特化した UASSP 機能の要件定義 ・ 物流システム及びドローンポートシステムと UASSP 間で授受するデータに関する IF の検討	・ 物流システムのために必要となる UASSP 機能に関して、種々のユースケースの検討を通して要件定義を行った。 ・ 物流システムと UASSP との間で授受するデータ、ならびにドローンポートシステムと UASSP との間で授受するデータに関して検討を行い、それぞれの API 仕様の策定を行った。	◎
	・ UASSP と物流システムおよびドローンポートシステムとの IF の開発 ・ 開発したシステムの検証 ・ 従来の GPS による測位情報と比較し精度が向上する準天頂測位情報を利用した飛行試験による飛行経路精度や着陸精度等の検証	・ UASSP と物流システム、ならびに UASSP とドローンポートシステムのそれぞれの間の API に関して具体的な開発を行うとともに、その実地検証を行った。また、荷物収納機能を備えたドローンポート機構の試作を行った。 ・ 準天頂衛星による測位情報を利用した飛行試験として、周囲に構造物を有する屋内環境における飛行のためのシステム構築ならびに	◎

		飛行試験を実施し、着陸精度等の検証を行った。	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物流システムやドローンポートシステムと連携した UASSP が提供する情報を利用し、正常時及び異常時の双方を想定した状況下での、無人航空機物流の実証実験</li> <li>・準天頂衛星による高精度測位情報を利用した飛行における経路精度、着陸精度等の検証、空域割当方式に関する検討</li> <li>・ドローンポートの改良、小型化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ UASSP と物流システム、ドローンポートシステムとの連携のもとに、正常時及び異常時の双方を想定した状況における無人航空機物流の実証実験を実施した。</li> <li>・ 準天頂衛星による測位情報を利用した飛行試験を行い、各種条件下での経路精度、着陸精度等の計測とその結果の分析を実施するとともに、空域割当方式に関する検討を完了した。</li> <li>・ 準天頂衛星による高精度化を前提として、ドローンポートの小型化を図るとともに、先の試作機で明らかとなった課題に対応した改良を完了した。</li> </ul>	○
C) その他サービスに応じた UASSP の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ その他サービス（点検、測量、農業、撮影等）に対応した UASSP 機能の要件定義</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 物流に代表される点接続型とは異なる面型の飛行を行う点検、測量、農業、撮影等のサービスに対応する UASSP 機能に関して、ユースケースに基づき要件定義を行った。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2017 年度に検討する機能の開発および検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上で行った要件定義に基づき、具体的機能に関する API の開発とその検証を実施した。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FIMS、他の UASSP、SDSP と連携した UASSP が提供する情報を利用し、正常時及び異常時の双方を想定した状況下での、点検、測量、農業、撮影等の物流用途以外の UAS の運航管理の実証実験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ UASSP と、FIMS、他 UASSP、SDSP との連携に対して、物流用途以外の運航に関する飛行試験を、正常時及び異常時の双方を想定して行い、開発した API の実証を完了した。</li> </ul>	○

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

#### 4.5 「運航管理統合機能の運航状況管理に関する研究」（株式会社日立製作所）

##### A) 運航状況管理における統合的判断の研究

運航計画申請の審査（承認、不承認等）を行うためには、様々な情報（利用者情報、機体情報、飛行情報、地図情報、気象情報、電波情報、空域監視情報、ドローンポート情報 等）を基にして総合的な判断を行う必要がある。また、運航計画の審査結果（不承認の場合は、その理由も含む）を申請元である運航管理機能に対して確実に通知し、運航管理機能における運航計画の見直し等に役立てる必要がある。

また、運航中の無人航空機に、安全な運航に問題がある場合（問題が発生する兆候がある場合を含む）には、該当する運航管理機能へ警報や注意報及びそれらに対する対処指示を即座に通知するとともに、必要に応じて、機体の操縦者に対して連絡を取ることが必要となる。

本研究では、安全な運航に問題があると運航管理統合機能で判断するための運航ルール（例：提出された運航計画に問題がないか（他提出運航計画/飛行禁止エリアとの干渉 等）、運航計画申請の内容から逸脱した運航を実施、通信断絶等による機体位置情報が更新されない、運航禁止空域（臨時、常設）への接近・侵入、他の無人航空機や有人航空機との接近・衝突、地形・建造物との接近・衝突、気象状態の急変等）について、研究開発テーマ「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会と連携した検討を実施し、その検討結果を機能実装した、プロトタイプによる有効性判断を実施した。

##### B) 外部機関連携機能の開発

無人航空機を取巻く主な共有の資源として、空域と電波の2種類が存在する。

空域を共有の資源として活用する有人航空機については、主に高高度の空域を利用する旅客機と比較的低高度の空域を利用する消防・防災ヘリ等が存在する。空域の安全性を確保するためには、無人航空機と同様に、有人航空機の運航計画や位置情報等を運航管理統合機能で把握することは必要不可欠である。一方、電波を共有の資源として活用する既存の地上無線局に関しては、JUTM（（一財）総合研究奨励会「日本無人機運行管理コンソーシアム」）が無人移動体画像伝送システムの運用調整サービスを運用しており、同システムと同周波数帯を利用する既存の地上無線局（医療機関、電力会社等）に関する情報を保有している。

本研究開発では、共有資源である電波と空域に関する情報と、接続する手法を検討した。

連携する外部機関と入手する情報としては、主に有人航空機動態情報、無人移動体画像伝送システムを想定の上で、有人航空機動態情報の運行状況管理機能連動、電波監視コンセプトとの接続を実施した。

表 2.2.1. 1-7 運航状況管理機能に関する研究開発目標と達成状況

研究分担	研究目標	成果	達成度
A) 運航状況管理における統合的判断の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会に参画し、システムアーキテクチャ及び共通インターフェースの仕様を委員会メンバとともに決定する。</li> <li>・委員会で決定した仕様に基づき、運航管理統合機能のシステム設計（概要設計及び詳細設計）内容の整合性調整を図る。</li> <li>・「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会メンバと、本機能の運用に関する意見交換を行い、運用方法の早期検討と設計内容への反映を行う。</li> <li>・運航計画管理機能のプロトタイプ開発を行う。</li> <li>・プロトタイプの評価を行い、2018年度プログラム開発に反映するための課題抽出を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ NEC コンソ 5 社にてシステムアーキテクチャ/共通インターフェースを検討。</li> <li>・ 「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会に提示の上決定。</li> <li>・ 運行状況管理機能プロトタイプ開発を実施。</li> <li>・ プロトタイプ評価の上、インターフェースの有用性を確認。インターフェース仕様詳細への課題を抽出。</li> </ul>	○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2017年度実施内容に基づき、プログラム開発を行う。</li> <li>・ 運航管理統合機能プログラムと結合し、福島ロボットテストフィールドによる飛行を含む、運航管理統合機能の結合試験を実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運行状況管理機能プログラム開発を実施。</li> <li>・ FIMS を担当した NEC、NTT データ、日立製作所が開発したプログラムを結合し、福島ロボットテストフィールドにて、10機同時飛行実証にて結合動作を確認。</li> </ul>	◎ (*1)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2018年度に実施した結合試験の結果を元に、処理方式の改良を行い、機能の完成度を高める。</li> <li>・ 福島ロボットテストフィールドで実証と評価を行い、本機能が容易に利用可能であることを確認する。</li> <li>・ 実システムとの接続が実現困難となる場合は、シミュレータを活用した実証及び評価を行う。</li> <li>・ 福島ロボットテストフィールドへの FIMS 機能のサーバ構築にあわせ、運航状況管理機能の社会実装に向けた運用方式などを含む有用性及び実用性を検証する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 10機同時飛行実証にて、課題抽出を実施。</li> <li>・ 2019年10月及び12月飛行実証にむけて、Inflight 中のインシデント対応機能の実装を完了し、検証をした。</li> </ul>	○
B) 外部機関連携機能の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会に参画し、システムアーキテクチャ及び共通インターフェースの仕様を委員会メンバとともに決定する。</li> <li>・委員会で決定した仕様に基づき、運航管理統合機能のシステム設計（概要設計及び詳細設計）内容の整合性調整を図る。</li> <li>・防災ヘリ等の動態管理システム、無人移動体画像伝送システム運用調整サービスとのインターフェース情報の明確化・具体化を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ NEC コンソ 5 社にてシステムアーキテクチャ/共通インターフェースを検討。</li> <li>・ 「運航管理システムの全体設計に関する研究開発」で設置される委員会に提示の上決定。</li> <li>・ 有人航空機動態情報との連携機能設計、電波監理コンセプトを含めた、無人移動体画像伝送システム運用調整サービスとの連携シナシス検討を実施。</li> </ul>	○

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2017年度実施内容に基づき、プログラム開発を行う。</li> <li>・運航管理統合機能プログラムと結合し、福島ロボットテストフィールドによる飛行を含む、運航管理統合機能の結合試験を実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運行状況管理機能プログラム開発を実施。</li> <li>・FIMSを担当したNEC、NTTデータ、日立製作所が開発したプログラムで結合し、福島ロボットテストフィールドにて、10機同時飛行実証にて結合動作を確認。</li> <li>・有人航空機動態情報連携について確認を実施。</li> </ul>	◎
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2018年度に実施した結合試験の結果を元に、処理方式の改良を行い、機能の完成度を高める。</li> <li>・福島ロボットテストフィールドで実証と評価を行い、本機能が容易に利用可能であることを確認する。</li> <li>・実システムとの接続が実現困難となる場合は、シミュレータを活用した実証及び評価を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・10機同時飛行実証にて、課題抽出を実施。</li> <li>・2019年10月及び12月飛行実証にむけて、電波監理コンセプトとの接続実装を完了した。</li> </ul>	○

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*1) 目標を大幅に達成

### (5) 成果の意義

[全体アーキテクチャ設計に係る成果] (日本電気、NTT データ、日立製作所、NTT ドコモ、楽天)

運航管理システム全体として、FIMS/UASSP/UASO 各機能 (各サブシステム) の役割定義を行った。また、FIMS としての機能検討を行い、FIMS 機能一覧および FIMS-UASSP 間インターフェース仕様を完成させた。通信方式として REST (REpresentational State Transfer) 方式と、Pub/Sub (パブリッシュ / サブスクライブ) 方式を採用した。

表 2.2.1.1-8 FIMS-UASSP 間インターフェース

インターフェース名	情報の流れ		通信方式
	FROM	TO	
飛行計画情報	UASSP	FIMS	REST
	FIMS	UASSP	Pub/Sub
飛行計画申請結果通知	FIMS	UASSP	REST
運航状況情報	UASSP	FIMS	REST
近傍機体情報	FIMS	UASSP	Pub/Sub
警報情報	FIMS	UASSP	Pub/Sub
	UASSP	FIMS	REST
空域問い合わせ情報	UASSP	FIMS	REST
有人航空機動態情報	FIMS	UASSP	Pub/Sub
飛行禁止空域情報	FIMS	UASSP	Pub/Sub
飛行注意空域情報	FIMS	UASSP	Pub/Sub

[2018 年度実証試験の成果] (日本電気、NTT データ、日立製作所、NTT ドコモ、楽天)

「物流」、「郵送」、「災害調査」、「警備」の各利用シーンにおいて、同一空域 (福島 RTF 約 50ha)、かつ目視外での 4 つの異なる事業者の無人航空機 10 機の同時自律飛行試験に成功した。これにより、本アーキテクチャの有用性が立証され、試作した運航管理統合サブシステムを用いて、複数の運航管理サブシステムの計 10 機の飛行経路変更や離発着タイミングの最適化を図ることが可能となった。

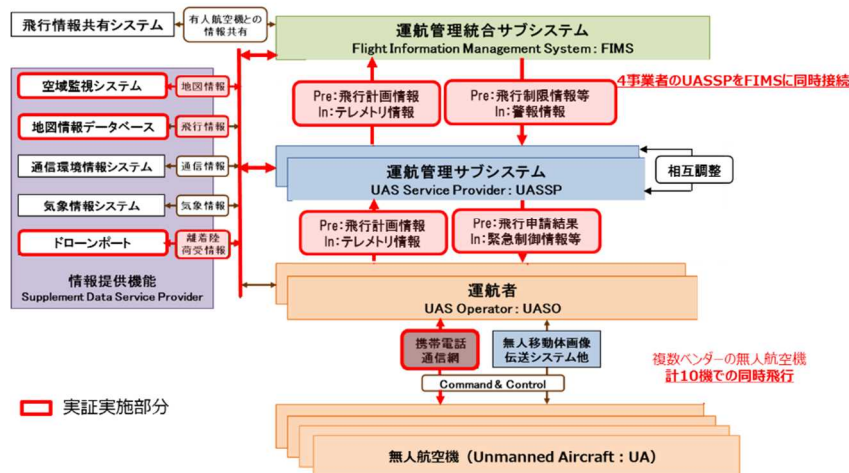


図 2. 2. 1. 1-5 運航管理アーキテクチャと実証実施機能

[2019 年度相互接続試験の成果] (日本電気、NTT データ、日立製作所、NTT ドコモ、楽天)

同一空域で複数事業者の無人航空機が安全に飛行するための運航管理システム相互接続試験の環境整備に向けて、運航管理システムの API 仕様書を公開した。

この API 仕様書を利用することにより、NEDO プロジェクトに参画していない国内外の無人航空機事業者が福島ロボットテストフィールド内で運航管理システムと相互接続試験を行うためのソフト開発が可能となった。

10 月 23 日から 24 日に、「福島ロボットテストフィールド」(福島県南相馬市・浪江町)において、ドローン事業者 29 者が参加した、同一空域で複数事業者のドローンが安全に飛行するための運航管理システムとの相互接続試験を実施し、1 時間 1 平方 km に 100 フライト以上のドローンの飛行試験に成功した。具体的には、福島ロボットテストフィールドの総合管制室に設置した複数のドローン事業者が情報共有するための運航管理統合機能のサーバや、先般公開した運航管理システムの API および API 接続支援サービスを利用して、ドローン運航管理システムの相互接続試験を実施した。本試験には、NEDO プロジェクト参画の 17 事業者に加え、プロジェクトに参画していない一般のドローン事業者 12 社が参画した。一般のドローン事業者が本試験に参加したことで、運航管理システムの実用性や相互接続に関するセキュリティ対策の有効性を実証できた。



## 5.1 「①運航管理統合機能のフライト管理に関する研究」（日本電気株式会社）

### (1)FIMS 実装要件の整理

FIMSに求められるシステム要件の整理を行った。要件の整理にあたっては、2030年における無人航空機による物流量（宅配個数）を試算した上で、運用の仮説を定義した。FIMS実装要件は、運用の仮説に基づき、研究期間内における要件と2030年頃の社会実装要件とで分けて整理した。

表 2.2.1.1-9 2030年における無人航空機による物流量（宅配個数）の試算

2030年における宅配便取扱個数は56億個に増加すると推定される（出所(A)の宅配便個数過去10年の平均増加率から推定）。2030年に宅配便の半数が無人航空機に置き換わると仮定すると、

- ・1日当り無人航空機の配送個数は、 $56 \text{ 億個} \times 50\% / 365 = 770 \text{ 万個}$ 、
- ・1秒あたりの飛行申請件数は、 $770 \text{ 万個} / 12\text{H} / 3600 \text{ 秒} = 180 \text{ 申請/秒}$ （1日当り配送12時間稼動と仮定）、
- ・1配送当りの無人航空機の平均飛行時間を20分とした場合、必要な機体数は、 $180 \text{ 申請} \times 20 \text{ 分} \times 60 \text{ 秒} = 21 \text{ 万機}$

2030年に全国で物流無人航空機として21万機が飛び交うと推定。

出所：(A)H28 国交省「宅配便等取扱個数の推移」

表 2.2.1.1-10 運用の仮説

分類	研究期間内	社会実装時 (2030)
ルール／法律	<p>現行航空法に則る 機体管理/利用者管理は、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 物流/災害ミッション</li> <li>・ 飛行計画申請</li> <li>・ 衝突判定</li> </ul> <p>の基準に必要な情報を仮設定する</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 機体認証／登録の義務化</li> <li>・ 運用者に対する免許制度</li> </ul>
対象機体	実施計画書の記載内容に準ずる	TBD
同時飛行機数	南相馬市から浪江町までの 13 キロの区間を、操縦者が肉眼で機体を確認することなく飛ばす「目視外」の状況で、10 台以上を運航させることを目指す	日本全国で 21 万機
機体性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現状存在する機体</li> <li>・ マルチコプター</li> <li>・ UASO/UASSP 間 IF を搭載</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 航続時間 2 時間</li> <li>・ 最高速度 100km/h 以上</li> <li>・ 非協調 SAA 搭載</li> </ul>
運用時間	実証実験に支障がないこと	24 時間 365 日
運用者	実証実験に支障がないこと	存在し、運航の監視を行う
管理者／保守者	実証実験に支障がないこと	存在し、システムの管理／監視を行う

表 2.2.1.1-11 FIMS 実装要件（処理能力）

定義	研究期間内	社会実装時（2030）
トランザクション数	TBD	日本全国で 21 万機分の飛行計画及び動態を同時処理できる事
データ容量	飛行計画： 100 件 × 1024byte × 30 日 = 3MB 運航状況情報： 100 機 × 100byte × 3600 秒 × 12H × 30 = 13GB コンフリクト： 1 日 100 件 30 日 × 256byte = 0.8MB 警報： 1 日 100 件 30 日 × 256byte = 0.8MB 他： 地図/気象等 SDSP の情報格納。 100GB 程度あれば十分と想定。	飛行計画： 28 億件 × 1024byte × 5 年 = 14.3TB 運航状況情報： 21 万機 × 100byte × 3600 秒 × 12H × 365 日 × 5 年 = 1,660TB コンフリクト： 28 億件 / 10000 × 256byte = 71.7MB 警報： 1 件 × 365 日 × 5 年 × 256byte = 0.5MB 他： 地図/気象等 SDSP の情報格納。 最低 1,700TB は必要と想定。
同時アクセス数（対 UASSP）	6 UASSP	10 UASSP

表 2.2.1.1-12 FIMS 実装要件（応答性）

定義	研究期間内	社会実装時（2030）
現況管理⇒ コンフリクトの通知	位置情報受信⇒コンフリクト通知送信まで 1 秒以内	TBD
管理者画面 設定変更の応答性	サーバサイドでの要求受付⇒応答完了までに 1 秒以内	TBD

表 2.2.1.1-13 FIMS 実装要件（操作性）

定義	研究期間内	社会実装時（2030）
操作端末	PC(Web)	PC(Web/専用ビューア)
視認性等 HMI 基準	-	TBD
変更容易性	考慮無し	デザイン変更スキンやテーマ等を導入し、視認性の要求に容易に対応可能とする

表 2.2.1.1-14 FIMS 実装要件（拡張性）

定義	研究期間内	社会実装時（2030）
機能拡張の容易性	2030 年における機能拡張方法を意識した SW 実装	TBD
接続容易性	2030 年における機能拡張方法を意識した SW 実装	TBD
性能向上の容易性	2030 年における機能拡張方法を意識した SW 実装	TBD

表 2.2.1.1-15 FIMS 実装要件（セキュリティ）

定義	研究期間内	社会実装時（2030）
認証	方式検討に留める もしくは、 ユーザ/パスワード認証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アカウントによるユーザ/パスワード認証</li> <li>・UASSP 等との通信は、API キー/Oauth2.0 等を用いた認証による、承認された UASSP との通信のみ許容</li> <li>・シングルサインオン</li> </ul>
通信暗号化	SSL による通信暗号化（自己証明書でも可）	SSL/TLS による暗号化、サーバ証明書必須
アクセス制御	運用者/システム管理者で、データアクセス制御を実施	FIMS 運用者/FIMS システム管理者で、データアクセス制御を実施
ログ管理	1 ヶ月 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトデバッグログ</li> <li>・警報・コンフリクト</li> <li>・飛行状況情報</li> <li>・飛行計画</li> </ul>	5 年と仮定 （他案件の法的制約等参考） <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトの動作ログ（異常のみ）</li> <li>・警報</li> <li>・コンフリクト</li> <li>・飛行状況情報</li> <li>・飛行計画</li> </ul>

表 2.2.1.1-16 FIMS 実装要件（その他）

定義	研究期間内	社会実装時（2030）
使用時間	実証期間（2W）	24 時間 365 日
業務継続性	-	TBD
（冗長化の場合） 切り替え時間	10 分以内（ACT/ColdSBY で、ACT 系障害時は待機系システムをブートするなど）	60 秒以内
時刻精度	NTP サーバによる時刻同期（誤差 1ms 以内）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オンプレミスの場合、FIMS NW 内に Stratum1 の GPS クロックを設置。GPS⇒FIMS⇒UASSP で時刻同期を実施</li> <li>・クラウドの場合、クラウド選定の条件とする</li> </ul>
運用監視	-	各サーバの障害監視を実施 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ハードウェア</li> <li>・ソフトウェア</li> <li>・ネットワーク</li> </ul>

(2) FIMS-UASSP 間インターフェースの定義

FIMS-UASSP 間インターフェースについては、接続要件定義、業務インターフェース定義を行った。接続要件は、インターネットを介して接続する様々な UASSP を考慮し、プラットフォームに依存させない通信方式（REST、Pub/Sub）、証明書を用いた認証方式を確定させた。通信および認証の仕組みのイメージ以下の図 2.2.1.1-6 に示す。

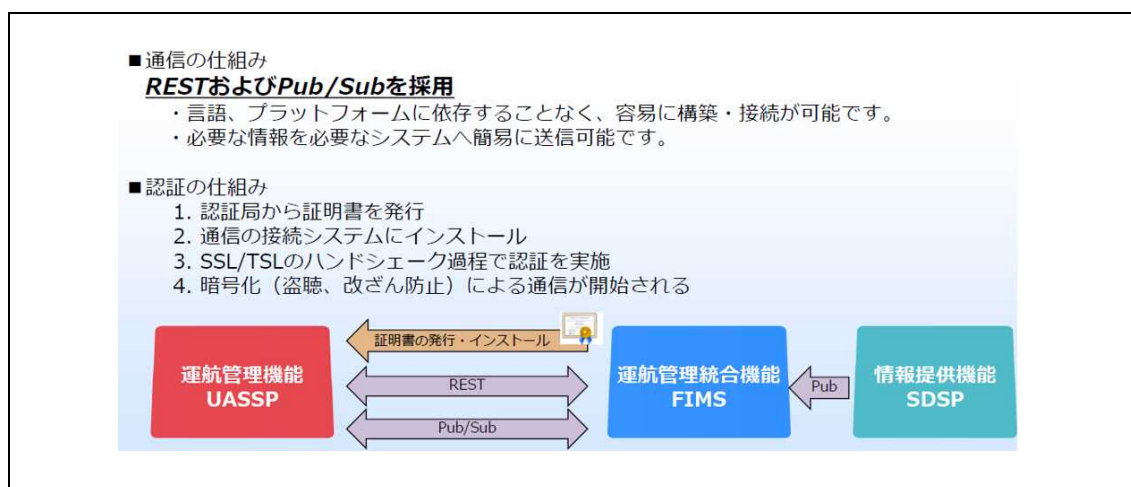


図 2.2.1.1-6 通信および認証の仕組み

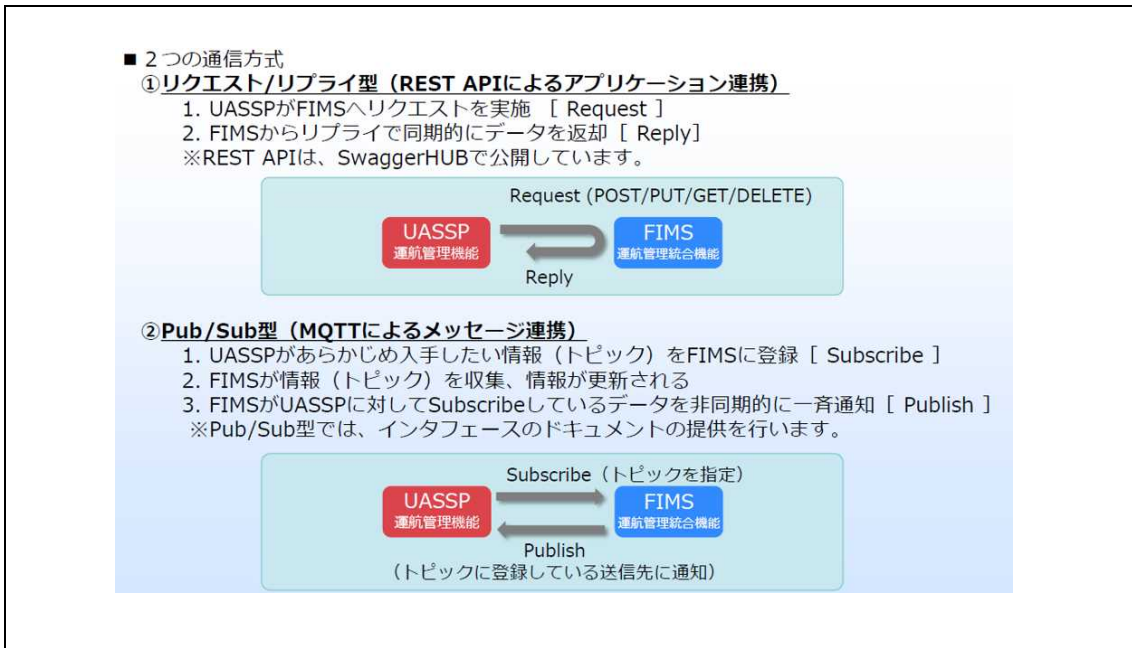


図 2. 2. 1. 1-7 REST と Pub/Sub

業務インターフェースについては、運航管理システムで想定するユースケース、FIMS および UASSP に対して求められる実装要件を考慮して確定させた。確定インターフェースを以下の表 2. 2. 1. 1-17 に示す。

表 2. 2. 1. 1-17 FIMS-UASSP 間インターフェース (表Ⅲ2. 5 の再掲)

インターフェース名	情報の流れ		通信方式
	FROM	TO	
飛行計画情報	UASSP	FIMS	REST
	FIMS	UASSP	Pub/Sub
飛行計画申請結果通知	FIMS	UASSP	REST
運航状況情報	UASSP	FIMS	REST
近傍機体情報	FIMS	UASSP	Pub/Sub
警報情報	FIMS	UASSP	Pub/Sub
	UASSP	FIMS	REST
空域問い合わせ情報	UASSP	FIMS	REST
有人機動態情報	FIMS	UASSP	Pub/Sub
飛行禁止空域情報	FIMS	UASSP	Pub/Sub
飛行注意空域情報	FIMS	UASSP	Pub/Sub

### (3) フライト管理機能の開発

フライト管理として飛行計画の段階でのコンフリクト判定プログラム、および、飛行計画の登録プログラムの開発を行った。コンフリクト判定は、無人航空機の飛行計画における飛行経路上に保護空域を設定し、その保護空域の重なり判定による方式とした。判定方式については、「飛行計画基準」としてまとめた。保護空域の設定、コンフリクト判定のイメージを以下の図 2. 2. 1. 1-8 および図 2. 2. 1. 1-9 に示す。

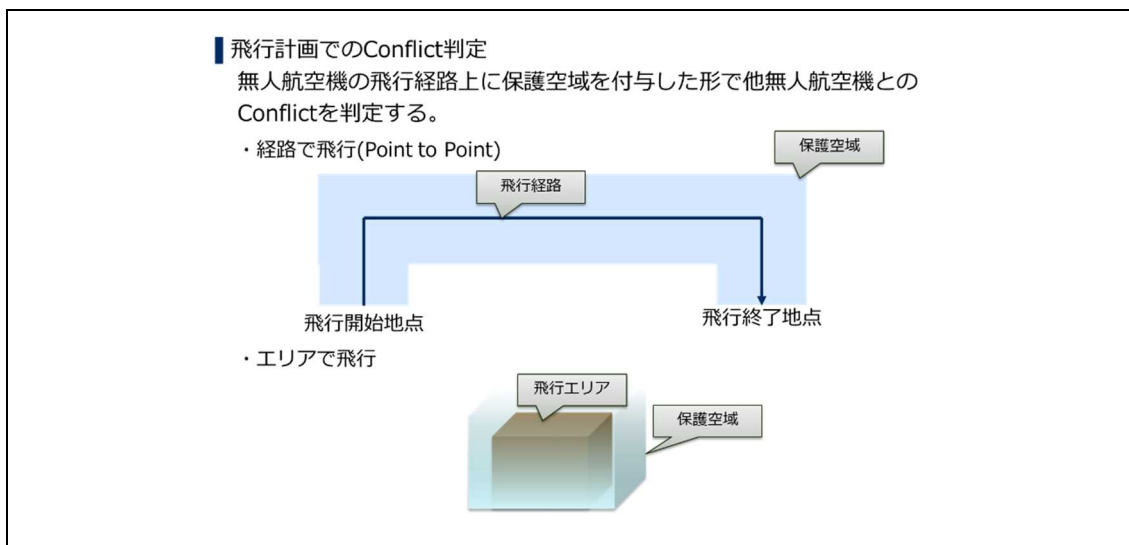


図 2. 2. 1. 1-8 保護空域の設定

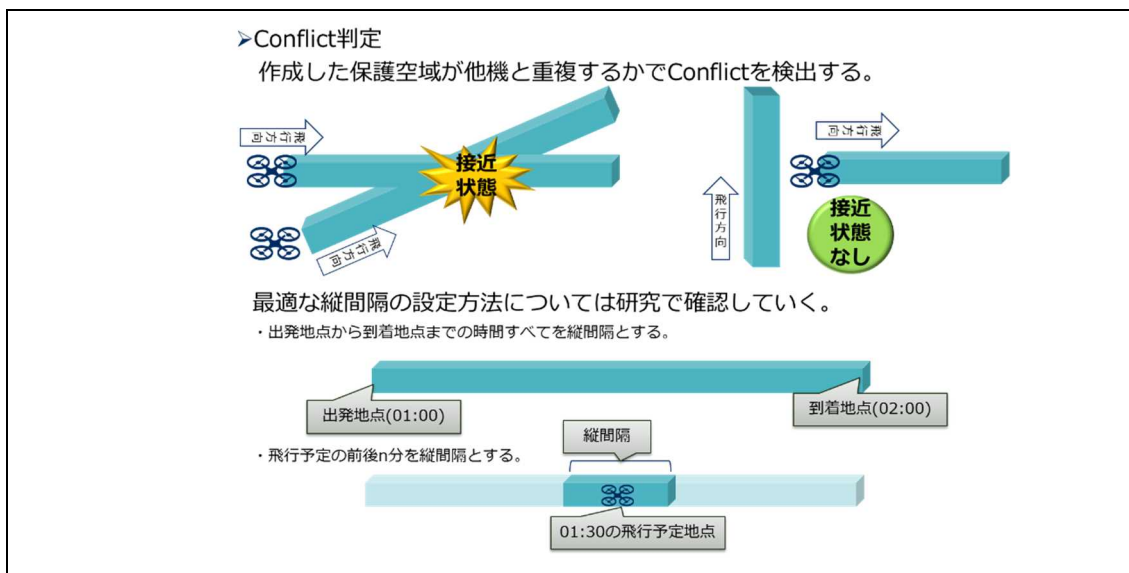


図 2. 2. 1. 1-9 コンフリクト判定

#### (4) FIMS-UASSP 接続評価の実施

2017～2018 年度で作成した FIMS 評価機材と UASSP 評価機材を接続し福島ロボットテストフィールドで災害が発生したことを想定し「災害調査」「警備」「物流」「郵便」の 10 機の無人航空機を目視外で自律同時飛行の接続評価試験を実施した。FIMS システムで設計した飛行計画の策定、コンフリクト判定が問題なく動作し、安全な運航が実施できることを確認した。

運航管理システム全体での接続評価試験を継続して実施し、FIMS-UASSP 間の有用性および実用性を検証した。検証にあたっては、2018 年度に実施した接続評価試験のユースケースを拡張し、異なるユースケースを策定すると共に、同時飛行機数を増加した。また、福島ロボットテストフィールドに FIMS 機能のサーバを実装し、FIMS 機能の社会実装に向けた運用方式などを含む有用性および実用性を検証した。継続した接続評価、実用性の検証により最終目標を達成した。

#### (5) 空域監視システムの開発

空域監視の目的・監視範囲に基づくカメラやレーダー等のセンサ方式の整理を行った。その推定要件に基づく、機能・性能検討とインターフェース仕様の整備を行った。

ポート上空を監視領域とする、ステレオカメラ方式の試験用装置を試作製造した。画像処理技術により、複数飛行体の自動検知と無人航空機識別機能、位置の推算機能を有する。また、画像処理機能を持たないカメラ映像監視システムも構築し、2018 年度の実証実験で利用した。(構内遠隔監視利用にて 5GHz 無線 LAN 通信による映像伝送を確認。)

空域監視システムについては、カメラ監視による監視領域の設計を完了し、福島ロボットテストフィールドに設置し、2019 年度の実証実験で機能検証をした。

#### (6) 気象情報システムの開発

飛行計画策定・飛行前判断・安全飛行管理に必要な気象要素と粒度の検討と、それに基づく API 仕様書の整備、プロトタイプ作成。及び実証実験に必要な気象観測機器の現地調査検証と配備を実施。

FIMS 試験装置との連携開発。気象の急変が発生した際、UAS が危険回避する為のアラート仕様の構築と実装、連携検討を行った。

2019 年度の実証実験において UASSP/UASO へ気象情報の提供を実施した。

#### (7) FIMS の AI の研究

UASSP/UASO 間の飛行計画調整が必要なユースケースを検討し、それに基づいて、UASSP を介した UASO 間の 1 対 1 の計画交渉、および、多数 UASO 間の計画調停機能の提案を行った。

前者の 1 対 1 の飛行計画交渉に関しては、飛行中に計画からの逸脱などで他者計画との干渉が避けられない場合を想定し、UASSP/UASO 間で飛行計画を調整するインターフェース



を試作し、簡易シミュレーションにより評価を完了した。

後者に関して、多数 UAS0 間で調整を行う場合には、合意が得られずに交渉が決裂してしまう可能性が高いこと、また、衝突を回避する計画を第三者が強制的に決定する場合、事業者が望まない飛行経路が割り当てられる可能性がある、といった課題がある。このような課題を解決するため、多者間の経路調整を調停するコーディネータ機能の研究開発を実施。UAS0 個々の飛行経路に対する望ましさを予測するモデルを学習し、各々の業務都合を考慮した計画調停を行うコーディネータ機能を設計し、コアアルゴリズム実装と簡易シミュレーション評価までを完了した。

さらに 2019 年度に 1 対 1 の飛行計画交渉、多数の飛行計画調停機能に関して、運航管理システム全体を模擬した試験システムと JAXA の無人機シミュレータとを接続し、より現実的なシミュレーションにて有効性および実用性の評価を行うことで、目標を達成した。

5.2 「②運航管理統合機能の空域情報管理に関する研究」(株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)

空域情報管理については、飛行禁止空域・地表障害物情報を統合的に管理/共有する基盤を開発し、FIMS および UASSP との連携実証を行った。FIMS との連携においては、本基盤の提供する機能を活用することで、飛行計画管理機能・飛行状況管理機能が飛行計画および飛行中の無人航空機の飛行禁止空域への侵害や地表・障害物への接近を検知する機能を実現できることを確認した。UASSP との連携においては、本基盤機能の提供する飛行禁止/注意空域情報提供の API を活用することで、福島ロボットテストフィールド内の工事中エリアなどの飛行禁止空域を各 UASSP に確実に共有することができた。これにより安全を担保しつつ複数の無人航空機を飛行させることができ、本機能の有用性を確認できた。最終的に、より高精度な建物データを用いた接近検知の仕組みを実装し、有効性の評価を完了した。

有人航空機との情報連携については、有人航空機の動態情報を外部から入手し FIMS の他機能および UASSP に提供する API を開発した。また、有人航空機側システムに対して無人航空機の飛行計画および位置情報を提供する API を開発した。研究段階においては、実際に接続可能な相手側の有人航空機側システムが無いため、模擬機能を開発して実証を行った。最終的に、実際の航空機の動態情報を取得して FIMS の他機能で活用できる仕組みを構築し、有人/無人航空機間の情報共通の仕組みを検証した。

地図情報データベースについては、物流/災害対応等の各用途で必要となる地図情報の項目及び要件を検討し、災害時の医療・支援物資輸送および緊急時の着陸可能場所として利用可能と想定される避難所情報と、飛行禁止空域となるイベント開催エリアの情報を提供することとした。昨年度までにこれらの情報を現地調査により収集しデータ化するとともに、他システムに情報提供するための API を開発・公開して実証を行い、情報の有効性を確認した。最終的に南相馬-浪江町間の長距離飛行の実現に向け、飛行を推奨するエリア・経路を決定するための調査・開発を完了した。

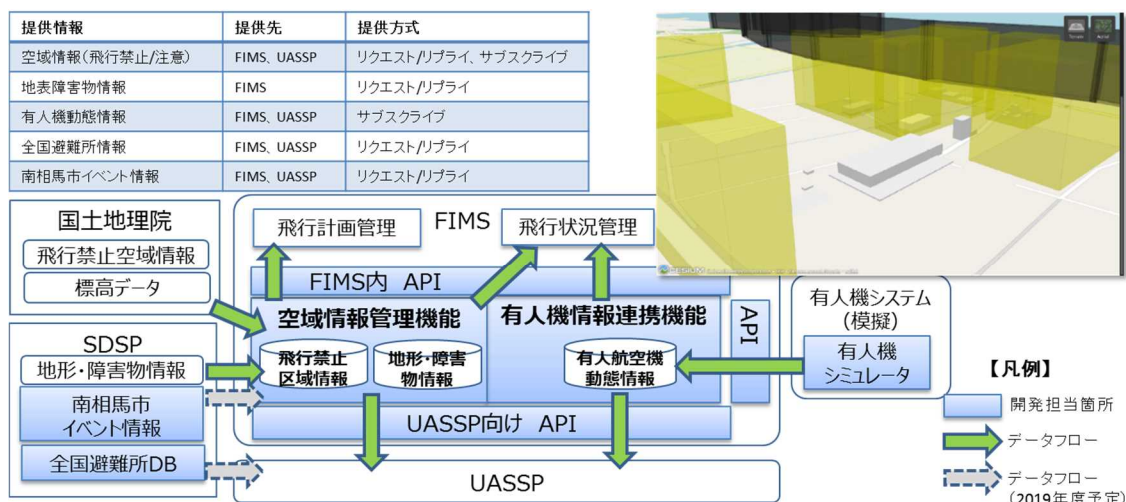


図 2.2.1.1-10 空域情報管理

### 5.3 「③電波品質に基づく運航管理機能に関する研究」(株式会社 NTT ドコモ)

#### (A) 電波品質等の情報に関する研究

2017年度に本研究に必要なインターフェース仕様を設計、2018年度には上空の携帯電波情報を考慮した飛行計画の策定が可能な UASSP を開発し、福島ロボットテストフィールドにて実証実験を実施、当初計画通りの性能が得られることを確認した(図 2.2.1.1-11)。2019年度は、携帯電波管理システムと FIMS/UASSP/UASO 間連携に関する研究において運航計画を検討する際の事前情報として用いることで、空域としての安全性だけでなく通信環境の安定性も含めた適切な航路設定に有効に資することを確認した。

#### (B) UASSP/UASO と UAS 間機能に関する研究

PS-LTE と LTE のマルチ接続通信環境を構築し、無人航空機に搭載した端末との疎通試験、性能試験、通信経路切替試験を実施して、無人航空機フライトに向けた基礎検証を完了した(図 2.2.1.1-12)。2019年度は福島ロボットテストフィールドにおいて、実環境下における通信性能試験を実施した。あわせて、海外製の無人航空機や空撮および測量等を目的に広く市中で調達可能な無人航空機を既に活用している事業者が個別に機能開発することなく FIMS に接続できるように、開発した自社 UASSP を活用した接続支援を行った。

#### (C) UASSP と UASSP 間連携に関する研究

2017年度に本研究に必要となるインターフェース仕様を設計、2018年度は当該のインターフェースを用いて、FIMS への飛行計画申請前に UASSP 間にて事前調整を行う UASSP 間機能を開発、基本的な動作試験を実施し、当初見込み通りの動作性能を確認した。2019年度は実際に開発された UASSP 間で当該インターフェースを用いた接続実証実験を完了した。

#### (D) 携帯電話システムと FIMS/UASSP/UASO 間連携に関する研究

上空の携帯電波状況の収集に対応した UASSP/UASO を開発し、福島ロボットテストフィールドにて実証実験を実施した。



図 2.2.1.1-11 携帯電波情報の可視化および飛行計画策定への反映



図 2. 2. 1. 1-12 PS-LTE/LTE マルチ接続通信環境

#### 5.4 「④事業サービスに応じた運航管理機能の開発」(楽天株式会社)

##### (A) UASSP と UASO の連携に関する研究開発

まず、物流アプリケーションの実運用経験に基づき、通常時の物流シーンおよび災害発生時における物資搬送シーンのユースケース・シナリオを作成した。また FIMS と複数 UASSP を含むユースケースに関して、飛行前から飛行後までのシーケンス検討を行い、UASSP-UASO 間共有情報、送信頻度等を含むインターフェース仕様初版を策定した。

次いで、通常時の物流シーンおよび災害発生時における物資搬送シーンに対して、注文から配送までの一貫コンセプトを確立し、飛行申請・承認取得、状況把握などの機能を備えた UASSP インターフェースを開発した。

2019 年 10 月および 12 月の実証試験にてシステムを機能検証し、目標を達成した。

##### (B) 物流サービスに応じた UASSP の研究開発

物流システムにおける情報とオペレーションの流れを整理し、無人航空機の発着と物資の荷積み、荷下ろしを行うためドローンポートシステム(図 2.2.1.1-13)の要件定義を行った。また、ドローンポート周辺空域の状態を監視するセンサを含むシステムの構成、予約システムの仕様を明らかにするとともに、インターフェース仕様の初版を策定した。

次いで、物流システムにおける情報とオペレーションを考慮し、無人航空機の発着と物資の収納を行うためのドローンポート機構(図 2.2.1.1-14)の試作を行った。ドローンポートは幅、奥行き共に約 2m と、一般自動車用の駐車スペースに設置可能なサイズまで小型化を達成した。さらに、2019 年 12 月に無人航空機着陸実験を含む機能確認を行った。本装置は荷物の自動収納と電子錠による開扉機能を備えたものである。併せてドローンポート予約システムの試作を行った。

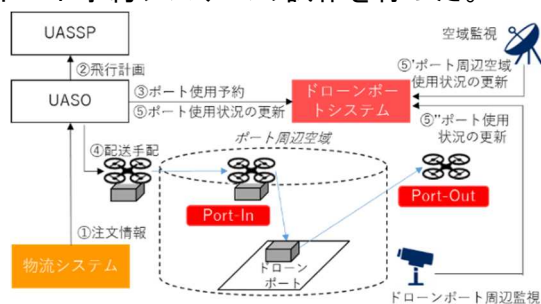


図 2.2.1.1-13 ドローンポートシステム

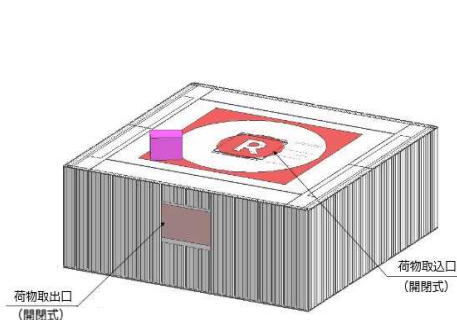


図 2.2.1.1-14 ドローンポート機構

##### (C) その他サービスに応じた UASSP の研究

点と点を結ぶ形で経路が定義される物流に対して、空撮、測量など、一定の面領域

内を飛行する形態のアプリケーションの分析を行い、これらの用途においても対応可能となるよう、インターフェース仕様への反映を行った。

また、従来の GPS による測位と比較して高精度な準天頂衛星による測位情報を利用した飛行制御技術により、飛行経路精度、着陸精度の向上が可能であることを確認した。2019 年 10 月までに経路精度、着陸精度等の検証のためのデータ計測とその結果の整理を行い、性能検証を完了した。着陸位置誤差 25cm 以下を達成した。



## 5.5 「⑤運航管理統合機能の運航状況管理に関する研究」（株式会社日立製作所）

### (A) 運航状況管理における統合的判断の研究

飛行中の運航状況の管理観点から、飛行中のコンフリクト判定基準、警報一覧の整理を実施した。これら成果をベースとし、運航管理統合機能の運航状況管理関連のアーキテクチャ／インターフェース仕様を策定した。インターフェース仕様のうち、無人航空機運航管理に必要な一部機能（飛行計画情報、飛行計画申請結果通知、運航状況情報、近傍機体情報、飛行禁止エリア情報）を実装したFIMS 飛行状況管理部プロトタイプを構築し、動作検証、インターフェースによる情報交換の有用性を評価した。

さらに、飛行中のコンフリクト判定基準、警報一覧と、これら成果をベースとし、運航管理統合機能の運航状況管理関連のアーキテクチャ／インターフェース仕様 2.0 版を制定した。運航状況情報、近傍機体情報、警報情報の API 及び情報を元に衝突判定、警報判定処理を実装した FIMS 飛行状況管理部を製造し、動作検証、実証実験を行った。

2019 年度は気象（降雨、風速）、機体異常の警報発出の追加を行い、Inflight 中に機体からの警報を検知した場合、飛行禁止エリアを生成する等の方法を用いて、Inflight 中のインシデント対応方式を実装した。10 月実証及び 12 月実証にて機能の評価を完了した。

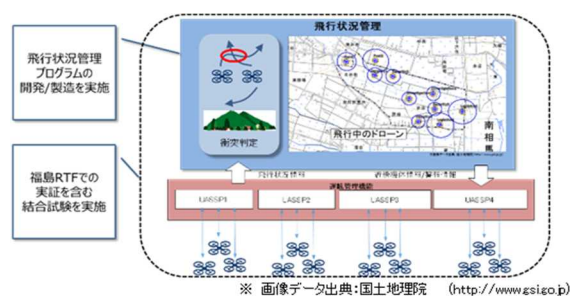


図 2.2.1.1-15 飛行状況管理機能概念図

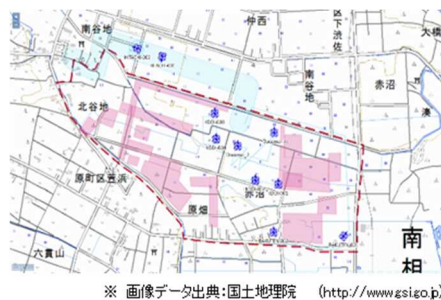


図 2.2.1.1-16 飛行状況管理画面

### (B) 外部機関連携機能の開発

無人移動体画像伝送システム運用調整サービス、ドクターヘリ動態管理システムの情報要素を精査し、インターフェース仕様の初版を作成した。また、無人移動体画像伝送システム運用調整サービスの情報を活用するために、JAXA 殿開発予定の電波伝搬シミュレータとの連動業務フローを策定した。

NTT データ提供機能が受信した飛行禁止エリア情報、有人航空機情報、3D 障害物情報を運航管理統合機能内で共有し、運航状況管理機能内で衝突判定/警報判定に使用するフレームワークを実装した。

さらに電波監理コンセプトとの接続インターフェースを実装し、シミュレーションを含めた評価を実施の上、電波監理の有用性について評価を実施した。

各機能は 10 月の実証実験において機能検証を実施した。

## (6) 特許出願数、論文等の発表数

6.1 「①運航管理統合機能のフライト管理に関する研究」(日本電気株式会社)、「②運航管理統合機能の空域情報管理に関する研究」(株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)、「⑤運航管理統合機能の運航状況管理に関する研究」(株式会社日立製作所)

運航管理統合機能に関する成果を、ISOの国際標準化活動を通して普及させる取り組みを行っている。具体的には運航管理統合機能とその周辺の機能に関する機能構造について、欧米の研究開発・制度設計の動向を踏まえ、ISO 23629-5 UTM Functional Structureという規格文書を開発中である。2022年11月に最終規格案に対する投票を実施し、2023年初頭に規格文書として発行予定である。

6.2 「③電波品質に基づく運航管理機能に関する研究」(株式会社NTTドコモ)

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会における“空の産業革命に向けたロードマップ”に則り、NTTドコモは携帯電話事業者として、携帯電話等の上空利用に係る性能評価・国際標準化の対応を推進するとともに、本研究開発プロジェクトにおいては、“目視を代替する機能の実現に係る運行管理システム(UTMS)の全体設計および各システムの開発および統合”について、運航管理統合コンソの一員として取り組んでいる。

並行して、同ロードマップに示されているように、物流、災害対応、農林水産業、インフラ維持管理、測量、警備など様々な分野での無人航空機の活用および高度化が見込まれており、NTTドコモは、2019年3月より無人航空機を活用するユーザと機体メーカーやAIを活用した解析サービスを提供する事業者をつなぐドローンプラットフォームの商用サービスを開始している。

本テーマで開発した機能およびインターフェースは個社に限らず無人航空機を活用した事業全体を底上げし、無人航空機の早期社会実装を促進するものであることから、自社無人航空機事業の推進においても実用化が見込まれる。

6.3 「④事業サービスに応じた運航管理機能の開発」(楽天株式会社)

本研究開発と社会実装状況を鑑み、運航管理者が必要とする情報の提供や飛行許可申請機能を具備した「楽天ドローンゲートウェイ」をリリースし社会実装を推進するとともに、「楽天ドローンアカデミー」を開設し、物流のみならず空撮・調査・点検・レースなど業界全体の技術向上と社会受容性の向上を推進している。

\* 楽天ドローンゲートウェイ : <https://gateway.drone.rakuten.co.jp/lp/>

\* 楽天ドローンアカデミー : <https://academy.drone.rakuten.co.jp>



#### 6.4 知的財産権及び成果の普及

研究開発の成果は運航管理統合機能 API としてプロジェクト外に公開した。併せて福島ロボットテストフィールドに運航管理統合機能の装置を設置し、無人航空機の飛行実証を行う国内外の事業者幅広く利用いただき実績を積むことで事業化に繋げる。

また、本プロジェクトで設計した運航管理システムのアーキテクチャについて、国際標準化に向け ISO へ提案をすすめる。2019年6月にロンドンで開催された ISO TC20/SC16（無人航空機分野）での WG4 のミーティングにおいて、UTM Functional Structure に関する NP 提案に向けた取り組みを推進したいことを提言し、認められた。今後 36 か月で、各国の UTM 関係者と協議し、UTM Functional Structure に関する規格文書の作成をする計画である。

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	-	-	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	0	4	3	-	-	-	7
展示会出展	2	2	4	-	-	-	8
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	4	0	1	-	-	-	5
ニュースリリース・プレスリリース	0	1	3	-	-	-	4
国内出願	2	3	1	-	-	-	6
外国出願	2	0	0	-	-	-	2

#### (7) 実用化・事業化への道筋と課題

##### 1. 事業化に向けた戦略

##### 1.1 運航管理統合機能（日本電気株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・データ、株式会社日立製作所）

“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”にて制定されている「空の産業革命に向けたロードマップ 2019」に協調しつつ運航管理事業の在り方を継続して検討する。様々な運航ルールの仮説をたて、実証実験を継続して行い、技術開発を促進する。更には、その検証結果をもととした運航ルールの策定に関して積極的に関係省庁へ提案を継続し、環境整備の促進を図ると共に、運航管理事業を確立させる。あわせて、関連する海外の主要標準化団体（ISO 等）の会合への派遣や先行する諸外国の関連団体（例えば、米国の NASA、FAA 等）の研究者との意見交換・交流を通じて、最新の標準化動向を把握しつつ、国内関係官庁の政策のみだけでなく、本プロジェクトの成果の国際標準化を獲得するための具体的な活動計画を提言していく。

##### 1.2 株式会社 NTT ドコモ

本研究開発で得られた知見については、運航管理統合システムの社会実装の進捗にあわせて既に商用サービス中のドコモドローンプラットフォームの事業の高度化に向けて適宜反映する計画である。

例えば、携帯電話等の上空利用に係る電波管理機能と運航管理機能の連携強化を通じた

無人航空機の運航管理の安全性向上、ならびに携帯電話を活用した無人航空機（セルラードローン）の普及拡大を推進していく計画であり、2020年代に全国規模でのセルラードローンの運航が可能なシステムの構築を検討している。

### 1.3 楽天株式会社

研究開発実施者の楽天（株）は、無人航空機を用いた物流サービスの実用化を目指した運用を積極的に進めており、国内各地において具体的な運用実績を蓄積しつつある。また、物流用途のみならずその他の用途に対しても利用可能な運航管理プラットフォームの提供を目指して検討ならびに試行を進めている。今後とも、このような形でUASSPの実運用への適用事例を増やししながら、着実に事業化を進めて行く。

## 2. 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

### 2.1 運航管理統合機能（日本電気株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・データ、株式会社日立製作所）

無人航空機は、物流分野のみならず、橋梁、道路、トンネルといった社会インフラ点検、災害地における救援支援、空撮等、様々な分野での活用が期待されている。更に、その市場は今後、益々拡大していくものと予想されている。

しかしながら、無秩序に無人航空機が飛行する様になれば、限りあるリソースである「空」に混雑が発生し「空」リソース枯渇による無人航空機の衝突等が発生する可能性が高まるため、安全性が低下する。無人航空機および空域の統制／管理により、「空」の安全を保つ必要がある。複数の無人航空機が空域を共有しつつ、多数の無人航空機が目視外環境下において、安全な飛行を可能とさせる運航管理統合機能（FIMS）の存在が必要となる。

本研究開発対象であるFIMSは、低高度空域を管理する社会インフラシステムに位置づけられると想定される。社会インフラシステムは、行政事業として整備され、国もしくは国からの委託により運営されることが想定される。運営の在り方及びそれに伴う責任の所在については、運用ルールの制定とあわせて慎重に議論・検討する必要があるものの、運航管理を主体とする運営事業は、必然的にビジネスモデルが確立されるものと想定する。

### 2.2 株式会社NTTドコモ

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会における“空の産業革命に向けたロードマップ”に則り、NTTドコモは携帯電話事業者として、携帯電話等の上空利用に係る性能評価・国際標準化の対応を推進するとともに、本研究開発プロジェクトにおいては、“目視を代替する機能の実現に係る運行管理システム（UTMS）の全体設計および各システムの開発および統合”について、運航管理統合コンソの一員として取り組んでいる。

並行して、同ロードマップに示されているように、物流、災害対応、農林水産業、インフラ維持管理、測量、警備など様々な分野での無人航空機の活用および高度化が見込まれてお

り、NTTドコモは、無人航空機を活用するユーザと機体メーカーやAIを活用した解析サービスを提供する事業者をつなぐドローンプラットフォームを2019年3月より商用サービスを開始している。

本テーマで開発した開発した機能およびインターフェースは個社に限らず無人航空機を活用した事業全体を底上げし、無人航空機の早期社会実装を促進するものであることから、自社無人航空機事業の推進においても実用化が見込まれる。

### 2.3 楽天株式会社

UASの実運用拡大に伴い、運航管理システムの必要性はますます高まっており、公的な運航管理を司るFIMSへの接続を希望する事業者に接続・管理サービスを提供する存在としてのUASSPに対する必要性ならびに機能向上が求められている。

本研究の研究開発項目は、A) UASSPとUASOの連携、B) 物流サービスに応じたUASSP、C) その他サービスに応じたUASSP、であり、物流用途はもちろん、それ以外の様々な用途に対しても柔軟に対応可能なサービスプロバイダとしてのUASSPシステムに対する社会的ニーズの増大が見込まれるものである。本研究開発では、物流を代表例とする具体的な用途を想定し、実用化、事業化を視野に入れた形でUASSPシステムの仕様を策定し開発を進めた。

楽天は、飛行禁止空域や天気情報、飛行許可申請を行える機能を備えた「楽天ドローンゲートウェイ」<https://gateway.drone.rakuten.co.jp/lp/>をリリースした。

## 3 実用化・事業化の見通し

### 3.1 運航管理統合機能（日本電気株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・データ、株式会社日立製作所）

運航管理事業の確立とともに無人航空機を活用するサービスますます発展すると想定される。運航管理統合機能により、安心・安全に無人航空機が利活用されることになり、物流等の分野で、今後加速していくと予想される労働者人口不足の課題を解消する1つの手段となり、経済成長を促す無人航空機産業の発展に貢献すると考えられる。

### 3.2 株式会社NTTドコモ

ドコモの運航管理システムは、通信機能とテレメトリ取得、運航管理接続機能を一つの小型デバイスに統合した構成としており、国内の産業用無人航空機だけでなく海外製無人航空機や民生用無人航空機にも適用可能な構成となっている。このため、比較的小規模な無人航空機事業者においても比較的容易に適用できることから、運航管理統合システムへの接続に係る負担を軽減し、本テーマで開発した運航管理統合システムの社会受容性の早期醸成に貢献できるものと考えられる。

本プロジェクトの成果を別途検討が進む上空での携帯電話等の活用に係る検討と合わせることで、例えば、無人航空機のインフラ構築に係るコスト低減、無人航空機の単位面積・

単位時間あたりの飛行可能台数ならびに航続距離の拡大といった効果が見込まれる。

### 3.3 楽天株式会社

無人航空機運航数の大幅な増加には、航空法などの法的な問題を含めて様々な課題の解決が必要であると考えられるが、そのための環境整備の一つとして、UASSPを含む運航管理システムの実用化は極めて重要な要素である。また逆に、運航管理システムの実運用が開始される状況になれば、無人航空機を使用する事業者の増加が見込まれ、サービスプロバイダとしてのUASSPに対するニーズの増大が期待される。すなわち、本研究開発の直接的な結果としてのUASSPの具体化は、競争領域としてのUASSP事業の発展のみならず、車の両輪として、様々な用途、分野への無人航空機の普及促進が、波及効果として期待できる。

## 6.2.1.2 2) 運航管理機能の開発（警備）：

### 警備業務に対応した運航管理機能の研究開発

（実施期間：3年間（2017年度～2019年度））

（実施者：KDDI株式会社 テラドローン株式会社）

#### （1）事業の背景・意義（目的・概要）

近年のGPS技術の普及及びMicro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術を利用した慣性航法装置等の出現に伴い、小型の無人航空機でも高精度な測位を利用した自律飛行が可能となっている。また、2016年6月に閣議決定がなされた日本再興戦略2016において、小型無人機の産業利用拡大に向けた環境整備が第4次産業革命の実現に向けた具体的な施策の1つとして掲げられており、2017年5月に取りまとめが行われた「空の産業革命に向けたロードマップ ～小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備～」では、飛行させる空域や飛行の方法に応じて飛行レベル1～4を定義し、2018年頃からレベル3の飛行（無人地帯における目視外飛行）による利活用、2020年代前半からレベル4の飛行（有人地帯における目視外飛行）による利活用を本格化させることを目標とする計画が公表された。こうした技術・政策の両面で、無人航空機の利用を促進する環境整備がなされていることを背景に、測量、物流、インフラ点検、警備等の分野において、無人航空機の利用が拡大しつつある。

このような無人航空機の産業利用が拡大すると、同時運用機数が増加し、無人航空機同士の衝突や無人航空機の意図しない領域への侵入等が生じることで、社会の安全を脅かす可能性がある。無人航空機を安全に運用するためには、無人航空機の飛行計画を集約し、飛行経路上の地理空間情報や気象条件等を考慮した上で、離発着や飛行経路を一元的に管理する運航管理システムが必要である。

他方、近年の国際情勢の不安定化や2020年に開催を控えている東京オリンピック等を踏まえると、強固な警備体制の構築が重要となる。無人航空機の持つ俯瞰性や高い機動性は、特に都市エリアにおける警備体制の強化に大きく貢献する。また、海域においては、不審船の効率的な監視が急務となっている。現在、一定以上の規模の船舶は自動船舶識別装置（Automatic Identification System: AIS）により船舶信号を送信しており識別が可能となっているが、小型の船舶についてはその限りではなく、不審船か否かの判別する場合には個別対応が必要とされる。無人航空機を利用することで、不審船の識別と海域警備の効率化・省力化が期待される。

こうした背景を踏まえ、本研究開発では、無人航空機の警備分野への適用を想定した運航管理機能の開発と、様々な警備ミッションで目視外飛行を行う複数の無人航空機の運航管理実証を行い、都市エリアを含めた広域警備への無人航空機の導入を後押しすることを目的とする。特に、無人航空機の広域運用を実現するための通信ネットワークとして期待される、LTE網を介した無人航空機の運航管理機能を開発・実証し、広域警備における無人航空機の実用性を示す。

研究開発項目としては、次の3項目を設定した。

- 1 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発
- 2 警備用無人航空機の運航管理機能の開発
- 3 警備業務に対応した運航管理システム・LTE連携機能の開発・実証

上記研究開発項目毎の概要は以下の通り。

#### 研究開発項目① 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発

本研究開発項目では、無人航空機の警備用アプリケーションの実証のために使用される運航管理機能の開発を実施した。具体的な実施内容を以下に示す。

- 警備業務における無人航空機の要求条件整理

現状の警備業務のタイプや業務フローの分析を行い、無人航空機の利用が期待されるユースケースを複数抽出し具体化する。

抽出したユースケースに対し、無人航空機の要求条件を整理する。無人航空機の要求条件としては、大きく飛行シナリオに関する条件、搭載ペイロードに関する条件、無人航空機の機体に関する条件が挙げられる。

飛行シナリオに関する条件については、運用機数、離陸要件、飛行経路・高度の要件、飛行環境（地理空間、気象、通信用電波等）、監視対象との離隔要件、周辺構造物との離隔要件、運用機数、不審者等への対処等について検討する。

搭載ペイロードについては、画像取得用のカメラへの要件（画素数、感度、波長等）、警告用マイク等、必要なペイロードとその要求仕様について整理する。

最後に、無人航空機の機体に関する条件としては、飛行シナリオや搭載ペイロードを実現するために必要となる機体の要件として、積載重量、飛行速度、連続飛行時間、自律制御要件、衝突防止要件、安全対策等を整理する。

- 無人航空機を利用した警備アプリケーション試作

要求条件整理の検討結果をもとに、本研究開発の飛行実証の対象となる、広域警備に適したアプリケーションの試作を行う。

広域警備においては、長距離飛行と上空からの画像取得を行うと共に、不審者等を発見した際には、監視対象に応じた対処が必要となる。例えば、不審者に対しては、証拠となる顔等の画像取得や、逃走する不審者の追跡、あるいは音声等による警告等を行うことが想定される。技術的には、カメラ等による人や顔の検出とフォーカシング・追跡の実現、これらの夜間対応、無人機側フライトコントローラとの連携技術等が想定される。定期巡回途中から、特定不審者の追跡を実施する場合には、他の無人機の運航に影響を与える可能性があり、警備用無人航空機向けの運航管理機能としても対処が必要な要件となる。

本研究では、このような、警備用運航管理機能の開発と連動する警備アプリケーションを特定し、その試作を行うと共に、広域警備を想定した運航管理実証において、広域警備における無人航空機利用の有効性を検証する。

## 研究開発項目② 警備用無人航空機の運航管理機能の開発

本研究開発項目では、警備業務における無人航空機の要求条件を検討し、その成果を運航管理機能開発にインプットするとともに、無人航空機を利用した警備アプリケーションを試作し、その成果をもとにした飛行実証を実施した。具体的な実施内容を以下に示す。

- 警備業務における運航管理機能の要件定義

研究開発項目①で検討した警備業務の無人航空機の要求条件をもとに、これを実現するために必要な運航管理機能の要件定義を行う。

運航管理機能の基本機能としては、機体登録情報などの機体管理機能、航空管制に係る機能（フライトプランの作成・編集・検証等に係るフライトプラン管理機能、機体から位置情報等の受信やフライトプランから想定される干渉（コンフリクト）の自動解消などを担う飛行情報管理機能等）、各種メディアへの表示機能などのユーザーインタフェース等が挙げられる。

加えて、警備業務における複数のユースケース（広域定期巡回、特定施設警備、広域巡回中の異常対応等）が同じエリアで運用される場合、飛行計画段階における干渉防止に加え、突発的な機体側の自律制御に対応した運航管理が求められる。特に、都市エリアにおいては、

高精度な地理空間情報に基づく運航管理が要求される。また、監視対象の動きに応じた自律制御が行われる場合、機体テレメトリの転送頻度やディスプレイへの表示更新頻度の向上等も想定される。

さらに、警備業務においては、飛行だけでなく、無人航空機に搭載されたペイロード制御の要求も想定される。例えば、搭載された監視用カメラの向きやズーム、警告用マイクの設定変更、さらには機体に付属するロボットアームの制御等が挙げられる。

こうした諸条件を踏まえ、警備業務に必要な運航管理機能項目を整理し、新規開発あるいは既存機能の改修が必要な機能を特定すると共に、その要件を定義する。

- 警備業務における運航管理機能の開発

定義した要件を踏まえて、各機能のソフトウェア開発を実施する。

特に開発が必要な機能項目としては、飛行計画管理やリアルタイムフライトに関する機能がある。例えば、飛行計画の検証機能では、複数の飛行計画の干渉が想定される場合、一定の干渉条件に基づき、飛行計画の許可が行われるところ、警備業務のユースケースに適した干渉条件のパラメータ設定や検証ロジック策定等が想定される。また、リアルタイムフライトに関しては、監視対象を追跡する際の追跡ロジックの開発、周辺構造物との離隔条件や衝突回避ロジックの開発等が想定される。

このように、警備業務に必要な運航管理機能の要件定義結果に基づき、必要な機能開発を実施する。

- 情報提供機能・統合管理機能等とのインタフェース開発

他の研究開発テーマとして、情報提供機能、統合管理機能とのインタフェース開発を行う。

情報提供機能については、地理空間情報や気象情報、通信用電波情報等の提供が予定されており、共通 API が提供される。これに対応した、当該運航管理機能側のインタフェースを整備し、提供される情報の取得と運航管理機能への反映を可能とする。

統合管理機能については、当該運航管理機能から機体情報や飛行計画等の情報を提供すると共に、統合管理機能側から計画承認、あるいは飛行計画変更等の指示が提供され、当該運航管理機能への反映が必要となる。これに対応した、当該運航管理機能側のインタフェースを整備し、情報の授受を可能とする。

### 研究開発項目③ 警備用無人航空機の運航管理機能の開発

本研究開発では、研究開発項目①②で開発した研究開発成果について、LTE 網を介した長距離飛行試験を実施し、警備業務に対応した運航管理機能の総合的な実証・評価を行った。また、有意義な飛行実証試験を行うための、実証・評価基盤整備を実施した。実証・評価基盤の整備としては、以下の5項目を実施した。

- ・ 運航管理システム・LTE 連携機能開発
- ・ 警備用運航管理者向け情報提供機能整備
- ・ LTE 実証エリア整備
- ・ 警備用無人航空機の試作
- ・ 市場動向調査
- ・ 検証会議開催

研究項目ごとの具体的な実施内容を以下に示す。

#### 実証・評価基盤の整備

- 運航管理システム・LTE 連携機能開発

LTE 網を介した無人航空機の運航管理を実現するため運航管理システム・LTE 連携機能を開発する。KDDI 株式会社が自主開発した LTE 連携運航管理システムのプロトタイプを基盤

とし、基本機能の整備・検証を実施すると共に、警備業務のユースケースに対応した機能改修・新機能開発を実施する。

基本機能としては、無人航空機に搭載した LTE 通信モジュールを用いて、LTE 網を介した運航管理システムにアクセスし、制御情報・テレメトリ情報の送受信を行う。まずは、安定した無人航空機の運航制御の確認、基地局ハンドオーバーによる長距離運航管理機能の確認を行う。さらに、研究開発項目①で検討した警備業務における無人航空機の要求条件をもとに、LTE 網に対する要件を検討する。例えば、監視対象の動きに応じた無人航空機の自律制御に対応した機体テレメトリの転送頻度の向上を実現するための、LTE 通信モジュールの仕様改修等が想定される。

こうした LTE 網側の機能開発を実施すると共に、要求される運航管理システムとのインタフェース等を開発する。

- 警備用運航管理向け情報提供機能整備

別途実施される「情報提供機能の開発」では、無人航空機の運航管理に共通的な地理空間情報、気象情報、通信用電波情報等が整備されることが想定される。こうした警備用運航管理機能から特に要求される情報提供機能の整備を行う。

具体的には、研究開発項目①で検討した警備業務における無人航空機の要求条件や研究開発項目②で検討した運航管理機能の要件定義を踏まえ、情報提供機能に対する要件定義を行うとともに、要件定義の結果を踏まえた地理空間情報等の開発や情報提供機能側の API 開発を行う。

- LTE 実証エリア整備

実証試験の実施エリアにおける LTE 網の整備を行う。1 年目は相模湖プレジャーフォレスト、2 年目は埼玉スタジアムにおける実証試験に向けて追加的なリソース配置を含め、LTE カバレッジの検討を実施した。3 年目は、福島県浪江町の沿岸エリアにおける LTE 実証エリアの整備を検討する。

- 警備用無人航空機の試作

警備用アプリケーションに対応した運航管理機能の飛行実証で使用する無人航空機の試作を行う。具体的には、研究開発項目①で検討した無人航空機の要求条件に基づき、必要な要件を具備した無人航空機を制作する。

警備用無人航空機では、異常対応時の自律制御に対応した機能の開発、監視対象に対する安全対策、高精細映像伝送、長距離飛行等の要求に対応する。

- 市場動向調査

本研究開発の実施方法やアウトプットの方向性を有意義なものにするため、本研究の技術開発要素に関する海外の開発・実証動向や実用化・商用化に向けた取組み状況を調査する。

- 検証会議開催

本研究開発の方法と結果・課題等を共有し、対処方針を調整する検証会議を開催する。本研究開発の実施機関、再委託機関及び主要な外注機関のメンバーで構成し、2 ヶ月に 1 回程度の頻度で定期的に開催する。

### 実証試験の実施・評価

- 実証試験の計画策定・評価

上述の検証会議の場において、実証試験の計画策定や課題整理、結果の評価等を実施する。1 年目に 3 年間の実験スケジュールと達成目標を確認すると共に、各年度に計画の見直しを行う。また、各年度の実験結果を評価、課題抽出と対応方針を検討する。



- 要素技術の飛行実証

1～2 年目において、各研究項目の要素技術開発の成果に関する飛行実証を行う。この実証では、個々の研究開発項目における成果の検証、研究項目間の部分的な機能統合の検証を行うことを目的とする。また、2 年目までに無人航空機による長距離飛行の確認、警備アプリケーションの実装性、運航管理機能の検証を行い、広域警備アプリケーションにおける無人航空機利用の可能性を技術的に確認する。

- 広域警備アプリケーションの総合実証

都市エリア等における広域警備アプリケーションに関する総合的な運航管理機能の実証を行う。具体的には、広域定期巡回、特定施設警備、異常時対応等の複数ユースケースに対応した飛行シナリオを設定し、それぞれ飛行計画の策定から離陸、運航、警備アプリケーションの作動、着陸までの流れを同時に実施する。

1 年目は遊園地の警備、2 年目はスタジアムの警備を対象に実証を行い、広域警備アプリケーションの実用性を確認すると共に、これを実現する運航管理機能開発成果の実効性を確認した。3 年目は、広域の重要施設の警備を対象とした実証を行う。

- 沿岸警備アプリケーションの総合実証

沿岸警備を想定した、無人航空機の飛行実証を行う。重要施設及び周辺の沿岸の巡回警備と突発的運航といったユースケースに対する運航管理機能と、10km 程度以上の長距離飛行を実証し、広域監視への適用可能性を確認する。

## (2) 研究開発目標と根拠

「① 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発」に関する研究開発項目では、無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発を、無人航空機のユーザーの視点から実施する。また、「② 警備用無人航空機の運航管理機能の開発」に関する研究開発項目では、無人航空機の警備用アプリケーションの実証のために使用される運航管理機能の開発を目的とする。最後に、「③ 警備業務に対応した運航管理システム・LTE 連携機能の開発・実証に関する研究開発項目」に関する研究開発項目では、研究開発項目①、②で開発した研究開発成果について、LTE 網を介した長距離飛行試験を実施し、警備業務に対応した運航管理機能の総合的な実証・評価を行う。

研究開発項目毎の中間目標及び根拠の詳細は以下の通り。

表 2.2.1.2-1 研究開発毎との中間目標と根拠

- ・ 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発

2017 年度の中間目標	設定根拠
警備業務における無人航空機の要求条件の整理	別途開発する運航管理機能の要件定義に寄与するため
無人航空機を利用した警備アプリケーションの試作（限定的な機能の動作確認）	2018 年度 of アプリケーション試作における課題を抽出するため

2018 年度の中間目標	設定根拠
無人航空機を利用した警備アプリケーションの試作・検証	飛行実証に備えるとともに、今後の警備用無人航空機の産業利用拡大に資するため

- ・ 警備用無人航空機の運航管理機能の開発

2017 年度の中間目標	設定根拠

警備利用に必要な運航管理機能項目の整理	別途開発する運航管理システムの開発項目の検討に寄与するため
運航管理機能の要件定義	
運航管理機能の一部機能開発と検証	飛行実証に備えるとともに、段階的に機能の検証を行い、2018年度以降の研究開発課題の課題を抽出するため

2018年度の間目標	設定根拠
警備利用に必要な運航管理機能の開発と実装	飛行実証に備えるとともに、今後の警備用無人航空機の産業利用拡大に資するため

・ 警備業務に対応した運航管理システム・LTE連携機能の開発・実証

2017年度の間目標	設定根拠
運航管理システム・LTE連携の基本機能整備	2017年度の飛行実験に備えるため
LTEを介した運航管理に基づく飛行実証	LTE網の有用性や有効性について評価し、将来開発の課題を抽出するため

2018年度の間目標	設定根拠
運航管理システム・LTE連携機能の開発・実装	2017年度業務の成果も踏まえ、2018年度の飛行実験に備えるため
警備用無人航空機の試作（警備アプリケーションに対応）	飛行実証に備えるとともに、今後の警備用無人航空機の産業利用拡大に資するため
LTEを介した運航管理に基づく10kmの目視外飛行実証	LTE網を介した長距離飛行試験を行い、LTE網を介した無人航空機の広域警備の実証・評価を行うため

なお、最終目標は、研究項目ごとではなく、本研究開発全体として以下の通りとする。

表 2.2.1.2-2 研究開発全体の最終目標と根拠

2019年度最終目標	設定根拠
複数ユースケースの無人航空機に対する運航管理機能の実証	広く将来の警備用無人航空機の産業利用拡大に資するため
広域警備アプリケーション、海域警備アプリケーションの実証	無人航空機を持つ俯瞰性や高い機動性を生かした警備用無人航空機の産業利用書く際に資するため
LTEを介した運航管理に基づく10km以上（30km程度を目標）の目視外飛行実証	LTE網を介した無人航空機の実用性を示すため

	FY- 2017				FY- 2018				FY- 2019				
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
1 無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発(実施主体:セコム 参画:KDDI)													
1.1 警備業務における無人航空機の要求条件検討	用途・要求条件整理												
1.2 無人航空機を利用した警備アプリケーション試作	アプリ設計				アプリ試作				検証・修正				
2 無人航空機の警備利用に必要な運航管理機能の開発(実施主体:テラドローン)													
2.1 警備業務における運航管理機能の要件定義	機能要件定義												
2.2 警備業務における運航管理機能の開発					機能開発、インタフェース開発、検証								
2.3 情報提供機能・統合管理機能等とのインタフェース開発					インタフェース開発								
3 警備業務に対応した運航管理システム・LTE連携機能の開発・実証(実施主体:KDDI 参画:テラドローン、セコム)													
3.1 実証・評価基盤の整備(KDDI)													
3.1.1 運航管理システム・LTE連携機能開発	基本機能の要件定義				基本機能開発				追加機能開発(警備アプリ対応等)				検証・修正
3.1.2 警備用運航管理向け情報提供機能整備	要件定義				地図・API制作				運用・保守				
3.1.3 LTE実証エリア整備	実証エリア設計				実証エリア整備				運用・保守・改修				
3.1.4 警備用無人航空機の試作	要件定義・設計				要件定義・設計				検証・改修				
3.1.4 市場動向調査	試作				試作								
3.1.4 市場動向調査	動向調査				動向調査				動向調査				
3.1.5 検証会議開催					開発・実証方針調整、進捗調整、成果検証等								
3.2 実証実験の実施・評価(KDDI、テラドローン、セコム)													
3.2.1 実証実験の計画策定・評価	全体計画策定・評価指標策定				年度計画策定				評価・課題整理				年度計画策定 評価・課題整理
3.2.2 要素技術の飛行実証													まとめ
3.2.3 広域警備アプリケーションの実証実験													
3.2.4 沿岸警備アプリケーションの実証実験													

### (3) 研究開発スケジュール・実施体制

下表のとおり、研究開発スケジュールを示す。

表 2.2.1.2-3 スケジュール

下図の通り、研究体制を示す。

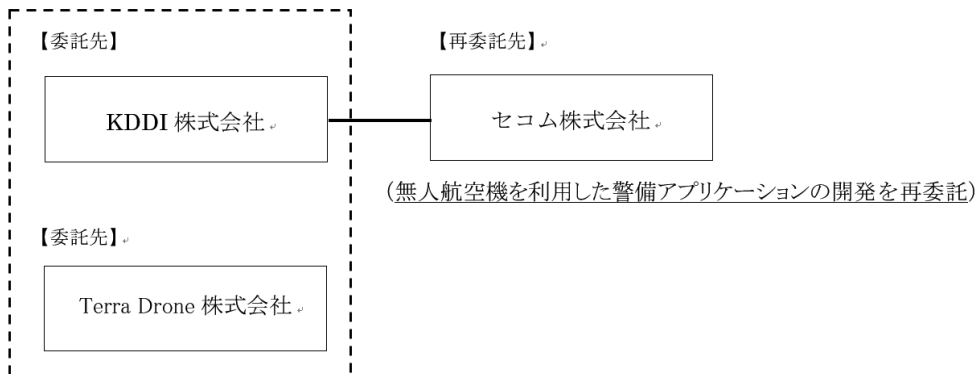


図 2.2.1.2-1 研究体制

(4) 研究開発の達成状況

1 研究開発項目①「無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発」(実施者:セコム株式会社/KDDI株式会社)

研究開発項目毎の目標に対する成果及び達成状況以下の通り。

研究開発項目	中間目標	成果	達成度
①無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発	(2017年度)警備業務における無人航空機の要求条件の整理	「計画的運航」と「突発的運航」それぞれについて要件を整理	◎
	(2017年度)無人航空機を利用した警備アプリケーションの試作(限定的な機能の動作確認)	私有地内の巡回監視(計画的運航)を軸に、手動操作による突発的運航を組み合わせたユースケースを対象に実証シナリオを構築し、これに対応した警備アプリケーションを試作	◎
	(2018年度)無人航空機を利用した警備アプリケーションの試作・検証	計画的運航と突発的運航を組み合わせたユースケースを対象に実証シナリオを構築し、これに対応した警備アプリケーションを試作	◎
②警備用無人航空機の運航管理機能の開発	(2017年度)警備利用に必要な運航管理機能項目の整理	研究開発項目①で検討した警備アプリケーションを踏まえ、運航管理機能項目を整理	◎
	(2017年度)運航管理機能の要件定義	上記運航管理項目の要件やプロトコル検討を実施	◎
	(2017年度)運航管理機能の一部機能開発と検証	LTE網を介したリアルタイム通信、自動離陸の精緻な時間管理、3D地図に基づく飛行高度制御、高度階層を含む複数機同時制御と衝突回避、等の機能を開発・検証	◎
	(2018年度)警備利用に必要な運航管理機能の開発と実装	UTMの基本的な階層構造を前提とした上でのUASSP(運航管理サブシステム)としての機能を開発。俯瞰ドローンのカメラによる自動異常検知を端緒として、巡回ドローンの飛行計画を変更し突発的運航を可能にする機能を開発。	◎
③警備業務に対応した運航管理システム・LTE連携機能の開発・実証	(2017年度)運航管理システム・LTE連携の基本機能整備	通信要件や情報伝達機能要件の整理を受け、飛行実証に向け開発	◎
	(2017年度)LTEを介した運航管理に基づく飛行実証	遊園地警備を対象に、LTE網を介した4機同時飛行制御・空域管理に成功すると共に、警備アプリから運航管理システム、各無人航空機に至るシステム間の接合と情報伝達を確認	◎
	(2018年度)運航管理シス	機体数、飛行エリア、映像伝送品	◎

	テム・LTE 連携機能の開発・実装	質、アプリ端末数等、運用要件検討のための検証データを取得し、LTE 連携機能を開発・実装するとともに、地図情報、気象情報、電波情報に関する高精度な 3D 情報等の情報提供機能を開発・実装	
	(2018 年度)警備用無人航空機の試作(警備アプリケーションに対応)	ユースケースや警備アプリケーションの検討結果をもとに、4機の無人航空機(俯瞰ドローン2機、巡回ドローン2機)を試作するとともに、シナリオに応じた4K映像伝送等のペイロードも開発。	◎
	(2018 年度)LTE を介した運航管理に基づく 10km の目視外飛行実証	スタジアム警備を対象に、LTE 網を介した運航管理機能を実証。数 km の目視外飛行を確認。2019 年度に予定する沿岸警備実証において 10km の目視外飛行を達成見込み。	△

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## 2 研究開発項目②「警備用無人航空機の運航管理機能の開発」(実施者：テラドローン株式会社)

※最終目標は研究項目毎ではなく総合的なものとする。

最終目標	成果	達成度	備考
複数ユースケースの無人航空機の運航を支える運航管理機能の開発完了	警備業務における複数のユースケース(広域定期巡回、特定施設警備、広域巡回中の異常対応等)のそれぞれに対応する機能の設計及び製造を完了	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (5) 成果と意義

### 5.1. 研究開発項目①「無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発」(実施者：セコム株式会社/KDDI 株式会社)

#### 5.1.1. 「警備業務における無人航空機システムの要求条件整理」

##### 5.1.1.1. 警備業務における無人航空機のユースケースの検討

警備業務で必要とされる無人航空機の運航方法として、「計画的運航」と「突発的運航」の2つに整理される。計画的運航は、警備対象地域の巡回など、予め決められた地域を予め決められた時間に運航するものである。一方、突発的運航は、異常発生時の対応や顧客からの通報への対応など、突発的な飛行要求に基づき運航するものである。それぞれの運航の概要と特徴を下表に示す。

表 2.2.1.2-4 計画的運航及び突発的運航の概要と特徴

運航方法	概要	特徴
計画的運航	警備対象地域の巡回など、予め決められた地域を予め決められた時間に運航	<ul style="list-style-type: none"> <li>警備業務の秘匿性の観点から毎回の飛行ルートや飛行時間を変更</li> <li>複数ドローンの同時運航・引継ぎ、複数ドローンポートの使用・管理</li> </ul>
突発的運航	異常発生時の対応や顧客からの通報への対応など、突発的な飛行要求に基づき運航	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画外の飛行ルート設定、他の飛行計画と調整に基づく優先的な運航</li> <li>不審者追跡等、対象の動きに応じた運航等の適切な管理</li> </ul>

計画的運航と突発的運航の観点から、警備用無人航空機のユースケースを下表の通り整理した。

表 2.2.1.2-5 警備業務における無人航空機のユースケース

ユースケース	①計画的運航の基本ケース	②突発的運航の基本ケース	③計画&突発的運航1	④計画&突発的運航2	⑤計画&突発的運航3	⑥計画&突発的運航4
概要	物件・施設等の巡回	物件・施設への侵入・火災	災害時の初期状況把握	沿岸イベント監視	スポーツイベント(選手村)	スポーツイベント(会場)
ミッション	定期監視等	異常対応 不審者追跡等	被害状況把握 迅速対応等	広域監視 異常対応等	定期監視 異常対応等	定期監視 異常対応 非認可機検知
エリア	過疎地 (私有地)	過疎地 (私有地)	過疎地	過疎地	人口密集地	人口密集地 構造物内
時間帯	24時間					

ユースケース①は、計画的運航の基本ケースとして、巡回警備の契約をした顧客の物件や施設(学校・公園・工場・不法投棄場所等)を巡回することを想定している。例えば、学校の監視であれば、プール・運動場・校舎屋上への侵入の有無や校舎出入口や窓ガラスの状態の確認、公園の監視であれば、定期的な巡回と開園時・閉園時の監視、工場の監視であれば、周辺に不審人物がいないかの確認、外周に異常がないかのチェック、不法投棄の監視であれば、不法投棄場所に近づく不審人物の監視や不法投棄された物の状態の変化の確認等が想

定される。

計画的・定期的に監視を行うため、衝突回避や運航中のドローンの引継ぎは想定しておらず、従ってドローンポートの UTM による管理も不要である。また、基本ケースであるため、画像監視は、カメラ映像を管制員が遠隔で見て、異常を検知することとしている。また、利用するドローンとしては、PTZ カメラ、全方位カメラ、熱画像カメラを搭載した基本型ドローンか、PTZ カメラ、熱画像カメラを搭載したズームレンズ熱画像搭載型ドローンの 1~4 台を利用し、中距離飛行させることで、監視を行う。

ユースケース②は、突発的運航の基本ケースとして、巡回警備の契約をした顧客の物件や施設で、不審者の侵入や火災といった異常事態が起こった際にドローンで緊急対応を行うことを想定している。基本ケースであるため、衝突回避、ドローンの運航の引継ぎ、ドローンポートの UTM による管理は行わないこととしているが、2~4 台と複数機のドローンをそれぞれ干渉することなく飛ばすことを目的としている。利用するドローンや画像監視方法はユースケース①と基本的に同じであるが、侵入者への対策として威嚇（音声・光）用の機器を搭載予定であり、火災対応には耐火性能や消火用ペイロードを持ったドローンを用いることも想定される。

ユースケース③は、過疎地において、災害時の状況把握とそれを踏まえた初期対応を目的として、計画的運航と突発的運航を、時間を区切って組み合わせた飛行を行うことを想定したものである。初期対応としては、例えば、突発的運航として、救護対象者と一時対応者の元へ急行し、AED を運搬するとともに遠隔から対応指示を出すことが想定される。衝突回避、ドローンの引継ぎ、ドローンポートの UTM による管理は前の 2 つのユースケースと同じく想定されておらず、画像の監視方法としても、遠隔地で管制員がカメラ映像を見て確認する方法が想定されている。災害対応を目的としているため、想定されるドローンの数は 4~8 台と多く、利用するドローンの種類は、基本型ドローン、ズームレンズ熱画像搭載型の他、AED 搭載型ドローンも考えられている。最後に、本ユースケースは、管制員との会話を行うことが特徴であり、このための音声機器の搭載も必要とされる。

ユースケース④は、計画的運航と突発的運航を組み合わせた飛行の第 2 ステップとして、沿岸地域での長距離飛行（10 km 以上）を行い、広域監視を実施することを想定している。想定される条件は基本的にユースケース③と同じであるが、想定ドローン台数を 2~4 台としている点と、基本型ドローン、ズームレンズ熱画像搭載型、AED 搭載型ドローンの他、長距離飛行型ドローンも使用が想定される点が相違点である。

ユースケース⑤は、計画的運航と突発的運航を組み合わせた飛行の第 3 ステップとして、人口密度がある程度高い環境下で、計画的運航と突発的運航の両方を同時に実施すること

を想定している。例えば、巡回・非常ボタンとの連動機能をドローンシステムに持たせ、東京オリンピックの選手村等を舞台に、ドローン急行・夜間の一人歩き時のエスコートを行うことが想定される。その他、迷子・認知症高齢者等の探索も利用用途として考えられる。本ユースケースでは、計画的運航と突発的運航の組み合わせが比較的複雑な場合として、ドローン間のミッション引継ぎも想定しており、衝突回避も、UTM 機能を用いて実現することを目指す。また、画像監視方法としては、入ってはいけないエリアに人が侵入したことを自動検知したり、前回巡回時になかったものが、今回巡回時に存在している事を自動検知したりする機能を実現することとしている。その他、ドローンの種類やペイロードはユースケース④と同じであるが、想定機体台数は、引継ぎ用の予備のドローンも含めて、2~6 台が想定されている。

最後に、ユースケース⑥は、計画的運航と突発的運航を組み合わせた飛行の最終ステップとして、ユースケース⑤のミッションに加え、非認可ドローンの検知も行うことが想定されている。具体的なイメージとしては、東京オリンピックの有明エリア（有明アリーナ、有明体操競技場、有明テニスの森、お台場海浜公園）のような複数のスポーツ施設が集中している地域を舞台に、イベントが開催されていない時（ほぼ無人の時）は定期巡回で人の有無や施設の破損をチェックし、イベントが開催されている時には、混雑状況・喧嘩・暴動のチェックや火災発生のチェック等を行うと同時に、非認可ドローンの検知も行うことが想定されている。前述のシナリオとの相違点としては、ドローンポートの UTM による管理も実施し、ドローンの有無や充電状態も確認できる機能を付与する点や、衝突回避を UTM だけでなく機上においても実施する点が挙げられる。さらに、画像監視方法としては、混雑しているエリア、火災発生エリア、喧嘩・暴動の発生エリアの自動検知を想定しているおり、想定機体台数も 4~8 台に増やしている。

なお、これらのユースケースは全て、運航時間帯は 24 時間を想定している。

#### 5.1.1.2. 実証シナリオ及び無人航空機の要求条件の検討

ユースケースの整理結果をベースに、2017 年度、2018 年度、2019 年度の年度ごとに、実証シナリオを検討し、無人航空機に対する要求条件を整理した。また、当該整理結果を、各研究テーマの要件定義に反映した。ユースケースの整理結果と各年度の実証シナリオとの対応関係を下図に示す。



ユースケース	①計画的運航の基本ケース	②突発的運航の基本ケース	③計画&突発的運航1	④計画&突発的運航2	⑤計画&突発的運航3	⑥計画&突発的運航4
概要	物件・施設等の巡回	物件・施設への侵入・火災	災害時の初期状況把握	沿岸イベント監視	スポーツイベント（選手村）	スポーツイベント（会場）
ミッション	定期監視等	異常対応 不審者追跡等	被害状況把握 迅速対応等	広域監視 異常対応等	定期監視 異常対応等	定期監視 異常対応 非認可機検知
エリア	過疎地（私有地）	過疎地（私有地）	過疎地	過疎地	人口密集地	人口密集地 構造物内
時間帯	24時間					
	2017年度の実証 （さがみ湖リゾートプレジャー フォレスト）		2019年度の実証（原町火力発 電所周辺の広域警備）		2018年度の実証 （埼玉スタジアム2002）	
	※第三者上空飛行は残課題					

図 2.2.1.2-2 ユースケースの整理結果と各年度の実証シナリオとの対応関係

### 2017 年度

2017 年度は、0 で検討されたシナリオ①及び②をベースとして、私有地内の巡回監視（計画的運航）を軸に、不審者の発見を受けて、手動操作による突発的運航を組み合わせるユースケースを対象に実証シナリオを構築した。具体的には、高高度から俯瞰監視を行う俯瞰ドローンと、低高度を巡回し、詳細監視、追跡、警告等を行う巡回ドローンの 2 種類の無人航空機を利用し、高度 2 階層による同時監視体制を敷く中で、俯瞰ドローンが不審者を発見し、巡回ドローンを発見場所に急行させるというシナリオを想定した。

無人航空機としては、不審者の発見と遠隔カメラ操作による不審者特定、および機体の遠隔操作による対象物への接近撮影を実現することを要求条件とした。その他、音声やライトによる不審者への警告、赤外線カメラによる不審火の検知、夜間の監視等の要件を加えた。

2017 年度の実証シナリオの概要を下図に示す。

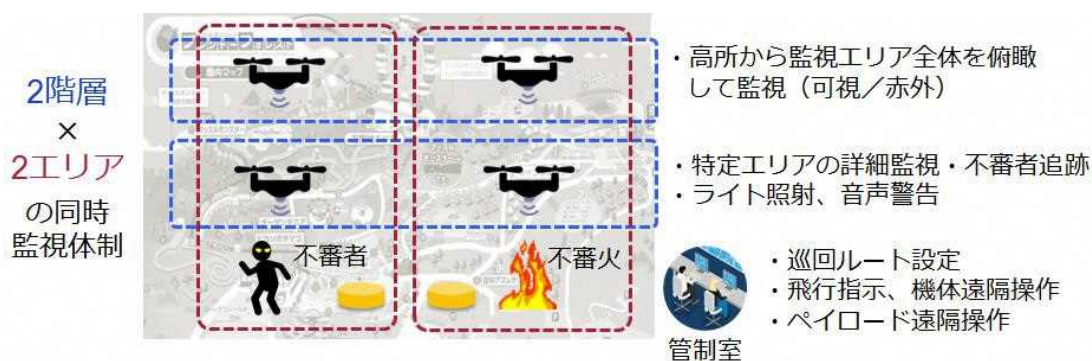


図 2.2.1.2-3 2017 年度実証シナリオの概要

また、当該シナリオにおける無人航空機のミッションを下表に示す。

表 2.2.1.2-6 2017 年度実証シナリオにおける無人航空機のミッション

実証シナリオの項目	無人航空機のミッション
施設内巡回警備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 複数機体で計画的に巡回警備</li> <li>・ ドローンポートで充電</li> </ul>
不審者検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 遠隔で映像を監視し、不審者を発見</li> <li>・ 遠隔のカメラ操作で不審者を特定</li> <li>・ 機体の遠隔操作で接近</li> </ul>
不審者警告	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 遠隔で LED ライトを制御、不審者を照射</li> <li>・ 状況に応じて音声メッセージで警告</li> </ul>
不審火検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 遠隔で映像を監視し、不審火を発見</li> <li>・ 機体の遠隔操作で接近</li> <li>・ 通報、消火活動の指示</li> </ul>

上記のシナリオや無人航空機のミッションを踏まえ、ペイロードとしては、可視カメラ、赤外線カメラ、LED ライト、スピーカの必要が確認された機体及びペイロードの要求条件が下表の通り整理された。

表 2.2.1.2-7 2017 年度 無人航空機の要求条件

機体	重量	20kg 未満	
	飛行時間/航行距離	10~15 分	
	最大ペイロード重量	10kg	
	最高速度	65km/h	
	バッテリー	10000mAh のバッテリー使用	
	その他機能	1. 雨天飛行可 2. カメラには 2 軸のサーボジンバル搭載	
ペイロード	カメラ	画素数	1920×1080 以上
		ズーム	光学 30 倍
		重量	1kg 以下
	LED ライト	重量	1kg 以下
		最大照射距離	30m 以上
		定格光束	1500lm 以上
	スピーカ	重量	0.5kg 以下
		出力音圧レベル	95dB (at 1m) 以上
		メッセージの最長再生時間	60 秒以上
メッセージ数		20 メッセージ以上	

#### 2017 年度

2017 年度においては、場所を変えて実証し、競技が開催されていないスタジアム及び当該敷地内の周辺施設の警備（夜間警備を含む）を対象に、2016 年度と同様、俯瞰ドローンと巡回ドローンによる計画的運航と突発的運航を組み合わせたユースケースを実証シナリオとして想定した。さらに、追加の検討事項として、シナリオの一連動作の自動化を主目的として、AI による不審者の自動検知や、不審者発見時の巡回ドローンへの自動飛行指示に関する機能を実証する計画とした。具体的なシナリオは以下の通りである。

- ・ 高高度を飛行する俯瞰ドローンが不審者を検知し、位置情報を特定
- ・ 不審者の位置情報を、俯瞰ドローン（1 機）から運航管理システムを経由し、低高度を巡回飛行する巡回ドローン（2 機）に伝達すると共に、不審者位置への急行を指示
- ・ 急行指示を受けた巡回ドローンは、巡回の飛行計画を変更し、不審者の位置へ飛行、

不審者の画像を取得すると共に、不審者の逃走を追跡

2017年度の実証シナリオの概要図を下図に示す。

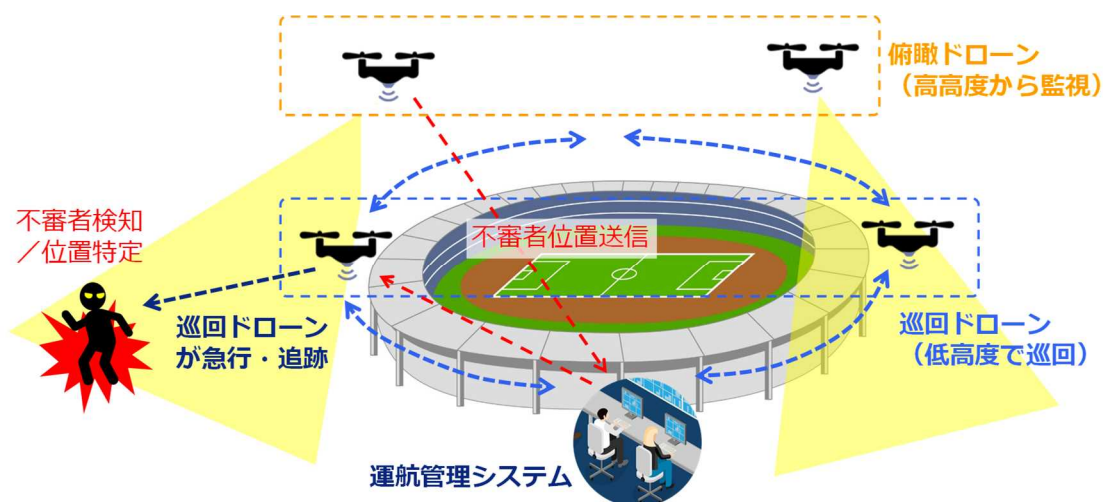


図 2.2.1.2-4 2017年度実証シナリオの概要

また、本実証実験では、巡回ドローンについて、機体ごとにミッション（不審者特定、威嚇等）を分けることにより、それぞれの搭載ペイロードを必要最低限に抑え、機体の軽量化を図った。俯瞰・巡回ドローンの各機体の主なミッションを下表に示す。

表 2.2.1.2-8 2017年度実証シナリオにおける無人航空機のミッション

機体種類	無人航空機のミッション
1号機（俯瞰機）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高高度から、俯瞰的に監視を実施</li> <li>● AIにより不審者を自動で検知し、その位置情報を運航管理システムに送信</li> </ul>
2号機（巡回機）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低高度で巡回監視を実施</li> <li>● 俯瞰機から送られた不審者の位置情報をもとに、現場に急行</li> <li>● 改めて自動で不審者検知・位置特定を実施</li> <li>● 不審者を自動追尾</li> </ul>
3号機（巡回機）	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低高度で夜間に巡回監視を実施</li> <li>● 俯瞰機から送られた不審者の位置情報をもとに、現場に急行</li> <li>● 改めて自動で不審者検知・位置特定を実施</li> <li>● 状況に応じて音声メッセージで警告</li> </ul>

上記シナリオを踏まえ、無人航空機の要求条件が下表の通り整理された。

表 2.2.1.2-9 2017 年度 無人航空機の要求条件

機体要件	重量	18kg 未満
	飛行時間/航行距離	10～15 分
	最大ペイロード重量	7kg
	最高速度	65km/h
	バッテリー	10000mAh のバッテリー使用
	その他機能	不審者自動検知・位置特定機能

なお、ペイロードの要求条件は、実証実験時の無人航空機のミッションが大きく変わらないことから、2016 年度と基本的には同じであった。以下に、変更部分のみ記載する。

1. ミッションから不審火検知がなくなったため、赤外線カメラが不要となった。
2. 不審者検知のためのモジュールが必要となった。
3. 俯瞰ドローンによる不審者の検知の精度を高めるため、俯瞰ドローン用のカメラの解像度要件を 4K とした。
4. 新たに夜間警備が想定されたため、暗視カメラが必要となった。

#### 2019 年度

2019 年度においては、長距離飛行を検証するとともに、より社会実装を意識したユースケースでの飛行実証を行うため、広域重要設備内で、災害時を想定した自治体要請による災害監視を実証シナリオとして想定した。特に、発電所や自治体のニーズを踏まえ、災害等緊急時を想定した突発的計画変更とそれに伴って運航管理システム連携・調整を行う飛行シナリオを設定した。

実証シナリオは、過去 2 年間と同様に俯瞰ドローンと巡回ドローンによる計画的運航と突発的運航を組み合わせたユースケースとしつつ、災害発生時には発電所の敷地内から、敷地外の沿岸エリアの状況把握を行うことを想定した。災害時には他の事業者が運航する無人航空機が飛び交うことが想定されるため、運航別に飛行の優先権や飛行禁止ゾーンを付与し、機体の飛行位置に加えて上記の情報も踏まえ、飛行中に運航事業者間で運航調整や衝突回避を実施するシナリオを想定した。実証シナリオの具体的な流れは以下の通り（一連の動作を自動で実現）。

- ・ 運航別に飛行の優先権や飛行禁止ゾーン（NFZ）を付与
- ・ 高高度を飛行する俯瞰ドローンによる不審者や被災者の検知と位置情報の特定
- ・ 位置情報に基づき、運航管理システムを用いて巡回中ドローンに急行指示
- ・ 優先権や NFZ 情報に基づき、インフライトで UASSP 間の運航調整・衝突回避を実施

2019 年度の実証シナリオの概要図を下図に示す。

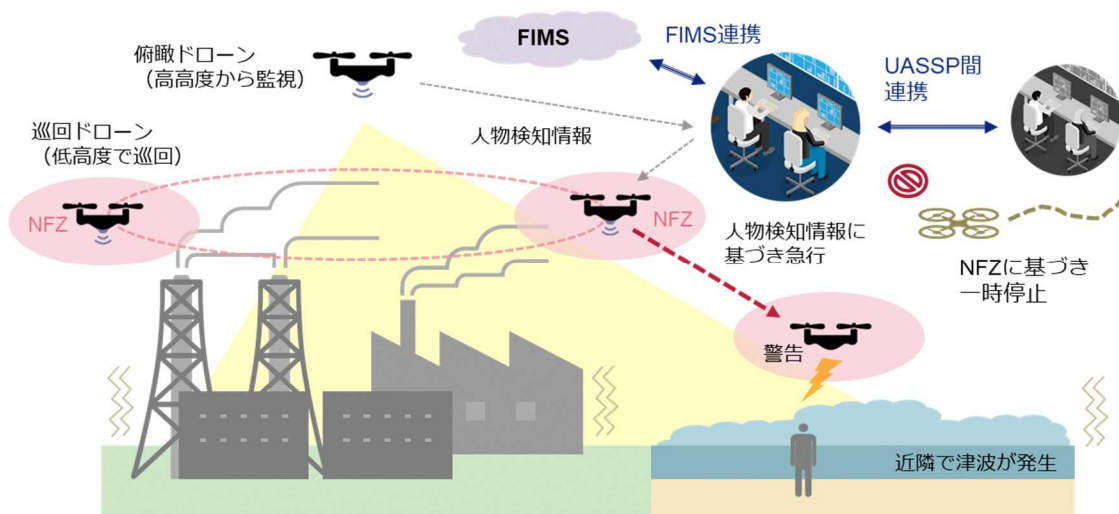


図 2. 2. 1. 2-5 2019 年度の実証シナリオの概要図

また、本実証実験では、過去二年と基本的には同じ機体要件を実現しつつ、長距離飛行に対応可能な機体の利用が想定された。ペイロードの要求条件については、長距離飛行の実現を目的とし、より軽量化を図る為、機体ごと最小限とし、搭載物についても軽量化を図った。また、可搬性を高めるためにアーム部分を折り畳み可能な構成とした。

上記を踏まえ、無人航空機の要求条件が下表の通り整理された。

表 2. 2. 1. 2-10 2019 年度 無人航空機の要求条件

機体要件	重量	10kg 未満
	飛行時間/航行距離	25 分程度
	最大ペイロード重量	4kg 程度
	最高速度	65km/h
	バッテリー	10000mAh のバッテリー使用
	その他機能	可搬性が高いこと

### 5. 1. 2. 「無人航空機を利用した警備アプリケーション試作」

2017 年度に試作した警備アプリケーションは、複数機体の操作に対応した、ユーザー向け iPad アプリであり、巡回ルート設定・変更、飛行指示、各種ペイロード制御をタッチパネル操作により実現した。また、機上カメラ映像や飛行位置、バッテリー状況、電波状況等をリアルタイムで参照可能とした。下図に、試作したアプリケーションの画面イメージを示す。





図 2.2.1.2-6 試作した警備アプリケーション（2017 年度）

続いて 2018 年度に試作した警備アプリケーションは、UTM の階層構造の中で、ドローンの運用者である UASO として位置づけ、昨年度同様、ユーザーが飛行計画作成や各種情報参照を UI 上で可能とすると共に、複数機体の操作に対応した iPad アプリとした。2018 年度の主な開発ポイントは以下の通りである。開発した警備アプリケーションのイメージを下図に示す。

1. 機体が検知した不審者位置の画面表示、アラート表示機能
2. 不審者発見時の突発的運航の飛行計画自動作成機能
3. 地図、気象、電波情報の参照 UI
4. 機体が撮影した 4K 映像の表示機能



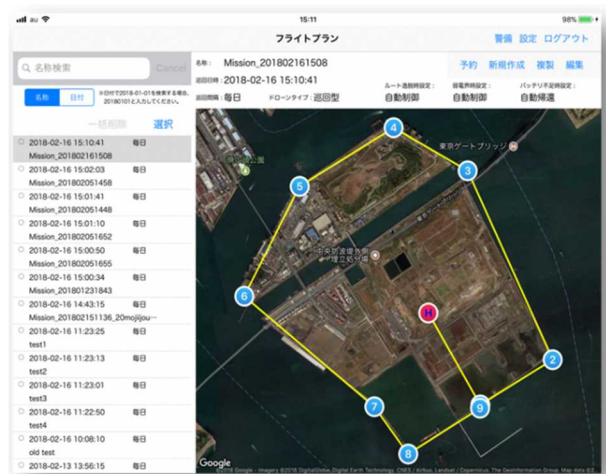
図 2.2.1.2-7 試作した警備アプリケーション（2018 年度）

最後に、2019 年度は、発電所や自治体のニーズを踏まえ、LTE を通じた、撮影映像のリアルタイムの他拠点配送を可能とする機能や、社会実装を見据え、レベル 3 の飛行（無人地帯における目視外飛行）要件に適合した仕様に改良を行った。具体的には、LTE 経由で遠隔から運航中のエラー情報（通信断、バッテリーエラー、コンパスエラー、GPS ロスト、姿勢異常等）の把握及び、機体周辺情報（電波環境、気象情報）の把握を可能とした。

最終的に開発された警備アプリケーションの主な機能とインターフェースは下表の通り。

表 2.2.1.2-11 警備アプリケーションの主な機能とインターフェース

機能		インターフェース例
フライトプラン作成	新規作成	フライトプラン新規追加画面の一例
ラン作成	編集／複製 削除 予約	
警備画面の操作	警備画面への遷移 マルチ画面モード シングル画面モード	マルチモード表示画面の一例
カメラ操作	パン／チルト／ズーム カメラ切り替え	チルト操作画面の一例

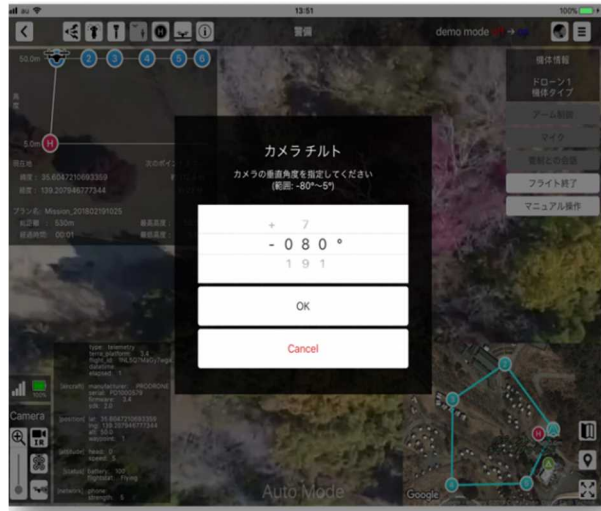


マルチモード表示画面の一例



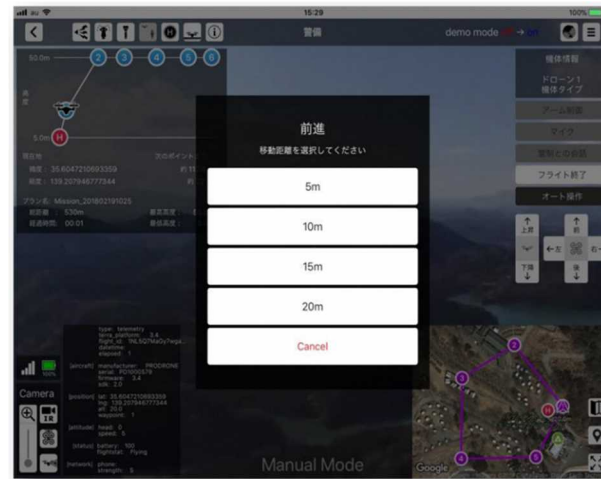
チルト操作画面の一例





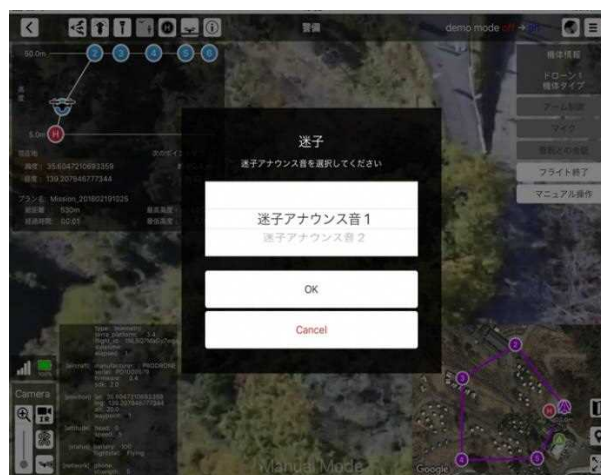
ドローン操作  
 マニュアル操作への切り替え  
 オート操作への切り替え  
 フライト終了  
 割り込みフライト  
 強制帰還  
 緊急着陸

マニュアル操作ダイアログの一例



その他の警備操作  
 威嚇  
 迷子アナウンス  
 ライト点灯/消灯

迷子アナウンス音声選択画面の一例



## 成果と課題

本研究では、当初計画通り、警備業務における無人航空機の運航形態とユースケースを整理し、これに基づき実証シナリオと無人航空機の要求条件が検討された。具体的には、警備用無人航空機の主な運航形態として、警備対象地域の巡回等、予め決められた地域を予め決められた時間に運航する計画的運航と異常発生時の対応や顧客からの通報への対応等、突発的な飛行要求に基づき運航する突発的運航の2つを定義し、この2つを様々な監視エリアやミッションに応じて組み合わせた6つのユースケースを整理した。また、そのうちの一部のユースケースを実証シナリオとして取り上げ、飛行のルートやシナリオの詳細検討を行った。これらの検討により、3年間で以下の運航シナリオの詳細検討と実証に成功した。また、これらの運航シナリオを実施するための無人航空機の要件検討が実施された。

1. 俯瞰ドローンと巡回ドローンによる私有地内の巡回監視（計画的運航）を軸に、不審者の発見を受けて、手動操作による突発的運航を組み合わせるユースケース
2. 競技が開催されていないスタジアム及び当該敷地内の周辺施設の警備（夜間警備を含む）を対象に、俯瞰ドローンと巡回ドローンによる計画的運航と突発的運航を自動で行うユースケース
3. 重要設備内と設備外の沿岸エリアを対象に、災害監視を想定し、広域での計画的・突発的運航を行うとともに、運航事業者間で運航調整や衝突回避を実施するユースケース

今後の課題としては、無人航空機の要件検討の中でも特にミッション機器の検討について、不審物・不審者・被災者等の特定に必要な機能やその性能を継続的に検討・定義し、異常事態の発見の精度を高めていくことが想定される。特に、夜間警備のためのカメラやライト等のミッション機器の要件の検討が課題として残っている。また、将来的に過疎地で第三者上空を飛行するシナリオ（レベル4）に対応するため、こうしたエリアを飛行する場合に必要な追加要件（衝突時の衝撃吸収機能、プライバシー保護要件への対応機能等）を今後検討する必要がある。

警備アプリケーションの試作・実証については、2017年度には、ドローンを実際の警備で運用するにあたり最低限必要な機能の実装に成功し、2018年度には、機能の改良や突発的運航の自動化に対応した機能の追加等を行った。さらに最終年度には、潜在ユーザーのニーズを踏まえ、LTEを通じた、撮影映像のリアルタイムの他拠点配送を可能とする機能や、社会実装を見据え、レベル3の飛行（無人地帯における目視外飛行）要件に適合した仕様に改良を行った。総じて、現時点で社会実装可能な警備アプリケーションの開発を行うことができた。

課題としては、将来的にUASSP間の相互調整機能やUASSPとFIMSの連携機能が実装され

た場合の、他の運航事業者との運航調整における UASO の位置づけや、UI の検討が挙げられる。

## 5.2 研究開発項目②「警備用無人航空機の運航管理機能の開発」(実施者：テラドローン株式会社)

### 5.2.1. 「UASO (運航者) 内の運航管理機能開発の評価」

UASO (運航者) 内の運航管理機能の開発対象部分を下図に示す。

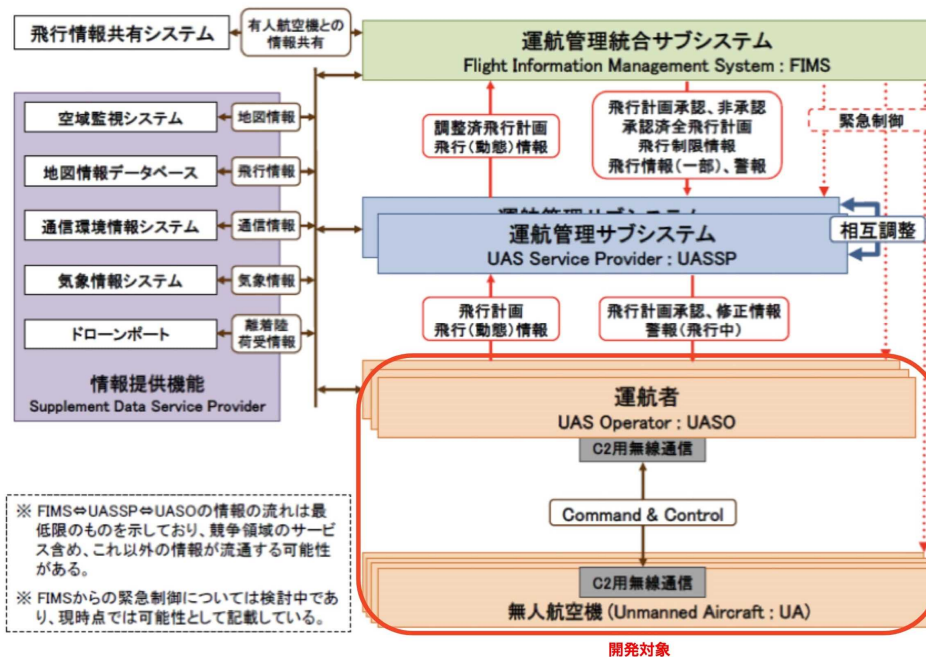


図 2.2.1.2-8 UASO (運航者) 内の運航管理機能の開発の対象範囲

出所) 運航管理委員会 JAXA 殿資料に一部追記

UASO (運航実施者、運航者) 内の運航管理機能の開発では、警備アプリケーションを用いて警備ドローンの運航管理を行うための機能開発を実施した。具体的には、事前のフライトプランの設定に基づく計画的運航機能、高度二階層・複数エリアの空域設定機能、カメラ等のペイロード制御機能等の開発、また警備アプリ向け API 整備、LTE 網を介した複数機体同時制御や映像伝送に適したプロトコル検討等を行った。また外部の SDSP (情報提供機能) から情報を取り込み、3D 詳細地形データに基づく飛行高度調整機能を開発した。

警備業務のユースケースに特徴的な開発項目としては、巡回警備を想定した指定時刻での自動離陸制御、俯瞰機・巡回機での高度階層分離、不審者発見時の追跡等の機能が挙げられる。追跡のユースケースのような突発的運航の機能の実現にあたっては、手動で自律飛行中の無人航空機に対し警備アプリ端末で遠隔操作を行い、自動操縦から手動操縦に切り替

えて新たな飛行経路を指示するといった機能を開発した。本研究開発における UASO 内の 運航管理機能の概要図を下図に示す。

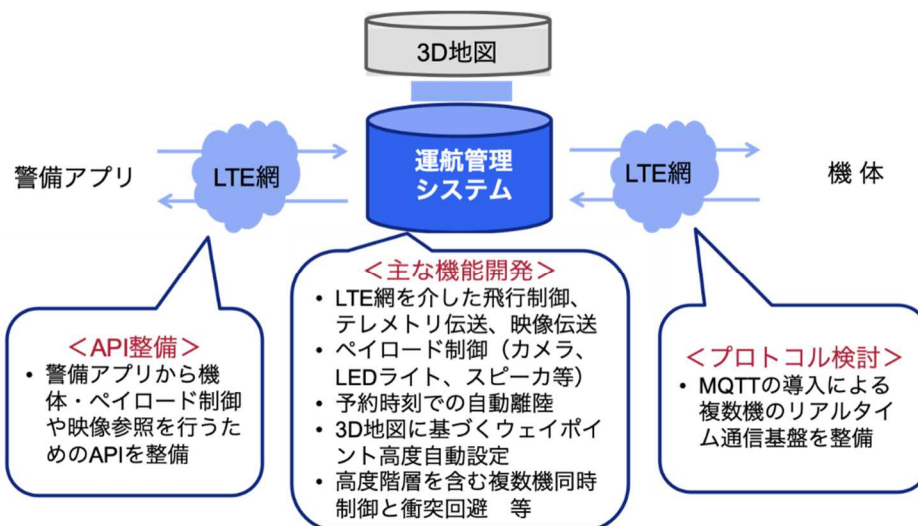


図 2. 2. 1. 2-9 UASO 内の運航管理機能の研究開発の概要図

また UASO 内の運航管理機能として開発した機能の項目一覧を下表に示す。

表 2. 2. 1. 2-12 UASO 内の運航管理機能の開発項目一覧

機能項目	対応ユースケース	備考
飛行計画投入	計画的運航	事前に警備アプリ等で作成した飛行計画データを飛行前に機体に読み込ませる機能
ウェイポイント設定	計画的運航	自動飛行用に地図上に仮想通過点を設定する機能
フライト監視	計画的運航	飛行中の機体の位置や状態などのデータをリアルタイムに地図上に表示する機能
予約飛行	計画的運航	指定時刻または一定周期で自動飛行をスケジュールリングする機能
機体遠隔制御	計画的運航	地上局から機体に直接 C2 制御を行うのではなく、LTE ネットワークを介してクラウド経由で機体を制御する機能
映像伝送	計画的運航	機体搭載カメラで取得した映像を機体から Web やアプリ等のクライアントに伝送し閲覧できる機能
ペイロード操作	計画的運航	機体搭載のカメラ等の装置を遠隔操作する機能

対地高度補正	計画的運航	外部ソースから標高データを取り込むことで、現在飛行高度と地表高度との差（対地高度）が一定値になるように補正する機能
外部地図表示	計画的運航	外部ソースから多様な地図タイルデータを取り込むことで、表示する地図を切り替えられる機能
メディア管理	計画的運航	機体搭載のカメラで取得した画像や動画等のメディアデータをアプリ側で閲覧できる機能
衝突検知	計画的運航	機体搭載のセンサ等を用いて近接する機体や障害物との接触の危険性を事前検知する機能
機体管理	計画的運航	機体の登録データ、諸元データ等を管理する機能
ログ管理	計画的運航	自動飛行時に機体から送信されたテレメトリログをサーバー上で管理する機能
複数台同時飛行	計画的運航	一つの飛行計画で複数機体分の経路を設定し同時に実行する機能
異常検知	計画的運航	飛行時の機体の異常状態を検知する機能
離陸地点への帰還	計画的運航	自動飛行中に一定の契機に応じて離陸地点への自動帰還を行う機能
ウェイポイント到達時動作設定	計画的運航	各ウェイポイントに到達した際にあらかじめ設定された動作を順序通り機体が自動実行する機能
経路往復	計画的運航	同一飛行経路を繰り返し往復するような飛行を実現する機能
飛行計画実行経過引継機能	計画的運航	飛行計画を途中まで実行した機体が帰還する際に、他の予備機が代わりに残りの計画を引き継いで実行する機能
軌道上 GoTo	突発的運航	事前に設定された飛行経路上を自由に行き来するためのGoTo（ウェイポイント番号指定、進行指示）機能
逸脱後復帰	突発的運航	自動飛行中に飛行経路を逸脱した際に自動で元の経路に機体を復帰させる機能

5.2.2. 「UASSP（運航管理サブシステム）の運航管理機能開発の評価」

UASO（運航者）内の運航管理機能の開発対象部分を下図に示す。

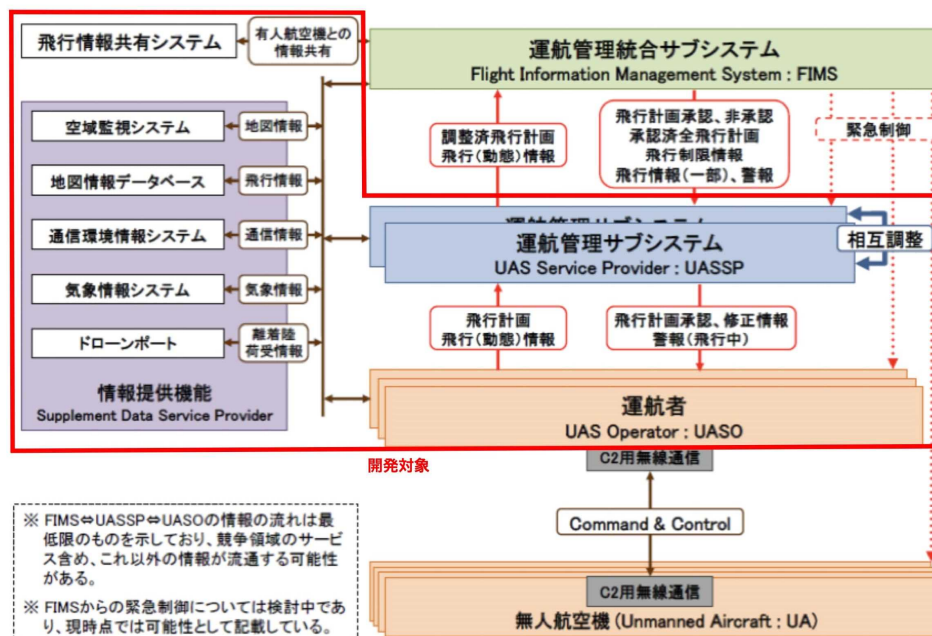


図 2.2.1.2-10 UASSP（運航管理サブシステム）の運航管理機能の開発の対象範囲

出所）運航管理委員会 JAXA 殿資料に一部追記

UASSP 運航管理機能の開発では、UTM の基本的な階層構造のアーキテクチャを前提とした上で UASO からの無人航空機の飛行計画の申請や SDSP（情報提供機能）から取得したデータ等に基づく飛行計画の総合的な干渉判定、また運航範囲設定及びその自動承認といった、UASSP-UASO-SDSP の階層構造に対応した機能開発を行った。

その上で警備業務向けのユースケースを実現するため、突発的事象発生時の緊急飛行指示を想定した飛行計画の臨時変更が可能となるような機能開発もあわせて行った。具体的な UASSP 運航管理機能の開発項目は以下の通りである。

- ・ UASSP、UASO、SDSP、UA（無人航空機）の各機能レイヤー間の相互接続
- ・ 突発的運航時の干渉判定、飛行計画変更・承認、緊急飛行指示等の機能
- ・ SDSP 機能（地図、気象、電波）に基づく干渉判定機能
- ・ 機体間衝突検知機能 等



UASSP の運航管理機能の研究開発の概要図を下図に示す。

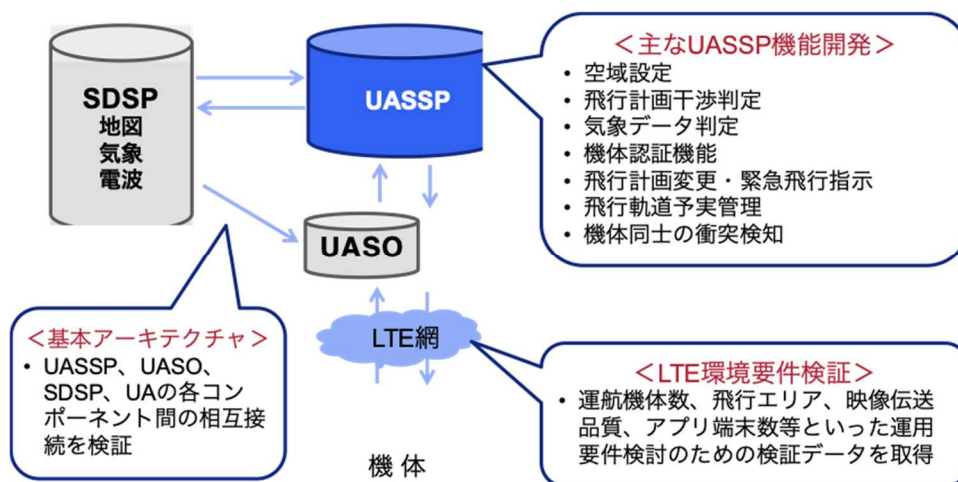


図 2.2.1.2-11 UASSP の運航管理機能の研究開発の概要図

UASSP の運航管理機能として開発した機能の項目一覧を下表に示す。

表 2.2.1.2-13 UASSP の運航管理機能の開発項目一覧

機能項目	備考
空域設定機能	ジオフェンス機能を持った飛行可能空域および飛行禁止空域を地図上で設定する機能
機体認証機能	あらかじめ登録されている機体を選択して飛行させる機能
飛行軌道予実管理機能	計画上の軌道と実際に飛行した軌跡との差分を記録し、逸脱時の原因や傾向等を分析する機能
衝突検知機能	サーバー側で取得した機体の位置情報と他の構造物等の3D位置情報から衝突危険性を予測し検知する機能
3Dデータ取り込み機能	外部から点群データやメッシュデータ等の3Dデータをシステム内に取り込む機能
飛行計画干渉判定機能	飛行計画作成時に時間的・空間的に他の飛行計画や空域等との干渉がないか判定する機能
気象データ判定機能	外部から取り込んだ風況等の気象データを元に飛行計画の安全性を事前検証する機能

さらに、2019年度には従来計画に加えて UASSP 間の相互調整機能の開発を行った。具体的には、FIMS（運航管理統合サブシステム、飛行情報管理システム）を媒介して得られる

近傍機体情報では検知範囲が狭く予測が立てづらかったこともあり、特に発災等の緊急時には UASSP 間の直接的かつ迅速な運航意図のやりとりが必要となってくることを踏まえ、干渉対象の他 UASSP との近傍機体情報連携機能の開発を行った。

本来、システムの繋がりのない運航事業者同士 (UASSP  $\alpha$  と UASSP  $\beta$ ) が、FIMS が提供するディスカバリ機能を活用することで、互いに運航調整を図ることが想定されている。飛行前フェーズ (図 2-5-1-2-3) で FIMS を媒介して調整対象の相手方 UASSP がひとたび特定できれば、後の飛行中フェーズ (図 2-5-1-2-4) においては FIMS を介することなく当事者である UASSP 間で直接運航情報のやり取りを行い、インフライト中の柔軟な干渉回避を実現することが可能となる。本研究開発では、UASSP 間での直接的な調整を行うまでのフローを設計し開発・実地検証までを行った。

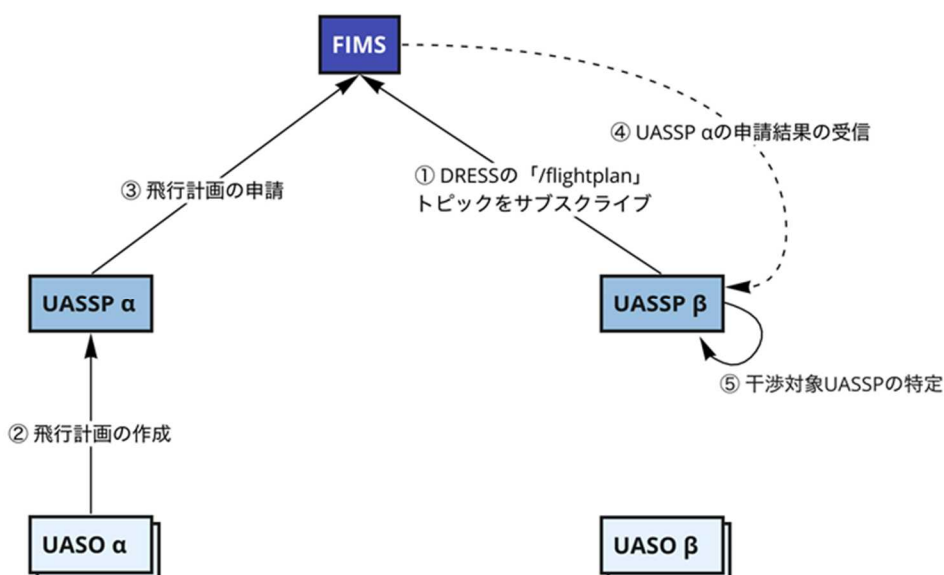


図 2. 2. 1. 2-12 干渉対象の UASSP との近傍機体情報連携機能 (飛行前)



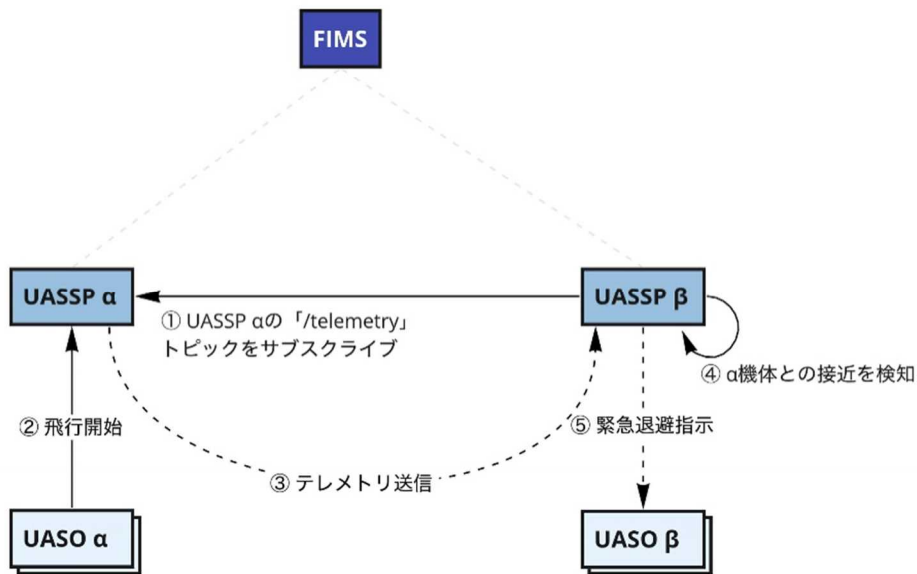


図 2. 2. 1. 2-13 干渉対象の UASSP との近傍機体情報連携機能（飛行中）

加えて、上記の UASSP 間の相互調整機能と FIMS 連携機能に基づき、他の UASSP との干渉が検知された場合の UASO への飛行指示機能として、近傍機体との衝突回避（DAA: Detect and Avoid）機能が開発された。

近傍機体との衝突回避機能として、災害発生時に高優先度の運航として設定されている機体（災害時の物資輸送等）が緊急の飛行計画を申請した際に、同機体が通過するまで優先度の低い他の機体はその場で一時停止させ、優先度の高い機体が通過して安全を確認できた後に飛行を再開するよう指示する機能である。

### 5.2.3. 「FIMS（運航管理統合サブシステム）との連携機能開発の評価」

最後に、FIMS の連携機能の開発を行い、他の UASSP コンソーシアムも含めた運航管理のために必要な機能を開発した。本開発の対象部分を下図に示す。

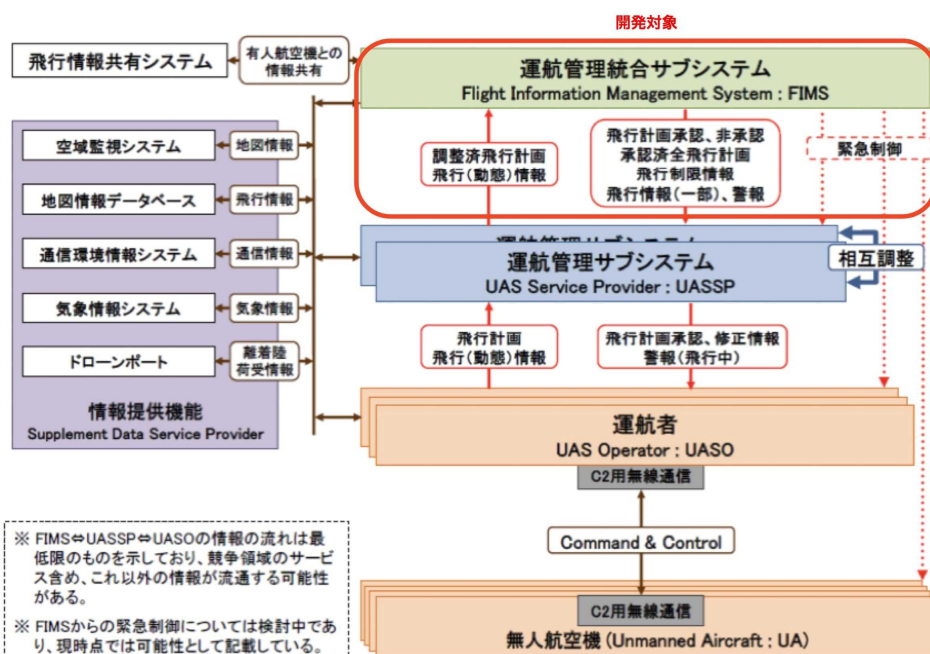


図 2.2.1.2-14 FIMS（運航管理統合サブシステム）との連携機能の開発の対象範囲

出所) 運航管理委員会 JAXA 殿資料に一部追記

FIMS との連携機能の開発では、FIMS（運航管理統合サブシステム）への飛行計画の申請と審査結果の受信、といった、FIMS-UASSP-UASO の階層構造に対応した機能開発を実施し、計画運航時・突発運航時の両方を想定した他の UASSP コンソーシアムとの運航調整も実現した。

FIMS との連携機能として開発した機能の項目一覧を下表に示す。

表 2.2.1.2-14 FIMS との連携機能の開発項目一覧

機能項目	概要	備考
飛行計画申請	UASO から連携された飛行経路データを始めとする、機体、開始予定時刻情報を元に FIMS 側に申請する機能	飛行開始予定時刻から飛行終了想定時刻+バッファ 30 分までの間を対象として飛行申請を出すように設定。
飛行計画審査結果受信	飛行申請結果を FIMS から受信し UASO 側に即時連携する機能	FIMS への飛行申請時に指定したコールバック URL に対して通知される申請結果を、UASSP 管理下の該当する UASO に通知する。

飛行計画干渉情報受信	承認済み飛行計画に重複する緊急の飛行計画が申請された際に干渉状態があればその旨の通知が届く機能	緊急の飛行計画が申請された際には、飛行開始前の通常緊急度の飛行計画は干渉情報を付された上で強制的に否認される仕様となっている。
運航状況情報共有	UASO から連携される機体のテレメトリ情報を FIMS 側に転送する機能	1 秒に 1 回の頻度でやり取りされる大量のデータ送信が必要なため、通信の遅延を最小限に抑えるためのヘッダ情報の軽量化やデータ自体の圧縮等も考慮する必要がある。
他飛行計画承認通知受信	他 UASSP の飛行計画が承認され公開されたタイミングで即時に当運航計画情報を受信できる機能	他事業者の飛行計画の全情報が閲覧できてしまうが、近接する事業者を発見する手段としての活用が可能。
近傍機体情報受信	他 UASSP の飛行中機体位置が自機位置から一定範囲内に検出された場合にアラート通知される機能	3 秒に 1 回の頻度で近傍機体の位置情報が通知され、UASSP 間の衝突回避への利用を想定。
警報情報受信	FIMS 側で検知した警報(有人機接近、地表接近、高度超過、軌道逸脱等)が通知される機能	FIMS 側が故障と判定した機体に対しては警報とともにそれを囲む形でジオフェンスが動的に設定される。
飛行禁止空域(NFZ)情報	空港周辺や重要施設等の、無人航空機の飛行が制限される空域情報を照会する機能	UASSP から任意のタイミングで必要な場所についての制限空域情報を問い合わせる仕組み。
緊急飛行計画の優先的承認	緊急フラグが設定された飛行計画であれば、通常の飛行計画と干渉していた場合でも優先的に承認される機能	飛行前フェーズでは緊急フラグ(emergency_id)が設定されていない方の飛行計画は干渉時に否認されるが、当該飛行計画が飛行中フェーズの場合は、現在の飛行を妨げないように緊急飛行計画との干渉ステータスのみを通知し否認はされない仕様となっている。

NFZ 内飛行計画の優先的承認	NFZ 内を飛行させる必要がある場合、事前に特別承認を得ている飛行計画であれば優先的に承認する機能	現状は飛行禁止空域許可フラグ (no_fly_area_id) に固定値を入れて一律承認としているが、今後 NFZ ごとに個別の ID が採番され、特別承認を得た対象の NFZ を指定して個別に許可できるようになる見込み。
緊急運航時における警戒範囲円の動的生成	緊急運航を行っている機体、または機器の故障が発生している飛行中機体の周辺に警戒範囲円を地図上に表示し、他の運航者への注意を促す機能	飛行中の機体のテレメトリ情報に優先度フラグ (priority) の値を含めることで、当該機体に何らかの異常事態が発生していることを周囲の運航者に伝える手段として利用。
飛行経路逸脱バッファ設定	機体のホバリング精度や旋回方法を考慮した軌道逸脱閾値を飛行申請時にあらかじめ設定することで、当該閾値内の逸脱であれば FIMS から逸脱とみなされないようにする機能	飛行計画時の空間エラー (space_err) の値に飛行軌道の中心線から何 m 範囲の逸脱を許容するかを設定し、飛行中の不要な逸脱アラートを抑制可能。
飛行経路逸脱時の緊急 NFZ の動的生成	飛行中の機体が飛行計画に設定された経路を逸脱した際、緊急で逸脱部分に警戒空域を生成する機能	逸脱した経路上の箇所から、逸脱の進行方向及び飛行速度を考慮することで、生成する警戒空域の形状を動的に変化させることを今後検討。

また、開発時に想定された FIMS 連結時における、飛行申請から審査結果の返却までのシーケンスフローを下図に示す。

### FIMS接続案

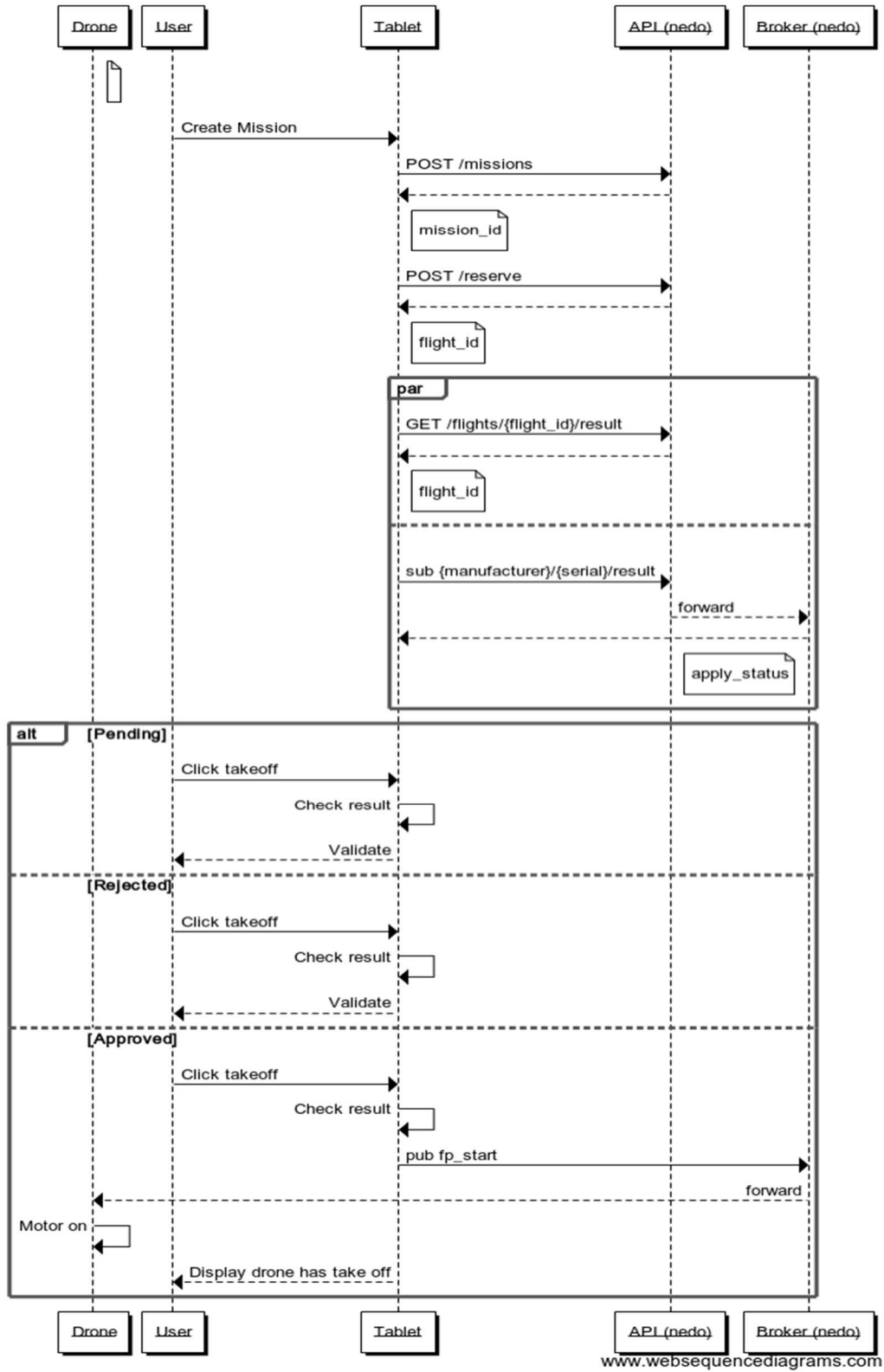


図 2.2.1.2-15 FIMS 連携フロー図

5.3. 研究開発項目③「警備業務に対応した運航管理システム・LTE 連携機能の開発・実証」(実施者：KDDI 株式会社)

5.3.1. 「実証・評価基盤の整備」

運航管理システム・LTE 連携機能開発

LTE 網を介した無人航空機の運航管理を実現するため運航管理システム・LTE 連携機能を開発した。無人航空機に搭載した LTE 通信モジュールを用いて、LTE 網を介した運航管理システムにアクセスし、テレメトリ情報・コマンドの送受信を可能とすることで、遠隔からのドローンの運航状況の把握を実現した。ドローンに搭載した LTE 通信モジュール仕様、送受信させたテレメトリ情報・コマンドを以下に示す。



図 2.2.1.2-16 LTE モジュール「KYM12」外観

表 2.2.1.2-15 LTE モジュール「KYM12」基本仕様

製品名	KYM12
メーカー	京セラ株式会社
サイズ	37x50x5.3 (mm)
重量	約 11g
通信方式	LTE
通信速度	下り：最大 75Mbps 上り：最大 25Mbps

表 2.2.1.2-16 テレメトリ情報・コマンド一覧

テレメトリ Telemetry	高度 height
	フライトプラン実行からの経過秒 Elapsed time after flight plan start
	バッテリー残量%(100~0) Battery amount %

エネルギーステータス	Energy status
エラーコード	Error code
飛行モード	Flight mode
飛行状態	Flight situation
GNSS 補足個数	The number of capturing GNSS
GNSS 品質 0(最低)~5(最高)	The quality of GNSS (0(min) -5(max))
対地高度	Atitude above ground level
緯度	latitude
経度	longtitude
UAV ヨー角	UAV yaw angle
UAV ピッチ角	UAV pitch angle
UAV ロール角	UAV roll angle
ミッション状態	mission status
LTE ステータス	network status
アンテナ本数	antenna
プロボ状態	The status of transmitter
飛行速度 m/s	flight speed
フライトプラン、WayPoint 経過数	The number of elapsed waypoint in the flight plan
フライトプラン、WayPoint 総数	The total number of elapsed waypoint in the flight plan
ジンバル基準モード	Gimbal standard mode
ジンバル、現在ロール値	Roll value in the gimbal
ジンバル、現在ヨー値	Yaw value in the gimbal
ジンバル、現在ピッチ値	Pitch value in the gimbal
ズーム値	Zoom value
boot 後からの経過時間	Elapsed time after boot
ロール速度	Roll speed
ピッチ速度	Pitch speed
ヨー速度	Yaw speed
バッテリー温度	Battery temperature
バッテリー電圧	Battery voltage
バッテリー電流	Battery electric current
セル電圧	cell voltage
現在のミッション番号	The current number of mission

	水平精度低下率 (HDOP) The percentage of horizon accuracy lowering
	垂直精度低下率 (VDOP) The percentage of vertical accuracy lowering
	測位の種類 The kind of positioning
	垂直速度 Vertical speed
	方位 Direction
	モーターの回転設定 (%) Rolling setting of the motor
	モーターの状態 State of Motor
コマンド	オートフライト 開始 Auto flight start
Command	オートフライト 中断 Auto flight pause
	オートフライト 再開 Auto flight resume
	オートフライト 停止 Auto flight stop
	強制帰還 Return to homepoint
	着陸 Landing
	緊急介入 GoTo
	上下左右前後移動
	ジンバル制御 Gimbal control
	光学ズーム Optical zoom
	デジタルズーム Digital zoom

#### LTE 実証エリア整備

2018 年度に、実証を行った埼玉スタジアム 2002 にて、LTE エリア整備を行った。埼玉スタジアム 2002 はイベント時を前提とし、スタジアム内観客席のカバーを目的としたエリア設計がなされているため、今回ドローンの飛行を行ったスタジアム周囲の上空については考慮されておらず、またイベント時の多人数が密集した状態でも対応できるよう多くの基地局が設置されているため、一部干渉が大きいポイントがあるという特徴があった。そこで、今回の実証時は休館日であるため、ほとんど使われていないスタジアム内の基地局をあえて停波することで、干渉量を減らしエリア整備を行った。結果、干渉が低減されたことでドローンから伝送する映像の安定性が向上したことが確認できた。

#### 情報提供機能整備

無人航空機の要求条件の検討や、運航管理機能の開発を踏まえ、警備用運航管理向けの情報提供として、地図情報、気象情報、上空電波情報、ドローンポート情報を対象に、要件定義を行った上で、機能整備を実施した。

2017 年度には、地図情報の情報提供機能について、警備用途に対応する UASO に必要な地



物情報、粒度や高度分解能、地物の属性情報等の要件を検討すると共に、運航管理機能向けの API 仕様を検討、定義した。

地図情報の要件定義を行うにあたり、警備用途の飛行における地図情報のユースケースを網羅的に抽出し、下表の通り整理した。

表 2.2.1.2-17 警備用途の飛行における地図情報のユースケース

運用フェーズ	No.	ユースケース
飛行前 (Pre-Flight)	1	緊急着陸が可能な警備ルートか確認する
	2	主要な道路上空を飛行しないか判定する
	3	警備ルートに障害物(詳細版)が無い判定する
	4	警備ルートの地上属性を確認する
	5	地物に対する高度を確認する
	6	警備巡回完了予測時間を算出する
	7	人混みの上空を飛行しないか判定する
	8	船舶の海上航路の上空を飛行しないか判定する
	9	撮影禁止エリア上空を飛行しないか判定する
飛行中 (in-flight)	1	地物への衝突が発生しないか監視する
	2	警備経路からの逸脱がないか監視する
	3	警備対象エリア内を飛行しているか判定する
飛行後 (Post-flight)	1	飛行実績の警備対象物に対する高度を確認する
	2	警備記録画像の撮影地点を表示する
	3	警備記録動画の撮影軌跡を表示する
	4	イレギュラー事象発生位置を表示する

上記の整理結果を踏まえ、警備対応 UAS0 のユースケース実現に必要なデータを下表の通りとりまとめた。データ一覧は、データの名称、データ概要の補足説明、想定される UASSP の利用方法、データの出典元、地物の 4 分類 (地図・地形、障害物情報、規制エリア、動的情報)、データ型の 3 分類 (Polygon、Polyline、Point)、空間解像度/地図情報レベル (精度)、提供可能エリア、標準セット or 拡張セット、整備難易度 (○ : 容易、△ : 一部検討が必要、× : 困難) の項目でとりまとめた。

さらに、必要 API 機能一覧を下表に示す。

表 2.2.1.2-18 地図情報 データ一覧

No	データ	概要説明	想定利用用途	出典	地物分類	データ型	空間解像度/地図情報レベル	提供可能エリア	標準/拡張	整備難易度
1	DEM	地表面を等間隔の正方形に区切り、それぞれの正方形の中心点に標高値を持たせたデータ。取得される標高値には、地表面に存在する植生や建築物も含まれる。	飛行ルート周辺の地表面の高さを参照する。	国土地理院	地図・地形	Polygon	5mメッシュ	全国	標準	○
2	道路ネットワーク	道路の形状を中心線のPolylineとして取得し、属性として道路種別情報を含む。	飛行ルート周辺の国道、県道など、管轄を参照し、主要道路上空の通過有無を確認する。	ゼンリン	地図・地形	Polyline	地図情報レベル2500	全国	拡張	○
3	猛禽類生育分	猛禽類が生息するとされる	飛行ルート周	福島	規制エリア	Polygon	地図情報	南相	拡張	×

	布図	空域を示す。	辺の猛禽類の生態系保護及び接触可能性を低減するため参照する。	県	ア		レベル 2500	馬市		
4	防災無線屋外スピーカ	防災無線屋外スピーカの設置位置及び高さ情報を示す。	飛行ルート周辺の障害物情報として参照する。	南相馬市	障害物情報	Polygon	地図情報レベル 2500	南相馬市	拡張	△
5	広告看板	コンビニなどの広告看板の設置位置及び高さを示す。	飛行ルート周辺の障害物情報として参照する。	南相馬市	障害物情報	Polygon	地図情報レベル 2500	南相馬市	拡張	△
6	人口統計	携帯電話GPSの位置情報を統計化した滞留人口を示す。	飛行ルート周辺の人の密集度を参照する。	ゼンリンデータコム	動的情報	Polygon	250mメッシュ/最大1時間単位	南相馬市	標準	○
7	飛行禁止区域(DID)	航空法に基づき飛行申請・承認が必要となる	航空法に基づいた飛	総務省	規制エリア	Polygon	地図情報レベ	全国	標準	○

		る空域を示す。	行申請・承認要否を確認する。				ル 2500			
8	飛行禁止区域 (空港周辺)	航空法に基づき飛行申請・承認が必要となる空域を示す。	航空法に基づいた飛行申請・承認要否を確認する。	国土交通省	規制エリア	Polygon	地図情報レベル 2500	全国	標準	○
9	イベント開催エリア	イベントが開催される領域や日時を示す。	イベント上空における飛行規制に対応するため、開催対象となるエリアを参照する。	自治体	規制エリア	Polygon	地図情報レベル 2500	南相馬市	拡張	△
10	DSM/DTM	最大30cmメッシュ解像度の地表面の標高値。	飛行ルート周辺の地表面の高さを参照する。	NTTデータ	地図・地形	Polygon	0.3 ～ 0.5m メッシュ	南相馬市	拡張	○
11	鉄塔位置・高さデー	鉄塔の中心位置座標、及び地表面の高さ	飛行ルート周辺の鉄	国土	障害物情報	Polygon	地図情報レベ	南相馬	標準	○

	タ	から、構造物としての位置、大きさを示す。	塔の位置・高さを参照する。	理院			ル 2500	市		
12	建物高さ	建物の地表面からの高さ情報を示す。	飛行ルート周辺の建物の高さを参照する。	ゼンリン	障害物情報	Polygon	地図情報レベル 2500	南相馬市	標準	○
13	無人航空機等禁止エリア	国の重要機関上空の飛行禁止空域を示す。	飛行不可エリアとして参照する。	警察庁	規制エリア	Polygon	地図情報レベル 2500	全国	標準	○
14	航路NWデータ	海上交通の航路を示す。	海上の飛行ルートを設定する際に参照する	ゼンリン	地図・地形	Polyline	地図情報レベル 2500	全国	拡張	△
15	行政界ポリゴン	各都道府県市町村の境界を示す。	発災時の避難勧告区域等を表示する。	ゼンリン	地図・地形	Polygon	地図情報レベル 2500	全国	標準	○
16	各種ポリゴン	道路、住宅、公園、河川、溜池等の領域を示す。	緊急時の着陸地点選定や、地上属性を判	ゼンリン	地図・地形	Polygon	地図情報レベル 2500	全国	拡張	△

			定する ために 参照す る。							
--	--	--	-------------------------	--	--	--	--	--	--	--

表 2.2.1.2-19 地図情報 API 機能一覧（拡張セット）

No	機能名称		概要説明
	大分類	中分類	
1	検索機能	その他	指定地点から住所ポリゴンを検索する。
2	幾何学 IF	ジオメトリック	指定した 2 点間の緯度経度から距離をメートル単位で計算する。

表 2.2.1.2-20 地図情報 API 機能一覧（標準セット）

No	機能名称		概要説明
	大分類	中分類	
1	地図表示制 御	モード切替	地図の表示を 2D 表示もしくは 3D 表示に切り替える。
2		地図ウィジェ ット	地図表示位置、拡縮レベル、方角（ヘディング角）を 変更する。
3		チルト設定	3D 表示時の地図の傾きを変更する。
4		地図制御	マウスやタッチ、キーボードからの操作機能の有効 無効を制御する。
5		地図情報	地図の縮尺レベルや指定箇所の緯度経度や海拔高度 を取得する。地図の中心や縮尺レベルを変更する。
6		幾何学判定	指定された地点に建物が存在するかどうかを判定す る。
7	ウィジェッ ト制御	マーカ作成	指定した位置に、テキストを含んだマーキングを行 う。
8		地図のコント ロール	スケールバー
9		線、多角形の 描画	地図上に任意の線の太さ、色で線や図形（多角形）を 描画する。

10		円または楕円の描画	地図上に任意の線の太さ、色で図形（円、楕円）を描画する。
11		ユーザーウィジェット/スタティックユーザーウィジェットの重畳	地図の表示方法を変更する。
12	検索機能	住所検索	文字列や郵便番号、緯度経度から該当箇所の住所を検索する。
13	レイヤー重畳	レイヤー重畳	任意の画像取得 IF 、WMS(WMTS) タイル、TMS(z/x/y) を重畳する。
14	GIS データ重畳	GIS データ重畳	GeoJSON データを重畳する。
15	イベント	イベント取得	何らかのアクションが発生した際にプログラムに信号を発信する。
16	ユーティリティ IF	ユーティリティメソッド	測地系を変換する。
17	認証	認証	

また、2017 年度には、実証試験エリアにおける地形データを取得し、3D モデルを構築した。構築した 3D モデルを下図に示す。



図 2. 2. 1. 2-17 実証試験エリアの 3D モデル (2017 年度)

加えて、2017 年度には、気象情報の要件定義と API 仕様の検討も行った。気象情報の要件定義においては、警備用途の無人航空機の運航管理を行うにあたり必要な要件ではなく、無人航空機の運航における全般的な要件として、以下を特定した。

1. リアルタイムの気象情報
2. 高解像度の気象情報
3. 高度 50m ごと (150m まで) の上空の気象情報
4. 地震、津波、注意報・警報等の緊急防災情報
5. 上記を踏まえた飛行判定ロジック

これらの要件定義を踏まえ、開発された気象情報の情報提供機能を下表に示す。

表 2. 2. 1. 2-21 気象情報 API 機能一覧

大項目	中項目	説明
250m メッシュ気象予測 (実況) : 緯度経度、メッシュ数、時刻情報の入力により以下がレスポンスとして表示される		
位置情報	中心	中心メッシュの中心緯度経度情報
	左上	最北西メッシュの左上緯度経度情報
	右下	最南東メッシュの右下緯度経度情報
	標高	単位 : m
地表面の予測	天気	時刻と、天気の種類を示す数値の文字列データを表示
	気温	時刻とデータを表示
	風向き	時刻と風向きの種類を表す数値の文字列データを表示
	風速	時刻とデータを表示



	相対湿度	時刻とデータを表示
	気圧	時刻とデータを表示
	降水量	時刻とデータを表示
上空の予測		150m まで 10m 毎で上記の気象予測情報を表示
気象センサ（実況）：デバイス ID の入力により以下がレスポンスとして表示される		
デバイス ID		
観測日時		
風速		単位：m/s
風向		単位：度
最大瞬間風速		単位：m/s
最大瞬間風速の風向き		単位：度
気温		単位：℃
相対湿度		単位：%
気圧		単位：hPa
照度		単位：lx
250m メッシュ降水タイル（一時間間隔）：時刻の入力により以下がレスポンスとして表示される		
タイルリスト	リスト	タイル画像の時系列リスト
	URL	タイル画像の URL
	時刻	タイル画像の時刻
最大ズームレベル		タイル画像が用意されている最大のズームレベル
雨雲レーダータイル		
タイルリスト	リスト	タイル画像の時系列リスト
	URL	タイル画像の URL
	時刻	タイル画像の時刻
	予報フラグ	データが予報なのか否かのフラグ
最大ズームレベル		タイル画像が用意されている最大のズームレベル
警報注意報：緯度経度、メッシュ数の入力により以下がレスポンスとして表示される		
位置情報		※250m メッシュ気象予測と同様
警報注意報	市町村名	当該メッシュの中心が位置する市町村
	データ	警報注意報の種類を数値の文字列で表示
警報注意報（リスト）		
発表時刻		
警報注意報情報	市町村名	

	市町村コード	
	データ	警報注意報の種類を数値の文字列で表示
地震：地震 ID の入力により以下がレスポンスとして表示される		
地震 ID	地震ごとに割り振られる ID	
発生時刻		
最大震度		
震源地		
マグニチュード		
津波の有無	震源の深さ	
震度 1～6 強を 観測した地点 ※震度ごとに表 示	震度	
	都道府県名	
	市町村リスト	
津波に関する付加情報	例) この地震による津波の心配はありません、等	
地震リスト		
リスト		
発生時刻		
最大震度		
震源地		
マグニチュード		
震源の深さ		
津波		
発生時刻		
大津波警報 (soon)	大津波警報が発表されているエリアのうち、ただちに到着するおそれのあるエリア ※発表単位は津波予報区 (以下同様)	
大津波警報	大津波警報が発表されているエリアのうち、上記に該当しないエリア	
津波警報 (soon)	津波警報が発表されているエリアのうち、ただちに到着するおそれのあるエリア	
津波警報	津波警報が発表されているエリアのうち、上記に該当しないエリア	
津波注意報 (soon)	津波注意報が発表されているエリアのうち、ただちに到着するおそれのあるエリア	

津波注意報	津波注意報が発表されているエリアのうち、上記に該当しないエリア
津波到達状況	津波の到達状況（来襲する恐れがある、すでに到着している場合「1」）
発表フラグ	発表されている津波注意法警報があるかどうか

続いて、2018 年度は、上空電波シミュレーターを活用し実証エリアである埼玉スタジアム 2002 の上空電波シミュレーションを行った。

上空電波情報については以下に示す。

表 2.2.1.2-22 上空電波情報

上空電波 情報要件	対象パラメータ	電波強度
	対象エリア	埼玉スタジアム 2002 周辺
	対象高度	対地高度 25m、75m、125m
	メッシュ粒度	25m×25m メッシュ

加えて 2018 年度は、2017 年度の継続的な開発として、地図情報、気象情報、電波情報に関する高精度な 3D 情報と API を整備し、運航管理機能や警備アプリケーションとの接続検証を実施した。各情報提供機能の警備アプリケーションの UI 上のイメージを以下に示す。

各情報提供機能は、UASSP における飛行可否判断や、警備アプリケーションの UI での遠隔情報参照に活用できることを実証試験により確認した。



図 2.2.1.2-18 情報提供機能のイメージ

続けて、2019 年度はドローンポート情報について運航管理機能や警備アプリケーションとの接続検証を実施した。

警備アプリケーションの UI 上のイメージと図 2.2.1.2-19 警備アプリケーション上でのドローンポート位置表示を以下に示す。



図 2.2.1.2-19 警備アプリケーション上でのドローンポート位置表示キャプチャ

### 警備用無人航空機の試作

#### 2017 年度

実証試験で使用する警備用無人航空機について、検討したユースケースと無人航空機の要求条件をもとに、4 機の無人航空機（俯瞰ドローン 2 機、巡回ドローン 2 機）を試作した。各機体の役割定義をもとに、カメラや LED ライト、警告用スピーカ等のペイロード仕様を検

討した上で、これらを搭載可能な機体を設計した。各機体の主な仕様と、試作した機体（2号機）の外観を以下に示す

表 2.2.1.2-23 2017 年度 開発機体の主な仕様

	1号機（親機）	2号機（親機）	3号機（子機）	4号機（子機）
総重量	16kg 程度	16kg 程度	24.5kg 程度	24.5kg 程度
ペイロード	Trillium HD50、 充電用電極	CANON 高感度カメラ、 単焦点レンズ	Sony カメラ、 LED サーチライト、 威嚇用スピーカ	Sony カメラ、 LED サーチライト
機体性能	飛行速度 7m/s 飛行時間 7min	飛行速度 7m/s 飛行時間 7min	飛行速度 7m/s 飛行時間 7min	飛行速度 7m/s 飛行時間 7min
航続距離	2.9km	2.9km	2.9km	2.9km





図 2.2.1.2-20 試作した機体の外観（2017 年度）

また、無人航空機のミッションを踏まえ、ペイロードとしては、可視カメラ、赤外線カメラ、LED ライト、スピーカの必要が確認され、それぞれ要求条件に応じて機器選定が行われた。






カメラについては、Trillium HD50 カメラ、Canon 高感度カメラ、Sony FCB-EV7520 が選定された。各カメラの仕様を以下表 2.2.1.2-24 に示す。

表 2.2.1.2-24 2017 年度実証用のカメラの仕様

	Trillium	Canon		Sony
				
品名	Orion HD 50	ME20F-SN	EF24mm F1.4L II USM	FCB-EV7520
価格	約¥7,000,000	約¥3,000,000	+ ¥235,000	6万円台
サイズ	Φ127 × 180	(ME20F-SN)118 × 102 × 116 (EF24mm F1.4)Φ83.5 × 86.9		50 × 60 × 89.7
重量	1600g	約1100g + 約650g		約255g
映像I/F	Video Out	3G/HD-SDI 1端子, 2端子	HDMI OUT端子	HD Y/Pb/Pr: 4:2:2 SD VBS: 1.0 Vp-p
最低被写体照度	不明	0.0005lux以下 (最大ゲイン75dB時、ISO感度400万相当)		ICRなし 0.01lux(30fps/HD) 0.0013lux(4fps/NTSC, 3fps/PAL) ICRあり 0.0015lux(30fps/HD) 0.0008lux(4fps/NTSC, 3fps/PAL)
解像度	可視 720p 赤外 VGA	1080p, 1080i, 720p		1080p, 1080i, 720p
ズーム	可視 光学30倍 (FOV 63° -2.2° ) 赤外 デジタル10倍 (FOV 10.5° -1.3° )	可視 デジタル2x, 3x, 4x		可視 光学30倍 (FOV: 63.7° -2.3° ) デジタル12倍
電源	10~30VDC 15W~20W	11~17VDC 12W		6~12VDC 3.2~4.0W
備考	可視&赤外カメラ付き 角度分解能:0.04°	小雨程度であれば動作可能 レンズは水平画角90° のものを検討 災害対策用ドローンのジンバルを使用  価格については微調整可能		災害対策用ドローンのジンバルを使用 FRPの軽量ハウジングを実装する必要あり <a href="http://www.sankei-n.com/housing/item/item_apbox.html">http://www.sankei-n.com/housing/item/item_apbox.html</a>

続いて、LED ライトについては、オプテックス社製 VAR2-w4-1 が重量と定格光束の値のバランスにて最も適切であると判断した。他の LED 候補とともに、VAR2-w4-1 の主な仕様を以下に示す。

表 2.2.1.2-25 2017 年度実証用の LED ライトの仕様

メーカー	光電気LEDシステム	オプテックス			スタンレー
写真					
型番	LED-12-40DA/LED-12A	VAR2-w8-1	VAR2-w4-1	VAR2-w2-1	LLM0576A, 80/LLM0576A_120
価格	¥67,700-	¥71,100-	¥51,900-	¥33,300-	¥70,000~ ¥80,000-(詳細確認中)
サイズ	縦154mm × 横154mm × 厚み39mm	縦180mm × 横135mm × 厚み68.2mm	縦135mm × 横100mm × 厚み66mm	縦100mm × 横75mm × 厚み64mm	縦288mm × 横254mm × 厚み255mm
重量	1.15kg(コ型金具含む)	1.65kg	0.95kg	0.6kg	2.7kg
配光角	40/60度		最大120 × 50度		80/120度
防塵・防水性能	IP56		IP66		IP56
定格電圧	DC12,18V		DC12~24V		AC100~240V
定格光束	3066/3025lm	3720lm	1860lm	930lm	7650/7800lm
色温度	4500~5200K		6000K		5000K
備考	・消費電力 25.6W ・演色性 70~73Ra ・有効到達距離(屋外)前方向 17m ・空撮用LEDとして使用実績有り	・消費電力 42W ・配光角10 × 10度 有効到達距離180m ・配光角20 × 10度 有効到達距離105m ・配光角35 × 10度 有効到達距離95m ・配光角60 × 25度 有効到達距離50m ・配光角80 × 30度 有効到達距離35m ・配光角120 × 50度 有効到達距離25m	・消費電力 24W ・配光角10 × 10度 110m ・配光角20 × 10度 70m ・配光角35 × 10度 65m ・配光角60 × 25度 35m ・配光角80 × 30度 25m ・配光角120 × 50度 15m	・消費電力 11W ・配光角10 × 10度 60m ・配光角20 × 10度 50m ・配光角35 × 10度 40m ・配光角60 × 25度 25m ・配光角80 × 30度 20m ・配光角120 × 50度 10m	・消費電力 91W ・演色性 70Ra

本運用に最も適している

最後に、威嚇・警告用のスピーカとしてはパトライト社製の盤用 MP3 音声合成報知器/BKV-



31KF が再生できるメッセージ数が多いことから最も適切であると判断した。他のスピーカ候補とともに、BKV-31KF の主な仕様を以下に示す。

表 2.2.1.2-26 2017 年度実証用のスピーカの仕様

メーカー	パトライト			
写真				
品名/型番	ホーン型MP3再生報知器/ EHV-M1	盤用MP3音声合成報知器/ BKV-31KF	電子音報知器/ BD-24A-B	超小型電子音報知器/ BM-202D
価格	¥37,638-	¥31,212-	¥9,936-	¥3,434-
サイズ	(口径)縦112×横166.5 ×長さ198.2mm	(口径)縦120×横120 ×長さ62.8mm	(口径)縦80×横80 ×長さ94.7mm	(口径)縦50×横50 ×長さ64mm
重量	約1.25kg	530g	180g	100g
出力音圧レベル	105dB (at 1m)	95dB (at 1m)	90dB (at 1m)	75dB (at 1m)
防塵・防水性能	IP65	IP54	IP54	IP34
定格電圧	DC12~24V	AC100V	DC12~24V	DC24V
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1台に63音の音色を内蔵</li> <li>・ビット入力時は8チャンネル、バイナリ入力時は63チャンネルの音色を制御可能。</li> <li>・SDカードを使って音色の組み合わせが可能</li> <li>・別売のSDカードを使って内蔵アラーム、メロディ音の63音に手持ちのMP3データも共用することが可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1台で最大31メッセージ(63秒)の再生が可能</li> <li>・ビット入力時は1~5チャンネルで最大5メッセージの再生が可能。</li> <li>・バイナリ入力時は1~5チャンネルで最大31メッセージまで再生する事が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1台に32音の音色を内蔵</li> <li>・1ビット入力4チャンネルの音色の再生が可能</li> <li>・SDカードを使って音色の組み合わせが可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1台に2音の音色を内蔵</li> <li>・CH1(ビーポー ビーポー)</li> <li>・CH2(ビビビビ・・・)</li> </ul>

本運用に最も適している

## 2018 年度

検討したユースケースと無人航空機の要求条件をもとに、新たに4機の無人航空機(俯瞰ドローン2機、巡回ドローン2機)を試作した。各機体の役割定義をもとに、カメラやLEDライト、警告用スピーカ等のペイロード仕様を検討し、これらを搭載可能な機体を設計した。試作した機体の主な仕様と、外観を以下に示す。特に4K映像の伝送を実現すると共に、学習アルゴリズムを搭載し、画像解析による不審者の自動検知と位置算定機能を開発した。

表 2.2.1.2-27 2018 年度 開発機体の主な仕様

	1号機(俯瞰機)	2号機(巡回機)	3号機 (夜間巡回機)	4号機(巡回機)
総重量	約16kg	約14kg	約14kg	約13kg
ペイロード	LTEモジュール、 不審者検知AI、 Sony 4Kカメラ	LTEモジュール、 不審者検知AI、 Sony FullHDカメラ	LTEモジュール、 不審者検知AI、 D-eye 暗視カメラ、	LTEモジュール、 充電用電極、 LEDライト

			威嚇用スピーカ	
機体性能	飛行速度 8m/s 飛行時間 10min	飛行速度 10m/s 飛行時間 10min	飛行速度 10m/s 飛行時間 10min	飛行速度 10m/s 飛行時間 10min
航続距離	最大約 4km	最大約 5km	最大約 5km	最大約 5km



図 2. 2. 1. 2-21 試作した機体の外観（2018 年度）

機体ペイロードは 2017 年度と基本的には変わらないが、一部のカメラが 4K 対応となったとともに、一部の機体には暗視カメラが搭載された。

なお、2018 年度の実証実験では、不審者検知の自動化が大きなテーマになっていたことから、画像解析技術を機体に搭載した。

画像解析技術は、深層学習アルゴリズムを用い、取得画像をもとに不審者を自動検知し光学計算と機体内の位置情報を用いて位置算定を可能とする技術であり、実証実験では、同 AI 技術により算定された位置情報に基づき、運航管理システムに情報が自動的に通達され、システムに登録している最近傍の巡回ドローンが不審者の発見場所に急行した。また、本技術には動体追跡機能も備えられており、フレーム内に識別対象が収まるよう機体が動くことで、識別対象の自動追尾も可能となっている。実証実験では、不審者の発見場所に急行した俯瞰ドローンにより、不審者の自動追尾が実証された。

#### 2019 年度

検討したユースケースと無人航空機の要求条件をもとに、新たに無人航空機を試作した。各機体の役割定義をもとに、機体仕様を検討し、これらを搭載可能な機体を設計した。試作した機体の主な仕様と、外観を以下に示す。



表 2.2.1.2-28 2019 年度 開発機体の主な仕様

	1号機（俯瞰機）	2号機（施設内巡回機）	3号機（海岸巡回機）
総重量	約 9.4kg	約 9.4kg	約 9.4kg
ペイロード	LTE モジュール、 Sony FullHD カメラ	LTE モジュール、 Sony FullHD カメラ	LTE モジュール Sony FullHD カメラ 警報用ブザー
機体性能	飛行速度 15m/s 飛行時間 約 30min (ペイロードなし)	飛行速度 15m/s 飛行時間 約 30min (ペイロードなし)	飛行速度 15m/s 飛行時間 約 30min (ペイロードなし)
航続距離	最大約 10 km	最大約 10 km	最大約 10 km



図 2.2.1.2-22 試作した機体の外観（2019 年度）

#### 成果と課題

運航管理システム・LTE 連携機能開発に関しては、機体に搭載した LTE 通信モジュールを用いて運航管理システムおよびアプリケーションと接合し、遠隔で制御・運用実証することでレベル 3 目視外飛行の基本要件にも適合できたため事業化段階である。上空電波利用は民間利用拡大に向けて 2020 年度に法改正がされており、本事業成果を他用途にも拡大していく予定である。

LTE 実証エリア整備に関しては、今回は実証をターゲットとした一時的な対応として、一部基地局を停波することで電波干渉を抑制し、上空の LTE エリアの整備が出来ることが確認できた。課題としては、今後ドローンをイベント時や常時活用する際は、今回のような停波対応は実施が困難である点が挙げられる。そのため電波や空間の観点で無人航空機が飛行するルートを整備するといった対応が今後必要である。

情報提供機能整備に関しては、計画通り、無人航空機の運用において共通的な地理空間情報、気象情報、通信用電波情報の高精度な 3D 情報の整備と API 提供が実施され、UASSP に

において、飛行可否判断への活用や、UAS0 である警備アプリ上での各情報の沿革参照が実証された。課題としては対応エリアやミッションの拡大や、様々な環境に適応するための UASSP の飛行判定ロジックの汎用性向上が挙げられる。

警備用無人航空機の試作に関しては、警備業務における無人航空機のユースケースの検討において定義された、警備用無人航空機の要求条件を満たした機体の開発を計画通り実施した。特に、警備に必要なペイロードを搭載可能とする機体仕様、夜間飛行や長距離飛行を可能とする機体仕様が検討され、これらを満たす機体が開発された。また、各年度で機体の軽量化を進めることができた。課題としては、人物検知等の AI 機能の高精度化への対応や、将来的なレベル 4 への運航の実現に向け、機体の信頼性向上や地上の第三者への危害を軽減する機能の装備等が挙げられる。

### 5.3.2. 「実証実験の実施・評価」

2017 年度

検討した実証試験シナリオに基づき、さがみ湖リゾートプレジャーフォレストにおいて実証試験を実施した。

実証試験は、2018 年 2 月から 3 月に掛け 6 日間にわたり技術的な検証を行うと共に、3 月 15 日には公開実証を実施した。実証試験の目的は、遊園地警備を想定した運航管理機能の開発成果の検証であり、具体的には、4 機の無人航空機による「高度 2 階層・2 エリア」の同時運航管理の実証、巡回警備（広域監視・詳細監視）や不審者・不審火対応等の無人航空機による警備ミッションの有効性の実証である。

実証試験の結果、4 機同時飛行制御・空域管理に成功すると共に、警備アプリから運航管理システム、各無人航空機に至るシステム間の接合と情報伝達が確認された。また、遠隔での突発的動作指示による不審者への接近と画像取得、カメラや証明・音声警告等の遠隔ペイロード制御に成功した。これにより、当初計画した運航管理機能、LTE 連携機能、警備アプリの機能確認とミッション有効性が実証された。

一方、課題としては、LTE 網を介した映像配信の不安定性が挙げられた。4 機の無人航空機からの映像伝送に加えて地上の複数の警備アプリ端末に対する映像配信が同時に行われたことにより、映像品質の低下が生じたことから、次年度は映像配信に関するシステム構成等の見直しを検討することとした。さらに、同時に複数機のフライト予約を短時間で実施する場合の処理プロセスの課題が抽出され、フライト予約機能の改修や運航管理システムのサーバー構成の見直し等を行うこととした。また、不審者の自動検知の可能性や、突発的運航時の他の無人航空機との運航管理方法については、引き続き検討を行うこととされた。

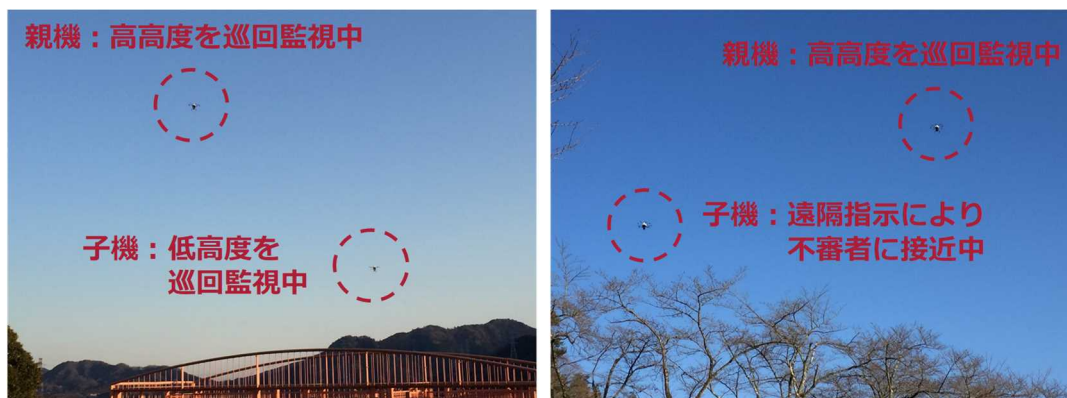


図 2. 2. 1. 2-23 実証試験の様子（2017 年度）

#### 2018 年度

2018 年度は、二つの実証試験を実施した。一つは検討した実証試験シナリオに基づくスタジアム警備の実証試験を行った。もう一つは、当初計画からの追加として、FIMS との接続実証試験に参加した。前者のスタジアム警備の実証試験の様子を下図に示す。

スタジアム警備実証については、埼玉スタジアム 2002 において実証試験を実施した。実証試験については、2018 年 10～11 月にかけて段階的に複数回実施し、UASSP/UASO/SDSP/UA の相互接続の検証や、開発した各種開発機能の技術的な検証を行うと共に、2017 年度の課題を踏まえ、俯瞰ドローンによる不審者検知から運航管理機能による巡回ドローンの飛行計画変更と緊急対応指示、巡回ドローンによる不審者確認と追跡に至る一連動作の自動化を実証した。

課題としては、運航管理機能や警備アプリケーションの各種運航ロジックの汎用化が挙げられた。干渉判定や異常検知・急行・追跡ミッションの自動化等のアルゴリズムを様々な環境に適応可能なロジックに修正することが必要である。また、今年度開発したドローンポートシステムについて、UASSP/UASO とシステムとしての運用検証が必要である。更に、上空における LTE 利用について、運航可能な機体数やデータ伝送量、アプリ端末数等の最適化について、国際標準化動向も考慮しつつ検証を実施することが必要である。次年度に向けては、こうした課題に対応しつつ、長期間の連続飛行、連続運用を含めた実証試験による実用性の検証を実施することが想定された。



図 2. 2. 1. 2-24 スタジアム警備の実証実験の様子（2018 年度）

2019 年度

2019 年度は、二つの実証試験を実施した。一つは実証試験シナリオに基づく広域重要設備内の災害監視の実証試験であり、もう一つは、FIMS との接続実証試験である。前者の広域重要設備内の災害監視の実証試験の飛行経路を下図に示す。



図 2. 2. 1. 2-25 広域重要設備内の災害監視の実証試験の飛行経路

広域重要設備内の災害監視の実証試験は、福島県の東北電力設備内で 2020 年 1 月 27 日に実施された。本実証実験では、検討した広域重要設備内での災害監視の飛行シナリオを実証するとともに、運航管理機能の技術開発の実証として、FIMS と連携したインフライトの運航調整（緊急時の飛行の優先度判断、重要設備内の空域飛行許可等）に加え、UASSP 間連携による運航調整（突発的飛行計画変更時の動態管理等）の技術実証がなされた。

具体的には、災害発生時を想定し、俯瞰ドローンによる被災者検知、運航管理機能による巡回ドローンの飛行計画変更と緊急対応指示、インフライトでの他の運航事業者との運航調整・衝突回避、巡回ドローンによる被災者確認、の一連動作の自動化を実証した。また、



本実証の中で、以下の運航管理機能の実証に成功した。

## 1. FIMS との接続

1. 緊急飛行計画の優先的承認（emergency\_id フィールドの活用）
2. NFZ 内飛行計画の優先的承認（no\_fly\_area\_id フィールドの活用）
3. 緊急運航時における警戒円の動的生成（priority フィールドの活用）
4. 飛行経路逸脱時の緊急 NFZ の動的生成（space\_err フィールドの活用）
5. 飛行計画干渉状態の検知（target\_flightplan\_id フィールドの活用）

## 2. UASSP 間運航調整

6. 干渉対象の UASSP との近傍機体情報連携

## 3. UASO への運航指示

7. 緊急 NFZ の動的迂回（ダイナミックリルーティング）
8. 近傍機体との衝突回避（DAA）

以降で、各項目の実証内容について補足する。

まず、緊急飛行計画の優先的承認の機能については、事前に自治体と締結された協定に基づき、災害時には重要設備脇の沿岸部に緊急ジオフェンスを設置し、許可された機体のみが運航可能という状況を想定して機能実装を行った。実証の様子を下図に示す。

apply_status	string	申請時の飛行計画の状況を表す。 00.未承認 10.承認済み 20.条件付き承認済み 90.否認 ※否認は承認後何らかの理由によりFIMSが飛行計画を否認した場合を想定。
flight_status*	string	申請時の無人航空機の飛行状態を表す。 00.飛行前 10.飛行中 30.飛行後 ※新規申請の場合、飛行後の指定は不可。
typeof_flight	string	飛行の目的を表す。 00.物流 01.撮影… 90.災害対応 ※項目の必要性については要調整
emergency_id	string	緊急飛行を識別する。 90.緊急 ※公共サービスの緊急飛行のみの設定とする。緊急識別は、公共サービスを実施するUASSP/UASOのみが設定出来ることを想定。FIMSでは、優先的に承認するかを判定する。
no_fly_area_id	string	飛行禁止エリアの承認状態を表す。 10.飛行禁止エリア飛行承認済み ※飛行禁止エリアの飛行は今まで通り国土省が承認するのか？
public_id*	string	UASSPへの情報を情報送信の可否を表す。 00.すべて公開 10.コールサイン、経路等の最低限の情報のみ公開 20.飛行状態を含めすべて非公開 ※情報開示範囲のレベル分けを想定。

図 2.2.1.21-26 実証試験の様子（緊急飛行計画の優先的承認）

NFZ 内飛行計画の優先的承認の機能については、NFZ として設定されている重要設備内を飛行させる際に、事前に特別承認を得ている飛行計画が優先的に承認されるシナリオを想定

し、NFZ 内の飛行を許可する機能を実証した。実証の様子を下図に示す。

apply_status	string	申請時の飛行計画の状況を表す。 00.未承認 10.承認済み 20.条件付き承認済み 90.否認 ※否認は承認後何らかの理由によりFIMSが飛行計画を否認した場合を想定。
flight_status*	string	申請時の無人航空機の飛行状態を表す。 00.飛行前 10.飛行中 30.飛行後 ※新規申請の場合、飛行後の指定は不可。
typeof_flight	string	飛行の目的を表す。 00.物流 01.撮影… 90.災害対応 ※項目の必要性については要調整
emergency_id	string	緊急飛行を識別する。 90.緊急 ※公共サービスの緊急飛行のみの設定とする。緊急識別は、公共サービスを実施するUASSP/UASOのみが設定出来ることを想定。FIMSでは、優先的に承認するかを判定する。
no_fly_area_id	string	飛行禁止エリアの承認状態を表す。 10.飛行禁止エリア飛行承認済み ※飛行禁止エリアの飛行は今まで通り国土交通省が承認するのか?
public_id*	string	UASSPへの情報を情報送信の可否を表す。 00.すべて公開 10.コールサイン、経路等の最低限の情報のみ公開 20.飛行状態を含めすべて非公開 ※情報開示範囲のレベル分けを想定。

図 2. 2. 1. 2-27 実証試験の様子 (NFZ 内飛行計画の優先的承認)

飛行経路逸脱時の緊急 NFZ の動的生成の機能については、NFZ を動的に生成する機能だけでなく、機体のホバリング精度や旋回方法を考慮した軌道逸脱閾値を飛行申請時に設定することで、当該閾値内の逸脱であれば FIMS からの逸脱と見なされない機能の実証も行った。実証の様子を下図に示す。

coordinates*	> [...]
space_err	integer(\$int32) minimum: 0 maximum: 99 Conflict判定を行う際の空間的な位置判定の誤差幅を表す。(m)
time_err	number(\$int32) minimum: 0 maximum: 3600 Conflict判定を行う際の時間判定の誤差幅を表す。(s)

図 2. 2. 1. 2. 28 実証試験の様子 (飛行経路逸脱時の緊急 NFZ の動的生成)

緊急運航時における警戒円の動的生成については、緊急フラグが警告レベル以上に設定されている機体の周囲には FIMS 指定の警戒円が設定され、他の運航者への注意を促す機能の実証を行った。実証の様子を下図に示す（警戒円は赤の円で示されている）。



図 2.2.1.2-29 実証実験の様子（緊急運航時における警戒円の動的生成）

飛行計画干渉状態の検知については、飛行計画申請の結果として、承認状態の如何にかかわらず干渉対象の飛行計画ないしは飛行禁止区域の情報が返却され、調整先の運航者を特定できる機能が実証された。実証の様子を下図に示す。

ConflictInfo {

- target\_flightplan\_id string  
Conflictした相手の飛行計画ID。※他飛行計画とのConflict時のみ設定
- emergency\_id string  
Conflictした相手が緊急飛行計画だった場合に設定する。※他飛行計画とのConflict時のみ設定
- no\_fly\_area\_id string  
Conflictした飛行禁止空域のIDを設定する。※飛行禁止空域とのConflict時のみ設定
- no\_fly\_area\_name string

申請結果 Webhook Callback

```
{
  ...,
  "result_info": {
    "incomplete_info": null,
    "conflict_info": [
      {
        "target_flightplan_id": "bdf6654c-d3c5-4881-b396-afdf6de9f851",
        ...
      }
    ]
  }
}
```

図 2. 2. 1. 2-30 実証実験の様子（飛行計画干渉状態の検知）

干渉対象の UASSP との近傍機体情報連携については、FIMS を介して得られる近傍機体情報では検知範囲が狭く予測が立てられないため、災害などの緊急時には UASSP 間の直接的な飛行情報のやりとりが必要となってくることを踏まえ、本来システム的な繋がりのない運航事業者同士が、FIMS が提供するディスカバリ機能を活用することで、互いに運航調整を図るきっかけを作る機能を実証した。実証の様子を下図に示す。



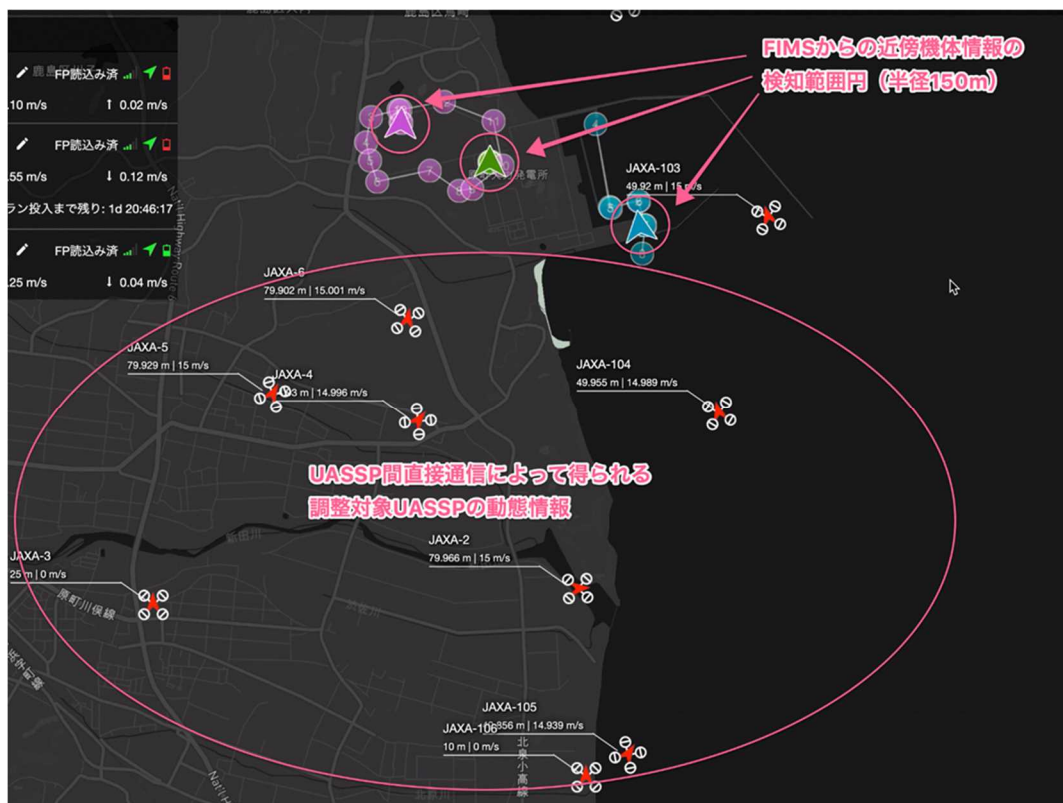


図 2. 2. 1. 2-31 実証実験の様子（干渉対象の UASSP との近傍機体情報連携）

緊急 NFZ の動的迂回については、巡回警備機 [KDDI-001] が運航中に災害が発生し飛行計画を逸脱後 FIMS によって緊急ジオフェンス（下図赤色矩形部分）が設定され、当該エリアと干渉する経路を北上する物資輸送機 [JAXA-103] はジオフェンスを迂回後に元経路に復帰するというシナリオで、機能実証が図られた。実験の様子を下図に示す。

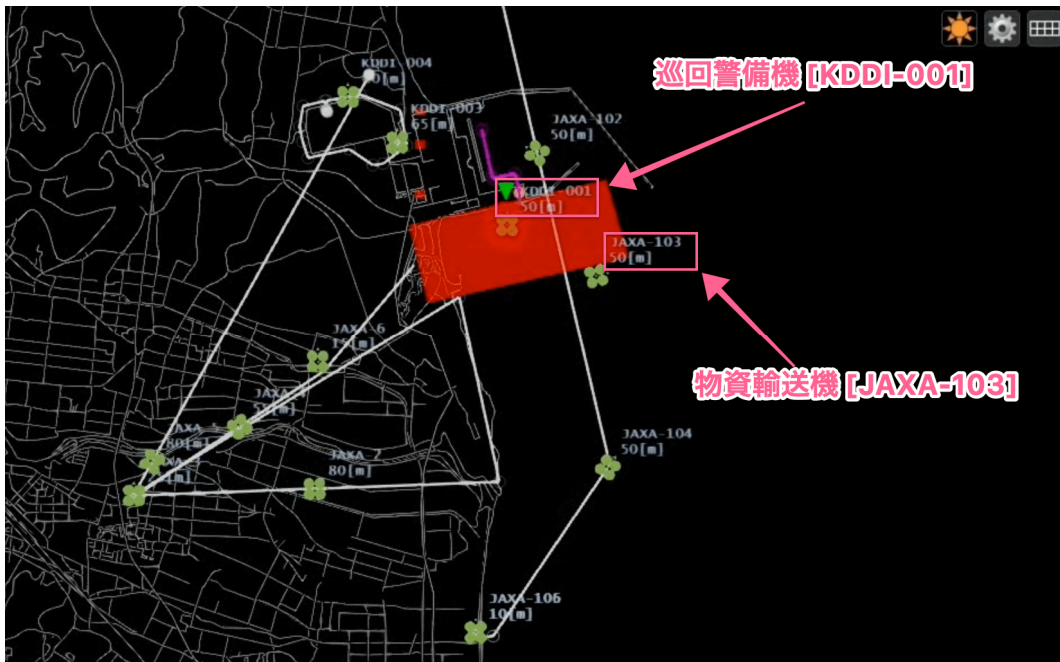


図 2. 2. 1. 2-32 実証実験の様子（緊急 NFZ の動的迂回）

近傍機体との衝突回避については、巡回警備機 [KDDI-004] が運航中に、災害が発生し、物資輸送機 [JAXA-5] が緊急飛行計画を申請したという想定で、運航中の巡回警備機は、災害物資輸送機（巡回警備よりも緊急度が高く優先度を高く設定）が北上・通過中はその場待機し、物資輸送機が通過後、安全を確認し飛行を再開するというシナリオを実証した。実証の様子を下図に示す。



図 2. 2. 1. 2-33 実証実験の様子（近傍機体との衝突回避）

その他、2019 年度の実証実験では、気象情報分析による運航可否判断機能として、飛行計画作成地点の座標を元に、その地域の気象状況を高度別に取得した。特に風速データに関し

て機体の耐風性能値との比較を行うことで離陸可否判定を行う機能を実施した。さらに、ハザードマップを活用し、重要設備のある臨海地域で津波などの災害が発生することを想定して、平時における指定緊急避難場所が避難可能な状態になっているかを警備巡回機にて確認した。

本実証実験の課題としては、さらなる長距離飛行、長期連続飛行や連続運用といった、様々な環境に提供可能な UASSP/UASO の各種ロジックを改良するため、引き続き、実用的な飛行実証経験の蓄積を積むことが挙げられた。また、本実証実験で確認された UASSP 間の相互接続機能は、JAXA のみとの調整での実証に留まっているため、他の運航事業者との調整も継続的に実施し、運航シナリオや運用エリアに応じた干渉判定スキームを検討するとともに、これらの経験から得られた課題や知見をもとに、FIMS 連携や運航管理アーキテクチャの在り方についても継続検討するのが望ましい。

#### FIMS 機能との接続試験

1 回目の FIMS 接続試験は、福島ロボットテストフィールドにおいて 2019 年 2 月 25 日から 3 月 1 日にかけて実施された。本試験では、FIMS との接続環境下で、警備用途の 4 機のドローンの運航管理を実証した。具体的には、空域、飛行計画承認 API により FIMS と接続し、他の各種用途の UASSP との間で運航管理を実施し、結果として合計 10 機のドローンの同時飛行に成功した。FIMS の接続実証試験の様子を示す。

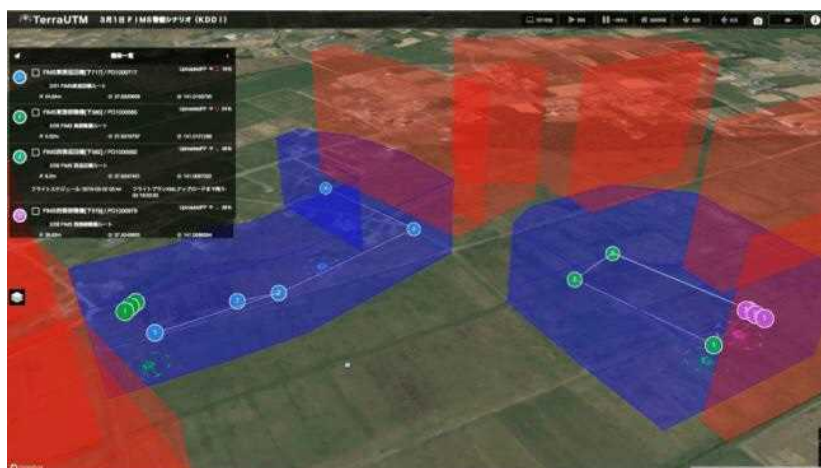


図 2.2.1.2-34 FIMS の接続実証試験の様子 (2018 年度)

2 回目の FIMS との接続実証試験は、2019 度 10 月 21 日から 25 日にかけて実施され、前年度と同様、運航管理システムの API にアクセスし、複数のドローン事業者間での飛行計画、飛行状況に関する情報共有機能の評価を行った。なお、1 回目の接続実証試験との差分として、単に FIMS と接続するだけでなく、より実際のユースケースに近い形で評価を行う

ために、市街地を想定したドローン定期巡回警備、及び緊急事態への突発的運航の検証も行うとともに、FIMS を介した突発運航時の動態管理や飛行情報共有を検証した。後者では、JAXA 殿と協力して、動態管理として FIMS の近傍機体情報を参照し、シミュレーション上での衝突回避を行う機能を実証・評価した。

実証・評価の結果、FIMS を介してドローン事業者間の運航調整を行うにあたっては、FIMS を介して得られる近傍機体情報では検知範囲が狭く予測が立てづらいことが課題として明らかになった。また、緊急時の飛行計画変更に対応した運航調整や、他の運航管理システムのユースケースに即した運航調整の実証の必要性が挙げられた。これらの課題については、2019 年度の警備向け実証実験において、さらなる実証・評価が実施された。



図 2. 2. 1. 2-35 FIMS の接続実証試験の様子 (2019 年度)

### 成果と課題

3 年間における警備向け実証試験の実施・評価を通じての成果としては、以下が挙げられる。

1. UTM アーキテクチャにおける機能群の階層分離の実現
2. 警備業務に適した機能・スペックのアプリケーション、ドローン機体の開発
3. 運航管理システム統合実証による事業者間の干渉判定機能実証
4. LTE を用いた UTM の社会実装を見越した機能実証の成功

課題としては、実用的な飛行実証経験の蓄積と、運航管理機能の高度化の 2 点が挙げられる。

一点目の実用的な飛行実証経験の蓄積の今後の対応策としては、長期間の連続飛行や連続

運用を含めた実証試験を継続的に実施し、さまざまな環境に適応可能な UASSP/UASO の各種ロジックの修正・実用性検証を行うことが想定される。

二点目の運航管理機能の高度化の今後の対応としては、実運用を踏まえた機能分担や遅延等を考慮した FIMS 連携の在り方を継続検討すると共に、新機能の実証を実施することが想定される。特に、運用シナリオや運用エリアに応じ、UASSP 間の干渉判定に適したスキームを検討する必要がある。

総じて、これまでに、レベル 3 やレベル 4 の運航を想定したユースケースの実証試験・機能実証を実施してきた知見を踏まえ、2020 年度には、LTE を用いた運航管理システムによる、レベル 3 警備を本格社会実装する目途を立てることができた。

今後の社会実装方針としては、警備に限らない各アプリケーションが接続可能な運航管理システムを構築することで、様々なドローン適用領域への活用を目指し、用途ごとに異なる UASO アプリケーションにおける個別事業者の開発規模の最小化を実現することを目標とする。また、レベル 4 実現に向けては統合的なシステム開発を継続実施していくこととする。

#### (6) 特許出願数、論文等の発表数

##### 6.1. 研究開発項目①「無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発」(実施者：セコム株式会社/KDDI 株式会社)

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	-	-	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	1	6	4	-	-	-	11
展示会出展	0	1	2	-	2	1	6
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	2	-	-	-	2
ニュースリリース・プレスリリース	1	2	1	2	1	1	8
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

##### 6.2 研究開発項目②「警備用無人航空機の運航管理機能の開発」(実施者：テラドローン株式会社)

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	-	-	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	0	0	0	-	-	-	0
展示会出展	0	0	0	-	-	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	-	-	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	-	-	-	0
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

##### 6.3 知財活動

主な対外訴求活動を以下に示す。



- 2019年3月22日、ジャパン・ドローン2018の同時開催セミナー「DRESSプロジェクトフォーラムドローンの社会実装加速のための研究開発～ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト～」にて発表を実施した。
- 2019年2～3月に相模湖フォレストにおいて実施した警備実証試験の結果については、2018年3月に公開実験を開催し、その結果、61本（2019年1月10日時点）の報道等が行われた。
- 2019年10～11月に埼玉スタジアム2002において実施したスタジアム警備実証試験の結果については、2018年12月にメディア向け説明会を開催し、その結果、61本（2019年1月10日時点）の報道等が行われた。

### （7）実用化・事業化への道筋と課題

#### 1. 研究開発項目①「無人航空機を利用した警備アプリケーションの開発」（実施者：セコム株式会社／KDDI株式会社）

##### 1.1 実用化・事業化に向けた戦略

地上の無線通信の信頼性およびインフラ投資の観点からドローン運航における4G LTE携帯回線の活用が期待されており、今後も各ユースケースで市場の拡大が予測されている。また、今後本格普及していく5Gネットワークと共に爆発的な市場拡大を目指し3GPP等の標準化団体を通じて日本のみならず各国で研究が加速している。

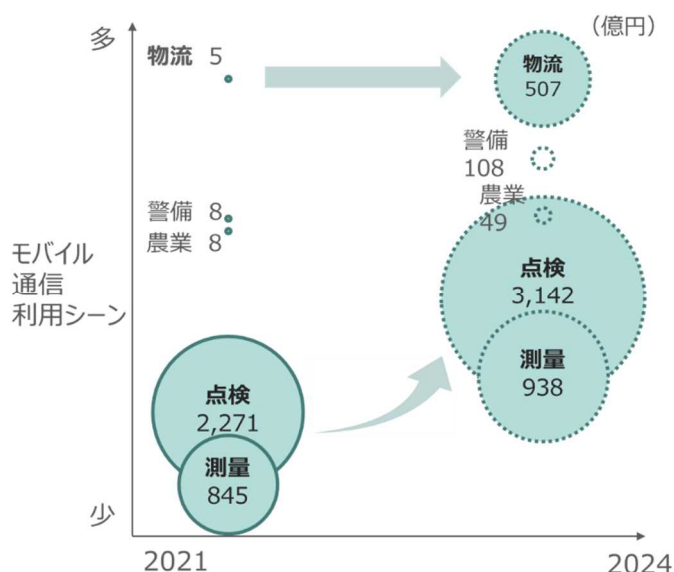


図 2.2.1.2-36 市場規模とモバイル通信利用シーン

「スマートドローンプラットフォーム」は、携帯回線を用いて無人航空機の遠隔飛行制御を行い、監視、警備、点検、物流等のドローン活用をトータルで提供するサービスである。

スマートドローンプラットフォームは、4G LTE/5G ネットワークに接続するドローン機体、運航管理システム、通信で構成され、モバイル通信ネットワークを利用するスマートドローン機体や、ドローン運航管理、ドローンが取得したデータの蓄積・分析などのクラ

ウドサービスをまとめたトータルソリューションの提供を目指す「プラットフォーム（基盤）」である。

スマートドローンプラットフォームの展開に向けては、NEDO DRESS プロジェクトにおいて2020年度～2021年度に委託事業として参画した「地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」において得たドローンの運航管理に必要な機能やノウハウ等の成果も活用し、2022年3月よりユーザーが自由に上空でのモバイル回線やそれを活用した運航管理、集約されるデータを管理するクラウドをセットで提供する、「スマートドローンツールズ」の提供を開始している。

ただし、実証結果から今後目視外飛行の本格的な社会実装を拡大させていくには、現行制度下ではプレフライトにおける法令の定める各種手続き・関係機関との調整や、インフライトにおける飛行ルート下の第三者の立ち入り管理措置等に多大なコストを要する等のドローンの社会実装に向けた様々な課題が明らかとなった。

また、持続的なビジネスモデルの構築に向けて、一対多運航をはじめとする高度な自動・自律飛行の実現による更なるコスト低減が求められており、一対多運航を前提としたドローンの離島間物流および広域警備の安全性評価手法の構築、技術開発、およびそれらの検証を目的とした飛行実証が不可欠となっている。

ドローンがネットワークにつながり、各事業者が効率的に安全に多数のドローンの運航を実現することで、様々なエリアでドローンが飛び交い、活躍する社会を実現していくことを目標としている。



図 2.2.1.2-37 KDDI スマートドローンツールズ

## 1.2 実用化・事業化に向けた具体的取組

KDDI ではこれまでの上空でのモバイル通信活用の知見等の成果を活かし、上空でのモバイル通信が可能な「スマートドローンツールズ」の提供を開始したが、今後一対多運航の社会実装の本格展開に向けては様々な業種のソリューションや用途別機体と接続してサービス拡大をしていく必要がある。

各業種に必要なアプリケーションや用途別機体を全て自社開発することは不可能なため

これまで開発してきた通信や運航管理システムをベースにプラットフォームに各事業者が開発した機体・アプリケーションが接続可能なシステムを開発予定である。

本研究開発における実証を通じて対応機体やアプリケーションを研究協力企業と連携して機能拡張していく予定である。また業界や地域ごとのニーズ、必要機能をプラットフォームにフィードバックすることで運航管理システム利用ユーザーの拡大が見込まれる。

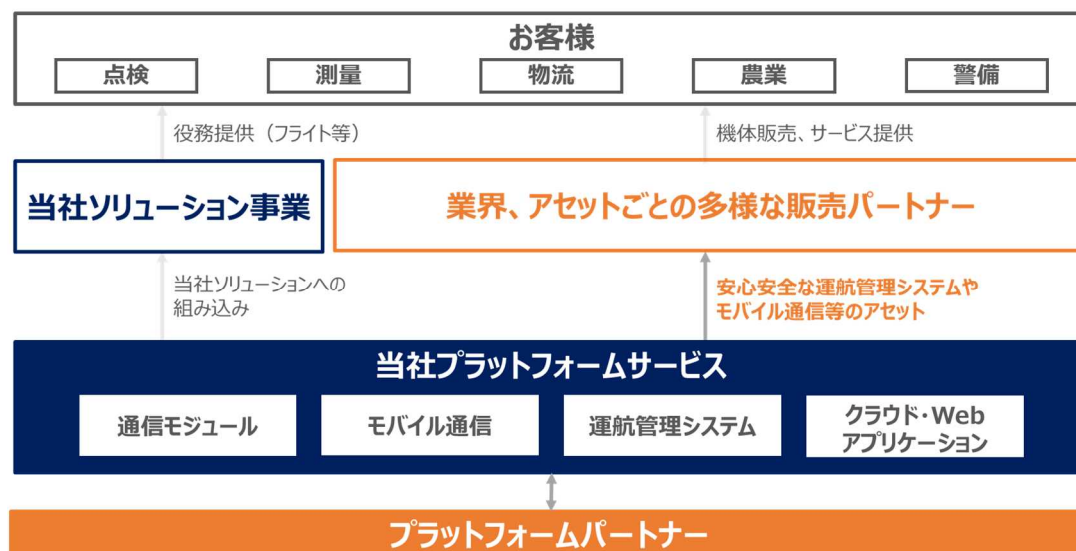


図 2. 2. 1. 2-38 スマートドローンプラットフォームの様々な業界への提供

・用途（販売予定先）

スマートドローンプラットフォームは様々な分野において活用可能なソリューションサービスである。

スマートドローンプラットフォームの活用用途例は以下のとおりである。それぞれの用途に対して最適な機体やシステムをパッケージで提供することを予定している。例えば、災害対応ではLTEを活用したドローンによる広域運航、遠隔監視が実施可能であり、販売予定先としては自治体や大規模なインフラを保有する鉄道会社等が想定され、災害時対応の効率化に寄与するものと考えられる。

2020年8月には長野県の伊那市でドローン物流の定期便の配備や2020年9月にはJPOWERと風力発電点検ドローンの配備実証を公表するなど社会実装を推し進めている。

また、将来的には下記ソリューション以外にも、このプラットフォームを活用し、多様な分野の市場開拓が可能となることが想定される。



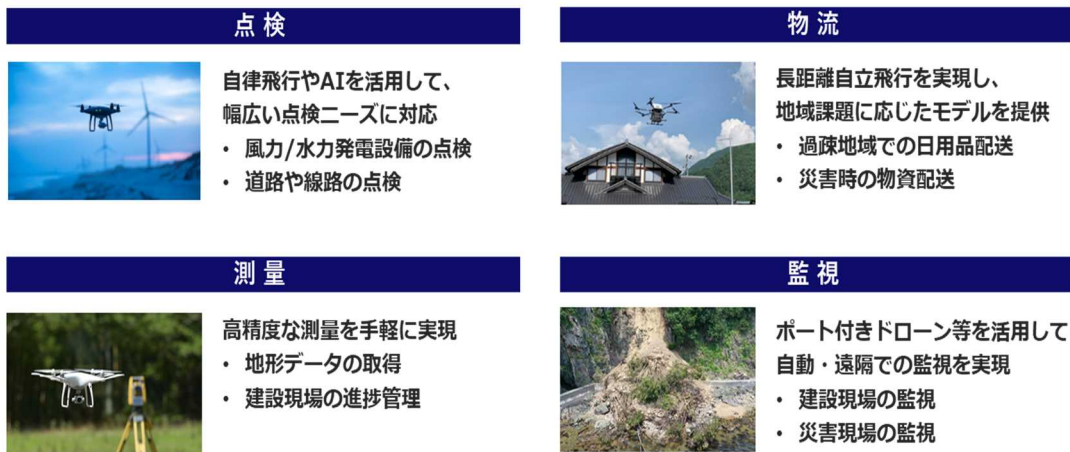


図 2. 2. 1. 2-39 スマートドローンプラットフォームの活用用途例



図 2. 2. 1. 2-40 長野県伊那市での定期ドローン物流配備や JPOWER との風力発電点検ドローン配備検証

以下 URL 参照

- ・ 国内初の自治体運営によるドローン配送事業、伊那市支え合い買物サービス「ゆうあいマーケット」の本格運用開始

<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2020/08/05/4601.html>

・JパワーとKDDI、ドローンを用いた風力発電設備の自動点検の有効性を実証

<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2020/10/07/4714.html>

また、ドローンの適用領域が幅広くソリューション提供の際には専門的な知識が求められるため自社の販売チャネルを活用した直接販売のみでなく、パートナーと協業してプラットフォームを展開する間接販売モデルを組み合わせるビジネスモデルを検討している。今後ドローンの社会実装が進むにつれ各領域に強みのある業者と協業して運航管理システムを活用するケースがより増えると思込んでいる。ドローンは法制度的にも地方から社会実装が進んでいくと予測されるが地方の小規模な会社は大規模な投資でドローンの提供環境を全て構築するのは難しい。そこでスマートドローンプラットフォーム上でニーズに即したアプリケーションを開発するだけでビジネスが可能な環境を構築する予定である。

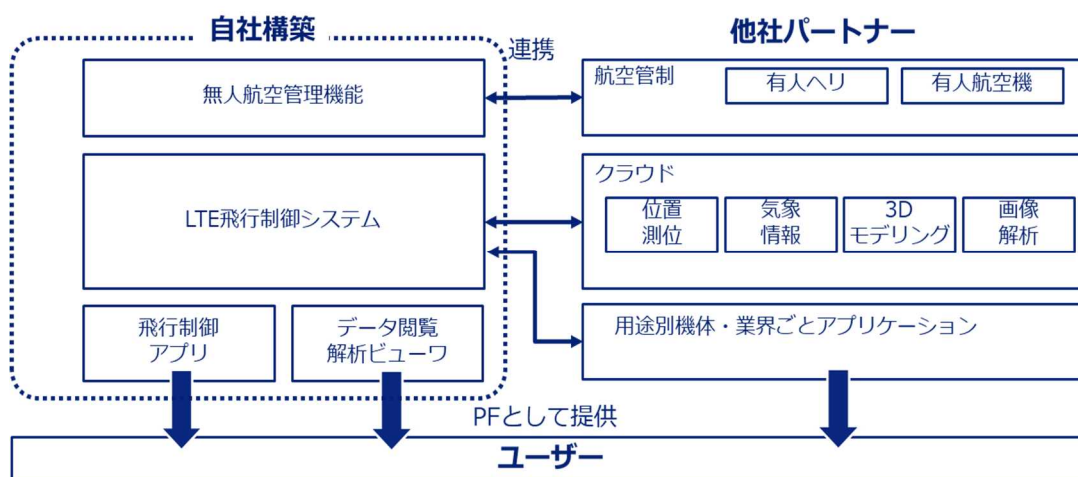


図 2.2.1.2-41 スマートドローンプラットフォームのビジネスモデル案

### 1.3 実用化・事業化の見通し

スマートドローンプラットフォームの運航管理においては、従来のローカル通信網ではなく携帯通信網を活用することが大きな特長である。本研究開発の検証に用いる携帯通信網を活用して自律飛行するスマートドローンは、広域を運航する多数のドローンの運航状況を遠隔から常に把握できる必要がある一対多運航の実現において多くの優位性を有する。

まず飛行エリアについて、遠隔からの長距離の自律飛行が可能となるため、一人のオペレーターが1拠点で複数のドローン機体を遠隔監視することが可能となる。また、安全性についても飛行可能なエリアが広いこと、ローカル通信網と比較してロストリスクが低く、遠隔操作による人件費の圧縮が可能となる。また、ネットワーク構築にあたっては、Wi-Fi構築は不要のためモジュールの搭載のみであり、コストの低減を図ることが可能となる。

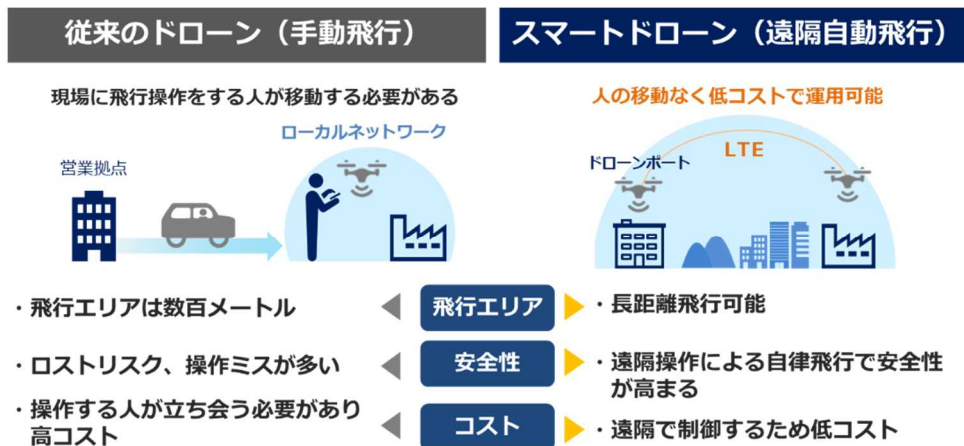


図2.2.1.2-42 ドローン運用における従来のローカル通信網活用と携帯通信網活用との特徴比較

また、携帯電波の上空利用は当初地上などの他システムとの干渉回避の観点から総務省へ通信事業者が実用化試験局免許申請して運用していたが、通信事業者が他システムとの電波干渉を回避する上空電波利用システムを導入することで申請手続きの簡素化を行う法改正が実施されており、より民間普及拡大が見込まれる。

なお、課題としては、多様な用途に応じたプラットフォームの継続的な開発や、規制等の競争環境により市場規模の不拡大や収益悪化のリスクが想定されるが、想定市場分野における徹底したリサーチを実施する。

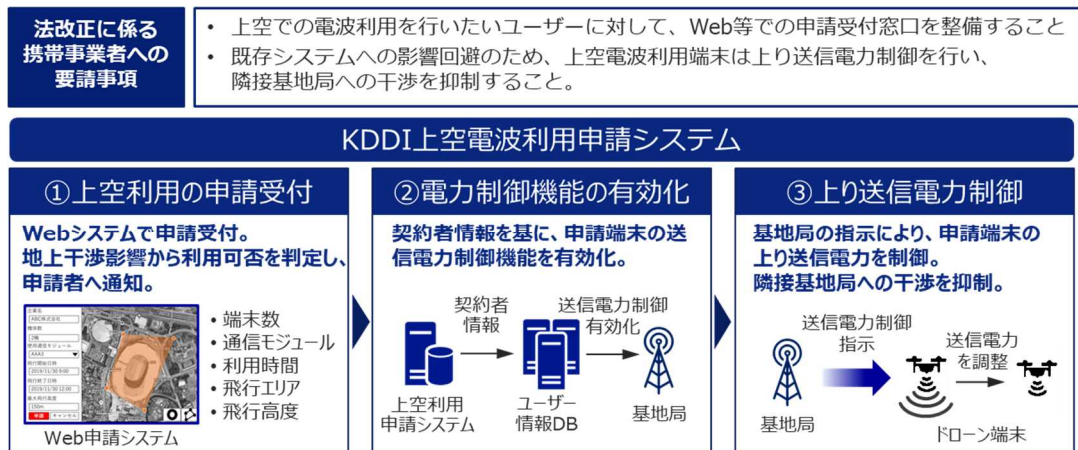


図 2.2.1.2-43 上空電波利用システム概要

今後のビジョン実現に向けたマイルストーン及び、実用化・事業化のスケジュールを下図に示す。

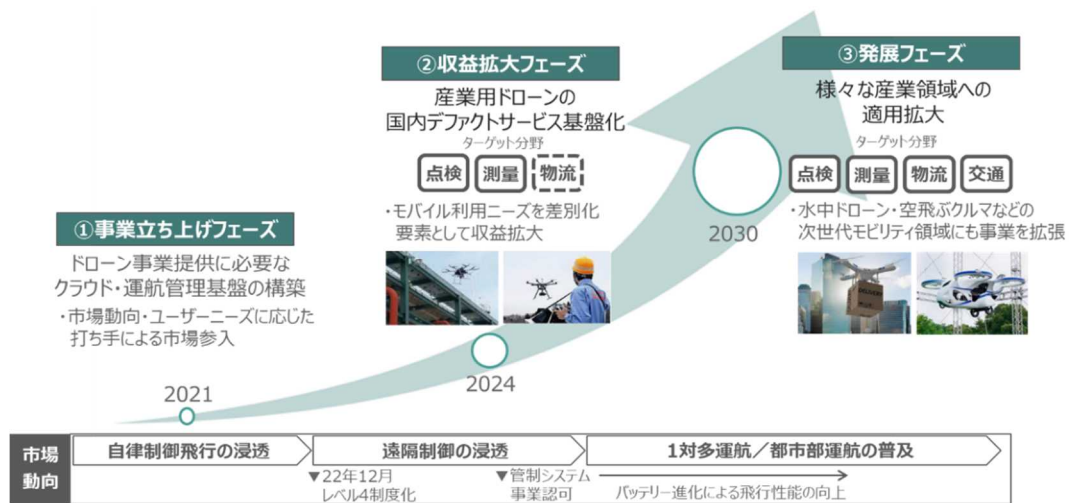


図 2. 2. 1. 2-44 ビジョン実現に向けたマイルストーン

2022年12月5日に予定されている航空法改正に伴い実現が可能となるレベル4運航を中心に今後、より多数のドローンが場所を選ばず自律的に運航する未来に向け、事業の拡大を図っていく。

## 2 研究開発項目②「警備用無人航空機の運航管理機能の開発」(実施者：テラドローン株式会社)

### 2.1 実用化・事業化に向けた戦略

現状人の手を介して行われている大半の警備業務に対してRPA (Robotic Process Automation) を推進することで徐々にロボットに業務遂行主体を部分的に移管していく必要があるということを前提とする。

警備分野での無人機の運航管理を事業化まで推し進めることを想定した場合、突発的な出動要請や緊急的な追跡要請のみに頼ってでは事業の採算性を確保できるだけの飛行数が担保できない。そのため、平常時の計画的運航における警備巡回等の業務をベースとした課金モデルを構築し、また当該警備業務において発生しうる事前評価されたリスクに応じた課金体系が一種の保険料率設定のように機能して全体としての無人航空機警備業務の事業成立を見込む。

その上で現時点研究段階にある運航管理システムをより社会実装に近づけるための具体的なステップを以下のように整理する。

表 2.2.1.2-29 事業化までのシナリオの進め方

項番	ステップ	概要	備考
1	ユースケースの机上検証	<p>警備業務の自動化に必要なユースケースを洗い出し、各ユースケースの実現性を、仮想的なシステムを想定して机上検証を行う。ブレインストーミング形式であらゆるケースを列挙する。</p> <p>具体的なユースケースとして考えられるのは、事前に設定された警備区画内を巡回警備中の無人航空機が不審な対象を発見し次第、区画範囲を越えて当該不審対象を追跡するような場面が想定される。</p>	<p>システムありきではなく、実業務に資するか否かを主軸とし、どのような機能・インプットに対するどのようなアウトプットが必要となるかを整理。</p>
2	ユースケースの有効性の整理	<p>あらゆる警備対象、警備シチュエーション、警戒レベル、等を想定してユースケースの有効性の検証を行うことでパターン毎に利点・欠点の整理を行う。ここでユースケースの網羅性に欠損がないかという点もあわせて確認する。</p> <p>具体的には、夜間の重要施設の警備のような一般的な警備ケースだけでなく、催事場上空警備時におけるテロリスト等への警戒、重要人の警備とその他傷病者対応等との優先度判断が極めて困難となるような状況、また災害発生時の緊急退避等の警備以外の用途でも必要となりうる運航管理システムとしての権能等も考慮したユースケースの検討が必要となる。</p>	<p>警備業務のみを対象としたユースケースの検証を行ったところで、他の同時発生しうる用途(点検、調査、災害対応、救命救急、運搬等)を考慮しない縦割りの検証方法では実際の社会実装に耐えられなくなることが想定される。</p>
3	ニーズの特定、ユースケースの選定	<p>整理された利点・欠点を元に、警備業務の自動化において最もニーズが高い、かつ最も検証の効果が大きくなるユースケースを選定する。</p> <p>各ユースケースの検証内容を複数包含するようなユースケースに抽象化し、現実的な実施内容に絞る。</p>	<p>全てのユースケースを実証することは不可能かつ不要であるため。</p>
4	システムの最適化	<p>選定したユースケースを検証するために必要な機能を備えた運航管理システム及び無人航空機システムの調達及び調整を行う。</p> <p>具体的にはシステムのプロトタイプ作成、既存</p>	<p>大きく分けて、すでにあるベースとなるシステムを利用するパターンと、新しく</p>

		の商用プロダクトを活用した追加機能開発、受注生産型の機体開発等を予算に応じて推進する。	システムのプロトタイプを開発するパターンがある。
5	概念実証の実施	開発したシステムを用い、実際の警備業務を想定した場所及び時間帯での実地検証を行う。無人機の運航については人為的介入の割合を極力減らし、警備業者の協力の下、警備業法や実業務に即した実施を心掛ける。	既存の業務規則や法令では規定されていない新しい概念の実証となることから、従来の規則の枠に囚われない検証を行う必要がある。
6	継続的な改善	概念実証と通して得られた課題を元に機能改善の優先順位を設定し開発に当たる。無人機関連システムを用いたユースケースの実現だけではなく、他の警報システムや周辺情報を集約するような機器とのシステムの連携の可能性も考慮に入れた機能開発方針を設定する。	本研究の成果物であるシステムを実際の警備業務の一部を代替する形で適用し、理想型からの乖離度を検証することも視野に入れる。

## 2.2 実用化・事業化に向けた具体的取組

警備向け運航管理システムの実用化に向けた具体的取組として大きく、1) 運航管理システムアーキテクチャにおける機能群の階層化、2) 警備分野に特化した運航管理機能の開発、に分けて説明する。

### 1) 運航管理システムアーキテクチャにおける機能群の階層化

運航管理システムの機能要件をベースに考える場合には必要とされない機能群のサブシステム毎の分離が、非機能要件を考慮した場合に必要となってくることを前提として考える。つまり、大量かつ高頻度のシステムトラフィックを処理しうるサーバーシステムとして構築する場合には可用性・拡張性・汎用性の担保が必然的に求められ、その実現のためにはモノリシックで重厚なシステムよりも役割や利用のされ方によってサブシステムとして分割していき、システム稼働の可用性を担保するための冗長化構成、拡張性を担保するための外部 API としての機能の切り出し、汎用性を担保するためのコア SDK の提供等が必要となる。

実際には単一の事業者のみで運用することではなく、不特定多数の運航者及び当局管理者が各々の目的で使われるのが運航管理システムであると理解する。本研究ではその運航者が利用する部分を UASO レイヤーとして機能整理し、実運航に必要なコアな飛行制御系の機能を SDK として集約した上で警備等の特殊な制御が必要な部分に関しては当該 SDK の拡張という形をとって実現を図った。またそれら運航者が個々の具体的な警備任務の遂行に



専念できるよう、それ以外の飛行計画間の十分な離隔距離の確保や飛行空域内の効率的な運航の支援、また運航者や機体毎の差異を画一的に処理し円滑な飛行申請を実現する部分についてはUASSP レイヤーとして機能を分離して開発を行った。その二つの主体をベースとし、運航に必要な補助情報の提供機能としてのSDSP、また飛行申請を審査し他の飛来する有人機の検知や他運航との干渉状態の検知を行うFIMS、それぞれの外部サブシステムとの連携を行い、エコシステム全体が相互に協調しながら機能する構成を意識して開発した。

## 2) 警備分野に特化した運航管理機能の開発

システム開発自体がゴールとならないよう、警備業務における見回り・駆けつけ等の実業務から想定される業務要件を規定し、無人航空機により代替・補完される恩恵が大きいと見込まれる部分を優先して開発を行った。特に警備業務においては他の無人航空機利用ケースとは異なり24時間常時監視するようなケースもあり、持続飛行が可能な時間が数十分程度に制限されるような無人航空機がいかに間隙なく飛行を継続できるかという点について数々の考慮工夫を必要とした。実際には複数機体による給電ポートでの交代飛行や、バッテリー消費を最小限にしながら高高度を低速で飛行する俯瞰用機体と、その指示を受け現場にいつでも急行できるように低高度を巡航する巡回用機体とに分けることで広域警備のユースケースをシステムとして実現した。

これらの具体的取組を通して得られた考察及び課題について以下に整理する。

表 2.2.1.2-30 実用化に向けた課題

項番	課題	概要
1	干渉する他事業者の発見	<p>一般的な共有空域での無人航空機の運航となると、飛行申請自体が承認され飛行計画として実施の段階に進んだ場合でも、実際には近辺で他の事業者が別目的で運航を予定していて、それぞれの飛行空域が干渉してしまうことがある。実際のフローとしては、干渉対象の発見→調整要否判断→事前の干渉回避もしくは運航中の衝突回避のための離隔距離の確保、といったものが想定される。</p> <p>単一のUASSP（運航管理事業者）が運用するシステム内では干渉対象が発見できない場合でも、複数のUASSPが各々の管理する運航情報を相互に共有することで初めて干渉対象が発見できることもある。そのためのハブとしてFIMS（飛行情報管理システム）を利用し、干渉が発生している他方のUASSPを発見し、発見後は直接当該UASSPとのリアルタイムでの運航情報の共有を図るようなInter USSのアプローチ</p>

		を仮想的に実現した。
2	通信遅延の切り分け	<p>多数の無人航空機が同時に同一空域を飛行している場合に、リアルタイムでの衝突回避を行おうとすると、それだけ精度の高い位置情報の把握が必須となってくる。無人航空機側の通信方式は様々であるが基本的には GPS で受信した位置情報は即時的に運航管理サーバーに転送される。しかし運航管理システム内ではそれら同時に受信した大量のテレメトリ情報を集約して近接度合いの計算を行い回避の要否判断を行い必要に応じて回避指示を運航者に送信する必要がある、各処理間のデータの受け渡しに数百ミリ秒程度の時間を要すると全体としては実際の無人航空機の現在位置とは乖離した位置情報が通知されてしまうことに繋がる。</p> <p>そのような通信遅延や位置情報の不一致については様々なパターンでの検証が必要となり、問題の切り分けが非常に困難となる。この解決のためにはシステム内の各ノード間でのデータの受け渡しがどのタイミングでどの順序でなされたのかというものを可視化し、一定の条件に該当した異常データを検出して運航管理者に通知する等のリアルタイムなフィードバック機能の開発が必要となると考える。</p>
3	システムインタフェースの多様化への対応	<p>複数事業者が各々の方針で採用した通信プロトコルまたはインタフェースでは、ひとたび他システムとの接続を行う際にデータの変換のための処理を間に加える必要がある、それにより処理の分岐が増えて複雑化し、またシステム間遅延の原因にもなりうる。その解決のためには各事業者が概念実証を通して得られた画一的な見解または他国で実証され標準化された通信方式を参考にして国内事業者全てが準拠すべき標準のインタフェースを確立する必要がある。</p>
4	各サブシステムの役割の線引き	<p>運航管理システムアーキテクチャにおける主な主体である FIMS・UASSP・UASO・SDSP のそれぞれのレイヤーでどの機能を持ち、反対にどの機能を持たないか、ということが議論されないまま個々がより多くの機能を持つようとして重複した開発がなされている部分が少なからずある。特に UASO が担うべき飛行制御に近い部分の機能を UASSP が持ちすぎてしまっていたり、SDSP ですでに提供している機能を FIMS がさらに代替して提供しようとしてしまったり、というものが挙げられる。</p> <p>各サブシステムが自律的に機能し他システムの不足部分を補完してシステム全体が効率的かつ協調的に機能するようなシステム毎の役割の明確な線引きが必要となってくる。</p>
5	突発的事象	無人航空機の運航時に発生する突発的事象の中には、想定内の準正常



への対応	<p>的な事象もあれば全く想定外の異常と捉えられるような事象も存在する。平常運航時から想定内の突発的事象が発生する場合には可及的速やかに緊急フェーズに移行し、事前に設定しておいた選択肢を用いて円滑に対処する。またそのように円滑に対処できる割合を継続して増やしていく必要がある。どうしても想定から外れてしまうような災害等の事態に関しては緊急用務空域のような特例を敷き、そこでそれぞれの運航にどのような対応が求められるのかを迅速に指示、対応状況の即時把握が要求される。そのような場合に各無人航空機の任務間の優先順位を明確に決定できるルールの設定、またそのための関係者間でのコンセンサスの醸成が必要となる。</p>
------	--

### 2.3 実用化・事業化の見通し

警備業務が比較的秘匿性の高い業務であることから、無人航空機運航管理システムを用いた自動化及び事業化となるといくつかの外的課題に直面する。以下に想定される課題とそれぞれに対する解決方針を列挙する。

表 2.2.1.2-31 無人航空機警備の実現を阻みうる課題とその解決方針

項 番	課題	解決方針
1	なりすまし操縦、乗っ取り	<p>明確に悪意を持ってパブリックセーフティを脅かすなりすまし操縦、乗っ取り等に対してはサイバーセキュリティ対策、および対無人航空機システム（C-UAS）等の導入検討を行う。</p> <p>警備業務に当たる無人航空機に関しては厳重な事前のチェックを義務化し、また実際の運航中に発信中の電文には常に当局での解読が可能な暗号を含める等の措置を図ることで、悪意のある第三者が警備目的と偽って制限空域に侵入する等の事態を未然に防ぐ等の対応を行う。</p>
2	身元不明の野良ドローン	<p>機体登録制度および操縦ライセンス制度の導入によって最も解決が見込める分野であり、リモート ID 信号情報を辿ることにより操縦者の身元特定までが可能となる。</p> <p>無人機購入から飛行実施までの一連の流れの中で、各運航者に対して登録義務化の法令が施行されたことの注意喚起を徹底して行っていくことが求められる。</p>
3	許可基準逸脱ドローン	<p>飛行許可の申請内容とは異なる、あるいは申請された基準および範囲を逸脱する形で運航してしまった場合には、逸脱の程度に対して閾値を設ける等の段階的な検知・警報の仕組みを設ける必要がある。</p> <p>また、飛行許可を得ている運航であってもテレメトリ情報の発信頻度が緩慢であったり、あるいは発信必須項目の欠落等の未達事項がある場合にも、飛行許可基準逸脱の場合と同様に運航の傾向分析結果を元に運航者や機体製造元に対するフィードバックを行う仕組みを整える必要がある。</p>

このように飛行中の無人航空機の身元や目的の確認、そして必要に応じた追跡や無力化等の措置を図る手段としての警備システムが求められることとなる。すなわち本研究の社会的意義は十分に大きく、運航管理システムの事業化の見通しを考えた場合に相応の予算の確保も可能となると考える。

### 6.2.1.3 2) 運航管理機能の開発（災害）：

#### 複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発

（実施期間：3年間（2017年度～2019年度））

（実施者：株式会社日立製作所 国立研究開発法人情報通信研究機構）

#### （1）事業の背景・意義（目的・概要）

ドローンに代表される無人航空機は、物流や災害対応、インフラ点検、報道、農業等の様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、日本国内のみならず、諸外国においても利活用分野拡大のための制度設計、技術開発及び標準化活動が活発に行われている。

日本国内においても、「2016年4月28日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において、小型無人機の利活用と技術開発のロードマップが策定されており、産業活性化の牽引力となることが期待されている。

一方で、今後は同一空域内で複数の無人航空機が飛び交うケースが増加し、運行の安全性の確保と効率向上を図るために、無人航空機の運航管理が必要となる。

物流分野では離島や山間部、更には都市部での荷物配送のニーズがあり、災害分野では発災直後に複数の有人航空機／無人航空機の同時運用のニーズがある。

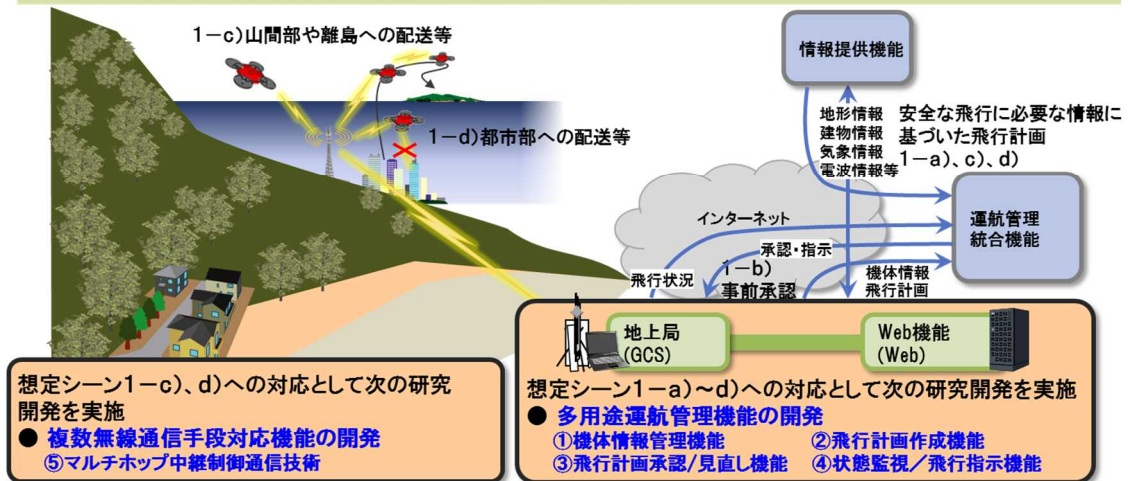
これらについては、空域を飛び交う無人航空機の増加に伴う運航管理機能の高度化が必要であると共に、長距離飛行や地形起伏／建物の影響による通信途絶への対応が必要である。

そこで、本研究開発では、複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発と実用化により、「安全かつ広域をカバーする無人航空機活用機会の創出」及び「国際競争力を有する運航管理技術の確立と事業化により、日本経済再生・復興の加速及び省エネルギー社会を実現すること」を目的とする。

本事業は、多数の無人航空機活用事業者が利用する複数の機体が、同一空域内で飛行することを想定し、無人航空機の安全な飛行支援のために必要となる機能の研究開発を行うと共に、福島ロボットテストフィールド（福島 RTF）と積極的に連携した研究開発機能の評価・検討を行う。本事業における想定運用シーンを以下に示す。

想定シーン1 物流:郵便物、荷物の無人航空機による配送

- a)安全な飛行に必要な情報(地形、建物、気象、電波情報等)に基づく飛行計画の作成
- b)無人航空機は、事前に承認された計画に従い飛行
- c)地形の起伏が大きい山間部や、離島への配送等、目視外の長距離飛行
- d)建物等、衝突リスク、通信遮蔽リスクのある都市部への配送等



想定シーン2 災害対応

- a)被災地に向けて情報収集、捜索・救助、物資輸送等の有人/無人航空機が多数出動し、飛行計画に割込が発生
- b)被災地近辺空域では、緊急活動と平常運用の機体が乱舞する為、空中での接触や落下の危険への対応が必要
- c)被災により中央の管制センターとの通信が遮蔽された場合の飛行状況の把握や運航統制への対応が必要

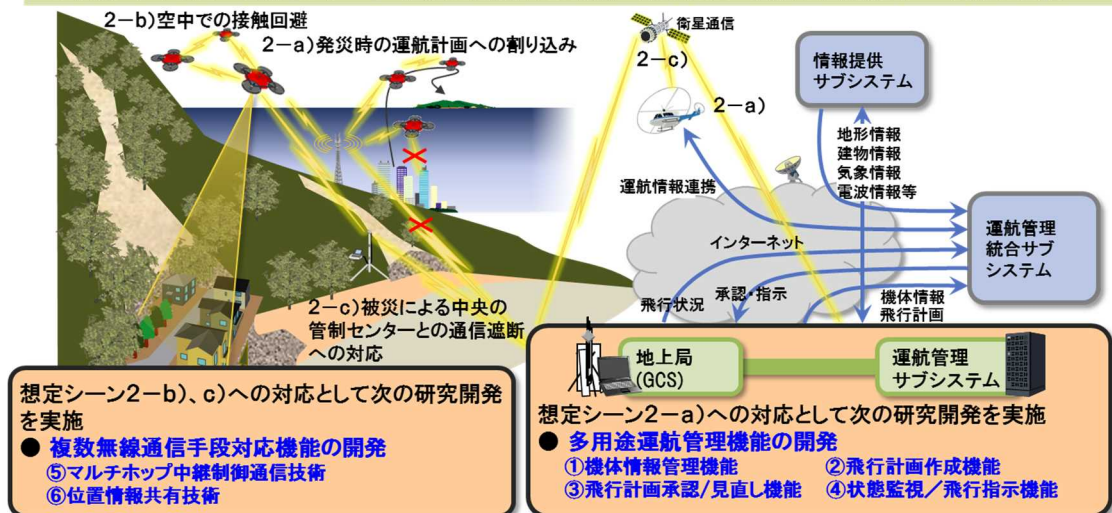


図 2.2.1.3-1 想定運用シーン

これらの想定運用シーンに対して、本事業では2つのサブテーマ毎に研究開発を行う。

1) 多用途運航管理機能の開発

多用途運航管理機能の研究開発では、①機体情報管理機能、②飛行計画作成機能、③飛行計画承認/見直し機能、④無人航空機の状態監視/飛行指示機能の開発を行う。各機能の開発にあたっては、用途、無線種別又は地域等による相違、及び国際的な整合を考慮した研究開発を行う。

これらの開発により、GCS（Grand Control Station：地上局）から送信される現況情報と、情報提供機能から得られる安全飛行に必要な情報（飛行情報、機体情報、地図情報、気象情報、電波情報、空域監視情報、ドローンポート情報等）をクラウド連携にて管理し、帳票出力及び地図上にマッピングすることで、飛行計画の作成を可能とする。また、作成した飛行計画は、運航管理統合機能に Web 経由で承認依頼を行い、承認結果及び指示内容に従い、修正を行うことを可能とする。飛行時には、飛行状態及び気象情報等をリアルタイムで監視し、運航管理統合機能にて情報共有の上、飛行時の指示を受信し、無人航空機の安全な飛行を可能とする。

開発に際しては、運航管理統合機能及び情報提供機能と連携を図りながら、福島 RTF での検証・評価を行い、その評価結果を基に、実用化に向けた改修・改良を随時実施していく。

## 2) 複数無線通信手段対応機能の開発

複数無線通信手段対応機能の研究開発では、マルチホップ中継制御通信技術と位置情報共有技術の開発を行う。

これらの実現により、無人／有人地帯での目視外飛行（レベル3および4）を実現するための安全かつ確実な運航管理機能の実現に必須となる基盤技術を確立し、携帯電話ネットワークがカバーしていない山間部等や、災害時に輻輳や基地局障害により携帯電話ネットワークが使用困難な状況においても、無人航空機の制御と状態監視を可能とする。

遅延時間保証型でかつ信頼性の高いマルチホップ中継制御通信システムを開発し、フィールドにおいて無人航空機を飛行させて実証評価を行う。

## (2) 研究開発目標と根拠

研究開発を推進することにより、2017年度の目標として、情報提供機能の利用及び運航管理統合機能と連携した多用途運航管理機能のプロトタイプ開発に対する概ねの研究開発を終え、以降の2019年度までの研究開発期間内で、テストフィールドでの実証により安全性と受容性の評価を行い、実用性の高いシステムを構築する。以下に、各研究開発テーマの目標を示す。

### 1) 多用途運航管理機能の開発

物流、災害対応及びその他の分野で活用する多用途運航管理機能を実現するため、機体情報管理機能、飛行計画作成機能、飛行計画承認／見直し機能、無人航空機の状態監視／飛行指示機能について、以下の目標を設定し、研究・開発を進める。

表2. 2. 1. 3-1 多用途運航管理機能の開発目標

完了年度	目標	選定根拠
2017年度 中間目標	運航管理システムアーキテクチャ、セキュリティ強度の確保方法及び共通インタフェース仕様の策定	運航管理システムの全体設計と本機能は非常に密接な関係があるため、各々の研究開発テーマを担当する事業者が共同で検討を行う必要がある。
	研究開発機能のシステム設計（概要設計及び詳細設計）	
	運航管理統合機能や情報提供機能とのインタフェース情報の明確化・具体化	以降のプログラム開発を行うために、連携する機能とのインタフェース情報はシステム設計段階で策定しておく必要がある。
	物流事業者や災害対応事業者、インフラ点検事業者等の複数分野の事業者との意見交換を行い、ニーズ把握と設計内容への反映	無人航空機の活用が想定される実事業者のニーズを早期に把握し、設計内容へ反映する必要がある。また、事業分野により異なるニーズが発生する可能性があるため、システム設計段階でこれらのニーズを整理しておく必要がある。
プロトタイプ開発・検証		
2018年度 中間目標	システム設計内容を基に、プログラム開発	ロボットテストフィールドにおける実証までに、プログラムを開発しておく必要がある。
	運航管理統合機能や情報提供機能と連携して福島RTFでの実証・評価	実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出を行い、最終年度の改修・改良作業にインプットする必要がある。
2019年度 最終目標	2018年度の実証評価結果を基に、HMI及び処理方式の改良	本事業終了後に実用化されることを見込み、2018年度までの検証・実証の評価結果（利用者、運用者の意見取込み含む）を取込み、実運用に耐えうるシステムを完成させる必要がある。
	複数無線通信手段対応機能と連携し、複数ドローンによる福島RTF周辺で10km以上の飛行実証と評価	

## 2) 複数無線通信手段対応機能の開発

本技術は、山や建物等の遮蔽により目視外かつ直接電波見通し外となった状況でも、地上設置あるいは複数の無人航空機に搭載した中継局が互いに連携し、途切れることのない連続的な無人航空機の制御・監視を可能とする。遅延時間を制限するため、ホップ数は最大3ホップまでとする。

本システムは、物流や災害対応等で想定されている距離である対向で1km~10km程度の伝搬距離（周波数と送信出力による）が期待でき干渉も受けにくい特定小電力無線局（UHF帯）や無人移動体画像伝送システム局（VHF帯）等の利用を想定する。地上から制御コマンドを送信してから制御対象となる無人航空機がこれをマルチホップ経由で受信し、さらにそのテレメトリ信号が同じくマルチホップ経由で地上まで到達するまでの3ホップの場合の合計遅延時間は100ミリ秒以下とする。これは、時速70kmで飛行している場合に約2m進む時間であり、一般的なGPSによる位置誤差とほぼ同程度のオーダーである。

また位置情報共有のための無線通信システムでは、操縦者自身の制御局あるいは無人航空機、あるいは本システムを搭載した有人航空機を中心として半径2km以上の範囲における5機以上の無人航空機や有人航空機の位置や高度、識別情報等の情報を1秒に1回以上の頻度で1つの画面に表示することを可能とする。

上記を実現するためのステップとして、以下の目標を設定し、研究・開発を進める。

表2. 2. 1. 3-2 複数無線通信手段対応機能の開発目標

完了年度	目標	選定根拠
2017年度 中間目標	研究開発システムの設計 (マルチホップ中継制御通信)	山や建物等の遮蔽により目視外かつ直接電波見通し外となった状況でも、地上設置あるいは複数の無人航空機に搭載した中継局が互いに連携し、途切れることのない連続的な無人航空機の制御・監視を可能とする必要がある。以降の試作評価に先立ち、システム設計を行う必要がある。
	研究開発システムの設計 (位置情報共有)	上空での衝突防止という観点で、異なる事業者が運用する無人航空機間や無人航空機とその近傍を飛行する有人航空機との間での位置情報等の共有が必要である。以降の試作評価に先立ち、システム設計を行う必要がある。
2018年度	研究開発システムの試作評価	設計結果に基づく試作評価により、



中間目標	(マルチホップ中継制御通信)	課題抽出を行う。
	研究開発システムの試作評価 (位置情報共有)	設計結果に基づく試作評価により、 課題抽出を行う。
	ロボットテストフィールド実証 (マルチホップ中継制御通信)	試作システムでの課題を解決しロボ ットテストフィールドでの実証評価 を行う。
	ロボットテストフィールド実証 (位置情報共有)	試作システムでの課題を解決しロボ ットテストフィールドでの実証評価 を行う。
2019 年度 最終目標	実証評価結果に基づく改良	本事業終了後に実用化されることを見込み、2018 年度までの検証・実証の評価結果を取込み、実運用に耐えるシステムを完成させる必要がある。
	ロボットテストフィールドによる再 実証と評価	

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

スケジュール：

表 2.2.1.3-3 スケジュール

項目	2017年度				2018年度				2019年度			
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
<b>&lt;1&gt; 多用途運行管理機能</b>												
①機体情報管理機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用者ニーズ把握、設計内容反映、システム設計、プロトタイプ開発</li> <li>・検証</li> <li>・プログラム開発</li> <li>・テストフィールド検証</li> <li>・改良、及び、再実証・評価</li> <li>・報告書作成</li> </ul>											
②飛行計画作成機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用者ニーズ把握、設計内容反映、システム設計、プロトタイプ開発</li> <li>・検証</li> <li>・プログラム開発</li> <li>・テストフィールド検証</li> <li>・改良、及び、再実証・評価</li> <li>・報告書作成</li> </ul>											
③飛行計画承認／見直し機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用者ニーズ把握、設計内容反映、システム設計、プロトタイプ開発</li> <li>・検証</li> <li>・プログラム開発</li> <li>・テストフィールド検証</li> <li>・改良、及び、再実証・評価</li> <li>・報告書作成</li> </ul>											
④無人航空機の状態監視／飛行指示機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用者ニーズ把握、設計内容反映、システム設計、プロトタイプ開発</li> <li>・検証</li> <li>・プログラム開発</li> <li>・テストフィールド検証</li> <li>・改良、及び、再実証・評価</li> <li>・報告書作成</li> </ul>											
<b>&lt;2&gt; 複数無線通信手段対応機能の開発</b>												
⑤マルチホップ中継制御通信技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用者ニーズ把握、設計内容反映、システム設計、プロトタイプ開発</li> <li>・検証</li> <li>・試作及び評価</li> <li>・テストフィールド検証</li> <li>・改良、及び、再実証・評価</li> <li>・報告書作成</li> </ul>											
⑥位置情報共有技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>利用者ニーズ把握、設計内容反映、システム設計、プロトタイプ開発</li> <li>・検証</li> <li>・試作及び評価</li> <li>・テストフィールド検証</li> <li>・改良、及び、再実証・評価</li> <li>・報告書作成</li> </ul>											

実施体制：

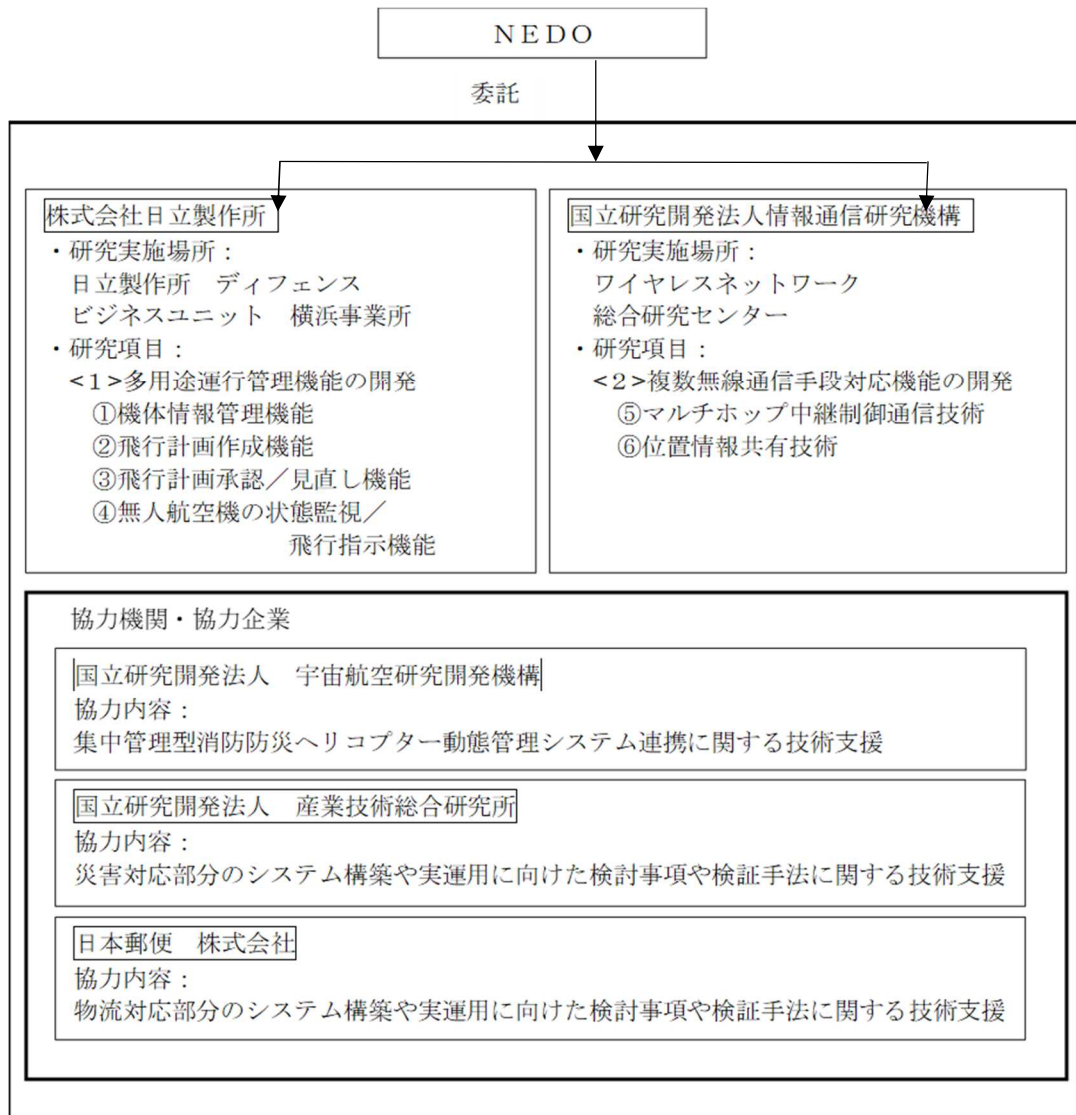


図 2.2.1.3-2 実施体制

#### (4) 研究開発の達成状況

##### 1) 多用途運航管理機能の開発

最終目標	成果	達成度	備考
実証評価結果を基に、HMI 及び処理方式の改良	機体情報管理、飛行計画作成機能、飛行計画承認／見直し機能、無人航空機の状態監視／飛行指示機能について検証、改修を実施。 2019年10月及び2020年1月に実証実験にて有効性を確認した。	○	
複数無線通信手段対応機能と連携し、福島 RTF 周辺で 10km 以上の複数ドローンによる実証と評価	RTF において 2019 年 10 月及び 2020 年 1 月に実証実験を行った。10 月の実験では総延長 10km の区間において 5 機のドローンを飛行させ、それらのテレメトリ信号を受信し、多用途運航管理機能に接続し、そのモニタ上にドローンが表示できることを確認した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

##### 2) 複数無線通信手段対応機能の開発

最終目標	成果	達成度	備考
実証評価結果を基づく改良	長距離化の改修を実施した。また改修された多用途運航管理機能との連携機能に対応できるようインタフェースの改良を行った。	○	
ロボットテストフィールドによる再実証と評価	ロボットテストフィールドにおいて 2019 年 10 月及び 2020 年 1 月に多用途運航管理機能と連携した再実証実験を行った。10 月の実験では総延長 10km の区間において 5 機のドローンを飛行させ、それらのテレメトリ信号を受信し、多用途運航管理機能に接続し、そのモニタ上にドローンが表示できることを確認した。また 169MHz 帯を用いた場合は、地形の起伏や構造物等にもなう障害物を超えてドローンへのコマンド送信とテレメトリ受信を行うことに成功した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (5) 成果と意義

### 5.1. 研究開発項目①「多用途運航管理機能の開発」(日立製作所)

運航管理システム開発推進委員会にて策定された運航管理コンセプト/アーキテクチャを基に多用途運航管理機能のプログラム開発を実施した。また運航管理統合サブシステム、情報提供サブシステムとのインタフェースにおいても、委員会にて策定された共通のインタフェースに準拠し、多用途運航管理機能の開発を行った。準拠した運航管理アーキテクチャを以下に示す。

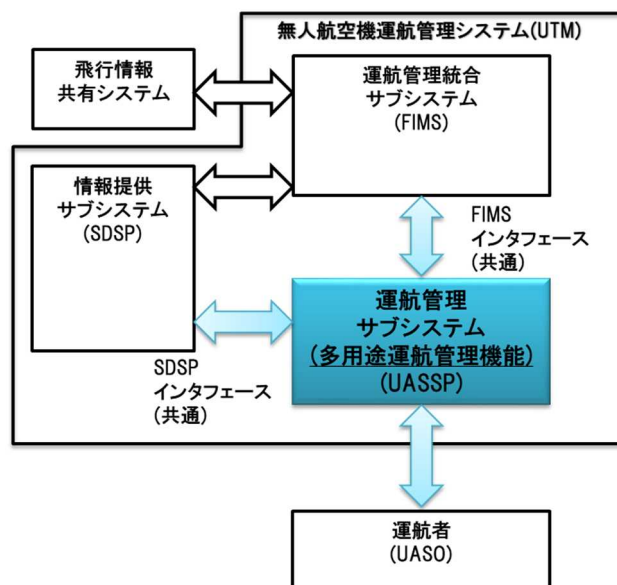


図 2.2.1.3-3 運航管理アーキテクチャ

多用途運航管理機能を開発する上で、以下のサブ機能の開発を行った。

#### (1) 機体情報管理

無人機の機体情報には、事前に申請され、情報提供サブシステムで管理及び共有される情報と、飛行時の情報がある。

事前に申請される情報としては、無人航空機の種類、型式、性能に関する情報、積載物に関する情報、個別の機体を識別する記号、所有者及び利用者に関する情報がある。

本機能については、運航管理システム開発推進委員会で策定されたシステムアーキテクチャ及び共通インタフェースから機体情報が対象外とされたため、情報提供サブシステムとは未連携とし、多用途運航管理機能内部にて管理可能とするよう開発した。

なお、機体情報の用途としては、運航管理統合サブシステムへの飛行計画の承認申請、現況表示において、共通インタフェースにて使用した。

#### (2) 飛行計画作成機能

無人航空機の飛行情報には、事前に(飛行前)に申請し、情報提供サブシステムで管理及び共有される情報、飛行中に無人航空機本体及びGCSから送信される情報(高度、位置、速度、飛行時間等)、飛行後に報告する飛行実績に関する情報がある。

本機能では、飛行計画作成支援のため各サブシステムから以下の情報を取得し、地図上に重畳表示する機能、飛行計画の登録、変更、削除を行う機能、作成した飛行計画が飛行禁止区域、他飛行計画等との干渉がないことの検証を行う機能の開発を行った。

＜各サブシステムからの取得情報＞

- ・ 情報提供サブシステム：地図情報、気象情報
- ・ 運航管理統合サブシステム：飛行禁止空域及び他 UASSP 飛行計画情報

飛行計画の作成については、ユーザビリティを向上するため、飛行計画を地図上で作成可能とし、飛行計画を作成する上で必要となる情報を参照可能とする UI 設計とした。

飛行計画を作成する上で必要な情報としては、情報提供サブシステムの共通インタフェースで公開されている地図情報、気象情報(風速、降水量)、運航管理統合機能より共通インタフェースで提供される飛行禁止空域情報、他 UASSP 飛行計画情報となる。

これらの情報を参照し、飛行計画の予定経路を作図し、飛行計画名、飛行予定時刻、使用機体等の飛行計画の作成に必要な情報を入力することで飛行計画を容易に作成可能とした。本機能における UI の例を下図に示す。



図 2.2.1.3-4 飛行計画作成 UI の例

飛行計画の検証としては、飛行計画の作成時において、多用途運航管理機能内で登録されている飛行計画と飛行禁止空域と干渉がないことを飛行計画作成前に検証することを可能とした。本検証機能で干渉がないことが確認できた場合に、飛行計画を作

成することができる。

運航管理統合サブシステムへの飛行計画の申請前に、飛行計画と飛行禁止空域の干渉を事前検証することにより、運航管理統合サブシステム内での干渉判定の処理負荷について軽減することができた。

### (3) 飛行計画承認／見直し機能

作成した飛行計画は、運航管理統合サブシステムに、Web 経由で承認依頼を行い、承認・否認の結果及び指示内容に従い、飛行計画の修正を行う必要がある。

本機能では、飛行計画の承認申請を行う機能、依頼した飛行計画に対する承認結果及び指示内容を受領する機能の開発を行った。受領した情報を基に飛行計画を修正する機能については飛行計画作成機能を利用した。

飛行計画の承認状況を把握するため、作成した飛行計画については、飛行計画の一覧表示により管理を可能とし、未申請の飛行計画については、UI 操作により、運航管理統合サブシステムへ承認申請を可能とした。

承認結果については、運航管理統合サブシステムにて判定された結果を受信し、UI 上に反映し、利用者から確認可能とした。

承認結果を反映した UI の例を下図に示す。

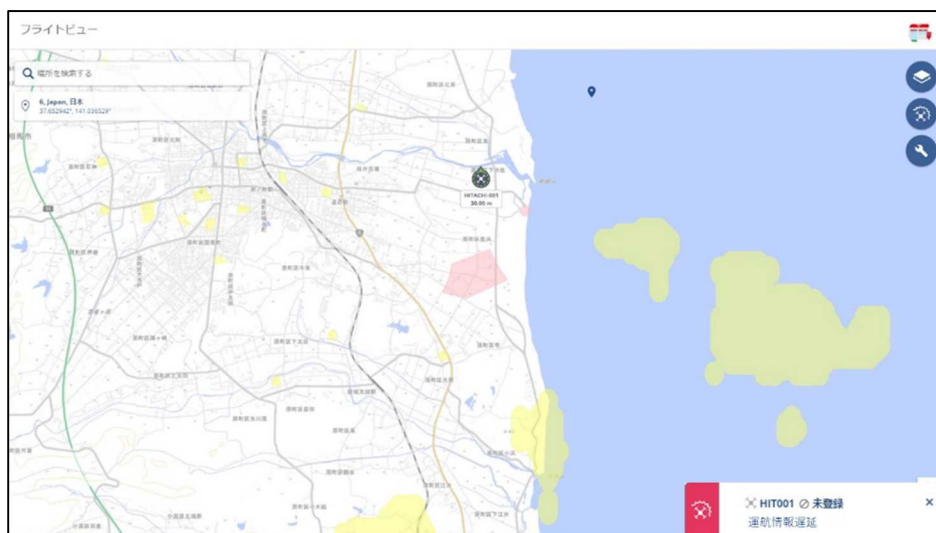
編集	運航計画名	機体	操縦者	開始時刻	終了時刻	離陸時刻	状態	承認状況	外部承認状況	承認状況
	サンプル飛行計画	HITACHI-001 - 機体RTF 配達機1		2020/01/13 10:00:00	2020/01/13 10:30:00	0:30:00	発行済み	地上	PR-00000933	許可
	PR-00000933	HIT-047A1	Contact the Ministry c	許可	自動	2020/01/10 10:01:43	Hitachi 2020/01/10 10:01:46 : 運航管理統合サブシステムに承認されました Hitachi 2020/01/10 10:01:43 : 運航管理統合サブシステムへ承認依頼を送信しました			
	デモ飛行計画2	HITACHI-002 - 機体RTF 配達機2		2020/01/01 14:23:00	2020/01/01 14:23:04	0:00:04	発行済み	地上	PR-00000922	許可
	デモ飛行計画1	HITACHI-001 - 機体RTF 配達機1		2020/01/01 14:14:24	2020/01/01 14:15:41	0:01:17	発行済み	地上	PR-00000921	許可
	デモ1226-2	DEMO-1226 - I 日立太郎1226 デモユー1		2019/12/26 09:38:59	2019/12/26 10:39:04	1:00:05	発行済み	地上	PR-00000932	未申請
	デモ飛行	デモ機 - DJI - N 太郎 日立		2019/12/25 19:07:57	2019/12/26 19:08:05	24:00:08	取り消し済み	地上	PR-00000928	キャンセル
	デモ飛行計画機体2	HITACHI-002 - 機体RTF 配達機2		2019/12/20	2019/12/26	15:58:03	発行済み	地上	PR-00000927	許可

図 2. 2. 1. 3-5 飛行計画承認結果 UI の例

### (4) 無人航空機の状態監視／飛行指示機能

無人航空機の飛行中における機体情報(位置情報、障害情報など)を収集し、地図上に重畳表示し、監視する機能、収集した機体情報を運航管理統合サブシステムへ通知

する機能の開発を行った。重畳表示した UI の例を下図に示す。



※画像データ出典:国土地理院 (<http://www.gsi.go.jp>)

図 2. 2. 1. 3-6 無人航空機の状態監視 UI の例

状態監視にて表示する地図上には、飛行計画作成の地図と同様に飛行禁止空域、気象情報等を表示する。重畳表示する情報の一覧を下表に示す。

表 2. 2. 1. 3-4 重畳表示一覧

#	名称	情報元	説明
1	飛行禁止エリア	FIMS	運航管理統合サブシステムにて飛行禁止として判断されたエリア。
2	飛行注意エリア	SDSP	運航管理統合サブシステムにて飛行注意として判断されたエリア。
3	地図情報	SDSP	地図上で飛行に注意が必要な施設等の情報。
4	気象(風速)情報	SDSP	風速の実況情報。
5	気象(降雨量)情報	SDSP	降雨量の実況情報
6	他 UASSP 飛行計画情報	FIMS	他 UASSP の飛行計画情報。
7	ドローンポート、離着陸ポイント	地上局	地上局より事前に入手したドローンポート及び離着陸ポイントの情報。

また機体の位置情報より他無人航空機、飛行禁止空域との近接状況、飛行計画からの逸脱監視を行うとともに、運航管理統合サブシステムより通知された警報情報を受信し、運航者に対して注意喚起する機能の開発を行った。

UI 上に表示する警報の一覧を下表に示す。



表 2.2.1.3-5 警報対象一覧

#	警報名称	警報通知元		警報の詳細	ユーザの対処
		UASSP	FIMS		
1	地表接近	—	○	飛行中の無人機が地表に接近した場合に通知される。	UAの飛行状況を確認する。
2	制限高度超過	—	○	飛行中の無人機の飛行高度が制限高度に接近した場合に通知される。	UAの飛行状況を確認する。
3	飛行禁止エリア侵入	○	○	飛行中の無人機が飛行禁止エリアおよび飛行注意エリアに接近した場合に通知される。	UAの飛行状況を確認のうえ、回避行動を実施すべきか判断する。
4	UAS間コンフリクト	○	○	機体同士のコンフリクトに対する警報。	UA及び周辺の飛行状況を確認のうえ、回避行動を実施すべきか判断する。
5	飛行計画逸脱	○	○	飛行中の無人機が以下の飛行計画から逸脱した場合に通知される ・申請日時逸脱 ・申請経路/エリア逸脱	特別な許可がある場合や緊急時を除き、申請日時逸脱であれば速やかに飛行中止すべきか判断し、経路/エリア逸脱であれば経路/エリア内飛行に留まるよう飛行制御すべきか判断する。
6	有人機間コンフリクト	—	○	有人機と無人機の飛行中コンフリクトが発生した場合に通知される。	UAの飛行状況及び周辺の飛行状況を確認のうえ、回避行動の実施判断を行う。
7	地表障害物接近	—	○	飛行中の無人機が地表障害物（建物等）に接近した場合に通知される。	UAの飛行状況を確認する。

#	警報名称	警報通知元		警報の詳細	ユーザの対処
		UASSP	FIMS		
8	気象警告	—	○	飛行中の無人機が気象警報領域とコンフリクトした場合に通知される。	UAの飛行状況を確認のうえ、緊急着陸の要否判断を行う。
9	機体ロスト	○	—	地上局からの現況情報の受信が一定時間以上ない場合に通知される。	UAの飛行状況を確認のうえ、緊急着陸の要否判断を行う。
10	機体異常	○	—	地上局からの現況情報の受信にて機体ステータスが異常である場合に通知される。	UAの飛行状況を確認のうえ、緊急着陸の要否判断を行う。

また、各種警報情報のうち、飛行禁止エリア侵入、UAS 間コンフリクト、飛行計画逸脱での衝突判定の考え方について、図 2.2.1.3-7、表 2.2.1.3-6 に示す。

NMAC をコンフリクト判定時点で無人機が存在する可能性がある範囲とし、コンフリクトの回避行動をするために要する時間を考慮した範囲を CA と定義して、発出する警報のレベル判定に用いた。警報レベルと重要度の関係を表 2.2.1.3-7 に示す。重要度が高い場合には、機体の運航者に即時対応を促すものとする。

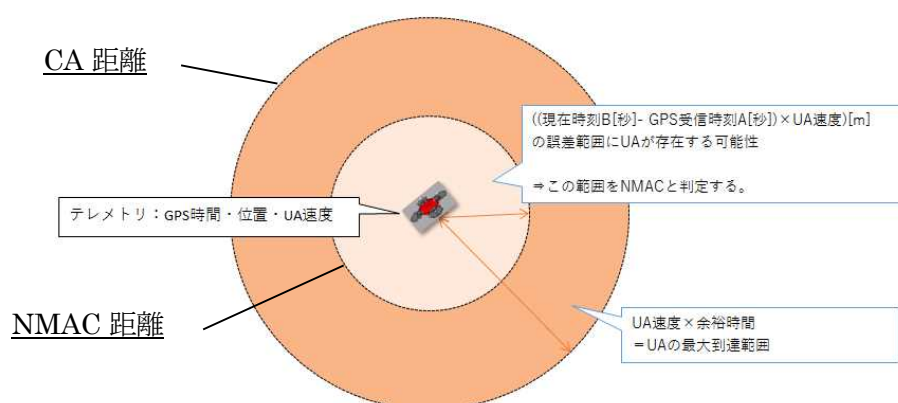


図 2.2.1.3-7 NMAC/CA の考え方

表 2.2.1.3-6 各警報種別における警報の通知方針

警報種別		判定 範囲	警報通知の方針	警報 レベル
飛行禁止エリア 侵入		CA	飛行禁止エリアに接近しているため、回避行動のための警報を通知する。	warning
		NMAC	飛行禁止エリアに侵入したものとし、critical レベルで警報を通知する。	critical
UAS 間コンフリクト		CA	無人機同士が接近しているため、回避行動のための警報を通知する。	warning
		NMAC	無人機同士が衝突したものとし、critical レベルで警報を通知する。	critical
飛行 計画 逸脱	申請日 時の逸 脱	—	飛行計画申請日時からの逸脱しているため警報を通知する。	critical
	申請経 路・エ リアの 逸脱	CA	申請経路・エリアの範囲外に接近しているため、回避行動のための警報を通知する。	warning
		NMAC	申請経路・エリアを逸脱したものとし、critical レベルで警報を通知する。	critical

表 2.2.1.3-7 警報レベル一覧

#	警報 レベル	名称	重要度
1	00	normal	低 ↑
2	10	informational	
3	30	notice	
4	50	warning	↓ 高
5	70	alert	
6	90	critical	

## (5) 評価

本実証実験において、5機の無人航空機を実際に飛行し、10km以上の長距離飛行実証において、多用途運航管理機能の再評価を行った。

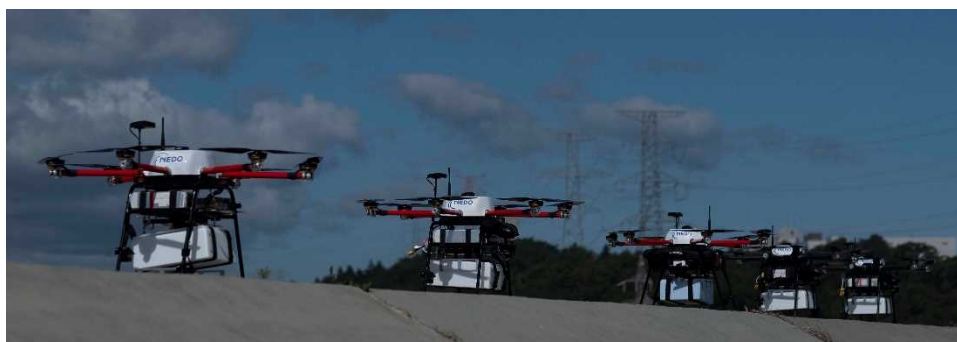


図 2.2.1.3-8 実証時の使用機体

### ① 多用途運航管理機能による飛行計画の作成・申請

本実証実験において、5機分の飛行計画をUI操作により、作図を行い、飛行開始時刻、機体情報管理機能で登録された機体情報等を入力することで、容易に飛行計画を作成可能であった。

飛行計画作成の際には、2018年度の実証と同様に情報提供サブシステムからの気象情報(風速)と、運航管理統合サブシステムからの飛行禁止空域情報を参照することができた。また2018年度実証の抽出課題のうち、気象情報(降雨)と他運航管理サブシステムの飛行計画を運航管理統合サブシステムから取得し、飛行計画作成画面上に重畳表示することができた。

ただし、他運航管理サブシステムの飛行計画については、飛行計画の開始時刻経過後に重畳表示されるといった課題が判明した。本課題に対しては、実運用に向けた開発時の課題とした。



図 2. 2. 1. 3-9 飛行計画の作成例

なお、飛行空域については、複数事業者と共有していたが、運航管理統合サブシステムと連携し、飛行計画の承認申請を行うことで、飛行計画を干渉することなく、作成することができた。

② 多用途運航管理機能による飛行状況の共有の確認

本実証実験において、多用途運航管理機能で管理する 5 機の機体の飛行状況を同時に確認することができた。飛行状況の表示例を図 2. 2. 1. 3-10 に示す。

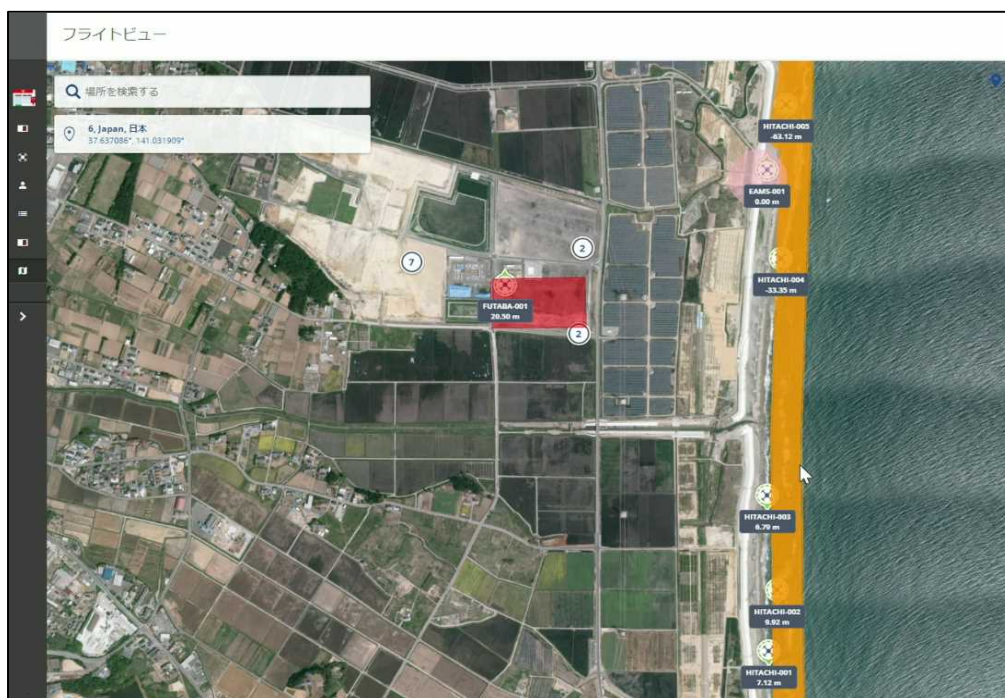


図 2. 2. 1. 3-10 5 機の飛行状況表示例

飛行状況においては、2018 年度と同様に運航管理統合サブシステムからの近傍機体情報、飛行禁止空域情報と情報提供サブシステムからの気象情報を画面に重畳表示することにより、長距離飛行ルートにおける中間地点、着陸地点の気象情報を事前に把握することができ、無人航空機の運航者に対して事前に注意喚起を行うことができた。実際に飛行実証の際には、本画面において気象状況を把握し、飛行を中断した場合もあった。

また機体に対する警報情報として、安全面に配慮しつつ、下表に示す警報について確認することができた。警報情報の表示例を図 2. 2. 1. 3-11 に示す。

表 2. 2. 1. 3-8 検出警報

検出警報種別	結果
飛行計画逸脱	実フライトが飛行計画より逸脱した場合に、運航者に対して注意喚起を行うことができた。
UAS 間コンフリクト	無人航空機同士が近接した場合に、運航者に対して注意喚起を行うことができた。
地表障害物接近	運航管理統合サブシステムより地表障害物との接近警告を受信し、運航者に対して注意喚起を行うことができた。



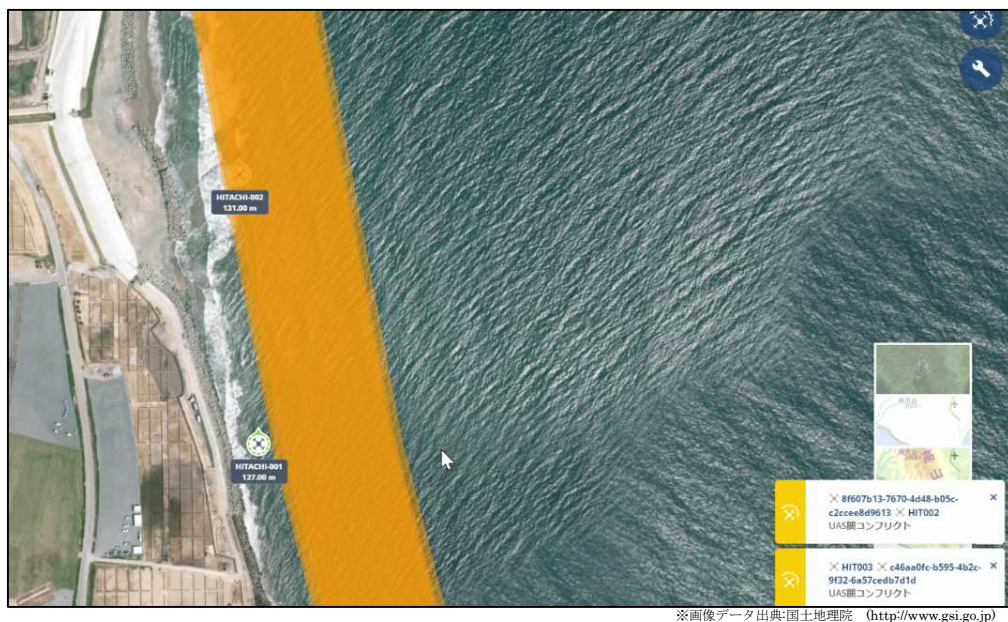


図 2. 2. 1. 3-11 飛行中における警報検出例

③ 複数無線通信手段対応機能の位置情報共有装置との連携

本実証では、複数無線通信手段対応機能の位置情報共有装置をドローンに搭載し、1台のみ中継モードとして、中間地点にて中継させることにより、見通し外における長距離飛行 10 kmの飛行において、飛行状況を多用途運航管理機能にて監視することができた。詳細については、複数無線通信手段対応機能にて後述する。

(6) 結論

本研究期間において、多用途運航管理機能を運航管理推進委員会で規定された運航管理アーキテクチャ、及び共通インタフェースに準拠し、運航管理統合サブシステム、情報提供サブシステムと連携可能とし、物流、災害対応用途のみならず、多用途に利用可能な運航管理サブシステムとして開発することができた。

研究開発した多用途運航管理機能については、福島 RTF 周辺において、運航管理統合サブシステム、情報提供サブシステムと連携し、2019年2月の複数事業者が飛行空域を共有する状況下にて、物流事業者の協力のもと配送飛行の検証、2019年10月の複数無線通信手段対応機能と連携し、見通し外の長距離飛行(10 km)の配送飛行検証の実証実験を通じて、開発機能の有用性が実証され、多用途運航管理機能の開発にかかる所期の目的を達成した。

5. 2. 研究開発項目②「複数無線通信手段対応機能の開発」(情報通信研究機構)

山間部や離島などにおいて、目視外かつ直接電波が届かない環境や長距離となる環

境でドローンを運用する場合、無線リンクを常時確保する手段として、コマンド・テレメトリ通信用マルチホップ通信システムが有効であり、かつその減衰や干渉に対する信頼性を高める手段として、複数無線通信手段を備えることが効果的である。

本研究開発で開発したマルチホップ中継制御通信技術では、従来の 920MHz 帯特定小電力無線局（免許不要）に加え、169MHz 帯無人移動体画像伝送システム（要免許）を搭載し、通信環境に応じてこれらの 2 周波数帯を飛行前あるいは飛行中に切替え、ドローンと地上制御局間の通信がなるべく切れないようにする仕様となっている。図 2.2.1.3-12 に試作実装した 169MHz 機能追加版のマルチホップ中継制御モジュールを示す。また、表 2.2.1.3-9 に本モジュールの諸元を示す。制御局から端末局への伝送（コマンドリンク）速度と端末局から制御局への伝送（テレメトリリンク）速度を非対称としている。これはコマンドリンクがドローンの制御信号など比較的小さな情報を断続的に送るのに対し、テレメトリリンクはドローンの緯度・経度・高度・速度・センサ情報などの比較的大きな情報を連続的に送るためである。

本研究開発では、169MHz 帯による無線通信部に高性能アンテナを採用し、通信距離特性の評価を行った。具体的には、地上制御局用にスリーブアンテナ（図 2.2.1.3-13）ドローン搭載用にはラジアルライン付きモノポールアンテナを採用した。また、多機能運航管理システムへの接続インターフェースを開発し、本中継制御システムで得られた端末局（制御対象ドローン）の位置情報を多機能運航管理システムのモニタ画面に表示できるようにした。



図 2.2.1.3-12  
169MHz 機能追加版マルチホップ  
中継制御通信システム



図 2.2.1.3-13  
地上制御局 169MHz 帯ス  
リーブアンテナ



表 2.2.1.3-9 マルチホップ中継制御モジュールの主な諸元

	通常通信モード	バックアップ通信モード
利用周波数帯	920MHz帯	169MHz帯
送信電力	20mW未満	1W未満 (上空の場合は10mW未満)
伝送速度 (制御局→端末局)	5~27.5kb/s	0.5~4kb/s
伝送速度 (端末局→制御局)	30~64kb/s	4.5~10kb/s
サイズ (ケース含む) (アンテナ含まず)	100 x 99 x 90 mm	
重量 (ケース含む) (バッテリー含まず)	約340g	
消費電力	約4W	10mW出力時：約4W 1W出力時：約5W

開発した複数無線通信手段対応機能の通信距離特性を評価するため、福島 RTF において、通信試験を実施した。図 2.2.1.3-14 左の図は 920MHz 帯を従来の送信出力 (20mW) で使用した場合のマルチホップ (3 ホップ) での受信電界強度の分布を示す。原町通信塔最上階に制御局、自動車のルーフ上とドローンに中継局を 1 局ずつ搭載し、制御対象となる端末局ドローンを飛行させた。その結果、制御局から約 3km 付近まで端末局ドローンを飛行可能であることが確認できた。また図 2.2.1.3-14 右側の図は 169MHz 帯 (送信出力 1W) における受信電界強度分布を示す。高さ 30m の原町通信塔最上階と広域を移動する車載局 (ルーフ上) の間の 1 ホップで測定した。送信局から約 2.4km 地点までは見通し内範囲であるが、送信局から約 2.4km~約 10km は見通し外範囲である。見通し外範囲であっても 169MHz 帯で通信が可能であることを本実験で確認できた。また UTM との接続機能の確認も実施できた。図 2.2.1.3-15 は 169MHz 帯の受信電界強度の強さを地図上にプロットし、自由空間電波モデル及び地面反射を想定した二波モデルと対比したものである。見通し内範囲である約 2.4km 地点までは自由空間損失および二波モデルの損失特性とよく一致している。

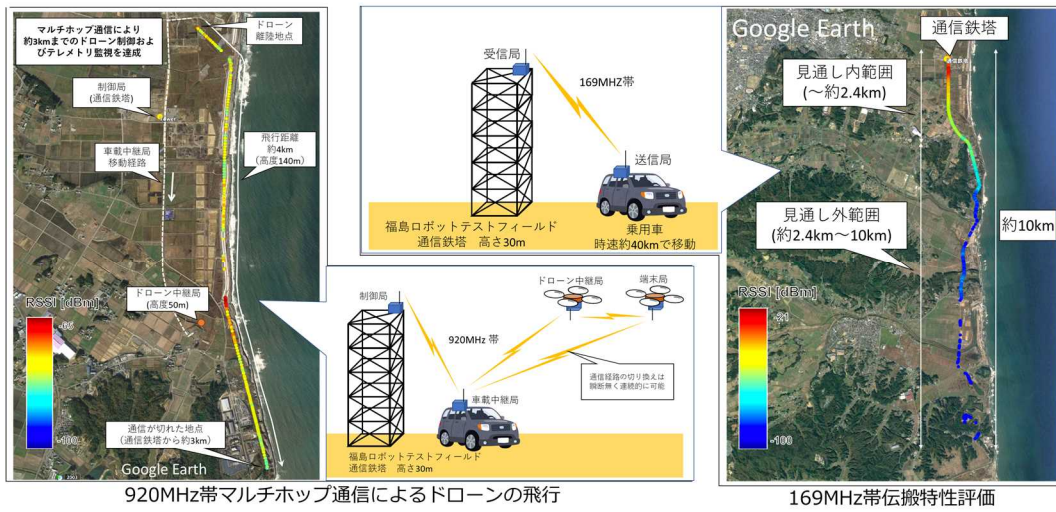


図 2.2.1.3-14 920MHz 帯のマルチホップ通信及び 169MHz 帯シングルホップ通信における距離減衰特性

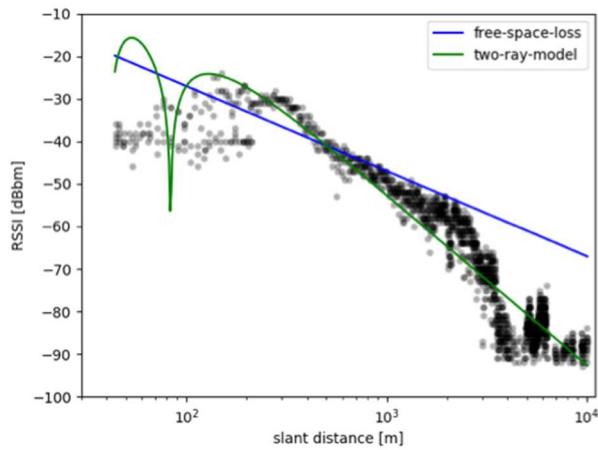
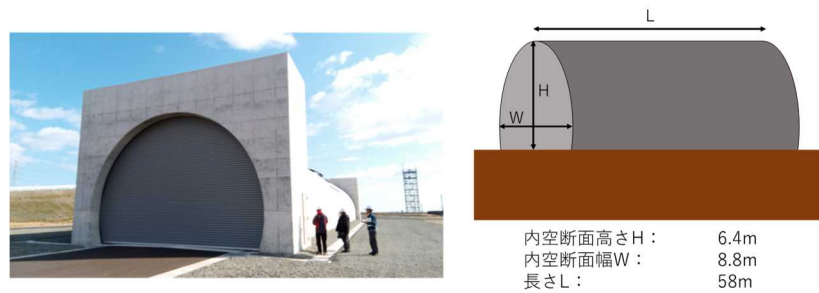


図 2.2.1.3-15 169MHz 帯シングルホップ通信における距離減衰特性の伝搬モデルとの対比

169MHz の障害物環境での電波到達性を評価するため、福島 RTF の試験用トンネルにて、遮蔽環境での電波伝搬特性測定を行った。図 2.2.1.3-16 に測定実験概要を示す。



- トンネル通路に対して垂直方向にあるプラント棟に送信局を設置
- トンネル内を受信局が移動した際の受信信号強度の変動を計測

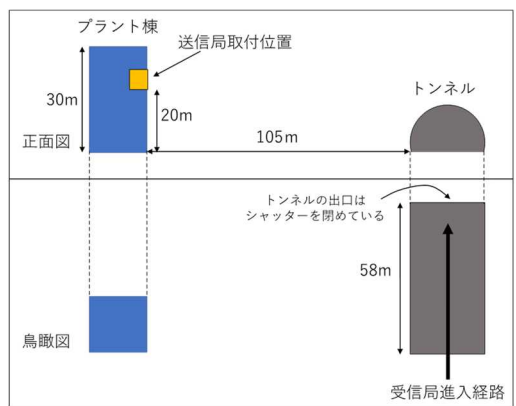
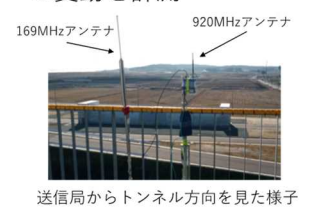


図 2. 2. 1. 3-16 試験用トンネルでの 169MHz 電波伝搬測定実験概要

試験用トンネルから 105m 離れた建物に送信局(地上 20m)を取り付け、受信局であるドローンをトンネル内に進入させた場合の距離対受信信号強度を測定するものである。測定の様子を図 2. 5-15 に示す。当初はドローンを飛行させて測定する予定であったが、風が極めて強くドローンを飛行させられる環境ではなかったため、やむを得ず車両の屋根にドローンを固定して測定を行った(図 2. 2. 1. 3-17)。

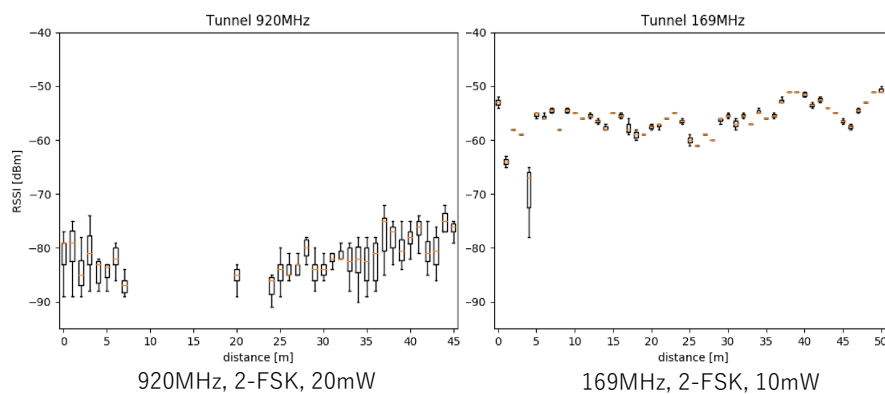
測定結果を図 2. 2. 1. 3-18 に示す。図 2. 2. 1. 3-18(a)は 920MHz の信号強度をトンネル内で測定したものであり、図 2. 2. 1. 3-18(b)は 169MHz の信号強度をトンネル内で測定したものである。プロットは各距離での受信信号強度(RSSI)を箱ひげ図で示したものである。920MHz の場合はトンネル内 10m~20m 付近で完全に遮断されてしまっているが、169MHz の場合はトンネルの終端まで常に接続が確保されている状態であった。さらに、920MHz と 169MHz で土砂や地形によって遮蔽されている場合の電波伝搬特性の違いを評価した。測定結果を図 2. 2. 1. 3-19 に示す。土砂による遮蔽の場合も試験用トンネルの場合と同様、169MHz の回折・反射等による到達性の高さにより土砂遮蔽の裏側でも安定して通信を確立することができた。

このことから、電波伝搬環境が不安定な入り組んだ構造物付近でドローンを運用する場合、バックアップ回線として 169MHz を併用することが有効であると考えられる。また、多用途運航管理システムとの接続も行い、同システムのモニタ画面上にマルチホップ中継制御通信モジュール経由でドローンの位置が表示されることを確認した(図

2. 2. 1. 3-20)。



図 2. 2. 1. 3-17 測定時の様子



(a) 920MHz トンネル内電波伝搬特性 (b) 169MHz トンネル内電波伝搬特性  
 図 2. 2. 1. 3-18 試験用トンネル内の 920MHz/169MHz の電波伝搬特性の比較

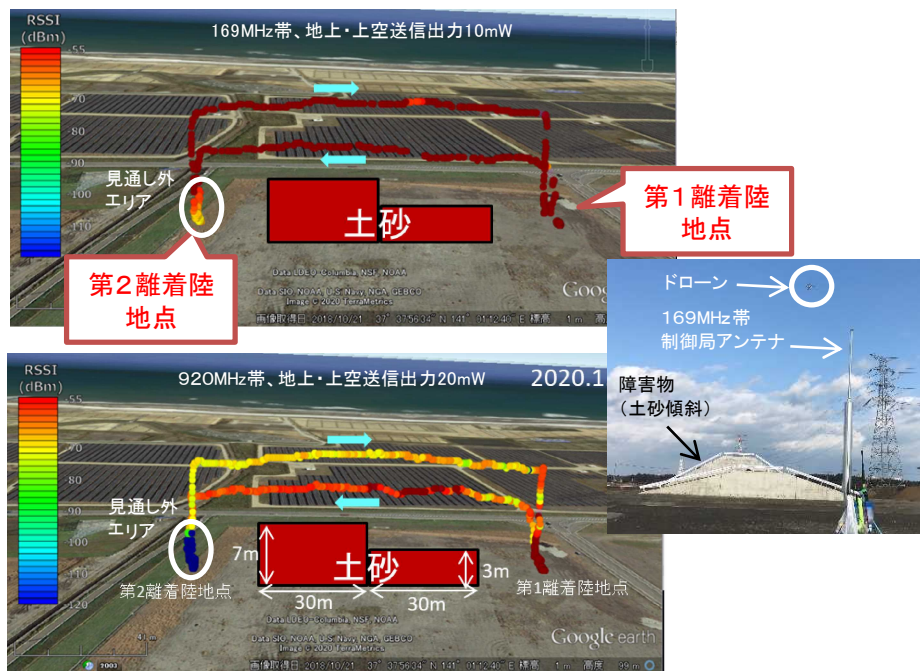


図 2.2.1.3-19 コマンドホッパーを用いた土砂・地形による障害物環境での 920MHz/169MHz の電波伝搬特性の比較 (2020年1月@福島 RTF)

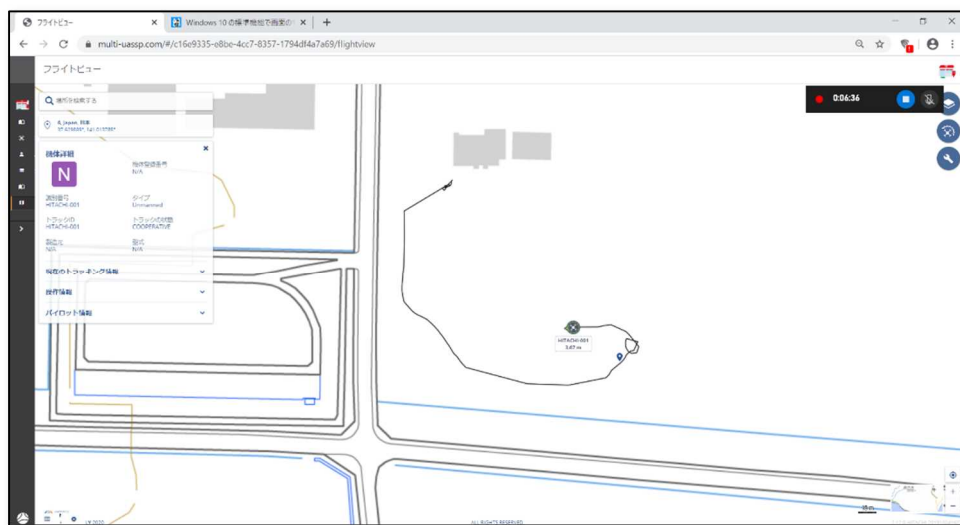


図 2.2.1.3-20 多用途運航管理システムのモニタ画面への表示 (920MHz 帯の例)

さらに、複数周波数対応化したマルチホップ中継制御モジュールを汎用のマイコンで実装する研究開発を進めた。従来のモジュールは入手性の低い専用ハードウェアで実装されていたが、量産試作に向けた第一歩として比較的入手性の良い汎用マイコンである Raspberry Pi を主マイコンとして採用し設計・実装した(図 2.2.1.3-21)。





汎用マイコン版コマンドホッパー



RF モジュールを接続した様子

図 2. 2. 1. 3-21 汎用ハードウェア版マルチホップ中継制御モジュール

一方、位置情報共有システムは、異種事業者による複数のドローンを地上のネットワークを経由せずに直接、移動体端末間の双方向ブロードキャスト型通信によってそれぞれの位置情報や識別情報等を交換し、UTM に集約することを可能とするものであり、1 秒ごとにデータ更新する場合の同時接続台数を最大 50 機とする（スロット固定の場合）とともに、UTM への接続インターフェースの設計と開発を行った。周波数は前記マルチホップ中継制御通信技術と同じ 920MHz 帯特定小電力無線局(免許不要)を利用する。図 2. 2. 1. 3-22 にそのシステム構成、図 2. 2. 1. 3-23 に試作実装した移動体端末間通信モジュールを示す。内部に GNSS アンテナを内蔵している。本モジュールには多用途運航管理システムへの接続インターフェースにも実装されており、本モジュールで受信される複数のドローンの位置情報はリアルタイムに多用途運航管理システム上のモニターに表示される仕様となっている。表 2. 2. 1. 3-10 に本モジュールの主な諸元を示す。



図 2. 2. 1. 3-22 移動体端末間の直接通信によるドローン位置情報の UTM への集約



図 2.2.1.3-23 位置情報共有技術を実装した移動体端末間通信モジュールと共有情報モニタ用タブレット

表 2.2.1.3-10 移動体端末間通信モジュールの主な諸元

周波数 920MHz帯 (特定小電力無線局) 送信出力 20mW 変調方式 LPWA (LoRa) 位置情報 GPS, GLONASS, QZSS マルチホップ 2ホップまで可	データ内容 緯度・経度・高度・速度・方向・ 時刻・機体種別・機体ID (合計352bit) 更新頻度 0.5~1秒毎 収容台数 約30~50機 (1キャリア・シングルホップ時)
---	--

本技術の基本通信特性を確認するため、福島 RTF の通信塔（高さ 30m）を利用した基本評価試験を実施した。通信塔の直下の地上に地上モニタ局用の移動体端末間通信モジュール、通信塔最上部にマルチホップモードに設定した中継用の同モジュールを配置し、通信塔から約 4km 離れた地点の上空の高度 100m~140m に同モジュールを搭載したドローンを飛行させた（図 2.2.1.3-24）。

結果を図 2.2.1.3-25 に示す。この飛行軌跡と受信電力は原町通信塔直下に配置した地上モニタ局において、通信塔最上部の中継局を経由して得られたデータであり、約 4km の通信距離が安定して得られていることを確認できる。なお、受信電力はドローンが高度 100m を飛行している時よりも高度 140m を飛行している時の方が弱くなっているが、これはドローンに搭載されたアンテナの指向性あるいはドローン機体との電磁的な結合（カップリング）の影響によるものと推定される。また、約 80m より低い高度では、信号が受信できていないが、これは地形の遮蔽によるものと考えられる。

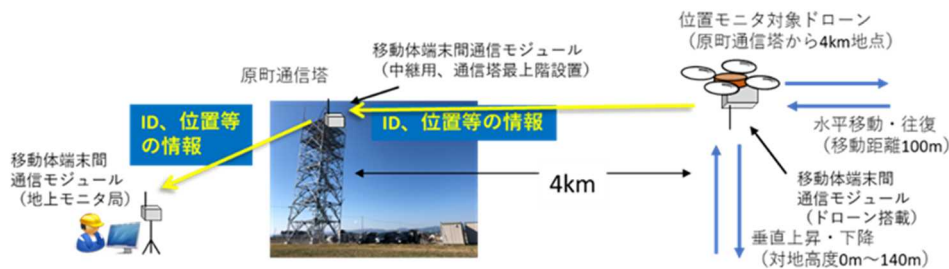


図 2. 2. 1. 3-24 位置情報共有技術の基本評価試験の構成  
(2018年11月@福島 RTF)

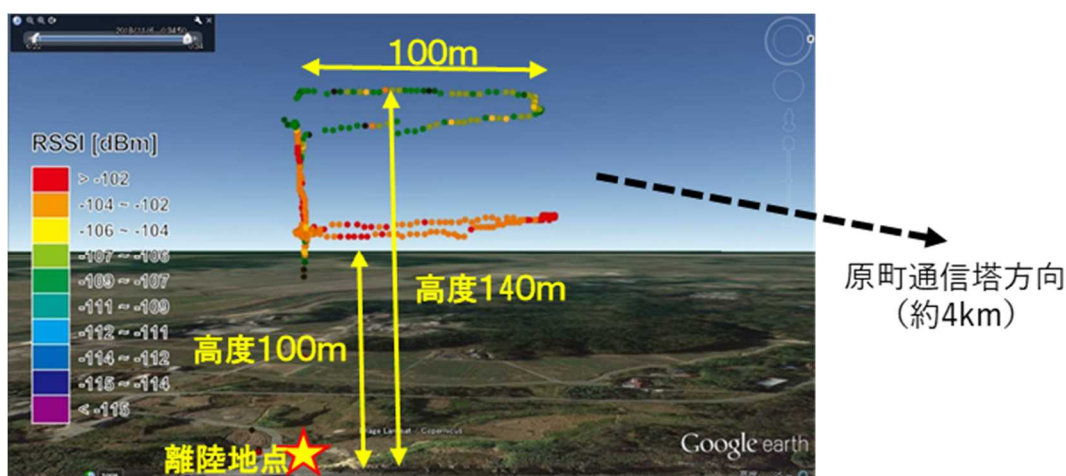


図 2. 2. 1. 3-25 移動体端末間通信モジュールで受信・記録されたドローンの位置及び地上モニタ局（原町通信塔直下）での受信電力

次に2019年10月に福島RTFで実施された統合運航管理システム実証試験において、郵送を模擬した配送用ドローン5機を同時に長距離飛行させる実験を行った際、各ドローンに移動体端末間通信モジュールを搭載し、そのうち1機をマルチホップモードに設定して中継局とし、配送ドローンが着陸のために高度を下げて中継局経由で通信が維持できるような構成とした。実験では、福島RTF東側の海岸線沿いの堤防上に地上モニタ局を設置し、そこから約6km南の地点（中間着陸地点）まで3機の配送ドローンが飛行し、約10km南の地点（遠方着陸地点）まで2機の配送ドローンが飛行した（図2.2.1.3-26、図2.2.1.3-27）。

結果を図2.2.1.3-28に示す。10kmの区間のほぼ全てにおいて、ドローンの位置情報が受信できている。なお、実験では中間着陸地点まで飛行した1機のみ、搭載した通信モジュールの不具合により位置把握ができていなかったが、残り4機は全て受信に成功した。地上モニタ局での受信電力（RSSI）も、10km離れた地点においても-100dBm前後であり、本モジュールの最低受信感度は-117dBmであるため、まだ余裕があるものと推



定される。

なお、本実験は常時、多用途運航管理システムと接続した状態で実施し、同システムのモニタ及び携帯電話ネットワークを経由してスマートフォンの画面に各ドローンの位置が地上モニタ局の移動体端末間通信モジュールを経由してリアルタイムで表示されていることを確認した（図 2. 2. 1. 3-29）。

また、地上モニタ局との間の直接通信が途絶えた時のみ、上空を飛行する中継局を経由した通信で位置データの受信が維持できるように設定したが、実験の結果、10kmのほとんどの区間において、中継局を経由しないで直接通信での受信が可能であった。ただし、着陸するために高度を下げた場合においては、直接通信が途絶え、中継局経由の通信に切り替わっていることを確認した。

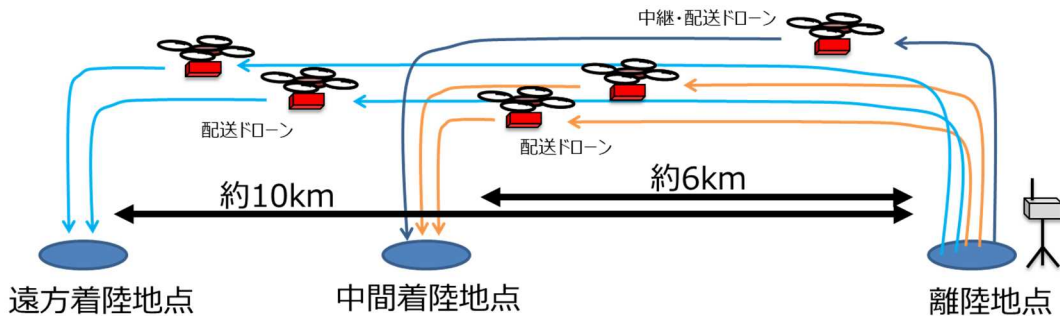


図 2. 2. 1. 3-26 5機の配送ドローンの長距離同時飛行における位置把握と運航管理システムへの接続実証試験  
(2019年10月@福島RTF)



図 2. 2. 1. 3-27 5機長距離同時飛行に使用したドローン



図 2. 2. 1. 3-28 5 機同時長距離飛行において離陸・受信地点に設置した地上モニタ局の移動体端末間通信モジュールで受信された移動軌跡と各ドローンからの受信電力



図 2. 2. 1. 3-29 移動体端末間通信モジュール及び多用途運航管理システムを經由してスマートフォンの画面に表示された各ドローンの位置

以上から、マルチホップ中継制御通信技術及び位置情報共有技術とともに、見通し外・目視外でのドローンと地上局との間の通信維持と運航管理の実現を目的として設計・開発・機能拡張を図り、フィールドでの実証試験において、その長距離及び障害物環境での通信性能が実証され、複数無線通信手段対応機能の開発にかかる所期の目的を達成した。

複数無線通信手段対応機能のうち、マルチホップ通信システムについては、携帯電話の電波が届きにくい山間部や洋上沖合等に加え、ビルの多い都市部など、電波遮蔽の多

い地域での目視外・見通し外運用や長距離運用が要求されるような場所でのドローン運航とその管理に役立つものと期待され、アプリケーションは災害対応、物流、インフラ点検、空撮、測量など多岐にわたるものと考えられる。

また、位置情報共有システムについては、地上ネットワークを経由せずに地上局から数キロメートル以上の広範囲にわたりドローンや有人ヘリの動態情報を把握する手段として有効であり、地上の通信インフラが障害を受けるなどの災害時等においては空の安全を確保するための重要な手段の1つになり得るものと考えられる。

さらに、本位置情報共有システムはドローンと地上局間だけでなくドローン間で直接相互の動態情報を把握する手段としても利用することができ、本システムをドローンのフライトコントローラと接続することより、地上を経由せずに直接ドローン間で共有した位置情報等を複数のドローン間の協調飛行制御に活用することも可能であり、例えばドローン同士の自律的な衝突回避や複数ドローンの自律的隊列飛行などの実現を可能とし、地上ネットワークを経由する運航管理システムを補強して、空が多数のドローンで混雑する際の空の安全の確保や1人の操縦者による多数のドローンの同時運用を実現するための基本技術として拡張・発展させることも可能であると考えられる。

## (6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	0	0	0	2	-	1	3
学会発表・シンポジウム講演等	1	9	4	-	3	1	18
展示会出展	1	6	2	-	-	-	9
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	1	1	-	2	-	4
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

知的財産権は株式会社日立製作所、国立研究開発法人情報通信研究機構に帰属することを希望するとともに、NEDO知財方針に記載された「知財運営委員会（又は同機能）」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」に則り、推進した。

## (7) 実用化・事業化への道筋と課題

### 1. 実用化・事業化に向けた戦略

#### 1) 多用途運航管理機能の開発

プロジェクト期間内に開発を完了するとともに、前項で挙げた業者／機関に対するマーケティングを合わせて実施する。事業者／機関が持つ既存の運用システムへの実装が必要な場合には、必要に応じ、共同開発あるいは委託開発によりカスタマイズ対応できるような製品コンセプトとして製品化を図る。

#### 2) 複数無線通信手段対応機能の開発

本研究開発と並行して実施するポテンシャルユーザとしてのインフラ事業者やサービス事業者との共同研究や共同実験を通じてアプリケーション実証を進めるとともに、メーカーとも連携して量産に向けた品質向上と生産体制の検討を行い、本成果の一部についての商品化と事業化を目指す。

### 2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

#### 1) 多用途運航管理機能の開発

市場予測では、2025年度付近までは、点検／農業などの単機ユースが中心となるが、法制度面で、2022年度にリモートID義務化、Level4解禁等が実施され、目視外飛行でのドローン利活用の検討が進むと考えられる。

また、2023～2025年度に、目視外飛行におけるリスクアセスメント基準が整備され、完全目視外飛行によるドローン利活用の方策が決定されると考える。また、2025年度以降も随時法制度、利活用ユースケースが拡大されると想定しており、それらに追従した、継続的システム拡充を実施することで、ニーズに適した多用途運航管理システムの開発を推進する。

項目	小項目	2017	2018	2019	2020~2022	2023~2025	~2030	2031~	
市場動向					インフラ点検/農業中心			物流中心	
法制度動向					リモートID義務化 Level4解禁	目視外飛行における リスクアセスメント義務化			
多用途運航管理機能の開発	機体情報管理			中 間 評 価	最 終 評 価				
	飛行計画作成機能								
	飛行計画承認/見直し機能								
	無人航空機の状態監視/飛行指示機能								
	製品化開発				初期整備システム開発	段階的機能開発			

図 2. 2. 1. 3-30 製品化計画

## 2) 複数無線通信手段対応機能の開発

複数無線通信手段対応機能のうち、マルチホップ通信システムについては、現在のところ、電力インフラ事業者、立入が難しい活火山におけるドローンによる監視技術を開発する企業、山岳遭難救助へのドローン応用を目指すベンチャー企業、及び自衛隊から、本研究開発の成果に匹敵する既存技術は見当たらないとして、本成果である複数無線通信手段対応のマルチホップ通信システムの導入に強い関心が寄せられており、それぞれ、共同研究契約あるいは共同実験のための覚書の取り交わしを行い、本成果をベースにした実用化に向けた検証実験や検討を実施している。

また、位置情報共有システムについては、すでに本成果をベースとして NEDO DRESS プロジェクトにおける「遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発」においてさらなる高機能化・小軽量化を行い、国内で制度化された Bluetooth ベースのリモート ID や有人航空機に一部利用されている ADS-B との互換性を確保して汎用化を図るための研究開発や、本位置情報共有システムでは、地上を経由せずにドローン間での自律的な協調飛行制御に活用するための研究開発を実施し、ドローンが自律的に他のドローンとの接近を回避したり自律的に他のドローンに追従して隊列飛行を行ったりする実証実験に成功している。協調飛行制御については今後のさらなる空の混雑を想定し、システムの改良にも着手している。

さらにこうした研究開発と並行して、試作機製造や実証実験を担当した国内の通信やドローンのベンチャー企業が技術移転及び実用化に向けた検討を開始している。

項目	小項目	2017	2018	2019	2020	2021	2022～2025
ユーザニーズ					山間部での調査・点検・検索		山間部での調査・点検 洋上での観測
プロジェクト・法制度		DRESS運航管理					<ul style="list-style-type: none"> <li>・ リモートID義務化</li> <li>・ レベル4解禁</li> <li>・ 目視外飛行におけるリスクアセスメント義務化</li> </ul>
複数無線通信手段対応機能の開発	マルチホップ通信システム	← 研究開発 →				← 社会実装に向けたユーザとの共同実験 →	← 実用化に向けた改良 →
	位置情報共有システム	← 研究開発 →			← 応用開発 →		← 協調制御応用への改良 → ← 実用化に向けた技術移転等 →

図 2. 2. 1. 3-31 実用化計画

### 3. 実用化・事業化の見通し

#### 1) 多用途運航管理機能の開発

「複数無線通信網を利用した多用途運航管理機能の開発」で得られた技術は、物流及び災害対応等の分野で、同一空域内で複数の小型無人航空機が飛び交うケースが増加するものと想定される。物流分野では、離島や山間部、さらに将来的には都市部での荷物配送の所要があり、目視外、携帯網無し、気象／地形／建造物等の空間情報、落下リスク等を考慮した機能が必要となる。

また、災害分野では、発災後に複数の有人航空機／小型無人航空機同時運用のニーズがあり、有人航空機情報、携帯網無し等を考慮した通信機能が必要となる。

本研究にて得られた技術を日立の運航管理システムに併合し、製品やサービスの形態で小型無人航空機の運用を計画している物流事業者、国、自治体等の防災関連組織、インフラ点検を計画する公共的施設管理者／電気事業者／ガス事業者／鉄道事業者／電気通信事業者に対して提供を行う。

#### 2) 複数無線通信手段対応機能の開発

マルチホップ通信システムについては、現在、社会実装にむけてより信頼性を高めるための改良を実施しており、その成果をフィールド実験等で確認したあと、実用化に向けてメーカーと協議を進める計画である。

また、位置情報共有システムについては、すでに実用化可能なレベルに達しており、すでに試作機製造を担当した国内ベンチャー企業にドローンメーカーも加え、本システムの技術移転と実用化生産にむけた NDA も締結しており、今後具体的な協議を進めていく予定である。

#### 6.2.1.4 2) 運航管理機能の開発（衛星/災害）：

##### 衛星通信を利用するドローンの運航管理システムの開発

（実施期間：3年間（2017年度～2019年度））

（実施者：スカパーJSAT株式会社）

#### （1）事業の背景・意義（目的・概要）

##### (1) 背景

昨今、ドローンの物流・インフラ点検・災害対応分野等で活躍する社会の実現に向けた動きが活発化しているが、その中で、安全かつ効率的にドローンを運用するためには、運航管理が最も重要な要素のひとつであると考えられる。

##### (2) 課題

従来の運航管理では、ドローンの運航をおこなうオペレータ（以下オペレータ）同士が、連絡を取り合いながら安全な運航をおこなっているが、複数のドローンを飛ばす場合は、連携を取るための情報が輻輳して安全な飛行ができない。

また、自動飛行をおこなう際に、LTE等の移動通信網不感地帯（例えば、海上、山岳地帯等）に入った場合は、オペレータとの通信が確保されないためにドローンの飛行状況が全く把握できず、更に緊急時における帰還や着陸命令等を送信することも出来ない。

さらに、防災対策の観点からドローンは活火山の定点観測等にも利用ができると言われているが、移動通信網不感地帯では上記問題から定常的に活用することが難しい。

##### (3) 本研究開発の目的

上記課題の解決方法として、本研究開発では通信衛星や高高度無人機を使ったドローン運航管理システムを構築・活用することにより、通信インフラが整わない場所や状況において安全かつ効率的なドローンの運用を実現させることを目的とする。

##### (4) 事業概要

###### ①課題解決に向けた研究開発の主な要素

本課題の解決に向け、主に以下の内容について研究開発及び調整を行う。

###### 1) 衛星通信を利用した運行管理システムの構築

災害発生時には、通信網の遮断や輻輳によって運用ができない可能性があり、また山間部や僻地、離島等、通信インフラが整っていない箇所での運用も困難を極める。このような技術的課題を克服するため、ドローンの飛行計画と運航情報をリアルタイムでサーバーに蓄積したものを、WEB等のユーザーインターフェースを介し、衛星通信を利用することによりオペレータが自機を含めたドローンの運航状況を確認可能なシステムを構築する。

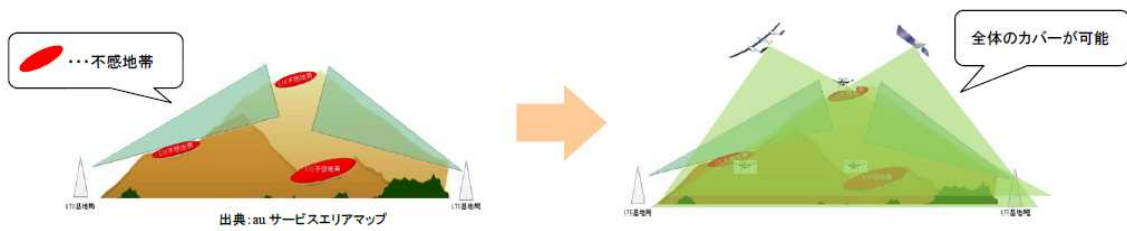


図 2. 2. 1. 4-1 衛星を利用した管理システムの優位性

移動通信網不感地帯での飛行情報（テレメトリ（機体識別コード、飛行位置、飛行方向、飛行速度、飛行高度、バッテリー状態、等））の送信を実現するため、衛星通信装置を搭載したドローンを活用する。

また、オペレータの通信回線の確保として、Wi-Fi アクセスポイントと Ku バンドの通信衛星システムを組み合わせた衛星 Wi-Fi スポットを構築することにより、移動通信網不感地帯においても運航管理センターとの通信回線の提供を可能にする。さらに、オペレータが、衛星 Wi-Fi スポットを通じて、ドローンからの位置情報等を受け取り、衛星経由でドローンに制御信号を送ることを実現する。

## 2) 高高度無人機を利用したドローンの一括管理

衛星通信が可能なドローンについては、通信装置が非常に高額であることから、利用者が限定されてしまうことが懸念される。また、衛星通信装置はある程度の重量があることから、小型のドローンに搭載することは難しく、災害時等で利用可能な機体は限られてしまい、現場の状況に沿った柔軟な機体選定が困難となる。

そこで、ドローンよりもさらに上空に、衛星通信装置を搭載した高高度無人機(母艦)を定点飛行させ、配下の空域にあるドローンの位置情報等を一括管理できるシステムを構築する。

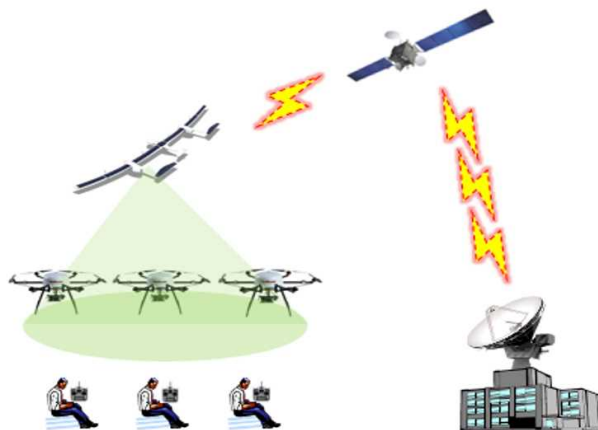


図 2. 2. 1. 4-2 高高度無人機によるドローンの一括管理イメージ



母艦となる高高度無人機は、太陽電池を搭載したソーラープレーンを想定し、高度2000m前後の空域を日の出から日没まで飛行可能なものを目指す。また、配下のドローンの位置情報等は、搭載した衛星通信装置経由で運行管理センターへ送信する。

ドローン～高高度無人機間の通信は、小電力かつ軽量の通信ユニットを活用することにより実現する。

### 3) ドローン・高高度無人機搭載用小型小電力無線ユニット開発（高高度無人機～ドローン間通信用）

災害時に活躍するドローンの機体選定に制限がかからないことが必須となるため、小電力の通信が可能で、軽量（500g程度を想定）、かつ必要な情報（機体識別コード、飛行位置、飛行速度、飛行高度等）の通信が可能な通信ユニットを開発する。

また、高高度無人機～ドローン間の長距離通信を低コストで実現可能な通信システムに関し、これまで実績のある技術の中から2つの小電力通信方式を選定し、通信距離、通信容量、通信頻度に関する評価検討を行う。

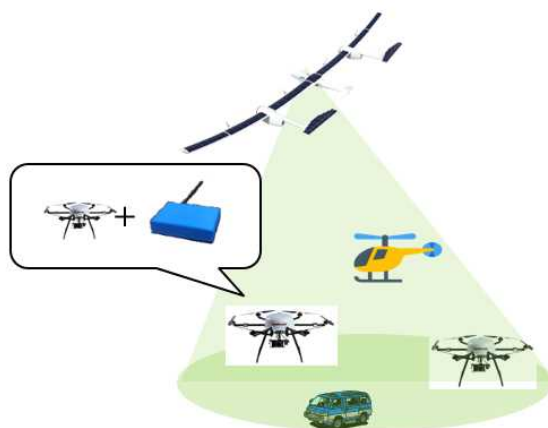


図 2. 2. 1. 4-3 高高度無人機による小型小電力無線ユニット搭載ドローン等の一括管理イメージ

### 4) 本運行管理システムの実運用に向けた関係各署との調整

本研究開発は、技術的なハードルだけでなく、高高度無人機の運用や安全管理において国土交通省、無線通信の周波数割り当てや無線装置の認可等において総務省、他の関係省庁との連携が必要であるため、積極的に活動を行う。

### ②研究開発結果を活用した想定事業

本運行管理システムの開発により、災害発生時に緊急的に出動する目視内飛行を行う小型ドローンや、目視外飛行をする中型以上のドローン等の一括管理が実現する。また、小型小電力無線ユニットを有人機等にも取り付けることで、高高度無人機の配下で

あればドローンのみならず有人機等の運行状況も一括で把握することが可能となる。

また、高高度無人機においては、将来的に実現すべき課題である長時間飛行を実現することにより、カメラ（許容ペイロード内ならば、赤外線カメラや分光カメラ）を搭載する事で、高高度からの広域監視をするドローンとしての役割も果たすことが可能である。

本システムを活用できるフィールドとして、山間地域での遭難者対策、洋上の不審船等の監視、火山地帯の定点観測等が挙げられ、防災・安全対策の市場に対し大きく寄与できることが想定される。

## （２）研究開発目標と根拠

### ・通信衛星を利用したドローン運行管理システムの開発

#### 【２０１７年度】

##### 1) 年度目標

衛星通信装置搭載型ドローン（以下衛星ドローン）を活用し、目視外の自動飛行を福島ロボットテストフィールド（RTF）等で行う。

通信衛星を介して地上無線の届かない遠隔地からドローンの飛行情報を取得できることを目標とする。

##### 2) 実施内容

###### （ア）衛星ドローンの設計

単独でUTMとの通信が可能となる、小型衛星通信装置を搭載したドローンの設計を行う。

###### （イ）衛星ドローンの制作

衛星ドローンを制作する。完成したドローンを使って衛星通信機能の地上試験を行う。

###### （ウ）衛星通信装置非搭載型ドローンの設計

高高度無人機と通信を行う小型小電力無線ユニットを搭載した試験に特化したドローンの設計を行う。

###### （エ）ドローンの製作

ドローンを製作する。完成したドローンに小型通信装置のダミーを搭載して地上試験を行う。

###### （オ）UTMの設計

UTMのハードウェア、ネットワーク、ソフトウェアの設計を行う。特に重要なインターフェースの設計を行う。

###### （カ）UTMの構築

UTMサーバーやネットワーク機器は、YSCC(スカパーJSAT 横浜衛星管制センター)に構築する。また、UTMソフトウェアは、単体試験が終わったところで、UTMサーバーに実装する。

- (キ) Lバンド衛星通信ネットワークの構築  
Lバンドを使った小型衛星通信装置の通信ネットワークを構築する
- (ク) UTM のシステム試験  
ドローンに見立てたシミュレータを使用し、UTM の機能が設計どおりに機能するか試験する。
- (ケ) 衛星ドローンの通信試験  
衛星ドローンの飛行情報を、通信衛星経由で UTM まで送る試験を行う。
- (コ) UTM 配下での衛星ドローンの単機飛行試験  
衛星ドローンの飛行情報をリアルタイムに通信衛星経由で UTM へ送り、UTM 上で飛行状態をモニターする。
- (サ) 衛星 Wi-Fi スポットの通信試験  
通信インフラが整っていない場所でも衛星 Wi-Fi スポットを使ってオペレータ端末から UTM を使用できることを検証する。
- (シ) 衛星 Wi-Fi スポットを経由したドローンからの画像伝送試験  
災害現場を想定した試験として、衛星ドローンに搭載したカメラの画像データを衛星 Wi-Fi スポット経由で UTM へ送れる事を検証する。
- (ス) ドローンの単独飛行試験  
小型小電力無線ユニットを搭載したドローンの位置情報等を、リアルタイムで UTM に送信する試験を行う。

#### 【2018年度】

- 1) 年度目標  
衛星ドローンを使った UTM の実用化を目指した改修と試験を行い、安全な運行ができるところまでを目標とする。
- 2) 実施内容
  - (ア) 衛星ドローンの画像データ伝送システムの改修  
衛星ドローンにトラフィックを軽減するためのエンコーダを組み込み、移動通信網不感地帯でもリアルタイムで飛行情報と画像データを UTM に送信できるような機能の組み込みを行う。
  - (イ) 衛星ドローンに指示コマンドの送信をするための改修  
衛星ドローンが、移動通信網不感地帯やオペレータの見通し外での運行中においても、衛星回線経由で緊急時のコマンドを受け付けるようにするための機能の組み込みを行う。
  - (ウ) 追加機能を使った衛星ドローン単機での飛行試験  
(ア)、(イ)で行った改修を反映させた機能確認のための飛行試験を行う。
  - (エ) 複数のドローンを使用した飛行試験  
衛星ドローンとドローンを同時に飛行させ、UTM で2機のドローンを管理す

る。

#### 【2019年度】

##### 1) 年度目標

2018年度に行った試験結果を解析し、また2020年度以降の事業化に必要な安全対策や機能強化を組み込んだ改修を行って、要求性能を満たす事を目標とする。

##### 2) 実施内容

###### (ア) 衛星ドローンの改修

2018年度に実施した試験の結果を解析して、最適化が必要な部分の改修を行う。

また、2020年以降の事業化に必要な安全対策や機能強化を組み込んだ改修を行う。

###### (イ) 複数ドローンの飛行試験

福島RTFを試験場所とし、衛星ドローンとドローンを同時に飛行させ、UTMシステム上で各機の運行状況を確認する試験を行う。また、問題発生時や衝突回避対応を想定した、衛星ドローンへの帰還コマンドの送信及び動作確認試験も行う。

#### ・高高度無人機の機体開発

#### 【2017年度】

##### 1) 年度目標

高高度無人機の基本的な機体設計を完了させ、次年度の製作に向けた必要部材や機体部品の調達を可能な限り進める。

##### 2) 実施内容

###### (ア) 機体設計

日の出から日没までの任意の時間帯に、高度2000m前後の定点飛行を目標としたソーラープレーンの設計を行う。

#### 【2018年度】

##### 1) 年度目標

高高度無人機の機体組み立てを完了させ、次年度の飛行試験に向けた必要な各種試験項目の実施及び、データ測定等を進める。

##### 2) 実施内容

###### (ア) 機体製作

調達を完了した部品から、適宜組み立てを行う。

###### (イ) 地上試験

アビオニクスまでの組み立て完了後、高高度無人機の各機能が正常に動作

する事を確認するため、地上に係留した状態で試験を行う。

(ウ) 地上走行試験

完成した機体の作動状態を確認するため、離陸を行わない状態での地上走行試験を行う。

(エ) 実機での遠隔操縦による飛行試験

機体の離着陸、旋回、上昇、下降等の基本性能が要求性能を満たしているか、また正常に飛行できるか等の基本性能確認試験を、試験場周辺の見通し内飛行で行う。また、見通し外で、メインの通信系統となる衛星通信装置経由の飛行情報等が、UTM 及び試験場のオペレータに届くかの飛行試験も行う。

【2019年度】

1) 年度目標

前年度の飛行試験結果を分析し、高高度飛行に適した機体の改修を行う。ペイロードを搭載した設計性能を満たすことを目標とする。

2) 実施内容

(ア) 高高度無人機の改修

前年度行った飛行データを解析し、不具合の修正や要求性能を満たすために必要な機体改修を行う。

(イ) 地上試験

改修した個所が、正常に作動するか、また他の装置や構造体に干渉しないか、地上で試験を行う。

(ウ) 地上走行試験

改修した個所を含めた機体の作動状態を再確認する。

(エ) 実機での遠隔操縦による飛行試験

機体の離着陸、旋回、上昇、下降等の基本性能が要求性能を満たしているか、また正常に飛行できるか等の基本性能確認試験を、試験場周辺の見通し内飛行で行う。また、太陽電池の発電状況や電源管理状況等をモニタリングし、ソーラープレーンとしての性能が要求通りの仕様を満たしているかの確認をする

(オ) 実機での自動操縦による飛行試験

前項目の試験で安定した飛行が確認された後、自動操縦試験に移行する。遠隔操縦によって一定高度に到達後、自動操縦による上昇・滞空・降下飛行及び通信試験を行う。

最終目標である「ドローンからの位置情報を高高度無人機で収集し通信衛星経由で UTM へ送る」ことを実現するために、機体を安定させて制御できるかを確認する。

・高高度無人機の自動操縦システム開発

【2017年度】

1) 年度目標

高高度無人機の自動操縦システムの設計を行い完了させることを目標にする。  
また、可能範囲で機能の一部について製作を始める。

2) 実施内容

(ア) 自動操縦システムの設計

高高度無人機が離陸し、安定空域に達した後、自動で所定の範囲を滞空し続ける為の自動操縦システムの設計を行う。

(イ) 自動操縦システムの製作（2018年度まで継続）

高高度無人機の自動操縦システムは、機体に搭載されるハードウェア（センサー、制御用コントローラー、通信装置等）とソフトウェア（機体搭載部分、地上コントロール等）があり、この両方を JAXA が製作する。また、製作に際しては、機器の正常動作を確認するための単体機能試験も適宜実施する。

【2018年度】

1) 年度目標

自動操縦システムの製作を完了し、システムを実験室または機体に艀装した状態で正常に作動させる事を目標とする。

2) 実施内容

(ア) 自動操縦システムの実装前結合試験

製作が完了したシステムは、実装する状態に近い環境を作り、動作試験を行う。

(イ) 実機への実装

製作中の高高度無人機に、完成した自動操縦システムを組み込む。

(ウ) 実機での地上動作試験及び改修（2019年度まで継続）

完成した高高度無人機に組み込まれた自動操縦システムの試験を、駐機した状態で行う。

【2019年度】

1) 年度目標

自動操縦システムの地上動作確認及び改修を完了し、高高度無人機の自動飛行を実施する事を目標とする。

2) 実施内容

(ア) 実機での自動操縦による飛行試験

東海大学で行う「高高度無人機の機体開発 2019年度 2)の(エ)」の試験で

安定した飛行が確認された後、自動操縦試験に移行する。

遠隔操縦によって一定高度に到達後、自動操縦による上昇・滞空・降下飛行及び通信試験を行う。徐々に飛行範囲を拡大し、最終的には配下のドローンに対して十分な通信エリアを確保することを目標とする。

・高高度無人機とドローン間で行う通信装置開発

【2017年度】

1) 年度目標

ペイロードの重量が最大 1kg 程度のドローンにも、特にカスタマイズ等をせずとも簡単に搭載でき、位置情報のロギングと送受信が可能な小型小電力無線ユニットを製作する。周波数帯は、920MHz の小電力で利用できるものとし、GPS の内蔵及び個別の電源(バッテリー)を持たせることにより、機体に影響を与えない独立したユニットを目指す。

2) 実施内容

(ア) 通信装置の設計

ペイロードが最大 1kg 程度のドローンに搭載可能なユニットを目指し、RoLa 方式で周波数 920MHz を利用すること前提に、適切な仕様を検討する。

(イ) 通信装置の製造

小型小電力通信装置の製造は、NICT で行い単体での対向試験も行うものと SJC が制作する 2 タイプを製造し性能面や搭載性を比較できるようにする。

(ウ) 通信装置の地上試験

小型小電力無線ユニットを地上で対向させて通信試験を行う。920MHz 小電力無線の限界通信距離、安定使用が可能な距離、通信品質等を測定する。

(エ) 通信装置をドローンに搭載しての試験

小型小電力無線ユニットをドローンに搭載し、対向側の小型小電力無線ユニットを東海大学所有のソーラープレーンに搭載して、ドローンからの位置情報を受信する通信試験を行う。

【2018年度】

1) 年度目標

2017 年度に試験をした 2 方式の通信装置の試験結果を解析し、高高度無人機との通信(最大 8km 程度)が安定して行える改良型通信装置の設計と開発を行い、地上での品質試験を完了するまでを目標とする。

2) 実施内容

(ア) 改良型通信装置の設計

2017 年度に行った通信装置の開発と試験結果を解析し、高高度無人機との通信に最適な小型小電力無線通信装置の設計を行う。

(イ) 改良型通信装置の地上試験

小型小通信装置を地上で対向させて通信試験を実施し、無線の限界通信距離、安定使用が可能な距離、通信品質等を測定する。

試験は、上記の要件を満たすため、見通し距離 10km 程度が必要となるため、適切な距離が確保できる場所を選定し、実施する。

【2019年度】

1) 年度目標

ドローンと高高度無人機に開発した小型無線通信機を搭載し、ドローンの位置情報を UTM に送信できるところまでを目標とする。

2) 実施内容

(ア) 高高度無人機に改良型通信装置を搭載

制作が完了した小型通信機の対向側を高高度無人機に搭載する。

搭載後、飛行していない状態で、ドローンに搭載する予定の子機から位置情報を受け取り、衛星通信装置を介して UTM へ位置情報を受け取れることを確認する。

(イ) 飛行時通信試験

ドローンと高高度無人機に小型通信装置を搭載して飛行させ、高高度無人機の衛星通信装置を経由して UTM にドローンの位置情報を送信する試験を行う。

・ 小型無線装置の制作

【2017年度】

1) 年度目標

ペイロードの重量が最大 1kg 程度のドローンにも、特にカスタマイズ等をせずとも簡単に搭載でき、位置情報のロギングと送受信が可能な小型小電力無線ユニットを製作する。

周波数帯は、920MHz の小電力で利用できるものとし、GPS の内蔵及び個別の電源(バッテリー)を持たせることにより、機体に影響を与えない独立したユニットを目指す。

開発後は、ドローンに搭載した状態での通信性能を測定し、データを集めて解析する所までを目標とする。

2) 実施内容

(ア) 通信装置の仕様作成

ペイロードが最大 1kg 程度のドローンに搭載可能なユニットを目指し、RoLa 方式で周波数 920MHz を利用すること前提に、適切な仕様を検討する。また、本ユニットは対向側として東海大学の既存ソーラープレーンに搭載



して試験を行うことを想定して設計を行う。

(イ) 通信装置の製造

小型小電力無線ユニットの製造は、メーカーに外注し、単体での対向試験も行う。

(ウ) 通信装置の地上試験

小型小電力無線ユニットを地上で対向させて通信試験を行う。

(エ) 通信装置をドローンに搭載しての試験

小型小電力無線ユニットをドローンに搭載し、対向側の小型小電力無線ユニットを東海大学所有のソーラープレーンに搭載して、ドローンからの位置情報を受信する通信試験を行う。

【2018年度】

1) 年度目標

2017年度に解析した試験データを基に、NICTとの協力で新たに設計をする小型小電力無線ユニットの製造を行い、単体での試験を行うところまでを目標とする。

2) 実施内容

(ア) 改良型通信装置の制作

NICTと検討をした小型無線装置の設計図（高高度無人機とドローン間で行う通信装置開発の2018年度（ア））を基に、メーカーに製造をさせ、基本機能の試験等を行い完成させる。

・現用ソーラープレーン実証機の改造

【2017年度】

1) 年度目標

既存のソーラープレーンを活用し、ドローンに搭載した小型小電力無線ユニットから送信される位置情報等の受信試験を行い、通信品質データ取得を行う。取得したデータは、本研究開発で製作をする高高度無人機の開発に反映させる。

2) 実施内容

(ア) 既存ソーラープレーンの改造設計

搭載する通信装置が、機体の操縦装置などに干渉しないように設計を行う。

2種類の通信装置を搭載するので、取り外しなど比較的容易にできるように設計を行う

(イ) ソーラープレーンの改造

通信装置を搭載できるように機体の改造を行う。

(ウ) ソーラープレーンでの飛行試験

改造後、ダミーのペイロードを搭載して、飛行性能に影響がないかを試験する。

(エ) 通信装置を実装しての地上試験

「高高度無人機とドローン間で行う通信装置開発 2017 年度 2) の(イ)」及び「小型無線装置の制作 2017 年度 2) の(イ)」で作成された各小型小電力無線ユニットをソーラープレーンに搭載し、通信時に操縦システムに干渉が起きないかを試験する。

(オ) ソーラープレーンに通信装置を実装した状態での飛行試験

(エ) で搭載した状態で機体を飛行させ、同様の小型小電力無線ユニットを搭載したドローンから位置情報を受信する試験を行う。

・衛星を使ったドローン運行管理システムの総合試験

【2019 年度】

1) 年度目標

福島 RTF を使った総合試験を行い本研究開発の目標をすべて完了させ、成果はデモを通じて発表する。

北海道大樹町で完成した高高度無人機とその中継システムを飛行させ、地上通信が届かない遠隔地のドローン位置情報をリアルタイムで中継する試験を行う。

2) 実施内容

(ア) 福島 RTF を使った総合試験

衛星ドローン 1 機、小型通信装置搭載ドローン 2 機を飛行させ、UTM が仕様通りに機能するかを試験する。

(イ) 福島 RTF を使ったデモンストレーション

(ア) の試験構成で災害発生時を想定したデモンストレーションを福島 RTF で行う。

(ウ) 高高度無人機を使った総合試験

北海道大樹町で完成した高高度無人機を実験場上空で周回自動飛行をさせながら、遠方に離れたドローンを飛行させ、ドローンに積んだ小電力無線機から位置情報を中継し衛星通信経由でドローンの位置を UTM の地図上に表示させ、システムが有効であることを実証する。

・試験を行う為の許認可・法整備等の調整作業

【2017 年度】

(ア) 現用ソーラープレーンの飛行許可 (高度 150m 以上)

→ 国土交通省 東京航空局 仙台空港事務所  
2017年度に福島RTF高高度無人機を高度150m以上にて飛行させるための許可に係る申請及び運航調整を実施し、事務所からの質問等に適宜対応する。

→ 国土交通省 東京航空局 釧路空港事務所  
2017年度に大樹町多目的航空公園から高高度無人機を高度150m以上にて飛行させるための許可に係る申請及び運航調整を実施し、事務所からの質問等に適宜対応する。

(イ) 高高度無人機、ドローンに係る通信の周波数割当、法制度化

→ 総務省東北総合通信局無線通信部  
ドローンと地上間の通信を行うための周波数(400MHz帯)等の新たな割当に係る活動を行う。

【2017年度～2018年度】

(ウ) 高高度無人機、ドローンに係る通信の周波数割当、法制度化

→ 総務省総合通信基盤局電波部 基幹・衛星移動通信課  
将来高度20,000mでの高高度無人機の飛行を事業化するためには、多数の一般ドローンを高高度無人機によって管理することが必要となり、その際一般ドローンと高高度無人機間の通信の帯域も広くする必要があり、小型無線設備の電力も増やす必要がでてくる。  
これらの課題をクリアするために5.03GHz帯等の法制度化に向けた活動を行う。

【2017年度～2019年度】

(エ) 高高度無人機(高度20,000m前後+ $\alpha$ )に対する機体性能基準・安全基準

→ 国土交通省 航空局 安全部 航空機安全課  
将来高度20,000mでの飛行を事業化するために必要となる高高度無人機に対する性能・安全基準について、具体的な相談をしつつ、性能基準や安全基準の法制度整備に向けた活動を行う。

→ ICAO等の国際標準化に係る活動

(オ) 高高度無人機、衛星ドローン、一般ドローンと有人機の衝突回避に係る法制度

→ 国土交通省 航空局 安全部 安全企画課

(カ) 高高度無人機、ドローン等の無線免許取得

→ 総務省東北総合通信局無線通信部  
高高度無人機の制御用回線(UHF等)無線局の免許申請に係わる対応を行う。

衛星ドローン、衛星 Wi-Fi スポットの可搬局等、人工衛星を相手とする無線局の免許申請に係わる対応を行う。

【2018年度～2019年度】

(キ) 高高度無人機の飛行許可と安全対策（高度 150m 以上）

→ 国土交通省 東京航空局 仙台空港事務所

2018 年度、2019 年度に福島 RTF にて高高度無人機を高度 150m 以上にて飛行させるための許可に係る申請及び運航調整を実施し、事務所からの質問等に適宜対応する。

→ 国土交通省 東京航空局 釧路空港事務所

2018 年度、2019 年度に大樹町多目的航空公園から高高度無人機を高度 150m 以上にて飛行させるための許可に係る申請及び運航調整を実施し、適宜、事務所からの質問等に対応する。

(3) 研究開発スケジュール・実施体制  
スケジュール

表 2.2.1.4-1 スケジュール

①通信衛星を利用したドローン運行管理システムの開発

事業計画	平成29年度				平成30年度				平成31年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
H29 ①-1-(ア) 衛星ドローンの設計	■											
①-1-(イ) 衛星ドローンの制作		■	■									
①-1-(ウ) 衛星通信装置非搭載型ドローンの設計	■											
①-1-(エ) ドローンの製作		■	■									
①-1-(オ) UTMの設計	■	■										
①-1-(カ) UTMの構築			■	■								
①-1-(キ) レバンド衛星通信ネットワークの構築			■	■								
①-1-(ク) UTMのシステム試験				■	■							
①-1-(ケ) 衛星ドローンの通信試験				■	■							
①-1-(コ) UTM配下での衛星ドローンの単機飛行試験				■	■							
①-1-(サ) 衛星Wi-Fiスポットの通信試験			■	■								
①-1-(シ) 衛星Wi-Fiスポットを経由したドローンからの画像伝送試験				■	■							
①-1-(ス) ドローンの単独飛行試験				■	■							
H30 ①-1-(ア) 衛星ドローンの画像データ伝送システムの改修					■	■						
①-1-(イ) 衛星ドローンに指示コマンドの送信をするための改修					■	■						
①-1-(ウ) 追加機能を使った衛星ドローン単機での飛行試						■	■					
①-1-(エ) 複数のドローンを使用した飛行試験							■	■				
H31 ①-1-(ア) 衛星ドローンの改修									■	■		
①-1-(イ) 複数ドローンの飛行試験										■	■	

②高高度無人機の開現用ソーラープレーンの改造

1) 現用ソーラープレーン実証機の改造

事業計画	平成29年度				平成30年度				平成31年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
H29 ②-1-(ア) ソーラープレーン改造のための設計	■	■										
②-1-(イ) ソーラープレーンの改造			■									
②-1-(ウ) ソーラープレーンの低高度での飛行試験(150m)			■									
②-1-(エ) 通信装置を実装しての地上試験			■									
②-1-(オ) ソーラープレーンに通信装置を実装した状態での飛行試験				■								

## 2) 高高度無人機の機体開発

事業計画	平成29年度				平成30年度				平成31年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
H29 ②-2)-(ア) 機体設計												
H30 ②-2)-(ア) 機体製作(パーツの品質試験含む)												
②-2)-(イ) 地上試験												
②-2)-(ウ) 地上走行試験												
②-2)-(エ) 実機での遠隔操縦による飛行試験												
H31 ②-2)-(ア) 高高度無人機の改修												
②-2)-(イ) 地上試験												
②-2)-(ウ) 地上走行試験												
②-2)-(エ) 実機での遠隔操縦による飛行試験												
②-2)-(オ) 実機での自動操縦による飛行試験												

## 3) 高高度無人機の自動操縦システム開発

事業計画	平成29年度				平成30年度				平成31年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
H29 ②-3)-(ア) 自動操縦システムの設計												
②-3)-(イ) 自動操縦システムの製作												
H30 ②-3)-(ア) 自動操縦システムの実装前結合試験												
②-3)-(イ) 実機への実装												
②-3)-(ウ) 実機での地上動作試験及び改修												
H31 ②-3)-(ア) 実機での自動操縦による飛行試験												

## ③高高度無人機とドローン間で行う通信装置開発

### 1) 高高度無人機とドローン間で行う通信装置開発

事業計画	平成29年度				平成30年度				平成31年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
H29 ③-1)-(ア) 通信装置の設計												
③-1)-(イ) 通信装置の製造												
③-1)-(ウ) 通信装置の地上試験												
③-1)-(エ) 通信装置をドローンに搭載しての試験												
H30 ③-1)-(ア) 改良型通信装置の設計												
③-1)-(イ) 改良型通信装置の地上試験												
H31 ③-1)-(ア) 高高度無人機に改良型通信装置を搭載												
③-1)-(イ) 飛行時通信試験												

### 2) 小型無線装置の製作

事業計画	平成29年度				平成30年度				平成31年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
H29 ③-2)-(ア) 通信装置の仕様作成												
③-2)-(イ) 通信装置の製造												
③-2)-(ウ) 通信装置の地上試験												
③-2)-(エ) 通信装置をドローンに搭載しての試験												
H30 ③-2)-(ア) 改良型通信装置の制作												

事業計画	平成29年度				平成30年度				平成31年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
H29 ⑥-2)-(ア) ソーラープレーン改造のための設計												
⑥-2)-(イ) ソーラープレーンの改造												
⑥-2)-(ウ) ソーラープレーンの低高度での飛行試験(150m)												
⑥-2)-(エ) 通信装置を実装しての地上試験												
⑥-2)-(オ) ソーラープレーンに通信装置を実装した状態での飛行試験												

④衛星を使ったドローン運行管理システムの総合試験

事業計画	平成29年度				平成30年度				平成31年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
H29 ④-1)-(ア) 福島テストフィールドを使った総合試験												
④-1)-(イ) 福島テストフィールドを使ったデモンストレーション												
④-1)-(ウ) 大樹航空宇宙実験場での高高度無人機を使った総合試験												

⑤試験を行う為の許認可・法整備等の調整作業

事業計画	平成29年度				平成30年度				平成31年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
⑤-1)-(ア) 現用ソーラープレーンの飛行許可(高度150m以上)												
⑤-1)-(イ) 高高度無人機、ドローンに係る通信の周波数割当、法制度 化												
⑤-1)-(ウ) 高高度無人機、ドローンに係る通信の周波数割当、法制度 化												
⑤-1)-(エ) 高高度無人機(高度20,000m前後+α)に対する機体性能 基準・安全基準												
⑤-1)-(オ) 高高度無人機、衛星ドローン、一般ドローンと有人機の衝突 回避に係る法制度												
⑤-1)-(カ) 高高度無線機、ドローン等の無線免許取得												
⑤-1)-(キ) 高高度無人機の飛行許可と安全対策(高度150m以上)												

実施体制

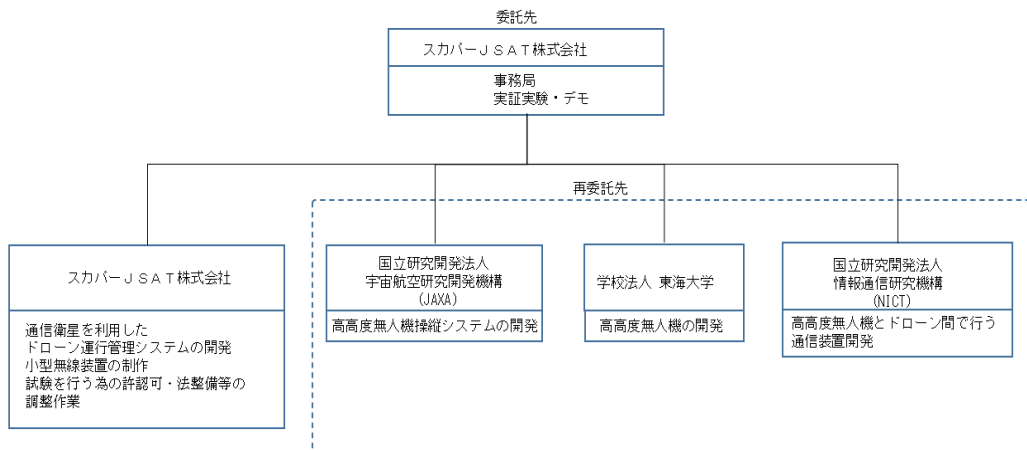


図 2.2.1.4-4 実施体制

#### (4) 研究開発の達成状況

##### ① 通信衛星を利用したドローン運行管理システムの開発

最終目標	成果	達成度	備考
衛星ドローンの設計	設計完了	○	
衛星ドローンの制作	制作完了	○	
衛星通信装置非搭載型ドローンの設計	設計完了	○	
ドローンの製作	制作完了	○	
UTM の設計	設計完了	○	
UTM の構築	構築完了	○	
L バンド衛星通信ネットワークの構築	構築完了	○	
UTM のシステム試験	システム試験完了	○	
衛星ドローンの通信試験	通信試験完了	○	
UTM 配下での衛星ドローンの単機飛行試験	単独飛行試験完了	○	
衛星 Wi-Fi スポットの通信試験	通信試験完了	○	
衛星 Wi-Fi スポットを経由したドローンからの画像伝送試験	画像伝送試験完了	○	
ドローンの単独飛行試験	単独飛行試験完了	○	
衛星ドローンの画像データを衛星経由で UTM へ送る為の改修	改修完了	◎	(*1)
衛星ドローンに指示コマンドの送信をするための改修	改修完了	○	
追加機能を使った衛星ドローン単機での飛行試験	飛行試験完了	○	
10km 以上の長距離飛行を可能とする衛星ドローンの改修	改修完了 12km 見通し外飛行を達成	◎	(*2)
複数ドローンの飛行試験	飛行試験完了	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*1) (\*2) 追加機能である。

##### ② 高高度無人機の開発

###### 1) 現用ソーラープレーン実証機の改造

最終目標	成果	達成度	備考
既存ソーラープレーンの改造設計	設計完了	○	
ソーラープレーンの改造	改造完了	○	
ソーラープレーンでの飛行試験	飛行試験完了	○	
通信装置を実装しての地上試験	地上試験完了	○	

ソーラープレーンに通信装置を実装した状態での飛行試験	飛行試験完了	○	
----------------------------	--------	---	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## 2) 高高度無人機機体開発

最終目標	成果	達成度	備考
機体設計	設計完了	○	
機体製作	制作完了	○	
地上試験	地上試験完了	○	
実機での遠隔操縦による飛行試験	飛行試験完了	○	
実機での自動操縦による飛行試験	自動飛行試験完了	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## 3) 高高度無人機の自動操縦システム開発

最終目標	成果	達成度	備考
自動操縦システムの設計	設計完了	○	
自動操縦システムの製作	制作完了	○	
自動操縦システムの実装前結合試験	結合試験完了	○	
実機への実装	実装完了	○	
実機での地上動作試験及び改修	地上試験及び改修完了	○	
実機での自動操縦による飛行試験	飛行試験完了	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## ③ 高高度無人機とドローン間で行う通信装置開発

### 1) 高高度無人機とドローン間で行う通信装置開発

最終目標	成果	達成度	備考
通信装置の設計	設計完了	○	
通信装置の製造	製造完了	○	
通信装置の地上試験	地上試験完了	○	
通信装置をドローンに搭載しての試験	試験完了	○	
改良型通信装置の設計	設計完了	○	
改良型通信装置の地上試験	地上試験完了	○	
飛行時通信試験	通信試験完了	○	
双方の無人機が通信機を介して衝突回避を行う改造	試験完了	◎	(*3)
400MHz 帯無線機の開発	開発完了	◎	(*4)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*3) (\*4) 追加機能である。



2) 小型無線装置の制作

最終目標	成果	達成度	備考
通信装置の仕様作成	仕様作成完了	○	
改良型通信装置の製造	製造完了	○	
通信装置の地上試験	地上試験完了	○	
改良型通信装置の制作	制作完了	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④ 衛星を使ったドローン運行管理システムの総合試験

最終目標	成果	達成度	備考
福島テストフィールドを使った総合試験	総合試験完了	○	
福島テストフィールドを使ったデモンストレーション	デモンストレーション完了	○	
高高度無人機を使った総合試験	総合試験完了	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑤ 試験を行う為の許認可・法整備等の調整作業

最終目標	成果	達成度	備考
現用ソーラープレーンの飛行許可	飛行許可取得	○	
高高度無人機に対する機体性能基準・安全基準による飛行許可	国交省本省、地方空港管理事務所等と機体性能基準・安全基準を説明し飛行許可取得	○	
高高度無人機、ドローンに係る通信・運航管制関係の標準化、法制度化	総務省と標準化・制度化を目指して、本研究開発高度化を検討	◎	(*5)
高高度無人機、ドローン等の無線免許取得	総務省本省、地方総通と交渉し免許取得	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*5) 2020年 RTCA DO-362A に高高度無人機経由ドローン運航管制 G2 リンクの技術基準改訂に反映

(5) 成果と意義

5.1. 研究開発項目① 通信衛星を利用したドローン運行管理システムの開発

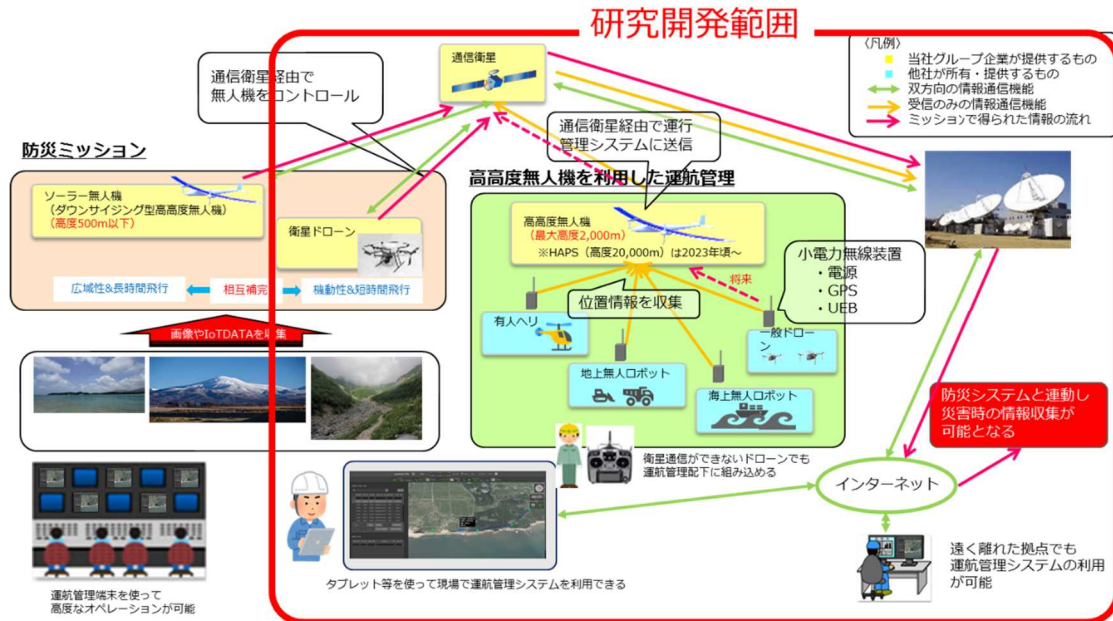


図 2.2.1.4-5 「運行管理システム(UTM)の制作」(実施者：スカパーJSAT 株式会社)

衛星通信を搭載して見通し外飛行を行うマルチコプター型無人機や市販されている産業用ドローンのほぼすべてにマジックテープなどで張り付けるだけで位置情報を送る装置等に対応した UTM を開発した。

この UTM は、リアルタイムで無人機の位置情報と飛行計画を上位の統合運航管理システムに送ることと他の UTM 配下で付近を飛行 (計画も含む) する無人機の位置情報をリアルタイムで収集し自身の UTM 内で安全運航を行う飛行計画を作成する事も可能とした。

また、衛星ドローンが撮影した画像を UTM サーバーに保存し閲覧することも可能とした。これらの成果は、見通し外飛行を行うドローンの運航管理をリモート ID の実装や統合運航管理システムと連携したドローン運航管理事業の実現に大きく貢献できた。

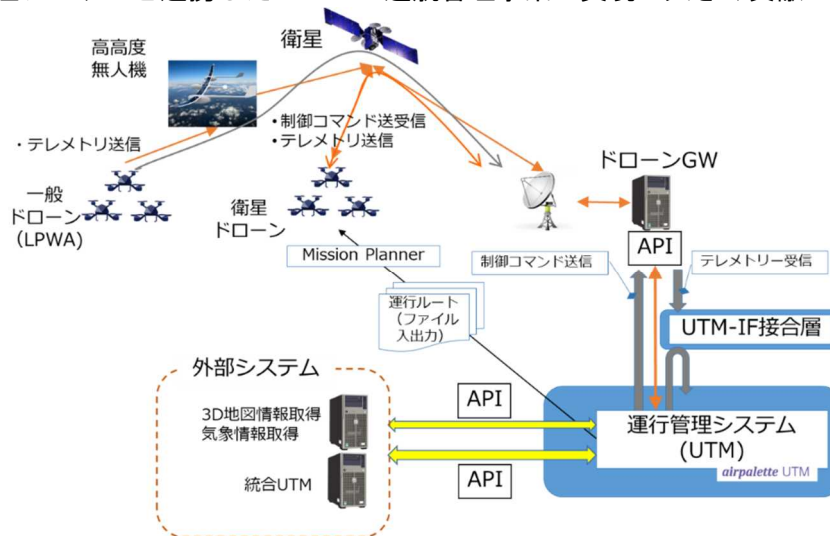


図 2.2.1.4-6 運行管理システム全体イメージ

### 5.1.2. 「衛星ドローンの制作」(実施者：スカパーJSAT)

衛星ドローンとは、見通し外飛行中にテレメトリ、画像の収集及びコマンド指令を衛星通信（インマルサット）を使って行うことができるマルチコプター型の無人機である。2017年度に完成した機体は、速度 7m/s で耐風速 7m/s 飛行距離は予測で 3.6km であったが、2018年～2019年に行った改良により、速度 14m/s で耐風速 10m/s で飛行が可能となり、当初設計値を大幅に上回る無着陸、自動操縦での飛行距離 12km 以上（自動飛行で実測）を可能とした。この結果、本機は安全に操縦できる電動マルチコプターとして山岳地域の救助支援や海上輸送等の自動飛行を可能とした。本研究開発は、より長距離飛行を必要とするマルチコプター型産業用ドローン市場に LTE 通信が届かない僻地での見通し外運用が可能なソリューションとして提供が可能になった。

2018年5月29日には、鳥取県警が行う大山での救助訓練に参加し、救助隊は当コンソで開発した小電力通信装置を持ち位置情報をリアルタイムで UTM に表示させることで衛星ドローンから送られてくる画像で遭難者を発見し、遭難者から最も近い救助隊に遭難者の位置と安全な登山ルートを指示して救助に成功するデモンストレーションを成功させた。

このように衛星通信装置を実装して実用的な飛行を可能としたマルチコプター型のドローンを日本で最初に実現した。また、本研究開発の完了後、新明和工業が固定翼無人機に衛星通信装置を使い遠隔飛行を試みるにあたり、この研究成果を活かして技術的な支援を行った。

項目		仕様
モデル		FH1440衛星ドローン
機体仕様	ローター数	6枚
	ローター径	660mm
	翼径	2100mm
	轴距	1440mm
	高さ	720mm
機体重量		20.8kg
オートパイロットシステム	フライトコントローラ	RidgeHawk
	自動飛行機能	あり
	飛行ログ機能	あり（位置情報、高度、時刻、飛行姿勢）
	その他	自動帰還機能
最大飛行時間	ホバー	約30分（43.8Vでフェイルセーフ起動）
最大飛行距離		約12km以上（7m/s飛行時）
飛行性能	水平	14m/s
	上昇	5m/s
	耐風性能	10m/s



図 2.2.1.4-7 完成機の諸元と実機写真

## 5.2. 研究開発項目② 高高度無人機の開発

### 5.2.1 「現用ソーラープレーン実証機の改造」(実施者：東海大学)

これまで飛行実績があった機体を改造し本研究で開発を行っている中継通信装置を搭載できるように軽量化とペイロード部分の補強を行って福島スカイパーク (37.822422, 140.389587 : 標高 402m) で飛行試験と 2.5.3 で開発を行っている通信装置の試験も行った。

機体は、申請対地高度 280m（海拔高度 680m）でも 2017年11月末 11時～15時の太陽光が強くない環境でも安定した飛行を行い、バッテリー残量は 99%を保ったままだった（これは、このような環境下でも太陽光だけで飛行に必要な十分なエネルギーを得る事が出来ると証明でき、2.5.2.2 で開発する大型ソーラー無人機的设计に反映することができた）。

通信ペイロードに関しては、その成果は、2.5.3 で記述するが、通信機器に対する機体から発するノイズの影響や GPS 信号を含む電波に対する機体の干渉の影響についても通信機担当チーム（NICT、スカパーJSAT）と協力して解析に使用するデータを提供できた。

### 5.2.2 「高高度無人機機体開発」(実施者：東海大学)

この機体は無人ソーラー固定翼機としては国内最大(翼長 15.71m、重量 69kg)で繰り返し離着陸が可能な車輪を持たせたことで、将来の HAPS 事業を行う為のペイロード(本研究開発では主に通信ミッション)や 2.5.2.3 で開発する自動操縦技術、成層圏中層(高度 18km~22km)を飛行させる場合の課題などを集める事ができた。

完成した機体は、2019 年 2 月 10 日~16 日沖縄県伊是名場外離着陸場(26.937080, 127.916972)で見直し内マニュアル操縦での試験を行った。機体は、設計通りの飛行性能を出したが、機体の一部に不具合が見つかり、機体の一部設計を見直し大幅な改造を施した。また、設計の見直しに当たり、より適切な改造となるように航空機メーカー(新明和工業)の支援を受けて改造機体を完成させた。この機体は、2019 年 8 月 19 日~8 月 24 日に大樹航空宇宙実験場で 2019 年 2 月の試験と同じ内容の試験を実施した。その結果 2.5.2.3 の研究開発に必要な飛行データを収集することができ、機体の発電率や電力消費量を収集することができ、総合試験で使用する 2.5.3 で開発した通信装置を実装しても飛行に全く影響が出ない事を確認できた。

この結果を踏まえて、2019 年 9 月 22 日~27 日に同じく大樹航空宇宙実験場で、2.5.1.2 で使用した同じモデルの衛星通信装置、2.5.2.3 の自動操縦システム、2.5.3.1 で開発した通信中継装置を全て稼働させた状態での飛行試験を 4 回行い(内 2 回は自動飛行)全てのミッションを成功させた(ミッションの内容と成果については、2.5.4.3 で記述)。

この時の飛行時間は、1 回目マニュアル 5 分、2 回目マニュアル 5 分、3 回目自動 15 分、4 回目自動 30 分。

この成果は、スカパーJSAT 社と共有し、その後スカパーJSAT 社が HAPS の総務省研究開発(主に通信ミッション)と事業化(2022 年 7 月 20 日 NTT 社と共同出資で Space Compass 社を立ち上げ、2025 年の HAPS サービスを目指している)に大きく貢献している。

また開発したソーラー無人機は、このタイプとして、実際に飛行する機体として国産国内最大級(2022 年現在)であり、世界の開発競争で後れを取っている HAPS 機体で国産開発の可能性を示した。

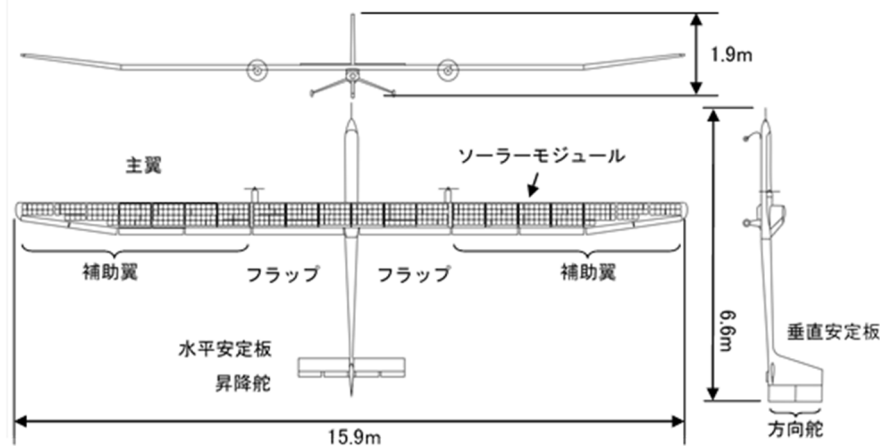


図 2.2.1.4-8 完成機図



図 2.2.1.4-9 実機の写真

#### 5.2.3 「高高度無人機の自動操縦システム開発」(実施者：JAXA)

本システムは、大きく、機体に搭載するフライトコントロール装置、飛行制御プログラム、グラウンドコントロールステーションからなる。大型(翼長 15.7m 最大離陸重量 90kg)のソーラー無人機のアビオニクス開発は国内でも初めての試みになる為、これまで JAXA が開発してきた無人機(U-ARMS 等)のノウハウを生かしながらも専用の設計を行った。

特に飛行制御プログラムは、機体の特性が設計値でしかわからず、機体開発を担当している東海大学と連携を取りながらの開発となった。設計値だけで足りないデータに関しては、2019年8月19日～8月24日に大樹航空宇宙実験場で行った飛行試験時の飛行データを収集することで機体特性の解析が進み、2019年9月22日～27日に大樹航空宇宙実験場で行った高高度無人機の自動飛行試験では、設計通りの加速度負荷に抑えるように飛行させることができた。

また、高度や飛行コースの変更を行うコマンドに対しても機体に負荷のかからない範囲の加速度を維持した。さらに繰り返し実施した飛行試験を通じて機体に組み込まれた各種センサーから送られてくるテレメトリデータを飛行終了後ただちに解析し、飛行プログラムへとフィードバックさせることで完成度を上げることができた。

これらの成果は、スカパーJSAT社と共有し本研究プロジェクト終了後にスカパーJSAT社が行っている HAPS 事業に役立てられている。また、本研究成果は国産 HAPS 開発にも大きく貢献できると考えている。



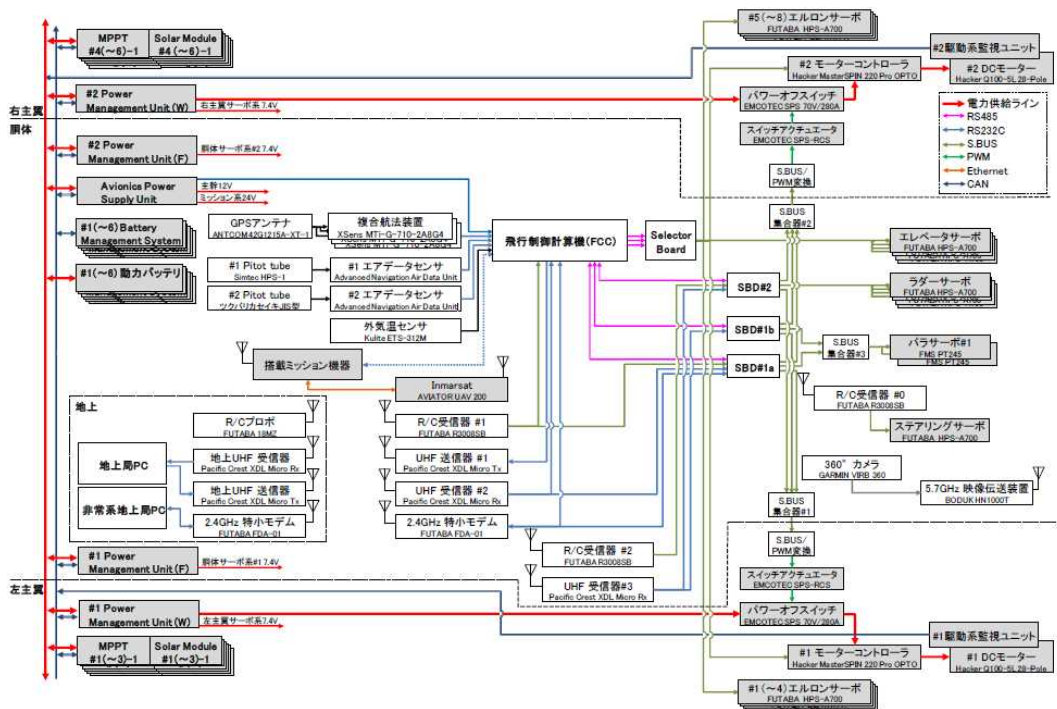


図 2.2.1.4-10 自動操縦システム構成図

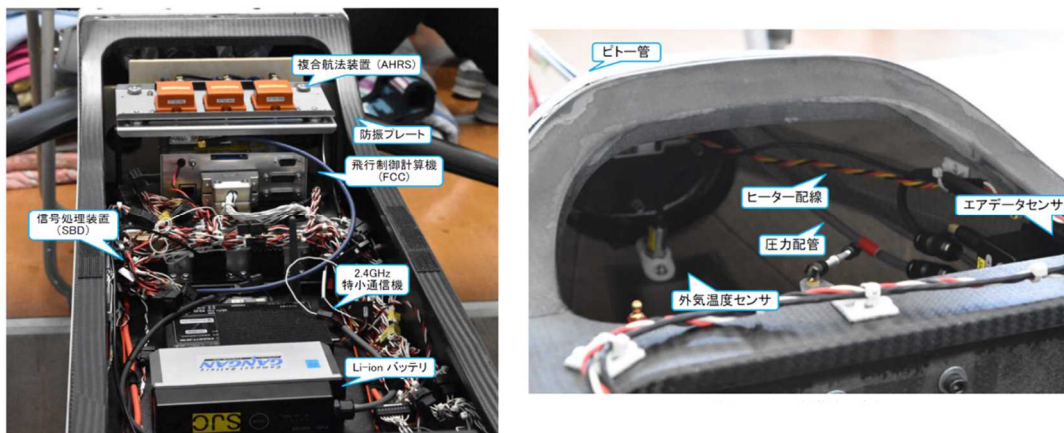


図 2.2.1.4-11 機体の実装されたシステム

### 5.3 研究開発項目③ 高高度無人機とドローン間で行う通信装置開発

#### 5.3.1 「高高度無人機とドローン間で行う通信装置開発」(実施者：NICT)

2017年11月27日～12月1日に福島スカイパーク(37.822422, 140.389587:標高402m)で改造した既存ソーラー無人機に開発をした通信機(FSK方式)を搭載し地上局(自動車に設置)を移動させて測定した結果、飛行場から約2kmまで良好に通信が出来た。データのスループットは1秒以下で問題ないと判断されるが、通信距離2kmは、実用的ではないので課題として残った。

2.5.3.2で製作された小型無線通信装置のLoRa方式を取り入れながらスループットを維持した小電力無線装置の開発に成功した(スループットは1秒以下で通信距離7.5kmを2019年1月16日～18日に福島RTFの試験で実証した。また小型化にも成功し初期バー

ジョンの無線装置(70×125×40mm)から改良型(82×70×24mm)では体積比で約2/5の大きさにできた。本研究成果はDRESSプロジェクトの他のコンソであるSUBARUに協力し、ヘリ型無人機に搭載して貢献をした。無線機の改良は最終的に改良型の厚さが約半分(12mm程度)まで小型化を実現し、追加機能として互いの小電力通信装置が衝突回避を行うべくドローンの制御を行う機能と遠隔でドローンの制御を可能とした。また、追加研究として400MHz帯の無線機を開発した。これらの成果は、2020年1月23日～24日に福島RTFで試験を行い実証した。本研究の成果は、スカパーJSAT社と共有し、その後スカパーJSAT社が総務省研究開発(HAPS C2リンク通信の暗号化等)に引き継がれ、NICTも総務省研究開発(HAPS C2リンク通信装置の開発)へと発展的に継続して今後の国産HAPS開発の通信パイロード開発への貢献が期待される。



図 2. 2. 1. 4-12 北海道大樹町で行った通信試験結果



図 2. 2. 1. 4-13 完成した小型通信機

### 5. 3. 2 「小型無線装置の製作」(実施者：スカパーJSAT)

小型の小電力無線通信としてIoT等で一般的なLoRa方式の無線装置をベースにマルチコプター型無人機に搭載可能な小型軽量を開発し、2017年11月27日～12月1日に福島スカイパーク(37.822422, 140.389587 : 標高 402m)で改造した既存ソーラー無人機に搭載して通信性能を測定した。

その結果通信距離は約8kmと良好な結果であった。しかし、スループットが極端に悪く1電文(24byte)を送信するのに4秒程度かかってしまった。これは高速(10m/s前後)で移動するマルチコプター型無人機では、安全な見通し外飛行ができないが、この試験結果を解析しNICTでLoRa方式及びFSK方式の良い特徴を持った通信機の開発につなぐこ

とができた。

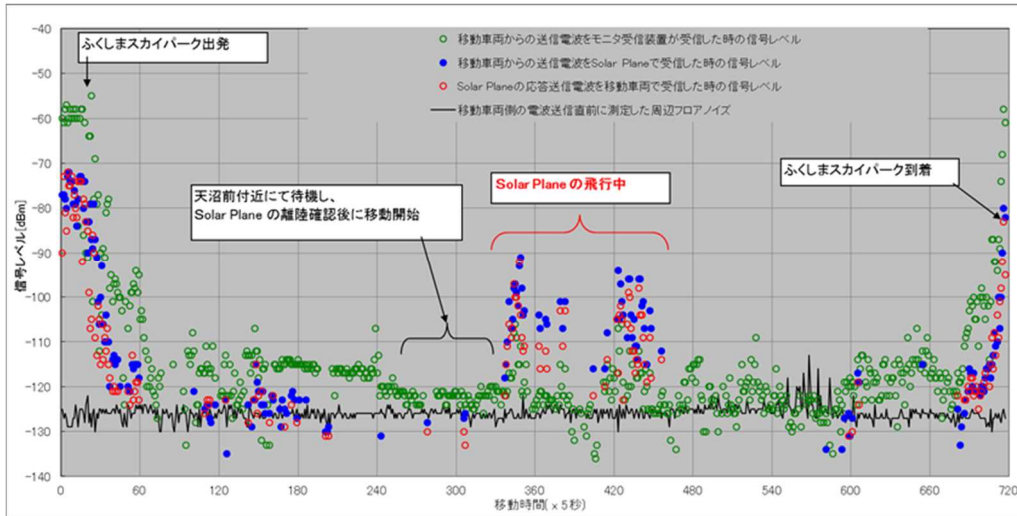


図 2. 2. 1. 4-14 ふくしまスカイパークで行った通信テスト結果

#### 5. 4 研究開発項目④ 衛星を使ったドローン運行管理システムの総合試験



図 2. 2. 1. 4-15 UTM 上で他コンソ（黄色マーク）と自コンソ（青マーク）のリアル飛行データの表示

##### 5. 4. 1 「福島 RTF を使った総合試験（実施者：スカパーJSAT、NICT）」

2019年10月24日～25日に福島RTFで、本研究開発の2.5.1.及び2.5.3のテーマの実証実験を行った。各課題の成果はそれぞれの成果で明記しているが、この総合試験では、さらに上位の統合運航管理システム（FIMS）と常にデータの送受信を行う事で他社の無人機の飛行情報を当コンソが開発した UTM 画面上にリアルタイムで表示することができ、互いの無人機安全飛行を実現できた。

##### 5. 4. 2 「福島 RTF を使ったデモンストレーション」（実施者：スカパーJSAT、NICT）」

2019年11月7日～8日に福島RTFで、2.5.1.及び2.5.3のテーマのデモンストレーションを行った。特にこのデモンストレーションでは、RTF周辺に100機以上のマルチコプター型無人機がFIMS管理配下で安全に飛行をさせる事ができる事を証明した。当コンソ



も付近を飛行する SUBARU コンソの無人機との干渉を FIMS からの情報を基に衝突を回避する飛行を行いながら、当コンソで開発した各機能も電波干渉や統合運航管理システム (FIMS) との情報通信の負荷に影響させる事なく動作し実用レベルの安定性を証明することができた。

この成果は、2022 年 7 月 20 日にスカパーJSAT と NTT が合併で立ち上げた HAPS オペレータ企業である Space Compass 社が運用する HAPS の運航管理システム、更に他の HAPS オペレータが運用する場合に必ず必要となる統合運航管理システム (FIMS) の開発に繋がる。

#### 5.4.3 「高高度無人機を使った総合試験」

(実施者：スカパーJSAT、東海大学、JAXA、NICT)

本研究開発を始めたかなり早い段階で、福島 RTF の滑走路の提供が当研究開発に間に合わない事がわかり、日照条件は悪いが、高高度無人機の組み立てや整備が可能な格納庫と離着陸を安全に行う為に必要な滑走路を有している、大樹航空宇宙実験場で 2019 年 9 月 22 日～27 日に本研究開発の全てのテーマ (一部 FIMS との連携などは接続環境がないため使用していない) の実証を行った。特に高高度無人機を飛行場内～海上までの範囲で自動飛行をさせながら約 5km と 10km 離れたマルチコプター型無人機に搭載した小電力無線装置の位置情報を高高度無人機が衛星経由で中継しリアルタイムで UTM に送り、UTM 上で常に無人機の位置をモニタリングすることができた。

この成果は単に無人機の運航管理にとどまらず、将来の HAPS を使った無人機や空飛ぶクルマ等の安全飛行を支えるインフラとして非常に有効であると証明できた。

またこの成果は 2022 年 7 月 20 日にスカパーJSAT と NTT が合併で立ち上げた HAPS オペレータ企業である Space Compass 社のサービス開発に役立てる事ができると確信している。

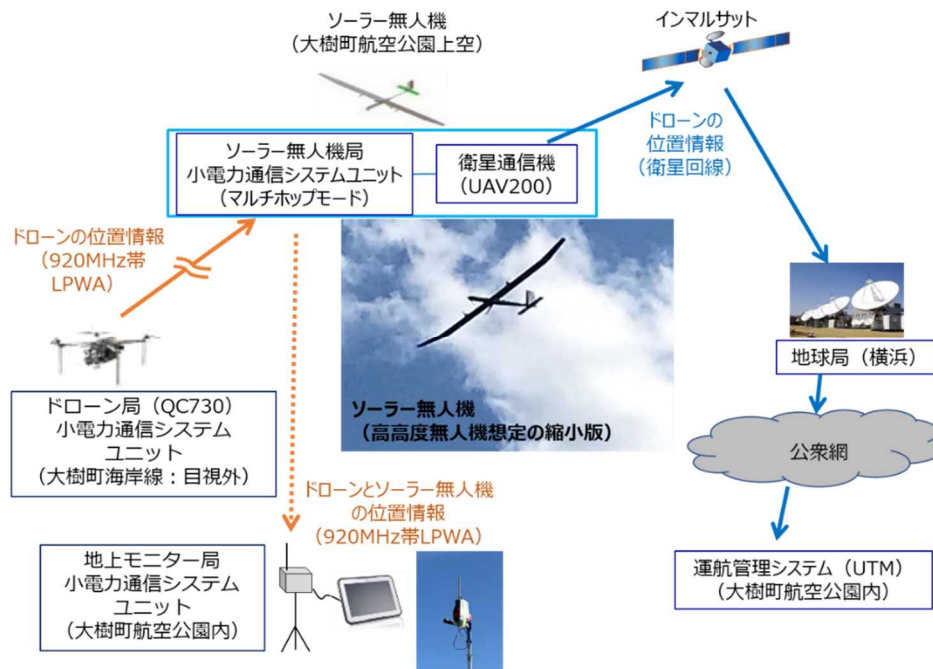


図 2.2.1.4-16 検証試験のネットワーク構成と位置情報の流れ

## 5.5 研究開発項目⑤ 試験を行う為の許認可・法整備等の調整作業

(実施者：スカパーJSAT)

本研究開発にて実施した高高度無人機、ドローン及び衛星を介した運航管制システムは、総務省で推進している Beyond5G において、その主要な技術課題となっている超カバレッジの実現に向けた非地上ネットワーク NTN (Non-Terrestrial Network) の先駆けとなる開発である。スカパーJSAT は、本稿のIVの 1.1 項に記載する通り、5.03GHz 帯にて高高度無人機経由でドローンを運航制御する C2 リンクの研究開発を総務省から受託し実施し、その成果を 2020 年に RTCA (米国航空無線通信技術委員会) の技術基準文書 (DO-362 A) に反映し、引き続き ICAO の標準文書 (SARPs) やマニュアル (C2 リンクマニュアル) に反映すべく活動しているところであるが、本研究開発成果はこれらの活動の基本ベースとなっている。

また、スカパーJSAT は、本研究開発の成果をベースとして、NICT、NTT ドコモ等と協力して高高度無人機 (HAPS) を利用した 5G ネットワーク実現を目指す総務省研究開発を 2020 年に受注し、その技術開発及び事業実現に向けた法制度整備の交渉を 2022 年から国交省航空局及び総務省総合通信基盤局と実施しているところである。また、本研究開発の成果を高度化させて、多数の HAPS を同時に運航管制する仕組みの開発や制度化についても、経済産業省、総務省、国土交通省と相談しつつ、関連する事業者、有識者と連携し、取り組みを開始しているところである。

本研究開発の成果は、NTN 事業に向けた HAPS の技術開発や標準化・制度化の活動に繋がっており、国策である Beyond5G 推進や、空の産業革命推進にとっても、大変有意義なものであったと考える。

## (6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	2	3	2	-	-	7
学会発表・シンポジウム講演等	4	9	5	-	-	-	18
展示会出展	0	4	0	-	-	-	4
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	1	-	-	-	1
ニュースリリース・プレスリリース	2	1	2	-	-	-	5
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

## (7) 実用化・事業化への道筋と課題

### 1. 実用化・事業化に向けた戦略

本研究開発では、衛星及び高高度無人機 (HAPS: High Altitude Platform Station) 経由で上空のドローンや飛翔体を運航管理するシステムの開発を目指すとともに、高高度無人機の機体開発に加え、衛星、高高度無人機、及び、ドローン間を接続する無線通信機器の開発も行った。これらの開発は、ドローンや空飛ぶクルマなどの安全産業利用の基盤となる技術であり、高高度無人機 (HAPS 等) の産業利用や、Beyond5G 時代のサービスエリア拡張に資する衛星、HAPS から構成される非地上系 (NTN: Non Terrestrial Network) の無線通信システムの実現に資する技術となっている。

当社は、高度 3 万 6 千 Km の静止衛星通信 (GEO) をベースとしてサービスを提供しているが、高度 1000Km 程度の低軌道衛星 (LEO)、高度 20Km 程度の高高度無人機 (HAPS) や高度数 100m 程度のドローンや空飛ぶクルマなど、高度を下げた全ての通信ノードを繋いだ非地上系 (NTN) と地上系の光ファイバー網や Beyond5G 等の次世代の移動通信システムとの融合ネットワークの実現を目指している。本研究開発は、NTN の基本構成要

素の一部である GEO/高高度無人機（ソーラー無人機）/ドローンを繋ぐ通信ネットワークの利用例として、ドローン運航管制システムの開発を行ったもので、2025 年頃以降に利用が期待される HAPS を用いたドローンや空飛ぶクルマに対する安全運航システムや Beyond5G 等の次世代移動通信システムの国内サービス提供に資するものである。これらのシステムは、Beyond5G の超カバレッジ提供を可能とし、携帯電話事業者や光ファイバー事業者のサービス展開に寄与し、また陸、海、空の交通、物流管理、インフラ点検、リモートセンシング等の高度化や有人システムと無人システムの統合的な安全運航管理などを推進し、HAPS を含む NTN の実用化・事業化を図るものである。

本研究開発の主な構成要素の一つである高高度無人機の開発や HAPS 及び衛星を利用した運航管理システムの開発を事業化に結び付けるためには、将来事業化を目指す HAPS の運航管理や衛星・HAPS を含む NTN の標準化、制度化が出口戦略として必須である。HAPS 等の高高度無人機の運航管理については、ICAO の RPASP (Remotely Piloted Aircraft System Panel) で 2025 年の ICAO 総会における標準化に向けて活動が行われている。また、総務省発行の「Beyond 5G に向けた情報通信技術戦略の在り方」の報告書において、HAPS の標準化については、2023 年の ITU 世界無線通信会議 (WRC-23) において、IMT 基地局としての HAPS が利用可能な周波数が不足している状況を改善するため、日本としては HAPS に必要な周波数を確保するように対応していくとしている。更に、2027 年の ITU 世界無線通信会議 (WRC-27) において、HAPS を含めた NTN の利用できる周波数の拡大の議論ができるよう共用条件等の対応をしていくとされており、当社は、これらの標準化を推進すべく、総務省の HAPS システムと 5G システムの連携に係わる研究開発及び、NICT の NTN システムと Beyond5G システムの連携に係わる研究開発等を通して標準化・制度化を推進する。

## 2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

本研究開発の実用化・事業化に向けた出口戦略は、HAPS を含む NTN システムのサービス提供を世界に先駆け提供することである。本年 7 月に当社は NTT 社と共同出資（50% : 50%）で資本金 180 億円の Space Compass 社を設立し、2025 年頃に HAPS 経由でスマホ等の携帯電話端末に直接通信を提供する国内でサービスを開始する予定で準備を進めているところである。本サービスは、まずは離島、山間部などの情報通信条件不利地域からサービスを開始し、2030 年代前半ころまでには、衛星及び HAPS で構成される NTN システム経由で日本の領海・領空をカバーする次世代移動通信システムの規格に対応したサービスを全国に展開する予定である。また、ウクライナ情勢や台湾情勢の国際情勢の緊迫化を踏まえ、経済安全保障の確保の観点からも、宇宙や上空システムを利用した領空・領海内のリモートセンシング能力の向上が喫緊の課題となっており、日本国としての課題解決の方策として、国内事業者による HAPS を含む NTN システムの事業化が期待されているところである。HAPS の実用化については、欧州の Airbus 社や、米国の AeroVironment 社、UAVOS 社、SCEYE 社等の機体メーカーで機体開発が順調に進んでおり、成層圏での試験飛行が報告されているところで、これらの状況を踏まえ、HAPS メーカーと連携し国内デモ、大阪万博でのデモを計画中である。

本研究開発の出口戦略である HAPS を含む NTN システムの事業化を実現するためには、世界において現時点で事業化されていない NTN のユースケースを具体化し、国際的な標準化や国内制度化に取り組む必要がある。NTN の標準化、制度化には、国内的には、衛星事業者である当社、地上通信事業者である NTT 社、携帯電話事業者である NTT ドコモ社、ソフトバンク社、NTN 事業実現のために発足した Space Compass 社が、標準化、制度化に向けて定期的に会合を持ち、電波法の制度化については総務省に、HAPS など航空法の制度化については国交省に定例的に相談しているところである。また、標準化

については、HAPS 産業界メンバーを中心として発足した HAPS アライアンスに 2022 年に参画し、ITU-R、3GPP での HAPS・NTN 関連の標準化を国際的な産業界メンバーとの連携のもと活動を開始し、また、3GPP に 2022 年より参加し、NTN の標準化についても NTT ドコモ社と連携して Rel. 18 への提案など本格的な活動を開始したところである。

当社としては、引き続き 2023 年度まで総務省の 5G 網と連携した HAPS システムの研究開発を NTT ドコモ社、NICT、パナソニック社、ソフトバンク社と連携して取り組むとともに、2024 年度まで NICT の NTN システムとユースケースの開発を NTT 社、NTT ドコモ社、パナソニック社とともに取り組み、事業化を目指す。

また、Beyond5G と連携する HAPS や NTN の高度化に向けて新たな研究開発が必要な技術については、当社及び Space Compass 社が総務省と相談し、次年度以降の提案を検討しているところである。

更に、大規模 HAPS ネットワークを運航管制するシステムや次世代 HAPS 機体の要素技術の研究開発についても、主に Space Compass 社が経済産業省と相談し、次年度以降に更なる提案を検討しているところである。

### 3. 実用化・事業化の見通し

本研究開発の出口として、HAPS の実用化があげられるが、HAPS 実用化については、上空の偏西風が強い日本の緯度の高いエリアに対応した機体の推進系開発や複数機体運用時の運航管制技術、離発着時の有人機との運用調整ルール確立が課題となっており、機体メーカーの開発状況を踏まえつつ、日本に特有の課題については、経済産業省や国土交通省と相談し、機体認証要件や運航管制ルールと連携した HAPS の運航管理システムの研究開発や燃料系システムやモーター等の推進系単体技術の開発を推進する。HAPS は、世界に先駆けた事業であるため、参照すべき国際標準、他国で前例となる制度が確立しておらず、電波法、航空法における国内制度化が事業化に向けた最大の課題である。

電波法に係わる制度面では、HAPS の携帯電話サービスに必要な国際的な周波数の確保と国内制度化、運航管理に必要な G2 リンク周波数及び空域管制センターと HAPS 間の周波数の国内制度化など、総務省と定期的に相談し、技術試験事務、情報通信審議会等の審議を経て、2025 年度の事業化を目指している。

また、航空法に係わる制度面については、HAPS 機体規模に応じて、無人航空機か、無操縦者航空機のいずれかに該当し、飛行するエリア（無人地帯、人口密度の低いエリア、人口集中エリア）等のカテゴリによって、制度化の必要性、要件が異なっているため、ICAO 標準化や欧米各国の制度化動向を確認しつつ、機体能力に応じた制度化を国土交通省と相談し HAPS 機体仕様に反映することが重要課題となっている。これらの課題をクリアしつつ世界に先駆けて日本で事業化ができれば、その事業化、制度化ノウハウ、サービスを海外展開することが期待できる。

具体的には、Beyond5G と連携したドローン、空飛ぶクルマ等の交通・物流管理、ローカル通信ネットワークの提供を制度面とパッケージして日本での事業事例を横展開することなどが考えられる。

本研究開発で開発した高高度無人機経由でドローンを運航管理する無線機器の周波数は、920MHz 帯と低い周波数で、割り当て帯域も狭いため、ドローン収容台数が抑えられて、事業化に適していなかったため、本研究開発の想定モデルをベースとして、事業化に適した高い周波数で無人機の G2 リンクに専用的に割り当てられた C 帯（5030-5091MHz）を用いた HAPS 経由の G2 リンクシステム開発を総務省の研究開発で 2019 年度～2021 年度で実施した。

総務省の研究開発システムをベースとした高高度無人機経由の通信システムを米国航空無線技術委員会（RTCA）の技術基準文書の DO-362 A に日本提案として入力し、そ

の内容が盛り込まれ 2020 年末に発行された。更に本内容を ICAO の RPASP で D0-362 A 内容を 2025 年発行予定の C2 リンクマニュアルに盛り込むべく活動中である。

HAPS の携帯電話事業化に向けた標準化については、ITU-R の WRC-23 において IMT 基地局としての HAPS が利用可能な周波数が不足している状況を改善するため周波数の確保を目指した議題 1.4 にて、ソフトバンク社が主導し、NTT ドコモ社とともに標準化を目指してサポートを行っている。一方、国内の制度化においては、本年 5 月以降、当社と Space Compass 社が主体となって定期的に総務省と打ち合わせを行い、移動系、固定系及び C2 リンク系等の事業化の HAPS の利用形態毎に検討項目や検討スケジュールをソフトバンク社と NTT ドコモ社と連携し整理しているところで、2025 年度上期までに制度化を終える予定である。

また、ITU-R の WRC-27 に向けては、ソフトバンク社及び NTT ドコモ社とともに NTN に利用できる周波数確保や規則の見直しに係わる課題を検討しており、更に 3GPP においては、NTT ドコモ社と連携し、日本の固有特性（海洋立国、災害大国）を踏まえて、Rel. 19 に新規 NTN ユースケース・要求条件を検討して提案を反映する予定である。提案に際しては、今年参加した衛星業界グループ（SSIG: Satellite Standardization Interest Group）と連携して実施する予定である。

### 6.2.1.5 3) 運航管理機能の開発（離島対応等）：

#### 準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発

（実施期間：3年間（2017年度～2019年度））

（実施者：株式会社SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社自律制御システム研究所、三菱電機株式会社）

#### （1）事業の背景・意義（目的・概要）

##### 1) 目的

ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発及び標準化活動が活発である。一方、我が国においても、サービスの高度化や社会課題解決のためにロボット・ドローンの高度利活用が期待されており、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（第6回）（2017年5月19日開催）にて取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ」に沿って、離島や山間部での無人航空機による荷物配送の実現等を目指し、官民一体となって取り組んでいると認識している。

この「空の産業革命に向けたロードマップ」に示された無人地帯での目視外飛行（レベル3）（例えば、離島や山間部への荷物配送）及び有人地帯での目視外飛行（レベル4）（例えば、都市の物流、警備）の本格化に向けては、他の飛行体（有人航空機、無人航空機等）や障害物との衝突を回避しつつ飛行するための衝突回避技術の開発が必要不可欠である。

このため、離島間物流（以下、「離島運航」）のように、地上と無人航空機間の通信インフラが十分に整備されておらず、また、様々な状況の変化が想定される長距離飛行において、無人航空機が自律的に飛行経路を変更し、準天頂衛星システムを利用して精密に飛行する技術（＝自律的ダイナミック・リルーティング技術）を実装したシステムを開発する。この自律的ダイナミック・リルーティング技術の実装イメージ図を図2.2.1.5-1に示す。

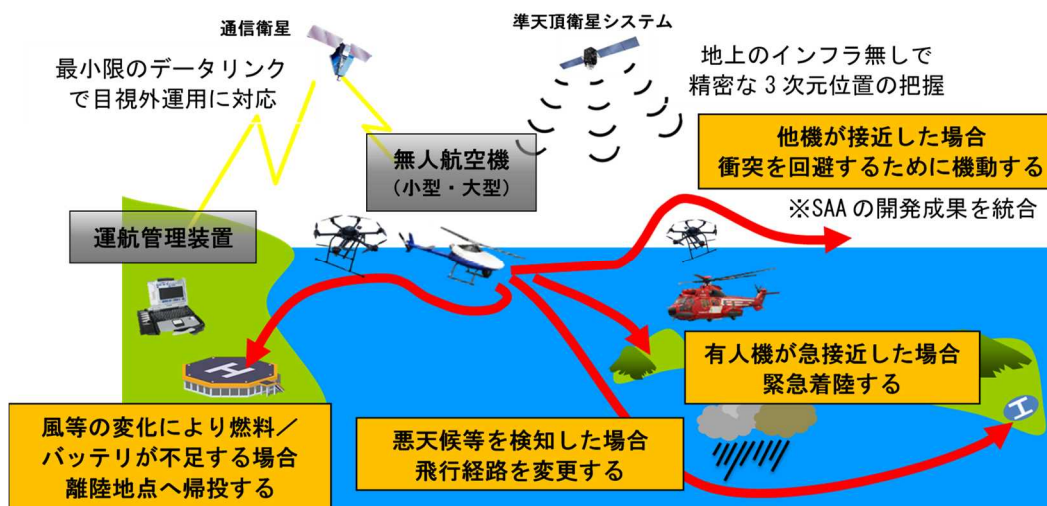


図 2.2.1.5-1 自律的ダイナミック・リルーティング技術の実装イメージ図

また、自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発に当たっては、準天頂衛星システムによる高精度な位置情報に基づく自律飛行を実装する無人航空機を用いた基礎的

な性能データを取得した後、自律的ダイナミック・リルーティング技術を開発し、それを実装した無人航空機を用いて、福島ロボットテストフィールド（以下、「福島 RTF」）にて、定量的な性能評価を実施し、本土及び離島間での実環境下における飛行試験を行いその有効性を評価する。

本土～離島運用を想定した運航管理システム＝飛行空域に十分な地上設備なしで実現



- ①準天頂衛星システム → 地上装置なしで精密な 3 次元位置測定を実現
- ②通信衛星データリンク → 地上装置なしで目視外運用を実現  
(通信遅延・データ量制約あり)



**②の課題を①を用いて解決するために、自律的ダイナミック・リルーティング技術を開発**



## (2) 研究開発目標と根拠

### 1) 技術課題と解決手法

自律的ダイナミック・リルーティング技術は、周辺状況の変化を把握し、飛行経路を再設定する技術であり、飛行経路の再設定は、衝突回避も統合されたものである。

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」の基本計画に示される研究開発内容に対する技術課題とその解決手法について表 2.2.1.5-1 に示す。

表 2.2.1.5-1 研究開発内容（基本計画）に対する技術課題とその解決手法

研究開発内容 (基本計画)	技術課題	解決手法
①マルチ GNSS (Global Navigation Satellite System)により取得した高精度な位置情報により無人航空機の自律制御を行う	①-1 長距離の飛行を行うため、飛行中に発生する機器故障や気象急変など状況変化が予測できない	①-1 無人航空機の内部データや準天頂衛星システム等を含む搭載センサの情報により、自機の故障や、気象条件の変化など周辺状況変化の把握ができる状況判断アルゴリズムを開発
	①-2 主として洋上となる離島までの飛行経路においては、地上と無人航空機間に、十分な伝送速度と伝送容量を有する通信インフラが確保できないため、地上の操作員からの詳細な管理・操作ができない	①-2 地上操作員からの最小限の管理・操作でも、周辺状況の変化に対応した無人航空機の飛行経路を再設定できる自律的な経路生成アルゴリズムの開発及び、時間遅れ・伝送容量制約が大きい見通し外通信インフラでも、最小限の無人航空機からの情報と無人航空機への操作で、安全性・信頼性の確保が可能な地上管理装置の開発
②安全かつ信頼性の高い目視外での自律飛行を実現するために、無人航空機の衝突回避技術の開発において開発された技術を統合する	②-1 目視外における衝突回避を実施する場合、無人航空機は、有人航空機や無人航空機において標準化されたルールに従った衝突回避の機動を行う必要がある	②-1 将来的には国内／国際的な標準化を考慮し、様々な衝突シナリオ（衝突対象、相対速度、自機の飛行状態）に対応する標準的な衝突回避ルールの設定
	②-2 本土・離島間の長距離飛行において想定される様々な衝突リスクに対応する必要がある	②-2 準天頂衛星システムによる位置情報の共有や、有人航空機に搭載される ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) データの利用、無人航空機に搭載された電波センサや光波センサによる衝突対象の探知情報など、複数の協調 SAA (Sense And Avoid) と非協調 SAA を組み合わせることで、より多様な衝突リスクを回避する衝突回避技術の統合の実施



## 2) 飛行実証

1) 技術課題と解決手法で示した研究開発成果を実証するために、以下の(a)～(c)のステップで飛行実証を実施する。

### (a) 基礎データの取得

- ・準天頂衛星システムの高精度位置情報を使用した無人航空機の誘導制御の基本性能データと、離島運用を想定した各種センサの基礎データを取得し、自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発の資を得る。
- ・自律的ダイナミック・リルーティング技術を搭載した無人航空機と有人航空機を福島 RTF 等で飛行させ、空中で停止している有人航空機に無人航空機が接近した際に、各種センサが有人航空機を検知し予め定めた回避機動の動作検証試験を実施する。
- ・これまで実施しているシミュレーションは自機と回避対象機が1対1の場合を想定しているが、より実フライトに近い環境での検証のために、回避対象機を増やしたパターンを追加検証する。

### (b) 定量的な評価試験

- ・開発した自律的ダイナミック・リルーティング技術を用い、設定した運航シナリオが安全に実現できることを、計測設備が整備された福島 RTF において実証し、定量的な性能を把握する。
- ・レーダのノイズにまぎれて探知できないまま相手が接近する場合やレーダの上下方向覆域外からの脅威機が接近する場合といった、特殊な状況まで想定し、近距離で探知した場合でも確実に衝突回避を行うための緊急回避機能についても追加検証する。
- ・ドローン運航管理システム (UTM: Unmanned Air System Transport Management) の相互接続試験に参加し、他の無人航空機が複数機、同一空域を飛行する状態での飛行実証を実施する。

### (c) 実環境での飛行実証

離島運航シナリオを設定し、本土及び、離島間において実環境下での自律的ダイナミック・リルーティング技術の有効性を評価する。

## 3) 国際標準化の提案活動

1) 技術課題と解決手法及び 2) 飛行実証の成果に基づき、無人航空機の衝突回避技術に関する国際標準化に向けた以下の提案活動を実施する。

- ・標準化に向けた海外技術動向の調査
- ・ISO(International Organization for Standardization)のTC(Technical Committee) 20「航空機及び宇宙機」の分科委員会である SC (Sub Committee) 16「無人航空機システム」向け技術レポートの作成
- ・ISO 国際会議への参加

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

目標達成に向けた研究開発のスケジュールを表 2.2.1.5-2 に示す。  
また、研究開発の実施体制を図 2.2.1.5-2 に示す。

表 2.2.1.5-2 研究開発スケジュール

事業項目	2017 年度				2018 年度				2019 年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発	設計				製造				試験結果の反映・改善			
②飛行実証												
(1) 基礎データの取得												
(2) 定量的な評価試験												
(3) 実環境での飛行実証												
③国際標準化提案												

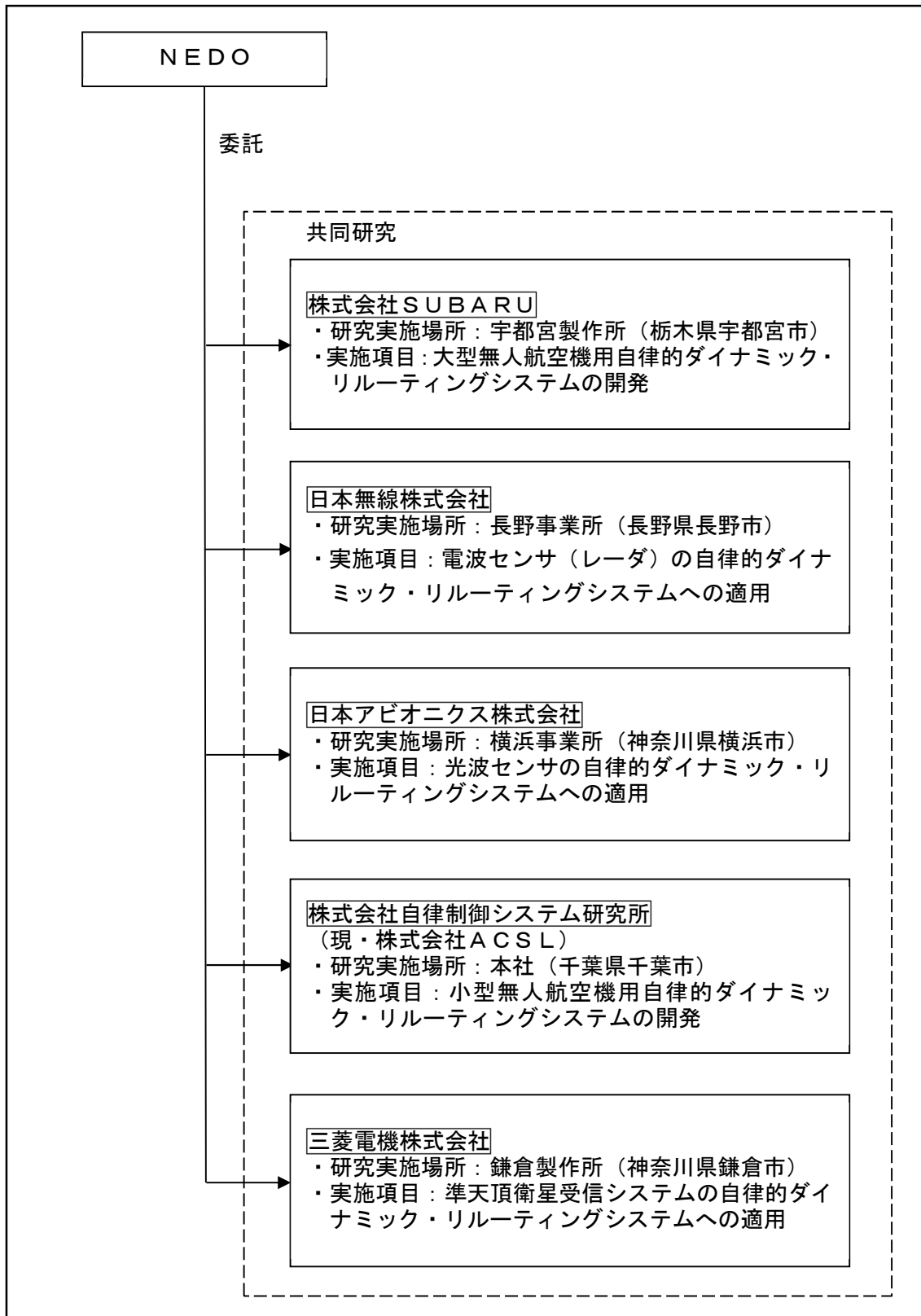


図 2. 2. 1. 5-2 研究開発実施体制

(4) 研究開発の達成状況

① 自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発

準天頂衛星システムによる位置情報の共有や有人航空機に搭載される ADS-B データの利用、無人航空機に搭載された電波センサや光波センサによる衝突対象の探知情報など、複数の協調 SAA と非協調 SAA を組み合わせることで、より多様な衝突リスクを回避する衝突回避技術を統合して、無人航空機自らが最適な飛行経路を生成し、衝突回避するシステムを開発した。

最終目標	成果	達成度	備考
(1) <u>長距離飛行を行うための状況判断</u> ： 無人航空機の内部データや準天頂衛星システム等を含む搭載センサの情報により、自機の故障や、気象条件の変化など周辺状況変化の把握ができる状況判断アルゴリズムの開発	・ 自律的ダイナミック・リルーティングシステムが「探知し回避する障害の種別」と「それに対する対応方法」について具体的内容を検討し、対処方法をソフトウェアに実装した	○	
(2) <u>離島における無人航空機の管理</u> ： 地上操作員からの最小限の管理・操作でも、周辺状況の変化に対応した無人航空機の飛行経路を再設定できる自律的な経路生成アルゴリズムの開発及び、時間遅れ・伝送容量制約が大きい見通し外通信インフラでも、最小限の無人航空機からの情報と無人航空機への操作で、安全性・信頼性の確保が可能な地上管理装置の開発	・ 全体構想の案を構築し、離島運用における管理方法及び運航管理統合システム等との連携について具体化した	○	
(3) <u>衝突回避ルールの設定</u> ： 将来的には国内／国際的な標準化を考慮し、様々な衝突シナリオ（衝突対象、相対速度、自機の飛行状態）に対応する標準的な衝突回避ルールの設定	・ 諸外国の状況を踏まえた、有人航空機等の協調・非協調を含めた衝突回避のルールの調査を行い、ルール（案）を設定した	○	
(4) <u>協調・非協調の衝突回避技術の統合</u> ： 準天頂衛星システムによる位置情報の共有や、有人航空機に搭載される ADS-B データの利用、無人航空機に搭載された電波センサや光波センサによる衝突対象の探知情報など、複数の協調 SAA と非協調 SAA を組み合わせることで、より多様な衝突リスクを回避する衝突回避技術の統合の実施	・ センサ間のインタフェースを明確化し、長距離の飛行において、回避を行うことができるシステムを構築し検証を完了した	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②飛行実証

小型／中型無人航空機を用いた基礎的なデータを取得した後、自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発を行い、それを実装した無人航空機を用いて、福島 RTF にて定量的な性能評価を実施し、本土及び離島間での実環境下における飛行試験を実施して、その有効性を評価した。

最終目標	成果	達成度	備考
<p>(1) <u>基礎データの取得</u>：</p> <p>(a) 準天頂衛星システムの高精度位置情報を使用した無人航空機の誘導制御の基本性能データと、離島運用を想定した各種センサの基礎データを取得し、自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発の資を得る</p> <p>加えて、自律的ダイナミック・リルーティング技術を搭載した無人航空機と有人航空機を福島 RTF 等で飛行させ、空中で停止している有人航空機に無人航空機が接近した際に、各種センサが有人航空機を検知し予め定めた回避機動の動作検証試験を実施する</p> <p>(b) これまで実施しているシミュレーションは自機と回避対象機が1対1の場合を想定しているが、より実フライトに近い環境での検証のために、回避対象機を増やしたパターンを追加検証する</p>	<p>(a) 自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発に必要な各種センサの基礎的なデータを取得した</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小型無人航空機に小型化した準天頂衛星システムを統合し、水平・上下方向の位置精度向上を確認した</li> <li>・離島での運用を想定した実環境において実装するセンサの探知データを取得した</li> </ul> <p>(b) 搭載センサのモデルを組み込み、回避対象機を増やしたパターンなど、より実フライトに近い環境でのシミュレーションを行い、回避できることを確認した</p>	○	
<p>(2) <u>定量的な評価試験</u>：</p> <p>(a) 開発した自律的ダイナミック・リルーティング技術を用い、設定した運航シナリオが安全に実現できることを、計測設備が整備された福島 RTF において実証し、定量的な性能を把握する</p> <p>(b) レーダのノイズにまぎれて探知できないまま相手が接近する場合やレーダの上下方向覆域外からの脅威機が接近する場合といった、特殊な状況まで想定し、近距離で探知した</p>	<p>(a) 福島 RTF にて飛行実証を行い、定量的な性能を把握した</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中型無人航空機を用い、相対100km/hで正対する有人ヘリコプターとの自律的な衝突回避に成功した</li> <li>・小型無人航空機を用い、相対100km/hで正対する小型無人航空機との自律的な衝突回避に成功した</li> </ul> <p>(b) 近距離で探知した場合でも確実に衝突回避を行うための緊急回避機能についても追加検証し、有人航空機及び小型無人航空機を回避できることを確認した</p>	○	

<p>場合でも確実に衝突回避を行うための緊急回避機能についても追加検証する</p> <p>(c) ドローン運航管理システムの相互接続試験に参加し、他の無人航空機が複数機、同一空域を飛行する状態での飛行実証を実施する</p>	<p>(c) ドローン運航管理システムの相互接続試験において、自律的ダイナミック・リレーティング技術を実装した小型／中型無人航空機をUTMと相互に接続し、他の無人航空機が複数機、同一空域を飛行する状態で飛行できることを確認した</p>		
<p>(3) <u>実環境での飛行実証</u>： 離島運航シナリオを設定し、本土及び、離島間において実環境下での自律的ダイナミック・リレーティング技術の有効性を評価する</p>	<p>・離島運航シナリオを設定し、離島環境を模擬した実フィールドにおいて、飛行中に故障や燃料残量の減少、悪天候を検知した場合、無人航空機が自らの判断で経路を変更し、事前に設定された緊急着陸地点まで飛行する機能を実証した</p>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### ③国際標準化の提案活動

①自律的ダイナミック・リレーティング技術の開発及び②飛行実証の成果に基づき、無人航空機の衝突回避技術に関する国際標準化に向けて、ISO 国際会議等で研究成果の情報発信を行った。

最終目標	成果	達成度	備考
<p>①自律的ダイナミック・リレーティング技術の開発及び②飛行実証の成果に基づき、無人航空機の衝突回避技術に関する国際標準化に向けた提案活動を実施する</p> <p>具体的には、(1)標準化に向けた海外技術動向の調査、(2)ISOのTC20「航空機及び宇宙機」の分科委員会であるSC16「無人航空機システム」向け技術レポートの作成、(3)ISO国際会議への参加を行う</p>	<p>・ダイナミック・リレーティング技術の開発及び飛行実証の成果に基づき、無人航空機の衝突回避技術に関する国際標準化に向けた提案活動として、標準化に向けた海外技術動向の調査及びISO国際会議等で研究成果の情報発信を行った</p>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(5) 成果と意義

5.1 研究開発項目①「自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」

5.1.1 「長距離飛行を行うための状況判断」(実施者：株式会社SUBARU、自律制御システム研究所)

中型無人航空機と小型無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティングシステムが「探知し回避する障害の種別」と「それに対する対応方法」について表 2.2.1.5-3 のとおりに、また、「探知し回避する障害の種別」と「安全距離及び探知方法」を表 2.2.1.5-4 のとおりに設定し、装置に実装した。

表 2.2.1.5-3 探知し回避する障害の種別とそれに対する対応方法



探知し回避する障害の種別	対応方法		
	中型無人航空機 	小型無人航空機 	
有人航空機	「衝突回避のルールの設定」の項目にて説明		
無人航空機			
鳥	無人航空機に準じる		
地形・樹木	<a href="#">上昇</a>		
鉄塔			
悪天候(雲・雨域)	<a href="#">旋回</a>		
風速変化	<a href="#">予定経路を変更し、離陸地点又は着陸地点の近い方へ直線飛行</a>		
故障	バッテリー低下／ 推力低下	<a href="#">緊急着陸地点</a> 、離陸地点、着陸地点の近い方へ直線飛行	
	航法データ異常		
	通信途絶		
帰投困難	<a href="#">その場降下</a>		

表 2.2.1.5-4 探知し回避する障害の種別と安全距離及び探知方法

探知し回避する障害の種別	安全距離		中型無人航空機		小型無人航空機	
	離隔距離	離隔高度	探知方法	監視範囲	探知方法	監視範囲
有人航空機	(※1) 150m	(※1) 前進飛行時 : 30m ホバリング時 : 50m	①ADS-B ②レーダ ③光波センサ	全周 (360度)	①ADS-B ②光波センサ	ADS-B 全周 (360度) ・ 光波センサ 前方 (20度)
中型無人航空機	(※2) 自機寸法 ×5	(※2) 自機寸法 ×5	①レーダ ②光波センサ			
小型無人航空機					①光波センサ	
鳥						
地形・樹木	(※3) 30m	—	①レーダ			
鉄塔	(※3) 30m	—				
悪天候 (雲・雨域)	(※4) 700m	—	①UTM 気象情報 ②レーダ ③光波センサ	①UTM 気象情報	—	

- ※1 : ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト 性能評価基準等の研究開発 調査用無人航空機の評価手法の研究開発の試験結果
- ※2 : 過去飛行実績による (コンソーシアム独自設定)
- ※3 : 無人航空機 (ドローン、ラジコン機等) の安全な飛行のためのガイドライン (国土交通省) の第3者との距離
- ※4 : 航空法における高度 3,000m 未満の有視界飛行条件における雲からの離隔距離に 100m の余裕を加算



5.1.2 「離島における無人航空機の管理」(実施者：株式会社SUBARU、自律制御システム研究所)

離島運航における無人航空機の管理に関する全体構想を図 2.2.1.5-3 のとおり具体化した。

離島運航における無人航空機の管理は、運航管理装置に楽天株式会社 の UASSP (運航管理機能) サーバを經由して、FIMS (運航管理統合機能) サーバと接続して管理を行う方針とした。

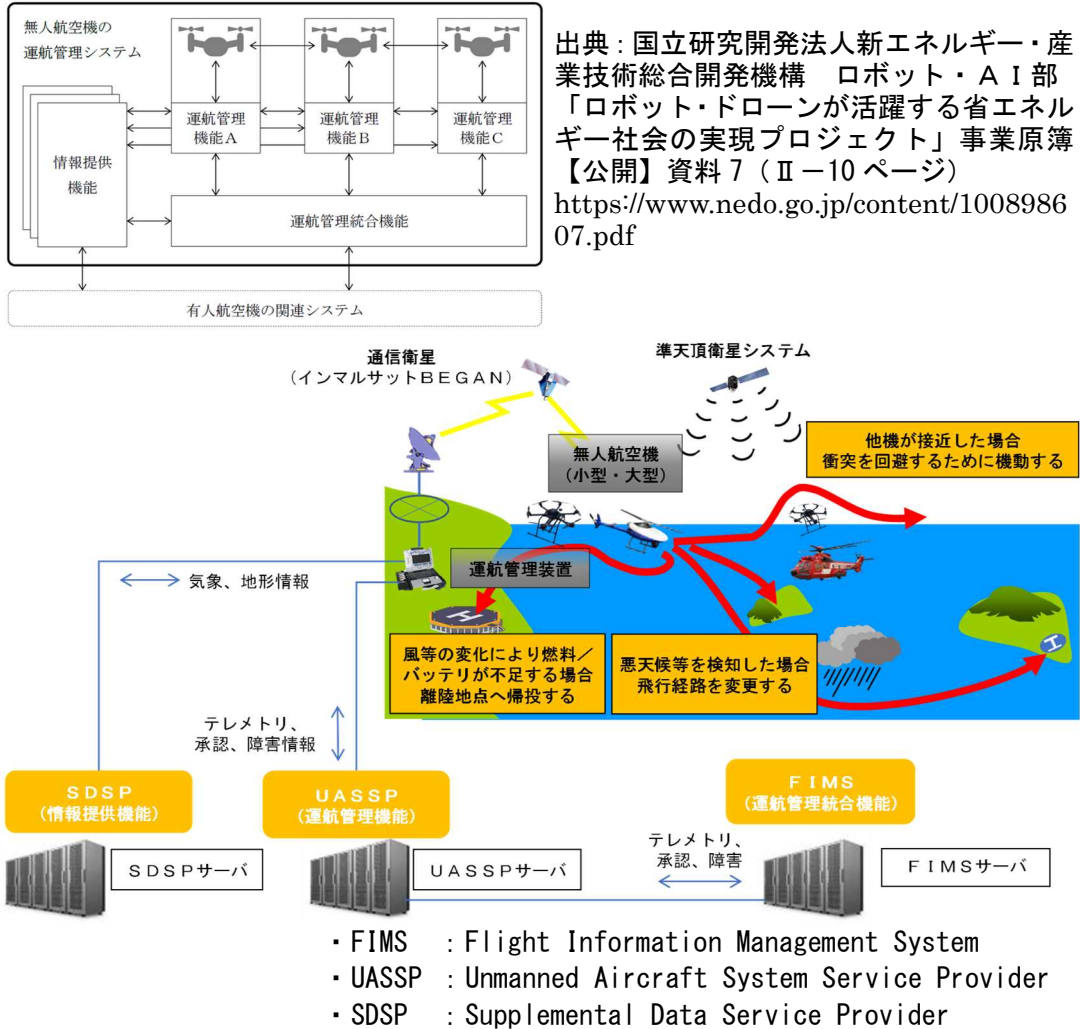


図 2.2.1.5-3 離島運航における無人航空機の管理要領 (1/2)

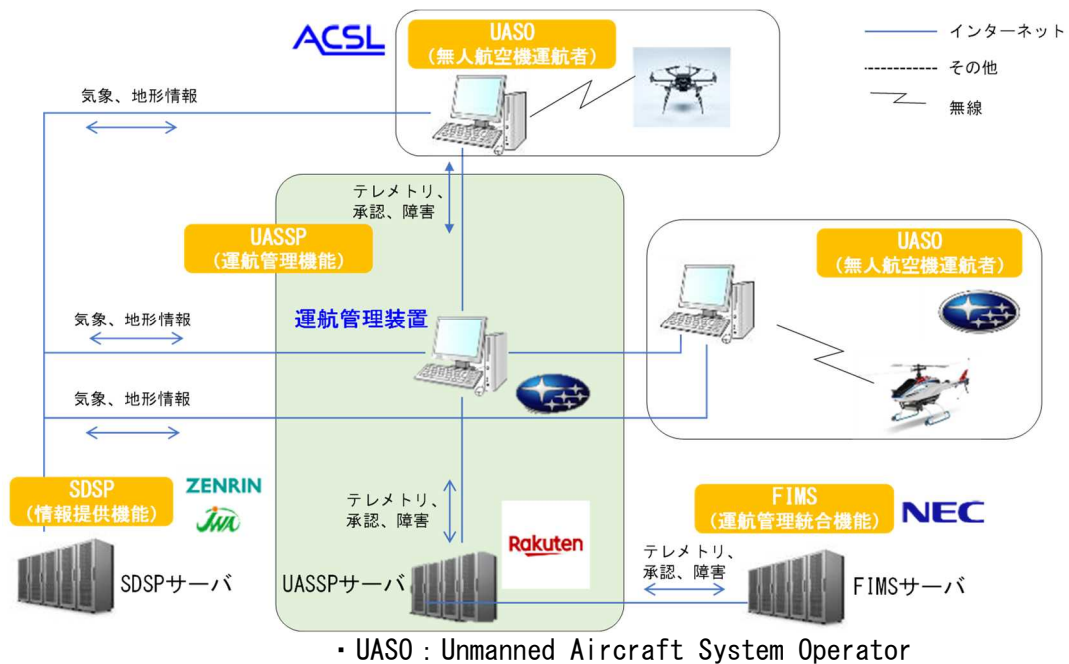


図 2. 2. 1. 5-3 離島運航における無人航空機の管理要領 (2/2)

### 5. 1. 3 「衝突回避ルールの設定」(実施者：株式会社SUBARU、自律制御システム研究所)

離島運航における衝突回避を実現するために、有人航空機等の協調・非協調を含めた既存の衝突回避のルールの調査を実施した結果、表 2. 2. 1. 5-5 に示すとおり現状明確にルールが定められているものは存在しなかった。このため、この調査結果を踏まえ、衝突回避ルールの基本方針を次に示すとおり整理した。

#### 【衝突回避のルールの基本方針】

- 有人航空機に対し、無人航空機が回避を行う。
- 回避行動は、減速、旋回、上昇、降下のいずれかを選択する。
- 無人航空機同士は、互いに右へ進路を変更する。

上記衝突回避ルールの基本方針を考慮し、無人航空機の性能を考慮した衝突回避を行うことが必要であるため、本プロジェクトにおいては、表 2. 2. 1. 5-6 に示す衝突回避ルールを基本として飛行実証を行う。

表 2.2.1.5-5 既存の衝突回避ルール

項目	区分	回避ルール
日本航空法	有人航空機 無人航空機	<ul style="list-style-type: none"> <li>・進路の優先権を種別ごとに設定 (<b>無人航空機は最も低い優先権</b>)</li> <li>・<b>同順位</b>の航空機においては、<b>互いに進路を右</b>に変更</li> <li>・追い越す場合は右を通過</li> </ul>
ACAS II (ICAO)	有人航空機	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一定の距離に近づくと<b>上下方向</b>の回避を指示</li> </ul>
ACAS III (ICAO)	有人航空機	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一定の距離に近づくと、<b>上下、水平方向</b>の回避を指示</li> </ul>
RTCA DO-362	無人航空機	<ul style="list-style-type: none"> <li>・150m 以上の空域における衝突回避の方法について、探知情報に基づき回避行動 (<b>旋回、上昇、降下</b>) をとるよう規定されている</li> <li>・<b>回避ルールについての明示は無い</b></li> </ul>
ACASX (NASA)	有人航空機 無人航空機	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エアライン等で使用されている衝突防止装置 (TCAS) の発展型として検討が進められており、旅客機のような大型機との衝突回避を想定している</li> </ul>

- ・ ACAS : Airborne Collision Avoidance System
- ・ ICAO : International Civil Aviation Organization
- ・ RTCA : Radio Technical Commission for Aeronautics
- ・ DO-362 : Command and Control (C2) Data Link Minimum Operational Performance Standards (MOPS) (Terrestrial)
- ・ NASA : National Aeronautics and Space Administration
- ・ TCAS : Traffic alert and Collision Avoidance System

表Ⅲ2.2.1.5-6 本プロジェクトにおける衝突回避ルール

探知し回避する 障害の種別	回避行動を実施する無人航空機の種別	
	中型無人航空機	小型無人航空機
有人航空機 	正面からの接近 : <b>旋回</b> 上記以外 : <b>減速 &gt; 旋回 &gt; 降下 / 上昇</b> の優先順位で経路を選択	正面から接近 : <b>降下</b> 上記以外 : <b>減速</b> (停止)
中型無人航空機 		正面から接近 : 降下し、状況が改善されない場合は <b>右旋回</b> 上記以外 : 減速 (停止)
小型無人航空機 		

5.1.4 「協調・非協調の衝突回避技術の統合」(実施者：株式会社SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、三菱電機株式会社)

自律的ダイナミック・リルーティング技術を実現できるように、協調・非協調センサ間のインタフェースを図 2.2.1.5-4 に示すとおり設定した。

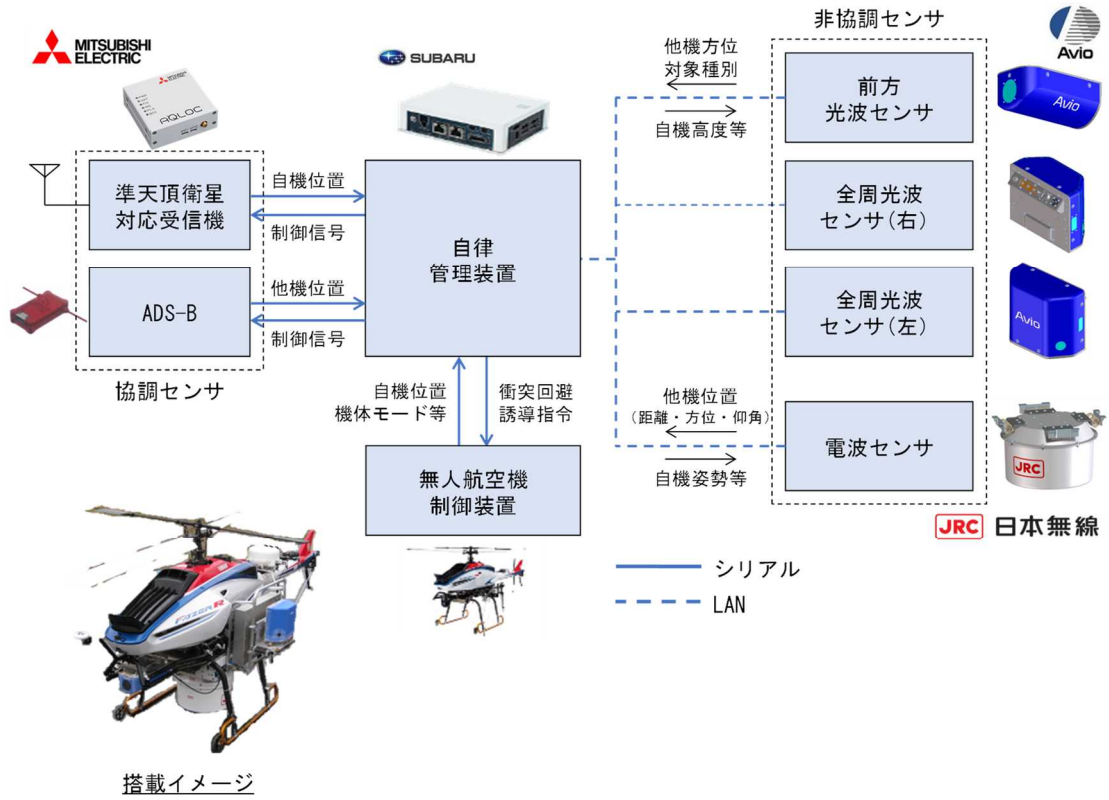


図 2.2.1.5-4 協調・非協調センサ間インタフェース

## 5.2 研究開発項目②「飛行実証」

自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発に当たっては、準天頂衛星システムによる高精度な位置情報に基づく自律飛行を実装する無人航空機を用いた基礎的な性能データを取得した後、自律的ダイナミック・リルーティング技術を開発し、それを実装した無人航空機を用いて、福島 RTF にて、定量的な性能評価を実施し、本土及び離島間での実環境下における飛行試験を行いその有効性を評価した。

### 5.2.1 「基礎データの取得」(実施者：株式会社SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、自律制御システム研究所、三菱電機株式会社)

- (1) 自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発に必要な基礎データの取得を2018年12月に福島 RTF において計画しており、これに先立ち、2018年9月18日から9月21日の間、ヤマハ森野試験場(静岡県周智郡森町)及び遠州灘沖(静岡県掛川市)において、センサ搭載形態の中型無人航空機が正常に飛行できか確認した。

自律的ダイナミック・リルーティング技術を実装したシステム構成品の一部の電波センサ及び光波センサを中型の無人航空機に搭載し、飛行試験を行い、印加される振動等のデータを取得し、中型無人航空機との接続が問題無く実施できることを確認した。

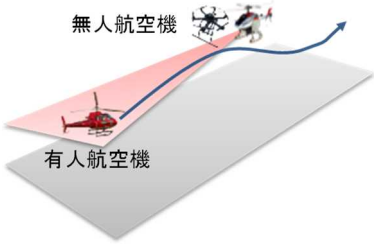
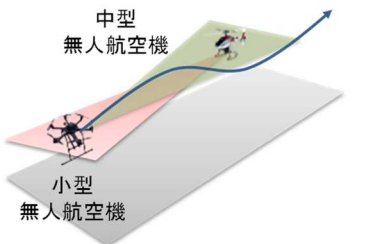
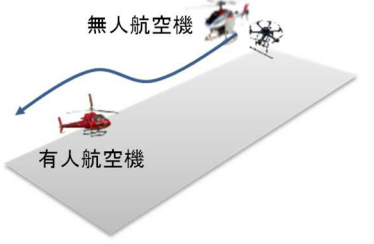
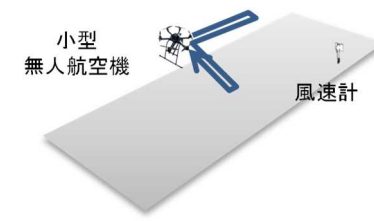
具体的な内容としては、電波センサ(レーダ)のアンテナ部を回転させ、この状態における中型無人航空機の姿勢変動等の影響を確認した。また、光波センサの振動対策を実施した形態の検証を実施した。

- (2) この飛行試験結果を踏まえ、2018年12月10日から12月14日に、福島 RTF において、離島運用を想定した電波センサ及び光波センサの基礎データと、準天頂衛星システムの高精度位置情報を使用した小型無人航空機の誘導制御の基本性能データを取得した。

①有人航空機探知試験として、各種センサを搭載した空中で停止している無人航空機に有人航空機が接近し、探知性能を確認する。②無人航空機探知試験として、各種センサを搭載した空中で停止している中型無人航空機に小型無人航空機が接近し、探知性能を確認する。③無人航空機回避機動基礎試験として、無人航空機が回避機動を模擬し、飛行中の有人航空機の探知性能を確認する。④準天頂衛星受信機精度確認試験として、小型無人航空機に準天頂衛星受信機を搭載し、前後、左右に飛行させ、測位精度を定量的に把握する4つの実証試験を実施した。これら基礎データの取得の試験成果概要を表2.2.1.5-7に示す。

基礎データの取得試験は、共同実施者12社・機関、50名規模の参加者と協力し、安全確保の上、5日間で、100ケースの基礎試験データを取得できた。この基礎データの取得の試験実施状況を図2.2.1.5-5に示す。

表 2.2.1.5-7 基礎データの取得の試験成果概要

試験名称	試験成果概要	
① 有人航空機探知試験	<p>空中で停止している無人航空機（各種センサ搭載）に有人航空機を接近させ、無人航空機が有人航空機を探知できるか確認した</p>	
② 無人航空機探知試験	<p>空中で停止している中型無人航空機（各種センサを搭載）に小型無人航空機を接近させ、中型無人航空機が小型無人航空機を探知できるか確認した</p>	
③ 無人航空機回避機動基礎試験	<p>無人航空機が回避機動を模擬し、飛行中の有人航空機のプロキシ性能を確認した</p>	
④ 準天頂衛星受信機精度確認試験	<p>小型無人航空機に準天頂衛星受信機を搭載し、前後、左右に飛行させ、測位精度を定量的に把握した</p>	

プレスリリース : 試験状況についてプレスリリースを実施し、共同通信、時事通信、日本経済新聞、福島民友、福島NHK等で報道された他、2019年3月号の航空情報にて試験結果についての記事が記載され広く周知できた。

- ・ 日本経済新聞（北海道・東北版）  
無人航空機の衝突回避試験実施 NEDO など福島県で
- ・ 福島民友  
ドローン衝突防げ！センサー作動試験 福島県から夢や期待発信
- ・ 航空情報（2019年3月号）  
世界初、衝突回避の試験実施

■ 試験結果 : 共同実施者12社・機関、50名規模の参加者と協力し、安全確保の上、5日間で、100ケースの基礎試験データを取得できた。



図 2. 2. 1. 5-5 基礎データの取得の試験実施状況



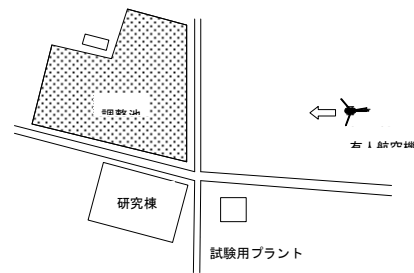
(a) ①有人航空機探知試験、②無人航空機探知試験及び③無人航空機回避機動基礎試験の結果詳細

(7) 電波センサ

中型の無人航空機に電波センサを搭載し飛行させ、建物等の固定物の反射を抑圧し、移動目標の検出ができることを確認した。(図 2. 2. 1. 5-6 参照)



電波センサの無人航空機への搭載状態



試験実施場所概略

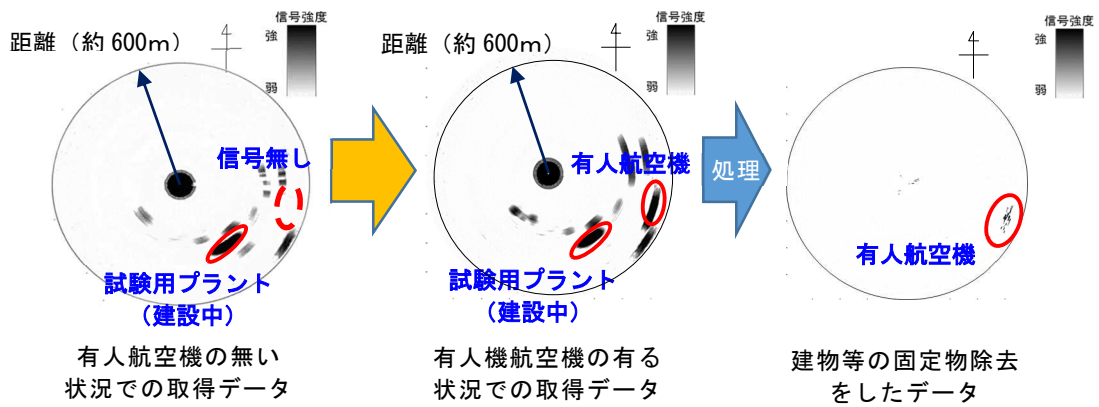


図 2. 2. 1. 5-6 電波センサの基礎データ取得状況



(イ) 光波センサ

光波センサを中型無人航空機に搭載し、飛行状態における機上撮影画像の画質確認、及び探知・識別処理の確認並びに課題抽出を行った。

取得した映像は免振機構が有効に作動し、処理に必要な解像度及び画質を有していることを確認した。

有人航空機（AS350）と小型無人航空機（ACSL-PF1）を対象機として、探知及び識別の処理性能の確認と今後の課題抽出を行った。（表 2.2.1.5-8、図 2.2.1.5-7 及び図 2.2.1.5-8 参照）

表 2.2.1.5-8 光波センサの基礎データ取得 探知・識別処理の成果及び課題

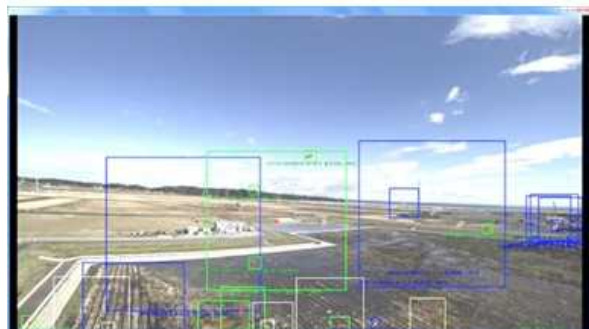
ケース (カメラ)	対象機種	探知・識別処理 所見	今後の課題
正面接近 (前方カメラ)	有人航空機	探知安定、物体方向により識別不安定要素あり	学習データの改善
	小型無人航空機		
正面接近 (全周カメラ)	有人航空機	地上構造物の影響による障害発生	探知マスキング処置の改善
	小型無人航空機		
全周カメラ間 移動	有人航空機/ 小型無人航空機	カメラ間物体移動時の同定が出来ていない。	オーバーラップ領域内同定処理追加



図 2.2.1.5-7  
正面接近 前方カメラ処理画像



図 2.2.1.5-8  
正面接近 全周カメラ処理画像



(b) ④準天頂衛星受信機精度確認試験の結果詳細

小型無人航空機 (ACSL-PF1) を用いて、図 2.2.1.5-9 の実証用受信端末の無人航空機搭載時の測位精度を評価し、図 2.2.5-10 の結果が得られた。

この実証用受信端末は、衛星からの信号のみでセンチメートル級の測位精度が得られる準天頂衛星のセンチメートル級測位補強サービスに対応したものである。

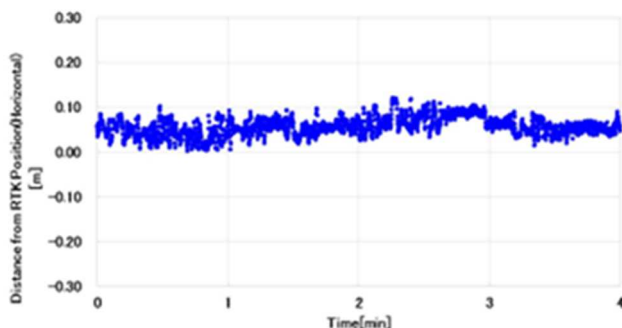
なお、本試験では機体誘導精度の影響を除外し、受信機の測位精度を評価するため、小型無人航空機には RTK 測位機器 (RTK 測位は地上の既知位置に設置した固定基準局と移動局、この場合は小型無人航空機を比較することで GNSS 単独測位の誤差を取り除く手法) を搭載し、RTK 測位によって得られたデータを真値として準天頂衛星受信機の測位結果と比較した。

- ・ アンテナ
  - 幅 : 59mm
  - 奥行 : 59mm
  - 高さ : 33mm
- ・ 受信機
  - 幅 : 139mm
  - 奥行 : 94mm
  - 高さ : 39mm



図 2.2.1.5-9 実証用受信端末 (アンテナ及び受信機)

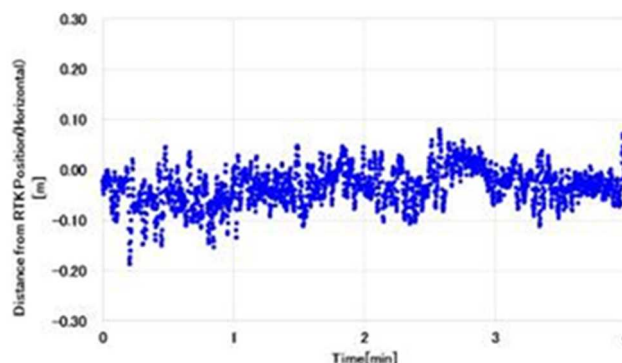
準天頂衛星測位と RTK 測位の水平方向誤差 [m] 時間推移



準天頂衛星受信機の  
水平方向測位精度

- ・ RMS : 6.0cm
- ・ MAX : 12.0cm

準天頂衛星測位と RTK 測位の高度方向誤差 [m] 時間推移



準天頂衛星受信機の  
高度方向測位精度

- ・ RMS : 5.0cm
- ・ MAX : 18.7cm

図 2.2.1.5-10 準天頂衛星受信機測位精度評価結果

(3) これまで実施しているシミュレーションは、自機と回避対象機が1対1の場合を想定しているが、より実フライトに近い環境での検証のために、回避対象機を増やしたパターンを追加検証した。

具体的には、搭載センサの探知分解能を加味するとともに、回避手段として、水平旋回に加え、減速・上昇・降下から最適な経路を選択する探知ロジックを組み込み、回避対象機を2機とした場合でも、全方位から直線飛行で相対速度 200km/h の有人航空機に対する非協調衝突回避を実現できる飛行シミュレーション結果を得た。

シミュレーション結果の代表例を図 2.2.1.5-141 に示す。

■ 全方位及び経路オフセットの 1,872 ケースが回避できることを、シミュレーションにより確認した。

▶ 試験パターン (1,872 ケース)

＝経路交差角 (24) × 経路オフセット (13) × 高度差 (3)

× 回避対象機数 (2)

- ・ 経路交差角 : 360度を15度刻み
- ・ 経路オフセット : -600m~+600mを100m刻み
- ・ 高度差 : -50m、0m、+50m
- ・ 回避対象機数 : 1機ないしは2機

例) 有人航空機 (速度 130km/h・赤色)、無人航空機 (速度 70km/h・青色)

⇒ 相対速度 200km/h の正面接近を想定したパターン

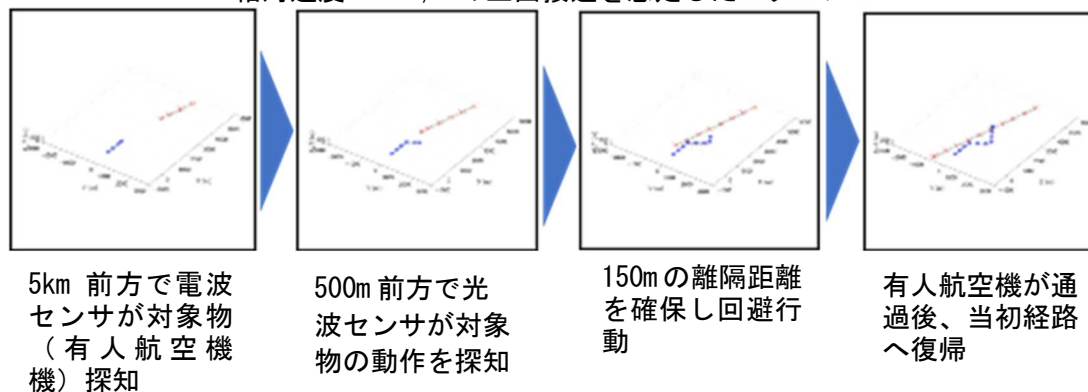


図 2.2.1.5-11 シミュレーション結果の代表例

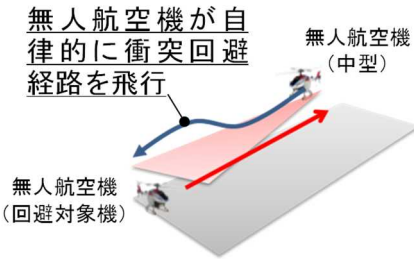
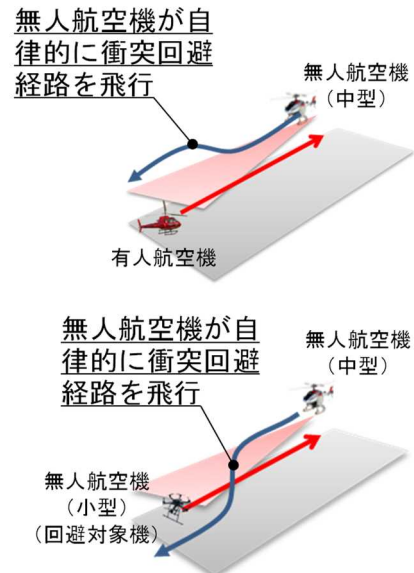
5.2.2 「定量的な評価試験」(実施者：株式会社SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、自律制御システム研究所、三菱電機株式会社)

(1) 無人航空機衝突回避の基本性能評価試験

無人航空機の衝突回避を飛行実証する前の事前確認として、2019年5月13日から5月17日、及び2019年6月25日から6月28日の間、福島RTFにおいて、有人航空機を模した無人航空機を回避対象機とし、衝突回避を行う基本的な性能を定量的に把握した。

また、この結果を踏まえ、同じく福島RTFにおいて、2019年7月21日から26日の間、無人航空機衝突回避機能を飛行実証するための衝突回避基本性能評価飛行実証試験を実施し、設定した運航シナリオが安全に実現できることを確認した。これら試験の成果概要を表2.2.1.5-9に示す。

表 2.2.1.5-9 衝突回避事前確認 (対無人航空機) 飛行試験  
及び衝突回避基本性能評価飛行実証試験成果概要

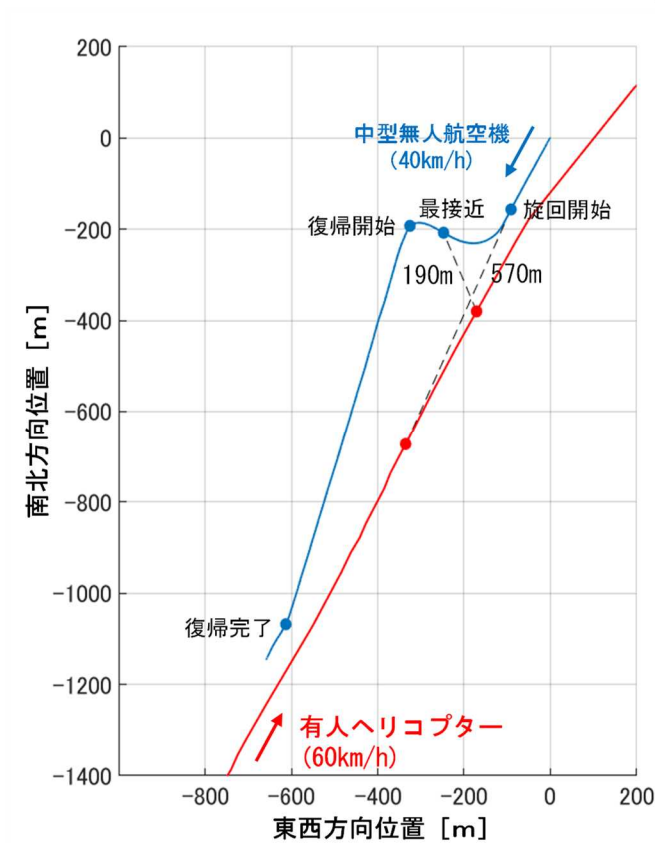
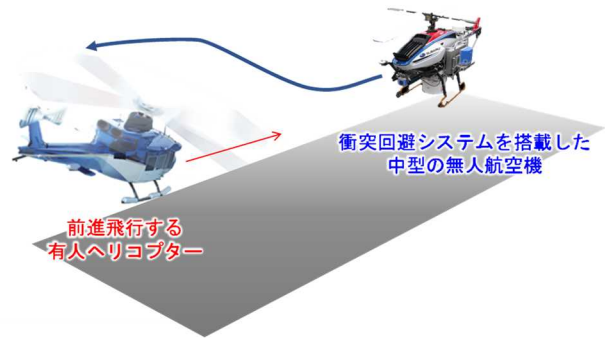
試験名称	試験成果概要
衝突回避事前確認 (対無人航空機) 飛行試験	<p>無人航空機に搭載する電波センサ及び光波センサにより、有人航空機を模した相対速度 100km/h 以下で接近してくる移動目標を飛行中に探知し、衝突回避を行う基本的な機能を検証した</p>  <p>無人航空機が自律的に衝突回避経路を飛行</p> <p>無人航空機 (中型)</p> <p>無人航空機 (回避対象機)</p>
衝突回避基本性能評価飛行実証試験	<p>無人航空機に搭載する電波センサ及び光波センサにより、相対速度 100km/h 以下で接近してくる有人航空機及び小型無人機を飛行中に探知し、衝突回避を行う機能を実証した</p>  <p>無人航空機が自律的に衝突回避経路を飛行</p> <p>無人航空機 (中型)</p> <p>有人航空機</p> <p>無人航空機が自律的に衝突回避経路を飛行</p> <p>無人航空機 (中型)</p> <p>無人航空機 (小型)</p> <p>無人航空機 (回避対象機)</p>

衝突回避事前確認 (対無人航空機) 飛行試験においては、中型無人航空機の衝突回避機能の検証として、電波センサ及び光波センサの探知状況を相対速度 100km/h 以下の飛行状態で確認するとともに、自律管理装置が搭載センサの探知状況により、無人航空機に対し指示指令を出力し経路を変更できることを飛行状態で確認した。

また、衝突回避基本性能評価飛行実証試験においては、無人航空機に搭載する電波センサ及び光波センサにより、相対速度 100km/h 以下で接近してくる有人航空機及び小型無人機を飛行中に探知し、衝突回避を行う機能を実証することができた。この

試験実施の状況及び試験結果を図 2.2.1.5-12～2.2.1.5-15 に示す。

また、これらの試験状況については、2019 年 7 月 25 日にニュースリリースを実施した。



飛行実証試験航跡プロット



図 2.2.1.5-12 中型無人航空機の衝突回避基本性能評価飛行実証試験の実施状況及び試験結果 (1/4)

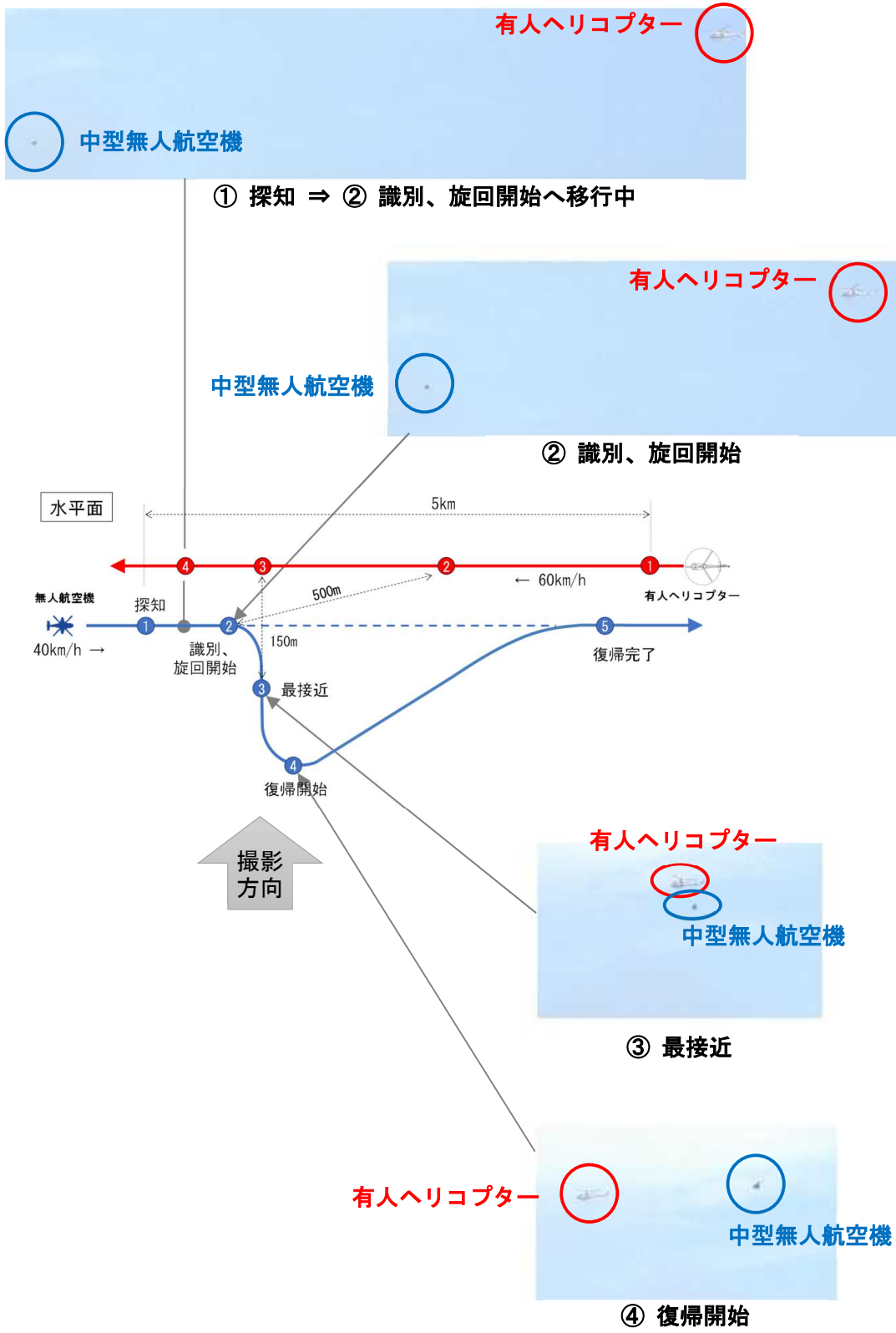


図 2. 2. 1. 5-13 中型無人航空機の衝突回避基本性能評価飛行実証試験の実施状況及び試験結果 (2/4)



(a) 電波センサ（レーダ）

- ・電波センサを中型無人航空機に搭載して他器材との接続を行い、相互に干渉等は無く正常に動作できることを確認した。
- ・中型無人航空機飛行状態において、回避対象機である有人ヘリコプターを5km以遠で検出して、衝突回避に必要な情報を出力できることを確認した。

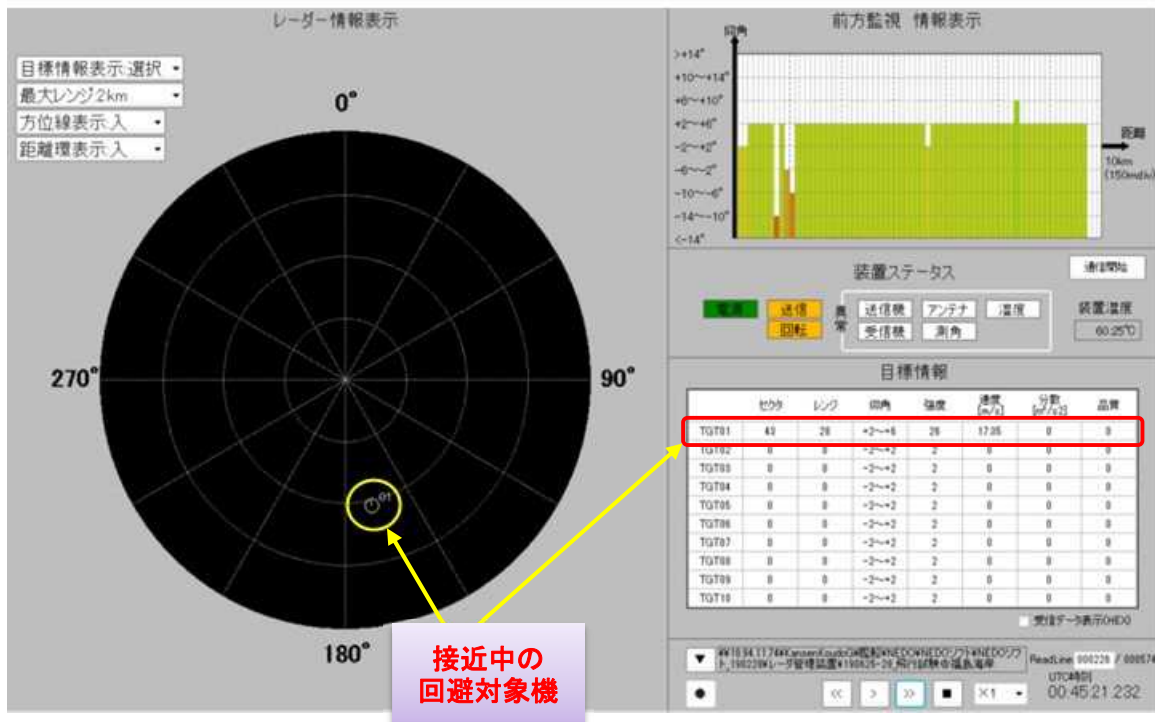


図 2.2.1.5-14 中型無人航空機の衝突回避基本性能評価飛行実証試験の実施状況及び試験結果 (3/4)



(b) 光波センサ

- ・ 光波センサを中型無人航空機に搭載して他器材との接続を行い、相互に干渉等は無く正常に動作できることを確認した。
- ・ 中型無人航空機飛行状態において、回避対象機である有人ヘリコプターを離隔距離 1km で安定的に探知し、離隔距離 500m で「有人ヘリコプター」又は「有人ヘリコプター以外」であることを識別することに成功した。



中型無人航空機への光波センサ搭載状況



前方カメラによる回避対象機の探知状況例



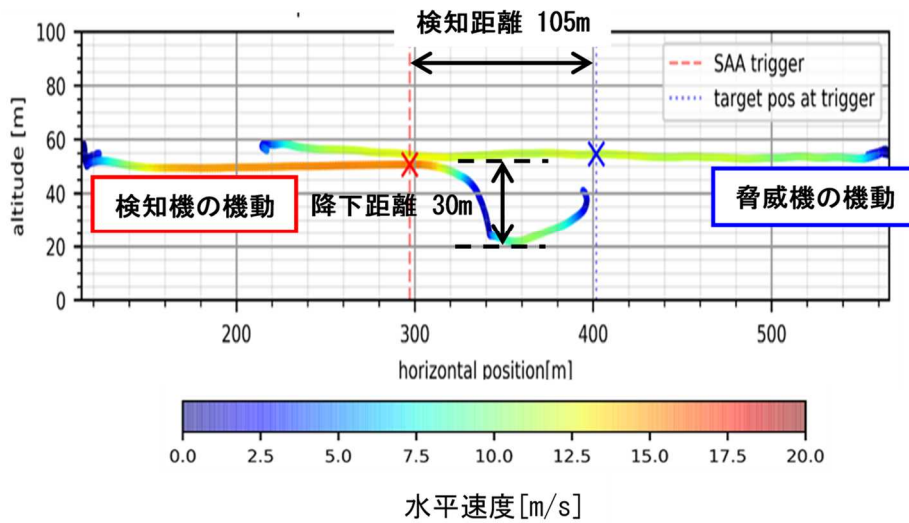
全周カメラによる回避対象機の探知状況例

図 2. 2. 1. 5-15 中型無人航空機の衝突回避基本性能評価飛行実証試験の実施状況及び試験結果 (4/4)

(2) 小型無人航空機の衝突回避の飛行実証

小型無人航空機の衝突回避の飛行実証は、小型無人航空機に搭載可能な大きさに小型・軽量化した準天頂衛星受信機を搭載するとともに、この準天頂衛星受信機の受信データを小型無人航空機の飛行制御とも統合した形態にて、小型無人機同士を相対速度 100km/h の条件で飛行させ、自律的に設計された機動で回避可能であることを確認した。試験の結果を図 2. 2. 1. 5-16 に、準天頂衛星受信機の小型・軽量化等の詳細を図 2. 2. 1. 5-17 に示す。

試験時の両機の色および位置推移（水平面）



- 目標検知距離である 105mでの検知
- 降下減速機動の生成
- 安全離隔距離である 30m以上の降下
- 復帰機動の生成

図 2. 2. 1. 5-16 小型無人航空機の衝突回避飛行実証試験結果



➤ 2017年度と比較した際の小型・軽量化

- アンテナ寸法 : 1215cm<sup>3</sup> → 115cm<sup>3</sup> ⇒ 90%の削減
- 受信機寸法 : 2275cm<sup>3</sup> → 243cm<sup>3</sup> ⇒ 89%の削減
- 全体重量 : 4kg → 0.4kg ⇒ 90%の削減

➤ 飛行制御との統合

- 様々な環境での飛行試験データ収集
- 準天頂衛星受信データを用いた飛行を実現

図 2.2.1.5-17 準天頂衛星受信機小型・軽量化等の詳細

### (3) 緊急回避機能

自律的ダイナミック・リルーティング技術を実装した中型の無人航空機は、無人航空機飛行中に接近してくる有人航空機及び無人航空機を、まずは遠距離から電波センサ（レーダ）で探知して回避のための初動を開始するとともに、更に近くまで接近した後に光波センサで相手を識別し、より適切な回避行動を行う 2 段階の回避を行うことで、安全を十分に確保可能な離隔距離を実現している。

一方、実際の運用場面を想定した場合、レーダのノイズに紛れて探知できないまま相手が接近する場合や、レーダの上下方向覆域外からの脅威機（回避対象機）が接近する場合といった、特殊な状況まで想定し、近距離で探知した場合でも確実に衝突回避を行うための緊急回避的に避ける機能が必要であり、この緊急回避機能についても追加検証し、回避できることを飛行実証した。この緊急回避機能に関する飛行検証実施の概要図を図 2. 2. 1. 5-18 に示す。

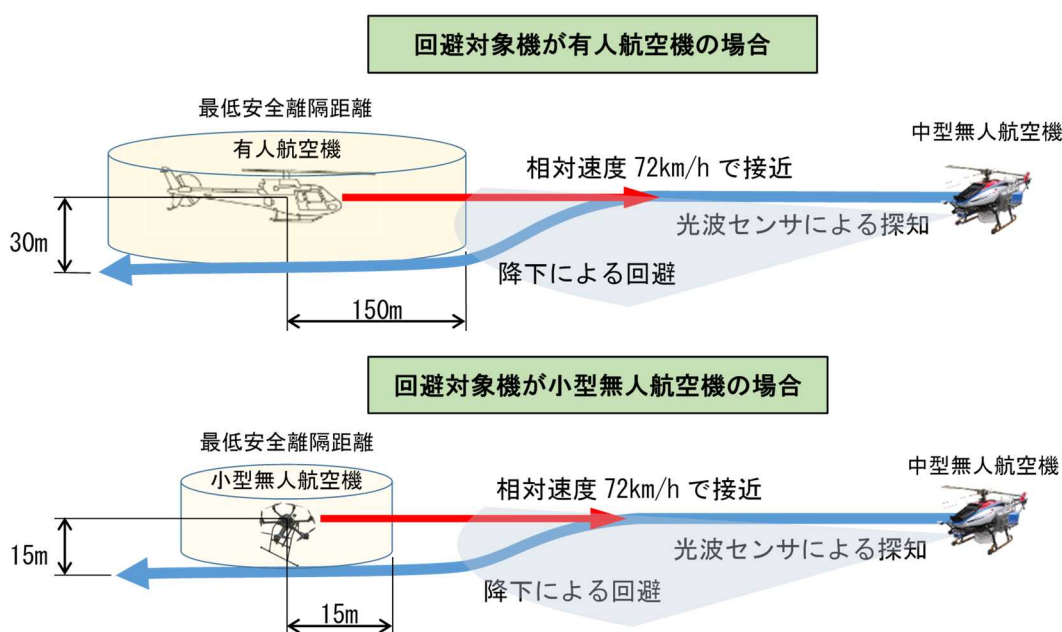


図 2. 2. 1. 5-18 中型無人航空機の緊急回避機能の飛行実証概要図

#### (4) UTM 相互接続試験

2019年10月21日から26日、及び2019年11月6日から9日に、福島RTFにおいて、UTMの相互接続試験に参加し、他の無人航空機が複数機、同一空域を飛行する状態での飛行実証を実施した。結果、自律的ダイナミック・リルーティング技術を実装した小型無人航空機及び中型無人航空機を、UTMと相互に接続し、飛行できることを実証できた。

このUTM相互接続試験に関する国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構によるニュースリリース「一般のドローン事業者も参画したドローン運航管理システムの相互接続試験に成功 -29事業者が飛行試験を実施-」（2019年10月30日）からの抜粋を図2.2.1.5-19に示す。

衝突回避技術の研究開発 (SUBARU/日本無線/日本アビオニクス/三菱電機/自律制御システム研究所)

NEDOプロジェクトの別テーマで研究開発中の衝突回避技術を搭載したシステムが、ドローン運航管理システム(UTM)と相互に接続できることを確認しました。



ヤマハ発動機/Fazer R G2 (W3700 x H1200mm, 110kg) 自律制御システム研究所/PFI (9kg) 衝突回避システムと運航管理システムの接続

- (株)SUBARU/日本無線(株)/日本アビオニクス(株)/三菱電機(株)/自律制御システム研究所は、NEDOプロジェクトの別テーマで研究開発中の衝突回避技術を搭載したシステムが、運航管理システムと相互に接続できることを確認しました。これにより無人航空機の運航管理システムと衝突回避技術の統合に目途が付きました。

#### ・ 出典

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構によるニュースリリース「一般のドローン事業者も参画したドローン運航管理システムの相互接続試験に成功 -29事業者が飛行試験を実施-」（2019年10月30日）からの抜粋  
<https://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2019/10/1030c.pdf>

図 2.2.1.5-19 ドローン運航管理システム相互接続試験ニュースリリース抜粋

5.2.3 「実環境での飛行実証試験」(実施者：株式会社SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、自律制御システム研究所、三菱電機株式会社)

2019年11月17日から22日に実環境での飛行実証予備試験を、2019年12月15日から26日に実環境での飛行実証試験を豊川市御津町、田原市白浜及びこれらを結ぶ海上で実施した。具体的には、離島での無人航空機の運用を想定し、相対速度100km/hでの中型の無人航空機の自律的な衝突回避に加え、飛行中に故障や燃料残量の減少、悪天候を検知した場合、無人航空機が自らの判断で経路を変更し、事前に設定された緊急着陸地点まで飛行する機能の実証を行った。

この自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発により、離島間物流のように、地上と無人航空機間の通信インフラが十分に整備されておらず、緊急時の回避経路の指示などの地上からの支援が受けられない状況下でも、無人航空機を安全に運用することが可能になった。

実環境での飛行実証試験に関する試験実施場所、試験成果の概要及び試験結果の詳細を次に示す。

- ・図 2.2.1.5-20 実環境での飛行実証試験の実施場所
- ・表 2.2.1.5-10 実環境での飛行実証試験成果概要
- ・図 2.2.1.5-21 故障時経路変更機能確認試験の試験結果概要
- ・図 2.2.1.5-22, 23, 24 長距離飛行・雨雲回避機能確認試験の試験結果概要

また、この実環境での飛行実証試験の実施状況については、2019年12月25日に「無人航空機が緊急時でも自律的に危険を回避できる技術を実証 —故障や悪天候などの緊急事態に対応—」として、ニュースリリースを実施した。



試験実施場所

- ① 豊川市御津町
- ② 田原市白浜
- ③ 及び、上記 2 点を結ぶ海上



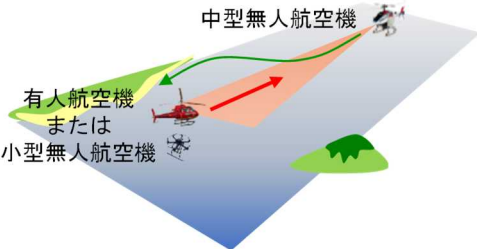
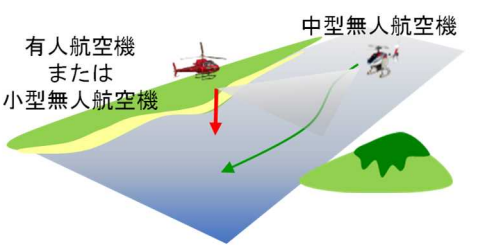
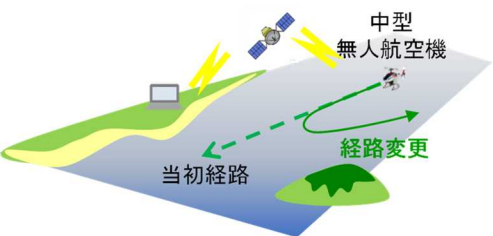
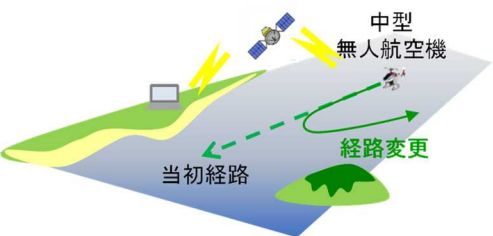
豊川市御津町



田原市白浜

図 2. 2. 1. 5-20 実環境での飛行実証試験の実施場所

表 2.2.1.5-10 実環境での飛行実証試験成果概要

試験名称	確認する機能	試験成果概要
① 衝突回避機能確認試験	回避対象機（脅威機）を電波センサ、光波センサで検知し回避する機能	<p>飛行中の中型無人航空機に対して、有人航空機及び小型無人航空機を接近させ、衝突回避することを確認した</p>  <p>The diagram illustrates a medium-sized UAV (中型無人航空機) in flight. A red arrow indicates the approach of a manned aircraft (有人航空機) or a small UAV (小型無人航空機). A green arrow shows the UAV's evasive path to avoid the approaching aircraft.</p>
② 緊急回避機能確認試験	レーダ覆域外から接近する回避対象機（脅威機）を光波センサで探知し緊急回避する機能	<p>飛行中の中型無人航空機に対して、レーダ覆域外から有人航空機及び小型無人航空機を接近させ、衝突回避することを確認した</p>  <p>The diagram shows a medium-sized UAV (中型無人航空機) with a red arrow indicating an approach from a manned aircraft (有人航空機) or a small UAV (小型無人航空機) that is outside the radar coverage area. A green arrow shows the UAV's emergency evasive path.</p>
③ 燃料警告発生時経路変更機能確認試験	燃料警告発生時に離陸地点、着陸地点の近い方へ飛行する機能	<p>燃料警告模擬信号／故障発生模擬信号／雨雲回避の経路変更指令の各入力に対して、経路変更を開始することを確認した</p>
④ 故障時経路変更機能確認試験	故障発生時に緊急着陸地点、離陸地点、着陸地点の近い方へ飛行し着陸する機能	 <p>The diagram shows a satellite (衛星) in orbit. A red arrow indicates the initial route (当初経路) of a medium-sized UAV (中型無人航空機). A green arrow shows the route change (経路変更) to an emergency landing site (緊急着陸地点) near the takeoff and landing points.</p>
⑤ 雨雲回避機能確認試験	接続する SDSP（情報提供機能）等の情報により飛行経路を、雨雲を避ける経路に変更する機能	 <p>The diagram shows a medium-sized UAV (中型無人航空機) with a red arrow indicating the initial route (当初経路) and a green arrow showing the route change (経路変更) to avoid rain clouds (雨雲).</p>



### ■故障時経路変更機能確認試験の試験結果

- ・豊川市御津1区から田原市田原4区へ事前にプログラムした直線経路を飛行させ、故障（模擬）が発生した際に事前に設定された複数の緊急着陸点から最寄りのものを選択し、準天頂衛星の測位情報を用いて飛行することを確認した。



図 2.2.1.5-21 故障時経路変更機能確認試験の試験結果概要

■長距離飛行・雨雲回避機能確認試験の試験結果

- ・豊川市御津1区から田原市田原4区までの約12kmの予め設定された直線経路を飛行中、悪天候情報（模擬情報）に基づき自律的に回避経路を生成・飛行し、元のコースに復帰することを確認した。

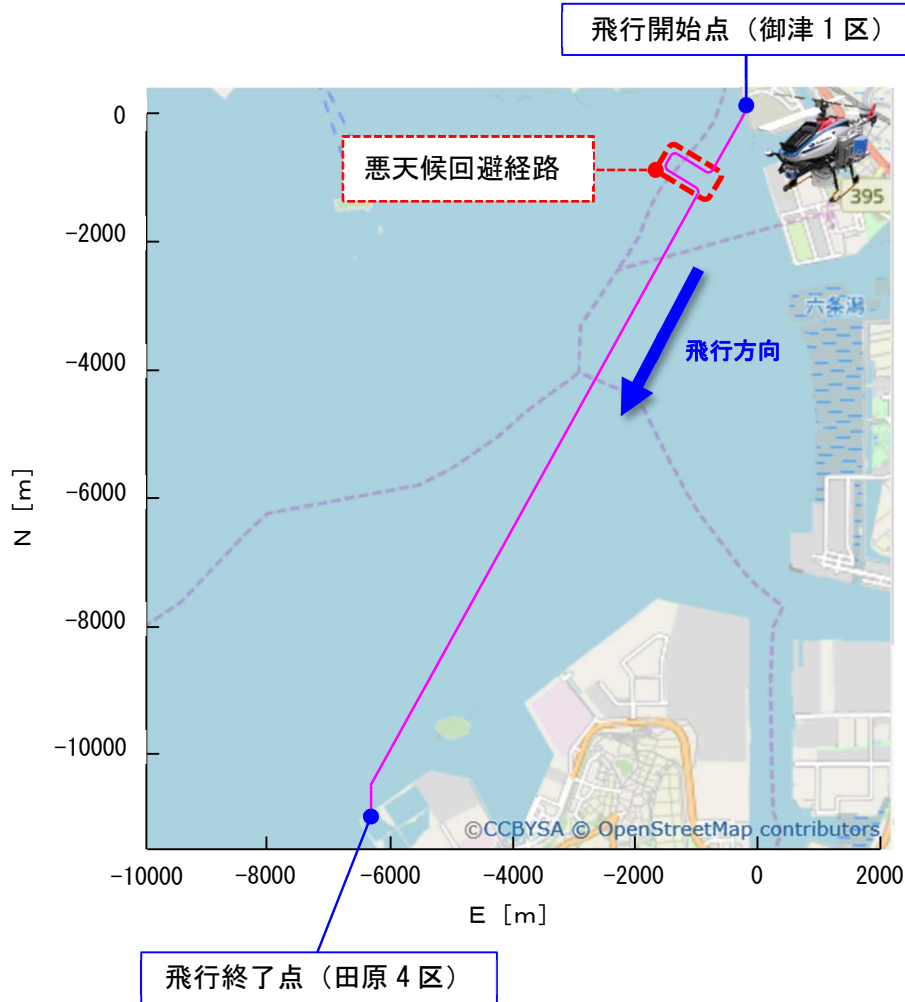


図 2.2.1.5-22 長距離飛行・雨雲回避機能確認試験の試験結果概要 (1/3)

■準天頂衛星受信機測位結果と機体出力結果（GPS 単独測位）は、ほぼ一致していることを確認した。

- ・ 飛行日時 : 2019 年 12 月 24 日 08:50~09:21
- ・ 飛行場所 : 三河湾
- ・ 飛行ケース : 長距離飛行・雨雲回避機能確認試験
  - : 準天頂衛星受信機測位結果
  - : 機体出力結果（GPS 単独測位）

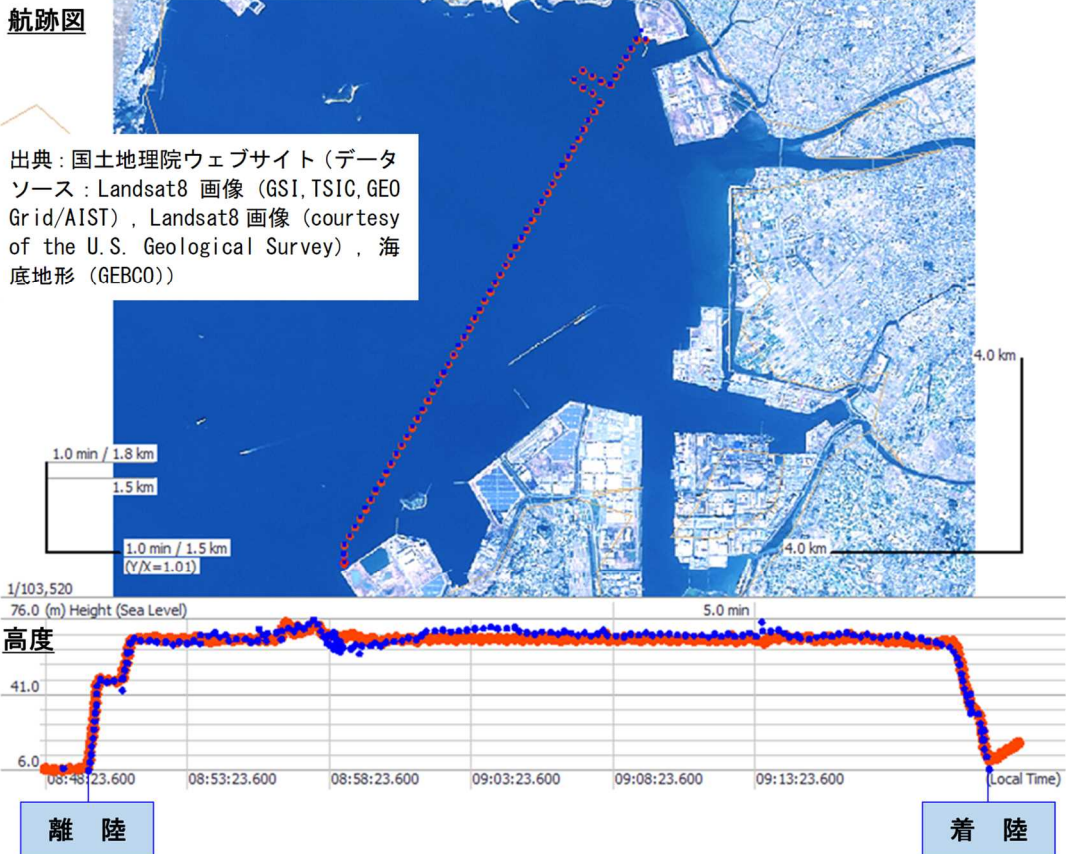


図 2. 2. 1. 5-23 長距離飛行・雨雲回避機能確認試験の試験結果概要 (2/3)

■準天頂衛星受信機測位結果の優位事例

地上静止時（離陸前）、機体出力（GPS 単独測位）で高度が大きく変動しているケースでも準天頂衛星受信機測位結果は安定していることを確認した。

- ・ 飛行日時 : 2019 年 12 月 17 日 13:28~13:41
- ・ 飛行場所 : 三河湾
- ・ 飛行ケース : 雨雲回避機能確認試験

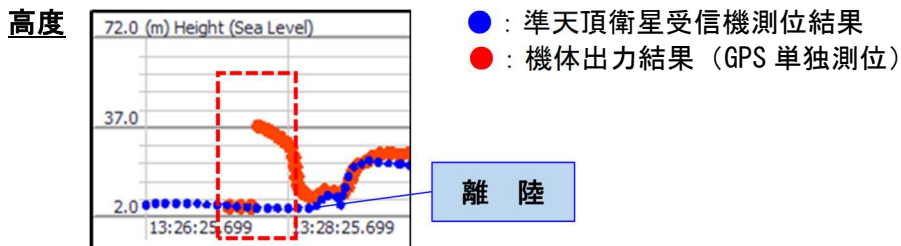


図 2. 2. 1. 5-24 長距離飛行・雨雲回避機能確認試験の試験結果概要 (3/3)

### 5.3 研究開発項目③「国際標準化の提案活動」

#### 5.3.1 「無人航空機の衝突回避技術に関する国際標準化に向けた提案活動の実施」(実施者：株式会社SUBARU)

自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発及び飛行実証の成果に基づき、無人航空機の衝突回避技術に関する国際標準化に向けた提案活動として、標準化に向けた海外技術動向の調査及び ISO 国際会議等で研究成果の情報発信を行った。

(1) 国外の標準化団体及び法規制当局における衝突回避技術に関する標準化・法制化の動向について調査した。調査の結果、法制化については ICAO が主体となっており、標準化に関しては、国際的には ICAO、ISO、米国では UASSC、欧州では EUSCG が互いに協調して活動を行っていることがわかった。

(2) 2019 年 11 月に中国 南京市にて開催された、ISO の TC20 の分科委員会である SC16 の第 9 回国際会議に参加した。

- ・日時 : 2019 年 11 月 17 日から 11 月 22 日
- ・場所 : 南京市 金城大厦 A 区 (Tower A, Jincheng Building)
- ・参加国・参加人数 : 約 9 ヶ国、約 70 人 (全体会議)

SC16 全体会議 (Plenary) の中において、株式会社SUBARUより、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／性能評価基準等の研究開発／調査用無人航空機の評価手法の研究開発」の成果及び本研究開発の成果に基づき、衝突回避システムの標準化の必要性についてのプレゼンテーションを実施した。

#### (6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	-	-	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	1	5	4	-	-	-	10
展示会出展	1	2	0	-	-	-	3
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	-	-	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	1	2	-	-	-	3
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

## (7) 実用化・事業化への道筋と課題

### 1. 実用化・事業化に向けた戦略

#### (1) 大型の無人航空機用衝突回避システム

一般にドローンと呼ばれる小型の無人航空機や、それよりも一回り大きく、より大きなペイロードや長時間の飛行が可能となる大型の無人航空機は、我が国においては、レベル3の無人地帯での目視外飛行及びレベル4の有人地帯での目視外飛行による「離島や山間部等における荷物配送」、「被災状況の把握及び災害対応活動（救助等）の支援」並びに「都市を含む地域における荷物配送」等の離島間を含む物流や災害対応はもとより、広範囲な分野・用途に利活用されると想定している。

これらの利活用においては、より混雑した空域や通信インフラが十分でない空域での運航が必要となるため、無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する高安全な衝突回避システムを使用できるというニーズは、今後ますます顕在化することが期待できる。

この無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する技術は、図2.2.1.5-25に示すとおり、国土交通省の定める「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」の目視外飛行に関する要件に対して有効であり、実用化を実現することで成長性が見込まれる。

また、物流や災害対応分野の国内における無人航空機の市場予測は、2022年時点で年間おおよそ200億円の市場規模に拡大すると予想されており（図2.2.1.5-26参照）、経済効果も十分に期待できる。

更に、我が国で日常的に運用が可能な安全性・信頼性の極めて高い衝突回避システムを実装した無人航空機が開発できれば、物流や災害対応に限らず、広範囲な用途で、現有の無人航空機に対して高い競争力を発揮し、今後拡大が期待される民間市場の開拓が可能となり、2025年で約16兆円と推定されている米国など海外への輸出による経済的な効果も合わせて期待できる。（図2.2.1.5-27参照）

以上より、より小型で安価な衝突回避システムの実用化・事業化を実行することで、本事業の成功が見込まれる。

協調・非協調の衝突回避のセンサで、**飛行経路付近の障害物**を探知し、**衝突回避**もしくは、**緊急的な着陸**を行う

## 無人航空機の目視外飛行に関する要件(概要)

国土交通省

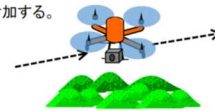
現行の補助者の役割である「①第三者の立入管理」、「②有人機等の監視」、「③自機の監視」及び「④自機周辺の気象状況の監視」を代替するために必要な機上装置や地上設備等の安全対策を含め、新たな要件として以下の通り設定。

### 全般的要件

(当面の要件)

現行の技術レベルでは補助者の役割を機上装置や地上設備等で完全に代替できないため当面は以下の条件を付加する。

- 飛行場所は第三者が立ち入る可能性の低い場所(山、海水域、河川・湖沼、森林等)を選定すること。
- 飛行高度は、有人航空機が通常飛行しない150m未満でかつ制限表面未満であること。
- 使用する機体は想定される運用で十分な飛行実績を有すること。



(その他)

- 不測の事態が発生した場合に備え、着陸・着水できる場所を予め選定するとともに、緊急時の実施手順を定めていること。
  - 飛行前に、飛行経路又はその周辺が適切に安全対策を講じることができる場所であることを現場確認すること。
- また、運航にあたっては、当該要件に関わらず、運航者自らが飛行方法に応じたリスクを分析し安全対策を講じること。

### 個別要件

#### ①第三者の立入管理

○機体性能・運用条件を考慮した落下範囲を算出・設定(立入管理区画)し、以下のいずれかの措置を講ずることによって第三者の立入管理ができること。

- ・機体や地上にカメラ等を装備又は設置し、進行方向の飛行経路下に第三者が立ち入る兆候等を常に遠隔監視できること。
- ・立入管理区画について、近隣住民等に対し看板等の目印やポスター・インターネット等により広く周知すること。

#### ②有人機等の監視

○有人機からの視認性向上のため機体に灯火・塗色を施し、以下のいずれかの措置を講ずることによって有人機などの監視ができること。

- ・機体や地上にカメラ等を装備又は設置し、飛行する空域の有人機の有無等を常に遠隔監視できること。
- ・無人機の飛行予定を有人機の運航者に事前に周知するほか、有人機の飛行日時・経路等を確認し有人機との接近を回避できること。

#### ③自機の監視

○機体の状態(位置、速度、姿勢、飛行経路との差等)を把握し、機体の異常が判明した場合には、付近の安全な場所に着陸させるなど、適切な対策をとることができること。

#### ④自機周辺の気象状況の監視

○飛行経路又は機体に設置した気象センサ、カメラ等により気象状況の変化を把握し、運用限界を超える場合は、付近の安全な場所に着陸するなど、適切な対策をとることができること。

#### ⑤操縦者等の教育訓練

○異常状態を把握した機体に対し、機体性能・周辺の地形・飛行フェーズ・不具合の有無等のあらゆる要素を勘案した上で、最適な判断を迅速に行い操作できること。

出典：国土交通省ホームページ

<https://www.mlit.go.jp/common/001227435.pdf>

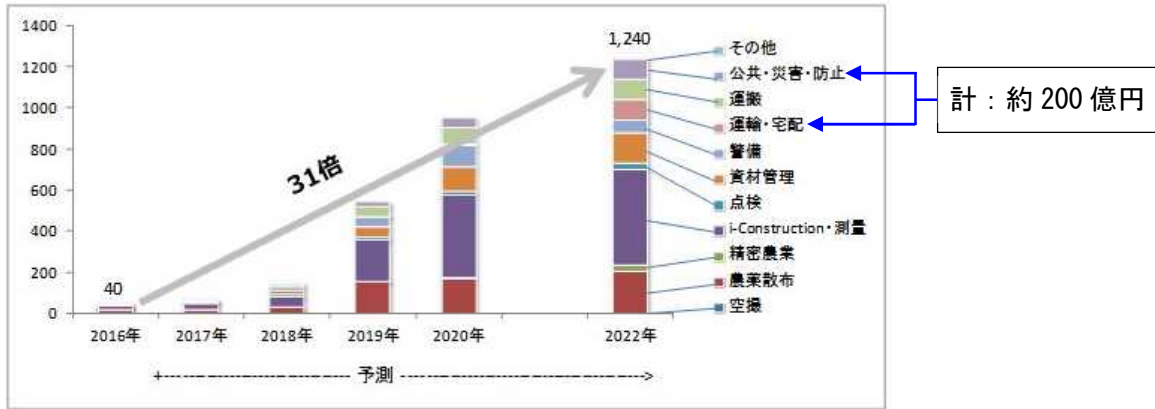
機上の電波センサ(大型無人航空機)もしくは地上からの情報により**雨雲の接近**などを探知し、**安全な飛行経路に変更**する

**飛行中の風速変化**により、燃料消費/バッテリー消費が想定外に大きい場合、飛行を中断して**離陸地点に引き返す**

**推力の低下、通信の途絶、機体の動揺増加**などから故障判定を行い、**最寄の非常着陸地点に着陸**する

図 2. 2. 1. 5-25 無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する技術と無人航空機の目視外飛行に関する要件との対応

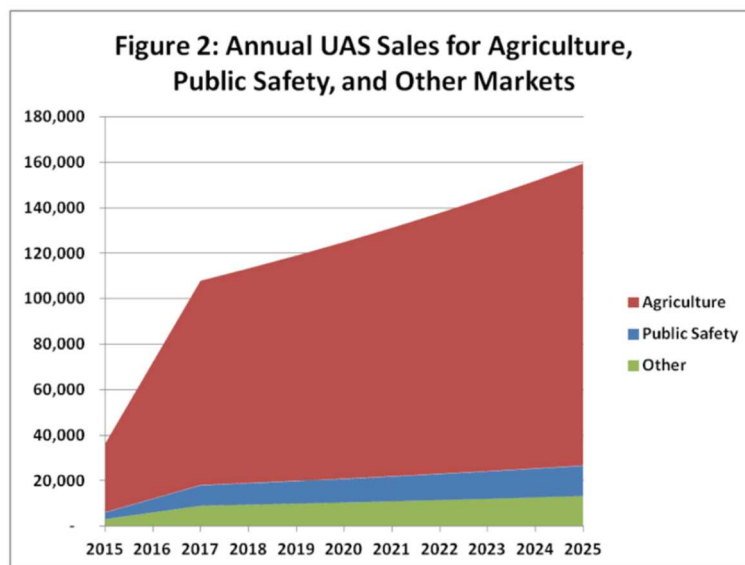




(シード・プランニング作成)

出典 : <https://www.lnews.jp/2017/09/j092517.html>

図 2. 2. 1. 5-26 物流及び災害対応分野の無人航空機の国内市場規模



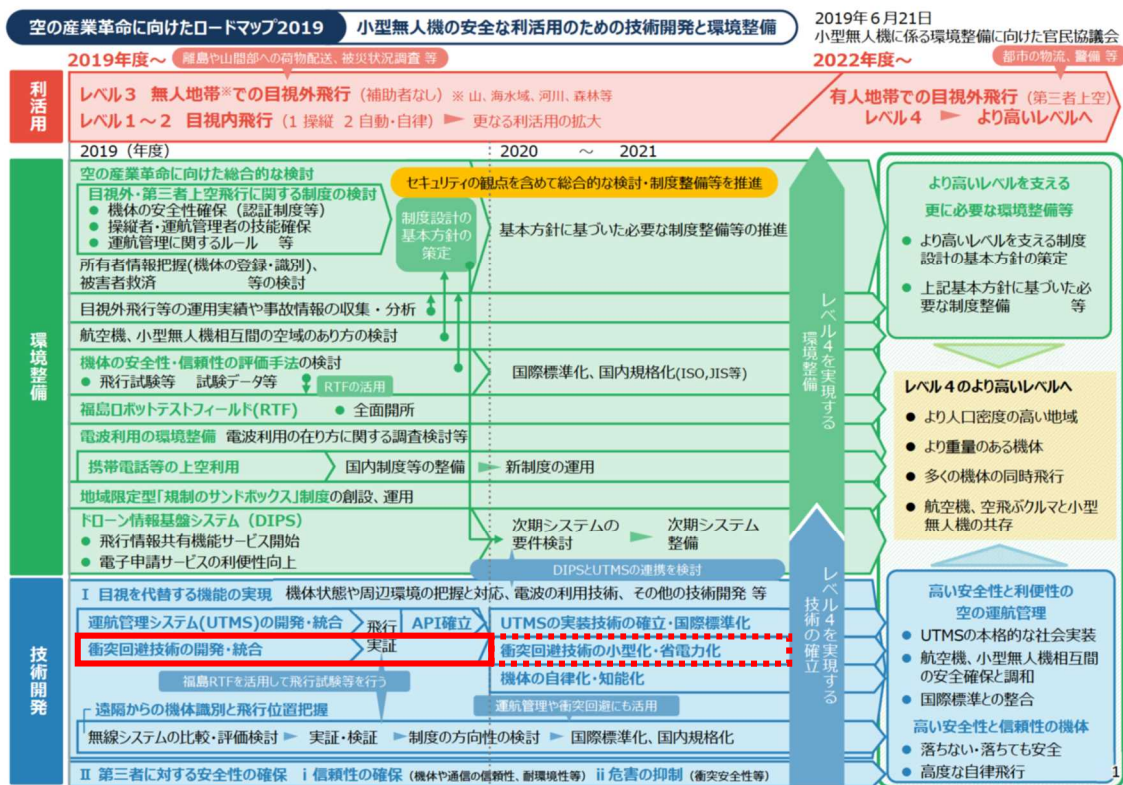
出典 : [https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New\\_Economic%20Report%202013%20Full.pdf](https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf)

図 2. 2. 1. 5-27 米国における無人航空機市場の拡大予測

(2) 小型の無人航空機用衝突回避システム

小型無人航空機は、図 2.2.1.5-28 のように経済産業省主催の「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において、2022 年度から「有人地帯での目視外飛行（レベル 4）」の実現をロードマップとして掲げ、各種取組みを行なっている。そのロードマップの中で、衝突回避技術（赤枠内）が項目として明記されており、今後の小型無人航空機でのレベル 4 目視外飛行では必須の技術となる可能性が高い。

本事業での研究成果は、国家レベルで推進されている空の産業革命に大きく貢献することが可能となる。なお、現在のところ、相対速度 100km/h で飛行する有人航空機を自律的に衝突回避する、遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載された小型無人航空機は他に存在しない。すなわち、本事業で開発した自律的な衝突回避機能を搭載した小型無人航空機は競合が存在しないため、現在のところ優位な立ち位置であると考えられる。



出典：経済産業省ホームページ

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryout12.pdf>

図 2.2.1.5-28 空の産業革命に向けたロードマップ 2019



インプレス総合研究所の「ドローンビジネス調査報告書 2019」によると、2019 年度ドローン市場全体 1,450 億円に対して年間のドローン機体市場は 471 億円 (32%)、2024 年度は 908 億円 (18%) となっている。また、高性能の空撮ドローンが活用されている空撮、土木・建築・点検・防犯市場は 2019 年度で合計 271 億円、2024 年度で 1,914 億円であり、各年度の高性能の空撮ドローン機体市場は各々約 88 億円と 343 億円となる。現状、これらの大部分は外国製のドローンである。

Global Market insights Inc.によると、世界の空撮ドローン市場は 2017 年に 17 億 USD (1,870 億円; 110 円/ドル換算) と推定され、年間 12% CAGR (Compound Average Growth Rate) で成長すると推定されている。結果、2019 年は 21 億 USD (2,346 億円)、2024 年は 38 億 USD (4,134 億円) となる。

本事業で開発するドローンは、海外製の既製品に対して価格競争力を持ちつつ、サイバーセキュリティについては、既製品には無い機能や耐性を有する。リモート ID や LTE 通信等、最先端の機能も実装されている。現在、市場の大部分が外国製ドローンとなっているが、市場シェアを獲得することが期待できる。さらに、助成事業による主要部品高性能化により、さらに競争力を持つと推定される。結果、市場シェアは広がっていくと計画する。従って、市場規模及びシェアは表 2.2.1.5-11 の通りを計画する。

表 2.2.1.5-11 市場規模及びシェア

	市場規模 (国内/国外)	シェア (国内/国外)	
		衝突回避システム搭載	衝突回避システム搭載 + 主要部品高性能化
2019 年	88 億円 / 2,346 億円	0% / 0%	0% / 0%
2021 年	204 億円 / 2,942 億円	5% / 0%	10% / 0%
2022 年	253 億円 / 3,296 億円	8% / 1%	13% / 1%
2025 年	403 億円 / 4,630 億円	20% / 5%	30% / 7%

(3) 準天頂衛星対応受信機

三菱電機株式会社社内開発による小型軽量の準天頂衛星受信機をドローンに搭載することで蓄積した受信機アルゴリズムを今後のドローン向け受信機に活用し、他の受信機と差別化を図る。さらに、必要に応じて国内外のドローン機体メーカーやシステムメーカーをパートナーとして選定することにより、ユーザー側のニーズを的確に把握し、成果を実用化・事業化につなげることを目指す。

## 2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

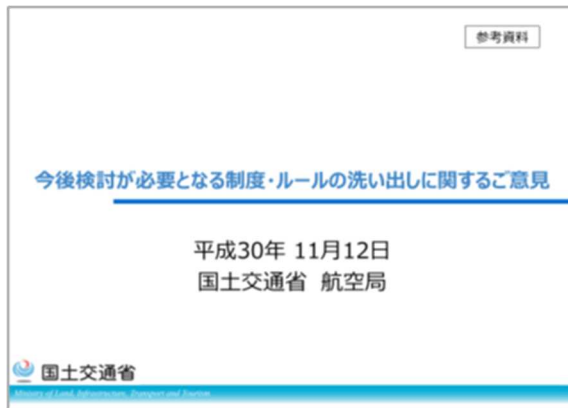
### (1) 大型の無人航空機用衝突回避システム

無人航空機が自律的に最適な飛行経路を生成する技術を活用し、無人航空機全体としてのマーケットのみならず安全性や省エネルギーに寄与するセンサや衝突回避判断装置等の無人航空機アプリケーションのマーケットに対して、製品を提供する。

無人航空機としては物流、農業、インフラ監視等の使用ユーザーを対象に販売もしくは使用ユーザーに対するリース会社に提供するとともに、無人航空機用衝突回避システムとしては、無人航空機製造メーカーに販売する。

この衝突回避システムの実用化に当たっては、下記2点の結果などを踏まえながら、電波センサ（レーダ）を担当する日本無線株式会社、光波センサを担当する日本アビオニクス株式会社、準天頂衛星システム対応受信機を担当する三菱電機株式会社と調整を図りながら本研究開発の成果を実用化・事業化につなげることを目指す。

- ・レーダ、画像認識による衝突回避ルールについては、2018年11月12日に国土交通省がとりまとめた「今後検討が必要となる制度・ルールの洗い出しに関するご意見」では、継続した検討が必要と整理されている。（図2.2.1.5-29参照）
- ・図2.2.1.5-30に示す「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ2019：小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備」において、「多くの機体の同時飛行」や「航空機、空飛ぶクルマと小型無人機の共存」に関する環境整備が今後計画されている。



国土交通省

**制度・ルール化を検討すべき項目・論点の洗い出し**

検討すべき大項目	早期にルール化すべきもの (早期に検討すべき内容)	継続した検討が必要なもの (結論までに時間を要する内容)
衝突回避ルール	<ul style="list-style-type: none"> <li>○目視による衝突回避ルール</li> <li>○飛行ルートの分離を前提とした機体の種類、目的、エリア等に応じた衝突回避ルール</li> <li>○有人機に対する見張り義務及び回避義務法制化</li> <li>○飛行ルートのバッファエリアや衝突回避時の回避距離の設定基準策定</li> <li>○空港周辺等の飛行禁止空域の見直し</li> <li>○UTMSを利用した衝突回避ルール               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ UTMSの位置づけ、運用主体</li> <li>➢ UTMSの要件の整理</li> <li>➢ UTMSを活用した許可承認ガイドライン</li> <li>➢ 3次元地図情報活用</li> </ul> </li> <li>○衝突回避センサーの標準搭載</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○遠隔からの機体識別・飛行位置情報の把握</li> <li>○UTMSを利用した衝突回避ルール               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ UTMSを前提とした飛行ルール</li> <li>➢ UTMS事業者の認証</li> <li>➢ UTMS利用事業者の認証</li> <li>➢ UTMSの性能認定制度と第三者機関による認定</li> </ul> </li> <li>○有人機へのADS-Bの搭載義務化</li> <li>○UTMS以外の目視に頼らない衝突回避ルール(レーダー、画像認識等)</li> <li>○飛行目的に応じた連航情報の公開範囲の検討</li> </ul>
運航管理ルール	<ul style="list-style-type: none"> <li>○基本的な運航管理ルール               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 運航カテゴリーの分類(運航リスク、重量、運用分野、飛行方法等)</li> <li>➢ 新たな航空機カテゴリーの新設(ホビー用・事業用/後続距離等による分類)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○基本的な運航管理ルール               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 航路設定(目視外飛行)の要否</li> <li>➢ 飛行速度の制限要否</li> <li>➢ 飛行優先権(無人航空機同士)</li> </ul> </li> </ul>

3

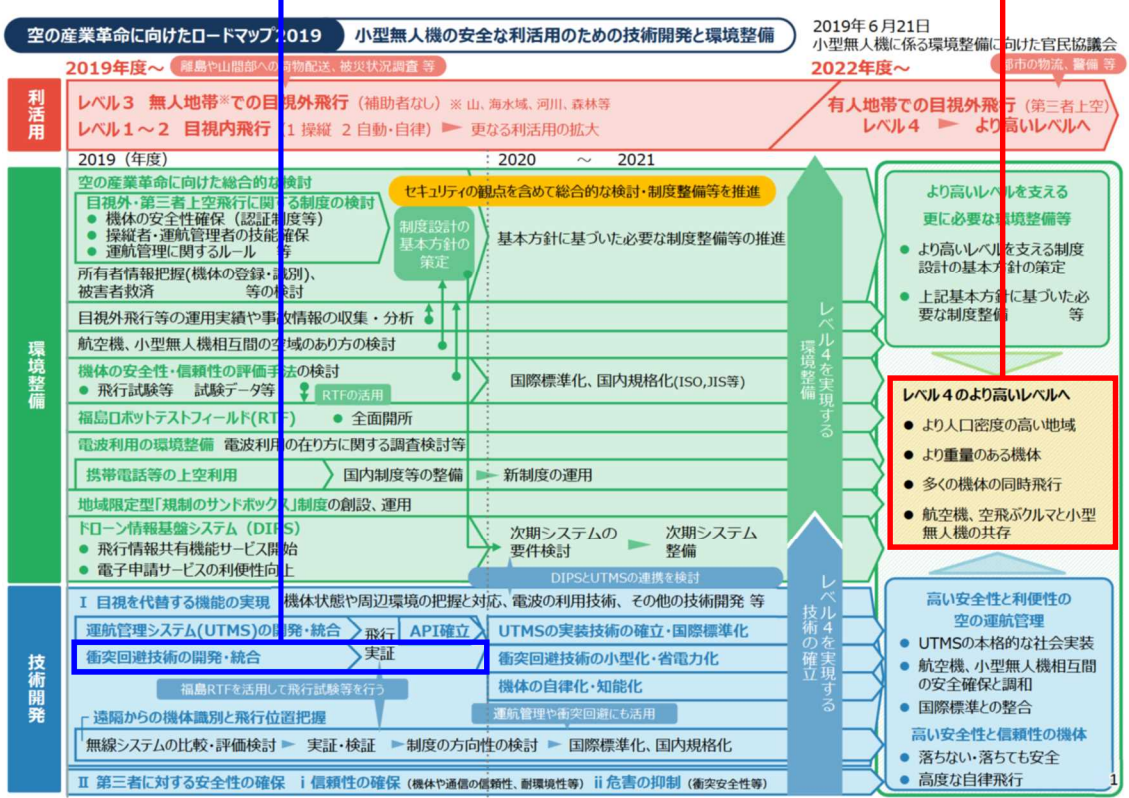
目視に頼らない衝突回避ルール

出典：国土交通省ホームページ

・平成30年11月12日 国土交通省 今後検討が必要となる制度・ルールの洗い出しに関するご意見  
[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/anzenkakuho\\_dai9/sankou1.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/anzenkakuho_dai9/sankou1.pdf)

図 2.2.1.5-29 制度・ルール化を検討すべき項目・洗い出し結果

「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ 2019：小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備」に示されたとおり、今後「多くの機体の同時飛行」や「航空機、空飛ぶクルマと小型無人機の共存」に関する環境整備が計画されており、この結果などを踏まえながら、本研究開発の成果を実用化・事業化につなげることを目指す。



出典：経済産業省ホームページ  
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou12.pdf>

図 2.2.1.5-30 空の産業革命に向けたロードマップ 2019 と 衝突回避システム実用化の対応

(2) 小型の無人航空機用衝突回避システム

本事業の研究開発成果及び本事業の成果を活用した、2020年度から2021年度に実施の「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）」の研究開発成果を基に、2020年代前半を目処に衝突回避ルールが整理された後、要件に合致する形で衝突回避システムを搭載したドローンとして開発・製造・販売する。特に本機能は、今後の小型無人航空機の広い社会実装に向けた、レベル4目視外飛行（有人地帯目視外）実用化のための重要な安全機能になると考えられる。本研究開発成果をドローンへ搭載可能な形で当該システムを応用した衝突回避システムの開発・製造・販売を計画しており、量産機体に搭載する場合は、500万円程度で、年間200台程度の数量を見込んでいる。

実用化・事業化のシナリオについて、物流分野においては、過疎地域での物流において積載重量約5kg程度までの荷物をラストワンマイル配送する事業から開始されていくと見込んでおり、徐々に人口密集地域でのレベル4目視外飛行へ活用が広がっていくと見込んでいる。災害分野においては、大規模災害発生時に可視光カメラや赤外線カメラを搭載したドローンが目視外範囲まで飛行し長距離無線通信を使用したリアルタイム映像通信による調査での活用が期待される。いずれも同時に複数機のドローンや有人航空機などが飛行することが想定され、研究開発成果を用いた衝突回避技術は非常に有効な手段である。

実用化・事業化に向けた計画を表2.2.1.5-12に示す。

表2.2.1.5-12 実用化・事業化計画

年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
製品化設計	→				
信頼性試験	→ 続行 / 中断判断 ▽				
販売			→		
収益発生			→		

予想される重大な障害：

- ・ 製品化設計段階：法規制の強化による利用制限、市場環境の変化によるニーズ減退
- ・ 信頼性試験：想定外の不具合による販売遅延
- ・ 販売：競合の参入による販売低減

(3) 準天頂衛星対応受信機

2019年11月に販売開始した準天頂衛星対応受信機については現段階ではドローン搭載実用化の事例は無く、更なる小型・軽量化を図った準天頂衛星対応受信機を市場投入すべく社内開発を継続している。

ドローン市場は急速に拡大しており、5年後(2027年度)には機体市場が1,788億円(2022年度の約2.1倍)に達する見込みとの報告もある。2021年度以降も、農業散布、物流、点検、測量などの各分野に向けた機体が投入されており、産業用機体の市場の増大とともにドローン搭載向け準天頂衛星対応受信機の実用化事業化の見通しは高いと考える。

### 3 実用化・事業化の見通し

#### (1) 大型の無人航空機用衝突回避システム

##### (a) 実用化・事業化に向けた課題と今後の方針

実用化・事業化に向けた課題と今後の方針については、2. 実用化・事業化に向けた具体的取組のとおりである。

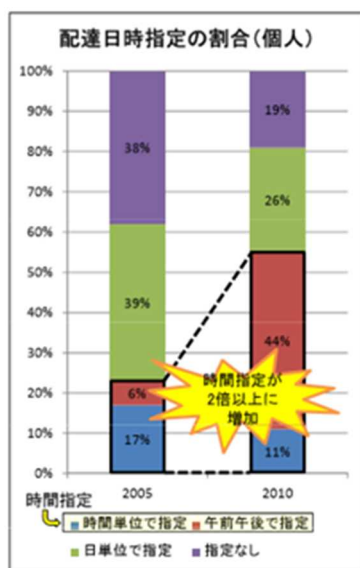
##### (b) 波及効果

我が国のCO<sub>2</sub>排出量の約18%を占める運輸部門（2億1,300万トン）のうち、貨物自動車は運輸部門の約37%（約7,800万トン）を排出しており、物流分野において無人航空機が広く活用されることは、CO<sub>2</sub>排出量の削減及び省エネルギー社会の実現に大きく貢献することが期待できる。

輸送業者においては、通信販売の急速な利用拡大やネットを利用した個人間売買の増加に伴って宅配便取扱個数が急増しているとともに、クール宅配便や時間帯お届けサービス等、ユーザーニーズの拡大に伴い宅配サービスも多様化し、例えば、「時間指定」の割合が5年で急激に増加（図2.2.1.5-31参照）している等、きめ細かいサービスへの需要が増大しており、その結果、トラックの積載率も4割程度の状況にある。

宅配サービスにおける過疎地域と都市部の輸送効率を比較した場合、一例としては、荷物1個あたりのトラック走行距離は、過疎地域の方が都市部より平均で約6倍長い。（図2.2.1.5-31参照）

こうした中、本研究開発により離島や山間部への無人航空機による小口や即時配送が実現すれば、過疎地における物流改善等を通じてエネルギー消費を大幅に削減することができる。更に、レベル4を実現する環境整備や本研究開発を含む技術の確立によって、都市部物流が本格化し、都市部における渋滞緩和や再配達の減少等を通じてエネルギー消費を削減することが可能になる。



宅配サービスにおける過疎地域と都市部の輸送効率の比較(例)  
(物流事業者A社実績/月間営業日)

地域	トラック走行距離	トラック台数合計	荷物個数	荷物1つあたりのトラック走行距離
過疎地域	約34万(km/月)	約100(台/月)	約30万(個/月)	約1.2(km/個)
都市部	約37万(km/月)	約350(台/月)	約160万(個/月)	約0.2(km/個)

※過疎地域は、過疎地域自立促進特別措置法に基づく地域から選定。

出典 A社実績データより作成

出典 : <https://www.mlit.go.jp/common/001068998.pdf>

図 2.2.1.5-31 宅配サービスにおける配達日時指定の割合及び過疎地域と都市部の輸送効率の比較



(2) 小型の無人航空機用衝突回避システム

本研究開発の成果を適用する機器及びシステムは物流分野や災害調査用途に限らず他の分野への応用が可能である。以降の市場拡大としては本研究開発において目標とする自己位置推定、環境認識による障害物回避、飛行軌道実時間生成などの技術により初めて可能となる、真の意味での自律飛行機能が必要となる用途への適用が急速に進捗すると考える。具体例としては、自律飛行機能が不可欠である目視外飛行の運用が前提となる災害対応や火山・森林観測支援、あるいはメディアの緊急報道支援への展開が候補として挙げられ、各市町村や警察消防本部、研究機関やテレビ局等も視野に入れた展開が期待されるほか、インフラ点検等の分野においても点検場所への移動あるいは点検対象との干渉回避等を考えれば十分に応用可能であると考えられる。(表 2.2.1.5-13 参照)

2022 年度ごろからは、衝突回避機能を有した無人航空機を有した他企業の参画も活発化することが予想され、市場の規模は急速に拡大すると考えられる。

表 2.2.1.5-13 物流、インフラ点検以外の用途への適用予測

適用可能範囲	想定される市場	用途
災害対応支援 (監視及び配送等)	各市町村 地方警察消防本部等	災害時において地理的に孤立した被害者に対して緊急物資輸送及び監視支援
観測支援 (火山及び森林監視 等)	各省庁 研究機関等	既存無人航空機の課題である飛行時間を解決した長距離化実現による観測支援
緊急報道支援	大手テレビ局等	災害時に中継で使用されるヘリコプターに代わる報道支援
道路運営	大手道路運營業等	道路橋、トンネル等の点検
鉄道運輸	大手鉄道業等	鉄道橋、トンネル等の点検
土木修繕	大手企業等	修繕対象の点検確認

(3) 準天頂衛星対応受信機

準天頂衛星対応受信機により、高精度なドローンの自己位置認識が出来るようになり、本研究開発による衝突回避技術と共用することで、様々なドローンサービスへの展開が見込める。具体的には、地域物流に必要なラストワンマイルへのドローン適用であり、離島物流や過疎地域の物資輸送、個人宅への玄関前へのピンポイント輸送やインフラ詳細監視・点検等が考えられ、より一層の日本ドローン市場拡大に向けた貢献に期待できる。



#### 6.2.1.6 4) 情報提供機能の開発—空間情報基盤：

##### 無人航空機の安全航行のための空間情報基盤の開発

(実施期間：3年間(2017年度～2019年度))

(実施者：株式会社ゼンリン)

#### (1) 事業の背景・意義(目的・概要)

2016年6月に閣議決定された「日本再興戦略2016」のなかで、“早ければ3年以内にドローンを使った荷物配達を可能とすることや災害現場における被災状況調査・捜査・救助、インフラ維持管理、測量、農林水産業などを含む様々な分野でより一層活用されることを目指す”(当時)としており、政府も無人航空機の活用拡大を後押ししている。

図2.2.1.6-1に示すように「小型無人機の利活用と技術ロードマップ」では、無人航空機の飛行レベルを4段階に分類し、各段階の実現目標時期を定めている。



図2.2.1.6-1 ロードマップ

現状ではレベル3の技術実証が一部エリアで始まっているが、依然、空撮や測量、農薬散布等の狭域かつ目視内での利用用途に限定されていることが多い。飛行レベル3及び4を実用化するためには、物流や警備などの新たな用途へ活用の幅を広げる必要があり、その実現に向けては、安心・安全に飛行するために必要な3次元地図データベースが不可欠と考えている。

本開発は、地図情報をプラットフォームとして、無人航空機の安全飛行に必要な各種情報を重畳した「3D可視化マップ」の飛行実験への提供をアウトプット目標とし、現在不足している情報や技術を新たに整備・開発することを目的とする。本開発のシステム全体像を図2.2.1.6-2に示す。なお、本書でいう「3D可視化マップ」とは、地図情報に気象情報や電波強度情報等を重ね合わせたものを指す。また、「3次元地図データベース」は、無人航空機の運航管理に必要な障害物情報や規制空域情報等により飛行可能空域を3次元で表現したものを指す。

はじめに、既存で当社が整備・提供している地図情報に加えて、①新たに無人航空機の運航管理に必要な3次元地図データベースを新規に開発する。また、②地図データベースを外部システムからアクセス可能とする提供機能を開発する。次に、③無人航空機の安全飛行に必要な情報を集約する情報統合システムを開発する。地図情報以外の不足情報に関しては、各情報保有主体から調達することを予定している。

加えて、事業の継続性と競争力を担保するために④3次元地図データの更新技術を開発する。本項目では、コストや更新体制等の運用モデルを合わせて整理する。最後に、⑤福島県浜通り地区を対象とした無人航空機の飛行実験への3D可視化マップの提供を通じて、システムの統合検証・評価を実施する。

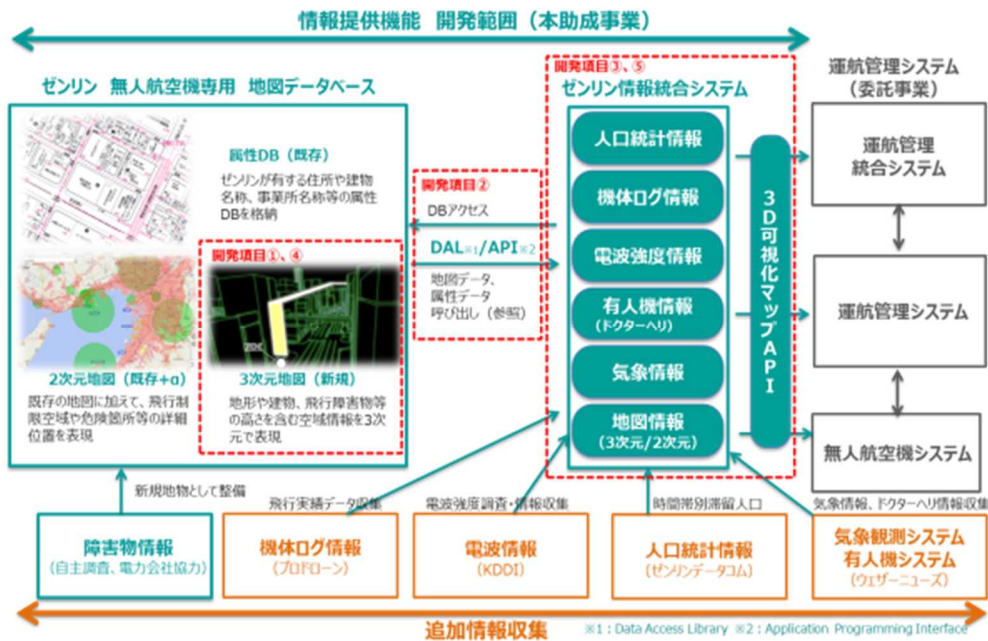


図 2. 2. 1. 6-2 システムの全体像

### 1. 1 研究開発項目 1：無人航空機専用の 3 次元地図データベースの開発

#### ①要件定義・共通仕様策定

飛行計画や運航管理に必要となる 3 次元地図データベースの共通的な要件を定義するとともに、データベースの共通仕様を定める。具体的には、要件として想定される無人航空機の用途ごと（物流、災害対応、離島等）に必要な地物・属性を整理するとともに、その最大公約数を共通仕様として、各分野で共用性の高い地物・属性として規定する。特にデジタルスタンダードの獲得を狙うには、海外の多様な地理的要因や経済性に適応可能とする、過剰なスペックにならない仕様とすることが重要と考える。

そのため、各地物に求める要求精度や新規取得を要する地物・属性の整備コストも併せて整理し、事業の全国・海外展開を見据えて実行可能かつ最適な仕様を策定する。

また、可能な限り国内外の地図データベース事業者の動向調査を実施し、本仕様の海外展開の可能性を検討する。図 2. 2. 1. 6-3 に 3 次元地図データベース開発のポイントを示す。

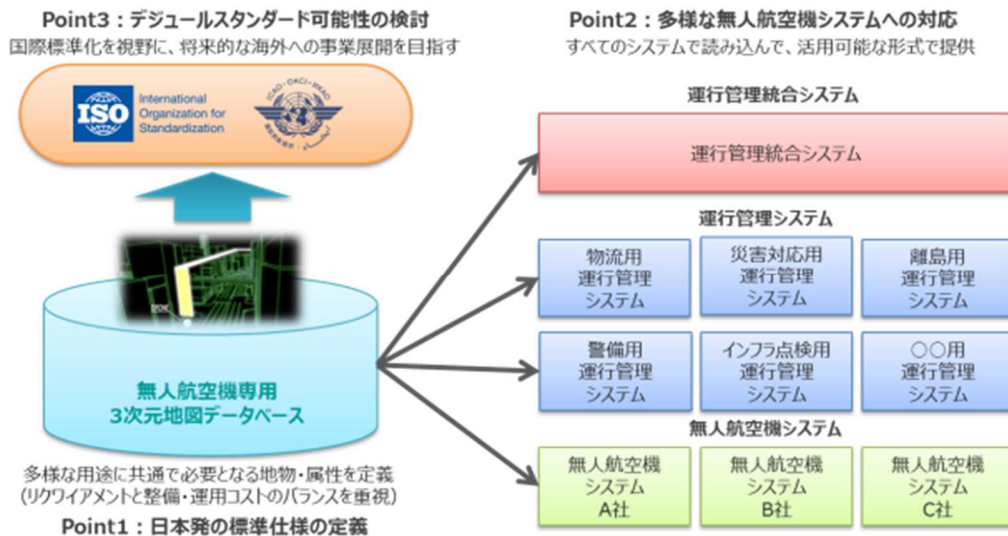


図 2. 2. 1. 6-3 3 次元地図データベース開発のポイント

## ②福島県浜通り地区の出典情報収集

実験フィールドとなる福島県浜通り地区において、上記①で定めた仕様に準じた地図を作製するために必要となる情報を得るための原典資料を収集する。特に、既存の地図で未整備の、無人航空機の飛行障害となる地物（鉄塔、高圧線など）の電力インフラ情報について、電力会社等と連携した情報収集手法を検討し、原典資料の収集を行う。

## ③現地調査による情報収集

実験フィールドとなる福島県浜通り地区において、上記②では収集が困難な情報の取得などを目的として、現地の計測など実地調査を行う。

## ④プロトタイプデータ開発

上記②および③のデータをもとに当社が保有している地図化技術を用いて、飛行実験フィールドとなる福島県浜通り地区における3次元地図データベースを開発する。

## ⑤サービス用DBの設計・プロトタイプ開発

本項目では、実サービスを考慮した多様な地図フォーマットへ対応するための中間ファイルであるサービスDBを設計し、プロトタイプデータを試作する。具体的には、地図データの標準的なフォーマットであるGeoJSON形式（ベクトル形式）やGeoTiff形式（ラスタ形式）等へ変換するプログラムに対応可能とする。また、精度（詳細度）が異なるデータを扱えることを設計上の要件とし、構造物データとの連携の可能性を検討する。

## ⑥国際標準開発

本項目では、国際標準化に向けた知財戦略の検討およびISO/TC20/SC16へのNP提案を実施する。また提案にあたっては、当社とともに情報提供機能を担当する日本気象協会と連携し実施する。

## 1.2 研究開発項目2：地図データベース提供機能の開発

### ①要件定義

3次元地図を情報統合システムに接続する地図提供機能に関する要件を定義する。特に、情報統合システムとのインタフェースとなる、DAL (Data Access Library) および API (Application Programming Interface) の定義が可能となるよう要件定義を行う。

### ②設計

地図提供機能の概略設計を行う。具体的には、システムの全体設計を行うとともに、インタフェースとなるDAL、APIの論理設計及び物理設計を行う。

### ③開発

インタフェースとなるDAL、APIの開発を行う。

### ④検証

前項で開発する情報統合システムから地図データベース提供機能を介して地図データベースにアクセスし、意図した3次元地図情報や属性DB等が取得できるかなどに関する検証を行う。

## 1.3 研究開発項目3：情報統合システムの開発

### ①要件定義

気象やLTE電波などの無人航空機の飛行安全性に関係する多様な情報を収集する情報統合システムに関する要件定義を行う。具体的には、気象情報、有人機情報（ウェザーニューズ）、電波強度情報（KDDI）などを対象に、それぞれの情報保持者から仕様等の情報収集を行い、統合するための要件を定義する。本検討では、3次元地図データベースの仕様同様にデジュールスタンダードの獲得と海外への事業展開を見据えて、飛行計画や運航管理に最低限必要となる項目を集約するためのシステムの要件定義を対象とする。また、人口統計情報などの地表面の人の滞留情報などの集約方法に関する要件も検討する。

情報項目名	概要	空間解像度	更新頻度
気象情報	上空の風向・風速・天気等の気象予測情報、予定経路における気象条件を把握するために利用	1kmメッシュ～ 高度は4段階 (0m, 50m, 100m, 150m)	1時間～3時間
有人機情報 (ドクターヘリ)	ドクターヘリ等の有人機の飛行位置情報、有人機との衝突可能性を飛行計画段階で把握するために利用	ポイント	逐次反映
電波強度情報	LTE通信網の上空の電波強度を調査した結果を統計化した情報。電波の強弱をヒートマップで表現し、予定経路の通信安全性を予測	1kmメッシュ～ 高度は4段階 (0m, 50m, 100m, 150m)	年1回以上
機体ログ情報	無人航空機の飛行実績情報、飛行経路の緯度経度高度やGPSの補正数、通信状態等の、無人航空機の飛行安全性を回る尺度として利用	ポイント	逐次反映
人口統計情報	携帯電話のGPS情報を集計・統計化した時間帯別の人口滞留情報。滞留人口の有無によって、地表面の人的被害を最小化するエリアを規定	500m～1kmメッシュ	月1回～年1回

図 2. 2. 1. 6-4 収集する情報項目（案）

## ②設計

前項で要件定義を行った情報統合システムの設計を行う。具体的には、クラウドサーバ上に、本プロジェクトで開発する3次元地図や既存の2次元地図、気象、電波、機体情報などを一元的に集約し運航管理システムに提供する機能の設計として、必要な機能モジュールの具体化などを行う。

## ③各種情報の収集

情報統合システムに取り込むための気象情報、電波情報、機体のログ情報などの収集を行う。

## ④開発

前項で設計を行った結果を踏まえ、統合システムの開発を行う。

## ⑤データ取得 API の開発

地図データ（2次元、3次元）をGeoJSON形式でダウンロードする機能を具備したデータ取得APIを開発する。開発にあたっては、サービス用DBと連携し、より利用者が扱いやすいデータ構造での提供を目指す。

## ⑥検証

開発した情報統合システムを運航管理システム等に試験接続し、3次元地図情報とともに、気象情報、電波情報、機体のログ情報などが適切に取得可能かどうかの検証を行う。なお、本項目は別途委託事業で開発する運航管理/運航管理統合システム事業者と連携し、検証を行う。

## 1. 4 研究開発項目 4：3次元地図データベースの更新技術の開発

### ①要件定義

地物毎に3次元地図の更新タイミング、手法に関する要件を具体化する。要件定義では、更新に必要なコストや技術課題も併せて整理する。

### ②更新技術の調査・実地検証

無人航空機に搭載されたセンサやカメラなどを用いて地図情報を更新するための技術に関して調査を行う。その上で、センサやカメラを用いた地図更新の可能性について実地検証

を行う。

#### ③運用モデルの策定

事業の全国展開を見据え、3次元地図データベースや各種情報の更新についてどのように運用を行うかのコストを含めたモデルを策定する。具体的には、必要な関係者の列挙を行うとともに作業分担、継続的に行うための仕組み（各者のインセンティブ）を整理する。

#### ④更新実験

①から③までの検討を踏まえ、必要な関係者を巻き込んだかたちで3次元地図の更新に関する実験を行う。具体的には、プロジェクト期間中で1年間程度の期間をとり、実際の3次元地図の更新作業について、本実験成果を用いて行う。

#### ⑤外部取得データを用いた更新手法の検討

本項目では、今後、大量のドローンが空を舞う世界を見据えて、自社保有以外のドローンから取得可能な外部データを用いた地図更新手法を検討する。まずは、ドローンから取得可能なデータ（オルソ画像、測量データ、ジャイロセンサ等）を調査し、あわせてドローンの実測により実データを収集する。収集したデータを用いて、地図更新の変化トリガーの取得可否や精度、更新頻度、コスト等を整理し、実運用を可能とする更新手法を考案する。

### 1.5 研究開発項目5：飛行実験によるシステム統合検証・評価

#### ①外部システムと情報統合システムの接続試験

福島県相馬市で実施予定の各種飛行実験へ向けて、実験で用いる運航管理システム等と情報統合システムの接続試験を本番環境で行う。なお、本項目は別途委託事業で開発する運航管理/運航管理統合システム事業者と連携し、検証を行う。

#### ②3D可視化マップの提供による評価

各種飛行実験に、本プロジェクトのアウトプット目標である風向や風速、電波状況等を地図に重畳した「3D可視化マップ」を提供し、開発した地図やシステムの最終評価を行う。

## (2) 研究開発目標と根拠

本事業のアウトプット目標である「3D 可視化マップ」の飛行実験への提供に向けて下記の観点から目標値を設定した。

①開発システムの検証完了および正常稼働・・・検証完了率 100%、システム稼働率 99.9%

②3次元地図データベースの品質の担保・・・

水平位置精度 $\sigma$ 1.75 (地図情報レベル 2,500)、エリア網羅性 100%、正確性 100%

③3次元地図データベースの更新作業の品質・・・作業完了率 100%、エラー率 0%

①に関しては、一般的な情報システムの要求水準を満足することを条件として設定している。

②③は、現時点で競合サービスが存在していないため、当社の既存地図データベースで要求する品質水準を目指すこととする。特にデータベースの3大要求品質である精度・鮮度・網羅性と、実運用にかかるコストの最適なバランスを最重要視し、コスト競争力の高い製品として全国展開が可能となることを達成基準とする。

表 2.2.1.6-1 研究目標

項目	中間目標 (2018 年度末)	最終目標 (2019 年度末)
1. 無人航空機専用の3次元地図データベースの開発	飛行実験フィールドである福島県浜通り地区の3次元地図データベースの仕様に準じた整備を完了する。 <b>【目標】</b> ・水平位置精度・・・ $\sigma$ 1.75m ・対象エリア網羅率・・・100% ・地物・属性網羅率・・・100%	(2018 年度末で開発完了)
2. 地図提供機能の開発	無人航空機の安全飛行に必要なとなる地図情報(3次元/2次元)をAPI経由で提供する機能を開発し、情報統合システムとの接続検証を完了する。 <b>【目標】</b> ・接続検証完了項目数・・・100% ・システムエラー発生率・・・0%	(2018 年度末で開発完了)
3. 情報統合システムの開発	気象、電波、機体情報等の無人航空機の安全飛行に必要なとなる多様な情報を収集し、これらの情報を一元的に集約する統合システムを開発し、外部の運航管理システム等との接続試験による検証を完了する。	(2018 年度末で開発完了)



	<p><b>【目標】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 接続検証完了項目数…100%</li> <li>・ システムエラー発生率…0%</li> <li>・ システム稼働率…99.9%</li> </ul>	
4. 3次元地図データベースの更新技術の開発	<p>無人航空機のセンサ・カメラ等から得られる地物情報の活用可能性を視野に入れた、実運用を見据えた3次元地図の更新技術を開発する。</p> <p>必要な関係者を巻き込んだかたちで3次元地図の更新に関する実験を行う。</p> <p><b>【目標】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 更新作業完了率…100%</li> <li>・ 更新コストの算定…100%</li> <li>・ 更新頻度…1回以上/年</li> </ul>	<p>前年度から1年間程度の期間をとり、実際の3次元地図データベースの更新作業を実施し、コスト・体制を含めた運用モデルを策定する。</p> <p><b>【目標】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 更新作業完了率…100%</li> <li>・ 更新エラー発生率…0%</li> <li>・ 運用モデルの決定…100%</li> </ul>
5. 飛行実験によるシステム統合検証・評価	<p>統合システムと飛行実験で使用する運航管理システム等と本番環境で接続し、検証を実施する。</p> <p><b>【目標】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 接続検証項目完了数…50%</li> </ul>	<p>飛行実験の本番環境でのシステム検証を完了し、本助成事業の成果目標である3D可視化マップを提供する。</p> <p><b>【目標】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 接続検証項目完了数…100%</li> <li>・ システムエラー発生率…0%</li> <li>・ 飛行実験時のシステム稼働率…99.9%</li> <li>・ 飛行実験における本システムに起因するエラー率…0%</li> </ul>



(3) 研究開発スケジュール・実施体制

●スケジュール

図 2.2.1.6-2 スケジュール

■2017 年度

開発項目	期間	2017年度 開発日程表				開発目標
		2017年			2018年	
		4~6月	7月~9月	10月~12月	1月~3月	
1. 無人航空機専用の3次元地図データベースの開発						・仕様書策定完了 ・情報収集完了
(1)要件定義・共通仕様策定		→				
(2)福島県浜通り地区の出典情報収集				→		
(3)現地調査による情報収集				→		
(4)プロトタイプデータ開発				→		
2. 地図提供機能の開発						・要件定義完了 ・設計完了
(1)要件定義		→				
(2)設計				→		
(3)開発				→		
3. 情報統合システムの開発						・要件定義完了 ・設計完了
(1)要件定義		→				
(2)設計				→		

■2018 年度

開発項目	期間	2018年度 開発日程表				開発目標
		2018年			2019年	
		4~6月	7月~9月	10月~12月	1月~3月	
1. 無人航空機専用の3次元地図データベースの開発						データ開発完了
(4)プロトタイプデータ開発		→				
2. 地図提供機能の開発						機能開発・検証完了(実験環境) (稼働率99.9%、エラー率0%)
(3)開発		→				
(4)検証				→		
3. 情報統合システムの開発						システム開発・検証完了(実験環境) (稼働率99.9%、エラー率0%)
(3)各種情報の収集		→				
(4)開発		→				
(5)検証				→		
4. 3次元地図の更新技術の開発						
(1)要件定義		→				
(2)更新技術の調査・実地検証				→		
(3)運用モデルの策定				→		
(4)更新実験				→		
5. 飛行実験によるシステム統合検証・評価						本番環境での統合試験の開始 (検証・50%完了)
(1)外部システムと統合システムの試験					→	

■2019 年度

開発項目	期間	2019年度 開発日程表				開発目標
		2019年			2020年	
		4~6月	7月~9月	10月~12月	1月~2月	
5. 飛行実験によるシステム統合検証・評価						3D可視化マップの飛行実験への提供 (検証完了数・100%、 エラー発生率・0%、稼働率・99.9%)
(1)外部システムと統合システムの接続試験		→				
(2)3D可視化マップの提供による評価				→		

●実施体制：

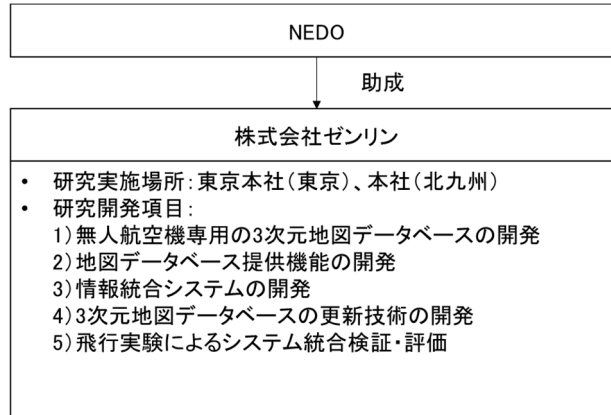


図 2.2.1.6-5 実施体制

(4) 研究開発の達成状況

① 無人航空機専用の3次元地図データベースの開発

最終目標	成果	達成度	備考
飛行実験フィールドである福島県浜通り地区の3次元地図データベースの仕様に準じた整備を完了する。 <b>【目標】</b> ・水平位置精度・・・ $\sigma$ 1.75m ・対象エリア網羅率・・・100% ・地物・属性網羅率・・・100%	福島県浜通り地区のデータベース整備を完了し、目標値達成	◎	(*1)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*1) 策定したデータベースの仕様を ISO TC20 SC16 へ提案し、2019年1月に NP 提案を通過した。(ISO/AWI 23629-7 Data model related to spatial data for UAS and UTM)

② 地図提供機能の開発

最終目標	成果	達成度	備考
無人航空機の安全飛行に必要なとなる地図情報(3次元/2次元)をAPI経由で提供する機能を開発し、情報統合システムとの接続検証を完了する。	開発完了、目標達成	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

③ 情報統合システムの開発

最終目標	成果	達成度	備考
気象、電波、機体情報等の無人航空機の安全飛行に必要なとなる多様な情報を収集し、これらの情報を一元的に集約する統合システムを	目標値達成	◎	(*2)

開発し、外部の運航管理システム等との接続試験による検証を完了する。 (開発完了) 【目標】 ・ 接続検証完了項目数・・・100% ・ システムエラー発生率・・・0% ・ システム稼働率・・・99.9%			
---	--	--	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*2) 計画当初に予定していなかった日本気象協会の風雨実況データを統合した「統合型情報提供機能の開発を完了。2018年11月には、プロジェクト内でのAPI公開を実施した。2019年6月には、API仕様を一般公開した。またダウンロードAPIの高速化の開発を完了。当初の処理時間から最大20倍の速度でのデータダウンロードを実現した。

④ 3次元地図データベースの更新技術の開発

最終目標	成果	達成度	備考
無人航空機のセンサ・カメラ等から得られる地物情報の活用可能性を視野に入れた、実運用を見据えた3次元地図の更新技術を開発する。実際の3次元地図データベースの更新作業を実施し、コスト・体制を含めた運用モデルを策定する。 【目標】 ・ 更新作業完了率・・・100% ・ 更新エラー発生率・・・0% ・ 運用モデルの決定・・・100%	目標値達成	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑤ 飛行実験によるシステム統合検証・評価

最終目標	成果	達成度	備考
飛行実験の本番環境でのシステム検証を完了し、本助成事業の成果目標である3D可視化マップを提供する。 【目標】 ・ 接続検証項目 完了数・・・100% ・ システムエラー発生率・・・0% ・ 飛行実験時のシステム稼働率・・・99.9% ・ 飛行実験における本システムに起因するエラー率・・・0%	目標値達成	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (5) 成果と意義

### 5.1 研究開発項目①「無人航空機専用の3次元地図データベースの開発」

【成果1】南相馬～浪江町の3次元地図データベースの整備を完了

福島ロボットテストフィールドから浪江滑走路までの南北約13kmのエリアを包含したドローンの運航管理システム（運航管理統合機能/運航仮機能）で利用する3次元地図データベースの設計・整備を完了した。

本件の設計にあたり、はじめに運航管理システムで提供される機能を勘案し、必要となる地物、属性および出典を整理した。整理した一覧を次に示す。

表 2.2.1.6-3 整備コンテンツ一覧

項目	地物名称	属性項目	出典
Ground Map (地形情報)	道路領域	高速自動車国道、一般国道、都道府県道、一般道路、その他、	ゼンリン
	立体横断施設	歩道橋	ゼンリン
	鉄道領域	トンネル、ケーブルカー	ゼンリン
	鉄道構造物	プラットホーム	ゼンリン
	鉄道軌道		ゼンリン
	建物	娯楽施設、店舗施設、厚生施設、教育施設、宿泊施設、官公署施設、スポーツ・競技施設、その他	ゼンリン
	敷地	公園・緑地、都市緑道・緑道、教育施設、その他	ゼンリン
	陸部構造物	送電塔・輸送管	ゼンリン
	土地	登高面	ゼンリン
	水部	海、湖池沼、河川	ゼンリン
	分蘗帯		ゼンリン
	行政界	郡市・特別区界、町村指定都市区界、町・大字界、丁目・字界	ゼンリン
	道路構造物	中止め	ゼンリン
	水部構造物	水門、堰	ゼンリン
通路領域	階段	ゼンリン	
Obstacle Data (障害物情報)	植生		NTTデータ（衛星画像）
	鉄塔		NTTデータ（衛星画像）
	送電線		ゼンリン（新規整備）
	電波塔		ゼンリン（新規整備）
	屋外広告看板		南相馬市
	建物	福島ロボットテストフィールド施設	福島県（設計図書）
Virtual Data (論理エリア)	標高	DEM（5m解像度）	国土地理院
	空港	制限表面	国土交通省航空局
	イベント開催エリア		南相馬市
Dynamic Data (動的情報)	人口集中地区（DID）		総務省統計局
	電波強度		NTTドコモ、KDDI
	混雑統計		ゼンリンデータコム
	有人機（ドクターヘリ）		ウェザーニューズ
	気象情報	風速、風向、降水量、視程、雲量等	ウェザーニューズ、日本気象協会

地物は、地形情報、障害物情報、論理エリア、動的情報の4つの階層に分類し、それぞれの階層のみを抽出して利用可能となるようにしている。例えば、飛行計画の安全性確認のために障害物情報のみ抽出し、鉄塔や建物とのコンフリクト判定に利用する等の方法が考えられる。これにより、運航管理システムの搭載機能やスペックに応じて、適切な情報を取捨選択することが可能となる。

次に、整理した一覧を元に、実際にゼンリンの現地調査や外部からの出典を入手し、データベースの整備を実施した。福島ロボットテストフィールドの施設に関しては、整備したタイミングでは建設中であったため、福島県からCAD形式の図面データを入手し、3次元データを作成した。また、イベント開催エリアに関しては、南相馬市の協力の下、イベント情報を保有している市内の関係機関へのヒアリングを実施し、イベント情報を学校や公園、寺社仏閣等の定期的に行われるエリアと花火大会や相馬野馬追等の開催期間が特定できるエリアに分類し、前者をイベント警戒エリア、後者をイベント開催エリアと定義した。イベント警戒エリアに関しては、飛行計画ルートが干渉する場合は、関係機関に連絡をしたうえでイベントの実施有無を事前に把握し、イベント開催エリアは、データ属性に含まれる開催日程と飛行計画ルートおよび日程を照合することで、飛行の可否を検討できる仕様としている。また、通常の地図データベースに含まれない屋外広告看板や鉄塔・送電線等の追加整備も実施した。

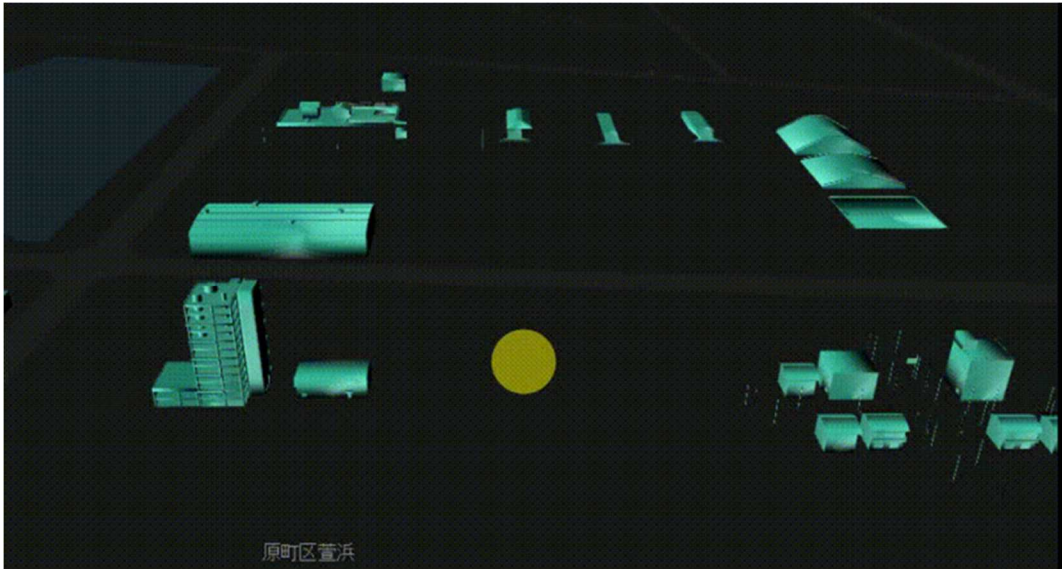


図 2. 2. 1. 6-6 福島ロボットテストフィールド周辺の 3 次元地図のイメージ

【成果 2】当社データベース仕様を軸に ISO TC20 SC16 へ国際標準化へのロビー活動を強力に実施。2019 年 11 月には CD 投票を通過し、2021 年度中に IS 発行の見通し

前述した 3 次元地図データベースの 4 階層のモデルを軸に、ISO TC20 SC16 へ国際標準化の提案を実施した。具体的には、ドローンの安全飛行に係るシステム (GCS/UTM) を対象とし、システム間で取り扱う情報項目や属性情報を規定することで、システム間の認識の違いをなくし、適切な情報を流通させることを目的としている。図 2. 2. 1. 6-7 にデータモデルを示す。地形情報が各階層を接続させる主のパッケージとし、各階層が副パッケージとして紐づけるモデルとなっている。

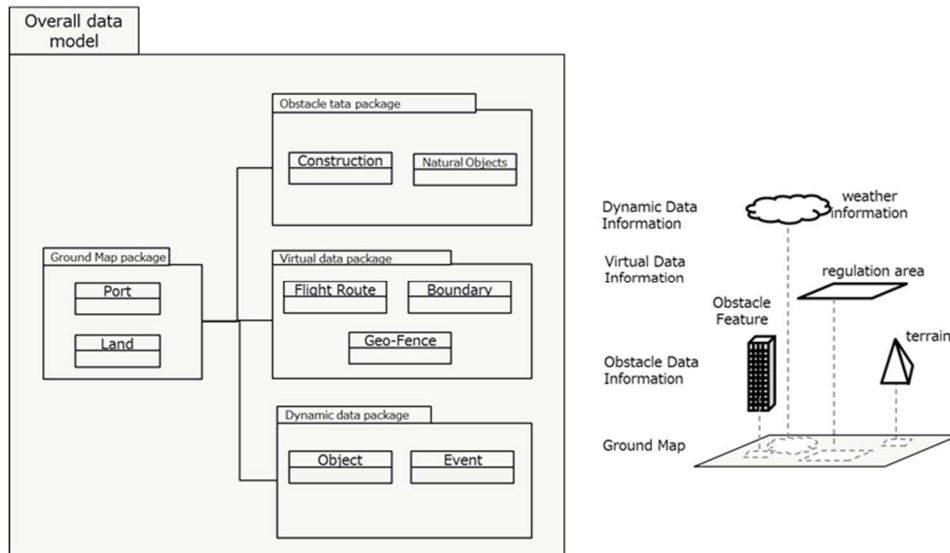


図 2. 2. 1. 6-7 地理空間情報のデータモデル

また、表 2. 2. 1. 6-4 にデータモデルに含まれる各階層の説明と分類、および事例を示す。2018 年 11 月から提案を開始、2019 年 1 月に NP 提案、2019 年 11 月に CD 投票を通過した (表 2. 2. 1. 6-5)。今後、2022 年 1 月を目途に国際標準発行の見通しが立っている。

表 2. 2. 1. 6-4 3次元地図データベースの概念モデル

Classification	Preliminary Definition	Preliminary Element	Preliminary Examples
Ground Map	Ground areas designed for specific activities	<b>Ports:</b> Areas for UAS take-off and landing	drone port, emergency landing site, emergency landing area
		<b>Land:</b> Artificially divided areas for specific activities	residential area, farmland, park, road, railway, sidewalk
Obstacle Data	Tangible objects that can be detected by visual observation or sensors	<b>Artificial Structures:</b> Objects designed and constructed artificially for specific purposes	transmission line tower, distribution pole, distribution line, transformer substation, power plant, tower building, high-rise apartment building, construction crane, stadium, factory,
		<b>Natural Objects:</b> Objects existing naturally	terrain (river, mountain, ..) tree
Virtual Data	Virtual objects that are not tangible, which cannot be detected by visual observation or sensors	<b>Flight Routes:</b> Virtual area for object to fly	flight route
		<b>Boundaries:</b> Artificially defined lines for classifying Land	administrative boundary, national border
		<b>Geo-Fences:</b> Area surrounded by virtual boundary lines	public areas, airport vicinities, regulation area, radio wave service area
Dynamic Data	Objects with time-varying positions	<b>Objects</b>	aircraft data
	Phenomena with time-varying status	<b>Phenomena</b>	Weather observation data

表 2. 2. 1. 6-5 IS 提案のステータス状況

ステージ	内容	計画	期限	完了日	ステータス
10.00	新規プロジェクト案の登録			2018-10-16	終了
10.20	新規プロジェクトの投票開始	2018-10-15		2018-10-16	終了
10.60	投票の終了	2019-01-07		2019-01-08	終了
10.99	新規プロジェクト登録 (NP) の承認			2019-01-11	終了
20.00	TC/SC作業計画への新規プロジェクト登録			2019-01-11	終了
30.00	Committee draft (CD) の登録	2019-09-16	2019-11-11	2019-11-11	現在
40.00	DISの登録	2020-10-31	2021-01-11		予定
50.00	正式承認のためにFDIS を登録	2021-08-31			予定
60.60	国際規格の発行	2022-01-07	2022-01-11		予定

## 5. 2 研究開発項目②、③「地図提供機能の開発、情報統合システムの開発」

【成果 1】日本気象協会の風・雨の実況データを統合した、統合型情報提供機能の開発を完了

計画当初は予定していなかったプロジェクト参画事業者である日本気象協会が提供する風雨の実況データを、API を介してリアルタイムに情報統合システムに統合し、FIMS/UASSP へ提供する「統合型情報提供機能」の開発を完了した。

図 2. 2. 1. 6-8 に風速情報を重畳した原ノ町駅周辺の 3次元地図を示す。



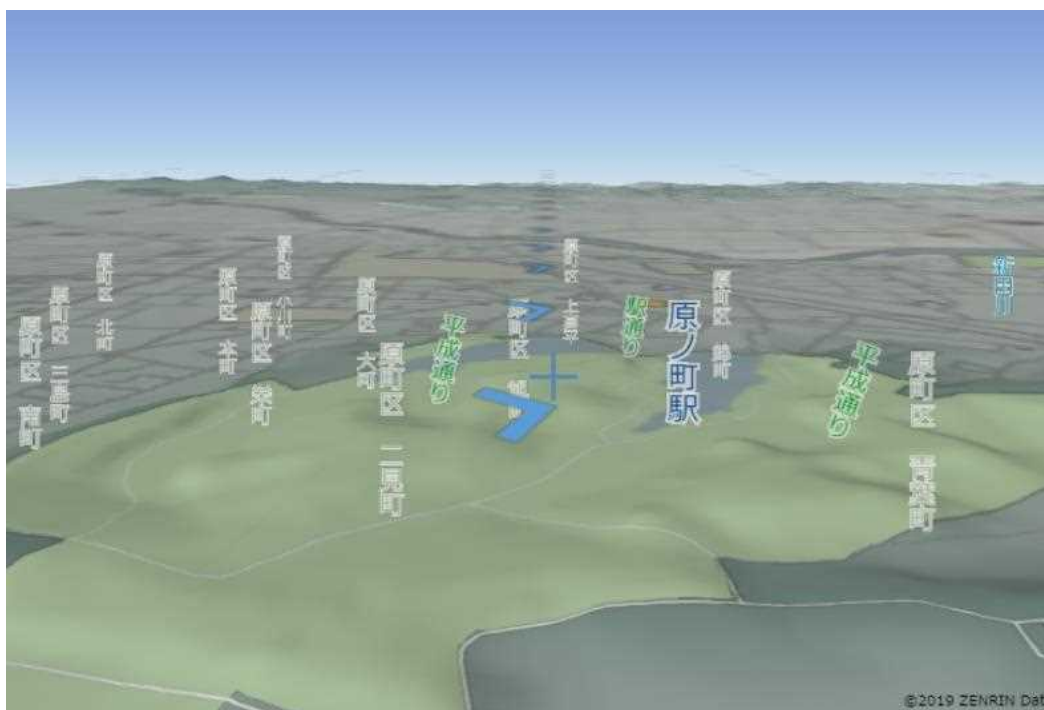


図 2.2.1.6-8 風速情報の重畳イメージ

これにより、ドローンの飛行可否判断にとって重要な指標である現地の風速情報を周辺の障害物の位置情報と合わせて取得することが可能となり、ドローンの飛行状況管理のシーンで、より簡便に情報を扱えることとなった。

【成果 2】汎用フォーマット（GeoJSON）で地図情報をダウンロードする API の追加開発を完了。高速化を実現

プロジェクト参画企業へのニーズ調査の結果を受け、地図情報の汎用形式である GeoJSON フォーマットで生データをダウンロードできる API の開発を完了した。

図 2.2.1.6-9 にダウンロード API の取得画面を示す。

3次元地図データベースは、2次元に比較してデータ容量が多いため、通信を介したデータ流通では環境によっては、レイテンシーが発生する可能性がある。特に、リアルタイムな飛行状況監視において、障害物とドローンの接近を自動検知する等の機能を実装する場合、通信の遅延は検知の遅れにつながり、飛行安全性を低下させる。このため、事前にダウンロード API を通じてデータを FIMS/UASSP 側のローカル環境に格納しておくことで、通信品質に依存しない機能実装が可能となった。また 2019 年度には、ダウンロードの高速化の開発を実施し、最大 20 倍の速度でのダウンロードを実現した。これにより商用利用を可能とする品質レベルを達成した。



## ダウンロードAPIについて - 3D取得版

### APIの仕様

リクエストサーバ : <https://uav-api.its-mo.com/>

リクエストURL : サーバ名/geojson-loader3d

HTTPメソッド : GET

レスポンス形式 : GeoJSON、一括取得の場合はZIP

文字コード : UTF-8

### リクエストパラメータ

	キー	必須	利用方法
アクセスキー	key	必須	固定キー (評価ユーザー向けに別途ご提供)
範囲指定一括取得	area	必須	矩形の緯度経度範囲を示して、矩形と重なるすべてのメッシュ
3D精度	precision	省略可能 省略時はすべての3D精度を取得	3Dデータの精度を指定 3Dポリゴン低精度 : 1 3Dポリゴン中精度 : 2

図 2.2.1.6-9 ダウンロード API 取得画面

## 【成果 3】プロジェクト内外での API 公開を完了

前述した統合型情報提供機能の仕様を 2018 年 11 月にプロジェクト内、2019 年 6 月にはプロジェクト外を含めた一般公開を実施した。表 2.2.1.6-6 に API の機能一覧を示す。

表 2.2.1.6-6 API 機能一覧

項番	機能分類	クラス名	機能概要
1	地図	ZDRONE.Map	地図を表示する
2	ウィジェット	ZDRONE.MapCenter	中心点画像 (地図中央の「+」マーク) を作成する
3		ZDRONE.Marker	マーカを作成する
4		ZDRONE.ScaleBar	スケールバーを作成する
5		ZDRONE.Polyline	線や多角形を描画する
6		ZDRONE.Polyline3D	3Dの線を描画する
7		ZDRONE.Oval	円または楕円を描画する
8		ZDRONE.UserWidget	地図のスクロールに追従する動的なユーザーウィジェットを作成する
9		ZDRONE.StaticUserWidget	地図のスクロールに追従しない静的なユーザーウィジェットを作成する
10		ZDRONE.GroundOverlay	地図に画像を重ねる
11		レイヤー	ZDRONE.WMSLayer
12	ZDRONE.TMSLayer		地図にXYZ形式のタイル画像を重ねる
13	ZDRONE.GeoJSON		GeoJSON形式のデータを地図に描画する
14	ZDRONE.RainJwa		日本気象協会の降水量情報を地図に表示する
15	ZDRONE.RainWNI		ウェザーニュースの降水量情報を地図に表示する
16	ZDRONE.WindJwa		日本気象協会の風速風向情報を地図に表示する
17	ZDRONE.WindWNI		ウェザーニュースの風速風向情報を地図に表示する
18	ZDRONE.Airplane		ドクターヘリの現在位置情報を地図に表示する
19	ZDRONE.Demographics		ゼンリンデータコムの混雑統計を地図に表示する
20	ZDRONE.RadioWave		LTEの電波強度情報を地図に表示する
21	検索・空間解析	ZDRONE.Search	住所、POI検索を実行する
22	その他	ZDRONE.LatLon	緯度経度を保持する
23		ZDRONE.LatLonAlt	緯度経度、高度を保持する
24		ZDRONE.LatLonBox	2地点の緯度経度の矩形を生成する。引数で指定された2点で矩形を生成する
25		ZDRONE.Pixel	座標を保持する
26		ZDRONE.PixelBox	2地点の座標の矩形を生成する。引数で指定された2点で矩形を生成する
27		ZDRONE.TL	top、leftの値を保持する
28		ZDRONE.WH	width、heightの値を保持する
29		ZDRONE.Map3DEx	3D表示の低精度・中精度・高精度の表示切替を行う

全部で 29 の機能開発を完了した。地図の表示や住所検索等の標準的な地図機能に加えて、飛行計画ルートやジオフェンス等を描画する図形作成機能やドローンの安全

飛行に影響する風速や電波状況を重畳する機能、また、障害物の位置を取得する機能など運航管理に必要となる機能群を実現した。

API仕様の公開にあたっては、各機能の説明およびソースコードを例示したマニュアルサイトを作成し、地図の専門知識がなくともシステムに取り込めるようユーザビリティを高める取り組みを実施した（図 2.2.1.6-10）。

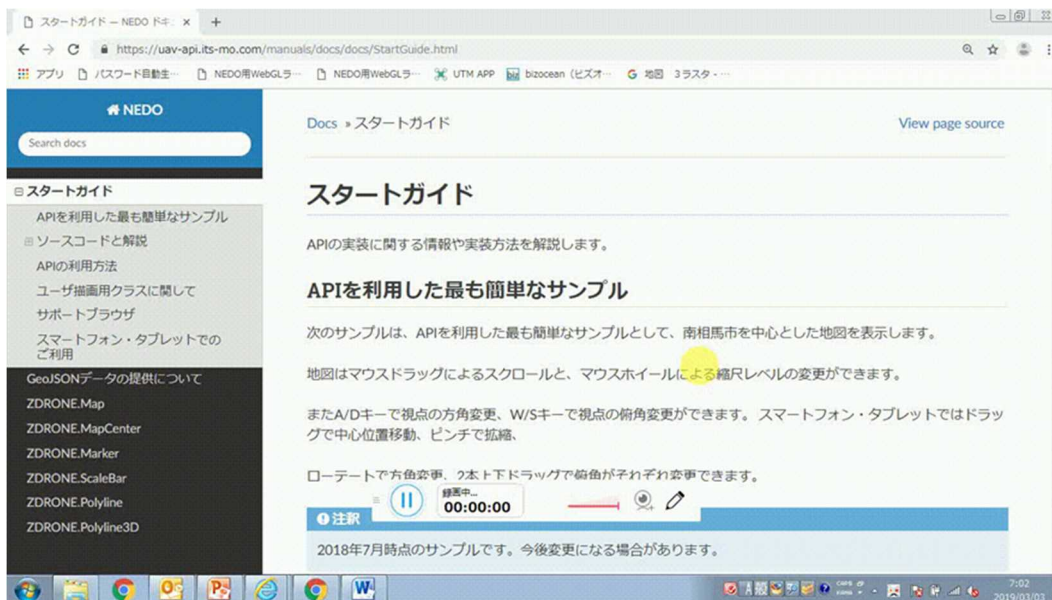


図 2.2.1.6-10 マニュアルサイト例

### 5.3 研究開発項目④「3次元地図データベースの更新技術の開発」

【成果1】地図更新に必要な情報の特性を加味し、更新レベルを定義。各レベルに応じた運用モデルの設計を完了

地図データベースは新規整備だけでなく、日々刻々と変化する情報を精度よく定期的かつ持続的に更新することが重要となる。そのため、本開発では、はじめに飛行情報の特性を整理し、それぞれの特性に応じた地図更新レベルを規定した。次に地図データを更新する運用アーキテクチャを設計し、即時に更新するモデルと変化ポイントを蓄積し、ゼンリンの現地調査を経て更新するモデルの2つの更新モデルを定義した。

図 2.2.1.6-11 に規定した地図更新レベルを示す。まず、飛行情報を網羅性、鮮度、位置精度、地物特性の4つの軸で評価し、Light から High までの3パターンの更新情報レベルを規定した。

Light は地物と場所をピンポイントで特定できないが、現在のデータベースと何かしらの変化がある状態を指す。Middle は、地物は明確に特定できないが、変化の場所はピンポイントで把握している状態を指す。High は、変化した地物と場所を特定できる状態を指す。

Light では、変化があるであろう周辺の空間をジオフェンスとして提供、Middle では、変化がある場所の緯度経度座標と高度を提供、また、High では、さらに何が変化したのかの情報を提供可能となる。

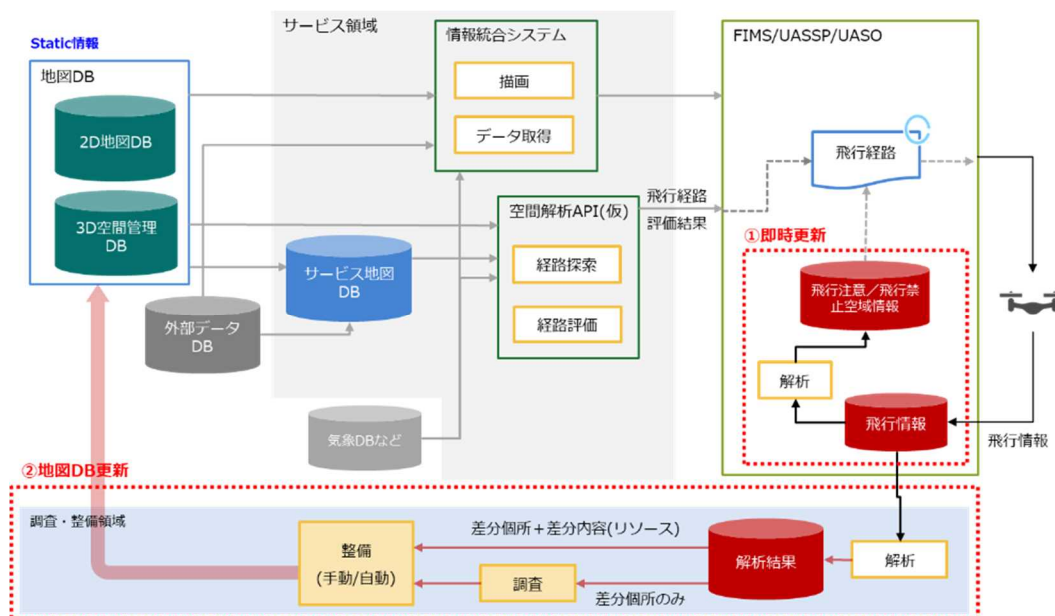
飛行情報の特性	更新情報レベル		
	Light (この辺に何かある)	Middle (ここに何かある)	High (ここに○○がある)
網羅性	×	×	×
鮮度	○	○	○
位置精度	△	○	○
地物特定	×	△	○

提供可能な更新情報	周辺空間をジオフェンスで提供	変化ポイントを提供	変化ポイント+属性(何が)を提供

図 2. 2. 1. 6-11 更新情報レベル

次に、更新情報レベルを踏まえて、地図更新の情報の流れを示す運用アーキテクチャを設計した(図 2. 2. 1. 6-12)。全体のアーキテクチャ設計の結果、即時更新と地図 DB 更新の 2 パターンの更新手法を明らかにした。即時更新では、FIMS や UASSP 等のユーザー側で保有する飛行ログ情報を解析して、変化ポイントを即座にシステム側に反映するモデルとなる。一方、地図 DB 更新では、解析した結果を変化ポイントとして位置情報を蓄積し、現地調査の結果等を踏まえて、ゼンリンの地図データベースを定期更新するモデルとなる。この 2 つのモデルを踏まえて、今後、実運用の検証に入る予定である。



#### 5. 4 研究開発項目④「飛行実験によるシステム統合検証・評価」

【成果 1】 運航管理システムとの相互接続試験へ API 提供を実施し、機能評価を完了  
 2019 年 10 月 23 日から 24 日に、福島ロボットテストフィールドにおいて、ドローン事業者 29 者が参加した、同一空域で複数事業者のドローンが安全に飛行するための運

航管理システムとの相互接続試験へ API 提供を実施。システム遅延なく情報提供が可能であること検証完了した。

図 2. 2. 1. 6-13 に FIMS での実装例を示す。統合型情報提供機能のダウンロード API を通じて、FIMS に 3 次元の障害物情報を提供し、FIMS での正常稼働を確認した。また、ドローン事業者 29 者に対し API を通じて情報提供することで、ページビュー数の増加にも耐えうるサーバ環境であることを確認した。

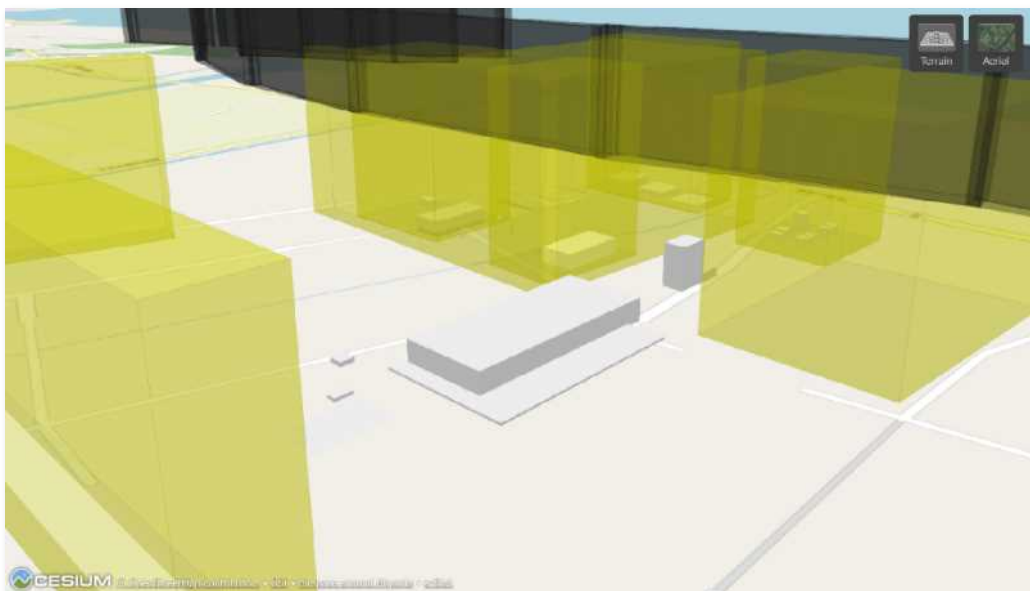


図 2. 2. 1. 6-13 FIMS での実装例

#### 【成果 2】ドローン専用空路の設計と安全性評価を完了

福島ロボットテストフィールド広域飛行区域において、当社が設計したドローン専用空路の安全な高さ情報の収集実験と離着陸ポイントの実用性の評価を実施し、長距離目視外補助者なし飛行の安全なルート案の構築を完了した。

図-17 に設計したドローン専用空路の案を示す。はじめに、南相馬市、浪江町等の地元自治体から第三者の存在する可能性が高いエリアの情報を収集し、ドローンが侵入しない空域を設定した(図 2. 2. 1. 6-14 の紫色エリア)。次に、市町が保有する土地からドローンの離着陸に利用可能なエリアを抽出し、離着陸地点として設定した(図 2. 2. 1. 6-14 の黄緑色エリア)。最後に、送電設備への接近を最小限に留めること、巨大な構造物が少ないこと、第三者上空を飛行する可能性が低いことの 3 点を条件として、飛行ルート案を設計した。

設定した飛行ルート案は水平方向 (x、y 座標) の定義のみ実施し、高度は実際にドローンを飛行させることで確定させることとした。具体的には 2020 年 2 月 3 日から 4 日にかけて、直上方向にドローンを飛行させドローン、地上の双方から視認可能な高度を確認し、最低飛行高度を定義した。また、一部のルートで楽天株式会社の協力の下、実際に離着陸ポイントから飛行させ、ルートの安全性の評価を実施した。今後、現地での調査を継続し、福島ロボットテストフィールドにおける広域飛行実証を安全に実施可能な環境構築に貢献していく。





(6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	0	0	0	-	-	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	0	1	0	-	-	-	1
展示会出展	0	1	0	-	-	-	1
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	-	-	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	3	-	-	-	3
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

知財確保の考え方：地図データベースの整備手法や具体的なアルゴリズムに関しては、ブラックボックス化することで知的財産権を確保することを方針としている。

(7) 実用化・事業化への道筋と課題

1. 実用化・事業化に向けた戦略

本事業では、通信状況の情報（無人機の安全航行に関わる通信の電波情報の調査・重畳）、有人機の情報、気象情報、地図情報、インフラ等の障害物情報、人口統計情報（時間帯別の滞留人口統計の重畳）等の無人航空機の飛行安全に係る多様な情報をクラウドサーバ上に一元的に集約し3次元地図上に表現する「無人航空機専用3D可視化マップ」およびそのAPIを開発する。このAPIを通じて、想定ユーザーである無人航空機運航管理システムや無人航空機操縦者のシステムに対して上記の統合情報を提供するクラウド型情報提供システムを実現する。サービスの適用先である無人航空機運航管理システムや無人航空機操縦者は、本開発の成果として想定されるAPIを各々が持つ運航管理のシステムに組み込むことにより、本開発の成果品である一元化された多様な情報を持つ無人航空機専用3D可視化マップと運航管理を統合することが可能となる。販売形態としては、本クラウドサービス利用のライセンス販売を想定している。

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

事業化に向けたスケジュールを下記に示す。助成期間終了後、データベースのユーザー評価や拡張性の検討・実行を通じて製品化フェーズへ速やかに移行する。次に拡張部分の設備投資及び生産により、製品化を実現する。2022年度には販売を開始する見込みである。

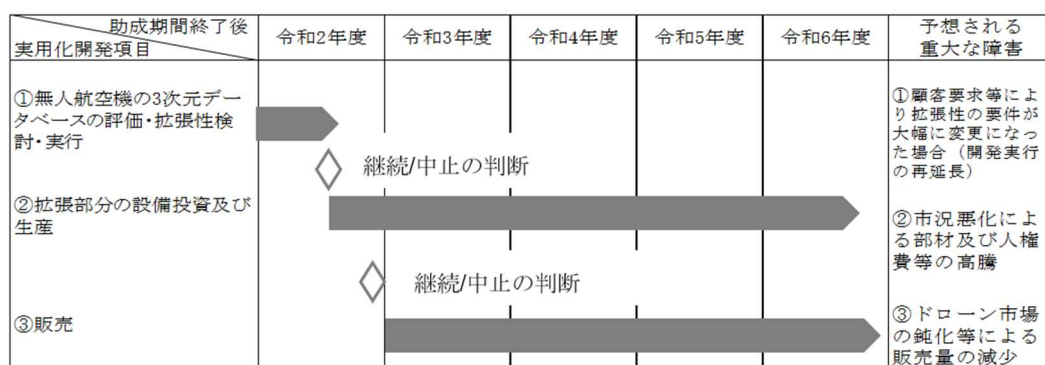


図 2.2.1.6-15 事業化スケジュール

### 3. 実用化・事業化の見通し

実用化を確実にするために、デジュールスタンダード獲得の施策として ISO TC20 SC16 へ国際標準提案を実施済みであり、2021 年度を目途に IS 発行となる見込みである。また、他社との競争優位性として、地図に関しては、ゼンリングroupでこれまで作成し管理、メンテナンスを行っているデータベースを転用することが可能であり、新規で開発および取得すべきデータは少ないことから、製造コストの面で他社より優位性がある。また、質の担保においても、別事業において運用体制を確立しており、その体制を転用できることから、新規で構築するよりも質やコストの面で優位性がある。

また、気象情報など本製品へ重畳するデータについては、外注先からの提供を予定しているが、外注先データベースと弊社開発システムをつなぐ API の開発も想定している。データ自体は外注先が合意すれば競合他社も購入可能であるが、API によるシームレスな統合は競合他社と比較して、情報のリアルタイムな更新という点において優位性がある。そのため実用化は達成するものと見込んでいる。



#### 6.2.1.7 4) 情報提供機能の開発—気象情報提供機能

##### ドローン向け気象情報提供機能の研究開発

(実施期間：3年間(2017年度～2019年度))

(実施者：一般財団法人日本気象協会)

#### (1) 事業の背景・意義(目的・概要)

無人航空機(以下、ドローンという)は、離着陸時、空路の飛行中などで様々な気象に遭遇する。ドローンが遭遇し、飛行に影響を与える気象は、突風、強風、高温・低温、高湿度、降雨、降雪、雷、霧など様々な現象がある。2016年4月～2019年3月までに、国土交通省に報告されたドローンの事故・トラブルのうち、全体の18.9%が気象に関連した事故・トラブルであった(図2.2.1.7-1)。気象に関連する事故トラブルの内訳をみると、風に関連する事故トラブルは81.6%であった。(図2.2.1.7-2)

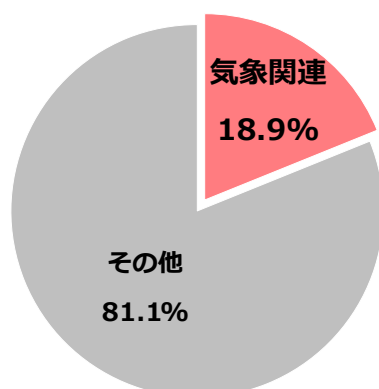


図2.2.1.7-1 国土交通省に報告された事故のうち気象に関連する事故の割合

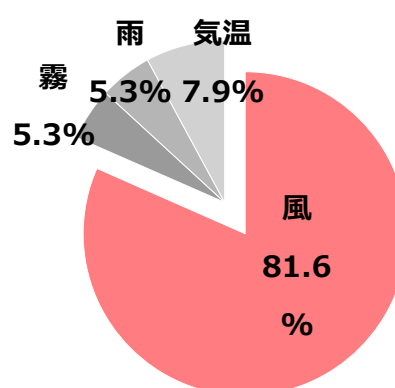


図2.2.1.7-2 気象に関連する事故トラブルの気象要因別の内訳

資料：「無人航空機に係る事故トラブル等の一覧(国土交通省)」を独自に集計  
集計期間：2016年4月～2019年3月

今後、「空の産業革命に向けたロードマップ2019(2019年6月21日、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会)」に従い、有人地帯での目視外飛行や都市での物流や警備などのより高いレベルでの運航が実現した場合、より多くのドローンが様々な気象に遭遇する確率は大きくなることが想定される。

ドローンの安全を確保するために気象は重要であり、「無人航空機の目視外飛行に関する要件(2018年3月29日、国土交通省)」では、自機周辺の気象状況の監視が要件の一つに挙げられた。ここでは、「飛行経路又は機体に設置した気象センサー、カメラ等により気象状況の変化を把握し、運用限界を超える場合は、付近の安全な場所に着陸するなど、適切な対策をとることができること」とされた。地上付近は、周囲の雑木林や住宅などの抵抗により、風が弱くなる場合がある。風向・風速計を用いた直接観測では、地上に近い場所での観測となるが、地物の影響を大きく受け、空路となる高度の風とは大きく異なることがある。また、高度が高くなるほど風速は大きくなるのが一般的であり、安全なドローンの飛行のためには、飛行高度の風の把握及び予測が重要となる。一方、飛行高度の風を観測することは容易ではない。このため、多くのドローン運用者は、ドローンの飛行高度の風の状態を知らないままに飛行を開始することが多い。このような状況が、気象、特に風による事故トラブルの要因の一つであり、ドローン運用者が飛行前に上空の状況を把握できれば、ドローン飛行の安全性を高めることが期待できる。

一方、気象庁または民間気象事業者が提供する気象情報は、地上の気象情報がほとんどである。航空運輸事業者向けには上空の気象情報はあるものの、1000m以上の高層の気象情報（航空気象情報）となる。このため、ドローンの飛行高度である高度150m以下の気象情報は、観測や予測がほとんど提供されていない。また、この高度では、地形や建物の影響により複雑に変動する風が発生するため、解像度の低い数値気象予測データを単純に内挿する方法では、実態とかけ離れた情報となることがある。ドローンは、有人航空機に比べ小さく、微細な気象の変化による影響を大きく受け、航続距離や飛行時間も短いことから、時空間的に高解像度な気象情報が必要となってくる。

以上を踏まえ、本研究開発では、ドローン飛行高度での風観測技術について整理し、気象観測ドローンを用いたリアルタイムモニタリングによるドローンの飛行高度での気象実況情報の開発、リモートセンシングを用いた飛行高度での高解像度な気象情報の開発を行った。これらのデータを分析し、ドローン専用の高解像度な3次元の風向風速の実況推計値と予測を開発した。さらに、この情報に加え、入手可能な気象情報のうち、ドローン運航に有用な気象情報を整理し、気象情報提供機能としてドローン気象情報APIを開発した。

本研究開発で開発したドローン気象情報は、ドローンが安全かつ効率的な運航を実現するために重要なデータとなる。このデータの標準化を図ることにより、ドローン運航管理システムの開発を効率的に進めることが可能となる。また、新たな運航管理事業者の市場参入を容易にし、国内産業の発展が期待できる。そこで、ドローン関連技術の国際競争力の強化を目的に、ドローン運航管理に係る気象情報についても国際標準化を目指した。

## (2) 研究開発目標と根拠

研究開発目標を表2.2.1.7-1に示す。

表2.2.1.7-1 研究開発目標

開発項目	研究開発目標
① ドローン向け強風ナウキャスト情報提供機能の開発	100mメッシュの高度30～150mの風実況推定値の実現 100mメッシュの高度30～150mの60分先予測の実現
② ドローン向け総合気象情報提供機能の開発	ドローン向け総合気象情報提供機能としてニーズの高い風、降水、雷、台風などの実況及び予測情報をポイントデータまたはメッシュデータとして、運航管理システムに提供する機能を開発し、UTMに試験提供する。
③ 気象観測ドローンによる、上空の気象観測データの取得	気象観測ドローンによる上空風のリアルタイムモニタリングの実現
④ ドローン気象情報提供機能の国際標準化	ドローン気象情報提供機能の国際標準化提案

ドローン気象情報のニーズを把握するために、初年度（2017年度）にDRESSプロジェクトの参加機関、2017年10月に実施されたJUTM実証実験の参加機関を対象として、ドローン気象情報に係るアンケート調査を実施した。この結果に基づき、本研究の最終目標を設定した。なお、アンケートは、45機関に行い、回答率60%であった。

### ① ドローン向け強風ナウキャスト情報提供機能の開発

ドローンの目視外飛行で、目的地までの片道飛行時間を30分と想定した場合、目先60分先までの気象予測情報が重要であり、30分以上前にシビアな気象現象の有無を予測する必要がある。また、ドローン気象情報に係るアンケート調査でも、実況及び0～6時間先までの短時間の予測を5～10分の時間解像度、水平メッシュ100m、高度30～150mでの提供を希

望するニーズが高かった。そこで、福島ロボットテストフィールド（以下、RTF という）を中心としたエリアで、高解像度な風実況推定値並びに 0～9 時間先までの高解像度風予測の開発を行った。

#### ② ドローン向け総合気象情報提供機能の開発

ドローン気象情報に係るアンケート調査では、実況及び 0～6 時間先までの予測のニーズが高く、予測時間が長くなるほどニーズが下がっていた。気象予測の特性から 1 週間先のピンポイント予測は、位置ずれや時刻ずれを要因とする精度低下が発生することから、高解像度情報のニーズもいまのところ高くはない。そこで、本研究のドローン向け総合気象情報提供機能として、要望の高いポイント予測と高解像度メッシュ予測を提供するドローン気象情報 API を開発した。対象とする情報は、風、雨とし、参考情報として雷、気象警報・注意報などの情報を提供可能な機能を開発し、UTM に試験提供することを目標とした。

#### ③ 気象観測ドローンによる上空の気象観測データの取得

ドローンが飛行する高度 30～150m の気象観測データで、入手可能なデータは非常に少ない。また、観測手法もドップラーソーダ、ドップラーライダーなど高価なリモートセンシング機器を用いる方法が主流である。そこでドローン自体に気象センサーを搭載し、自律航行しながら気象観測を行うことで、従来よりも安価に観測データをリアルタイムに取得する機能を実現する。

#### ④ ドローン気象情報提供機能の国際標準化

ドローン関連技術の国際標準化に向けた取り組みは、各国で進みつつある。しかし、ドローン運航の判断に活用するドローン気象情報は、国際的な提案はなされていない。ドローン気象情報の標準化に向けた議論は、国内でも十分には行われておらず、今後、運航管理に利用する気象情報の標準化に向けた議論を進めるために、国内委員会ならびに国際会議への提案を目標とした。

### (3) 研究開発スケジュール・実施体制

研究開発スケジュールを表 2.2.1.7-2 に示す。なお、「④ドローン気象情報提供機能の標準化」は 2018 年度から実施した項目である。

表 2.2.1.7-2 研究開発スケジュール

		2017 年度	2018 年度	2019 年度
①ドローン向け 強風ナウキャスト	仕様・予測手法検討	■		
	プロトタイプ構築	■		
	精度検証・手法改良		■	
	オンラインシステム設計		■	
	オンラインシステム構築			■
②ドローン向け 総合気象情報	仕様・予測手法検討	■		
	プロトタイプ構築	■		
	精度検証・手法改良		■	
	オンラインシステム設計		■	
	オンラインシステム構築			■
③気象観測ドローン による観測データ活用	仕様検討	■		
	試作機作成	■		
	試験試行・観測データ検証		■	
	試作機改良		■	
	観測データ提供システム構築			■
④ドローン気象情報 提供機能の標準化	知財状況調査		■	
	気象情報の海外動向調査		■	
	国際標準化方針の検討		■	
	国内機関への提案		■	
	国際機関への提案			■
	国際会議等への出席			■

実施体制を図 2.2.1.7-3 に示す。

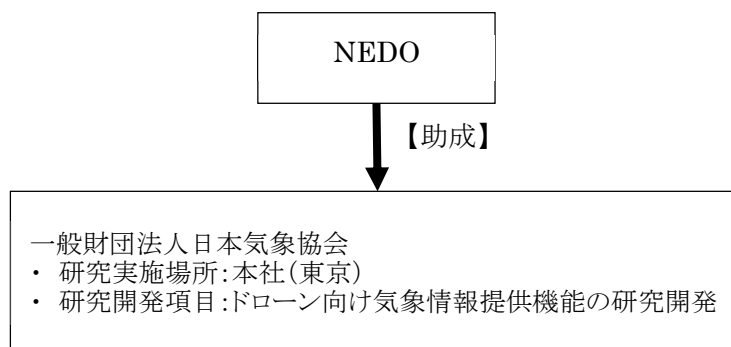


図 2.2.1.7-3 実施体制

#### (4) 研究開発の達成状況

##### ドローン向け気象情報提供機能の研究開発

###### ① ドローン向け強風ナウキャスト情報提供機能の開発

最終目標	成果	達成度	備考
100m メッシュの高度 30～150m の風実況推定値の実現	3D ライダーの 500m メッシュ観測データに、気象学的補間技術を適用することにより、3D ライダーの未計測エリアの推定と高解像度化を行い、高度 30、50、100、150m の風向・風速の実況推定を実現した。	○	
100m メッシュの高度 30～150m の 60 分先予測の実現	高解像度風実況推定データの特徴量を分析し、5 分毎に 100m メッシュで高度 30、50、100、150m の風向・風速を 60 分先まで予測する超短時間予測（ナウキャスト）を実現した。これに加え、気象モデルによるダウンスケール技術と実況値による補正技術を用いて、60 分毎に 200m メッシュで高度 30、50、100、150m の風向・風速を 10 時間先までの予測を実現した。	○	

◎：大きく上回って達成、○：達成、△：度末までに達成見込み、×：未達

###### ② ドローン向け総合気象情報提供機能の開発

最終目標	成果	達成度	備考
ドローン向け総合気象情報提供機能としてニーズの高い風、降水、雷、台風などの実況及び予測情報をポイントデータまたはメッシュデータとして、運航管理システムに提供する機能を開発し、UTM に試験提供する。	運航管理システム（UTM）へのデータ連携を実現するために、気象情報提供機能を試作した。試作した機能では、①で開発した風予測に加え、雨、雷、気温、アラートなどの情報を実装した。開発した気象情報提供機能は、運航管理に係る実証実験で試験提供を行い、その有効性を確認した。	○	

◎：大きく上回って達成、○：達成、△：度末までに達成見込み、×：未達

###### ③ 気象観測ドローンによる、上空の気象観測データの取得

最終目標	成果	達成度	備考
気象観測ドローンによる上空風のリアルタイムモニタリングの実現。	気象センサーを搭載し無線伝送により地上局にデータを伝送するドローンを試作した。また、地上局で受信した上空気象観測データを WebAPI で運行管理者に提供するシステムを試作した。試作した気象観測ドローンは、運航管理に係る実証実験で飛行試験を行うとともに、データ提供試験を行い、開発した機能の実現を確認した。	○	

◎：大きく上回って達成、○：達成、△：度末までに達成見込み、×：未達

④ドローン気象情報提供機能の国際標準化

最終目標	成果	達成度	備考
ドローン気象情報提供機能の国際標準化提案。	ドローン用の地理空間情報データモデル（気象情報を含む）を無人航空機国際標準化国内委員会への提案し、2020年2月現在で Committee Draft 提案まで実現した。	○	

◎：大きく上回って達成、○：達成、△：度末までに達成見込み、×：未達

## (5) 成果と意義

### 5.1. ドローン向け強風ナウキャスト情報提供機能の開発（実施者：日本気象協会）

#### ① リアルタイム高解像度風実況推定

RTF の 3D スキャニングライダー（以下、3D ライダーという）の観測データを用いて、高度 30、50、100、150m の風向・風速を 100m メッシュの高解像度で 5 分毎に推計することにより、3 次元・リアルタイム・高解像度・風向風速・実況推定データを作成するシステムを構築した。RTF の 3D ライダーは、500m メッシュ毎に風向風速を観測している。3D ライダーは、レーザー光線によるリモートセンシングであるため、光を遮る障害物があると、その方向の風向・風速を観測できない。また、ドローンが飛行する RTF は、南北 500m × 東西 1000m の敷地であり、500m メッシュの観測では、数点しか観測値が得られない。さらに、線形補完では、メッシュ間の細かな地形効果が得られず、物理学的な整合性を満たすことができない。そこで、本研究開発では、物理学的整合性を満足できる手法として、気象学的補完技術を適用し、未計測エリアの推定および高解像度化を実現した（図 2.2.1.7-4 および図 2.2.1.7-5）。

以上により、3D ライダーの観測データを基に、高度 30、50、100、150m での 100m メッシュの風向・風速を 5 分毎に得られる「リアルタイム高解像度風実況推定」を開発し、情報提供機能を通じて UTM がデータ利用可能な環境を整備した。

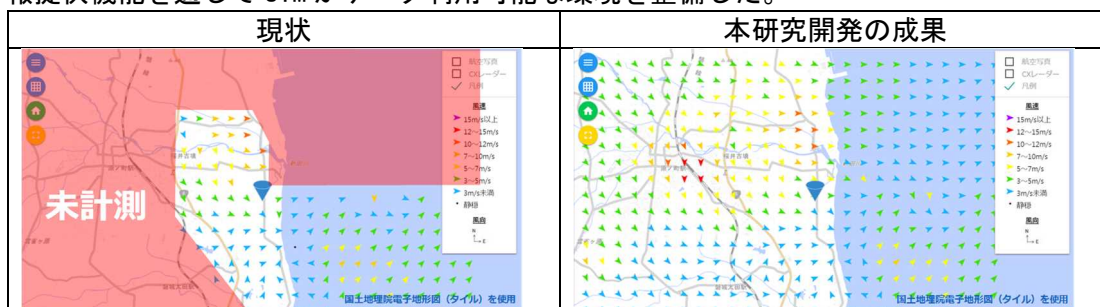


図 2.2.1.7-4 3D ライダーの未計測エリアの推計



図 2.2.1.7-5 風向風速実況推定の 100m メッシュへの高解像度化

#### ② ドローン向け強風ナウキャスト（60 分先予測）

リアルタイム高解像度風実況推定から得られる強風の特徴量から移動ベクトルを算出し、60 分先までの風向・風速予測（ドローン向け強風ナウキャスト）を開発した。予測の更新頻度は 5 分とし、60 分先までの予測を 10 分間隔に予測する。空間解像度は、実況推定と同様に水平 100m メッシュとし、高度 30、50、100、150m を予測する。予測例を図 2.2.1.7-6 に示す。

これにより、ドローン飛行を開始後 30～60 分先までの風の変化予測が可能となった。



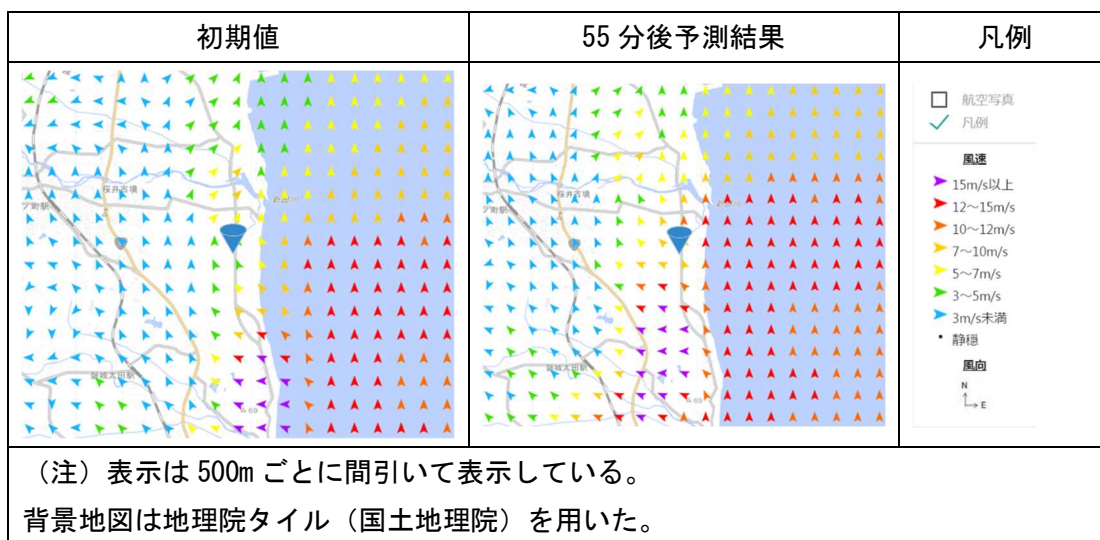


図 2. 2. 1. 7-6 ドローン向け強風ナウキャスト (60 分先予測) の予測例

③ 気象モデルを用いたドローン向け風予測 (9 時間先予測)

3D ライダーの観測を基にしたドローン向け強風ナウキャストでは、3D ライダー観測データが得られないと予測ができない。そこで、3D ライダーを利用せずに高解像度な風予測を実現するために、気象モデルを利用する手法を開発した。入力値に気象庁が発表する LFM (局地モデル) を用い、気象モデル WRF (領域モデル) を用いて 200m メッシュまで高解像度化した。なお、LFM は 1 時間毎に更新があり、地上予測の解像度は、水平 2 km メッシュ、時間間隔 30 分、予測時間は初期時刻から 10 時間先までの予測となる。

本研究で開発した予測は、更新頻度を LFM に合わせ 1 時間とし、初期時刻から 10 時間先までの風向風速を 10 分間隔で予測する。空間解像度は、水平 200m メッシュ、高度 30、50、100、150m としている。この予測例を図 2. 2. 1. 7-7 に示す。

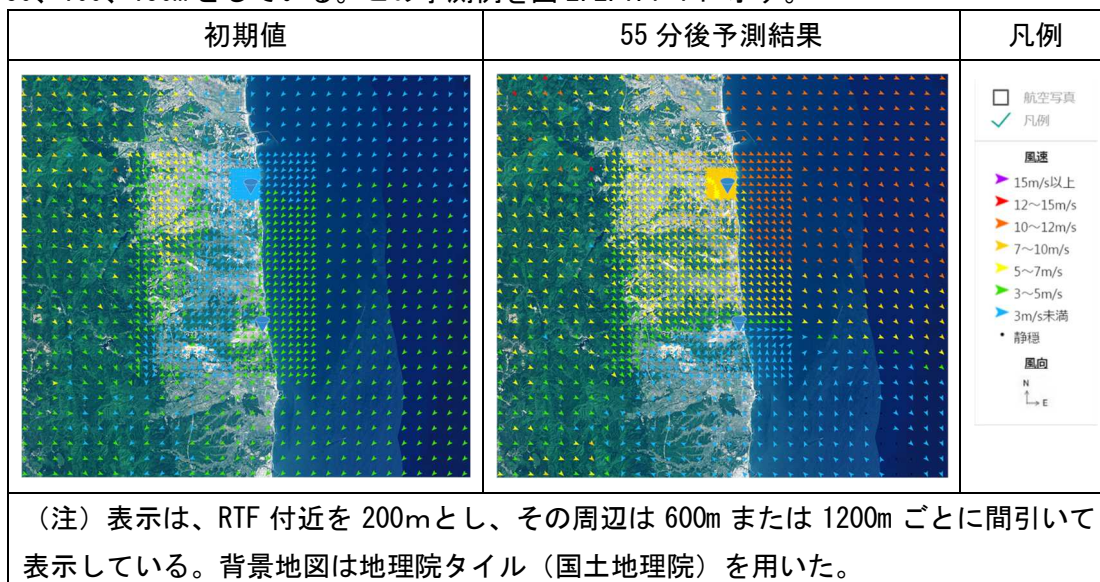


図 2. 2. 1. 7-7 気象モデルを用いたドローン向け 9 時間先の風予測の例

## 5.2. ドローン向け総合気象情報提供機能の開発

風の高解像度情報は「(1) ドローン向け強風ナウキャスト情報提供機能の開発」により推計および予測が可能となった。このほか、ドローンの運航に影響する降水、雷、気温、アラートなどの情報は既存の気象情報を利用し、ドローン気象情報 API により情報提供機能を実現した。

ドローン気象情報 API に実装した気象情報を表 2.2.1.7-3 に示す。データ形式は GeoJSON を基本とした。提供範囲は福島県エリアとした。

表 2.2.1.7-3 ドローン気象 API で実装した気象情報

気象要素	協調領域	競争領域
風	LFM (GeoJSON) MSM (GeoJSON)	ドローン向け強風ナウキャスト (60 分先予測) (GeoJSON) ドローン向け風予測 (9 時間先予測) (GeoJSON) JWA1 kmメッシュ (GeoJSON、JWA 独自形式)
雨	LFM (GeoJSON) MSM (GeoJSON)	高解像度降水ナウキャスト (GeoJSON、JWA 独自形式) JWA1 kmメッシュ (GeoJSON、JWA 独自形式)
雷	なし	LIDEN 雷情報 (GeoJSON、JWA 独自形式) 雷ナウキャスト (GeoJSON、JWA 独自形式)
気温	LFM (GeoJSON) MSM (GeoJSON)	JWA1 kmメッシュ (GeoJSON、JWA 独自形式)
アラート	気象警報・注意報 (気象庁 XML)	—
その他	府県天気 (気象庁 XML) 台風情報 (気象庁 XML)	—

(注) ( ) はデータ形式を示す。

ドローン気象情報 API の有効性を検証するために、2019 年 2 月 26 日～3 月 1 日に実施したドローン運航管理システムの合同実証試験で、UTM 向け地理空間情報としてゼンリンの地図情報と連携して情報提供を行った。実証実験の体制は、図 2.2.1.7-8 のとおりであり、統合機能、運航管理機能と連携した。

2019 年 2 月の合同実証実験では、運航管理に係る実証試験の参加者は限定的であった。2019 年 10 月に行われた相互接続試験では、100 フライト/1 時間/1km<sup>2</sup> 以上でのドローン運航による検証が行われた。参加事業者と位置づけを図 2.2.1.7-9 に示す。この実証実験では、29 事業者が、最大 37 機のドローンを飛行させる大規模実験であった。日本気象協会は気象情報提供機能として参加することにより、ドローン気象情報提供機能の有効性を検証した。

2019 年度の実証実験で日本気象協会は、ドローン気象情報 API として整備した情報提供機能の実証に加え、現地での地上気象センサー、小型気象センサー、ドップラーライダー、気象観測ドローンによる気象観測のリアルタイム提供を実装し、観測、実況推定、予測、アラートの総合気象情報としてデータ利活用を検証した。

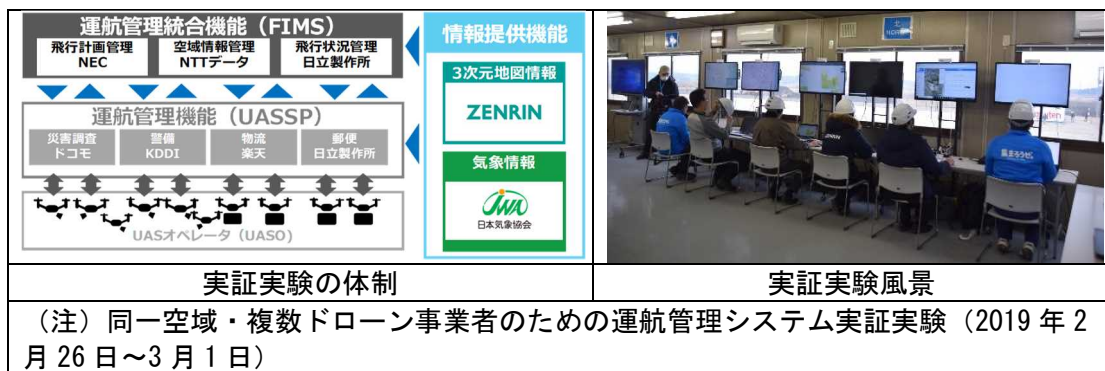


図 2.2.1.7-8 ドローン運航管理システム実証実験の体制と実験風景

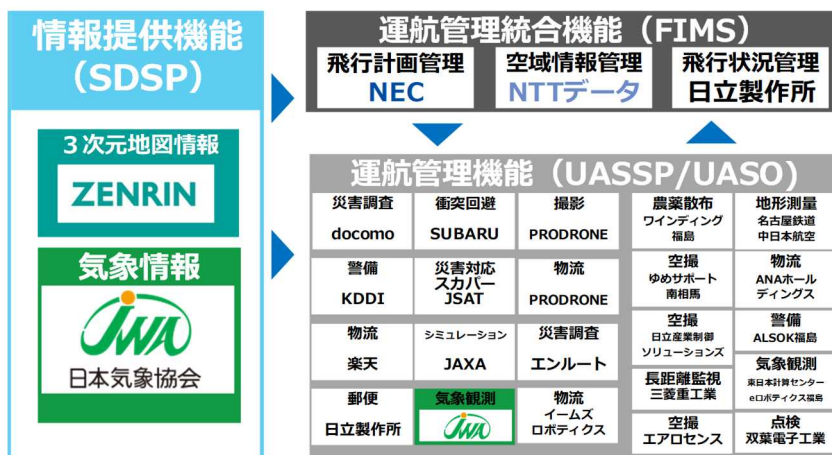


図 2.2.1.7-9 運航管理統合機能・情報提供機能の相互接続試験  
(2019年10月21日、23~25日)

**鉛直プロファイル型ドップラーライダー**

**リアルタイム気象モニタリング**

図 2.2.1.7-10 ドローン用の気象観測とリアルタイム気象モニタリングシステム  
デモ画面



このほか、気象情報の有効性を検証するために、2017年度から他の研究課題のコンソーシアムの実証実験にも同行し気象情報を提供するとともに、ドローン運航の現場での気象情報のニーズの把握に努めた。

表 2.2.1.7-4 ドローン運航実証試験での気象情報提供の実績

年度	提供先	目的	提供時期
2017年度	JUTM	JUTM 福島社会実証	10月
	スカパーJSAT	NEDO DRESS スカパーJSAT コンソ実証実験	11月
	SUBARU	NEDO DRESS SUBARU コンソ実証実験	12月
	KDDI	NEDO DRESS KDDI コンソ実証実験	2、3月
2018年度	スカパーJSAT	NEDO DRESS スカパーJSAT コンソ実証実験	8月
	NEC等	NEDO DRESS NEC コンソ実証実験	9月
	SUBARU	NEDO DRESS SUBARU コンソ実証実験	12月
	NEC等	NEDO DRESS 合同実証実験	2、3月
2019年度	NEC等	NEDO DRESS 合同実証実験	4月
	SUBARU	NEDO DRESS SUBARU コンソ実証実験	7月
	NEC等	NEDO DRESS FIMS・SDSP 相互接続試験	10月
	NEC等	NEDO DRESS FIMS・SDSP 相互接続試験	11月
	SUBARU	NEDO DRESS 衝突回避試験	12月

### 5.3. 気象観測ドローンによる上空の気象観測データの取得

ドローンが飛行する高度で気象情報を取得する手段として、図 2.2.1.7-11 のとおり、気象センサーを搭載したドローンが直接観測を行うことによって、リアルタイムに気象を把握するシステムを開発した。ここで得られたデータは、ドローン気象情報 API で提供可能とした。

ドローンに気象センサーを搭載した場合、その搭載位置や飛行方法により観測精度に影響を及ぼす。特に、風はその影響が顕著である。そこで、ドローンのロータ風の影響を回避し、高い精度で測定可能な気象観測ドローン（図 2.2.1.7-12 の左写真）を開発した。観測精度が確認できている風向風速の鉛直分布が測定可能なドップラーライダー（図 2.2.1.7-12 の右写真）と同時観測を行い、精度検証を行ったところ、良好な観測精度が確認できた。2019年度の相互接続試験では、日立製作所（UASSP）の運航管理下で、気象観測ドローンの定時運航を行い、安定した情報提供が実現できることを確認した。10月23、24日の相互接続試験では、気象観測ドローンは、10時～16時までの間、毎正時の定期飛行を行った。この際、UASSPのUTMを介して飛行計画管理と動態管理を行った。FIMSでの動態管理の様子を図 2.2.1.7-13 に示す。この際、観測データはドローン気象情報 API を通じてリアルタイム提供試験を行い、RTF 管制室に設置したドローン気象情報端末で閲覧可能な環境を提供し、期間中の安定的な稼働を確認した。

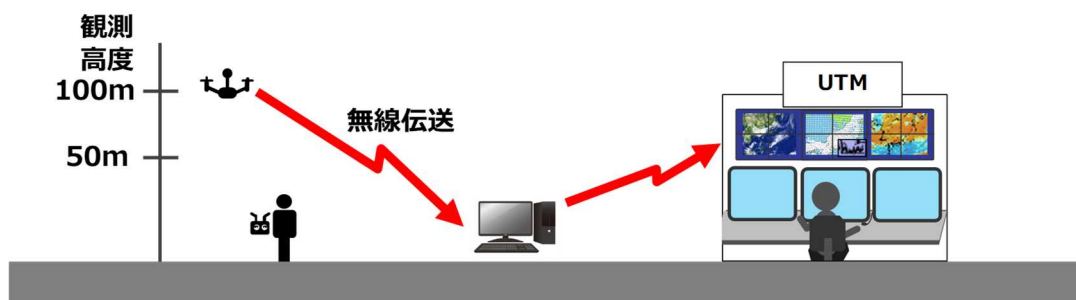


図 2.2.1.7-11 気象観測ドローンの観測データ伝送イメージ

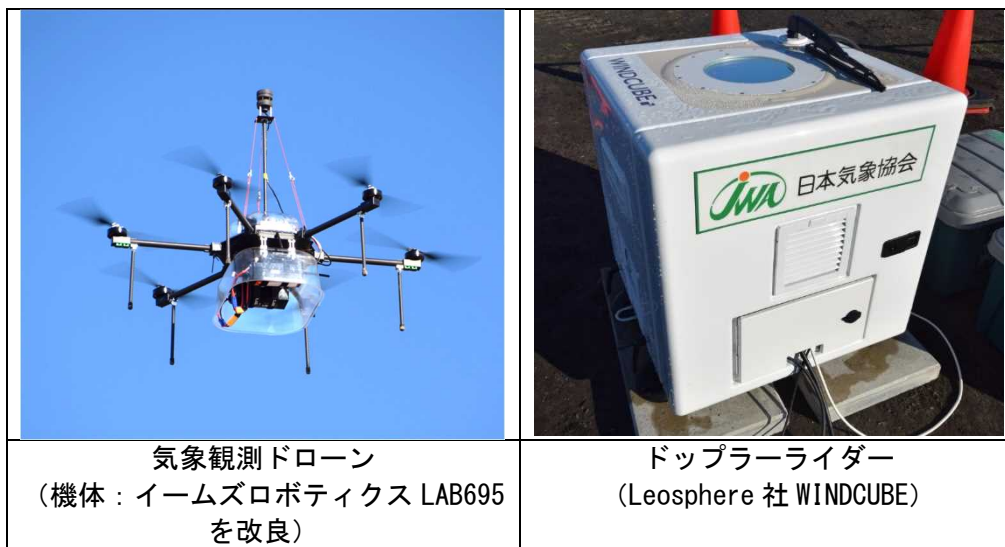


図 2.2.1.7-12 気象観測ドローンとドップラーライダー



図 2.2.1.7-13 FIMS での動態管理の様子

#### 5.4. 国際標準化

ドローン気象情報の国際標準化に向けて、国内外の知財・開発動向・ニーズ調査を実施した。海外調査（中国、米国、豪州）を行い、運航管理システムで利用する気象情報の開発状況とニーズを把握した。国際標準化に向けて、ISO/TC20/SC16 にゼンリンと共同で「地理空間情報データモデル」として NP 提案を行った。「地理空間情報データモデル」のなか

で、気象情報は、動的情報と位置づけ提案している。



図 2.2.1.7-14 地理空間情報データモデルのイメージ

#### (6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	0	0	0	-	-	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	1	1	2	-	-	-	4
展示会出展	1	2	0	-	-	-	3
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	2	0	2	-	-	-	4
ニュースリリース・プレスリリース	4	1	2	-	-	-	7
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

知財確保の考え方：本研究の技術開発の要素が多く、基本的にクローズ戦略とした。

#### (7) 実用化・事業化への道筋と課題

##### 1. 実用化・事業化に向けた戦略

本プロジェクトの成果は、ドローン運航管理の社会実装に並行して、サービス化を進めることを基本とする。ドローン運航管理の実証実験等に参画しながら、サービスの多様化やサービスレベルの向上を図り、当協会の企業活動に貢献する。

本プロジェクト終了後、ドローン運航の頻度の多いエリアを選定し、ドローン気象情報 API のサービスインを目指す。本成果について、山間部や海上での有効性・精度等を確認したうえで、山間部向けサービス、海上向けサービスに展開し、サービスエリアを拡大する。最終的には、すべてのエリアを統合したサービスに展開予定である。

##### 2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

当面は、ドローン運用者 (UASO) 向けサービスを軸とするが、ドローン運航管理システム (UTMS) の普及に合わせ、これらのシステム向けに機能向上を図りながら、気象情報提供サービスとしてシステム安定性も向上を進める。ドローン活用社会の実現に向けたドローンの産業利用拡大と本開発の気象情報提供のサービス化を連動させながら、運用者が利用可能なドローン気象閲覧サービスや、運航管理者が利用するデータ連携サービスなどに当協会のドローン気象サービスを展開していく。





## 6.2.1.8 5) 運航管理システムの全体設計：

### 運航管理システムの全体設計に関する研究開発

(実施期間：3年間(2017年度～2019年度))

(実施者：国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)

#### (1) 事業の背景・意義(目的・概要)

運航管理システムとは、無人航空機の機体や操縦者等の登録・管理を行うとともに、空域や電波の共用を効率的に行うための地上支援システムである。特に目視外飛行を実現するためには、操縦者の目視に代わって周囲の状況を認識し、衝突等のリスクを回避する必要があるが、これを機上のセンサのみで実現するのは技術的に困難であるため、運航管理システムを通じて空域の情報を共有することが期待されている。

本事業の目的は、多数の無人航空機が目視外で運用される環境において、空域の安全はもとより利用効率など多様な要求を満たすための運航管理の方法(運航管理コンセプト)を定め、それを実現するための仕組み(運航管理システムのアーキテクチャ)を設計することである。そのためのツールとして運航管理シミュレータを開発し、空域の安全性や利用効率等を評価してコンセプト/システム設計に反映するとともに、このシミュレータによってシステム開発要素(運航管理統合機能、運航管理機能等)の部分的な検証や、各機能を組合せたシステム統合実証を支援し、運航管理システムの有効性を確認する。これらの概要を以下に示す。

#### 課題①：運航管理コンセプトの定義

無人航空機の用途・利用形態、関連技術、法規・基準整備等に関する現在～10年後までの動向を調査・分析して複数のユースケースを作成する。この無人航空機のユースケースをもとに、目視外飛行を実現するための運航管理方法を立案する。すなわち、空域の安全を確保しつつ求められる無人航空機の運用を実現するための空域設計/管理や衝突回避の方法に加え、電波管理(通信の安全と容量拡大/効率化のための動的な周波数割当て等)、機体管理(セキュリティやプライバシー問題への対処のための機体及び運用者の登録・認証・識別等)も含めた統合的な「運航管理」のあり方を具体化する。そして、それを実現するための全体システム(運航管理システム及び接続する外部システム)やその運用に関する基本構想を「運航管理コンセプト」として定める。

また、提案する運航管理コンセプトが真に社会実装に耐えるものとなっているのかを評価することも重要な課題であり、一般社会に受け入れられるための安全性や、事業者が受容可能な運用コスト等の評価指標の設定にも取り組む。

#### 課題②：運航管理システムのアーキテクチャ設計

運航管理コンセプトから定義されるシステム要件に加え、スケーラビリティやセキュリティにも留意して運航管理システムのアーキテクチャ設計を行う。また、システム構成要素(サブシステム)間及び外部システムとのインターフェース仕様を定め、APIやデータフォーマット等を策定する。

これらに際して、運航管理統合機能/運航管理機能として想定しているシステム要件や前提とする環境条件(例えば通信ネットワークや監視システムなど)を適切にシステムアーキテクチャに反映するために、設計/検討作業は各機能の開発事業者(システム開発事業者)を含む作業部会によって実施する。システムアーキテクチャやインターフェース仕様については、後述する運航管理シミュレータによって、その妥当性

を検証する。また、当該システムは多数の外部システムと接続し、人間の関与も含まれる複雑なシステムとなるため、ハザード解析手法を用いた安全評価を実施して設計に反映する。

#### 課題③： 運航管理シミュレータの開発、及び運航管理コンセプト/システムの評価・検証

無人航空機の運用環境等を模擬して運航管理による空域の安全性や効率等を評価する「運航管理シミュレータ」を開発し、以下の目的に供する。

##### 目的 1. 運航管理コンセプト/システムアーキテクチャの評価・改善

運航管理コンセプトの定義やシステムアーキテクチャ設計に対して、安全性や効率などの評価指標からその妥当性を評価し、設計にフィードバックする。先進的な運航管理手法/アルゴリズム等の研究を行うためのプラットフォームとしても利用する。

##### 目的 2. システム開発要素の検証

運航管理統合機能/運航管理機能/情報提供機能を接続した統合シミュレーション/実証試験等を支援し、運航管理システムの有効性等を評価/検証する。

#### 課題④： 運航管理システム開発推進委員会の開催

運航管理システムのコンセプト定義及び設計に際しては、本プロジェクトに参画するシステム開発事業者をはじめ多様なステークホルダや有識者による委員会を設置し、その知見や技術を結集してこれに取り組む。

なお、上記の各課題への取組みにおいては、それぞれに幅広い専門性や技術基盤が必要になるため、以下の研究機関の協力を得て実施する。

情報通信研究機構：通信及び電波管理（再委託）

産業技術総合研究所：機体管理及び安全性検証（再委託）

国立情報学研究所：実時間システムの設計及びアルゴリズム（再委託）

電子航法研究所：有人航空機との情報共有（研究協力）

## (2) 研究開発目標と根拠

運航管理コンセプトは、前提とする無人航空機の飛行形態（例えば自動化の程度）や運用環境（通信・監視インフラ等）に依存する。また、それによって実現できる安全性や効率のレベルも異なる。したがって、目指す運用レベルに応じた運航管理コンセプト～運航管理システムを構築する必要がある。本事業では、2019年度までのプロジェクトにおけるシステム開発（技術開発）や、その成果に基づく早期の社会実装を想定した運航管理コンセプト/システムを対象とするが、5～10年後における無人航空機の飛行形態や運用環境を想定した先進的な運航管理コンセプトの研究にも取り組む。

本事業における年度毎の中間目標及び最終目標は、各事業者によるシステム開発への反映を想定して以下のように設定した。その具体的な内容や範囲は、運航管理システム開発推進委員会に諮り、主要なステークホルダの意見を反映して設定する。

#### 【2017年度の中間目標】

○システム開発事業者等との連携体制として推進委員会/作業部会を設立する。

○運航管理コンセプトを定義し、運航管理システムのアーキテクチャ記述書を策定する。ただし、

- 例えば福島ロボットテストフィールドなど限定的な地域や運用条件下で早期に社会実装～運用されることを想定した運航管理コンセプト/システムを対象とする。
- 空域の安全性等に対して定量的な目標は定めないが、システム設計に対しては安

全解析による定性的なリスク評価を行う。

- 成果物（システムアーキテクチャ記述書）は各機能に適用され、2019年度までに開発・試験に供されなければならない。したがって、その仕様についてはシステム開発事業者と調整し、合意を得る。

**【2018年度の間目標】**

- 運航管理シミュレータの基本機能を実装して空域の安全性等を評価可能にするるとともに、前年に策定した運航管理コンセプト及びシステムアーキテクチャ設計に対する評価と改善を行い、結果をシステム開発事業者等と共有する。

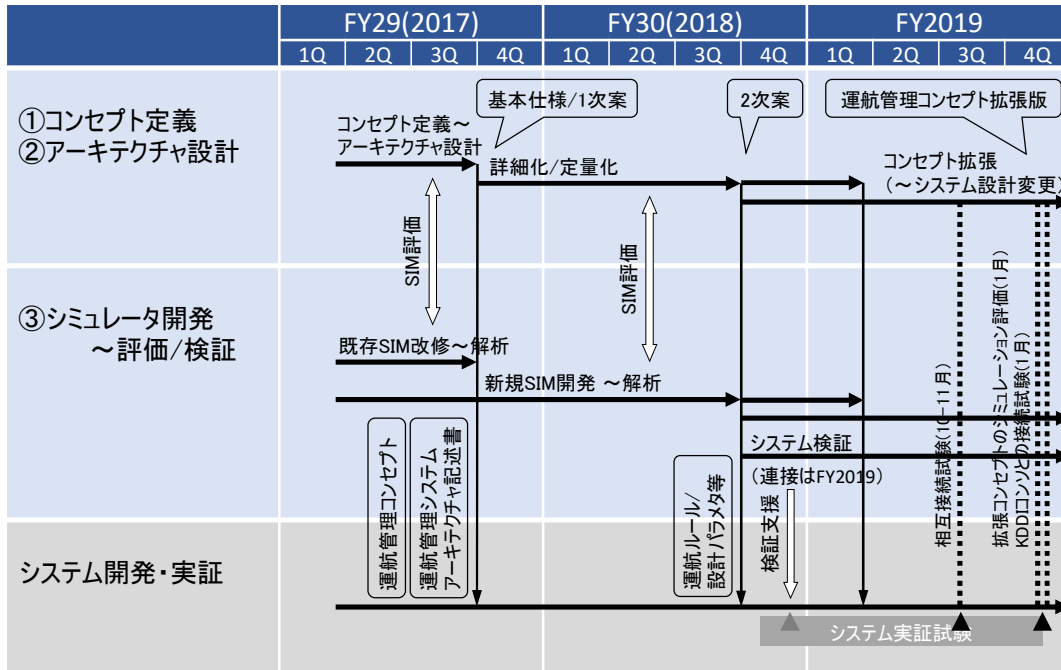
**【2019年度の最終目標】**

- 運航管理シミュレータをシステム開発要素（運航管理機能等）と接続して統合シミュレーションを行い、システムの妥当性、有効性を検証・評価する。また、可能な範囲で無人航空機システムとも接続し、実飛行運用条件におけるシステム実証を行う。
- 将来の先進的な運用環境を想定し、有人地帯における目視外飛行への発展を見据えた先進的な運航管理コンセプトを提案するとともに、その実現に必要な課題を抽出して開発計画を策定する。

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

●スケジュール：

表 2.2.1.8-1 スケジュール



●実施体制：

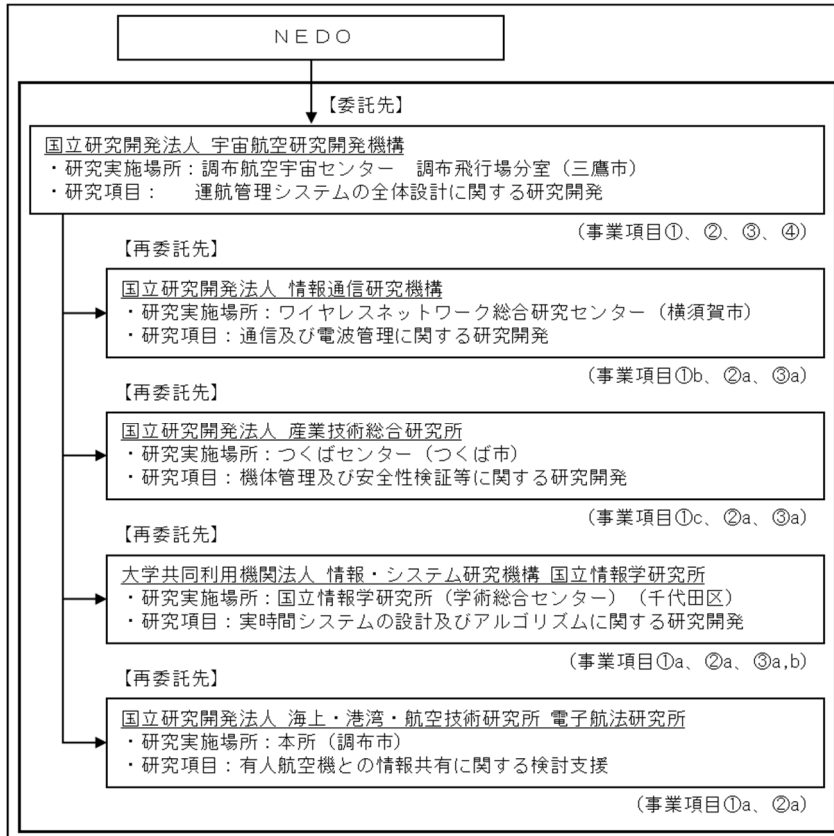


図 2.2.1.8-1 実施体制

#### (4) 研究開発の達成状況

##### ① 運航管理コンセプトの定義

最終目標	成果	達成度	備考
無人機の日視外飛行を実現するための運航管理について、その方法を具体化した運航管理コンセプトを定義する。	空域及び電波の共用を安全かつ効率的に行うという観点から、飛行前に飛行計画のコンフリクトを防止する飛行計画管理と、飛行中の状況（動態情報）をもとにそのコンフリクトを防止する動態管理について、その基本概念を定義するとともに、具体的なコンフリクトの解消方法を設計し、シミュレーション及びシステム実証試験によって有効性を確認した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

##### ② 運航管理システムアーキテクチャの設計

最終目標	成果	達成度	備考
運航管理コンセプトを実現するためのシステムのアーキテクチャ及び共通インターフェースを設計する。	協調的な情報共有にもとづいて複数事業者（のシステム）による同一空域の運航管理サービスを可能にするという基本計画のもと、その分散的なシステム構成と、システム間の機能配分や通信プロトコル等を定め、共通インターフェース（API）の策定に反映した。また、システム全体の安全性解析を行ってシステム要素やシステム間通信等における不具合の影響を評価するとともに、セキュリティ対策としてのシステム認証の方法や取得要件を明確化した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

##### ③ 運航管理シミュレータの開発、及び運航管理コンセプト/システムの評価・検証

最終目標	成果	達成度	備考
運航管理シミュレータを開発し、空域の安全や利用効率等を評価してコンセプト/システム設計に反映するとともに、システム開発要素の検証や、各機能を組合せた統合的な検証を実施し、運航管理システムの有効性を確認する。	固定翼機を含む多様な無人航空機の飛行特性や突風などの環境条件をモデル化し、同一空域における250機の飛行とその運航管理を模擬できる運航管理シミュレータを開発した。そして、都市部における複数事業者の高密度運航を想定したモデルケースに対して、空域の安全性と効率を評価し、運航管理方法/運航ルール等の設計に反映した。また、シミュレータの一部を利用してシステム開発要素（本プロジェクトにおいて他社が開発した運航管理機能等）と接続し、その評価・検証に協力した。相互接続試験では、登録された全飛行計画に対する飛行を解析して突風等の影響を評価するとともに、試験時にはシミュレータを接続して実システム（運航管理機能及びその管理下	○	

	で飛行する無人航空機)との間で動態管理におけるコンフリクトの検出・解消等を試行し、有効性と課題を明らかにした。		
--	---	--	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④ 運航管理システム開発推進委員会の開催

最終目標	成果	達成度	備考
システム開発事業者等との連携体制として推進委員会/作業部会を設立・運営する。	運航管理システムの開発事業者に加え、業界団体、学識経験者等から構成する委員会を設置、運営するとともに、公開シンポジウムを開催し、無人航空機の運航事業者を含む広範なステークホルダと研究開発成果を共有し、社会実装に向けた課題等について議論した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(5) 成果と意義

5.1. 研究開発項目①「運航管理コンセプトの定義」

5.1.1. 「空域管理及び評価指標の検討」(実施者：宇宙航空研究開発機構、国立情報学研究所、電子航法研究所)

●運航管理コンセプトを空域の安全かつ効率的な利用(空域管理)の観点から検討し、基本的な要件や方法を整理した。そして、その核となる飛行計画管理(飛行前における飛行計画の調整による安全確保)及び動態管理(飛行中における飛行状態の調整による安全確保)におけるコンフリクトの検出・解消機能について、アーキテクチャ設計及びシミュレータ開発に反映した。また、安全性や効率等に係る評価指標を選定し、シミュレータによる評価/検証計画を策定するとともに、その前提とする無人航空機のユースケースを整備した。

●空域の安全かつ効率的な利用方法について検討を進め、飛行計画管理に関しては、計画上の飛行経路/空域に所定のバッファ(保護空域/間隔)を加えた空間・時間範囲を「飛行計画領域」として定め、そのコンフリクトの検出及び解消方法を具体化した。また、動態管理に関しては、飛行禁止空域等からの回避/退避方法や、無人航空機間の間隔維持～衝突回避方法を具体化した。特に無人航空機間の衝突回避方法については、従来の航空機向けの衝突回避ロジックを拡張したルールベースの方法に加え、飛行計画情報を用いた経路最適化アルゴリズムにより多数の無人航空機の交錯にも対応可能な方法を開発した。また、効率的かつ柔軟な空域利用のあり方について検討し、飛行中の経路変更への対応や、局所的な空域管理に対する方案を示した。

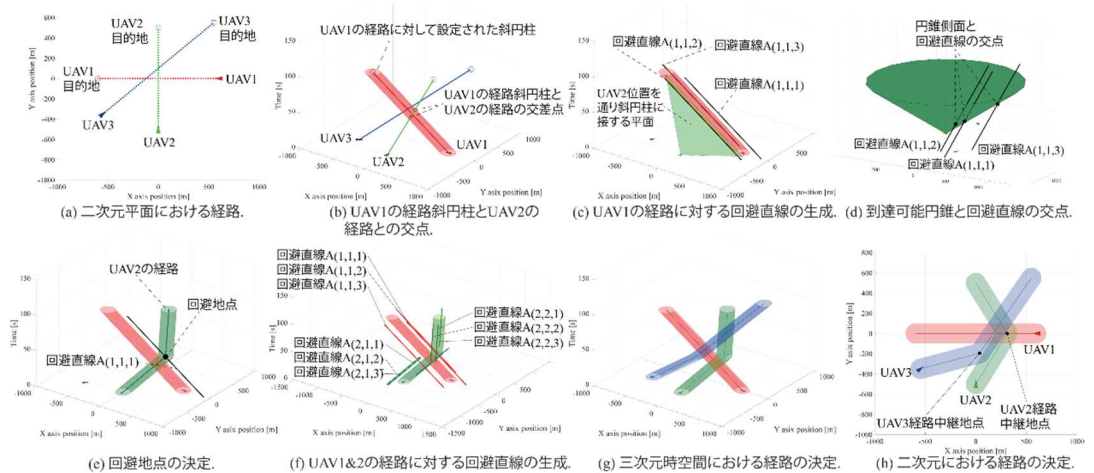


図 2.2.1.8-2 飛行計画情報を用いた衝突回避方法(経路探索手順)

●より多様な条件に対するシミュレーション評価や実環境におけるシステム検証を通じて、空域管理コンセプト/運航ルールの有効性を確認するとともに、その改善や拡張を行った。

5.1.2. 「電波管理の検討」(実施者：情報通信研究機構)

●運航管理コンセプトを電波の安全かつ効率的な利用(電波管理)の観点から検討した。対象とする電波情報(周波数資源)の監視を基本とする管理方法(電波管理コンセプト)を推進委員会/作業部会に提案してコメントを収集した。その結果、電波に関する運航管理システムの機能や責任分岐点が定義されていない部分もあるため、現段階で想定可能な範囲に限定し、また通信システム毎に、電波管理コンセプトを検討する方針を定



めた。

●電波管理の範囲や方法について、その主体や責任に関する前提や基本となる考えを整理するとともに、各通信方式（事業者免許バンド、免許・調整バンド、共用バンド）に対して、必要な機能とその配置（システム構成要素への割付け）を定めた。

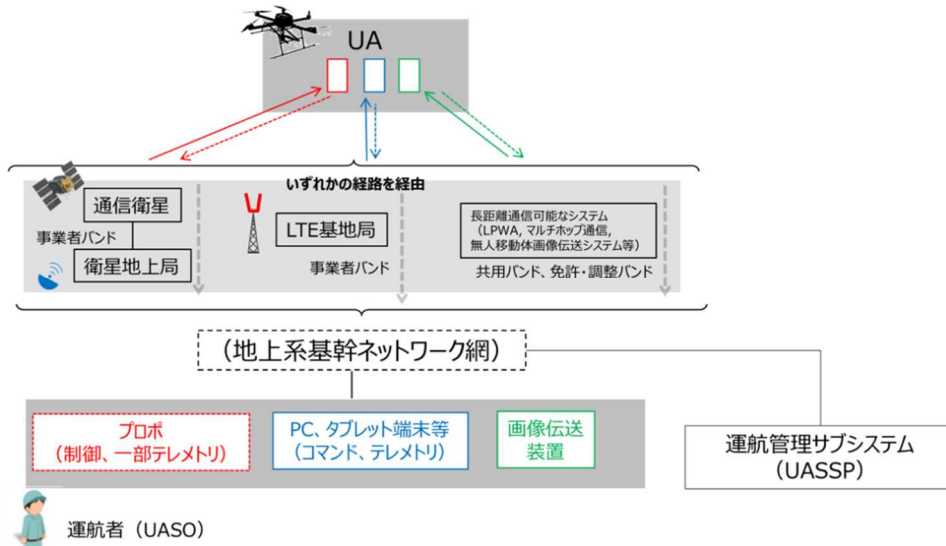


図 2. 2. 1. 8-3 無人航空機運航者の責任；無線設備の選択と適正な利用

●電波伝搬シミュレーションによる定量的評価等を実施し、電波管理コンセプトに反映した。

### 5. 1. 3. 「機体管理及びセキュリティ対策の検討」（実施者：産業技術総合研究所）

●セキュリティ対策について懸念事項の意見収集を実施し、内容の抽出と分類を行った。セキュリティと安全が混合している事案は、区別を行い、分類した結果、情報管理と人的管理、電波管理の3つの要素に係る対策が必要であることが分かった。また、情報管理については既存のセキュリティ技術が充当可能であること、電波管理についてはセキュリティを脅かす具体的手法の分析が必要なこと、人的管理には飛行情報を共有する航空管制側とのセキュリティギャップが問題となることが分かった。

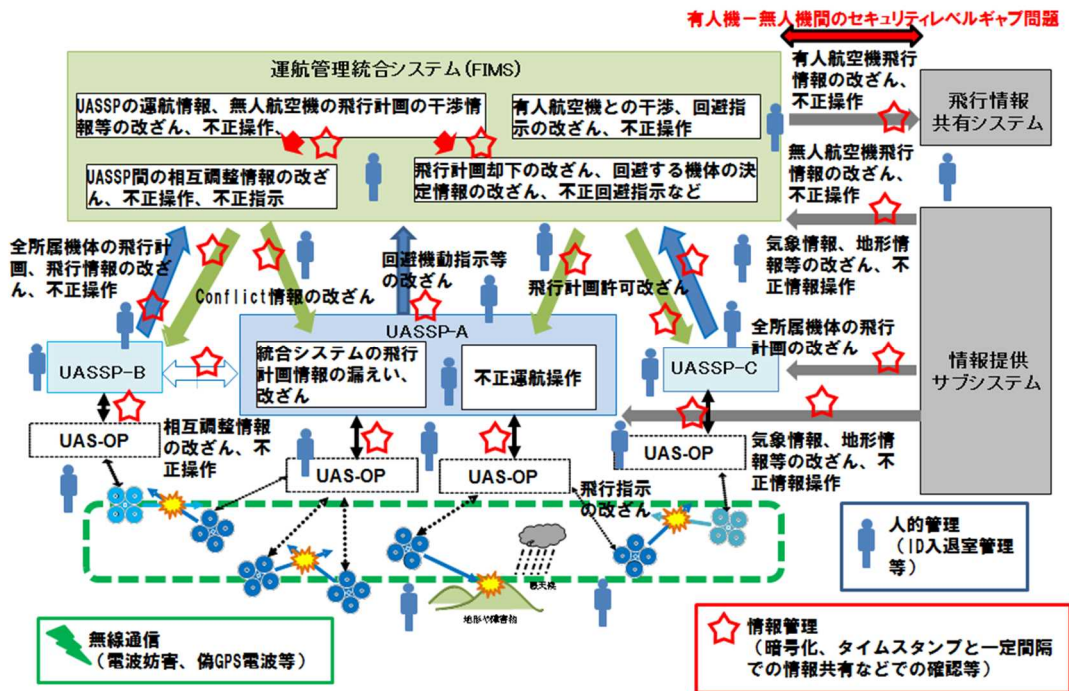


図 2.2.1.8-4 運航管理システム全体のセキュリティ対策案と対応箇所

●前年度の検討結果に加え、現在セキュリティ対策の指針となっている経済産業省及び総務省で策定した「IoTセキュリティガイドライン ver1.0」を参考に、情報システムとして考えられうるリスクを洗い出しセキュリティ箇所の検討を行った。更に、運航管理システムのセキュリティガイドラインを検討するため、運航管理システムのセキュリティ面での社会受容性を得ることが重要であると考え、運航管理システムのセキュリティ認証として適用可能な既存国際認証規格の調査を行い、適用方法を検討した。また、その一例として ISO/IEC 27001 及び ISO/IEC 27006 を運航管理システムの認証に適用したケースについて具体的な検討を行った。

●運航管理システムを運用する組織がセキュリティの第三者認証を取得する条件や方法等を取りまとめ、無人航空機の運航管理に係る規格を検討した。

## 5.2. 研究開発項目②「運航管理システムアーキテクチャの設計」

### 5.2.1. 「運航管理システムの要件定義及びアーキテクチャ設計」(実施者：宇宙航空研究開発機構、国立情報学研究所、情報通信研究機構、産業技術総合研究所、電子航法研究所)

●運航管理システムの構成、特に、無人航空機間の間隔維持、衝突回避における運航管理統合機能と運航管理機能の機能分担に着目してアーキテクチャ設計を行った。JAXA による初期案、システム開発事業者からの対案をベースに検討し、最終的な基本構成案を得て推進委員会に提示した。このアーキテクチャ(基本仕様)では、運航管理統合機能が空域全体の最低限の安全性を担保する一方で、複数の運航管理機能が互いに飛行計画を共有し、また場合によっては運航管理機能間で直接調整を行うなどの機能を持つことにより、ユーザの求める多様かつ高度なサービスを提供可能な設計とした。また、これらの機能(システム構成要素)間の共通インターフェースに対して通信プロトコル等を定め、アーキテクチャ記述書を策定した。

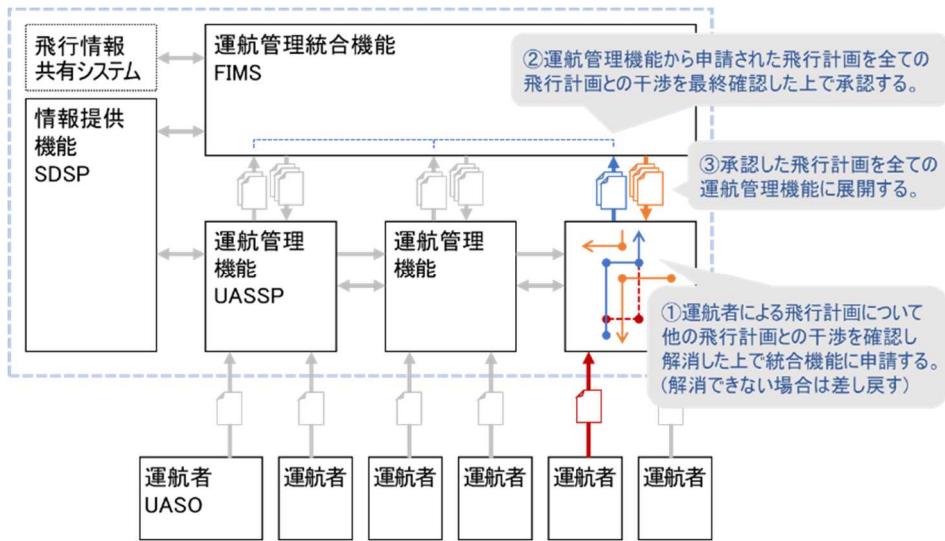


図 2. 2. 1. 8-5 飛行計画管理における無人航空機間 CDR の機序

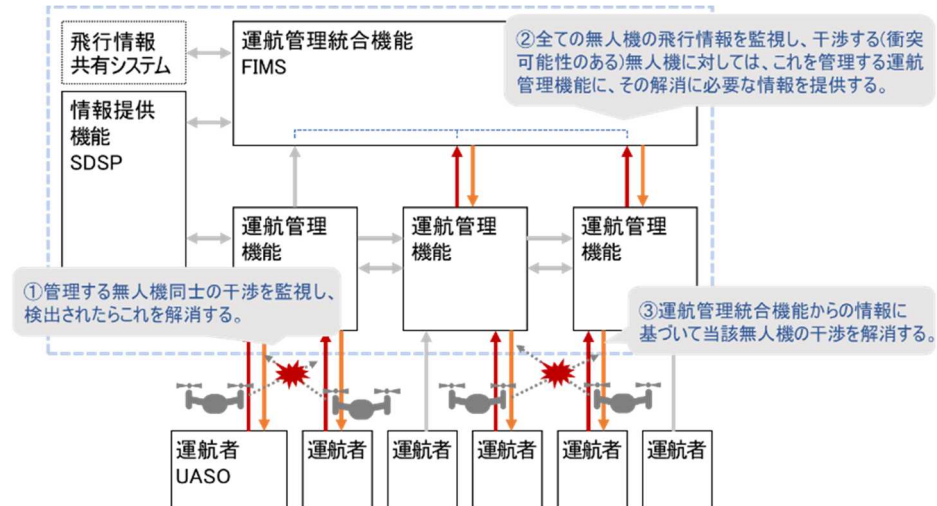


図 2. 2. 1. 8-6 動態管理における無人航空機間 CDR の機序

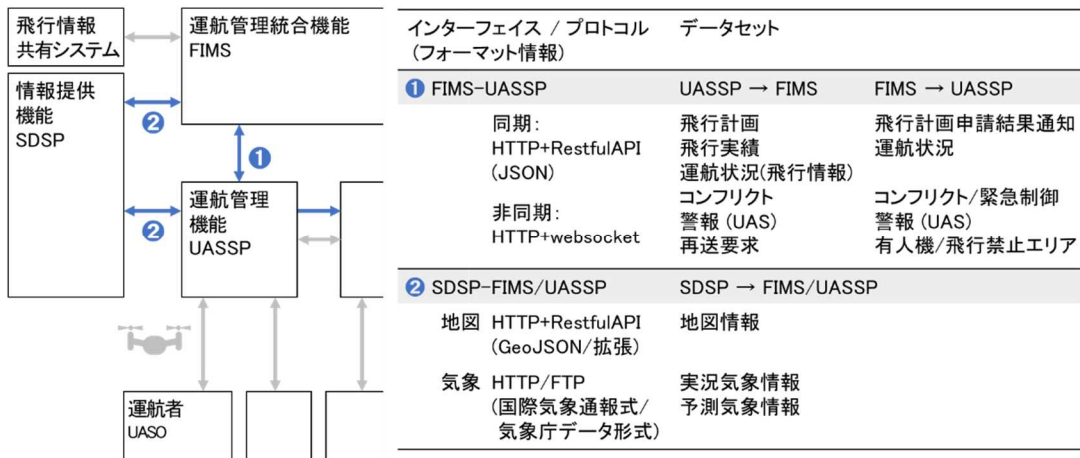


図 2. 2. 1. 8-7 サブシステム間の共通インターフェース

●システムアーキテクチャ（基本仕様）におけるインターフェース情報等を管理し、システム構成要素（運航管理統合機能、運航管理機能、情報提供機能）間の API 接続を支援した。また、有人航空機の接近情報や Remote ID 等、基本アーキテクチャには含まれない拡張要素に関する基礎検討を行った。更に、2018 年度に開催した UTM シンポジウムにおいて、AI・IoT・ビッグデータという観点からの UTM の発展性と、Urban Air Mobility や High Altitude Platform Station への UTM 概念の適用に関する討論を行った。

●API により複数の運航管理機能を接続したシステム実証試験（相互接続試験）等において、アーキテクチャ設計の結果を検証した。また、先進的な運航管理コンセプトに合ったシステムアーキテクチャの検討を進め、その実現に向けた開発計画を策定した。

#### 5.2.2. 「安全性の解析・評価」（実施者：宇宙航空研究開発機構）

●運航管理システムやそこに接続する各無人航空機システムの不具合、違反行為、悪意の攻撃等により空域全体に発生するハザードを明らかにし、必要な対策等を検討するための安全性解析を実施した。空域に発生しうるハザードを識別したうえでそれらを起点とした FTA 解析を行い、またシステムの構成要素を起点とする FMEA 解析、さらにそれらシステム要素間の関係性に着目した STAMP 解析等を実施することにより、運航管理システムの各要素、不具合モードと空域全体のハザードとの関係を整理し、システムセキュリティの検討にあたって参考となる知見を得た。

●運航管理システムの基本コンセプト（運航管理統合機能（FIMS）を介した情報共有を基本とするコンセプト）に対する安全性解析に対して、その拡張を視野に入れ、

Case1: 運航管理統合機能（FIMS）を持たず、運航管理機能（UASSP）間の調整によりコンフリクト検出・解消（CDR）を行う分散型のコンセプト

Case2: 基本コンセプトに、機上センサや機体間通信による衝突回避（DAA）を組み合わせたコンセプト

Case3: UASSP 間の相互調整による分散型コンセプトに機上センサや機体間通信による DAA を組み合わせたコンセプト

の 3 ケースについて FTA、FMEA 解析を行い、特に各サブシステムに不具合が生じたシナリオについて、飛行安全のみならず無人航空機の運航の重大な阻害や空域の利用効率の大幅な低下を防ぐ観点から空域への影響を比較評価した。

#### 5.3. 研究開発項目③「運航管理シミュレータの開発、及び運航管理コンセプト/システムの評価・検証」

##### 5.3.1. 「運航管理シミュレータの開発」（実施者：宇宙航空研究開発機構、国立情報学研究所、情報通信研究機構、産業技術総合研究所）

●シミュレータを用いたシステム/開発要素の検証についてシステム開発事業者と調整し、運航管理統合機能（FIMS）/運航管理機能（UASSP）間および複数 UASSP の同時接続等に係る仕様を策定した。

●運航管理シミュレータの開発を進め、FIMS、UASSP、無人航空機シミュレータを含む基本機能を実装した。並列化/高速化処理によって 150 機以上の無人航空機の同時飛行のリアルタイム解析を可能とした。また、飛行計画管理における申請～承認プロセスについて、無人航空機オペレータの操作を含む評価・検証を行うためのシミュレータも開発した。電波管理コンセプト（免許・調整バンドや共用バンドの安全性向上に資する機能等）の評価のためのネットワークシミュレーションモジュール（電波伝搬シミュレータ）については、複数無人航空機間のコンフリクト計算機能（時間率の考慮）の追加と、



地形データ読み込み機能の追加、共通 API への対応を実施した。

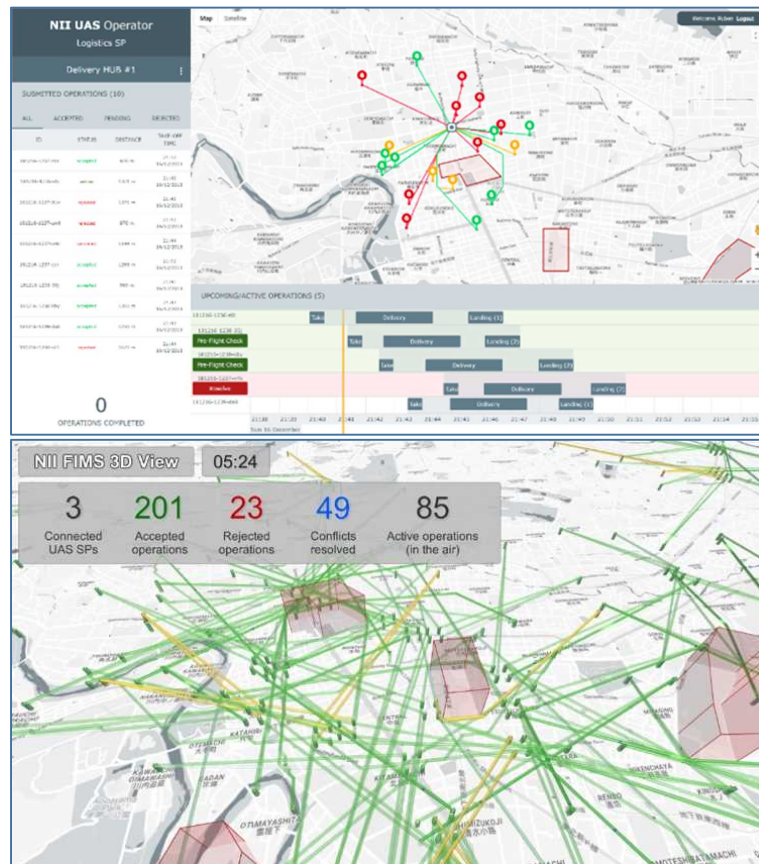


図 2.2.1.8-8 飛行計画管理における申請～承認プロセスのシミュレーション

●システム実証試験（相互接続試験）等においてシステム開発要素と接続するための機能を実装するとともに、多様な条件に対する評価を効率的に行うための高速化や解析機能等を開発した。

### 5.3.2. 「運航管理コンセプト及びシステムアーキテクチャの評価」（実施者：宇宙航空研究開発機構、国立情報学研究所）

●安全性と効率に関する評価指標を定義し、運用に係る諸条件（運航密度、制限速度、通信頻度など）の影響を統計解析によりモデル化して空域の安全性に係る基本的な特性を把握するとともに、運航管理コンセプト（運航ルール）に反映して安全性を維持しながら効率を最大化する空域管理の具体的方法を考案した。飛行計画管理（Pre-flight フェーズ）におけるコンフリクト検出・解消（CDR: Conflict Detection and Resolution）の方法について、スケーラビリティの観点から適切なアルゴリズムを評価・検証するとともに、空路設定によるコンフリクト（～計算負荷）低減方法を考案した。動態管理（In-flight フェーズ）における CDR の方法については、既存の衝突回避アルゴリズムをもとに、通信遅延や優先度、協調の有無などの影響/要素を考慮した CDR アルゴリズムを開発し、先行開発したシミュレーション等により検証した。

●空域の利用効率やスケーラビリティの観点から運航管理コンセプト/システムアーキテクチャを評価するために、大都市における物流やインフラ点検など複数ミッションの大規模・高密度な運航環境を具体化したモデルケースを作成した。そして、このモ

モデルケースに対する運航管理コンセプト（飛行計画管理及び動態管理における運航ルール等）の安全性及び効率を評価し、離隔距離等の設計パラメタの定量化を行った。また、飛行計画管理における申請～承認プロセスについて、モデルケースに対するスケーラビリティを評価し、考案したバッチ処理方式によるスループット改善等の効果を確認した。

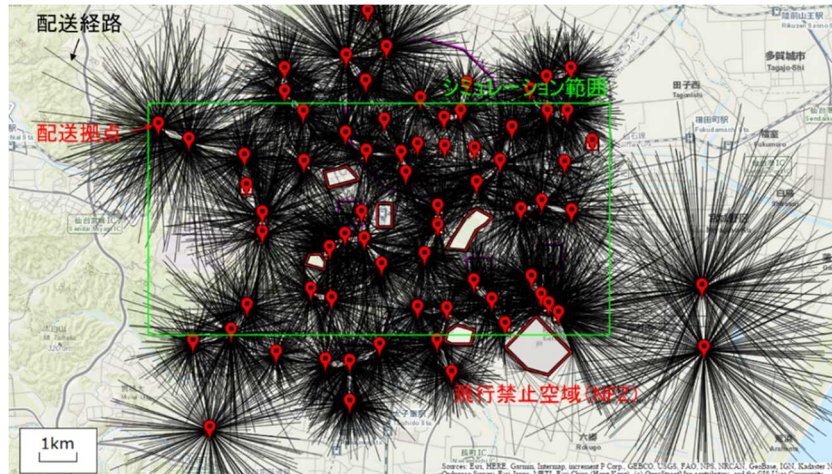


図 2.2.1.8-9 仙台市における物流を想定した無人航空機の運用シナリオ  
(モデルケース)

●災害対応ミッションを想定したモデルケース等を作成するとともに、より多様な条件に対する運航管理コンセプト及びシステムアーキテクチャの評価を行って、これらの改善や拡張を実施した。

### 5.3.3. 「システム開発要素の検証」(実施者：宇宙航空研究開発機構)

●運航管理シミュレータを用いたシステム開発要素の検証に向けて、運航管理機能と無人航空機システムとのインターフェースに関する確認・調整等を行った。また、システム実証試験におけるデータを入手し、運航管理シミュレータを用いたオフラインでのシステム評価・検証を実施した。

●システム開発要素との接続のための運航管理シミュレータの改修を行うとともに、以下のシステム実証試験においてシステム開発要素と接続し、実環境における運航管理コンセプトの検証を実施した。

- 相互接続試験
- ドローン警備実証実験

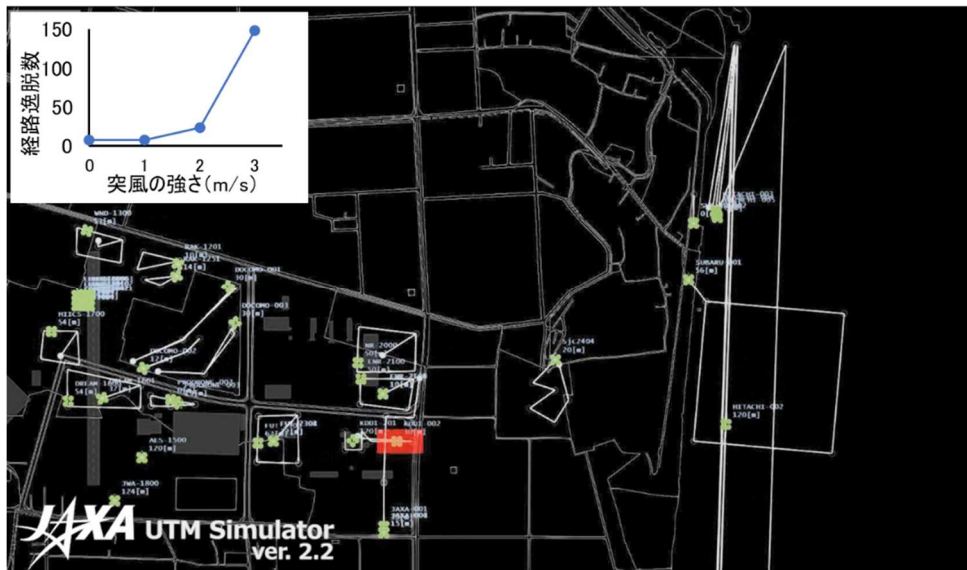


図 2. 2. 1. 8-10 相互接続試験の飛行計画に対するシミュレーション評価

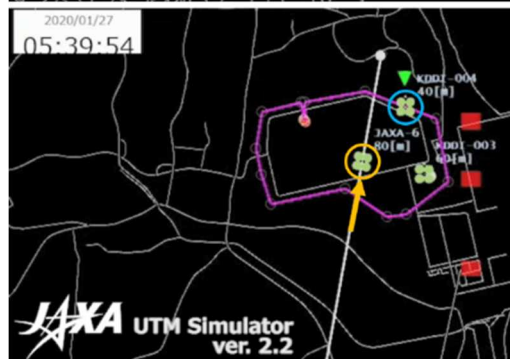


警備ドローンが災害時の緊急ミッションを開始

飛行エリアの申請を受けてFIMSが動的NFZを設定

物流ドローンはルールに従って動的NFZを迂回

NFZ: No Fly Zone  
飛行禁止空域



緊急物資輸送を行う

緊急ドローンが優先的な飛行計画を申請して飛行を開始

緊急ドローンの飛行計画及び動態情報をFIMSを介して/UASSP間で共有

警備ドローンがこれらの情報をもとに飛行停止して衝突を回避

図 2. 2. 1. 8-11 ドローン警備実証実験における実証シナリオ

5. 4. 研究開発項目④「運航管理システム開発推進委員会の開催」(実施者：宇宙航空研究開発機構)



●課題①～③をステークホルダと合意形成を図りながら進めるために、システム開発事業者、業界団体、学識経験者等から構成する運航管理システム開発推進委員会（以下、推進委員会）を設置、運営した。また、作業部会として、アーキテクチャ、システム実装、実証計画の各テーマを対象に3つのタスクフォースを設置して検討し、その結果を推進委員会で共有した。推進委員会は9回、作業部会は21回の会合を開催した。

●研究開発成果をより広範なステークホルダと共有し、その意見や要望を研究開発に反映するために、公開シンポジウム（UTM シンポジウム）を開催した。また、最終年度には、名古屋、大阪、東京においてUTM シンポジウムを開催し、各地のステークホルダと研究開発成果を共有するとともに、社会実装に向けた課題と対策などについて議論した。

## （6）特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	0	1	1	-	1	-	3
学会発表・シンポジウム講演等	5	14	17	-	-	-	36
展示会出展	0	5	6	-	-	-	11
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	0	0	0	-	-	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	0	0	0	-	-	-	0
国内出願	0	0	0	-	-	-	0
外国出願	0	0	0	-	-	-	0

## （7）実用化・事業化への道筋と課題

### 1. 実用化・事業化に向けた戦略

本研究開発項目では、無人航空機の高度な運用を支える運航管理システムの実現を目指して、プロジェクトにおいて運航管理システムの構成要素を開発する民間事業者と共に、その全体設計に取り組んだ。本項では、本研究開発項目における成果、すなわち運航管理システムの全体設計に基づいて、民間事業者が運航管理システム/サービスを「実用化・事業化」するための戦略と取組み、見通しについて述べる。

運航管理システムの基本概念は、協調的な情報共有（によって無人航空機の運航者の状況認識を支援する方法/仕組み）にあり、これを実現するためには無人航空機の運航者をはじめとする広範なステークホルダとの連携協力が不可欠となる。そこで、本研究開発では運航管理システム開発推進委員会等を通じて関連する業界団体や行政機関と合意形成を図りながら全体設計を進めた。また、公開シンポジウムを開催して無人航空機の運航事業者をはじめとする様々なステークホルダと直接対話し、その意見や要望を取り入れた。そして、本プロジェクトにおいてシステム開発を担う事業者とともに実施した運航管理システムの実証試験（相互接続試験）では、一般の運航事業者の参加協力も得てその基本的な機能/サービスの有効性を確認することができた。これらの取組みを通じて、運航管理システムの実現に繋がる所期の成果が得られたと考えている。

今後は、運航管理システム/サービスの実用化・事業化に向けて、様々な条件のもとで試験運用（またはリスクの低い環境における実運用）を行って技術データを蓄積し、これを適確に分析・評価して運航管理システムやその運用方法（運航ルール等）に反映するとともに、必要な制度の整備を適時適切に進めることが重要となる。

## 2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

本研究開発において構築した運航管理シミュレータを活用すれば、限られた条件下の無人航空機の運用に対しても、技術データの蓄積やその分析・評価が可能になる。例えば多種・多様な無人航空機が高密度で運航される環境の模擬をはじめ、様々な危険事象への対応、多数の運航管理システム間の相互調整など、実機・実環境だけでは困難な実証を安全かつ効率的に実施することができる。また、公的研究機関として、民間事業者による運航データの分析・評価、運航管理コンセプト（運航ルール等）への反映、航空当局による制度整備の技術支援などを効果的に実施することができる。そのような構想をもとに実証事業の計画を立案し、本プロジェクトにおいて2020年度に公募がなされた「地域特性を考慮した運航管理システムの実証事業」に提案した。この提案は不採択であったが、当該実証事業を受託した事業者からの要請により、災害対応シナリオ/ユースケース（無人航空機による被害状況把握等）の実証試験に協力し、運航管理シミュレータによる模擬運航データの提供や異なる運航管理システム間の情報共有に関する検証を支援した。

また、本研究開発の成果、すなわち運航管理システムの全体設計を基に、2019年度より開始された「遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発」では、遠隔からの機体識別（Remote-ID）や有人航空機との空域共有（の為の位置情報共有）を組み込んだ運航管理システムの拡張に取組み、その情報統合アーキテクチャの設計等を実施した。ここでも運航管理シミュレータを改修して空域の安全性評価等に活用している。

## 3. 実用化・事業化の見通し

宇宙航空研究開発機構は、防災航空機の運航管理技術/システム（D-NET）等のコア技術を活用して、災害・危機管理対応等において公的機関が有人航空機と無人航空機を統合的に運用するための運航管理システムの実用化に向けた研究開発を開始した。当該システムは、限定的な空域及び機体を対象とするものであるが、その実運用を通じて得られた知見やデータは、本プロジェクトが目指す「平時における多様な事業者の無人航空機」を対象とする運航管理システムの実用化・事業化の促進に貢献できると考えている。

#### 6.2.1.9 6) 遠隔からの機体識別に関する研究開発：

##### 遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発

(実施期間：3年間(2019年度～2021年度))

(実施者：日本電気株式会社 株式会社日立製作所 株式会社NTTドコモ KDDI株式会社 Terra Drone 株式会社 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ 国立研究開発法人 情報通信研究機構 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)

#### (1) 事業の背景・意義(目的・概要)

##### 1.1 事業目的

##### (1) 研究開発の概要

無人航空機の普及に伴い2020年代は1時間1平方kmあたり100機といったレベルで無人航空機が多数飛行する世界となることが想定される。このように多数の機体が高密度に飛行することが想定された世界を実現するために、以下の5項目の研究項目を設定する。

##### ①無人航空機の機体識別技術の研究

多数の機体が高密度で飛行するにあたって、機体の登録や識別方法およびこのシステム全体のセキュリティ等を含めた、機体の遠隔識別(リモートID)に関する研究が必要となる。

##### ②有人航空機との空域共有の研究

無人航空機と空域を共有し飛行する有人航空機との安全確保のため、無人航空機の飛行計画情報・機体情報・運航者情報を共有、また、有人航空機の飛行位置情報を収集し共有するための情報共有システムの研究が必要となる。

##### ③情報統合アーキテクチャの研究

遠隔からの機体識別システムの運用、無人航空機と有人航空機の空域が共有されることを想定した運用を検討し、運航管理システムを拡張する情報統合アーキテクチャを設計する必要がある。

##### ④社会実装を目指したリモートIDの研究開発

リモートIDの方式の国際標準が進み、2020年2月にASTM(American Society for Test and Material International)より規格文書”Standard Specification for Remote ID and Tracking”が発行された。世界各国で本規格のリモートIDの導入の検討、議論が進んでいる。本状況を鑑みて、日本においても本規格の導入の可能性を検証し、技術的な評価をする必要がある。

2020年7月に小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会での議論を経て改訂された、「空の産業革命に向けたロードマップ2020」においてブロードキャスト方式とネットワーク型のリモートIDへの両方式の技術開発が明確化され、ブロードキャスト方式の先行開発工程が示された。さらに、本プロジェクト有識者会議にも参加している関連省庁との意見交換から、ブロードキャスト方式のセキュリティ技術に関して共通鍵方式の技術開発の必要性が顕在化、社会実装に向けたさらなる技術開発を急ぎ行う必要がある。2020年12月3日「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会(第15回)」において、リモートID信号の発信義務付けに伴うリモートIDの基本設計(案)が示され、軽量な小型無人機も対象になることが示された。さらに、2021年1月14日以降、全5回にわたる関係省庁および業界団体との意見交換、また3月12日福島ロボットテストフィールドでのブロードキャスト方式通信評価実証視察からも、軽量な小型無人機に搭載可能なブロードキャスト型デバイスの技術開発の必要性が顕在化、社会実装に向けたさらなる技術開発を急ぎ行う必要がある。

#### ⑤ 運航管理システムと調和したリモートID開発

運航者、識別者双方に必要な情報取得が可能となることで目視外飛行の社会実装の加速が見込まれる。そのため、運航管理システムと調和したリモートIDの研究開発を行う必要がある。

### (2) 研究の目的

遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究の目的は以下である。

#### ① パブリックセーフティ

無人航空機のID、所有者、運用者などの情報を遠隔から確認可能とする。不正な運航をしている運用者の取り締まり、正規の飛行をしている無人航空機の確認に利用する。

#### ② フライトセーフティ

複数の無人航空機間と複数の有人航空機がお互いの位置、運航情報などを共有することで、航空機間の衝突の危険性を事前に把握し、安全距離を保つことを可能とする。

## 1.2 事業概要

### (1) 研究のスコープと進め方

研究のスコープについて説明する。

#### ① 無人航空機の任務、利用シーン：

空撮、物流、警備、災害対応の利用シーンとする。

さらに農業、インフラ点検、測量といった分野についても検討をする。

②対象とする無人航空機：  
航空法上の無人航空機を対象とする。

③対象とする有人航空機：  
VFRで飛行することが想定される航空機を対象とする。

(2) 共同実施者の研究分担

以下に本プロジェクトにおける共同実施者の研究内容を示す（表2.2.1.9-1）。  
なお、今後資料では以下の共同実施者の企業名として以下の略称を用いる。

日本電気株式会社	: NEC
株式会社日立製作所	: 日立製作所
株式会社NTTドコモ	: NTTドコモ
KDDI株式会社	: KDDI
Terra Drone株式会社	: テラドローン
株式会社エヌ・ティ・ティ・データ	: NTTデータ
国立研究開発法人情報通信研究機構	: NICT
国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所	: MPAT
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構	: JAXA

表 2.2.1.9-1 共同実施者の研究分担

研究テーマ	分担
<b>①無人航空機の機体識別技術の研究</b>	
1. 機体識別情報共有プラットフォームの研究	NEC
2. 位置情報共有プラットフォームの研究	日立製作所
3. 情報共有プラットフォームへの携帯電話網から得られる情報提供に係る研究	NTTドコモ
4. 機体識別および位置把握のための通信アーキテクチャの研究	KDDI
4.1. ネットワーク型通信方式の研究	KDDI
4.2. 機体間通信方式の研究	NICT
4.3. 通信制御の研究	テラドローン
<b>②有人航空機との空域共有の研究</b>	
1. 飛行計画管理機能の研究	NEC

2. 運航者情報および機体情報管理機能の研究	NTTデータ
3. 有人航空機のネットワーク型探知技術の研究	MPAT
4. 有人航空機と無人航空機の機体間飛行情報共有技術の研究	JAXA
③情報統合アーキテクチャの研究	
1. 機体識別および有人航空機空域共有のための情報統合アーキテクチャの研究	JAXA
④社会実装を目指したりモートIDの研究開発	
1. ブロードキャスト方式のリモートIDデバイスの小型化・性能向上	NEC
2. 識別情報管理プラットフォームのネットワーク方式リモートIDの開発	NEC
3. 位置情報共有プラットフォームのネットワーク方式リモートIDの開発	日立製作所
4. 運航者情報・機体情報管理機能のネットワーク方式リモートIDの開発	NTTデータ
5. ネットワーク方式リモートIDの通信・システム開発	KDDI
6. 携帯電話網を活用したネットワーク方式リモートIDの開発	NTTドコモ
7. ブロードキャスト方式の通信性能評価手法の開発	NICT
8. ブロードキャスト方式のセキュリティにおける共通鍵技術の検証	NEC
9. ブロードキャスト方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証	KDDI
10. リモートIDデバイスの共通鍵の管理技術の開発	NEC
11. 小型無人航空機へ搭載するブロードキャスト方式リモートIDの開発	NEC
⑤運航管理システムと調和したりモートID開発	
1. 運航管理システムと識別技術の調和システム開発	KDDI
2. 遠隔識別技術の海外訴求活動	KDDI

## (2) 研究開発目標と根拠

[本プロジェクトの目標]

福島ロボットテストフィールド（RTF）に無人航空機の機体識別および位置情報を共有するための通信システムのプラットフォームを整備する。機体識別や位置情報共有のための通信機を搭載した無人航空機を飛行させ、通信システムの実証をする。通信機および地上局については2019年度に要件定義と設計、2020年度に試験システムを開発し、2021年度にRTFでの実証実験を実施する。

また、複数の有人航空機と無人航空機の空域共有に必要な情報共有のための技術および試験システムを開発し、有人航空機の飛行情報に関する仮想情報シミュレータ等を用いた運航管理システムとの相互接続性の評価を実施する。2019年度に要件定義と設計、2020年度に情報共有システムを実装し、2021年度にRTFでの実証実験を実施する。

さらに、これらの情報共有を補完・補強する通信システムおよび情報共有システムを運航管理システムに統合するためのアーキテクチャ設計を実施し、空域シミュレーションによってシステムワイドの安全性を評価する。各システムの仕様および共通インターフェース等の策定においては、国内外の関係者を構成員とする委員会を構成し要件などの検討および策定を行った上で、通信システムおよび情報共有システムの開発および各種試験に反映させる（図2.2.1.9-1）。

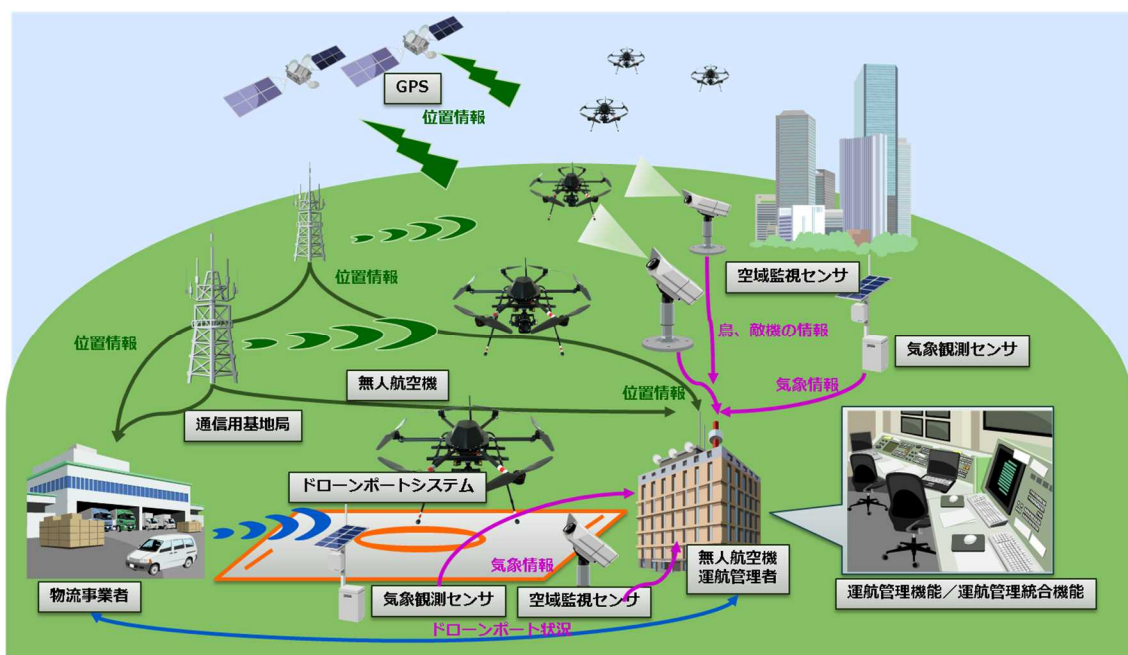


図 2.2.1.9-1 運航管理システムのイメージ



### (3) 研究開発スケジュール・実施体制

以下に各社の研究開発スケジュールを示す。

表 2.2.1.9-2 実施体制

NEC

#### ①-1. 「機体識別情報共有プラットフォームの研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<ul style="list-style-type: none"> <li>要件定義</li> <li>ユースケース毎の方式検討 およびリスクアセスメント</li> <li>インタフェース設計</li> <li>開発、単体評価</li> <li>他サブシステムとの接続試験</li> <li>全体実証</li> </ul>		→										
				→								
								→				
												→

#### ②-1. 「飛行計画管理機能の研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<ul style="list-style-type: none"> <li>要件定義</li> <li>アーキテクチャの検討</li> <li>インタフェース設計</li> <li>開発、単体評価</li> <li>他サブシステムとの接続試験</li> <li>全体実証</li> </ul>		→										
				→								
								→				
												→

#### ④-1. 「ブロードキャスト方式のリモート ID デバイスの小型化・性能向上」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<ul style="list-style-type: none"> <li>設計</li> <li>製造</li> <li>評価</li> <li>デモ、技術検証</li> </ul>						→						
						→						
								→				
												→

④-2. 「識別情報管理プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・インタフェース 設計 ・実装 ・評価/改良 ・デモ、技術検証						→	→					

④-8. 「ブロードキャスト方式のセキュリティにおける共通鍵技術の検証」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・設計 ・実装 ・評価 ・デモ、技術検証							→	→				

④-10. 「リモート ID デバイスの共通鍵の管理技術の開発」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・設計 ・実装 ・製造、評価 ・デモ、技術検証							→	→				

④-11. 「小型無人航空機へ搭載するブロードキャスト方式リモート ID の開発」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・設計 ・実装、評価 ・デモ、技術検証										→	→	→

日立製作所

①-2. 「位置情報共有プラットフォームの研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・システム設計		→										
・プロトタイプ開発				→								
・プロトタイプ評価				→								
・プログラム開発					→							
・総合試験								→				
・機能・性能向上									→			
・全体実証											→	
・納入品作成												→

④-3. 「位置情報共有プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・ネットワーク方式評価システム 開発・接続評価						→						
・検証試験								→				

NTTドコモ

①-3. 「情報共有プラットフォームへの携帯電話網から得られる情報提供に係る研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<ul style="list-style-type: none"> <li>・要件定義</li> <li>・アーキテクチャの検討</li> <li>・インタフェース設計</li> <li>・開発・単体評価</li> <li>・他サブシステムとの接続試験</li> <li>・全体評価</li> </ul>		→										
			→									
				→								
							→					
								→				
											→	

④-6. 「携帯電話網を活用したネットワーク方式リモート ID の開発」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<ul style="list-style-type: none"> <li>・要件定義</li> <li>・アーキテクチャの検討</li> <li>・インタフェース設計</li> <li>・開発・単体評価</li> <li>・他サブシステムとの接続試験</li> <li>・実証・評価</li> </ul>						→						
						→						
						→						
							→					
								→				
											→	

KDDI

①-4. 「機体識別および位置把握のための通信アーキテクチャの研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・ネットワーク構成、プロトコル整理			→									
・EtoE 通信性能、品質評価				→								
・状況に応じた最適な通信方式の整理				→								
・要件、データの見直し					→							
・実証シナリオの設定							→					
・通信アーキテクチャの取りまとめ									→			

①-4.1. 「ネットワーク型通信方式の研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・各種要件定義			→									
・運用シーケンスの検討			→									
・要件の実現性評価				→								
・端末、無人航空機の試作					→							
・アプリを用いた機体識別			→									
・実機検証							→					
・飛行実証									→			

④-5. 「ネットワーク方式リモート ID の通信・システム開発」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・アーキテクチャの検討						→						
・インタフェース設計						→						
・通信モジュール開発							→					
・システム接続試験							→	→				
・実証・評価								→				

④-9. 「ブロードキャスト方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・設計							→					
・実装							→	→				
・評価								→				
・デモ、技術検証								→				

⑤-1. 「運航管理システムと識別技術の調和システム開発」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設計</li> <li>・ 実装</li> <li>・ 評価</li> <li>・ デモ、技術検証</li> </ul>										→		

⑤-2. 「遠隔識別技術の海外訴求活動」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 調査</li> <li>・ 訴求活動</li> </ul>										→	→	

テラドローン

①-4.3. 「通信制御の研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①要件定義		→										
②基本設計		→										
③詳細設計			→									
④製造					→							
⑤要素検証(机上)					→							
⑥要素検証(実地)						→						
⑦総合システム検証							→					
⑧機能評価								→				

NTTデータ

②-2. 「運航者情報および機体情報管理機能の研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・運航者/機体情報管理機能設計		→										
・航空機動態情報管理機能設計		→										
・機能評価機材開発					→							
・単体評価							→					
・機能改善								→				
・全体評価											→	

④-4. 「運航者情報・機体情報管理機能のネットワーク方式リモートIDの開発」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・ネットワーク方式の運航者/機体情報管理機能設計						→						
・ネットワーク方式評価用システム開発						→						
・単体評価							→					



N I C T

①-4.2. 「機体間通信方式の研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<ul style="list-style-type: none"> <li>・要件定義</li> <li>・基本設計</li> <li>・詳細設計</li> <li>・部分試作、単体評価</li> <li>・開発、全体評価</li> <li>・総合実証</li> </ul>		→										

④-7. 「ブロードキャスト方式の通信性能評価手法の開発」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<ul style="list-style-type: none"> <li>・検討・設計</li> <li>・実装</li> <li>・性能評価</li> </ul>							→					

M P A T

②-3. 「有人航空機のネットワーク型探知技術の研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
(ア) 実験サイトの整備		基本構成				拡張構成						
(イ) 実験システムの製作		基本構成				拡張構成				総合構成		
(ウ) 評価実験			基本実験			拡張実験				総合実験		
(エ) システム性能評価			基本評価			拡張評価				総合評価		
(オ) 海外調査		欧州動向				米国・欧州動向				米国・欧州・アジア動向		

J A X A

②-4. 「有人航空機と無人航空機の機体間飛行情報共有技術の研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・要件定義		→										
・設計			→									
・開発					→							
・部分実証							→					
・改良									→			
・全体実証											→	

③-1. 「機体識別および有人航空機空域共有のための情報統合アーキテクチャの研究」

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
・要件定義		→										
・設計			→									
・開発					→							
・部分実証							→					
・改良									→			
・全体実証											→	
・有識者委員会の開催			→									

研究体制スキーム

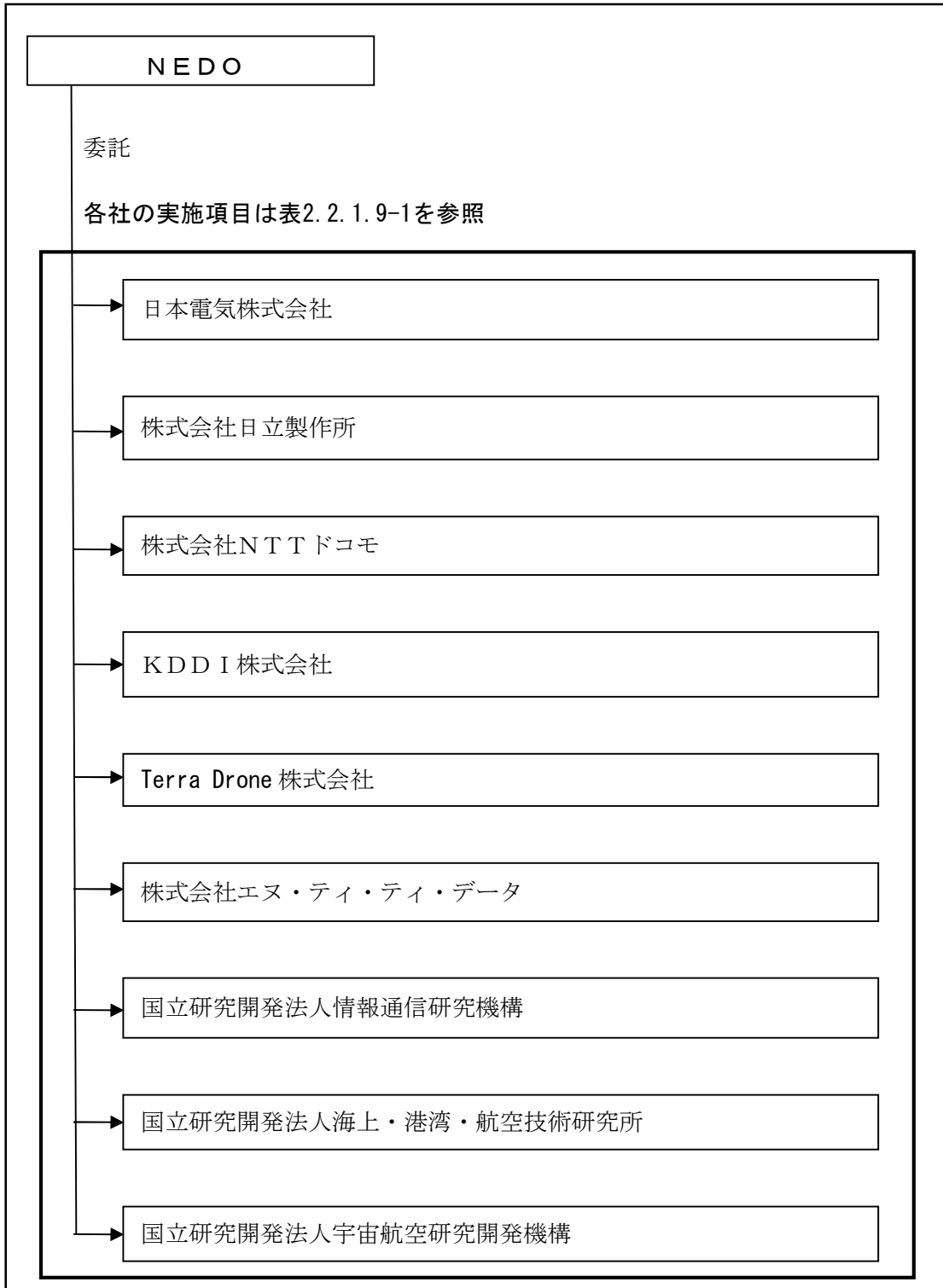


図 2.2.1.9-2 研究体制

(4) 研究開発の達成状況

NEC

①-1. 機体識別情報共有プラットフォームの研究

最終目標	成果	達成度	備考
機体識別情報共有プラットフォームのユースケース検討、要件定義を行い、アーキテクチャ、データフロー、データ項目、データ形式、運用シーケンスを設計する。	・遠隔からの機体識別のために収集した識別情報を管理する識別情報共有プラットフォームの機能要件を定義した。	○	
ユースケースやシステム構成に応じたセキュリティリスクを評価し、セキュリティリスクの対策と実現性を検討する。	・ユースケースやシステム構成に応じてセキュリティリスクを評価し、国際的に検討が進められている方式の一つであるブロードキャスト方式では機体から発信する情報のなりすましおよび改ざんのリスクがあるため、なりすましおよび改ざんを検出できる機体認証方式を開発した。	○	
ブロードキャスト型通信方式に対応した機体識別における機体認証については、スマートフォンで機体識別情報を受信することを想定し、実装した動作検証を先行して行う。	・機体認証方式の有効性を検証するために機体搭載用無線機、受信スマートフォンおよび受信アプリ、機体識別・認証のためのサーバから構成システムを構築して有効性を検証した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②-1. 飛行計画管理機能の研究

最終目標	成果	達成度	備考
有人航空機のフライトプラン、運航情報の事例分析を行い、無人航空機の運航管理への活用ユースケースを整理する。	有人航空機システムで取り扱うVFR機の情報調査を行った。 ・VFR機の飛行計画等が管理され、運用されているか調査を行った。 ・無人航空機システム側で利用可能な情報を精査した。 ・無人航空機の飛行ユースケースに上記で調査した有人航空機のユースケースを組み合わせ、情報共有のユースケースを定義した。	○	
有人航空機フライトプランシミュレータ、運航情報シミュレータの設計・製造を行う。	有人航空機フライトプランシミュレータ、運航情報シミュレータの設計・製造を行った。	○	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 有人航空機システムとのインタフェースを定義した。</li> <li>・ 有人航空機の飛行計画情報等、無人航空機システム側で利用可能な情報の共有方法の設計を行った。</li> <li>・ 有人航空機フライトプランシミュレータのインタフェース部分の製造を行った。</li> </ul>		
有人航空機フライトプランシミュレータ、運航情報シミュレータを用いて有人航空機の飛行計画および飛行を模擬した実証実験を行い、整理したユースケースの検証を行う。	<p>有人航空機フライトプランシミュレータ、運航情報シミュレータを用いて有人航空機の飛行計画および飛行を模擬した実証実験を行った。また、整理したユースケースの検証を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設計内容を実装したうえでユースケースの一部を実施し、情報共有の有効性を確認するために実証実験を行った。</li> <li>・ 実証実験によって得られた検証結果をフィードバックし、実システムへの INPUT を整理した。</li> </ul>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未

④-1. ブロードキャスト方式のリモート ID デバイスの小型化・性能向上

最終目標	成果	達成度	備考
ASTM で提示されたデータフォーマット、通信方式にあわせた Bluetooth5.0 を採用したブロードキャスト方式リモート ID デバイスを開発する。	ASTM 準拠のデータフォーマット、通信方式にあわせた Bluetooth5.0 を採用したブロードキャスト方式リモート ID デバイスの製造を完了した。	○	
質量 30g 以下（バッテリーなし）、通信距離性能は水平距離 300m 以上とする。	重量 29g のリモート ID デバイスを機体に内蔵し、高度 150m で水平距離 300m の地点でリモート ID データの受信に成功した。	○	
機体に搭載した評価を実施し性能を明らかにし、社会実装に向けた課題を整理する。	社会実装を見据え、基板実装タイプ、外部アンテナタイプのリモート ID デバイスを設計し、評価を実施した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④-2. 識別情報管理プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発

最終目標	成果	達成度	備考
基本機能を実装した試験システムを開発し、基本機能の技術検証をする。	ASTM 規格に準拠した、識別情報管理プラットフォームの構築し、評価を実施した。	○	
ASTM 規格を日本で実装するにあたっての課題を明らかにする。	ブロードキャスト方式、ネットワーク方式を受信し、通信方式に合わせた振り分け処理を実装し、評価を実施した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④-8. ブロードキャスト方式のセキュリティにおける共通鍵技術の検証

最終目標	成果	達成度	備考
共通鍵暗号方式のアーキテクチャについて検討し、基本機能を実装した試験システムを開発し、基本機能の技術検証を実施する。	共通鍵 (AES-CBC) 方式を実装した識別情報管理プラットフォームを構築し、なりすましおよび改ざんを検出できる機体認証方式を実装し評価を実施した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④-10. リモート ID デバイスの共通鍵の管理技術の開発

最終目標	成果	達成度	備考
リモート ID デバイス内に、共通鍵暗号化方式で使用する共通鍵を安全に管理する方式、ユースケースの検討を行う。	リモート ID デバイス内に共通鍵を格納する機能の実装を行い、評価を実施した。	○	
評価用のリモート ID デバイスを試作し、実機評価を通じた検証を行う。	リモート ID デバイスへの設定は、スマートフォン (Android OS、iOS) を介して行い、技術検証を行った。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④-11. 小型無人航空機へ搭載するブロードキャスト方式リモート ID の開発

最終目標	成果	達成度	備考
リモート ID 技術規格書(案)で提示されたデータフォーマット、通信方式にあわせた Bluetooth5.0 を採用したブロードキャスト方式リモート ID デバイスを試作する。	リモート ID 技術規格書(案)のデータフォーマット、通信方式に対応した、ブロードキャスト方式リモート ID デバイスの製造を完了した。	○	
質量を 10g 以下(バッテリーなし)、通信距離性能は水平距離 300m 以上 (通信機間距離 336m 以上) とする。	重量 9.8g のリモート ID デバイスを機体に内蔵し、高度 150m で水平距離 300m の地点でリモート ID データの受信に成功した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

日立製作所

①-2. 位置情報共有プラットフォームの研究

最終目標	成果	達成度	備考
<p>「情報統合アーキテクチャの研究（機体識別および有人航空機空域共有のための情報統合アーキテクチャの研究）」で設置される委員会に参加し、システムアーキテクチャおよび共通インタフェースの仕様を委員会メンバーとともに決定し、委員会で決定した仕様と整合をとったシステム設計（概要設計および詳細設計）を行う。</p> <p>無人航空機運航管理システム（UTM）や有人・無人航空機飛行情報共有システムとのインタフェース情報の明確化・具体化を行い、位置情報共有プラットフォームアーキテクチャに関するプロトタイプ開発・検証を行い、2020年度のプログラム開発に反映するための課題抽出を行う。</p>	<p>【位置情報共有プラットフォームの開発】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・パブリックセーフティおよびフライトセーフティにおけるユースケースの整理および位置情報共有プラットフォームに求められる機能を設計した。</li> <li>・位置情報共有プラットフォームの接続プロトコルおよびデータフローを検討し、システム間連携向けインタフェースを策定した。</li> </ul> <p>【位置情報による無人航空機識別の研究】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・パブリックセーフティおよびフライトセーフティにおけるユースケースの整理および位置情報共有プラットフォームに求められる機能を設計した。</li> <li>・位置情報共有プラットフォームの接続プロトコルおよびデータフローを検討し、システム間連携向けインタフェースを策定した。</li> </ul> <p>【機体位置情報のセキュリティに関する研究】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・位置情報共有プラットフォームに関するセキュリティリスクを明確化し、セキュリティ対策方式を検討した。</li> </ul>	○	
<p>2019年度に行ったシステム設計内容を基に、プログラム開発を行う。</p> <p>無人航空機運航管理システム（UTM）や有人・無人航空機飛行情報共有システムと連携して福島ロボットテストフィールドによる実証を行い、実運用に向けて耐える機能であるか評価を行い、実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出</p>	<p>【位置情報共有プラットフォームの開発】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・リアルタイムデータおよび過去データを配信可能な位置情報共有プラットフォームのプログラム開発および評価を実施した。</li> </ul> <p>【位置情報による無人航空機識別の研究】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・有人・無人航空機飛行情報共有システムと連携した有人機動態情報の提供機能および携帯電話位置情報共有サーバと連携した</li> </ul>	○	



<p>を行う。</p>	<p>機体相関処理機能の開発・評価を実施した。  <b>【機体位置情報のセキュリティに関する研究】</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>リアルタイムデータおよび過去データを配信可能な位置情報共有プラットフォームのプログラム開発および評価を実施した。</li> </ul> </p>		
<p>2020 年度の実証評価結果を基に、視認性／操作性の改善および処理方式の改良を行い、機能の完成度を高め、全体システムに結合して機体位置情報共有プラットフォームの有用性を福島ロボットテストフィールドで検証し、運用評価を行う。</p>	<p><b>【位置情報共有プラットフォームの開発】</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>20 年度の実証評価結果を基に、視認性／操作性の改善および処理方式の改良を実施した。</li> <li>リモート ID 技術規格書（案）で定義されているデータフォーマットへの対応を実施した。</li> <li>運航管理統合機能（FIMS）との連携機能の開発・評価を実施した。</li> <li>福島ロボットテストフィールドで位置情報共有プラットフォームの有用性検証および運用評価を実施した。</li> </ul> <p><b>【位置情報による無人航空機識別の研究】</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>20 年度の実証評価結果を基に、視認性／操作性の改善および処理方式の改良を実施した。</li> <li>福島ロボットテストフィールドで位置情報共有プラットフォームの有用性検証および運用評価を実施した。</li> </ul> <p><b>【機体位置情報のセキュリティに関する研究】</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>福島ロボットテストフィールドで位置情報共有プラットフォームの有用性検証および運用評価を実施した。</li> </ul> </p> </p></p>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④-3. 位置情報共有プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発（日立製作所）

最終目標	成果	達成度	備考
<p>本研究の検討成果を実装した動作検証を早期に実施し、ネットワーク方式リモート ID の実用性の評価を行</p>	<p>・ASTM International で定められたネットワーク方式リモート ID に対応した評価用の位置情報共有プラットフォームの機能開</p>	○	

<p>い、評価結果より得られた課題を整理する。</p>	<p>発および評価を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ネットワーク方式では無人航空機から発信された情報が情報を確認したい利用者の受信端末に到着するまでに複数のネットワーク・システムを経由するため、データを発信した無人航空機の実際の位置と受信端末に表示される無人航空機の位置に差が発生する可能性がある。このため、受信端末に表示される無人航空機の位置をリモート ID の時刻、速度などから補正する無人航空機位置情報補正機能の開発および評価を実施した。</li> </ul>		
-----------------------------	---	--	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未

#### NTTドコモ

##### ①-3. 情報共有プラットフォームへの携帯電話網から得られる情報提供に係る研究

最終目標	成果	達成度	備考
<ul style="list-style-type: none"> <li>・機体識別情報プラットフォームおよび位置情報共有プラットフォームへの提供が期待される情報の特定</li> <li>・当該情報の提供の実現に向けた通信管理機能のアーキテクチャの検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リモート ID の妥当性検証に活用することが期待される携帯電話網固有の識別情報及び位置情報の特定を実施</li> <li>・無人航空機から USS を経由した情報共有プラットフォームへの提供における、当該情報の取得方法及び提供のアーキテクチャを定義</li> </ul>	○	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・2019 年度の研究成果に基づいた情報提供に係る開発および製造</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無人航空機から情報共有プラットフォームまで連携するための各種インタフェース仕様等を策定</li> </ul>	○	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・2020 年度の研究成果に基づいた、機能評価と有用性の検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無人航空機から情報共有プラットフォームまで連携するための各種インタフェース仕様等を策定</li> <li>・福島ロボットテストフィールドにて、試作システムを用いた機能評価及びその有用性の検証を実施</li> <li>・検証の結果、リモート ID とは異なるところで管理されている携帯電話網固有の情報の連携を確認</li> <li>・さらにリモート ID の妥当性検証への有用性も確認</li> <li>・検証結果を元に、リモート ID の信憑性確保に向けた課題を整理</li> </ul>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④-6. 携帯電話網を活用したネットワーク方式リモート ID の開発

最終目標	成果	達成度	備考
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ASTM 規格に沿った評価用システムを開発</li> <li>・ 評価システムを用いた検証</li> <li>・ ASTM 規格に則ったネットワーク方式リモート ID の社会実装に向けた課題を整理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ネットワーク型リモート ID 方式の評価のため、携帯電話網に直結した専用環境を活用したシステム構成及び具備する機能を定義</li> <li>・ 定義した内容を元に、ネットワーク型リモート ID を実現するためのシステムを開発</li> <li>・ 福島ロボットテストフィールドにて、試作システムを用いたネットワーク型リモート ID 送信の所要時間についての検証を実施</li> <li>・ ネットワーク型リモート ID 送信の所要時間の比較検証のため、携帯電話網直結の専用環境のほかに公衆通信環境を経由する試験環境も用意し、検証を実施</li> <li>・ 検証の結果、リモート ID 送信にかかる所要時間は短時間であり、専用通信環境は安定性があることを確認</li> <li>・ 検証結果を元に、ネットワーク型リモート ID の社会実装時の課題を整理</li> </ul>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

KDDI

①-4. 機体識別および位置把握のための通信アーキテクチャの研究

最終目標	成果	達成度	備考
<p>リモート ID に係る制度化動向や標準化動向を調査し、適用可能な代表的な通信方式を比較検討することにより、機体識別および位置把握のための通信アーキテクチャを整理する。</p>	<p>リモート ID に係る欧米の制度化動向や ASTM 等の標準化動向を調査し、想定されている通信方式やネットワーク構成等を整理した。適用可能なブロードキャスト型通信方式として Bluetooth および Wi-Fi、ネットワーク型通信方式として LTE、機体間通信方式として LPWA を選定し、通信性能や耐干渉性等の比較検討を通じて、有人航空機も含めた機体識別および位置把握のための通信アーキテクチャを整理した。</p>	○	
<p>ネットワーク型通信方式および機体間通信方式のデバイスを開発し、実機を用いた検証により、リモート ID</p>	<p>ネットワーク型通信方式として LTE、機体間通信方式として LPWA を用いた、無人航空機に搭載可能なデバイスを開発した。福島ロボ</p>	○	

における有効性を評価する。	ットテストフィールド等で通信性能等を検証し、リモート ID や機体間の情報共有における有効性を評価した。		
機体識別・位置情報共有プラットフォームとの接続に関する制御システムを開発・評価する。	通信アーキテクチャにもとづき、I/F を整理したうえで、機体識別・位置情報共有プラットフォームとの接続に関する制御システムを開発した。福島ロボットテストフィールド等でシステム間遅延等を検証し、性能評価を行った。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

①-4.1. ネットワーク型通信方式の研究

最終目標	成果	達成度	備考
セルラーを用いたネットワーク型通信方式の技術的な要件を整理する。	ネットワーク型通信方式に必要なデータ項目やデータレート等を整理し、要件定義や I/F 仕様のとりまとめを行った。また、基地局から無人航空機を直接制御する際における制御/テレメトリプロトコルに対しての識別情報の付加方法を整理した。さらに、無人航空機が LTE カバーエリア内から LTE カバーエリア外に移動した際における切替技術の検討および I/F 仕様を整理した。	○	
ネットワーク型通信方式のデバイスを開発し、実機を用いた検証により、リモート ID における有効性を評価する。	ネットワーク型通信方式として LTE を用いた、無人航空機に搭載可能なデバイスを開発した。ブロードキャスト型通信方式、ネットワーク型通信方式、機体間通信方式のマルチ搭載時における搭載性や干渉等の課題も整理した。また、福島ロボットテストフィールドで通信性能等を検証し、ブロードキャスト型通信方式の受信エリア外において、ネットワーク型通信方式の受信が可能なことを確認する等、リモート ID における有効性を評価した。	○	
リモート ID を認識するためのアプリケーションを開発・評価する。	タブレット端末 (Android OS) 等でブロードキャスト型通信方式およびネットワーク型通信方式のリモート ID を認識するための受信アプリケーションを開発した。福島ロボットテストフィールド等で	○	

	システム間疎通等を検証し、性能評価を行った。		
--	------------------------	--	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④-5. ネットワーク方式リモート ID の通信・システム開発

最終目標	成果	達成度	備考
国際標準に準拠したネットワーク方式リモート ID の通信・システムを開発・評価する。	ASTM方式に準拠したデータ形式や接続シーケンスのもと、ネットワーク方式リモート ID の通信モジュールおよび受信アプリケーションを開発した。また、受信アプリケーションには、リモート ID のエンド-エンド（通信モジュール～セルラーネットワーク～リモート ID プラットフォーム～受信アプリケーション間）での受信成功率および遅延時間算出機能を実装した。福島ロボットテストフィールド等でシステム間遅延時間等を検証し、性能評価（遅延時間は平均 1.4 秒程度）を行った。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④-9. ブロードキャスト方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証

最終目標	成果	達成度	備考
ブロードキャスト方式とネットワーク方式調和型識別技術の開発および検証を行うため、ブロードキャスト方式とネットワーク方式兼用の通信モジュールの試作および評価を行う。	ブロードキャスト方式とネットワーク方式の調和型通信モジュール、受信アプリケーションの開発、評価を実施した。本通信モジュールにて、機体飛行情報のテレメトリおよびリモート ID の送信が可能であることと、ブロードキャスト方式での受信強度に応じて、ネットワーク方式受信情報への表示切り替えが可能であることを福島ロボットテストフィールド等にて確認した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑤-1. 運航管理システムと識別技術の調和システム開発

最終目標	成果	達成度	備考
運航管理システムおよび遠隔からの識別システムの双方の機能を用いることで無人航空機利用における一連のフローをシステム管理可	運航管理システムと調和したリモート ID の実証を行い、機体登録から識別までの一連の運用フローがシステム管理可能か確認し、運航管理システムとリモート ID が併	○	

能か検証を行う。	用して社会実装する構成を検証した。また、今まで管理対象外であったトイドローンにネットワーク方式の通信モジュールを搭載し、運航管理システムでも管理が可能となることにより、フライトセーフティおよびパブリックセーフティの向上に寄与することを確認した。		
----------	--	--	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

#### ⑤-2. 遠隔識別技術の海外訴求活動

最終目標	成果	達成度	備考
海外標準化動向を踏まえて開発内容の優位性および標準化検討との差異を明確にする。またNW方式の技術開発内容の先行性および活用ユースケースを明確化する。	本プロジェクトにおけるUTMとリモートIDの両者が調和したシステムのあり方を検討し、欧米において想定されている機能を実現できることを実証試験において検証した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### テラドローン

#### ①-4-3. 通信制御の研究

最終目標	成果	達成度	備考
リモートID信号受信インタフェースの開発完了	・ネットワーク方式および直接放送方式それぞれの通信経路でリモートID信号を受け付けるインタフェースの設計および製造を完了	○	
通信経路優先度判定機能の開発完了	・ネットワーク方式および直接放送方式それぞれの経路で受信した同時刻の複数のリモートID信号の中で信号強度が高いものを選出してPF(Platform)側に転送する処理の設計および製造を完了	○	
データエンコード処理機能の開発完了	・ASTM規格に従い、元データの欠損が起きないようにエンコード処理を施したものを機体識別情報共有PFへのAPI呼び出しに用いる処理の設計および製造を完了	○	
受信端末向けデータ一斉発行処理機能の開発完了	・位置情報共有PFにて集約された無人航空機および有人機のリモートID信号データを地域メ	○	

	ツッシュ単位で一括取得し、地上の表示端末用に個別機体毎にデータを分割して転送する部分の処理の設計および製造を完了		
運航管理サブシステム間データ連携機能の開発完了	・発信端末から受信したリモートID信号を、飛行制御アプリケーションから連携される既存のテレメトリデータと同じ形式で統合運航管理サブシステムに対して一部のデータを連携する部分の処理の設計および製造を行った。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未

## NTTデータ

### ②-2. 運航者情報および機体情報管理機能の研究

最終目標	成果	達成度	備考
有人航空機—無人航空機間での動態情報共有を目的とし、有人機飛行位置探知システムとのインタフェース設計を行う。	有人航空機—無人航空機間での動態情報共有を目的として、有人機飛行位置探知システムから情報を受信し、機体識別情報・位置情報共有プラットフォームに情報を提供するインタフェース設計を行った。 有人機飛行位置探知システムから複数の探知技術（ADS-BとMLAT（Multilateration））により受信した有人機動態情報を評価して、採用する位置情報を特定するフュージョン機能の設計を行った。	○	
2019年度の研究成果に基づき、有人機飛行位置探知と連携して運用・機能評価を行う。評価で明らかになった運用面／技術面の課題については、機能・性能の向上策を検討する。	有人機飛行位置探知システムから情報を受信し、機体識別情報・位置情報共有プラットフォームに情報を提供するインタフェース製造を行った。 有人機飛行位置探知システムから複数の探知技術（ADS-BとMLAT）により受信した有人機動態情報を評価して、採用する位置情報を特定するフュージョン機能の設計を行った。 製造したインタフェース機能およびフュージョン機能を用いて、有人機飛行位置探知システムおよび機体識別情報・位置情報共有プラットフォームと連携し、無人航空機の運航者に対して有人機動態情	○	



	報を提供する一連のフローについて、運用・機能の評価を行い、課題を抽出した。		
2020 年度の評価で明らかになった運用面／技術面の課題については、機能・性能の向上策を検討するとともに対策を実施する。システム全体を接続し運用評価を行う。	有人機飛行位置探知システムから受信するデータとして、MLAT（モード AC）を追加し、シミュレーションデータとして LTE を受信する機能を追加製造した。 2019 年度の実証において課題となった有人機動態情報の異常値を除去する機能の開発を行った。 位置情報共有プラットフォームに加えて、FIMS と連携し、システム全体を接続した運用評価を実現した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④-4. 運航者情報・機体情報管理機能のネットワーク方式リモート ID の開発

最終目標	成果	達成度	備考
運航者情報および機体情報の運用フローを検討し全体アーキテクチャを決定し、管理・共有する情報のデータ項目を決定する。また、情報管理のためのデータベース設計、データフォーマット設計、情報交換のための API 設計を行う。	無人航空機の運航における運航者情報および機体情報の利用ユースケースを元にシステム構成およびシステム間の情報連携を明確にした。 システム間で連携する項目を定め、運航者情報管理・機体情報管理機能のデータベース設計、データフォーマット設計、情報交換のための API 設計を行った。	○	
2019 年度の研究成果に基づき、運航者情報管理・機体情報管理機能の製造を行う。また、機体識別情報・位置情報共有プラットフォームと連携して運用・機能評価を行う。評価で明らかになった運用面／技術面の課題については、機能・性能の向上策を検討する。	2019 年度研究成果に基づき、運航者情報管理・機体情報管理および有人機動態情報連携機能および関連システム IF の製造を行った。 機体識別プラットフォームと連携し、利用者からのリモート ID に基づく問い合わせに対する運航者情報管理・機体情報の返信について、運用および機能の評価を行った。	○	
2020 年度の評価で明らかになった運用面／技術面の課題については、機能・性能の向上策を検討するとともに対策を実施する。システム全体を接続し運用評価を行う。	リモート ID の技術企画書（案）に基づき、運航者情報管理・機体情報管理のデータフォーマット設計、情報交換のための API 設計を修正した。 機体識別プラットフォームと連携して、システム全体を接続した運用・機能評価を行った。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

N I C T

①-4.2. 機体間通信方式の研究

最終目標	成果	達成度	備考
機体間通信モジュール、インターフェース等の要件定義を行い、機体間通信方式の基本設計を完了する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>①機体間通信（ブロードキャスト型）モジュール・インターフェース等の要件定義を行い、基本設計を完了。</li> <li>②次年度計画を前倒しし、機体間通信モジュールの一部試作を実施。</li> <li>③機体間通信モジュールのセキュリティ確保のためのデバイス・情報認証方式について基本設計を完了。</li> </ul>	○	
基本設計に基づき、機体間通信モジュールの詳細設計、部分実装を行い、一部試作開発する。また、試作を用いて部分評価を行い、多数の同時運用時の通信性能および課題等を明らかにする。	<ul style="list-style-type: none"> <li>④920MHz 帯 LPWA(送受信)、BLE5.0（送信又は受信）、ADS-B(受信)の複数通信方式に対応可能な機体間通信モジュール（マルチ通信端末）の試作開発を完了。</li> <li>⑤福島 RTF 等において、無人航空機・有人ヘリコプタ間での通信性能の評価および無人航空機側での飛行制御機能との連携試験を実施。</li> </ul>	○	
得られた部分評価の結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。3種類以上の機種を用いた実証評価を行い、有用性および実用性を検証する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>①機体間通信モジュールのソフトウェア改修により位置精度とデータ更新頻度の改善、ネットワーク接続機能の追加を実施。また有人ヘリ内持込み位置の再検討を実施し、無人航空機2機種と有人ヘリによる実証評価を行い、通信成功率の改善を確認。</li> <li>②有人ヘリと無人航空機間で7km程度までの通信距離を確認。無人航空機側で受信した有人ヘリの位置情報により、2km以上の距離で無人航空機が自動的にニアミス回避動作に入ることの実証に成功。</li> <li>③無人航空機間での機体間通信により、操縦者やネットワークを経由せずに無人航空機同士で自律的にニアミス回避や自動追従隊列飛行ができることの実証に成功。</li> <li>④共通鍵で暗号化された認証コードの付加によりグループ内か外かの識別が可能であることを確認。</li> </ul>	◎	(*1)

	⑤ 地上に設置したモニタ端末を経由して機体間通信で得られる各無人航空機や有人ヘリの動態情報をリモート ID 管理サーバに転送できることを確認。		
--	---	--	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*1) 当初計画での目標である機体間通信の開発と実証評価をさらに進め、機体間通信に基づく飛行制御により自律ニアミス回避と自律隊列飛行が実現できることのコンセプト実証に成功したことで、当初の目標を越える成果を達成した。

#### ④-7. ブロードキャスト方式の通信性能評価手法の開発 (NICT)

最終目標	成果	達成度	備考
BLE5.0 信号、LPWA 信号、ADS-B 信号に加え、Wi-Fi Aware 信号にも対応した複数のブロードキャスト方式によるリモート ID の通信性能評価システムの開発を完了する。	リモート ID 通信性能評価システムの開発を完了。	○	
フィールドにおいて各無線方式を受信し、通信性能評価を行う。	フィールドにおいて各無線方式を受信し、通信性能評価を実施し、受信レベル、通信成功率および通信距離特性の評価が共通の基準で比較評価できることを確認。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### MPAT

#### ②-3. 有人航空機のネットワーク型探知技術の研究

最終目標	成果	達成度	備考
福島ロボットテストフィールドおよび周辺に複数の受信局を設置し、質問信号の発信も含めた全体システムの実フィールドにおける動作実証を行い、低高度を飛行するモード A/C トランスポンダ搭載機のリアルタイム監視を実証する。	福島ロボットテストフィールドおよび南相馬市にシステムを構築し、テストフィールドから 10km 高度 1000ft の低高度を飛行するモード S およびモード A/C トランスポンダを搭載する有人航空機を探知できることを実証した。	○	(*2)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*2) 将来配備が予想される無人機運航管理システムでの利用を模索する。

### JAXA

#### ②-4. 有人航空機と無人航空機の機体間飛行情報共有技術の研究()

最終目標	成果	達成度	備考
複数の ADS-B 搭載航空機を近接して飛行させ、無人航	ヘリコプタ EC135-P2+と BK117C-2 に Skyecho2 を搭載し、ポータブル	○	

<p>空機運航者の状況認識の課題を明らかにする。ポータブル ADS-B 装置を広く社会実装するための技術面および制度面の課題を洗い出し、社会実装に向けたロードマップを定義する。</p>	<p>ADS-B 送受信評価を行った。無人航空機のリモートパイロットに同情報を伝達表示する画面を試作し、飛行実証において安全確保に利用する実験を実施した。ポータブル ADS-B 装置を日本国内で実用する場合の課題に関して整理し、社会実装に必要な制度検討等の課題と手順を整理した。</p>		
--	---	--	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

③. 情報統合アーキテクチャの研究

最終目標	成果	達成度	備考
<p>設計された情報統合アーキテクチャを評価、シミュレーションによって妥当性を示す。他のサブテーマと連携して飛行試験において実証を行う。</p>	<p>有人機の動態情報共有による空域の効率改善と安全性をファスト・タイム・シミュレータによって示した。情報統合アーキテクチャを設計し、2021年12月に共同提案者のシステムを接続した飛行実証試験を実施した。</p>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (5) 成果と意義

NEC

### 5.1. 研究開発項目「①-1. 機体識別情報共有プラットフォームの研究」

#### 5.1.1. 「ブロードキャスト型の通信方式に対応した機体識別実現方式の研究」(実施者：NEC)

本研究においては、識別情報共有プラットフォームのユースケースを洗い出し、機体識別情報管理のためのシステムアーキテクチャ、データフロー、データフォーマット、運用シーケンスの検討を行った。検討結果から、機体から地上設備を介してプラットフォームへ機体識別情報を伝達する通信方式としてブロードキャスト型の方式に対応した模擬システムの実装を行い、動作検証を先行して実施することにより識別情報共有プラットフォームのベースとなる仕組みの実現性を確認できた。

動作検証時の全体構成を図 2.2.1.9-3 に示す。2019 年度の機体識別情報共有プラットフォーム動作検証はシステム全体の構成要素を決定し、データフロー、データフォーマットを仮定して機体識別の一連の流れを確認することが目的だったため、無人航空機としては疑似的に機体識別情報を発信する無線通信基板、地上受信設備としてはスマートフォン上で動作する簡単なアプリケーション、機体識別情報共有プラットフォームはクラウドサーバ内に仮決めで選択した認証方式を利用した機体認証アプリケーションを用意して実施した。



図 2.2.1.9-3 2019 年動作検証時の全体構成図

動作検証時の流れを図 2.2.1.9-4 および図 2.2.1.9-5 に示す。機体識別の運用シーケンスとしては、機体認証に必要な情報を各構成要素へ登録しておく事前準備と、飛行中に機体認証を適宜行う運用時に分かれる。事前準備としては今回使用した認証方式である電子証明書ベース方式およびワンタイムトークン方式に必要な署名、ワンタイムトークンといった情報をそれぞれのシステムに入れ込む作業を行った。運用時には無人航空機を模擬した無線機から試験用の機体識別情報および認証情報を発信し、地上受信設備を模擬したスマートフォンを介して識別情報共有プラットフォームへ伝達、プラットフォーム内で電子証明書ベース方式又はワンタイムトークン方式による機体認証を行い、スマートフォン上のアプリにて照合結果が参照できることを確認した。

また、なりすましの無人航空機を模擬した試験データを複数パターン流すことにより、照合結果が NG となり不審機体が検知できることを確認した。

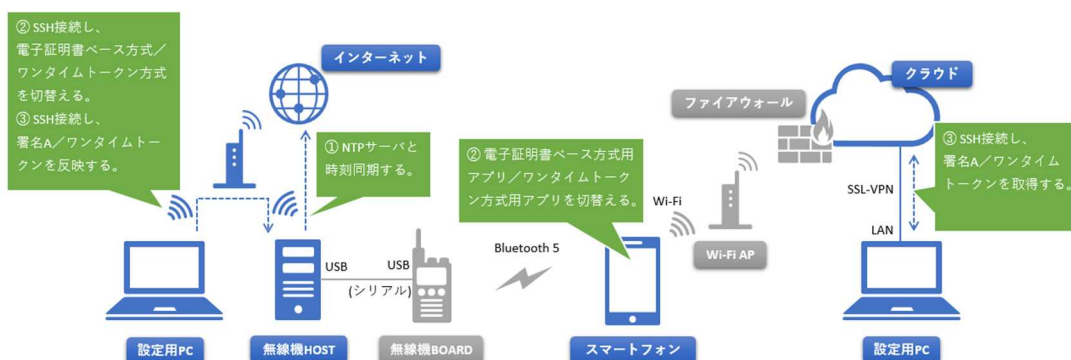


図 2. 2. 1. 9-4 動作検証の流れ（事前準備）

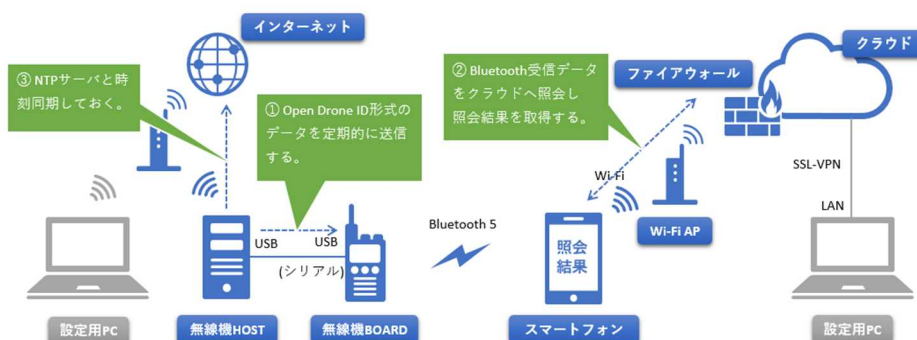


図 2. 2. 1. 9-5 動作検証の流れ（運用時）

本研究においては、機体識別情報管理のためのアーキテクチャ検討を行い、ブロードキャスト型の方式に対応した機体識別情報共有プラットフォームの模擬システムを構築し、実現性の検証を行った。

研究を通じて得られた課題としては、リモート ID の仕様を規定した国際標準が最終決定されていないため、採用する規格によっては将来国際的には使用されていないものになってしまうリスクがある点が挙げられる。今後正式に採用するリモート ID の仕様決めの際には、国際的な動きへの配慮が必要となる。

ブロードキャスト方式の通信としては認証情報を付加できるデータサイズが必要であることから、今回は Bluetooth 5 Advertising Extensions を利用して実装を行った。BLE としては 1 フレームのサイズが大きいこともあり、無人航空機の模擬環境と地上受信設備であるスマートフォンの距離を取ると、40m を超えたあたりから受信に失敗し始める状況があった。屋内の障害物が多い環境で評価していたことも原因の一つではあるが、実際に飛行している無人航空機は地上受信設備から 100m 以上離れていることがあるため、BLE の設定を最適化して通信飛距離を確保する必要があると考えられる。

機体認証に使用する認証方式としては、今回は電子証明書ベース方式とワンタイムトークン方式の実装を行った。どちらもリモート ID の ID 情報を詐称したりしたなりすましのパターンを検出することはできたが、電子証明書ベース方式は認証局が必要になる等で実現コストが高く、ワンタイムトークン方式は一回の飛行中は同一のトークンを使い続ける

ためセキュリティ堅牢度が低めとなっている。今後認証方式を選択する際にはこれらのメリットデメリットを考慮する必要がある。

#### 5.1.2. 「機体識別情報共有プラットフォームのネットワーク方式およびブロードキャスト方式における機体識別に関する研究」(実施者：NEC)

2020年度は、前年度に検討した機体識別および機体認証の実現方式に従って機体識別情報共有プラットフォームの実装を行った。機体識別情報のデータフォーマットや接続シーケンスについてはASTM規格に沿った内容を取り込み、機体認証の方式としてはデジタル署名方式へ対応した。

実証検証時の全体構成図を図2.2.1.9-6に示す。今回は通信経路として機体から地上設備を介してプラットフォームへデータを受け渡すブロードキャスト方式と、機体からLTE通信によりLTE基地局を経由してプラットフォームへデータを受け渡すネットワーク方式の2方式に対応できるようにした。

実証検証では福島ロボットテストフィールドにて機体の飛行を行い、機体に搭載されたリモートIDデバイスからブロードキャスト方式とネットワーク方式でのリモートIDを発信、機体識別情報共有プラットフォームで受信し、必要に応じて機体認証がされることを確認した。機体認証後のリモートIDは他システムとの連携に使用するため、位置情報管理を模擬したシステムにデータを受け渡した。この検証により、今回実装した機体識別情報共有プラットフォームが期待どおり機体識別情報の管理や機体認証を実施できることを確認した。

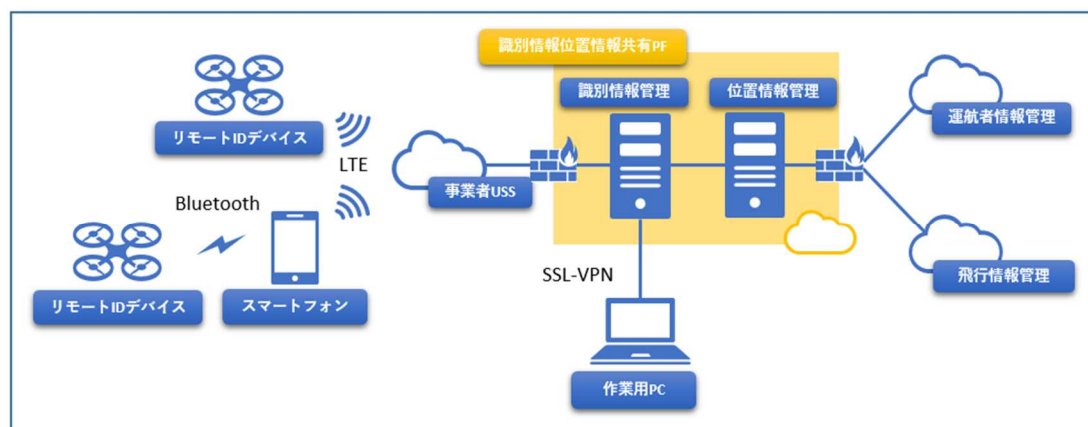


図 2.2.1.9-6 2020年実証検証時の全体構成図

2020年度の研究においては、前年度に検討した機体識別および機体認証の実現方式に従い、実際に機体識別情報共有プラットフォームの実装を行い、動作検証まで実施することができた。

機体認証方式としてはデジタル署名方式を採用し、なりすましの機体を検出できることを確認した。他の方式でも同様だが、機体認証には飛行前に機体識別情報共有プラットフ



フォームと無人航空機の間で認証に必要な情報をやり取りしておく必要がある。今回は作業用 PC で直接リモート ID デバイスへ必要情報を書き込んだが、将来的には一般ユーザが簡単に設定できる手段が必要となる。

ブロードキャスト方式では地上受信設備にて受信したリモート ID 情報をプラットフォームへ伝送する。この時に地上受信設備が複数台あると、民間 USS やプラットフォームへは同一のリモート ID 情報が複数届くことになり、データ量が増えてしまう。また、通信区間途中でデータの追い抜きが生じる場合があり、飛行ルートを確認を行うといったデータの順序が重要なユースケースにて考慮が必要となる。

今回実装した機体識別情報共有プラットフォームは、秒間で 100 件以上のデータを受信し続ける負荷をかけた場合に処理が間に合わず、プラットフォーム内に滞留データが発生してしまうことがわかっている。今後は性能改善の対応が必要である。

### 2.5.1.3. 「(3) 機体識別情報共有プラットフォームの機能改修と性能改善に関する研究」 (実施者：NEC)

2021 年度の研究では、前年に開発した機体識別情報共有プラットフォームで課題となっていた性能面の改善と、リモート ID 技術規格書に合わせた機能改修を実施した。改修した機体識別情報共有プラットフォームにおいて実証検証を行い、リモート ID 技術規格書に沿った仕様での機体識別情報の管理と、機体認証が実現可能であることを確認した。

図 2.2.1.9-7 に実証検証時の全体構成を示す。構成としては前年度から変化はないが、識別情報管理と同様にリモート ID 技術規格書対応を行ったリモート ID デバイスと民間 USS、位置情報管理に変更になっており、規格書に沿った形式での接続評価環境を実現した。接続評価は福島ロボットテストフィールドにて無人航空機および有人航空機を飛行させて実施し、有人航空機に搭載したリモート ID デバイスからのリモート ID も同時に識別管理できることを確認した。

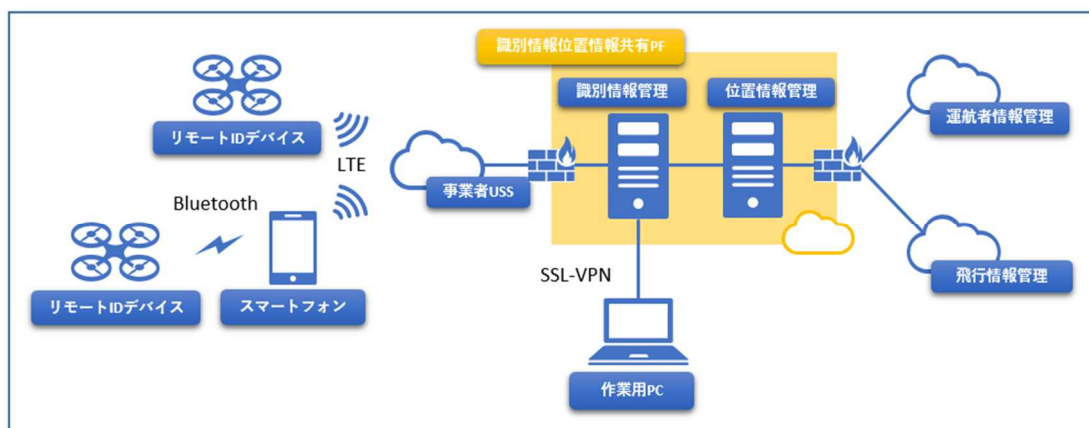


図 2.2.1.9-7 2021 年実証実験時の全体構成図

今回実施した機体識別情報共有プラットフォームの性能改善については、同時に 100 台 200 台のリモート ID デバイス実機からデータを流すという評価環境を用意できなかったため、テストデータを使用して性能の評価を行った。

機体認証に使用する鍵情報を毎回 DB から取り出していた対策として実施した DB キャッシュの追加では、一定期間内にキャッシュしてあるリモート ID デバイスから再度データを受信した場合については、キャッシュから鍵情報を取り出すことで DB アクセスを減らすこととした。図 2.2.1.9-8 は 600 秒間連続してテストデータを流した時に識別情報共有プラットフォーム内で処理にかかった時間を測定した結果である。この図から、DB キャッシュがある場合の方が処理時間を短く抑えられると言える。ただし、キャッシュにないリモート ID の場合は DB へ鍵情報を取りにアクセスする必要があり、多量のリモート ID デバイスのキャッシュを全て一つのサーバに保持しておくことはできないため、社会実装時にこの方法での性能改善は困難なケースがあると考えられる。

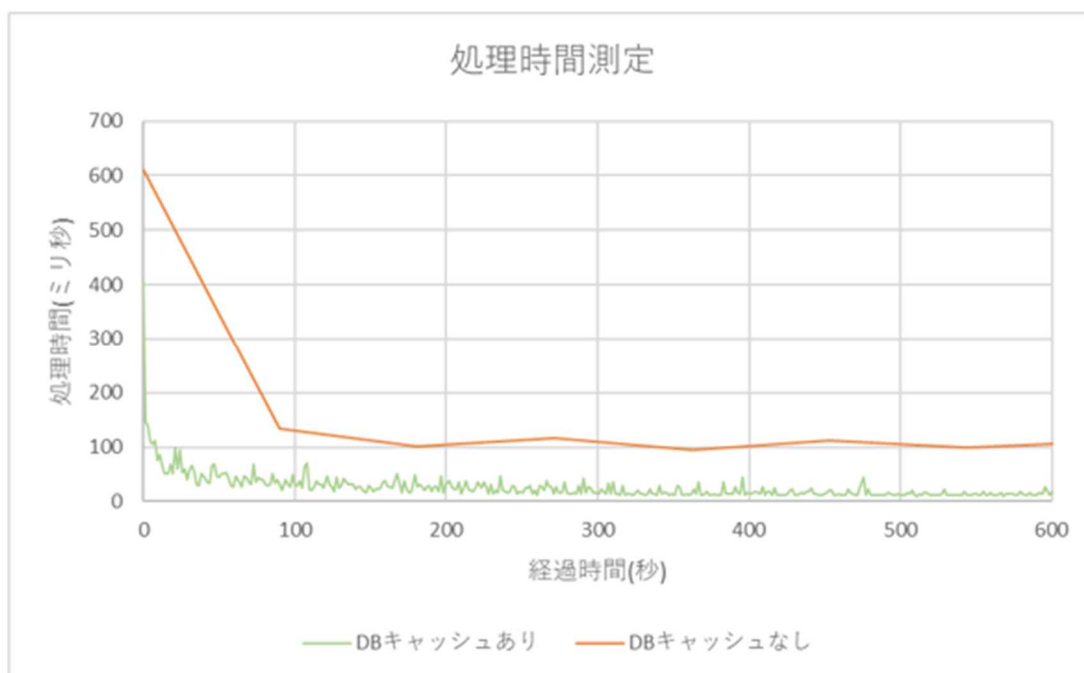


図 2.2.1.9-8 DB キャッシュによる処理速度の変化

DB キャッシュの対応に加えて機体認証処理のマルチスレッド化とサーバリソースのスケールアップを実施した環境において、秒間 200 件のテストデータを 1 時間流す評価を実施した。この性能測定では負荷試験用のソフトウェアである JMeter を使用し、秒間 200 件のテストデータを識別情報管理へ送信、識別情報管理で受信したものは位置情報管理へ渡すという条件で評価を実施した。評価時に計測した処理時間の推移を図 2.2.1.9-9、図 2.2.1.9-10 に記載する。この図から秒間 200 件のデータを遅延なく処理し、別システムである位置情報管理へ送ることができることを確認した。

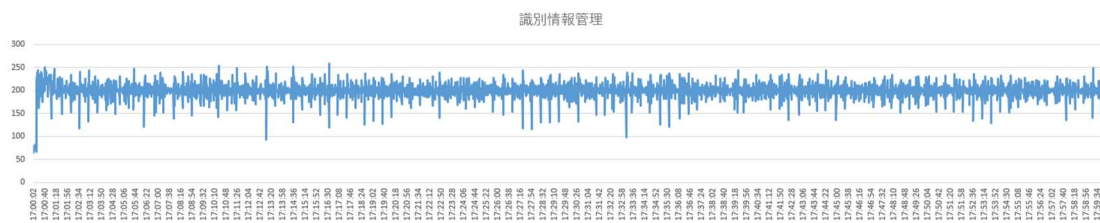


図 2.2.1.9-9 性能改善環境での負荷試験時処理件数（識別情報管理）

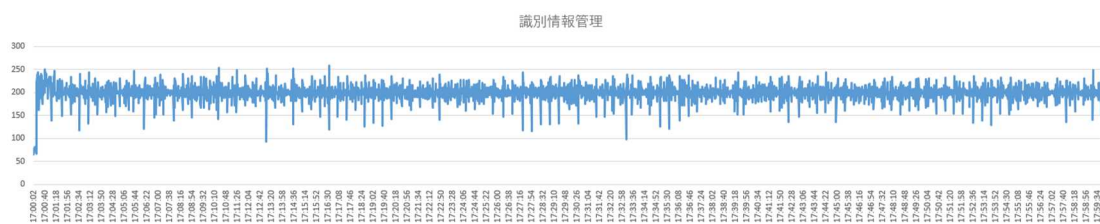


図 2.2.1.9-10 性能改善環境での負荷試験時処理件数（位置情報管理）

2021 年度の研究においては、前年に開発した機体識別情報共有プラットフォームで課題となっていた性能の改善と、内閣官房主催の小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会で公表されたリモート ID 技術規格書に合わせた機能改修を行い、関連システムとの接続実証試験により機体識別情報共有プラットフォームの実現性を確認した。

研究を通じて得られた課題としては、無人航空機としてリモート ID 技術規格書で示されている機体認証方式に対応することは可能であるが、こういった機関、事業者が機体認証を実施するのか、機体認証を実施する機関は機体認証に必要な情報をどのように得るのか明確になっていない点となる。今後の社会実装フェーズでは機体認証を必要とする機関、事業者があると想定されるため、国が管理する無人航空機の登録情報を活用する手段の検討が必要と考えられる。

## 5.2. 研究開発項目「②-1. 飛行計画管理機能の研究」

### 5.2.1. 「飛行計画管理機能の研究」(実施者：NEC)

有人航空機との空域共有に関して、有人航空機の状態（フライト前、フライト中）によって空域共有の方法および無人航空機の運用ユースケースが異なる。

フライト前の有人航空機に関する空域共有は飛行計画（以降、フライトプランという）を航空局から入手し、無人航空機運航者にてフライトプランを共有する事により、有人航空機、無人航空機双方の安全かつ効率的な運用を図ることができると考えられる。

フライトプランは出発地、出発予定時刻、到着地、到着予定時刻、飛行経路、経由地等の情報で構成される。フライトプランが航空局内で受理されたタイミングからフライトプランを共有し、無人航空機の飛行計画に活用するユースケース等の分析を行った。

また、フライト中においては、フライトプランに示される目的地や飛行経路と、有人航空機位置情報に基づいて、飛行空域におけるより精度の高い、飛行経路、到着予定時刻を推定することができると考えられる。有人航空機位置情報はその時点の航空機の位置（緯度・経度・高度）と速度ベクトル（速度、進路）で構成されるが、定期的な位置情報取得タイミングが旋回中であった場合、次の位置情報取得タイミングまでの間隔が長い場合およびより高速で移動している機体ほど位置の予測位置の誤差が大きくなるが、目的地や経路がわかっている場合は、到着予定時刻を容易かつ高い精度で求めることができると考えられる。

有人航空機の現在位置だけでなく将来位置をより正確に把握することで無人航空機の飛行計画、運航管理を図ることができる。効率的な情報把握の方法等の研究を実施した。

#### ・有人航空機システムで取り扱う VFR 機の情報

有人航空管制システムから得られる情報(航空会社等から提供される情報)の活用研究として、有人航空機が飛行する上で必要な情報を無人航空機の運航管理に使用できる情報の整理を行った。

以下に活用できる情報と無人航空機の運航管理での活用方法についてまとめる。

表 2.2.1.9-3 情報の整理

情報(略称)	内容	無人航空機の運航管理への活用
フライトプラン(FPL)	航空機が飛行を行うに際して航空交通管制機関に通報する飛行予定に関する計画	主に低高度を飛行する VFR 機の飛行計画を活用することで無人航空機と有人航空機の Conflict を事前に検出することに活用する。
出発情報(DEP)	航空機の出発情報	航空機の出発時刻で飛行計画の飛行時刻の補正を行うことで、飛行計画の正確性を補填する。
遅延情報(DLA)	出発時間(移動開始時間)の遅延情報	飛行計画の飛行時刻の更新を行う。
変更情報(CHG)	フライトプランの変更情報	飛行計画の変更を行う。

情報(略称)	内容	無人航空機の運航管理への活用
取消情報 (CNL)	フライトプランの取消情報	飛行計画の取消を行う。
到着情報 (ARR)	航空機の到着情報	飛行計画の削除を行う。
位置通報 (PSN)	飛行中に通報地点などを通過した時間等の情報	通報された地点の通過時刻で飛行計画の飛行時間の補正を行うことで、飛行計画の正確性を補填する。 ただし、VFR機の場合、IFR機と異なり全ての飛行地点の通報は実施しない。主にレーダーサービスを受ける場合に使用。

#### ・フライトプラン解析

有人航空機のフライトプランから経路解析を行う場合、飛行計画の第15項の巡航速度、巡航高度、経路を使用するが、VFR機の経路情報はFIX（航空路誌に公示された航空路などを形成する地点情報）、ATSルート（航空路誌に公示された航空機が安全に飛行出来る飛行経路）での指定ではなく通過地点の地名(OMAEZAKI:御前崎)が指定されるケースが多いため、地名の解析を行った上で、経路解析を行う必要がある。

また、出発空港、到着空港についても場外飛行場を指定されるケースがあるため場外飛行場の解析も必要となる。

これらのことを考慮し飛行計画の解析を行う。

#### ・解析制度の向上

##### (a) 有人航空管制システムから得られる情報での精度向上

有人航空管制システムから得られる情報で以下の情報を活用し、解析経路の精度向上の検証を行った。

##### (b) 有人航空機動態情報による精度向上

飛行計画の経路解析の精度向上のために、飛行計画に紐づく動態情報(飛行実績)を活用して経路の再解析を行う。

再解析処理は、飛行計画毎にスケジュールを組んで、定期実行する形で行う。



図 2.2.1.9-11 再解析の全体イメージ

#### ・無人航空機側との情報共有

##### (a) 共有する情報

以下の情報を無人航空機の運航管理統合機能と共有することで、無人航空機と有人航空機

の衝突回避の支援を実施する。

- ・有人航空機の解析済み飛行経路
- ・有人航空機動態情報

(b) 情報の活用

共有する有人航空機の飛行計画と無人航空機の飛行計画に経路上の衝突がないか判定する。

(以降コンフリクト判定と記載する。)

コンフリクト判定では、無人航空機、有人航空機の飛行計画経路の図形を作成して、重なりを確認する。



図 2. 2. 1. 9-12 コンフリクト判定イメージ

- ・ システムイメージ

今回の研究で作成した試験用システムのイメージを図 2. 2. 1. 9-13 に示す。

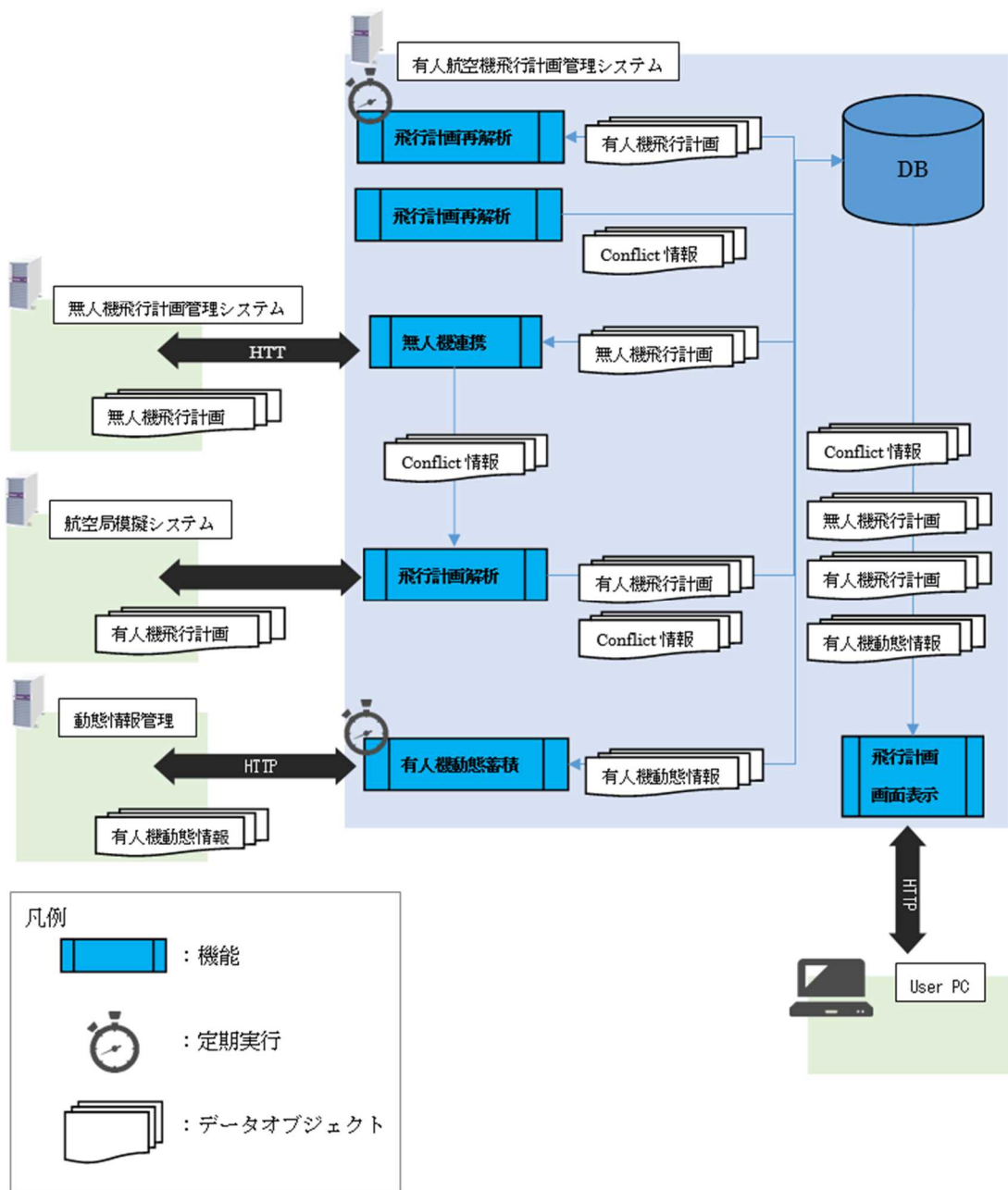


図 2. 2. 1. 9-13 システムイメージ図



- ・ 研究を通じて得られた課題や改善点を抽出した。以下に示す。

表 2.2.1.9-4 飛行計画管理機能の課題と今後の対応

課題	今後の対応
<p>有人航空機システムから得られる情報をどの程度無人航空機を扱う事業者提供に良いか検討する必要がある。 フライトプランには機微情報も含まれるため全ての情報を提供するのは難しいと考える。</p>	<p>運航管理システムの標準化、法整備を進めていく。</p>
<p>フライトプランの経路解析が100%ではないため、さらに経路解析精度を向上する必要がある。</p>	<p>実際の運用データ(フライトプラン)と飛行実績の突き合わせを実施し曖昧検索以外にも、機械学習等による解析の研究を行う。</p>
<p>今回の研究では、社会実装時の処理能力を満たすサーバ構築を実施していない。</p>	<p>社会実装時を意識したサーバのアーキテクチャを検討する。</p>
<p>APIを公開し、民間事業者が容易に情報を得られる仕組みの検討が必要である。</p>	<p>民間事業者がさらに容易に接続できるようAPIの改善を検討する。</p>

### 5.3. 研究開発項目「④-1. ブロードキャスト方式のリモート ID デバイスの小型化・性能向上」

#### 5.3.1. 「ブロードキャスト方式のリモート ID デバイスの小型化・性能向上」(実施者：N E C)

ASTM で提示されたデータフォーマット、通信方式に合わせた Bluetooth5.0 を採用したブロードキャスト方式リモート ID デバイスとして以下の通り開発および検証を行った。

##### ・主要デバイス

ブロードキャスト方式リモート ID デバイスに実装した主要デバイスを表 2.2.1.9-5 に示す。

Bluetooth デバイスとして、CPU、メモリに加え Bluetooth 通信機能を実装した TI 社製 SoC (System on Chip) を実装した。

その他 GPS、各種センサデバイスを実装した。

表 2.2.1.9-5 主要デバイス一覧

デバイス	メーカー	品名	仕様
Bluetooth	TI	CC2642R	Bluetooth : v5.1 CPU : Cortex-M4 RAM : 80kbyte ROM : 352kbyte
GPS	u-blox	NEO-M8Q	受信可能衛星 : GPS/QZSS、GLONASS、Galileo、BeiDou
モーションセンサ	TDK	ICM-42605	加速度測定レンジ : ±16g
温度センサ	TI	TMP112A	精度 : ±1°C
コンパス	AKM	AK09915C	最大測定レンジ : ±4912uT
気圧センサ	STM	LPS22HH	測定範囲 : 260~1260hPa

##### ・ブロック図

ブロードキャスト方式リモート ID デバイスのブロック図を図 2.2.1.9-14 に示す。

Bluetooth、GPS のアンテナは外付けアンテナを接続した。

電源は給電コネクタから供給する仕様とし、電源 IC で電圧変換して SoC に供給する構成とした。

LED、on/off スイッチ、主電源スイッチはユーザ IF のデバイスである。

FW 書き換え用のコネクタを実装した。

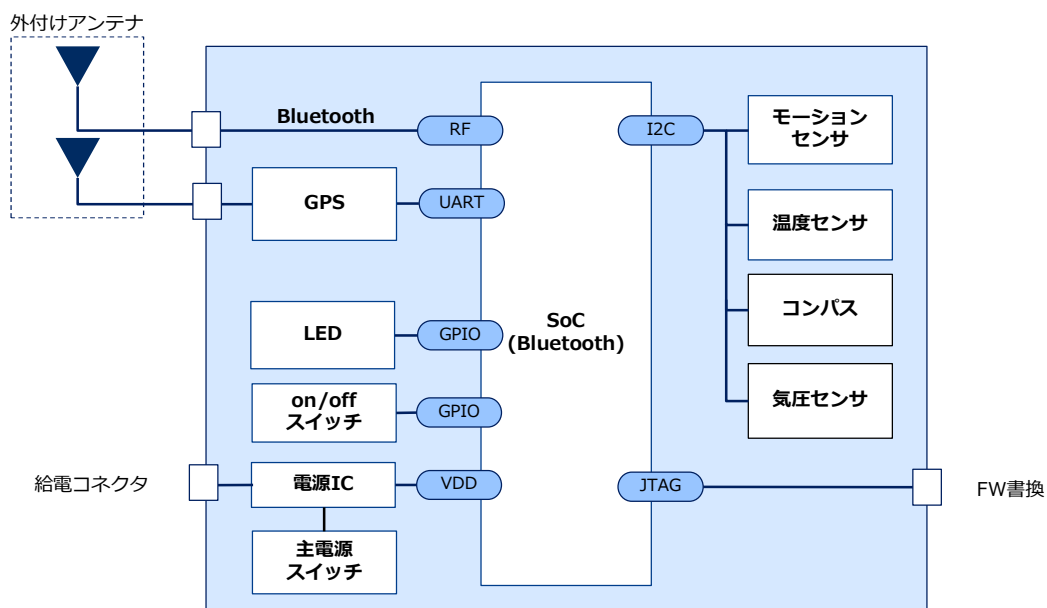


図 2.2.1.9-14 ブロック図

・質量・サイズ

制作した基板およびアンテナの質量を測定した結果を表 2.2.1.9-5 に示す。

目標値である 30g 以下を達成することができた。

表 2.2.1.9-5 基板およびアンテナ質量

基板質量	アンテナ質量	トータル質量
7 g	17 g	24 g

基板およびアンテナのサイズを図 2.2.1.9-15、図 2.2.1.9-16 に示す。

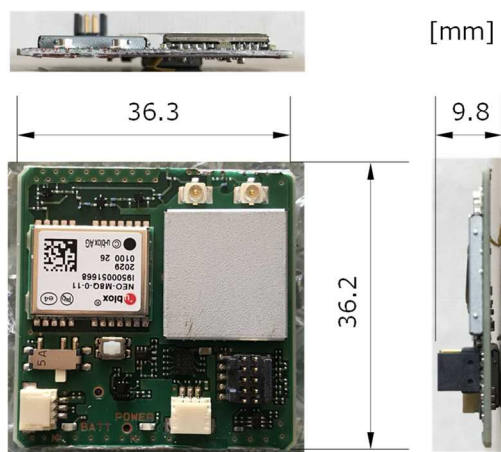


図 2.2.1.9-15 基板のサイズ

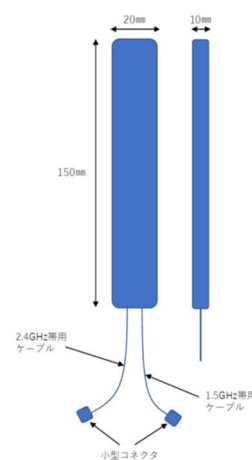


図 2.2.1.9-16 アンテナのサイズ

・通信距離

下記の通り通信距離の確認検証を行った。

- ①実施日：2021年3月9日
- ②場所：福島 ロボットテストフィールド
- ③飛行条件：高度140m、ホバリング、4方向
- ④受信端末：Xiaomi/Redmi Note 9S、Samsung/ Galaxy S10、Samsung/ Galaxy S20、ASUS/Zenfone
- ⑤受信位置：水平距離100mずつ移動して確認
- ⑥リモートID受信アプリ設定

送信単位秒数 1

送信回数 1

更新間隔 20

20秒間測定した後、アプリが表示する受信率を記録

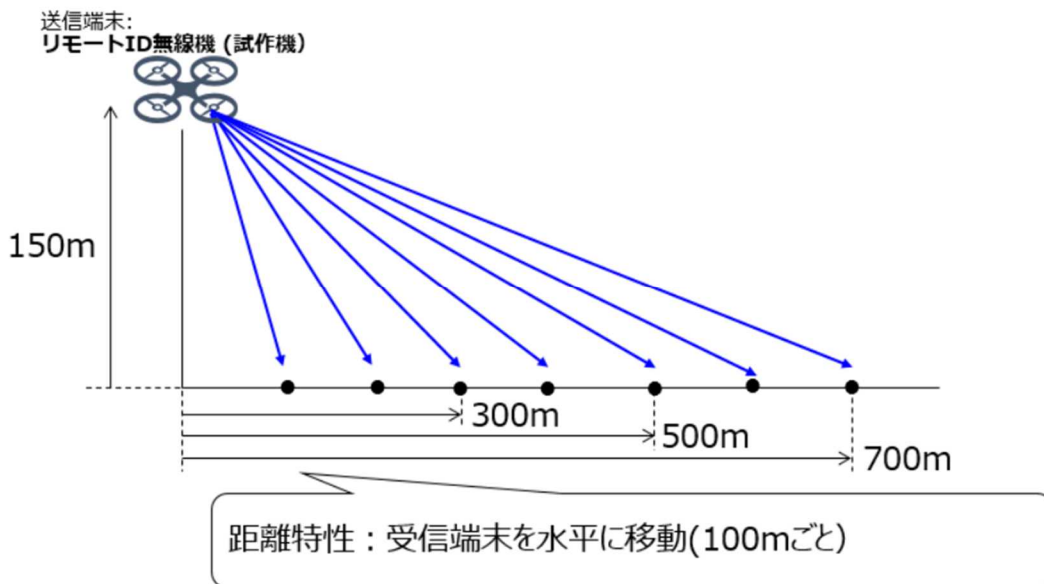


図 2. 2. 1. 9-17 通信距離の確認検証

確認結果を表 2. 2. 1. 9-7 通信距離の確認結果に示す。目標値である通信距離 300m において、概ね受信率 100%が確認できた。

表 2.2.1.9-7 通信距離の確認結果

受信機との 通信距離	無線機の 向き	受信率 [%]			
		Redmi	S10	S20	ZenFone
約100m	0	100.0	100.0	100.0	100.0
	90	100.0	100.0	100.0	100.0
	180	100.0	100.0	100.0	100.0
	270	100.0	100.0	100.0	100.0
約200m	0	100.0	52.2	91.3	78.3
	90	100.0	100.0	100.0	100.0
	180	100.0	100.0	100.0	100.0
	270	100.0	100.0	100.0	100.0
約300m	0	100.0	100.0	100.0	65.2
	90	100.0	100.0	95.7	100.0
	180	17.4	100.0	100.0	100.0
	270	100.0	54.2	100.0	100.0
約400m	0	44.4	0.0	40.0	17.4
	90	100.0	100.0	95.7	100.0
	180	100.0	75.0	54.5	58.3
	270	100.0	100.0	91.7	100.0
約500m	0	52.2	30.4	100.0	36.4
	90	100.0	100.0	100.0	100.0
	180	18.2	100.0	9.1	13.0
	270	100.0	100.0	100.0	100.0
約600m	0	0.0	47.8	16.7	12.5
	90	100.0	100.0	100.0	100.0
	180	9.1	0.0	22.7	0.0
	270	100.0	100.0	100.0	100.0
約700m	0	52.0	33.3	100.0	58.3
	90	100.0	100.0	100.0	100.0
	180	0.0	4.2	0.0	0.0
	270	100.0	100.0	100.0	100.0

・ 研究を通じた成果

質量の目標値である 30g を達成できた。

通信距離の目標値である 300m を達成できた。

・ 課題と今後の対応

100g の機体への搭載が可能となるよう更なる軽量化が課題である。

質量 10g を目標とし試作を行う。

#### 5.4. 研究開発項目「④-2. 識別情報管理プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」

##### 5.4.1. 「識別情報管理プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」(実施者：NEC)

本研究では ASTM 規格で規定されているデータフォーマット、接続シーケンスなどを踏まえたネットワーク方式リモート ID に対応した識別情報管理プラットフォームを開発し、機体に搭載された LTE 端末からのリモート ID を受け取って管理する実証検証を行った。

検証時のシステム構成を図 2.2.1.9-18 に示す。実証実験では福島ロボットテストフィールドにて実際に機体の飛行を行い、機体に搭載された LTE 端末からリモート ID を発信して検証を行った。LTE 端末から発信されたリモート ID は通信事業者が管理する LTE 基地局を介して民間 USS に渡し、民間 USS から識別情報管理プラットフォームに受け渡す流れで検証した。識別情報管理プラットフォームは受け取ったリモート ID を他システムへ連携するため、位置情報管理を模擬したサーバへデータ受け渡しを行う構成とした。

検証に使用したネットワーク方式リモート ID のデータフォーマットを表 2.2.1.9-8 に示す。検証では LTE 端末から発信されたリモート ID データを識別情報管理プラットフォームがリアルタイムで欠損なく受信できること、リモート ID がフォーマットに沿っていない場合は問題のあるデータとして検出できることを確認した。また、識別情報管理プラットフォームで受信したデータは位置情報管理を模擬したサーバへリアルタイムで欠損なく受け渡されることを確認し、ネットワーク方式でのリモート ID の識別および管理の実現が可能であることを確認できた。

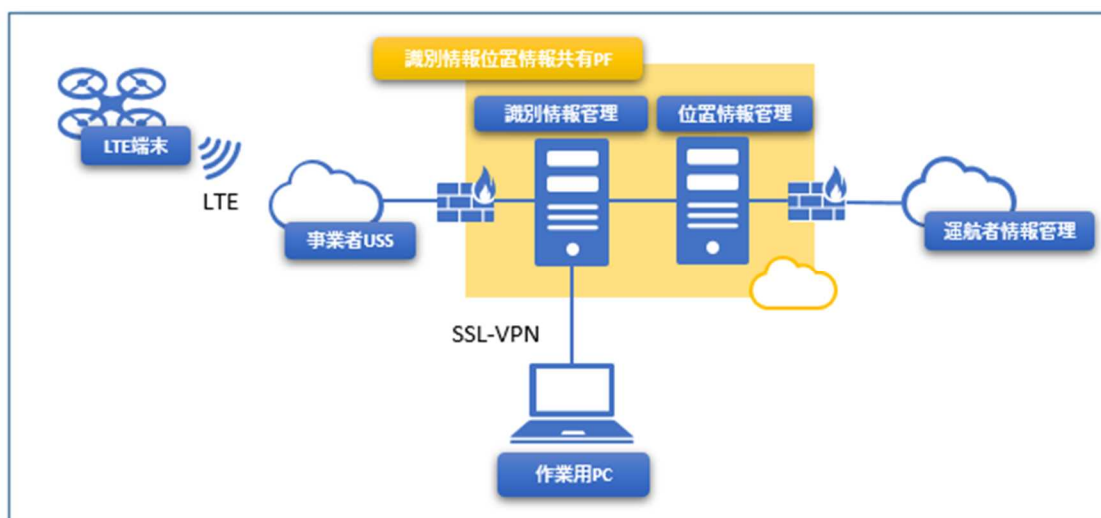


図 2.2.1.9-18 本研究で実証検証を行ったシステムの全体構成

表 2.2.1.9-8 機体識別情報受信・ネットワーク方式 API のデータフォーマット

項番	項目階層	論理項目名	物理項目名	必須	型	値域	説明
1	1	ID 情報	BasicID	○	object	—	ID 情報メッセージを格納。
2	2	ID 情報バージョン	BasicIDVersion	○	integer	0~15	ID 情報メッセージのバージョン。
3	2	機体 ID 種別・機体形式	IDUAType	○	integer	0~255	機体 ID の種別(上位 4bit) 0: なし 1: シリアル番号 (ANSI / CTA-2063-A) 2: CAA が割り当てた登録 ID 3: UTM が割り当てた UUID 機体の形式(下位 4bit) 0: なし 1: 飛行機 2: ヘリコプタ (or マルチローター) 3: ジャイロプレーン 4: ハイブリッドリフト 5: オーニソプター 6: グライダー 7: カイト 8: フリーバルーン 9: キャプティブバルーン 10: 飛行船 11: フリーフォール/パラシュート 12: ロケット 13: テザードパワード航空機 14: 地表障害物 15: その他
4	2	無人航空機 ID	UASID	○	string	64 文字以下	ID として UUID (Universally Unique Identifier) を使用する場合には文字列表記とすること。
5	1	位置情報	Location	○	object	—	位置情報メッセージを格納。
6	2	位置情報バージョン	LocationVersion	○	integer	0~15	位置情報メッセージのバージョン。



項番	項目階層	論理項目名	物理項目名	必須	型	値域	説明
7	2	機体状態・フラグ	StatusFlags	○	integer	0~255	機体の状態(上位 4bit) 0: なし 1: 地上 2: 上空 3-15: 予約済み フラグ(下位 4bit) Bit[3]: 予約済み Bit[2]: 高度種別 0: 離陸時 1: AGL Bit[1]: E/W 方向セグメント 0: < 180 1: ≥ 180 Bit[0]: 速度乗数 0: x0.25 1: x0.75
8	2	進行方位	Direction	○	integer	0~179	真北を 0° として時計回りの角度。(単位: 度)。エンコードした値を指定する。
9	2	速度	Speed	○	integer	0~255	秒速。エンコードした値を指定する。
10	2	垂直速度	SpeedVertical	○	integer	-127~124	垂直方向の秒速。エンコードした値を指定する。不明な場合の値 126。
11	2	緯度	Latitude	○	integer	-900000000~900000000	緯度。エンコードした値を指定する。不明な場合の値 Latitude, Longitude 共に 0。
12	2	経度	Longitude	○	integer	-1800000000~1800000000	経度。エンコードした値を指定する。不明な場合の値 Latitude, Longitude 共に 0。
13	2	気圧高度	AltitudeBaro		integer	0~65534	気圧高度。エンコードした値を指定する。
14	2	測地高度	AltitudeGeo	○	integer	0~65534	測地高度。エンコードした値を指定する。
15	2	高さ	Height		integer	0~65534	高度。エンコードした値を指定する。

項番	項目階層	論理項目名	物理項目名	必須	型	値域	説明
16	2	垂直精度・水平精度	HVAccuracy	○	integer	0~255	垂直精度(上位 4bit) 0: $\geq 150$ m or 不明 1: $< 150$ m 2: $< 45$ m 3: $< 25$ m 4: $< 10$ m 5: $< 3$ m 6: $< 1$ m 7-15: 予約済み 水平精度(下位 4bit) 0: $\geq 18.52$ km (10 NM) or 不明 1: $< 18.52$ km (10 NM) 2: $< 7.408$ km (4 NM) 3: $< 3.704$ km (2 NM) 4: $< 1852$ m (1 NM) 5: $< 926$ m (0.5 NM) 6: $< 555.6$ m (0.3 NM) 7: $< 185.2$ m (0.1 NM) 8: $< 92.6$ m (0.05 NM) 9: $< 30$ m 10: $< 10$ m 11: $< 3$ m 12: $< 1$ m 13-15: 予約済み
17	2	気圧高度精度・速度精度	BaSpAccuracy	○	integer	0~255	気圧高度精度(上位 4bit) 0: $\geq 150$ m or 不明 1: $< 150$ m 2: $< 45$ m 3: $< 25$ m 4: $< 10$ m 5: $< 3$ m 6: $< 1$ m 7-15: 予約済み 速度精度(下位 4bit) 0: $\geq 10$ m/s or 不明 1: $< 10$ m/s 2: $< 3$ m/s 3: $< 1$ m/s 4: $< 0.3$ m/s 5-15: 予約済み

項番	項目階層	論理項目名	物理項目名	必須	型	値域	説明
18	2	位置情報タイムスタンプ	TimeStamp	○	integer	0~36000	直近の正時からの秒数を10倍した時間。エンコードした値を指定する。 認証情報のTimeStampと同じ時点(同じ秒)の時刻情報であること。
19	2	タイムスタンプ精度	TSAccuracy	○	integer	0~255	時間精度 予約済み(上位4bit) 時間精度(下位4bit)
20	1	認証情報	Authentication	○	object	—	認証情報メッセージを格納。
21	2	認証情報バージョン	AuthenticationVersion	○	integer	0~15	認証情報メッセージのバージョン。
22	2	認証方式	AuthType	○	integer	0~15	認証方式 0: なし 1: UAS ID 署名 2: Operator ID 署名 3: メッセージセットの署名 4: ネットワークリモート ID によって提供される認証 5-9: 仕様のために予約済み 10-15: プライベートで利用可能 本APIを使用する場合、「4」を指定すること。
23	2	認証情報タイムスタンプ	TimeStamp	○	integer	0~2147483640	2019/1/1 0:00:00からの経過秒数(UTC)。 位置情報のTimeStampと同じ時点(同じ秒)の時刻情報であること。
24	2	認証データ	AuthData	○	string	148文字以下	認証情報の署名をBase64エンコードした文字列(改行なし)を指定。 値域の最大サイズは、ASTM規定の最大サイズ(109byte)のBase64エンコード後(改行なし)のサイズ。
25	1	セルフID	SelfID		object	—	セルフIDメッセージを格納。
26	2	セルフIDバージョン	SelfIDVersion		integer	0~15	セルフIDメッセージのバージョン。

項番	項目階層	論理項目名	物理項目名	必須	型	値域	説明
27	2	飛行説明種別	Type		integer	0~0	説明の種別 0: テキスト形式 1-200: 予約済み 201-255: 私的利用可能
28	2	飛行説明	Description		string	23 文字以下	飛行の説明。
29	1	システム情報	System		object	—	システム情報メッセージを格納。
30	2	システム情報バージョン	SystemVersion		integer	0~15	システム情報メッセージのバージョン。
31	2	オペレータ位置情報種別	Flags		integer	0~2	オペレータ (GCS) の位置情報の種別を指定する。 予約済み (上位 6bit) 位置情報 (下位 2bit) 0: 離陸時の位置 1: リアルタイムに変化する操縦者の位置 2: 本部等の固定の位置
32	2	オペレータ位置情報緯度	OpLatitude		integer	-900000000~900000000	操縦者の緯度。エンコードした値を指定する。 不明な場合の値 Latitude, Longitude 共に 0。
33	2	オペレータ位置情報経度	OpLongitude		integer	-1800000000~1800000000	操縦者の経度。エンコードした値を指定する。 不明な場合の値 Latitude, Longitude 共に 0。
34	2	エリア総無人機数	AreaCount		integer	0~65000	飛行するグループでの総無人機数。
35	2	エリア円柱半径	AreaRadius		integer	0~250	飛行するグループの円柱領域の半径。実半径の 1/10 の値を指定する。エンコードした値を指定する。
36	2	エリア最高飛行高度	AreaCeiling		integer	0~65534	飛行するグループの最高飛行高度。エンコードした値を指定する。
37	2	エリア最低飛行高度	AreaFloor		integer	0~65534	飛行するグループの最低飛行高度。エンコードした値を指定する。
38	1	オペレータ情報	OperatorID		object	—	オペレータ情報メッセージを格納。

項番	項目階層	論理項目名	物理項目名	必須	型	値域	説明
39	2	オペレータ情報バージョン	OperatorID Version		integer	0~15	オペレータ情報メッセージのバージョン。
40	2	オペレータID種別	OperatorID Type		integer	0~255	オペレータID種別 0:オペレータID 1-200:予約済み 201-255:私的利用可能
41	2	オペレータID	OperatorID		string	20文字以下	オペレータID

実際に飛行中の機体に搭載したLTE端末から発信されたリモートIDについて、図2.2.1.9-19に示す計測点で時刻の確認し、区間ごとの所要時間を算出した。所要時間の結果を表2.2.1.9-9に示す。所要時間としては、リモートIDがLTE端末から発信されてから識別情報管理プラットフォームへ到達するまでの区間Aにかかる時間が支配的となっており、プラットフォーム部分については比較的少ない所要時間であることを確認した。

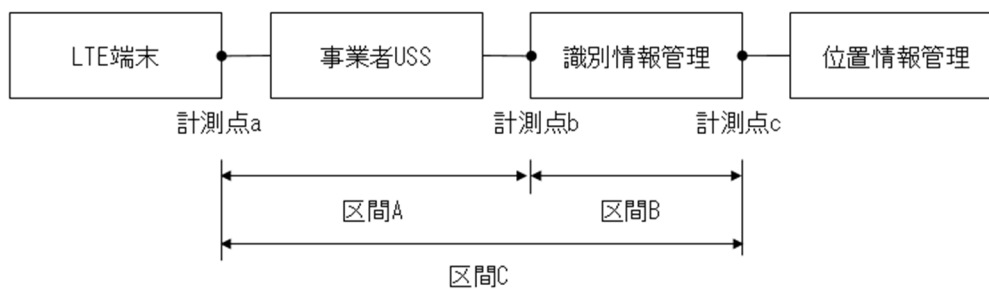


図 2.2.1.9-19 所要時間の計測箇所

表 2.2.1.9-9 所要時間評価結果

区間	計測点始点	時刻 1	計測点終点	時刻 2	所要時間 [msec]
飛行速度 10 m/s					
A	計測点 a	12:12:10.256	計測点 b	12:12:13.487	3231
B	計測点 b	12:12:13.487	計測点 c	12:12:13.493	6
C	計測点 a	12:12:10.256	計測点 c	12:12:13.493	3237
飛行速度 5 m/s					
A	計測点 a	12:15:21.362	計測点 b	12:15:24.547	3185
B	計測点 b	12:15:24.547	計測点 c	12:15:24.554	7
C	計測点 a	12:15:21.362	計測点 c	12:15:24.554	3192
飛行速度 15 m/s					
A	計測点 a	12:16:18.006	計測点 b	12:16:21.554	3548
B	計測点 b	12:16:21.554	計測点 c	12:16:21.560	6
C	計測点 a	12:16:18.006	計測点 c	12:16:21.560	3554

・ 研究を通じて得られた課題と今後の対応

今回の研究では、識別情報管理プラットフォームにおいて ASTM 規格に従ったネットワーク方式リモート ID へ対応し管理する仕組みを実現することができた。

リモート ID のセキュリティ観点での検証については、LTE 通信網での識別情報を識別情報管理プラットフォームで取り扱うことが困難なため、識別情報管理プラットフォームでは実施が難しいと判断している。今後の取り組みとして、ネットワーク方式においてセキュリティ観点で検証するための仕組みや、どのような機関又は事業者が仕組みを構成するか検討、議論が必要となる。

社会実装へ向けては機体へ一意なリモート ID を割り振る機関、リモート ID を機体へ登録する仕組みが必要となってくる。リモート ID の割り振りは公的機関又は公的機関に認められた事業者、リモート ID を機体へ登録する仕組みは機体メーカー等の事業者がステークホルダーと考えられ、官民で検討を進めていく必要がある。また、ネットワーク方式リモート ID の課題として、リモート ID を発信しているとどこにいても位置情報が識別情報管理プラットフォームへ送信できてしまうため、機体所有者の居住地や現在位置が意図せず漏洩する懸念がある。対策としてリモート ID を発信中であることを機体所有者が目視で確認できる仕組みや、飛行中でない場合はリモート ID を発信しないといった対応が考えられる。

社会実装後には全国を飛行する無数の機体からデータが集まってくることが想定され、今後の対応としては大量通信に耐えられてかつ、データ量に応じてスケールイン/アウトできるインフラ構成とすることが望ましい。

## 5.5. 研究開発項目「④-8. ブロードキャスト方式のセキュリティにおける共通鍵技術の検証」

### 5.5.1. 「ブロードキャスト方式のセキュリティにおける共通鍵技術の検証」(実施者：NEC)

本研究では、ブロードキャスト方式における認証情報のセキュリティ対策として、共通鍵暗号方式を用いた機体認証のためのデータ形式や運用シーケンスを検討し、実機評価により検証を行った。

検証時のシステム構成を図 2.2.1.9-20 に示す。実機評価では福島ロボットテストフィールドにて無人航空機の飛行を行い、無人航空機に取り付けたリモート ID デバイスから共通鍵暗号方式を用いて生成した認証情報を含むリモート ID を BLE 通信により発信させた。リモート ID は地上設備であるスマートフォンで受信、識別情報共有プラットフォームへ伝送し、プラットフォームにて共通鍵暗号方式により機体認証が可能であることを確認した。識別情報共有プラットフォームは認証結果を含むリモート ID 情報を位置情報共有プラットフォームへ連携し、スマートフォンから位置情報共有プラットフォームへ結果を取得しに行く構成とした。飛行中に現地スマートフォンで認証結果が参照できることを確認し、共通鍵暗号方式を用いた機体認証の実現が可能であることを確認できた。

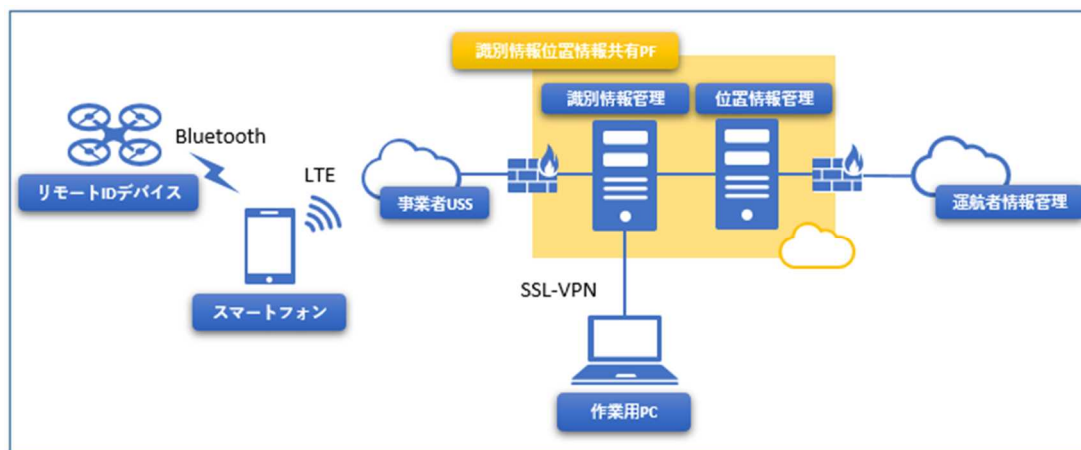


図 2.2.1.9-20 本研究で実証検証を行ったシステムの全体構成

実機評価ではなりすましのリモート ID デバイスを用意しての検証も実施した。なりすましのケースとしては登録記号を詐称しているケース、他の無人航空機から発信されたリモート ID を盗聴しリプレイ発信するケースが考えられるため、2 ケースの検証を実施した。登録記号を詐称しているケースについては全データで機体認証 NG となり、なりすまし機体として検知できることを確認した。他の無人航空機から発信されたリモート ID をリプレイ発信するケースについては、過去に飛行していたデータを保管しリプレイ発信しているパターンではなりすまし機体として検知した。正しい無人航空機が発信している最中のものを別のリモート ID デバイスでリプレイ発信しているパターンでは、なりすまし機体としては検知できなかった。ただし、ブロードキャスト方式においては無人航空機が飛行しているエリアに機体認証結果を参照するユーザがおり、その場でリプレイ発信している機体がいればリモート ID の位置情報からどの機体になりすまし機体かは目視で判別することができると言える。



共通鍵技術の検証としては、従前の研究開発であるデジタル署名方式との比較検証も実施した。テストデータを用いて従前のデジタル署名方式、今回の共通鍵暗号方式それぞれについて機体識別情報共有プラットフォーム内の処理時間を測定した結果を図 2.2.1.9-21 および図 2.2.1.9-22 に示す。処理時間の観点においては、機体識別情報を流し始めた過渡状態の最大処理時間、定常状態の平均処理時間共に今回の共通鍵暗号方式の方が短い時間となっており、負荷が小さいということを確認した。セキュリティ堅牢度としては、認証情報の生成に使用する機体秘密鍵をネットワークでやり取りすることがないデジタル署名方式の方が、認証情報生成に使う共通鍵の情報をネットワーク上でやり取りする共通鍵暗号方式と比較するとより堅牢であると言える。しかし、運用面としては、デジタル署名方式では認証局に相当する機関やシステムが必要となること、認証局と機体識別情報共有プラットフォームの間で CA 公開鍵の受け渡しが必要となることから実現にはハードルが高いと考えられる。社会実装へ向けてはこれらのメリットデメリットを加味して方式を選択することが望ましい。

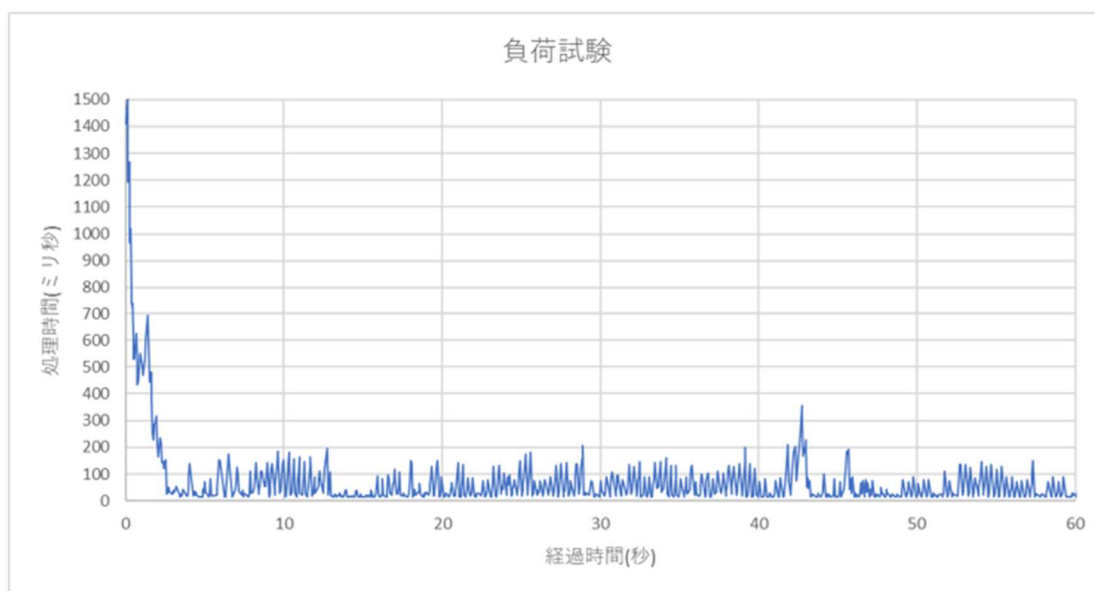


図 2.2.1.9-21 処理時間測定結果（従前のデジタル署名方式）

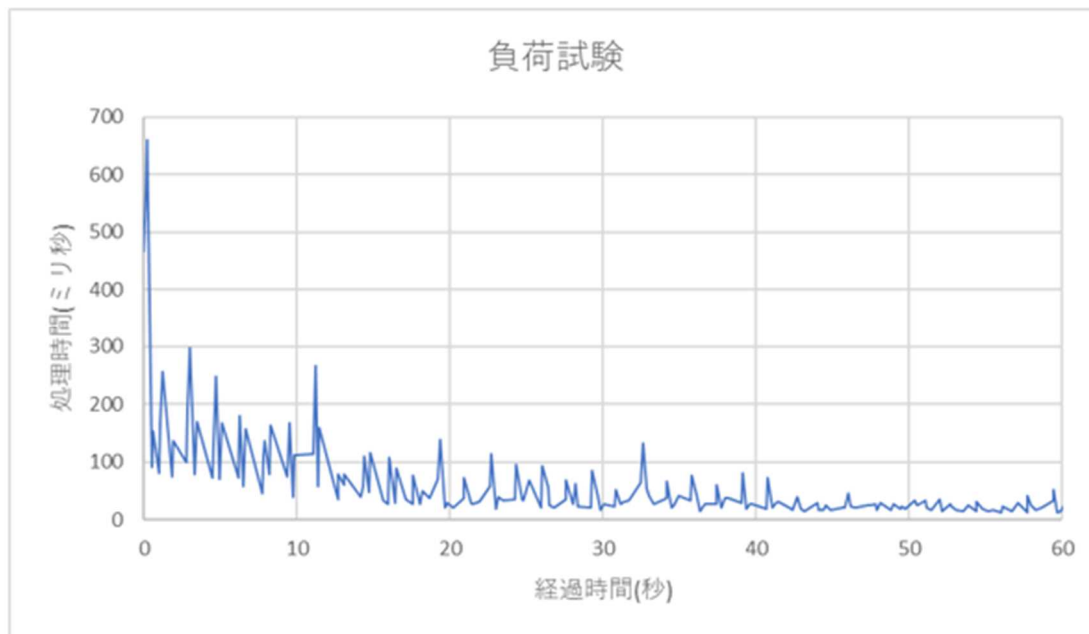


図 2. 2. 1. 9-22 処理時間測定結果（今回の共通鍵暗号方式）

・ 研究を通じて得られた課題と今後の対応

本研究では、ブロードキャスト方式において共通鍵暗号方式を用いて機体認証する仕組みを実現し検証することができた。

社会実装へ向けては認証情報を生成するために使用する共通鍵の情報をプラットフォームからリモート ID デバイスへ受け渡す通信区間において盗聴等のセキュリティリスクを排除する対策の検討が必要となる。

今回の研究では暗号方式として AES-CBC を採用したが、暗号技術を取り巻く環境は常に変化しており、将来に渡って安全が保障される方式は存在していない。総務省および経済産業省が策定している「電子政府における調達のために参照すべき暗号のリスト」に掲載されている推奨暗号技術も随時見直しがされているため、リモート ID の社会実装後についても使用する暗号方式の見直しを適宜行う必要がある。社会実装へ向けては、使用する暗号方式を将来変更することができるよう、インターフェース仕様等で配慮することが求められる。

実機評価においては、事前に詳細なインターフェース仕様の共有を行っていたが、仕様認識齟齬等により疎通確認を複数回実施する必要があった。本システムに限らず、異なるシステム間で通信を行う場合は疎通確認を行ったり、通信規格として広く公開されているものは認証機関が規格に準拠している製品か認証試験を行ったりすることで正しく動作するものとしている。社会実装フェーズにおいては国内外の多数の事業者がリモート ID に対応した製品、サービスを展開することが考えられるため、製品、サービスが規定に沿ったものであることが保障できる仕組みが必要となる。

## 5.6. 研究開発項目「④-10. リモート ID デバイスの共通鍵の管理技術の開発」

### 5.6.1. 「リモート ID デバイスの共通鍵の管理技術の開発」(実施者：NEC)

本研究ではリモート ID デバイス内に共通鍵暗号化方式で使用する共通鍵を安全に管理する方式を検討し、評価用のリモート ID デバイス、スマートフォンアプリ、プラットフォームを開発した。実現性検証としては福島ロボットテストフィールドにて飛行前のリモート ID デバイスへスマートフォンアプリを用いて共通鍵の情報を書き込み、飛行中にリモート ID デバイスから発信されたリモート ID の認証情報をプラットフォーム側で検証できることを確認した。図 2.2.1.9-23 に実証検証時のシステム構成を示す。

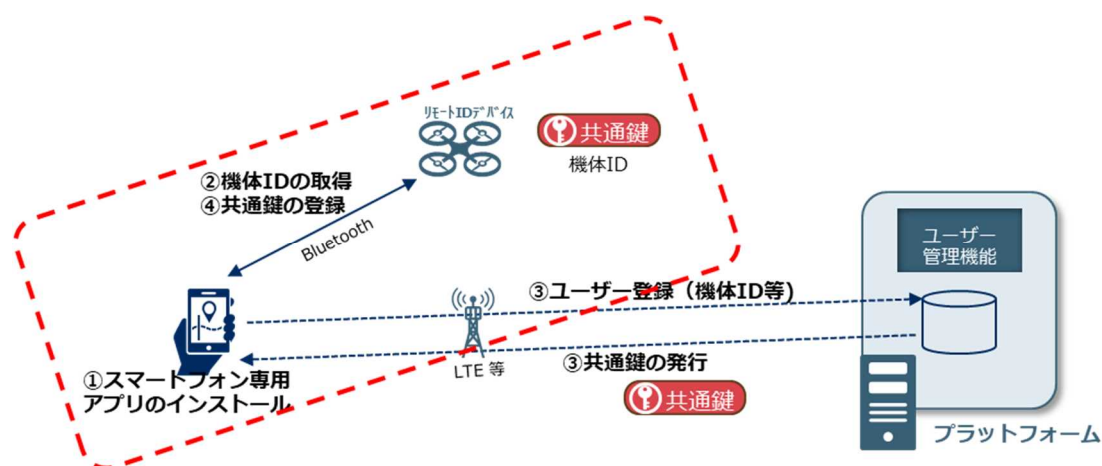


図 2.2.1.9-23 実証検証時のシステム構成

検証は Android OS 端末および iOS 端末を使用して実施した。スマートフォンアプリからユーザー管理機能へのユーザー登録を行い、ユーザー管理機能から発行された機体 ID および共通鍵の情報をリモート ID デバイスへ書き込む流れで正常パターンおよび通信不安定等の異常パターンの動作を確認した。正常パターンにおいてはリモート ID デバイス側に機体 ID と共通鍵の情報が格納されていることを確認した。図 2.2.1.9-24、図 2.2.1.9-25 に検証時のスマートフォンアプリ画面をサンプルとして記載する。



図 2. 2. 1. 9-24 リモート ID 設定アプリ評価画面（ユーザー登録処理）



図 2. 2. 1. 9-25 リモート ID 設定アプリ評価画面（リモート ID 書き込み処理）

・ 研究を通じて得られた課題と今後の対応

今回の研究では、リモート ID デバイス内に共通鍵暗号化方式で使用する共通鍵を安全に管理する仕組みを実現することができた。

社会実装へ向けては、リモート ID デバイスへの書き込みコマンドで受け渡すデータの精査や共通鍵の有効期限を管理する仕組みの検討、リモート ID デバイスへの書き込みインタフェースについて標準化が必要となる。

今回検証で開発したユーザー登録機能に相当する、機体 ID および共通鍵を生成する仕組み

については公的機関で用意することとなる。機体ユーザより申請を受け付けるところから機体 ID および共通鍵を発行するところまでの制度化が求められる。

リモート ID デバイス側の課題としては、機体 ID および共通鍵が書き込まれるまではリモート ID を発信しても識別情報管理プラットフォーム等でリモート ID の正当性を検証できないため、飛行できないようにするといった対応策の検討が必要となる。また、悪意を持ったユーザが機体 ID および共通鍵の情報を抜き出したりすることがないように、リモート ID デバイスで安全に管理する対応についてデバイスメーカーへ義務付けるといった対策も検討されるべきと考えている。

## 5.7. 研究開発項目「④-11. 小型無人航空機へ搭載するブロードキャスト方式リモート ID の開発」

### 5.7.1. 「小型無人航空機へ搭載するブロードキャスト方式リモート ID の開発」(実施者：NEC)

リモート ID 技術企画書(案)で提示されたデータフォーマット、通信方式に合わせた Bluetooth5.0 を採用したブロードキャスト方式リモート ID デバイスとして以下の通り開発および検証を行った。

なお、小型無人航空機へ搭載するため、質量は 10g 以下(バッテリーなし)を目標とした。

#### ・軽量化の方針

ブロードキャスト方式リモート ID デバイスとして質量 24g は達成した。内訳として、基板が 7g、アンテナが 17g であった。

さらに軽量化し質量 10g を実現するにあたり、基板としては冗長機能を実装していないことから、基板については基本的な構成は変えず質量 7g とし、アンテナの質量を 3g に軽量化する方針とした。

#### ・アンテナ

ブロードキャスト方式リモート ID デバイスのアンテナを図 2.2.1.9-26 に示す。軽量化を最優先とするため、アンテナエレメントを覆う外装樹脂はなしとした。

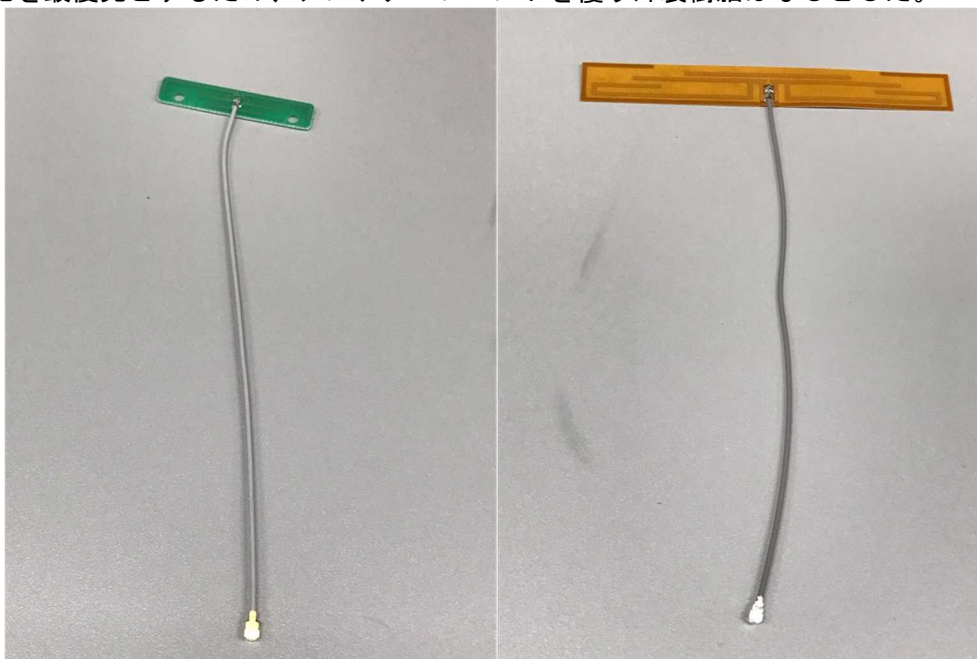


図 2.2.1.9-26 Bluetooth/GPS アンテナ

#### ・質量・サイズ

製作した基板およびアンテナの質量を測定した結果を表 2.2.1.9-10 に示す。

目標値である 10g 以下を達成することができた。

基板およびアンテナのサイズを図 2.2.1.9-27～図 2.2.1.9-29 に示す。

表 2.2.1.9-10 基板およびアンテナの質量

基板質量	アンテナ質量	トータル質量
7 g	3 g	10 g

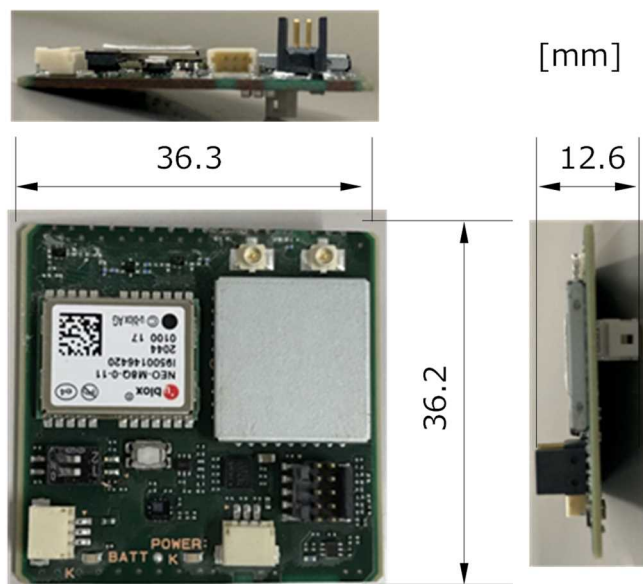


図 2.2.1.9-27 基盤

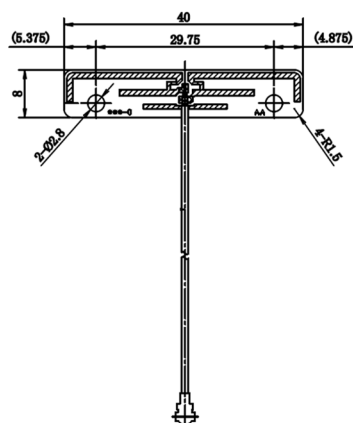


図 2.2.1.9-28  
Bluetooth アンテナ

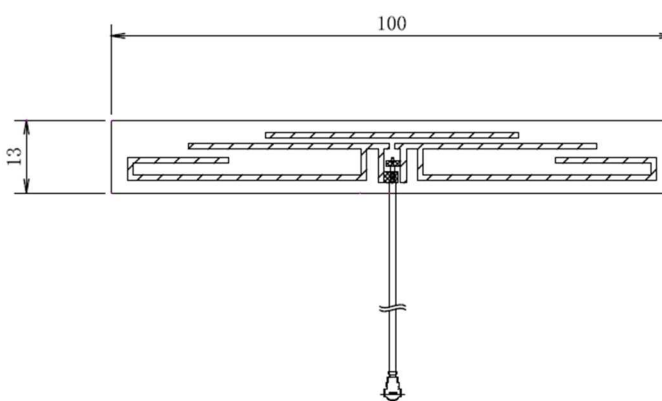


図 2.2.1.9-29  
GPS アンテナ

・通信距離

下記の通り通信距離の確認検証を行った。

- ①実施日：2021年12月14日～16日
- ②場所：福島 ロボットテストフィールド 浪江町滑走路
- ③飛行条件：高度140m、ホバリング、4方向
- ④受信端末：Xiaomi/Redmi Note 9S、Samsung/ Galaxy S10、Samsung/ Galaxy S20、ASUS/Zenfone 富士通/arrows Be4
- ⑤受信位置：水平距離100m ずつ移動して確認



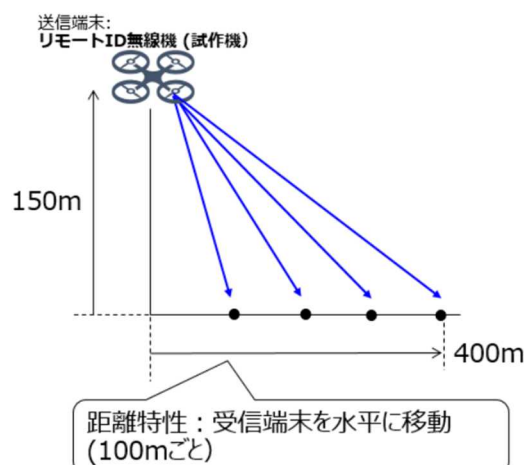


図 2. 2. 1. 9-30 通信距離の確認検証

確認結果を表 2. 2. 1. 9-10 に示す。

目標値である通信距離 300m において、概ね受信率 100%が確認できた。

表 2. 2. 1. 9-10 通信距離の確認結果

受信機との 通信距離	無線機の向き	受信率 [%]				
		Redmi	S10	S20	ZenFone	arrows
約100m	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	90	48.0	100.0	72.0	33.3	0.0
	180	100.0	50.0	100.0	100.0	100.0
	270	50.0	100.0	58.3	100.0	0.0
約200m	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	90	29.2	29.2	20.8	100.0	12.5
	180	100.0	10.0	100.0	100.0	100.0
	270	100.0	0.0	41.7	100.0	0.0
約300m	0	100.0	91.7	100.0	100.0	100.0
	90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	180	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	270	100.0	37.5	100.0	100.0	0.0
約400m	0	100.0	0.0	100.0	100.0	-
	90	0.0	-	0.0	0.0	0.0
	180	0.0	100.0	96.0	100.0	100.0
	270	0.0	4.0	4.0	0.0	0.0

・ 研究を通じた成果

質量の目標値である 10g を達成できた  
通信距離の目標値である 300m を達成できた

・ 研究を通じて得られた課題と今後の対応

通信距離 300m において、無線機向き 0° および 180° では良好な受信率を得たが、90° では受信率が低い結果となった。

これはアンテナの指向性によるものと考えられる。

社会実装に向けては全方位で受信可能となるよう指向性を調整する設計が必要である。

ただし、指向性は実装される無人航空機機体の構造によっても変化することが想定され

るため注意が必要となる。

日立製作所

## 5.8. 研究開発項目「①-2. 位置情報共有プラットフォームの研究」

### 5.8.1. 「位置情報共有プラットフォームの開発」(実施者：日立製作所)

リモート ID/その他センサで取得される位置情報を集約し情報共有する方法について、適切なデータ連携が行える設計となるように、位置情報共有プラットフォームにおけるデータ形式およびデータ管理方法、API (Application Programming Interface)、運用シーケンスの設計を行った。また、図 2.2.1.9-31 に示す通り位置情報共有プラットフォームと関連システム(無人航空機運航管理システムサービス提供者(USS)、機体識別情報共有プラットフォーム、有人機・無人航空機飛行情報共有システムおよび携帯電話位置情報共有サーバ)の関係性および構成を整理し、システムアーキテクチャおよびシステム間連携向けインタフェースの仕様を策定した。その結果を元に、位置情報共有プラットフォームのプロトタイプを製造し、動作検証およびインタフェースによる情報交換の有用性を評価した。

さらに、プロトタイプ検証で得られた成果、課題をベースとし、位置情報共有プラットフォームの機能改善およびリモート ID 技術規格書で定義されたデータフォーマットに則ったインタフェース仕様の改定を行い実証試験を行った。

実証試験では異なる USS に接続されたブロードキャスト方式又はネットワーク方式でリモート ID を発信する無人航空機を飛行させて試験を行った。ブロードキャスト方式とはドローンに搭載された送信機からリモート ID を発信する方式の一つで送信機から地上の受信機に直接リモート ID を送信する方式である。試験では地上受信機が USS にリモート ID を送信することで位置情報共有プラットフォームにリモート ID が共有される。ネットワーク方式はドローンに搭載された送信機からインターネットを介してリモート ID を発信する方式である。

試験において以下の 2 点を確認することができた。

- ・ リモート ID 技術規格書(案)にて定義された登録記号など機体識別に必要な情報が共有されていること
- ・ 複数の方式で収集した無人航空機の位置情報をクライアントに共有できていること

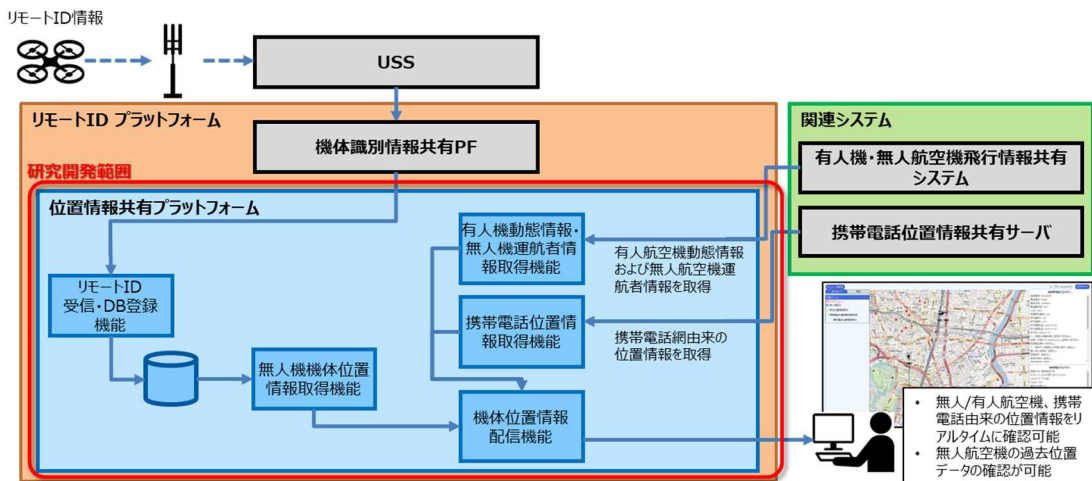


図 2.2.1.9-31 位置情報共有プラットフォーム全体構成図

(地図出展：OpenStreetMap © OpenStreetMap contributors

<https://www.openstreetmap.org/copyright>)

また、位置情報共有プラットフォームとロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクトで開発している運航管理統合機能 FIMS (Flight Information

Management System) との連携方式を検討した。図 2.2.1.9-32 に示す通り運航管理対象外 (=FIMS に接続されていない) の無人航空機の位置情報を位置情報共有プラットフォームから FIMS に共有し、運航管理対象および運航管理対象外の無人航空機の位置情報を集約する方式とした。本検討結果を位置情報共有プラットフォームに実装し、FIMS と接続した実証試験を行った。

実証試験では、位置情報共有プラットフォームで収集した無人航空機位置情報を FIMS に送信し、ブロードキャスト方式リモート ID の無人航空機など運航管理対象外 (=FIMS に接続されていない) の無人航空機の位置情報を FIMS に共有できることを確認した。

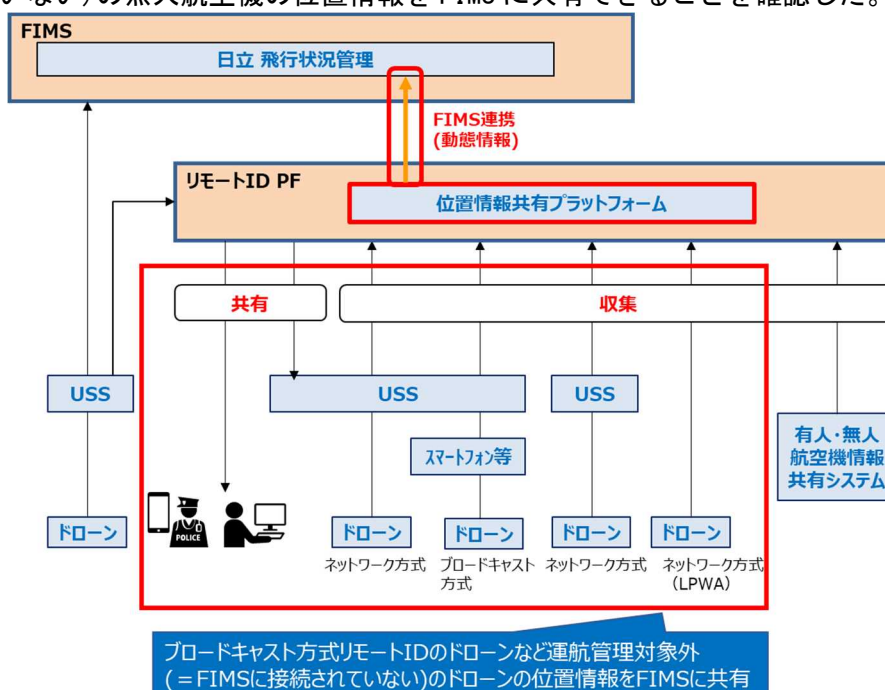


図 2.2.1.9-32 FIMS-位置情報共有プラットフォーム間連携

### 5.8.2. 「位置情報による無人航空機識別の研究」(実施者：日立製作所)

無人航空機が発信するリモート ID に含まれる位置情報の改ざんを検知することを目的に、無人航空機に搭載された携帯電話の携帯電話網由来の位置情報と無人航空機が発信するリモート ID に含まれる位置情報を比較(相関処理)することで、位置情報による機体識別を行う機能について検討した。リモート ID に含まれる位置情報と同時刻の携帯電話網由来の位置情報の位置情報が大きく異なる場合はリモート ID に含まれる位置情報が改ざんされている可能性がある。検討した機能を位置情報共有プラットフォームに実装し図 2.2.1.9-33 に示す通り無人航空機の位置情報と携帯電話網由来の位置情報が連携できることを確認した。

相関ありの場合



※左右で地図のスケールが異なる

相関無しの場合 (なりすましの可能性あり)



図 2. 2. 1. 9-33 相関処理による機体識別

(地図出展 : OpenStreetMap © OpenStreetMap contributors

<https://www.openstreetmap.org/copyright>)

### 5. 8. 3. 「機体位置情報のセキュリティに関する研究」(実施者 : 日立製作所)

有人・無人航空機飛行情報共有システム、機体識別情報共有プラットフォーム、位置情報共有プラットフォームおよび無人航空機運航管理システム間通信における情報漏えい、なりすまし、データ偽造などによるサイバーセキュリティリスクを考慮し、位置情報共有プラットフォームに係わるセキュリティ対策方式について評価対象定義、脅威抽出、リスク評価、発生要因の分析、対策方針立案のステップで検討した。

本研究では、セキュリティ対策として以下を行う機能を位置情報共有プラットフォームに実装し、検証・評価を行った。

- ・ SSL/TLS によるシステム間通信の暗号化
- ・ 無人航空機以外のソースより取得した位置情報 (携帯電話位置情報) の活用による位置情報のなりすまし防止、信頼性向上
- ・ ユーザ権限 (一般ユーザ、特権ユーザ) に応じた適切な情報開示

## 5.9. 研究開発項目「④-3. 位置情報共有プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」

### 5.9.1. 「位置情報共有プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」(実施者：日立製作所)

国際標準機関の1つである ASTM International が 2020 年 2 月に公開したリモート ID のデータフォーマットおよびデータ項目定義を参考に、ネットワーク方式でのデータ管理方法およびデータ共有方法を検討しネットワーク方式リモート ID に対応した評価用の位置情報共有プラットフォームを製造し、動作検証を実施した。動作検証では図 2.2.1.9-34 に示す通りブロードキャスト方式の地上ネットワーク経由での位置情報の登録および、LTE 無線通信機を搭載したネットワーク方式での位置情報の登録を行った。あわせて図 2.2.1.9-35 に示す通り ASTM International のデータフォーマット対応により追加された操縦者位置情報を表示できることを確認した。本機能については該当無人航空機と操縦者の位置情報を線で結んで表示することができるように位置情報共有プラットフォームに実装した。

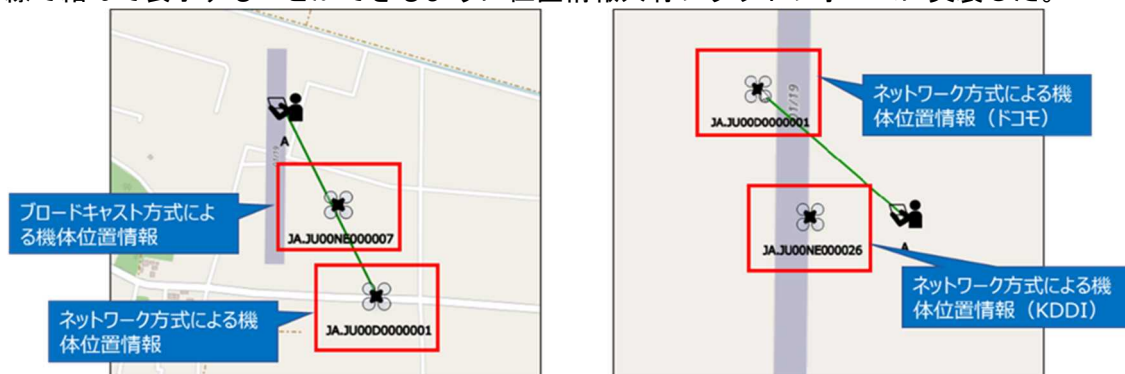


図 2.2.1.9-34 ネットワーク方式における機体位置情報表示結果

(地図出展：OpenStreetMap © OpenStreetMap contributors

<https://www.openstreetmap.org/copyright>)



図 2.2.1.9-35 操縦者位置情報の表示結果

(地図出展：OpenStreetMap © OpenStreetMap contributors

<https://www.openstreetmap.org/copyright>)

また、図 2.2.1.9-36 に示す通りネットワーク方式では無人航空機から発信された情報が情報を確認したい利用者の受信端末に到着するまでに複数のネットワーク、システムを経由するため、データを発信した無人航空機の実際の位置と受信端末に表示される無人航空機の位置に差が発生する可能性がある。このため、受信端末に表示される無人航空機の位置



を、リモート ID の時刻、速度などから補正する機能についても検討、実装し実証試験を行った。

実証試験においてリモート ID に含まれる位置情報・進行方向・速度を元に、位置情報補正機能により補正した位置情報と実際の無人航空機の位置情報について距離差分を算出し評価した。評価の結果、補正した位置と受信端末に表示時の実際の飛行位置を比較しても大きな位置誤差は見られず、位置情報補正機能による位置補正の有用性を確認することができた。今回の研究では直線上に飛行する無人航空機の位置情報補正について有用性を確認することができたが、今後はさまざまな速度や飛行経路に対応した位置情報補正機能の設計、評価が必要である。

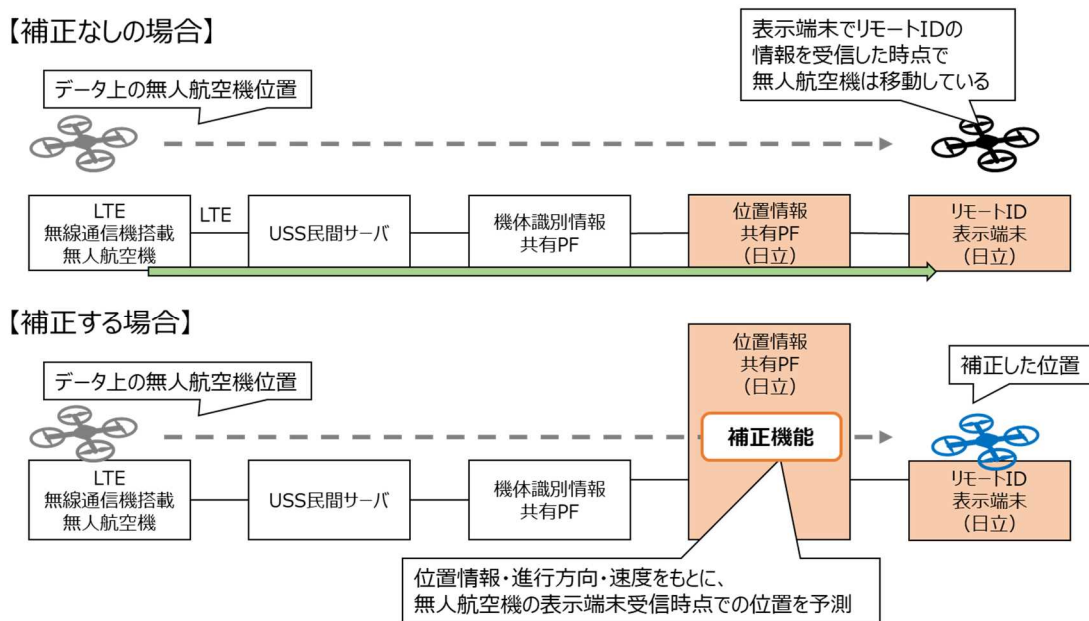


図 2. 2. 1. 9-36 位置情報補正機能



NTTドコモ

5.10. 研究開発項目「①-3. 情報共有プラットフォームへの携帯電話網から得られる情報提供に係る研究」

5.10.1. 「情報共有プラットフォームへの携帯電話網から得られる情報提供に係る研究」  
(実施者：NTTドコモ)

本研究開発では、情報共有プラットフォームへ提供することで、リモート ID の妥当性検証に活用することが期待される携帯電話網固有の情報を特定し、その情報の取得方法及び情報共有プラットフォームへの提供のアーキテクチャを定義した。

さらに、その内容を元に、無人航空機から情報共有プラットフォームまで連携するための各種インタフェース仕様等を設計し、その内容を元に試作システムを開発し、福島ロボットテストフィールドでの検証を実施した。

結果としては、想定通り無人航空機から情報共有プラットフォームに対して、リモート ID とは異なる場所で管理されている携帯電話網固有の情報の連携を確認することができ、さらにリモート ID の妥当性検証への有用性についても確認することができた。

この成果は、リモート ID を送信するのに付随して得られる携帯電話網固有の識別情報や位置情報が、リモート ID の信憑性確保に資する手段であることを示しており、今後のリモート ID における不正防止手段の一助になり得るものである。

5.11. 研究開発項目「④-6. 携帯電話網を活用したネットワーク方式リモート ID の開発」

2.5.11.1. 「携帯電話網を活用したネットワーク方式リモート ID の開発」(実施者：NTTドコモ)

本研究開発では、ネットワーク型リモート ID 方式を評価するため、ASTM (F3411-19) の内容をベースに、システム構成を定義した。

またそのシステム構成と合わせて、ネットワーク型リモート ID の実現において必要な機能についても定義した。

システム構成においては、無人航空機から USS 間及び USS から情報共有プラットフォーム間の通信環境の一部に、携帯電話網に直結した専用通信環境を利用することとした。

上記で定義した内容を元に、ネットワーク型リモート ID を実現するためのシステムを開発し、検証を実施した。

検証においては、無人航空機に搭載された移動体端末より USS に対してリモート ID を送信するのにかかった所要時間を計測することとし、比較検証のため、携帯電話網直結の専用通信での試験環境のほかに、通常利用されている公衆通信環境を経由してネットワーク型リモート ID を USS へ送信する試験環境も準備した。

検証の結果、両環境において、リモート ID は短時間で送信されており、平均の所要時間においては、大きな差は見られなかった。

一方、通信環境の安定性については、公衆通信環境に比べて、専用通信環境のほうが安定していることが、明らかとなった。

この成果より、ネットワーク型リモート ID の通信環境（専用通信環境/公衆通信環境）における所要時間の平均は大きな差がないことが明らかになり、今後、利用ユースケースに応じた実現の検討情報の一助となった。

KDDI

## 5.12. 研究開発項目「①-4. 機体識別および位置把握のための通信アーキテクチャの研究」

### 5.12.1. 「機体識別および位置把握のための通信アーキテクチャの研究の評価」(実施者：KDDI)

各年度の成果を以下に示す。具体的な成果については、各サブテーマにて後述する。

#### 【2019年度の成果】

無人航空機の遠隔機体識別技術について、ASTM等における標準化動向、欧州や米国等の制度検討において選定されている方式等の動向を調査した。その上で、遠隔機体識別への適用が可能な通信方式としてBluetooth4.X、Bluetooth5、Wi-Fi、LPWA、LTEを抽出し、通信性能や耐干渉性、セキュリティ等の比較を整理すると共に、各方式の送信データ項目、使用可能なデバイスの動向を整理した。これらの検討結果を踏まえ、各方式についてフィールド試験に向けた通信装置やネットワーク構成を検討した。

#### 【2020年度の成果】

機体識別および位置把握に関わる技術や方式の欧米の制度化・標準化の動向および本プロジェクト参画各社の取り組み踏まえた協議に基づき、図2.2.1.9-37に示す通信アーキテクチャ全体を取りまとめた。本構成に基づき、2021年3月の福島ロボットテストフィールドにて、有人航空機、無人航空機側システムそれぞれで実証を実施した。

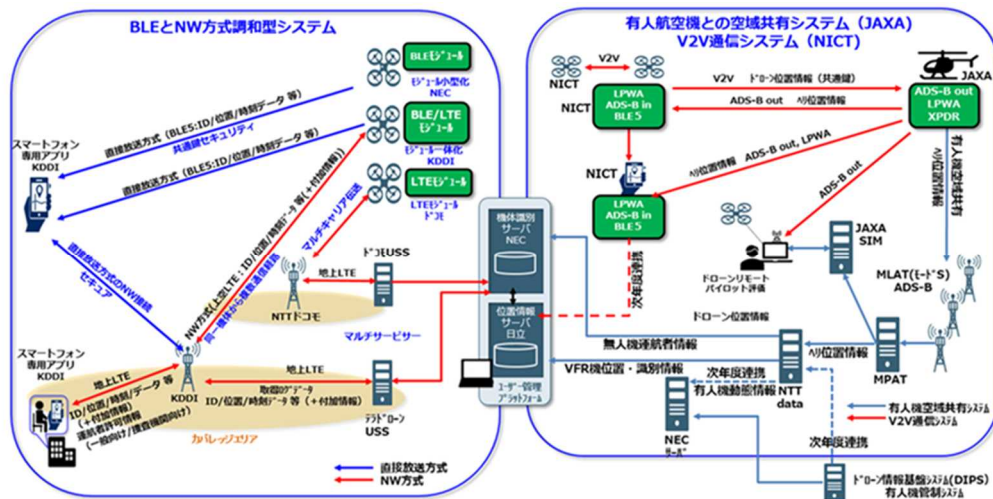


図 2.2.1.9-37 通信アーキテクチャ全体

#### 【2021年度の成果】

各サブテーマで実施する飛行実証試験に向け、社会安全、安全運航それぞれの目的に対応した実証シナリオを設定した。また、飛行実証結果を踏まえ、目的や利用環境に応じた適切な通信方式の整理を見直し、社会安全、安全運航のためのリモートID、V2V (Virtual

to Virtual) 技術における通信アーキテクチャを取りまとめた。

#### 5.13. 研究開発項目「①-4.1 ネットワーク型通信方式の研究」

##### 5.13.1. 「ネットワーク型通信方式の研究の評価」(実施者: KDDI)

各年度の成果を以下に示す。

###### 【2019年度の成果】

ネットワーク型通信方式による機体の遠隔識別に必要なデータ項目、データレートを整理し、IF仕様を整理した。具体的には、データ仕様および遠隔識別モジュールに必要な機能の要件定義を実施するとともに、機体に外部搭載するブロードキャスト方式の検証用モジュールによる実証試験用のネットワーク環境を構築した。また、リモートID受信スマートフォンおよびアプリケーションを開発した。

###### 【2020年度の成果】

2019年度成果物であるリモートID受信アプリケーションのネットワーク方式への対応およびネットワーク方式に対応した通信モジュールの開発、評価を実施した。2020年10月の福島ロボットテストフィールドにて当該方式・構成の実証およびデモを実施し、ブロードキャスト方式にてリモートID受信ができないエリアにおいてネットワーク方式によるリモートID受信が可能なことを実証した。

###### 【2021年度の成果】

社会安全、安全運航に資する実証シナリオにもとづく飛行実証を行った。特に、LTEネットワークを通じ、機体間通信方式など異なる方式を使用するユーザとの間で位置情報、ID情報を共有し、所望の目的を達成できることを確認した。



項目	仕様
サイズ/重量	90 x 49 x 14mm/約42g
通信	LTE 800MHz、2GHz
位置測位	GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou/QZSS
リモートID	ネットワーク方式のみ対応

図2.2.1. 9-38 ネットワーク型通信方式のリモートIDデバイス

## 機体位置・ID・運航者情報表示



## 認証ステータス

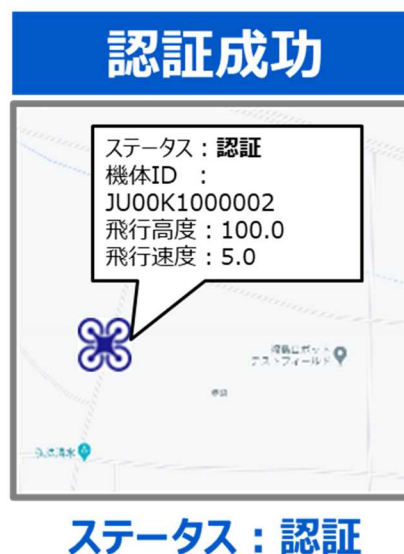


図 2. 2. 1. 9-39 リモート ID 受信アプリケーション

5.14. 研究開発項目「④-5 ネットワーク方式リモート ID の通信・システム開発」

5.14.1. 「ネットワーク方式リモート ID の通信・システム開発の評価」(実施者：KDDI)

2020年度の成果を以下に示す。

【2020年度の成果】

ASTM 方式に適応したネットワーク方式リモート ID の通信モジュールおよび受信アプリケーションの開発、評価を実施した。受信アプリケーションにリモート ID のエンド-エンド(通信モジュール ~ セルラーネットワーク ~ リモート ID プラットフォーム ~ 受信アプリケーション間)での受信成功率と遅延時間算出機能を実装した。2020年10月の福島ロボットテストフィールドにて、本通信モジュールからテラドローン社の USS を介し受信アプリケーションに至るシステム構成における遅延時間の評価を実施した。ネットワーク方式リモート ID の遅延時間は平均 1.440 秒(ホバリングの場合)程度であることを確認した。(「表 2.2.1.9-12」参照)

表 2.2.1.9-12 システム遅延評価結果 (全体評価)

無線機送信から表示端末の位置情報受信までの所要時間について、計測結果を示す。

#	方式	飛行速度 [m/s]	所要時間		
			最大値[sec]	最小値[sec]	平均値[sec]
1	直接放送方式	ホバリング	2.377	1.303	1.800
2		5	2.229	1.458	1.971
3		10	1.800	1.454	1.615
4	NW方式	ホバリング	2.367	0.484	1.440
5		5	1.725	0.538	1.437
6		10	1.750	1.226	1.480

5.15. 研究開発項目「④-9 ブロードキャスト方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証」

5.15.1. 「ブロードキャスト方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証の評価」

(実施者：KDDI)

2020年度の成果を以下に示す。

【2020年度の成果】

ブロードキャスト方式とネットワーク方式が調和する方式の通信モジュール、受信アプリケーションの開発、評価を実施した。通信モジュールは、機体飛行情報を付加したネットワーク方式・ブロードキャスト方式兼用通信モジュールを開発し、同一通信モジュールにて、機体飛行情報のテレメトリおよびリモートIDの送信が可能であることを確認した。

両方式の調和の実現機能として、受信アプリケーションに、BLEの受信強度に応じて表示するリモートID情報の方式切り替えを行う機能を実装。2021年3月の福島RTFにて、ブロードキャスト方式のBLE受信強度が閾値以下のエリアにおいて、ネットワーク方式受信情報への表示切り替えが可能であることを確認した。また、マルチキャリア（サービサー）対応として、受信したリモートIDの運航情報および登録運航者情報の取得機能を受信アプリケーションに実装し確認した。

## 5.16. 研究開発項目「⑤-1 運航管理システムと識別技術の調和システム開発」

### 5.16.1. 「運航管理システムと識別技術の調和システム開発の評価」(実施者：KDDI)

2021年度の本研究の成果を以下に示す。

#### 【2021年度の成果】

運航管理システムと調和したリモートIDシステムを用いて機体登録から識別までの一連の運用フローがシステム管理可能か確認し、運航管理システムとリモートIDが併用して社会実装する構成を検証した。具体的にはDRESS地域実証プロジェクト(運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発/地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業)で開発した運航管理システム、リモートIDプラットフォーム、民間USS間双方で動態情報および識別情報を共有することを確認すると共に、リモートIDプラットフォームを介した複数民間USS間の情報共有も確認した。運航管理システムとリモートIDプラットフォーム間の共有イメージを図2.2.1.9-40に示す。また、民間USSを想定したKDDI管制システムでの情報共有の確認イメージを図2.2.1.9-41に示す。FIMSやUSSといった運航管理システムにおいて今まで管理対象となっていない(以下、運航管理対象外と呼ぶ)トイドローン等の機体にLTEを利用したネットワーク方式通信モジュールを搭載し運航管理システムの情報共有することにより管理することが可能となることを実証し、フライトセーフティおよびパブリックセーフティの向上に貢献することが確認された。フライトセーフティとパブリックセーフティが実現するイメージを図2.2.1.9-42に示す。パブリックセーフティの具体的な成果としては、全登録対象機体へのリモートID搭載義務化を見据え、100g以上の機体を含めて搭載可能な小型(基板タイプ)リモートID装置の有用性の実証を行い、トイドローンを含め、ブロードキャスト方式における現場での識別機能、ネットワーク方式によるPF経由での識別機能(遠隔での識別等を含む)の双方を検証した。フライトセーフティについては、2022年のレベル4の実現を見据え、リモートID共有技術を活用した運航管理システムによる安全運航管理を実証した。本実証では、リモートIDで取得したトイドローンを含むカテゴリI相当機体の位置情報、有人機探知/V2V通信技術に基づくVFR機の位置情報、民間ヘリ情報システムから共有されるVFR機の位置情報を運航管理システムに連携し、無人航空機の目視外飛行の運航管理への活用効果を検証した。



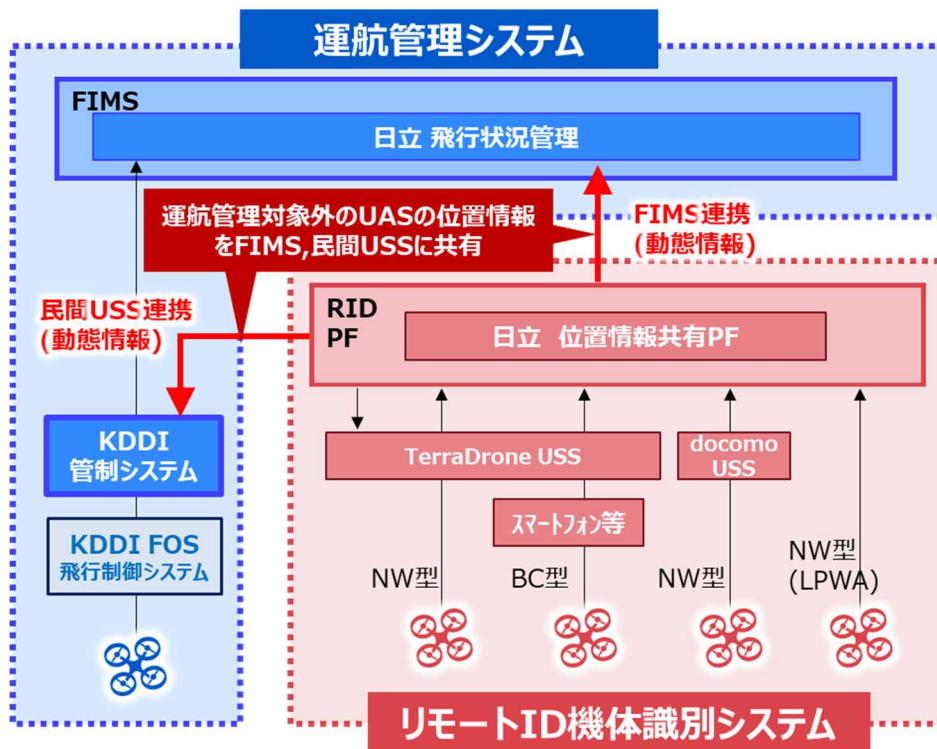


図 2. 2. 1. 9-40 運航管理システムとリモート ID プラットフォーム間の共有イメージ

## KDDI管制システム画面



- KDDI管制システム上に、RID PFを介した運航管理対象外の機体情報の確認が可能
- RID PFを介した複数USS間の連携により広範囲で多数の機体情報の検索が可能

図 2. 2. 1. 9-41 民間 USS を想定した KDDI 管制システムでの情報共有の確認イメージ

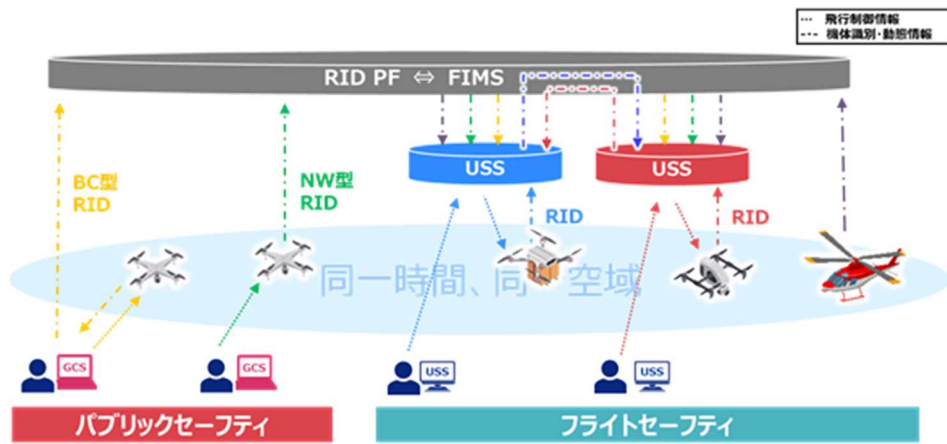


図 2. 2. 1. 9-42 フライトセーフティとパブリックセーフティが実現するイメージ

5. 17. 研究開発項目「⑤-2 遠隔識別技術の海外訴求活動」

5. 17. 1. 「遠隔識別技術の海外訴求活動の評価」(実施者：KDDI)

各文書等の調査結果を基に、UTMアーキテクチャやFIMS/UASSPの役割について、日米欧の比較整理を行った。日本は本プロジェクト、米国はUTM ConOps v2.0、欧州は先進事例としてSwiss U-Space ConOps v1.1のUTMのアーキテクチャを参考として整理を行った(表2.2.1.9-13参照)。

表2.2.1.9-13に基づき、日本(本プロジェクト)、米国、欧州において運行管理システムと機体識別システムの連携のイメージを図2.2.1.9-43に示す。システム連携により飛行計画情報と動態情報がUSS・USP・FIMS間で共有される。DSS(Discovery & Synchronization Service)はリモートID情報のやり取りを実現するために重要な機能であるとして、既存のASTM規格に記載されている。DSS機能とは、USS同士がUSS間調整を必要とする状況を互いに発見するサービスである。本プロジェクトにおいては欧米のシステムアーキテクチャで想定されているUSS間の直接的な情報共有の仕組みは検討されていないが、UTMとリモートIDのシステム連携により情報共有が可能となり、DSSに相当する欧米同様の機能を実現できる。

GSMAによる“Unmanned aircraft remote identification through cellular network”ではNW式リモートIDの仕組みが解説されている。NW式RIDを用い、すべてのUTMサービスプロバイダがデータを共有し、相互運用可能な仕組みを作ると、運行管理者は空域の無人航空機の情報をほぼリアルタイムに把握できるようになり、目視外飛行が可能になるとしている。

表 2.2.1.9-13 UTM アーキテクチャの日米欧比較

		日本(DRESS PJ)	米国(UTM ConOps 2.0)	欧州(Swiss U-Space ConOps v1.1)	
UTM	アーキテクチャ	中央集権型 ・FIMSをUASSPの統合管理機能として位置付け、無人航空機や空域に関する情報を一元的に管理する	分散型 ・航空当局の管理領域と、産業領域とで分けられており、両領域のゲートウェイとして、FIMS(米)やCommon Information Function(FIMSを含む)(欧) <sup>※2</sup> を位置付け ・全体として、各UTMコンポーネントがAPIにより分散的に連合したアーキテクチャを想定している ・航空当局の管理領域は、FIMS、登録・認証データベース、空域データベース、ANSPを含む		
FIMS	の管理主体	未定	FAA	Skyguide(管制サービスプロバイダー)	
FIMS	の役割	UASSPを統合し、無人航空機や空域に関する情報を集約して空域全体の状況を認識・監視するとともに、UASSP間のコンフリクトを管理する	管制空域における飛行許可と、全体の空域制限の指定について責任を持つ	無人航空機向けの空域情報のマップ、(有人航空機を含む)トラフィック情報、NOTAM情報をUSSPIに提供する	
UASSP	の役割	所掌する無人航空機運航者の飛行計画を管理するとともに、FIMSと接続することで所掌外のUASSP・無人航空機運航者との運航調整を実施する	飛行計画の策定やコンフリクト回避等、運航の安全を担保するためのサービスを提供する	飛行計画の策定やコンフリクト回避等、運航の安全を担保するためのサービスの他、登録やID識別等のセキュリティサービス、フリート管理やネットワーク最適化等の業務効率化サービスを提供する	
主な機能の分担	空域管理	○	○	○	○
	無人航空機間の飛行計画共有	○		○ (Inter-USS間)	○ (Inter-USP)
	有人航空機情報集約(収集)	○			○
	有人航空機情報通知(共有)				○

※1 Swiss U-spaceの機能や役割分担もEU新規則に合わせて再整理されていくと想定される

※2 EU規則2021/664では、主管庁の認定を受けた共通情報サービスプロバイダーがCIFのような機能を担うよう規定されている

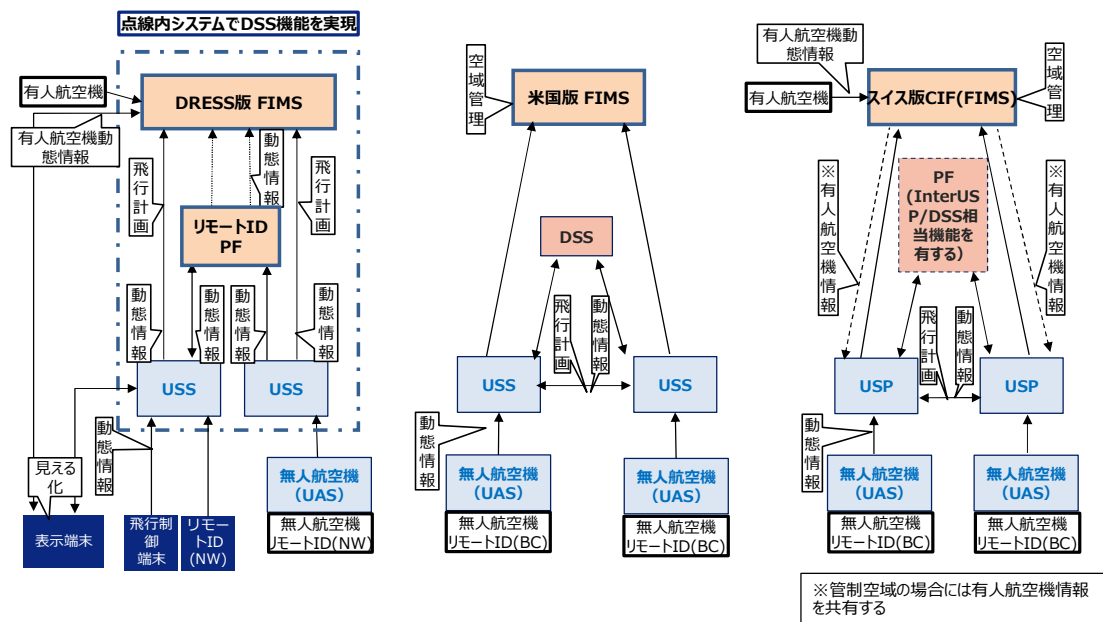


図 2.2.1.9-43 UTM-リモート ID 連携システムアーキテクチャの日米欧比較

上記海外動向を踏まえ、実証試験の目的を検討し、上記課題の解決や機能を実装するために必要な技術的課題を実証試験において検証することとした。

- 全登録対象機体へのリモート ID 搭載義務化を見据え、100g 以上の機体を含めて搭載可能な「小型リモート ID モジュールの有用性」を検証
- リモート ID を活用して取得したカテゴリ I 相当機体の動態情報を運航管理システムと連携させることにより、「目視外飛行の運航管理への活用効果」を検証
- 有人機探知 (ADS-B&MLAT) / V2V (LPWA) 通信技術を活用して取得した VFR 機の動態情報を運航管理システムと連携させることにより、「無人航空機と VFR 機間の運航管理への活用効果」を検証
- リモート ID PF を活用して USS 間の「機体識別」および「動態情報」を共有することにより、「DSS 相当機能の有用性」を検証

テラドローン

5.18. 研究開発項目「①-4.3 通信制御の開発」

5.18.1. 「エッジコンピュータ通信データ消失防止機能の評価」（実施者：テラドローン）

リモート ID 発信端末を無人航空機とは別に用意する別モジュール方式ではなく、無人航空機に通信モジュールを直接組み込んだ形でリモート ID を送信する埋め込み方式の利点及び課題、またそこから導出される実現可能性の検証を行った。

表 2.2.1.9-14 エッジコンピュータ構成内容

項目名	内容
機体	
フライトコントローラ	機体の制御を行う装置
オンボードコンピュータ	
デバイス本体	フライトコントローラ、各種機器、センサ等と接続しステータス値や機器情報を取得し、エッジランタイムを介してクラウドへデータを送信し、またローカルストレージにデータを保存する機能
各種機器およびセンサ等	オンボードコンピュータと接続された機器やセンサ
エッジランタイム	クラウド上の MQTT ブローカーと通信を行う機能を備えたプログラム
メッセージキュー	エッジランタイムと MQTT ブローカーの間に構成されオフラインでも一時的にフライトコントローラのステータス値データを保持するバッファリング機能
ローカルストレージ	メッセージキューとは別にフライトコントローラのステータス値をデバイス内部に保存するための機能
クラウド	
MQTT ブローカー	エッジランタイムと通信し、オンボードコンピュータから送信されたデータを後段の別機能に転送するための機能
NoSQL データベース	流入する大量のステータス値を永続化するためのデータベース

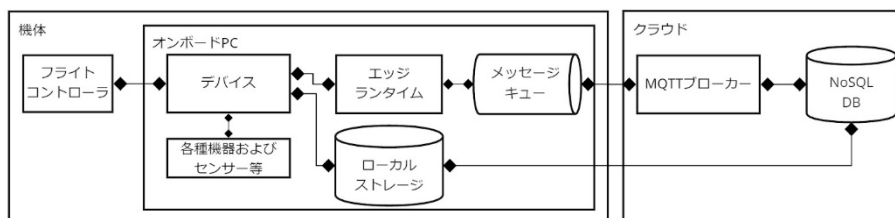


図 2.2.1.9-44 エッジコンピュータ構成図

このような構成が必要な背景としては、機体システムと直接接続されていない外付けタイプの発信端末上では無人航空機の飛行状態（現在飛行中か否か等）が判別できず、位置情

報についても機体内部の GNSS モジュールとは別で取得しているため、同一機体において複数の位置情報が常に更新されるため、位置情報の選定及び同定判定等の様々な考慮が必要となってくる。

特に高度情報については通常、離陸地点でオフセットされた気圧高度を機体内部の GNSS 受信機で補正している。これが単体の GNSS モジュールで取得している高度値を送信する外付けの発信端末では実態の離陸高度等の考慮が無いため大幅な誤差が生じうる。そのため機体システムに直接組み込まれたオンボードコンピュータ上でリモート ID を送信するようにすることで、機体の飛行状態の取得はもちろん、センサデータの統合化や軽量化が可能となる。

さらに重要な視点として通信モジュール側で何らかの原因で瞬断等の通信障害が発生してしまった場合には機体のオンボードコンピュータ側で取得した位置データをあらかじめバッファリングしておかなければ、再度オンライン状態に復帰した際に切断していた間の送信データを消失させてしまうおそれがある。

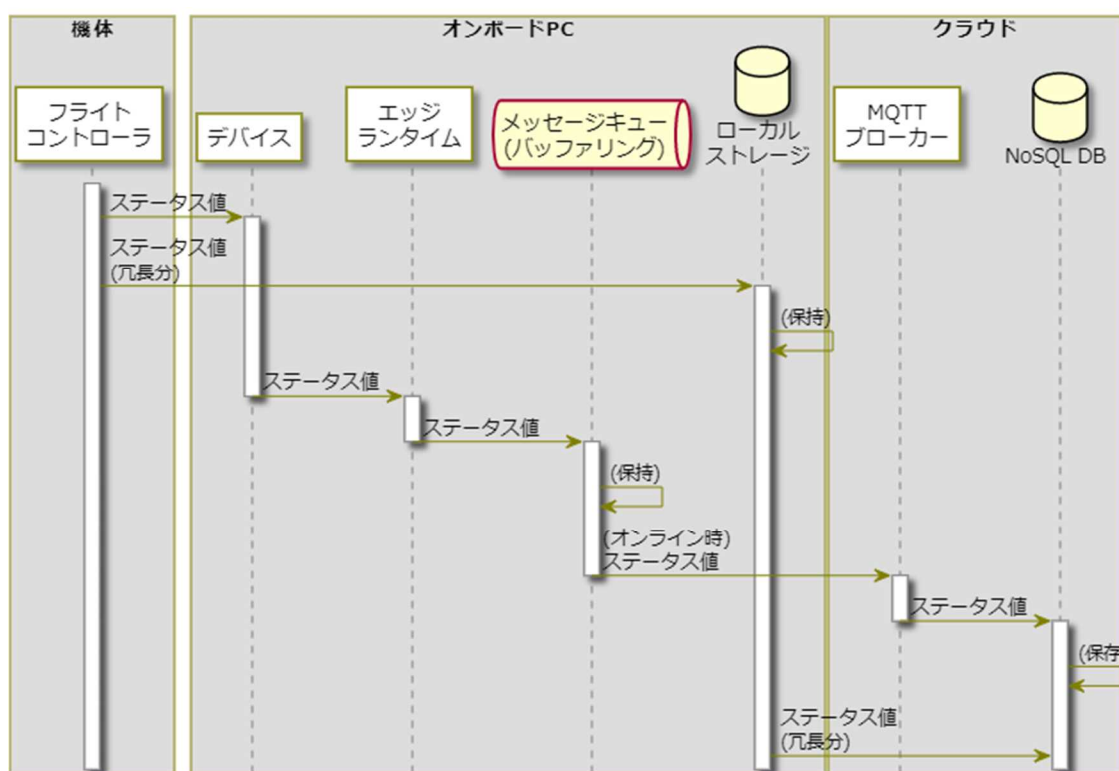


図 2. 2. 1. 9-45 エッジデータ送信および保存シーケンス図

既存の機体制御用のオンボードコンピュータと通信する内蔵型の形式でリモート ID 発信端末を搭載することで以下のような利点があることが確認できた。

- フライトコントローラ側のステータス値を取得することでリモート ID 信号中の機

体ステータスで地上か上空かの値を確定的に入力することが可能となる

- 外付け型のように機体に追加で積載するリモート ID 発信端末側で GNSS 情報を別途取得する必要がなくなり、無人航空機に搭載された GNSS 受信機および VRS 等その他の補正された高精度の位置情報を送信することが可能となる
- 無人航空機に標準搭載されている気圧高度計を用いることで離陸地点の標高値からの相対高度変分をよりの確に特定することができるため垂直位置精度の向上を見込め、かつ気圧高度計の値を用いて GNSS 高度値の補正を行うことも可能となる
- 外付け型に比べて電源系統や通信アンテナ等を重複して搭載する必要がなくなるため離陸重量の軽減に繋がる
- 飛行中に LTE および Bluetooth いずれの通信も切断した場合に本来送信するはずのリモート ID 信号がそのまま切り捨てられてしまうが、機体がオフラインの間のリモート ID 信号データをオンボードコンピュータ側でバッファリングすることで機体がオンライン復帰した際に未同期分のデータを送信し直すことが可能

本研究開発項目の意義としては、リモート ID 信号の断続的な送受信が可能な通信環境を確保するために重畳的に複数の通信手段を備えておく必要性和その実現方法を示すものと考えている。

#### 5.18.2. 「リモート ID 信号送達遅延低減機能の評価」(実施者：テラドローン)

リモート ID 発信端末から送信されるリモート ID 信号が、民間USS(UAS Service Supplier)サーバを経由して機体識別情報共有 PF および位置情報共有 PF に連携され、そこからさらに民間 USS サーバを経由して最終的にリモート ID 受信端末(アプリ等)側で機体位置データの地図上での表示を行うまでの全体のデータフローにおいて、複数のサーバ間を連携することによる通信経路全体の遅延が発生してしまうことが想定された。リモート ID 信号の送達遅延は遠隔識別の意義そのものを損なってしまう可能性を孕んでいるため、民間 USS サーバにおけるデータの間引き処理やエンコード処理を行う部分の処理高速化を図り送達遅延の軽減対策をとった。

またリモート ID 信号を機体識別情報共有 PF に連携する前段で民間 USS サーバを媒介させることにより、同一の機体から同じリモート ID 信号が複数の経路を通じて重複したデータとして機体識別情報共有 PF に送信されることを防ぐ役割を果たすことが可能である。そのためには、ネットワーク方式と直接放送方式の二つの異なる通信方式で連携されるリモート ID 信号のどちらを送信すべきかという判断を行うための基準が必要となってくる。

現在のサーバ構成では同一の機体から二つの経路から同一機体の位置情報が複数個分サーバに届くこととなる。ASTM 規格にある通り、最低でも 1 秒に 1 度はデータ更新を行えるように、使用するデータの優先度判定対象期間を判定処理の所要平均時間の 100 ミリ秒を除いた残り 900 ミリ秒とし、リモート ID 発信端末から USS サーバに送信された情報を元に



以下のパターンでの検討を行った。

- リモート ID 発信端末-民間 USS サーバ間の通信電文に RSSI（受信信号強度）の項目を追加し判定期間の間に受信した同一機体のデータのうち最も受信強度が強いデータを機体識別情報共有 PF に送信する
- ASTM の仕様に則り直接放送方式のデータを優先的に送ることとし、判定期間中に直接放送方式のデータを一つ以上受信していれば、他にネットワーク方式経由での取得したデータが存在するか否かにかかわらず、当該データを機体識別情報共有 PF に送信する

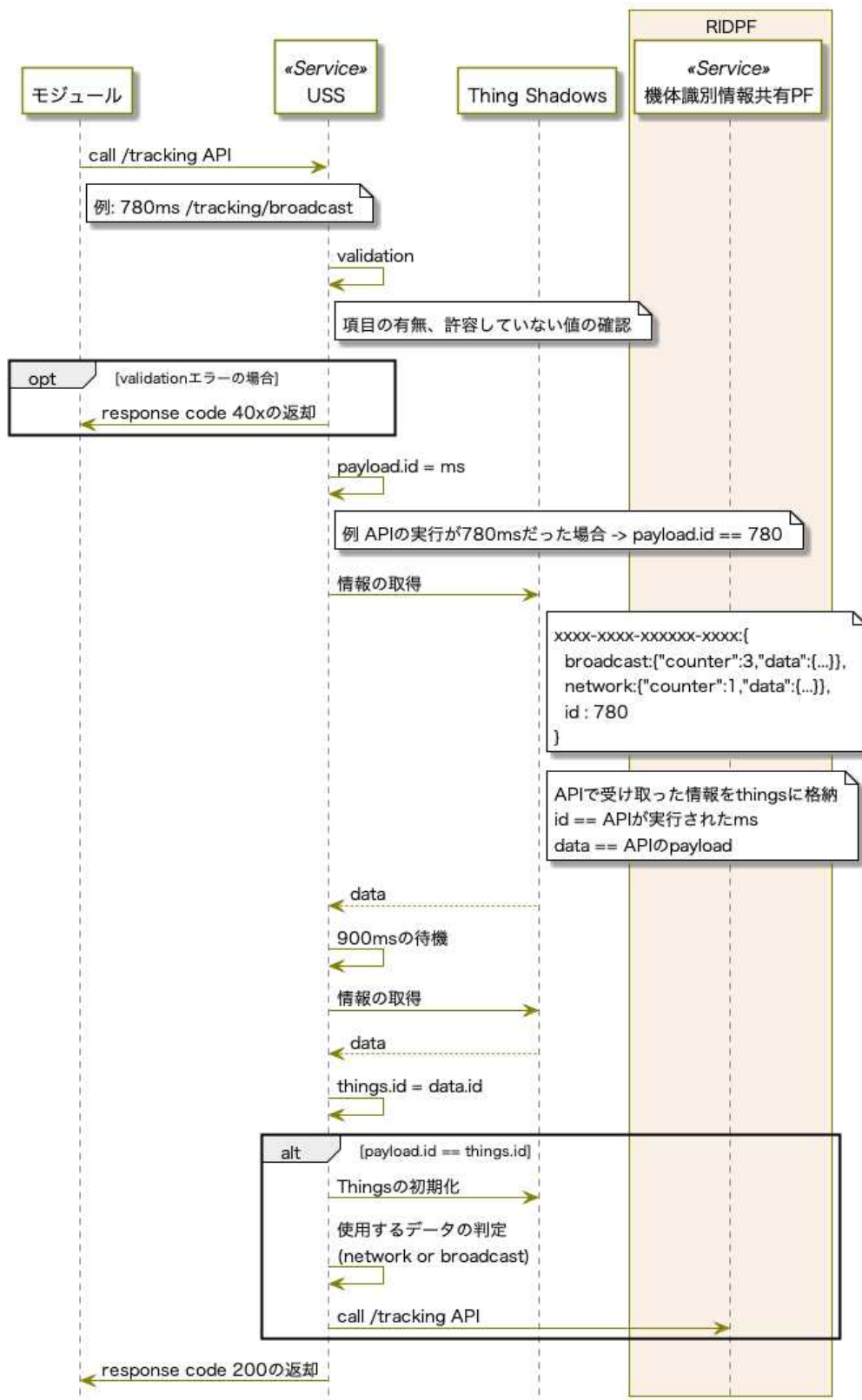


図 2.2.1.9-46 リモート ID データ優先度判定シーケンス

同一タイムスタンプで連携される二つのリモート ID 信号において、より優先されるべきなのはリモート ID 信号中に含まれる位置・速度メッセージ内の位置精度である。より精度の高い位置情報（緯度・経度・高度）を含む方のリモート ID 信号のみを採用し他方を民間 USS サーバ側で切り捨てることにより、機体識別情報共有 PF に本来必要ではない大量のデータが送信されることを防ぐことを目的として優先判断処理の実装を行った。

加えて飛行制御システムから連携される飛行計画の承認元、およびテレメトリデータの共有先として利用される FIMS (飛行情報共有システム) との動態情報の連携部分の実装を行った。なお FIMS へのデータ連携のための条件は以下を想定した。

- 飛行計画が登録されていない機体は flight\_status: 90 (=リモート ID 向け) を設定し、機体識別情報共有 PF (玉川環境) に対して動態情報を送信する
  - 厳密にはリモート ID として設定されている UAS ID が FIMS サーバに存在するか否かを事前に確認することで飛行計画登録済みか否かの判断を可能とした
- 飛行計画が事前に登録されている機体に関しては、運航管理システムへの連携が必要と判断し、flight\_status: 10 (=飛行中) を設定して FIMS (福島環境) に対して動態情報を送信する

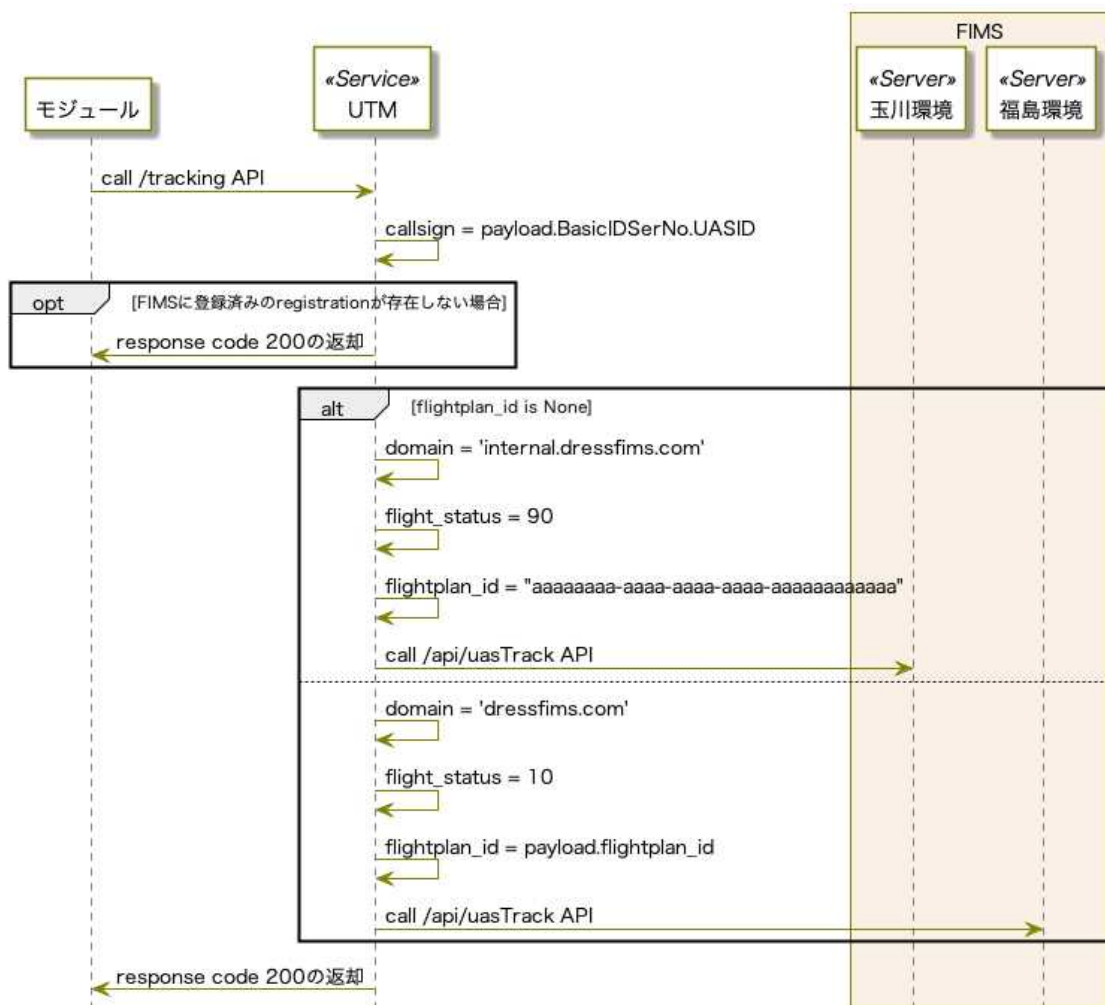


図 2. 2. 1. 9-47 FIMS データ連携判断シーケンス

当該判定処理の実装によって元来 FIMS にて統合管理されていたテレメトリデータに対してリモート ID 信号データが重複して入り込むことを防止し、飛行計画に紐付かないテレメトリデータのみがネットワーク通信方式経由で機体識別情報共有 PF に流入するように制御することを可能とした。

N T T データ

5. 19. 研究開発項目「②-2. 運航者情報および機体情報管理機能の研究」

5. 19. 1. 「運航者情報および機体情報管理機能の研究」(実施者：N T T データ)

研究では、J A X A が運航する有人航空機を、地上の有人機位置探知システムが ADS-B、MLAT のモード S およびモード AC など複数の手段にて情報取得し、その情報を N T T データの有人機動態情報管理機能が受信してフュージョンを行い、一意に特定した位置情報を、位置情報プラットフォームや FIMS に提供する一連のフローで実証を行った。

結果として、無人航空機の位置情報と有人航空機の位置情報をユーザ管理プラットフォームに集約して、情報提供するサービスを実現した。サービスの利用者は無人航空機から発信される情報とプラットフォームの情報を参照して、無人航空機と有人航空機の位置情報を確認することが可能となり、安全な無人航空機運航に寄与する情報提供の形を実現したと考える。

その他、有人機位置探知システムより明らかな異常値を受信することがあったため、前回受信の位置情報と比較して、異常な位置情報であった際にはその位置情報を破棄する機能を追加した。これにより、飛行軌跡を見た際に、異常値がもたらすガタツキをなくすことに成功した。

5. 20. 研究開発項目「④-4. 運航者情報・機体情報管理機能のネットワーク方式リモート ID の開発」

5. 20. 1. 「運航者情報・機体情報管理機能のネットワーク方式リモート ID の開発」(実施者：N T T データ)

研究では、リモート ID を問合せのキー情報として受け取り、それに対応する「機体関連情報」「運航者関連情報」「許可期間・飛行場所等その他情報」を機体識別情報・位置情報共有プラットフォームに返信することにより、利用者が受信したリモート ID を元に、飛行する無人機の情報を取得するユースケースを検証した。

また、提供する情報について、個人情報を含まない一般向けと個人情報を含む捜査機関向けに分け、利用する機関の必要に応じた情報を展開することにより、それぞれのユースケースに対応可能としていた。

一連のユースケースの実証を通じて、無人航空機の運航を目撃した第三者が、無人航空機の情報を取得することにより、申請許可の有無など必要な情報を確認して行動をとることを可能とする仕組みが構築可能であることを実証した。

## NICT

### 5.21. 研究開発項目「①-4.2. 機体間通信方式の研究」

#### 5.21.1. 「機体間通信方式の研究」(実施者：NICT)

##### (1) 研究開発の概要

無人航空機の機体識別情報と位置情報を無人航空機間、あるいは無人航空機と地上局間で直接送受信するための免許不要周波数帯等を利用した機体間通信方式を開発し、複数の無人航空機等に通信機を搭載して実際に飛行させ、その精度や通信品質、通信容量等の性能を評価する。また、運航管理システムに接続していない無人航空機の運航管理に役立てるため、本システムで得られる無人航空機の機体識別情報と位置情報を運航管理システムにリアルタイムで提供するインタフェースを開発する。

上空を飛行する無人航空機の機体識別と位置把握により、無人航空機を管理する運航管理システムの研究開発が進められている。運航管理システムは無人航空機の飛行の安全運航を図り、不正利用を防止するために必要不可欠であるが、これは携帯電話やインターネットなど地上の通信インフラが利用可能であることを前提とする。しかし、山間部等でそうした通信インフラが行き届かない地域での飛行運用や、災害で通信インフラ自体が被災した状況下での飛行運用においては、運航管理システムに接続することができない状態で無人航空機を運用せざるを得ない。そのような場合には、運航管理システムに必ずしも頼らず、地上局と無人航空機の間、もしくは無人航空機同士(機体間)の間で直接通信を行い、相互の機体識別や飛行位置把握を行うことが必要となる。

機体間通信の方式は、全世界で1つの方式に統一し、相互に互換であることが理想であるが、国によって使用できる周波数に差がある一方、共通に利用できる周波数(Wi-Fi帯等)は通信距離が短い、干渉を受けやすいなどの課題がある。また国際標準化には国際的な同意に達するまでの手続きに数年以上かかることなどから、早期の社会実装が困難であるという問題がある。

これまでNICTでは、安価なデバイスを用いて構成可能な920MHz帯(免許不要)を用いた同報型の機体間通信方式を開発し、機体の識別番号および位置情報等を複数の無人航空機および地上局間で共有できることを示す飛行実証を多数行ってきた。この方式はGNSS位置情報、機体識別番号、飛行速度、進行方向等の情報を1秒ごと(変更可能)にあらかじめ決められたタイミングあるいはランダムなタイミングで間欠的に周囲にブロードキャストし、それを機体間で相互に受信しあう方式である。NEDOのDRESSプロジェクトにおいて、これに対してLPWA(Low Power Wide Area)方式を採用した拡張を行うことで、小電力かつ免許不要でありながら、見通し環境で10km以上の距離を隔てて情報共有が可能であることが上空を飛行する有人ヘリコプタと無人航空機(ドローン)を用いた実験で実証された。仕様上は、無線が届く範囲で1チャンネル(帯域幅500kHz)当たり、数10~200機程度が収容可能である(収容台数は1パケット当たりの必要データ量およびデータ更新頻度による)。さらにこの方式は、途中の遮蔽により直接無線が届かない環境においても、別の無線ユニットを高所に固定あるいは別の無人航空機に搭載することで、これを中継して情報共有できるという特徴をもつ。

この方式を全ての無人航空機が搭載すれば、遠隔識別と位置把握の問題は解決できるものと期待されるが、前述の理由によりこの方式を他国を含めた全機体で統一することは難しい。一方、920MHz帯以外の方式で遠隔識別/位置把握ができる通信方式で、海外等で検討が進められているものとしては、有人航空機で採用されているADS-B(1090MHz帯)、スマートフォンなどで広く普及していてインテルがOpen Drone ID Projectで提唱するBluetooth(2.4GHz帯)による方式がある。ADS-B(送信)は無線局免許および無線従事者免許が必要で、かつID数が限られていることと無人航

空機に導入されると電波が混雑して有人航空機側に影響を与えることなどから、小型の無人航空機への導入は難しいとみられ、また Bluetooth (BLE5.0) は、リモート ID 方式として我が国でも標準搭載・義務化に向けて技術開発と制度整備が進められているが、長距離通信には不向きで、また遮蔽や Wi-Fi 等の干渉の影響を受けやすいという課題がある。

本研究開発では、別途研究開発される遠隔識別や位置情報共有のための通信アーキテクチャに基づいて、そうした技術とも互換性を確保し、かつ日本独自の方式である 920MHz 帯同報型通信方式の利点を生かす新しい通信方式として、920MHz 帯 LPWA 方式、BLE5.0、ADS-B (受信のみ) からなる複数通信方式を 1つのユニットに実装し、それらの通信方式で得られる情報を統合可能な機体間通信のためのマルチ通信方式を開発する。また別途研究開発されるリモート ID 管理プラットフォームとも連携し、無人航空機を用いた実証評価および運航管理システムとの統合実証を行う。

さらに、機体間通信技術の応用実証として、飛行する複数の無人航空機間でリアルタイムに位置情報を交換し合うことで操縦者を經由しない自動衝突回避機能、自動連携 (スウォーム) 飛行機能、有人ヘリの接近検知による無人航空機の自動危険回避・自動着陸機能の検証を行う。

(2) 機体間通信デバイスの設計と開発

Bluetooth (BLE5.0) の送信あるいは受信機能、920MHz 帯 LPWA の送受信機能および ADS-B の受信機能を一体化し、かつそれらの異種通信手段で得られた各機体の動態情報 (位置、高度、速度等) を ID 番号とともに 1つのモニタ画面に統一的に表示可能なマルチ通信端末について、小型・軽量化した試作機の開発と性能評価を行った。マルチ通信端末によるブロードキャスト型機体間通信経路の概念を図 2.2.1.9-48 に示す。また特に開発に力を入れた長距離通信に適した LPWA 通信機能の主な諸元を表 2.2.1.9-15 に示す。

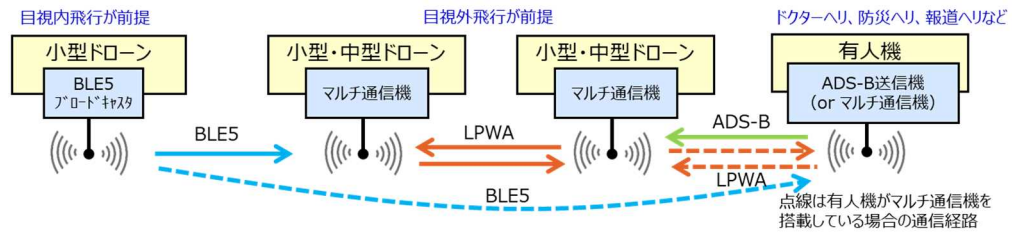


図 2.2.1.9-48 ブロードキャスト型機体間通信 (V2V) の通信経路  
(多様な機体間で位置情報や ID 等を共有し、自律協調型の衝突回避、  
群飛行、連携動作等を可能とする)

表 2.2.1.9-15 LPWA 方式機体間通信システムの主な諸元

<p><b>周波数:</b> 920MHz帯 (特定小電力無線局)</p> <p><b>送信出力:</b> 20mW</p> <p><b>帯域:</b> 500kHz</p> <p><b>変調方式:</b> LoRa (フェージング変調)</p> <p><b>位置情報:</b> GPS, GLONASS, QZSS</p> <p><b>通信距離実績:</b> 約10km以上</p> <p><b>マルチホップ:</b> 2ホップまで可</p>	<p><b>データ内容:</b> 緯度・経度・高度・速度・方向・ 時刻・機体種別・機体ID (合計352bit)</p> <p><b>更新頻度:</b> 0.5~1秒毎</p> <p><b>収容台数:</b> 約10~200機 (1キャリア・シングルホップ時、データサイズ・送信頻度とのトレードオフ)</p> <p><b>なりすまし・改ざん防止:</b> 有り (簡易型、認証コードサイズ 4 byte)</p>
--	--

マルチ通信端末試作機は小型機と汎用機の 2 種類を開発した (図 2.2.1.9-49、[図 2.2.1.9-50](#))。



① 小型機

GNSS、920MHz 帯 LPWA、BLE の各アンテナを外付けで用いるタイプと内蔵タイプの2種類を開発した。サイズ・重量は、アンテナ・バッテリーを除き、60×75×10mm、55gである。比較的小型の無人機にも搭載できるように、小型軽量であることを重視し、外部インターフェースはタブレット端末接続用（充電端子兼用）の Type micro-B USB 端子のみとした。

② 汎用機

GNSS、920MHz 帯 LPWA の各アンテナは内蔵しているが、外部インターフェースとして、外付け BLE と外付け ADS-B 受信機接続用および充電用の Type A USB 端子のほか、Wi-Fi 接続機能、リモート ID 管理サーバ接続用のインターフェース、ドローンのフライトコントローラと接続する UART 端子、認証デバイスと接続する I2C 端子を備えた。サイズ・重量は、60×75×40mm、100g である。

これらの通信端末は Android OS のタブレット端末あるいはスマートフォン端末に接続することで、受信された複数のドローンの位置が Google Map 上にアイコン表示されるとともに、それぞれ、GPS 時刻、緯度、経度、高度、進行方向、速度、距離、受信レベル (RSSI)、オプションデータ等（ドローンの動作モード、バッテリー残量等、ユーザが設定）がリアルタイム（1 秒ごと）に表示される。モニタ表示の一例を図 2.2.1.9-51 に示す。



図 2.2.1.9-49 マルチ通信端末小型機  
(白いアンテナは LPWA、黒いアンテナは BLE、ADS-B に不対応)



図 2.2.1.9-50 マルチ通信端末汎用機  
(GPS と LPWA アンテナは内蔵、写真のアンテナは ADS-B 受信用、  
白の Dongle は BLE5 送受信用)



(a) 地図上へのオーバーレイ表示 (b) 受信レベル・受信タイミング表示

図 2.2.1.9-51 タブレット端末へのモニタ表示の一例

### (3) 長距離通信距離特性の実証評価

開発した通信端末の長距離通信特性の評価を行うため、2021年3月と同12月に福島RTFにおいて、マルチ通信端末による機体間通信評価試験を実施した。

初めに、920MHz帯によるLPWA通信の距離特性を評価するため、JAXAの有人ヘリにマルチ通信端末小型機（アンテナ外付け型）を搭載し、RTF格納庫付近においた三脚に取り付けた汎用機のLPWA地上端末でヘリ搭載端末からLPWA通信方式で送信されるヘリの位置情報を受信した時の評価結果について報告する（図2.2.1.9-52）。ヘリ搭載端末は手荷物として搭乗員がヘリ機体内部に持ち込んだ。このため、機体自体による伝搬減衰が生じ、通信環境はベストとはなっていない。しかし、ヘリ搭載コストを低く抑えるための手段としてこの方法は現実的である。ヘリ機体内部の端末搭載位置を図2.2.1.9-53に示す。ヘリ機体内部の搭載位置による違いを確認するため、ヘリ左側前方窓（コパイロット席の前）とヘリ左側横の窓（搭乗員の後部座席横）の2か所に端末を置いた。端末は、ヘリ機長の許可を得て吸盤付きの携帯電話ホルダーを利用してヘリの各窓に仮固定した。

Google Earth上にヘリ前方窓の端末からのデータが受信できたヘリの位置とその場所での受信電力を図2.2.1.9-54に示す。ヘリの最大飛行高度は600mほどであり、RTFへのアプローチでは、高度を下げ、着陸あるいはローパスを行っている。結果をみると、最もRTF地上局から遠いポイントで19kmくらいから受信ができているが、安定して受信できている距離は8~9km程度からであることがわかる。



図 2.2.1.9-52 LPWA 端末（マルチ通信端末）の有人ヘリへの搭載と地上端末の設置の様子

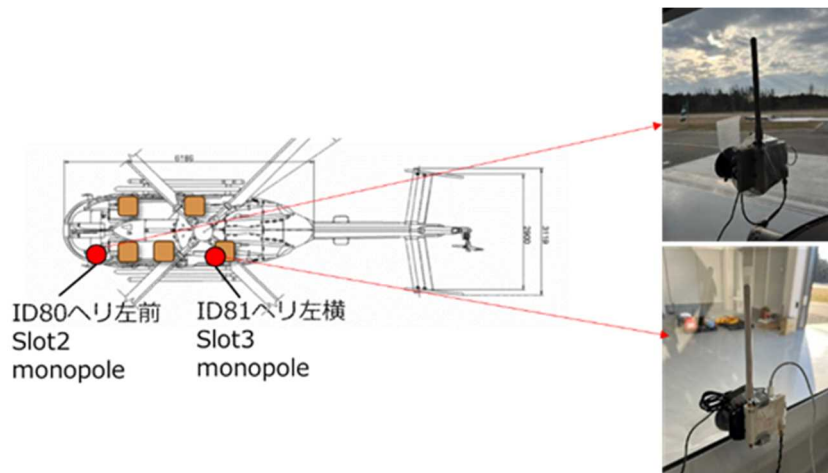


図 2. 2. 1. 9-53 ヘリ機体内部の LPWA 端末搭載位置



図 2. 2. 1. 9-54 RTF の地上局と有人ヘリの間の通信状況（受信位置と受信電力）  
 （紫はヘリの飛行軌跡、●印は受信ポイント、●印の色は受信電力（RSSI）を表す）

さらにもっと詳しく受信状況を見るため、RTF へのヘリのアプローチごとの受信状況を図 2. 2. 1. 9-55 に示す。今回の実験における RTF へのアプローチは 3 回あったが、いずれもヘリの RTF への接近時（ヘディングが RTF の方向を向いている）は 7~9km の距離より安定した受信が始まり、RTF 通過後（ヘディングが RTF とは逆方向）は 1~2km の距離まで受信できていることがわかる。このことから、本通信方式を有人ヘリとドローンの間の機体間通信に利用し、ニアミス回避等に应用する場合、ヘリの向きはドローン側に向くことになるので、約 7km 以上の十分な距離で双方にてその位置を確認できることとなる。



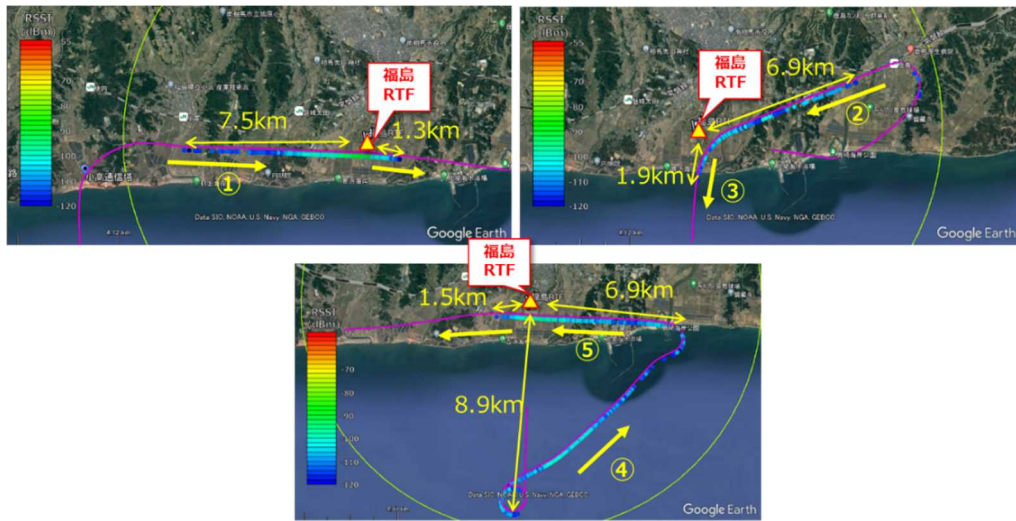


図 2. 2. 1. 9-55 ヘリの RTF への各アプローチにおける受信状況

次に、通信性能を見るため、ヘリに搭載した各端末の受信電力の距離特性を図2. 2. 1. 9-56に、通信成功率の距離特性を図2. 2. 1. 9-57に、ヘリからみた通信成功率の方位特性を図2. 2. 1. 9-58に示す。いずれも、ID80は左前方、ID81は左横に設置した端末を示す。通信成功率のウィンドウは20秒間とした。これを見ると、受信電力はヘリの方向や地面反射等によってバラつきがあるものの、ほぼ自由空間伝搬の減衰率に従っている。また、1km以上の距離では、ID81はID80に比べて大きく受信電力と受信データ数が低下している。通信成功率でも同じ傾向となっており、成功率80%以上が得られる距離は、ID80は10km程度、ID81では2km程度となっている。これをヘリからみた方位特性で比較すると、明らかにID80はヘリ前方～右側で高くなり、ID81は低くなっている傾向がみられる。以上から、ヘリが接近する際にドローンにニアミス回避の対応をさせるには、ヘリ前方に端末を搭載する必要があることがわかる。

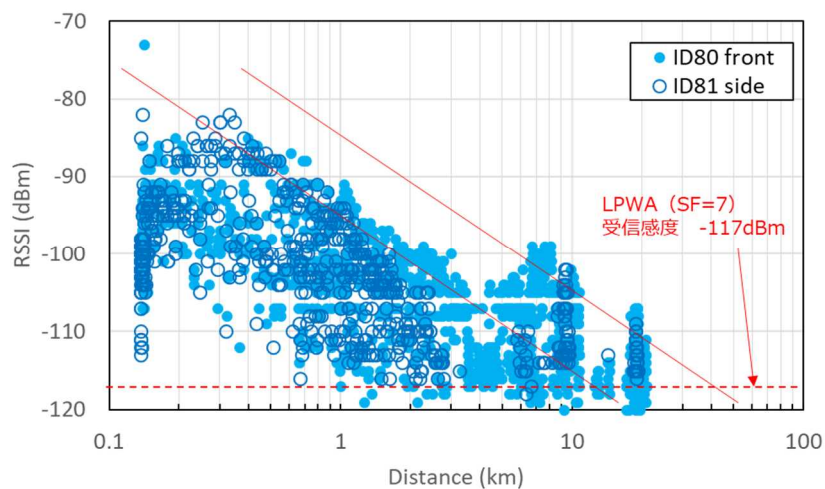


図 2. 2. 1. 9-56 受信電力の距離特性（直線は自由空間減衰率）

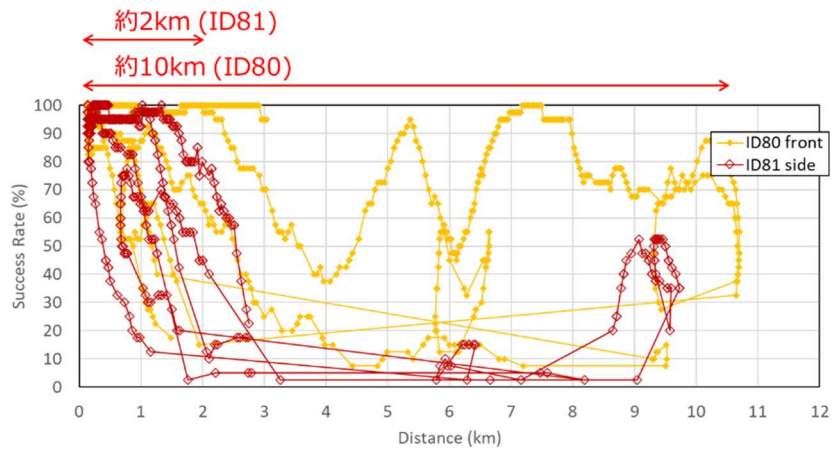


図 2. 2. 1. 9-57 通信成功率の距離特性

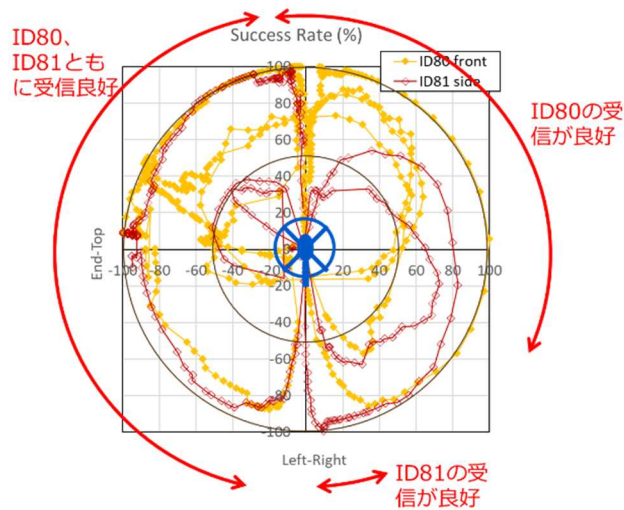


図 2. 2. 1. 9. 58 通信成功率のヘリから見た方位特性

(4) 機体間通信を利用した複数ドローン間の連携飛行制御による自律ニアミス回避と自律追従隊列飛行の実証

次に、開発したマルチ通信端末のLPWA通信による機体間（V2V）通信に基づく地上を経由しない位置情報共有により、ドローン同士およびドローンと有人ヘリの間で自律ニアミス回避機能及び複数機による自律追従隊列飛行機能の実証を行った結果を報告する。

機体間通信による位置情報共有システムをドローンの飛行制御に接続するため、図 2. 2. 1. 9-59に示すコマンド生成装置を開発した。この装置は、LPWA通信装置を経由して得られる他機の位置情報とフライトコントローラから得られる自機の位置情報とから次に進むべき自機の位置を計算し、MAVリンクコマンド（多くの無人航空機で利用されている標準的な制御通信用プロトコルの1つ）に変換してフライトコントローラに送出する。これにより、他機と自機の位置情報を用いたニアミス回避や群飛行制御が可能となる。

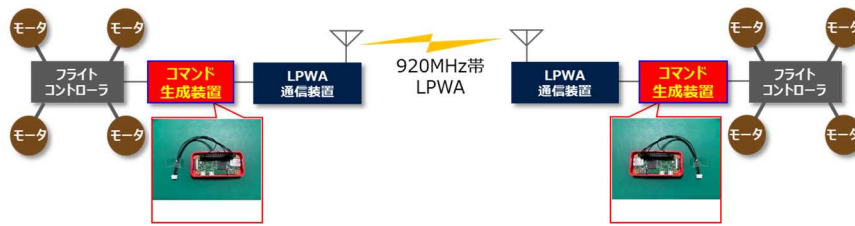
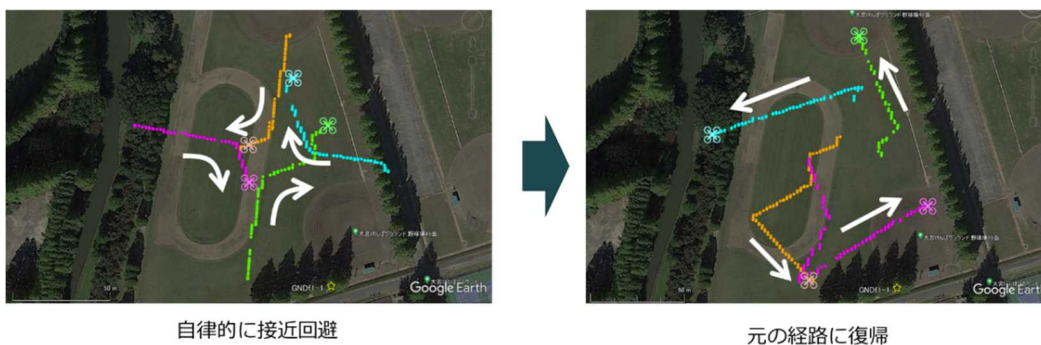


図 2. 2. 1. 9-59 コマンド生成装置を介した LPWA 通信装置とフライトコントローラの接続

ドローン2機および4機がそれぞれ鉢合わせになる方向にウェイポイント飛行させた時にニアミス回避動作が機能した実験結果を図2. 2. 1. 9-60と図2. 2. 1. 9-61図2. 2. 1. 9-61に示す。これらの回避動作では、地上のパイロットによる介入を受けずに各ドローンが自動的に回避動作を行っている。回避後は、一定の距離まで離れたことを確認してから元の飛行経路に戻るよう設定した。実験では安全を考慮し、万一衝突回避機能が動作しなかったことも想定し、各ドローンの高度は5mずつずらして飛行経路を設定した。なお、この時の各ドローンの飛行速度は2m/sとした。回避ルールとしては、単純に自機の進行方向に他機を確認したらそれぞれ右側に針路を変える方法とした。回避動作に移るドローン間の距離は図2. 2. 1. 9-60の場合に40m、図2. 2. 1. 9-61の場合に20mに設定したが、これは任意に変更可能である。



図 2. 2. 1. 9-60 機体間通信による 2 機のニアミス回避実験結果



自律的に接近回避

元の経路に復帰

図 2. 2. 1. 9-61 機体間通信による 4 機のニアミス回避実験結果



同様の回避制御実験をドローンと有人ヘリ（JAXA 機）の間で行った。この実験では、LPWA による直接機体間通信に基づき、ドローンの機上側で有人ヘリの接近を検知し、地上の操縦者を經由せずに、自動帰還・自動着陸（RTL）モードに切り替わるようプログラムを実装した。有人ヘリ側は位置情報を発信すると同時に、ドローンの位置をモニタリングするのみとした。有人ヘリ機内での LPWA 通信端末の位置は図 2. 2. 1. 9-53 におけるヘリ左横の位置としている。有人ヘリ内に持ち込んだタブレット端末のモニタ画面に表示された約 2km 先のドローンの位置を図 2. 2. 1. 9-62 に示す。実験の結果、図 2. 2. 1. 9-63 に示すように、有人ヘリとドローンの距離がちょうど 2km となった時点でドローン側の回避動作が起動し、RTL モードに切り替わって自動帰還・自動着陸が実現できており、有人ヘリがドローン飛行現場に到着する前にドローンは着陸を完了し、安全が確保されている。



図 2. 2. 1. 9-62 有人ヘリ内のタブレット端末モニタ画面に表示された 2km 先のドローン位置



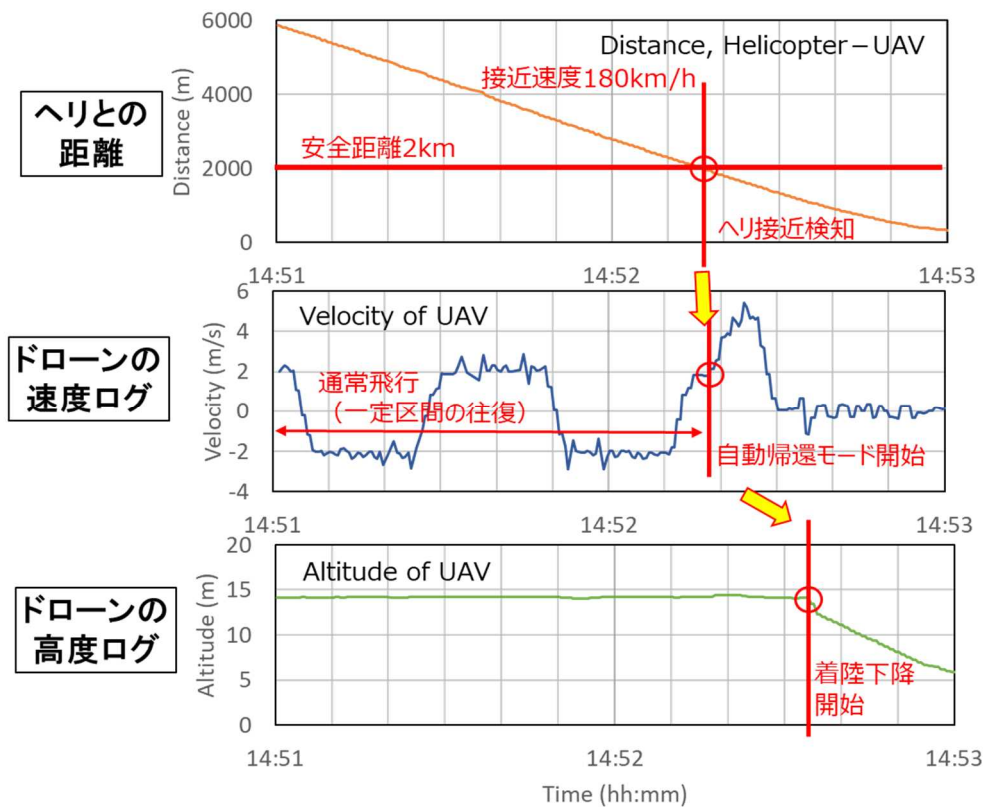


図 2.2.1.9-63 有人ヘリの接近に伴うドローンの自動着陸実験結果  
(自動帰還・着陸のドローンの動きと有人ヘリとの距離)

次に、機体間通信に基づいて複数のドローン同士が一定の相対位置関係を保って連携して飛行する自律追従隊列飛行の実証を行った結果を報告する。

実験では、4機のドローンで編隊を組み、そのうちの1機をリーダー（先導）機、残りの3機をフォロワ（追従）機とし、地上からの飛行制御（ウェイポイント飛行）はリーダー機に対してのみ行い、フォロワ機はリーダー機との間の機体間通信により、自動的に一定の相対距離（約10m）と相対角度を維持したまま飛行するようプログラムを組んだ。機体間通信の位置情報の送信頻度は2回/秒とし、ドローンの飛行速度は1m/秒とした。その時の飛行軌跡を図2.2.1.9-64に示す。フォーメーションを維持したまま飛行し、リーダー機が方向転換した場合でも保たれていることがわかる。フォロワ機が飛行速度2m/秒でも編隊飛行をできたが、多少フォーメーションが崩れる（フォロワ機が遅延する）現象があった。本実験では、100m四方程度の狭いエリアでの飛行であったため、ドローン間の距離を短くせざるをえなかったが、よりドローン間の距離を長くすれば、2回/秒あるいは1回/秒の更新頻度でも十分にフォーメーションが維持できるものと推測される。

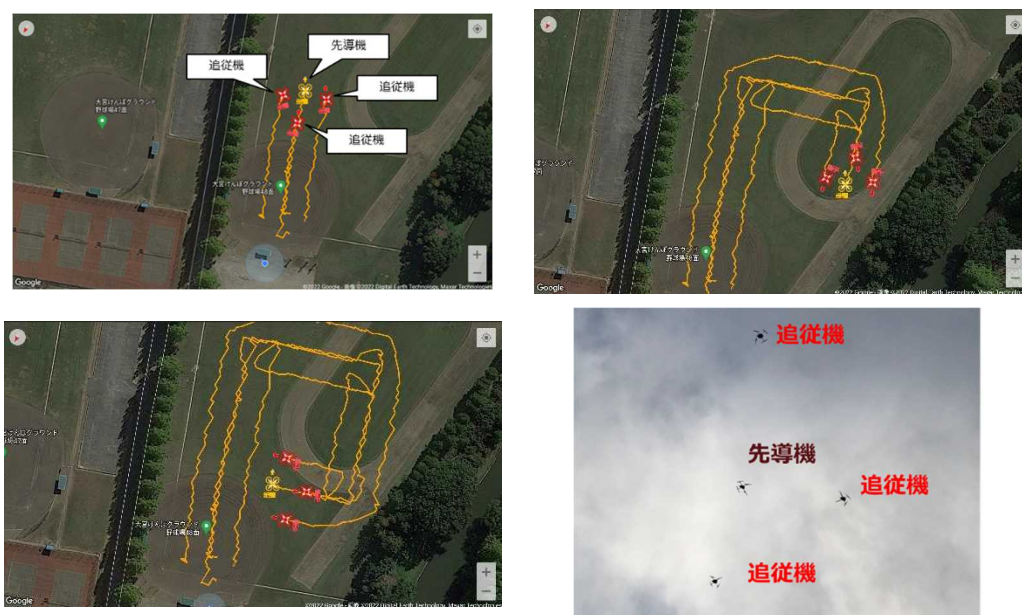


図 2. 2. 1. 9-64 ドローン 4 機による自律追従隊列飛行の軌跡と飛行の様子

(5) 同報通信内容の認証方式の実装と実証

最後に、LPWAの通信パケットに認証コードを埋め込み、共通鍵で暗号化することでグループ内（正規）ドローンかグループ外（非正規）ドローンかを識別する実証を行った結果を報告する。

本認証方式では、LPWA通信のパケットに含まれる時刻、緯度、経度、高度等の各情報に対して共通鍵を用いて暗号化することで認証コード（4byte）を生成し、暗号化しないこれらの情報（平文）に付加してLPWAでブロードキャストを行う。受信側では認証コードを共通鍵で復号し、平文情報と比較して一致するかどうかを判定することでパケットデータがグループ内のものかグループ外のものかを識別する。共通鍵を格納するデバイスとしては、共通鍵の上書きは可能だが読み出しする手段をもたないセキュアエレメント（SE）チップを採用し、これをマルチ通信端末のLPWA機体間通信モジュールにI2Cインターフェースで接続した（図2. 2. 1. 9-65）。

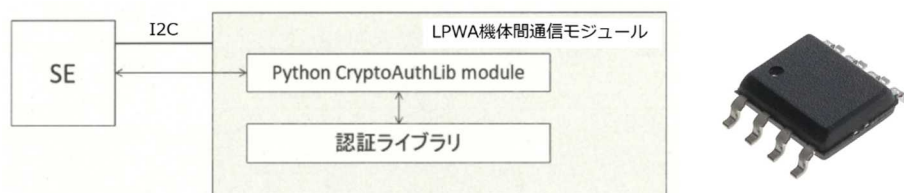


図 2. 2. 1. 9-65 認証システムの構成と採用したセキュリティエレメント（SE）  
（MicrochipTechnology 社製 ATSHA204A）

実験の結果を図2. 2. 1. 9-66に示す。グループ外ドローンは「？」で表示され、グループ

内外が識別できていることがわかる。本識別方式は、LPWA通信を行う全てのドローンに対してグループ管理（例えば、同じ会社のドローンか否か、同じルートを飛行するドローンか否か、許可されたドローンか否か等）を行う場合に利用することが想定される。また故意のなりすまし（スプーフィング）被害を防止するために有効であると考えられる。なお、共通鍵は特定のサーバに正規のアクセス権限により接続することで入手するシステムで管理されるが、そのセキュアな管理方法については今後の課題である。

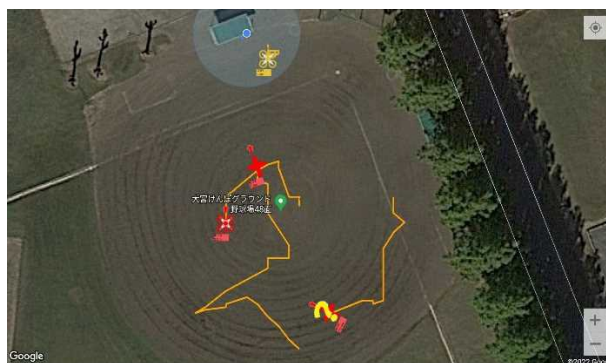


図 2. 2. 1. 9-66 認証コードによるグループ外ドローンの識別  
（“?” マークで表示されている機体がグループ外のドローン）

#### (6) 成果のまとめ

本研究開発を通じて、マルチ通信端末の LPWA 通信機能を使った機体間通信方式の小容量長距離特性が確認できたとともに、当初予定していた成果を上回る成果として、この機体間通信技術を応用し、地上の操縦者やネットワークを経由せずに、ドローン側だけで自律的にニアミス回避や隊列飛行に応用できることが実証できた。また、LPWA 通信信号だけでなく、BLE ベースのリモート ID 信号並びに ADS-B 送信機搭載有人機の位置をモニタに統合表示するとともに、上記の連携制御飛行に応用することが可能であること、認証コードの付加によりグループ内かグループ外かの識別が可能であることが確認できた。

リモート ID 受信機能により、LPWA 通信端末を搭載していないがリモート ID 端末のみを搭載しているドローンの位置を地上を経由せずにドローンが直接検知することが可能である。また ADS-B 受信機能により、今後制度化が期待されるポータブル ADS-B を搭載した有人ヘリの動態情報を、上記と同様、地上を経由せずにドローンが直接検知することが可能である。

一方、マルチ通信端末を有人ヘリに手荷物物品として持ち込む場合は、その位置により大きく影響を受けることがデータにより示された。有人ヘリにとって、最も注意すべき方向は進行方向であるヘリ前方だとすれば、マルチ通信端末の最も適切な機体内位置は副操縦士席の前方窓際である必要がある。そうすれば、大きなコストをかけずにドローンとの危険回避に必要な十分な通信品質を得ることができる。

また、ドローン同士のニアミス回避や隊列飛行に応用する場合には、自機の位置情報をドローンのフライトコントローラから取得すること、位置情報の更新頻度を機体間の距離や速度に応じて適切に設定する必要があること（機体間の距離が短いほど、また速度が速いほど、更新頻度を多くする必要がある）が確認できた。

これらの成果は、地上の通信インフラ上に整備された運航管理システムの元でド

ローンが統合運用されるようになったとしても、地上の通信インフラが災害や障害等で利用不能となるような状況下でのレベル4 運航や通信インフラが貧弱な山間部等でのレベル3 運航における安全性確保に役立つものと期待される。

海外においては、まだ機体間通信に関する取組みはほとんどなされた例がなく、主にセルラー通信経由の地上通信インフラを前提とした運航管理システムをベースとする検討が中心となっている。本研究成果である機体間通信は、今後の国際競争力強化のための要素技術としての発展・実用化が期待される。なお、機体間通信に基づく自律追従隊列飛行は、より高度な複数ドローン間の連携・協調飛行に発展させることが可能であり、例えば複数機体の連携による重量物運搬などを可能にすることも想定され、今後の多数機運航の重要な要素技術の1つになるものと考えられる。

今後はこうした機体間通信方式のさらなる信頼性の向上を図るとともに、運用性の改善、実証データの蓄積、並びに国内外における標準化への寄与を行っていく必要がある。できれば、目視外を飛行するドローンには搭載を制度化し、またドローンと空域を共有する可能性のある有人機や空飛ぶクルマ等にも搭載できるようなガイドラインが策定されることが期待される。

## 5.22. 研究開発項目「④-7. ブロードキャスト方式の通信性能評価手法の開発」

### 5.22.1. 「ブロードキャスト方式の通信性能評価手法の開発」(実施者：NICT)

#### (1) 研究開発の概要

小型無人航空機の遠隔識別のためのブロードキャスト方式について、現在国際的な技術・制度化動向に合せ、BLE (Bluetooth Low Energy) による通信方法の開発が行われており、国内における制度化に向けた準備が進められている。NICT はその通信性能評価手法の開発を進めている。一方、国際的に大きなシェアをもつドローンメーカーの中には Wi-Fi Aware による通信方法を採用し、普及させようとする動きが出てきている。このため、追加の課題として BLE に加え、Wi-Fi Aware によるブロードキャスト方式の通信性能評価手法を開発し、その通信性能の客観的な評価を行う。

通信性能評価は、機体間通信用に開発し、BLE 方式のリモート ID 信号が受信でき、かつその通信性能を記録・評価することが可能なマルチ通信端末を用いて行う。Wi-Fi Aware 方式については、Wi-Fi Aware と GPS が実装された Android 端末 (スマートフォンあるいはタブレット) を 2 台用い、その一方の端末に新たに開発する Wi-Fi Aware 受信信号に含まれる位置情報等を地図上に表示し、かつログを記録するソフトウェアを組み込む。ソフトウェアは、マルチ通信端末に接続される Wi-Fi Aware 対応の Android タブレット端末用の位置表示・ログ取得ソフトに機能追加することで実現する。その結果として、1つのタブレットあるいはスマートフォン端末上の地図に BLE、920MHz 帯 LPWA、ADS-B、Wi-Fi Aware の各無線インタフェース経由で受信される無人航空機 (ドローン) や有人航空機の位置がアイコンで同時に表示できるとともに、それらの情報をまとめてログとして記録し、あとで PC 等にデータを移して通信成功率等を解析することを可能とする。

#### (2) 通信性能評価手法の設計と開発

Wi-Fi Aware 受信信号に含まれる位置、識別情報等のデータを Android OS 対応のマルチ通信端末の表示インタフェースに BLE 経由で得られた ID や位置情報等と統合表示し、かつログを記録するソフトウェアを設計・実装し、ブロードキャスト方式の通信性能評価手法の開発を完了した。本手法では、「2.5.21①-4.2. 機体間通信方式の研究 (NICT)」で報告した LPWA 通信経由の情報に加え、ADS-B モジュールを USB インタフェースで外付けすることにより、1つのタブレットあるいはスマートフォンのモニタ上に BLE5 (BLE version 5.0)、Wi-Fi Aware、LPWA、ADS-B を統合表示することを可能としている。

開発した評価システムと、BLE5 を受信した場合の受信電力 (RSSI) および受信頻度のモニタの例を図 2.2.1.9-67、図 2.2.1.9-68 に示す。これらのデータはデバイスに CSV 形式のログとして記録され、飛行軌跡解析、通信距離特性、通信成功率等の評価に活用することが可能である。



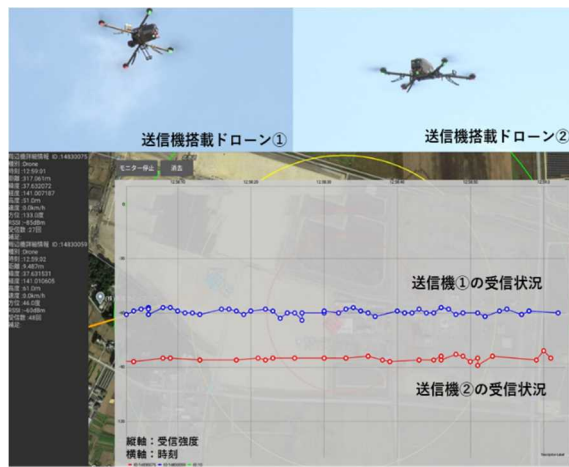
開発したWi-Fi Aware対応機能を追加したリモートID評価端末  
(マルチ通信端末のモニタデバイス)



図 2.2.1.9-67 リモート ID 評価用受信機



(a) リモート ID 評価用受信機



(b) 2機のドローンに対するBLE5受信電力・受信頻度モニタ例

図 2.2.1.9-68 リモート ID 評価用受信機による BLE5 通信品質測定

試作開発したリモート ID 評価用受信機的主要仕様を表 2.2.1.9-16 に示す。

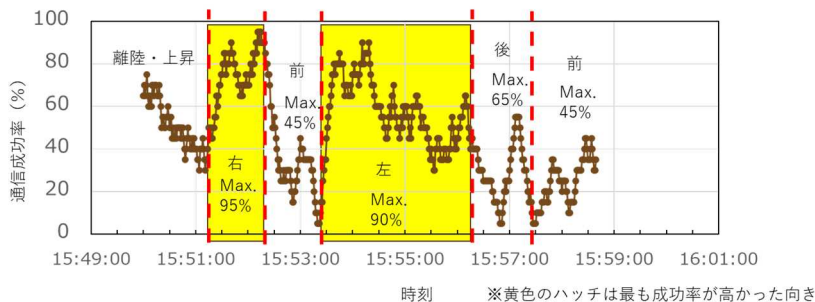
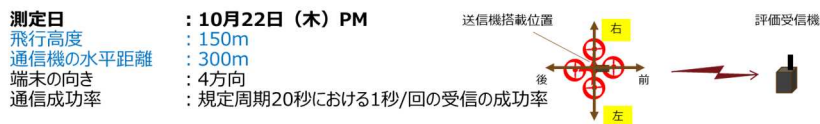
表 2.2.1.9-16 リモート ID 評価用受信機的主要仕様

<p><b>対応通信方式</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bluetooth Low Energy 5.0 (BLE5.0) ※OpenDrone ID準拠</li> <li>Wi-Fi Aware (対応予定)</li> <li>Drone Mapper (920MHz帯LoRa)</li> <li>ADS-B</li> </ul>	<p><b>ログデータ項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>位置座標値 (緯度、経度、海拔高度)</li> <li>送信JST日付・時刻 (年、月、日、時、分、ミリ秒)</li> <li>送信機ID</li> <li>速度(m/s)・進行方向(deg)</li> <li>受信信号強度 (RSSI, dBm)</li> <li>※ 受信時刻と送信データ頻度より通信成功率が計算可能</li> </ul>
<p><b>モニタ表示機能 (Androidタブレット端末)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Google Map (地図・衛星写真) 上での送信端末位置・ID・進行方向ベクトルのリアルタイムアイコン表示 (BLE、Wi-Fi Aware、930MHz、ADS-B を統合表示)</li> <li>位置座標値 (緯度deg、経度deg、高度m)</li> <li>送信JST日付・時刻 (年、月、日、時、分、ミリ秒)</li> <li>送信機ID</li> <li>送信機からの水平距離 (m)</li> <li>速度・進行方向の数値 (m/s, deg)</li> <li>受信したパケットのRSSI数値 (dBm) 及びリアルタイムグラフ表示 (受信頻度が確認可能)</li> <li>同時表示機数: 10機以上</li> </ul>	<p><b>ログファイル形式</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CSV形式</li> </ul> <p><b>電源</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>モバイルバッテリー (5V、5000mAh程度)</li> <li>インタフェース: マイクロUSB</li> <li>持続時間: 4~5時間</li> </ul> <p><b>その他機能</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>自己位置ブロードキャスト (920MHz帯LoRa、V2V 位置情報共有用)</li> </ul>

### (3) BLE 方式リモート ID 信号の受信評価

この手法を用い、BLE 方式 (BLE5 を利用) 及び Wi-Fi Aware 方式のリモート ID 信号の通信評価試験を福島 RTF で実施し、その動作を確認した。

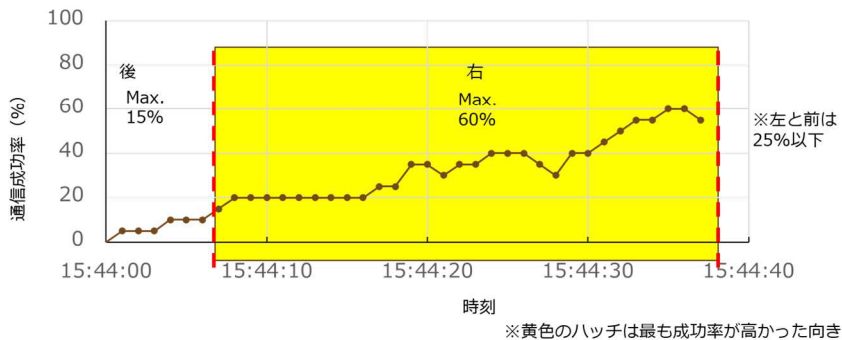
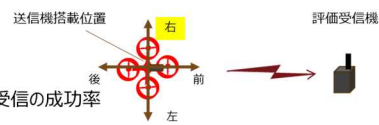
BLE 方式リモート ID 信号の受信信号評価結果の一例を図 2.2.1.9-69 に示す。リモート ID 送信機を 1 本のアーム上に搭載したドローンを地上の受信機方向を基準に前、右、後、左の 4 方向に水平回転させて通信成功率の変化を比較している。ドローンの飛行高度は全て対地 150m である。通信成功率は、コンソ内で規定した周期 20 秒間で 1 秒に少なくとも 1 回以上受信できた場合を受信成功と判断し、受信成功数の最大値 (20 回) を母数とする割合で定義した。



(a) 水平距離 300m

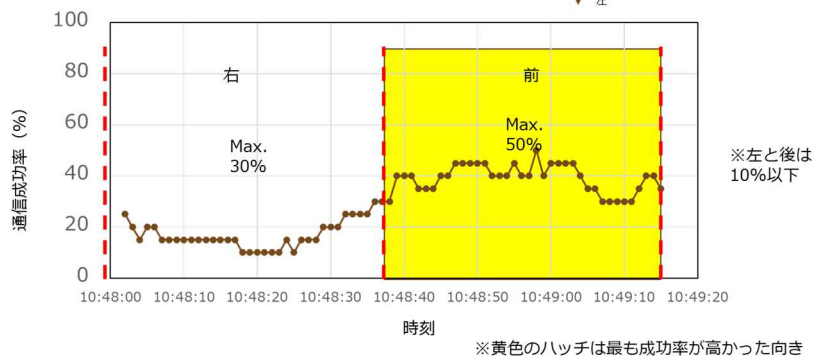
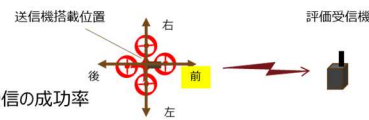


測定日 : 10月22日 (木) PM  
 飛行高度 : 150m  
 通信機の水平距離 : 500m  
 端末の向き : 4方向  
 通信成功率 : 規定周期20秒における1秒/回の受信の成功率



(b) 水平距離 500m

測定日 : 10月21日 (水) PM  
 飛行高度 : 150m  
 通信機の水平距離 : 700m  
 端末の向き : 4方向  
 通信成功率 : 規定周期20秒における1秒/回の受信の成功率



(c) 水平距離 700m

図 2. 2. 1. 9-69 BLE 方式リモート ID 信号の受信品質評価の一例

(リモート ID 送信機を搭載したアームが受信機の方である場合が「前」、それを基準にしてドローンを右方向に 90 度回転させた場合が「右」、その逆に回転させた場合が「左」、アームが受信機とは反対の方である場合が「後」)

上記結果から送受信間の水平距離と通信成功率が最大となるドローンの方向とその時の最大通信成功率をまとめたものを表 2. 2. 1. 9-17 に示す。ドローンの向きによる依存性が顕著に表れており、ドローン搭載送信機のアンテナにおけるドローン機体による干渉 (遮蔽・減衰) が大きく影響している可能性があることが数値として表れている。

表 2. 2. 1. 9-17

水平距離	300m	500m	700m
通信成功率	右95%、左90%	右60%	前50%

#### (4) Wi-Fi Aware 信号の受信評価

次に、試作した評価用受信機を用いて BLE の評価と同じく福島 RTF において Wi-Fi Aware 信号の受信評価を実施した。送信機、受信機ともに Wi-Fi Aware の送信機能を搭載するスマートフォン (Google Pixel) を用い、受信機にはマルチ通信端末で試作開発した機体間通信データの受信・ログ収集ソフトウェアを用いた。

このシステムを利用して得られた送信機と受信機の距離を遠ざけていったときの受信電力 (RSSI) 及び通信成功率を図 2.2.1.9-70、図 2.2.1.9-71 に示す。伝搬経路が地面に近くまた近傍の建物の影響などもあるため、完全な自由空間伝搬特性とはなっていないが、距離 600m 近くまでの通信が確認でき、条件によっては 90%以上の通信成功率が得られている。通信成功率は、BLE の場合と同じく、コンソ内で規定した周期 20 秒間で 1 秒に少なくとも 1 回以上受信できた場合を受信成功と判断し、受信成功数の最大値 (20 回) を母数とする割合で定義した。

なお、本実証では市販のスマートフォンに搭載の Wi-Fi Aware 信号を評価に利用したが、実際のドローンに用いられている Wi-Fi Aware 信号に関する詳細なデータフォーマット情報を入手すれば、それらのモニタと評価に利用することが可能となる。

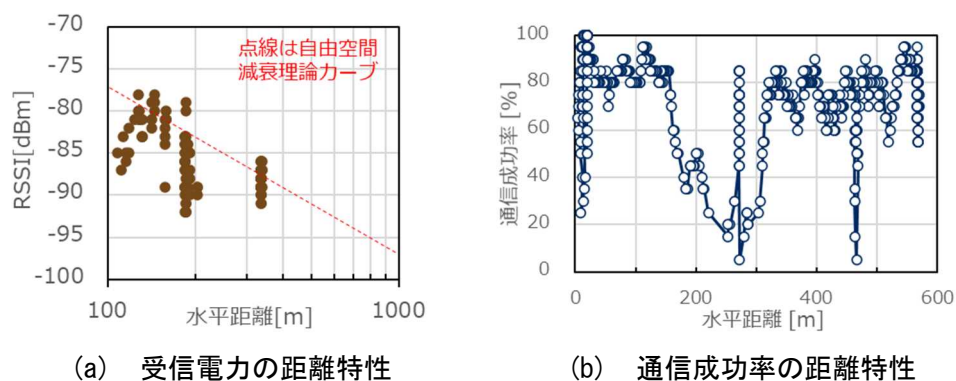
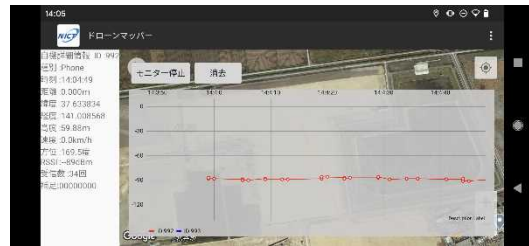


図 2.2.1.9-70 Wi-Fi Aware の通信特性測定例



(a) Wi-Fi Aware 信号の受信成功ポイント



(b) 受信電力のリアルタイムモニタ

図 2.2.1.9-71 Wi-Fi Aware 信号の受信成功ポイントと受信電力のリアルタイムモニタ

次に、開発したマルチ通信端末に USB インタフェースを介して外付けで ADS-B 受信モジュールを接続することにより、タブレットあるいはスマートフォンのモニタ画面に、LPWA 通信端末搭載ドローンに加えて ADS-B 送信端末搭載機（有人機）を同時表示できるか確認を行った。結果を図 2.2.1.9-72 に示す。モニタした場所は埼玉県大宮の大宮けんぼグラウンドであり、そこから 30~40km 離れた場所を飛行する ADS-B 送信機搭載の有人機がモニタできている。このため、本端末を搭載することにより、LPWA 搭載機だけでなく、ADS-B 送信機のみを搭載した有人機の位置も同時に把握することができ、目視外運航における安全性向上に役立てることが可能となる。

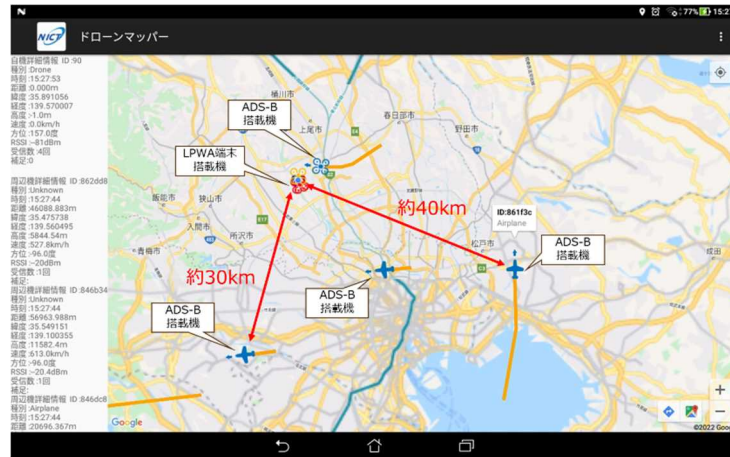


図 2.2.1.9-72 LPWA 通信端末搭載ドローンと ADS-B 搭載有人機のタブレット上での同時リアルタイムモニタ表示  
(ドローンのアイコンが LPWA 端末搭載機、飛行機のアイコンが ADS-B 送信機搭載有人機)

(5) 成果のまとめ

本研究開発では、マルチ受信端末による BLE5、LPWA、ADS-B、Wi-Fi Aware の各通信方式に対応した統合位置表示とともに、それぞれの受信レベル、通信成功率などの解析が可能なりモート ID 受信評価端末を試作し、その実証評価を行った。これにより、異なる種類の通信方式やリモート ID 送信端末を共通の基準で比較評価すること

が可能となるとともに、USB 接続された Android タブレットあるいはスマートフォンモニタ上にそれらの異なる型式の信号により受信された各移動体の位置情報がリアルタイムにアイコンで表示・可視化できることを確認した。

一方、Wi-Fi Aware については、実際ドローンで使用されている方式のフォーマット (Wi-Fi アライアンスで認証された Wi-Fi Aware 方式とは少し異なる) にはまだ準拠していないため、リモート ID に Wi-Fi Aware 方式を採用したメーカーの協力を得てフォーマットを適合させる必要がある。

このようなマルチ通信方式に対して通信品質評価ができるシステムは世界的に見ても例がないため極めて独自性が高く、複数のリモート ID 方式を共通のプラットフォームで同一条件にて比較評価する場合に有効であると考えられる。

## MPAT

### 5.23. 研究開発項目「②-3. 有人航空機のネットワーク型探知技術の研究」

#### 5.23.1. 「有人航空機のネットワーク型探知技術の研究」(実施者：MPAT)

本研究開発では有人航空機に一切手を加えることなしにその飛行位置探知できる手法として、マルチラテーションと呼ばれる技術を適用した有人航空機の位置探知システムを開発した。システムは、福島ロボットテストフィールド (RTF) および南相馬市に設置し、有人航空機の位置をリアルタイムで探知する実証実験を実施した。これにより、モード S トランスポンダを搭載する有人航空機を RTF から 15km 圏内において 1000ft 高度の位置を探知できることを確認した。また、モード A/C トランスポンダを搭載した有人機を RTF から 10km 圏内において 1000ft 高度の位置を探知できることを確認した。また、無人機管理システムとの接続実験により所望のデータをリアルタイムで受信し、情報共有システムを介して無人機ユーザに表示提供できることを確認した。

低高度を飛行する有人航空機の探知は技術的に難しい問題であり、これを解決できるシステムは存在しなかった。マルチラテーションの低高度域の監視は世界的にも未開拓の領域である上、これを実現できるシステムは世界的にも少ないことから、今後の次世代空モビリティの運航管理システムにおいて、有人航空機の協調的な空域共有を実現において広く利用されることが期待できる。

J A X A

5. 24. 研究開発項目「②-4. 有人航空機と無人航空機の機体間飛行情報共有技術の研究」

5. 24. 1. 「有人航空機と無人航空機の機体間飛行情報共有技術の研究」(実施者: J A X A)

1) ポータブル ADS-B 装置の飛行評価

<研究成果>

- ・ ポータブル ADS-B 装置を JAXA 実験用ヘリコプタ他に搭載し、飛行実験にて通信特性（距離や搭載状態での指向性）を計測した。
- ・ 結果、航空機前方では 20km 程度まで 1 秒に 1 回程度の受信が可能であることが確認できた。これは無人航空機が安全対応するのに十分な距離であり、本デバイスが有人航空機と無人航空機の安全確保用途に必要な性能を有していることが確認された。一方で機体真後は機体自体の遮蔽効果により、数 km 程度で受信出来なくなることが確認された。

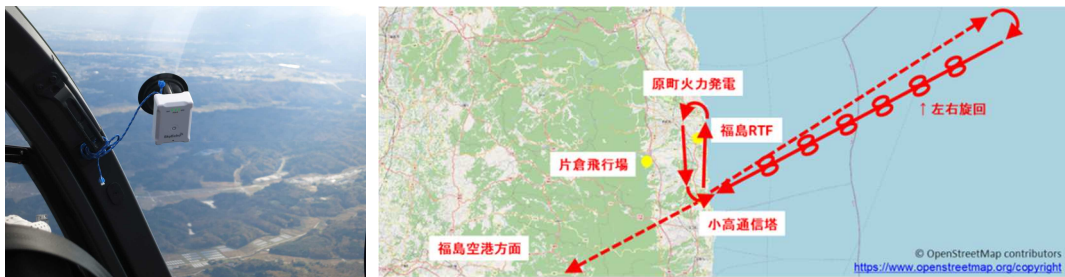


図 2. 2. 1. 9-73 実験用ヘリコプタに搭載したポータブル ADS-B 装置（左）  
評価飛行パターン（福島 RTF 周辺）

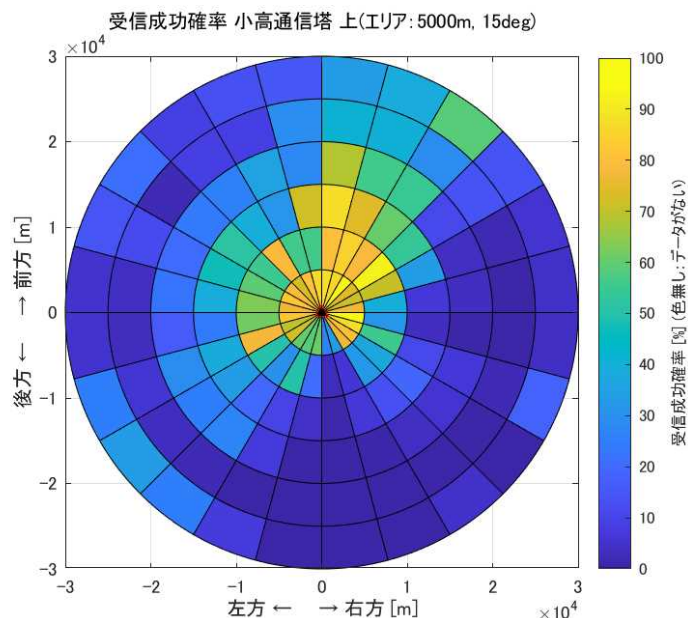


図 2. 2. 1. 9-74 ポータブル ADS-B 信号の受信成功確率分布  
(機体からの相対的な位置でプロット)

#### <意義>

- ・ 取得されたポータブル ADS-B の送受信特性の実計測データにより、本技術が有人航空機と無人航空機間の安全確保に有効であることが示された。有人航空機接近時の安全確保は無人航空機の産業利用拡大にとって必須要件であり、重要な意味を持つ。
- ・ また、取得された送受信特性データを用いることで、複雑な運航環境における有人航空機と無人航空機の安全確保の統計的なシミュレーション評価検討が実施可能になる。同シミュレーションを通して、将来の無人航空機自律飛行時の回避行動アルゴリズムの研究開発等に役立てることが出来る。本課題は後継となる ReAMo プロジェクトにおいて取り組む計画である。

#### 2) 社会実装に向けた手順の整理

##### <研究成果>

- ・ 本研究開発でポータブル ADS-B 装置の飛行実験を実施するため、当局からの実験許可を取得する調整と技術的な調査を実施した。
- ・ 日本国内における飛行試験を実施するため、国土交通省航空局安全部安全企画課装備品係との調整し、以下の論点を整理した。
  - ①電波を発する機材の航空機への持ち込みの観点。
  - ②1090MHz 航空周波数での信号発信航空管制への影響の観点。  
技術的な問題は生じないことを確認した上で、航空法第 17 条第 3 項において準用する同法第 11 条第 1 項ただし書に係わる試験飛行の許可申請を行い、飛行許可を得た。
- ・ 無線装置としてのポータブル ADS-B の実験使用許可を取得するため、総務省と調整を行い、必要な検査を実施した上で、無線実験試験局免許を取得した。
- ・ 社会実装のためには実用局として利用可能にする必要がある。そのための手順（ロードマップ）案を作成した。
  - ① 設備施工規則の定義（制度議論）（航空周波数 1090MHz の扱いの議論）
  - ② ポータブル ADS-B 装置の工事設計認証（技適）取得
  - ③ 電波を発する機材の持ち込みに関わる D0-160 Sec. 21.5（エミッション試験）
  - ④ 航空機アドレス発行申請・無線局免許申請（個別）
  - ⑤ 搭載機体毎の EMC 地上試験の定義（個別）

##### <意義>

- ・ 飛行実験の許可を取得するための当局（航空局および総務省）との調整過程で、その後の社会実装に向けた基本的な課題が識別された。
- ・ 上記課題を解決して社会実装するための手順（ロードマップ）案を作成したことで、関係者との議論方針が明確になった。本手順に沿って関係者との調整を進める。本課題は後継となる ReAMo プロジェクトにおいて取り組む計画である。



5.25. 研究開発項目「③. 情報統合アーキテクチャの研究」

5.25.1. 「機体識別および有人航空機空域共有のための情報統合アーキテクチャの研究」  
 (実施者：JAXA)

1) ファスト・タイム・シミュレータ開発と空域リスク評価  
 <研究成果>

- ・ 空域リスクの統計的評価が可能なファスト・タイム・シミュレータ (Skale-FT) を開発し、有人航空機と無人航空機の干渉確率評価を行った。
- ・ その結果、従来の衛星通信を介した有人機位置情報に基づくアラート方式では、今後運航数が増大する無人航空機の任務が大きく影響を受けてしまうことが示された。
- ・ 従来方式では通信遅延が存在し、かつ、非常に大きな安全余裕を持ったアラート通知がされるが、これにより必要以上に無人航空機側に緊急着陸の対応が必要になってしまう。仙台市周辺空域を想定した試算では43.8%の無人航空機任務が影響を受けてしまう。
- ・ 本研究で提案する ADS-B のような遅延が無い動態情報を用いることで無駄が排除され、影響を緩和することが出来る。任務中断率をおおよそ半減 (23.6%) させられる。
- ・ さらに速度ベクトル情報から将来位置を推定することで、任務中断率を一桁減らす (→1.8%) ことが出来ることが明らかになった。

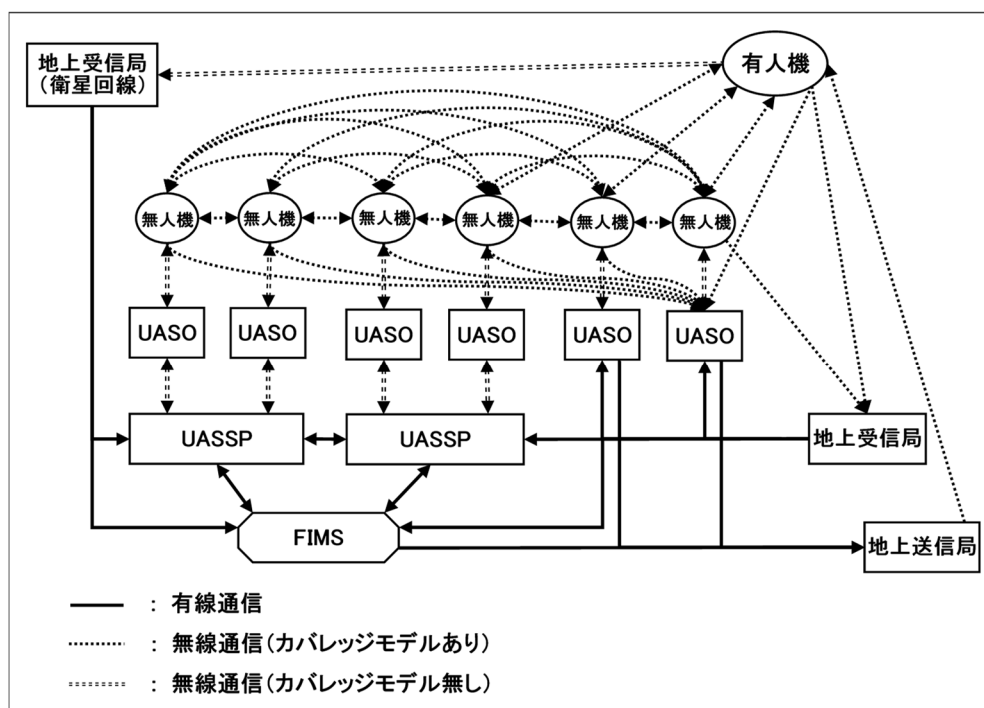


図 2.2.1.9-75 空域ファスト・タイム・シミュレータの機能構成



比較ケース：

- ① 遅延がある動態共有（現状のSATCOMベースの退避アドバイザリを想定）
  - ・退避判定は単純距離12.3 kmと仮定。単純距離なので極めて多くのドローンが影響を受けてしまう。
- ② 遅延が無いADS-Bでの動態共有想定（退避判定は単純距離）
  - ・退避判定は単純距離7.3 kmと仮定。遅延が無い分距離マージンを削減すると仮定。
- ③ 遅延が無いADS-Bでの動態共有想定（速度ベクトルから予想経路も考慮）
  - ・退避判断は、速度ベクトルも考慮してWell Clear違反が予想される場合のみに限定。

有人機動態共有方法	退避発生回数	Well Clear違反回数	ドローン任務中断率	
① SATCOM (単純距離判定)	8394回	0回	43.8%	有人機と無人機のセパレーションを保守的な数字(12km)のままにして、全有人航空機を対象に対応する場合、ドローン任務への影響が大きい
② ADS-B (単純距離判定)	5126回	0回	23.6%	アラートに影響される面積が減ったため
③ ADS-B (ベクトル考慮)	484回	5回	1.8%	遅延が無い動態情報と、速度ベクトルを考慮した退避判断条件とすることで、必要以上の退避行動を削減できるため、ドローンの運航効率が改善できる

ランダム要素に関して40エピソードの平均値。ドローンの飛行数は21,792回。

図 2. 2. 1. 9-76 有人航空機の動態情報共有による無人航空機運航効率の低下の緩和

<意義>

- ・ 有人航空機および無人航空機間の安全確保のためには飛行情報共有が必須であるが、現在のアラート方式のまま情報共有範囲を拡大すると無人航空機の運航効率が大幅に悪化してしまうことが明らかになった。
- ・ 動態情報共有と共にアラート方式、回避方式の合理的な設定が必要である。本課題は後継となる ReAMo プロジェクトにおいて取り組む計画である。

2) 情報統合アーキテクチャの設計

<研究成果>

- ・ 学識経験者や、関連産業分野における業界関係者を委員として招き、「遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発有識者委員会」を設置、議論を行った。
- ・ DRESS プロジェクトで検討された FIMS および UASSP 等による UTM の基本アーキテクチャに加え、新しい要素としての「有人航空機動態情報」および「遠隔識別情報」を加えた UTM アーキテクチャとして、情報統合アーキテクチャを設計した。

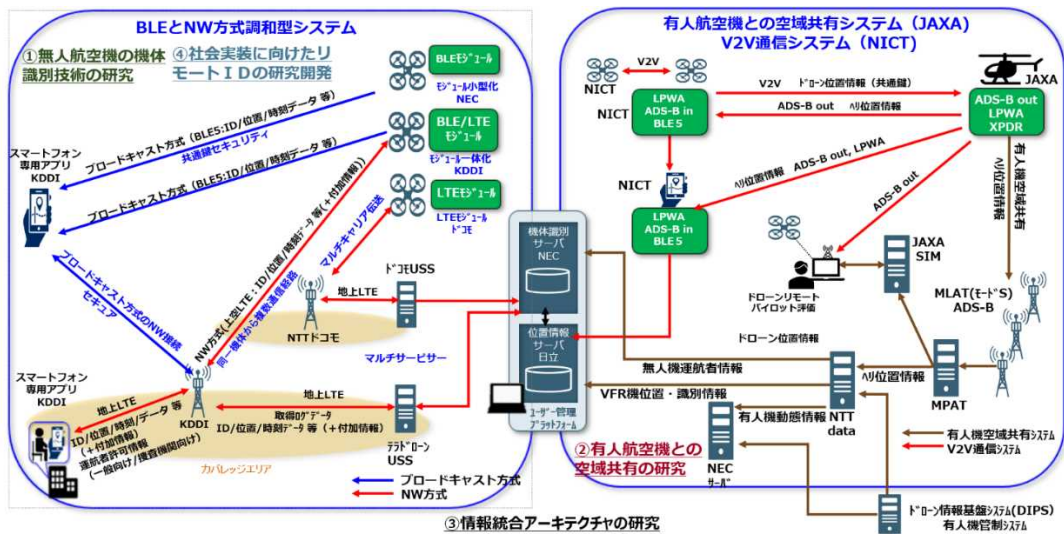


図 2.2.1.9-77 情報統合アーキテクチャ（実証実験の全体システム系統）

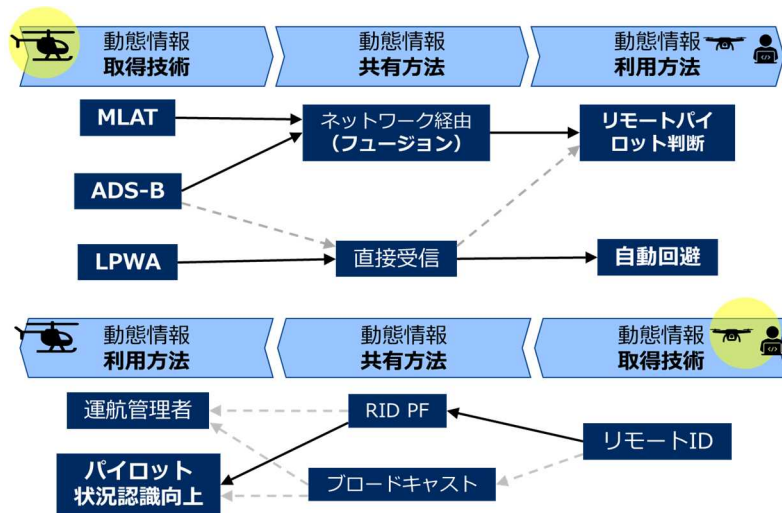


図 2.2.1.9-78 情報統合アーキテクチャ

（有人航空機動態情報と無人航空機動態情報（リモート ID）の共有の主要な系統）

<意義>

- ・ UTMにおいて追加要素である「有人航空機動態情報」および「遠隔識別情報」の取り込み方の例を示すと共に、その飛行実証を行うことで、今後の日本における広い意味での UTM アーキテクチャ検討に資する知見を得ることが出来た。本課題は後継となる ReAMo プロジェクトにおいて、次世代空モビリティ運航管理のアーキテクチャとして発展した検討に進むことになる。

3) 総合接続飛行試験成果

<研究成果>

- ・ 有人航空機と無人航空機の情報統合アーキテクチャを模擬したシステム構成により、想定シナリオ（有人機接近時の無人航空機緊急回避）の飛行実証を実施し、そ

の有効性を確認することができた。

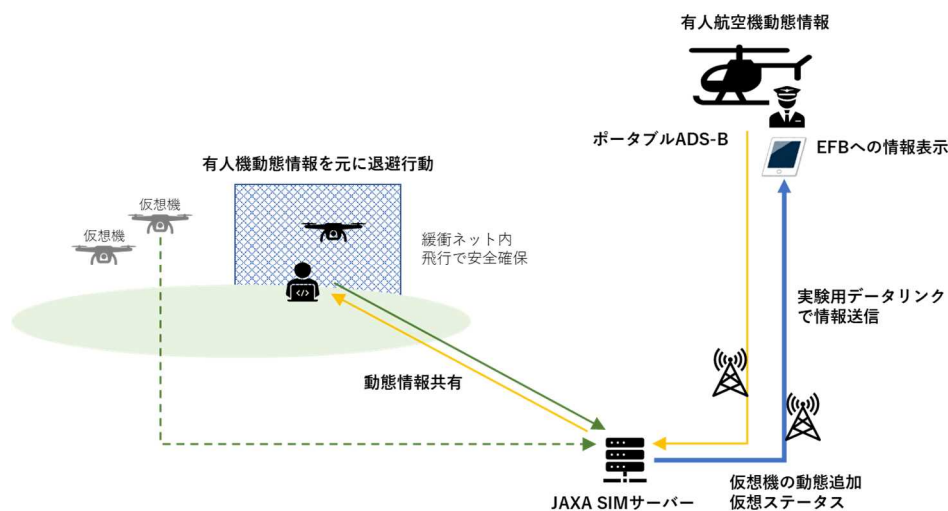


図 2.2.1.9-79 情報統合アーキテクチャ  
(有人航空機動態情報と無人航空機動態情報 (リモート ID)  
共有環境の模擬)

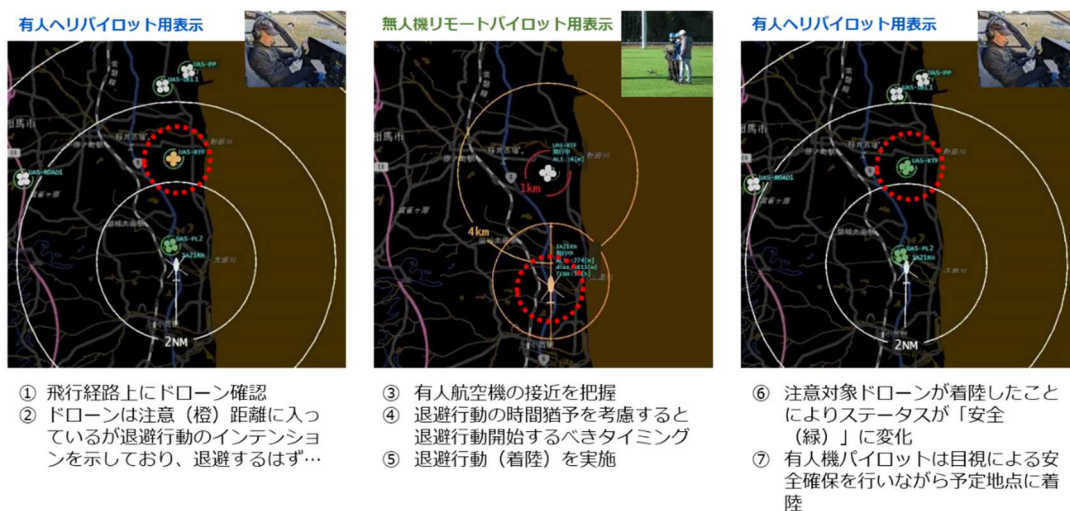


図 2.2.1.9-80 無人航空機パイロットへの有人機接近情報提供と、ヘリパイロットへのドローン位置情報提供 (ドローンが有人航空機の Well Clear (パイロットが十分に安全であると見做せる安全距離) を維持して退避行動をとったケース模擬)

<意義>

- ・ 総合接続試験における飛行実証を通じて、システムコンセプトの有効性の確認ができた。
- ・ 特に無人航空機側の対応方法 (有人機接近時に退避行動をとるための判断パラメータや、その閾値、退避行動自体の定義等) に課題が残っていることが確認された。本課題は後継となる ReAmo プロジェクトにおいて取り組む計画である。

(6) 特許出願数、論文等の発表数

NEC

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	0	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	0	0	0	-	0
展示会出展	-	-	0	0	0	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	0	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	0	0	0	-	0
国内出願	-	-	0	0	0	-	0
外国出願	-	-	0	0	0	-	0

日立製作所

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	0	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	0	0	0	-	0
展示会出展	-	-	0	0	0	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	0	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	0	0	0	-	0
国内出願	-	-	1	0	0	-	1
外国出願	-	-	0	0	0	-	0

知財確保の考え方：位置情報の共有に関して有効と考えられる技術を知的財産として特許申請する

NTTドコモ

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	0	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	0	0	0	-	0
展示会出展	-	-	0	0	0	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	0	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	0	0	0	-	0
国内出願	-	-	0	0	0	-	0
外国出願	-	-	0	0	0	-	0

KDDI

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	0	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	0	0	0	-	0
展示会出展	-	-	0	0	0	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	0	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	0	0	0	-	0
国内出願	-	-	0	0	0	-	0
外国出願	-	-	0	0	0	-	0

テラドローン

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	0	0	0	-	0

学会発表・シンポジウム講演等	-	-	0	0	0	-	0
展示会出展	-	-	0	0	0	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	0	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	0	0	0	-	0
国内出願	-	-	0	0	0	-	0
外国出願	-	-	0	0	0	-	0

#### N T T データ

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	0	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	0	0	0	-	0
展示会出展	-	-	1	1	2	-	4
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	0	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	0	0	0	-	0
国内出願	-	-	0	0	0	-	0
外国出願	-	-	0	0	0	-	0

#### N I C T

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	0	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	0	0	3	2	5
展示会出展	-	-	0	0	1	-	1
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	0	0	2	18	20
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	0	0	0	1	1
国内出願	-	-	0	0	0	-	0
外国出願	-	-	0	0	0	-	0

#### M P A T

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	0	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	0	1	1	1	3
展示会出展	-	-	0	0	0	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	0	1	0	-	1
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	0	0	0	-	0
国内出願	-	-	0	0	0	1	1
外国出願	-	-	0	0	0	-	0

知財確保の考え方：基本特許として時刻同期技術の知財確保を実施した。

#### J A X A

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	0	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	0	0	4	1	5
展示会出展	-	-	0	0	0	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	0	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	0	0	0	-	0
国内出願	-	-	0	0	0	-	0

外国出願	-	-	0	0	0	-	0
------	---	---	---	---	---	---	---

## (7) 実用化・事業化への道筋と課題

### 1. 実用化・事業化に向けた戦略

#### NEC

#### 1.1. 研究開発項目「①-1. 機体識別情報共有プラットフォームの研究」

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会の「リモート ID の基本設計（案）（概要）」に定義されている、登録システムへの所有者情報等の照会・回答のユースケースを想定し、機体識別技術を継続して検討する。様々な利用方法の仮説を立て、技術開発を促進する。検証結果をもととした利用方法を関係省庁へ提案し環境整備の促進を図る。

#### 1.2. 研究開発項目「②-1. 飛行計画管理機能の研究」

“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”にて制定されている「空の産業革命に向けたロードマップ」に協調しつつ、無人航空機運航管理と本研究開発対象である飛行計画管理機能の在り方を継続して検討する。

また、有人航空機の情報共有について運用ルールの策定に関して関係省庁への積極的な提案を継続し、環境整備の促進を図るとともに、無人航空機運航管理事業を確立させる。

#### 1.3. 研究開発項目「④-1. ブロードキャスト方式のリモート ID デバイスの小型化・性能向上」

2021年12月に“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”で提示された、「リモート ID の導入について」にて、管理対象が100g以上の機体となり、リモート ID デバイスの更なる小型化が必要となった。社会実装を想定して、100gの機体に搭載可能な小型かつ頑健性のあるリモート ID デバイスの検討が必要となり、新たな研究テーマ「④-11 小型無人航空機へ搭載するブロードキャスト方式リモート ID の開発」を設定した。

#### 1.4. 研究開発項目「④-2. 識別情報管理プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」

2020年12月3日の“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”で改訂された空の産業革命に向けたロードマップ 2020 に則り、有人地帯での目視外飛行の社会実装を行うことを想定して、機体識別管理技術の検討を継続して実施する。ブロードキャスト型、ネットワーク型のリモート ID からの情報を活用し、実証実験を継続して行い、技術開発を促進し、また、検証結果を元にしたネットワーク方式のリモート ID の有効性を関係省庁へ提案し、環境整備の促進を図る。

#### 1.5. 研究開発項目「④-8. ブロードキャスト方式のセキュリティにおける共通鍵技術の検証」

研究開発内容は、関連省庁に報告し、暗号化方式は AES-128bit-CBC (Cipher Block Chaining Mode) で検証を行った。

2021年6月28日の同協議会にて、「リモート ID 技術規格書（案）」として、ブロードキャスト方式の認証データの暗号化方式は AES-128bit-CCM (Counter with Cipher block chaining Message authentication code) となり、「①-1. 機体識別情報共有プラットフォームの研究」にて、AES-128bit-CCM の研究を実施し事業化検討を進めている。

- 1.6. 研究開発項目「④-10. リモート ID デバイスの共通鍵の管理技術の開発」  
リモート ID の基本設計（案）にて定義されている、登録システムへの所有者情報等の照会・回答のユースケースを想定し、継続して検討する。様々な利用方法の仮説を立て、技術開発を促進する。検証結果をもととした利用方法を関係省庁へ提案し、環境整備の促進を図る。

- 1.7. 研究開発項目「④-11. 小型無人航空機へ搭載するブロードキャスト方式リモート ID の開発」  
無人航空機が様々な分野で活用され多数の機体が高密度に飛行する将来において、今回の研究開発で得た技術情報を元に、機体製造業社への技術提供、デバイス供給を行う検討を継続して行う。

#### 日立製作所

- 1.8. 研究開発項目「①-2. 位置情報共有プラットフォームの研究」  
無人航空機は、物流分野のみならず、橋梁、道路、トンネルといった社会インフラ点検、災害地における救援支援、空撮など様々な分野での活用が期待されている。さらにその市場は今後、益々拡大していくものと予想されている。  
無人航空機の普及に伴い 2020 年代に 1 時間 1 平方 km100 機といったレベルで多数飛行する世界となることが想定され、多数の機体が高密度に飛行することが想定された世界を実現するためには、機体の登録や識別方法を含めた機体の遠隔識別（リモート ID）が必要不可欠であり、その全体システムの一部として本研究開発対象である位置情報共有プラットフォームも必要になると想定する。

- 1.9. 研究開発項目「④-3. 位置情報共有プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」  
無人航空機は、物流分野のみならず、橋梁、道路、トンネルといった社会インフラ点検、災害地における救援支援、空撮など様々な分野での活用が期待されている。さらにその市場は今後、益々拡大していくものと予想されている。  
無人航空機の普及に伴い 2020 年代に 1 時間 1 平方 km100 機といったレベルで多数飛行する世界となることが想定され、多数の機体が高密度に飛行することが想定された世界を実現するためには、機体の登録や識別方法を含めた機体の遠隔識別（リモート ID）が必要不可欠であり、その全体システムの一部として本研究開発対象である位置情報共有プラットフォームも必要になると想定する。また、その際には受信端末での受信範囲を超える無人航空機との位置情報共有も可能とするネットワーク方式リモート ID も必要になると想定する。

#### NTTドコモ

- 1.10. 研究開発項目「①-3. 情報共有プラットフォームへの携帯電話網から得られる情報提供に係る研究」  
リモート ID 発信においては、まずはブロードキャスト型での整備が進んでおり、ネットワーク型については、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会におけ



る「空の産業革命に向けたロードマップ 2022」にて示されている通り、引き続き運航管理技術の高度化に向けて、継続検討がなされていく見込みである。

ネットワーク型の検討に際しては、リモート ID が無人航空機にて生成ないし保持/送信される性質の情報であるため、その無人航空機にて生成ないし保持/送信されたリモート ID の信憑性の確保が重要となってくる。本研究開発にてリモート ID の信憑性の確保のために用いた携帯網固有情報の取得及び送信に関する実装方式については、既に商用サービス化されているものの組み合わせであるため、技術的観点においての実現性は高い。一方、事業化においては、信憑性確保も含めたネットワーク型リモート ID のサービスの提供方法について検討が必要である。具体的には、本研究開発にて用いた携帯網固有情報を利用する場合、携帯電話事業者がリモート ID の信憑性確保も含め垂直統合型でサービス提供するのか、あるいは、リモート ID の信憑性確保のみを携帯電話事業者が提供し、その他のサービス提供を別事業者で行う水平分業型でサービス提供するのか等の検討である。水平分業型だと、事業者間の調整に係るオーバーヘッドコストを踏まえた事業化が必要となるが、垂直統合型であればその分のコストを抑えること可能であり、それらの特徴を踏まえた検討を実施する必要がある。

#### 1. 11. 研究開発項目「④-6. 携帯電話網を活用したネットワーク方式リモート ID の開発」

前項の通り、リモート ID 発信においては、まずはブロードキャスト型での整備が進んでおり、ネットワーク型については、引き続き運航管理技術の高度化に向けて継続検討がなされていく見込みである。その継続検討の中では、本研究開発を踏まえ、ネットワーク型リモート ID の実用化に向けた実装方式等のさらなる検討も継続していく必要がある。

ネットワーク型リモート ID はブロードキャスト型と比較し、その通信に LTE を使用する方式が検討されていることから、長距離からの識別が可能であり、さらに、携帯電話網固有の識別情報や位置情報が、リモート ID の詐称への対策も可能であるという特徴を有している。その為、現在法整備が進められている飛行レベル 4 のような第三者上空での目視外飛行においては、その飛行特性から、長距離からの無人航空機の識別、さらに、その情報が詐称されていないことの担保が重要であり、上記で挙げた特徴を有する、ネットワーク型リモート ID が適切であると考えられる。上記を踏まえると、今回の研究開発で検証したネットワーク型リモート ID は、その特徴を有する構成となっており、実証結果においても実用に耐えうる結果であったことから、本研究開発の結果をベースとした実用化が見込まれる。

### K D D I

#### 1. 12. 研究開発項目「①-4. 機体識別および位置把握のための通信アーキテクチャの研究」

2022 年 6 月の登録制度で施行された直接放送型のリモート ID によるパブリックセーフティの実運用性を継続注視すると共に、2021 年 6 月の官民協議会で示された、2022 年 12 月のレベル 4 飛行の実現に向けた新たな制度整備における運航管理要件（運航ルール）を踏まえながら、ネットワーク型のリモート ID に関わる技術開発と実証実験を継続し、検証結果に基づく技術要件の策定、並びに関係省庁への環境整備の提案と促進を図る。

#### 1. 13. 研究開発項目「①-4.1 ネットワーク型通信方式の研究」

2022 年 6 月の登録制度で施行される直接放送型のリモート ID における「通信距離」や「耐干渉性」等の課題を踏まえたパブリックセーフティの実運用性を継続注視

すると共に、2021年6月の官民協議会で示された、2022年12月のレベル4飛行の実現に向けた新たな制度整備における運航管理要件（運航ルール）を踏まえながら、ネットワーク型のリモートIDに関わる技術開発と実証実験を継続し、検証結果に基づく技術要件の策定、並びに関係省庁への環境整備の提案と促進を図る。

1.14. 研究開発項目「④-5 ネットワーク方式リモートIDの通信・システム開発」

2022年6月の登録制度で施行される直接放送型のリモートIDにおける「通信距離」や「耐干渉性」等の課題を踏まえたパブリックセーフティの実運用性を継続注視すると共に、2021年6月の官民協議会で示された、2022年12月のレベル4飛行の実現に向けた新たな制度整備における運航管理要件（運航ルール）を踏まえながら、ネットワーク型のリモートIDに関わる技術開発と実証実験を継続し、検証結果に基づく技術要件の策定、並びに関係省庁への環境整備の提案と促進を図る。

1.15. 研究開発項目「④-9 ロードキャスト方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証」

2022年6月の登録制度で施行される直接放送型のリモートIDにおける「通信距離」や「耐干渉性」等の課題を踏まえたパブリックセーフティの実運用性を継続注視すると共に、2021年6月の官民協議会で示された、2022年12月のレベル4飛行の実現に向けた新たな制度整備における運航管理要件（運航ルール）を踏まえながら、ネットワーク型のリモートIDに関わる技術開発と実証実験を継続し、検証結果に基づく技術要件の策定、並びに関係省庁への環境整備の提案と促進を図る。

1.16. 研究開発項目「⑤-1 運航管理システムと識別技術の調和システム開発」

2021年6月の官民協議会で示された、2022年12月のレベル4飛行の実現に向けた新たな制度整備における運航管理要件（運航ルール）や、ASTM規格など国際標準に適合した運航管理システムとの連携システムの技術開発と実証実験を継続し、国際動向調査と実証実験の検証結果に基づくフライトセーフティの実現に向けた技術要件の策定、並びに関係省庁への環境整備の提案と促進を図る。

1.17. 研究開発項目「⑤-2 遠隔識別技術の海外訴求活動」

2021年6月の官民協議会で示された、2022年12月のレベル4飛行の実現に向けた新たな制度整備における運航管理要件（運航ルール）や、ASTM規格など国際標準に適合した運航管理システムとの連携システムの技術開発と実証実験を継続し、国際動向調査と実証実験の検証結果に基づくフライトセーフティの実現に向けた技術要件の策定、並びに関係省庁への環境整備の提案と促進を図る。

テラドローン

1.18. 研究開発項目「①-4.3 通信制御の開発」

リモートID信号の発信義務化が制度として運航者側に根付くことで定常的に一定数以上の無人機運航数が担保され、民間USSサーバの事業としての採算性が確保できると仮定した場合、その運用定着化までのシナリオとして以下のようなステップで進めていくことを想定している。

表 2.2.1.9-18 事業化までのシナリオの進め方

項番	ステップ	概要	備考
1	ユースケースの机上検証	リモート ID 情報共有のための様々なユースケースの検証を実稼働想定システムを用いて机上で行う。 具体的なユースケースとしては、催事場上空で不審ドローンを検出した地上警備員から機体識別情報共有 PF に対して無人機運航者情報 API を介して操縦者の身元確認を行うものが挙げられる。	パラメータの固定値化や通信ノードのスタブ化を行い、E2E (End to End) でどのような操作が必要とされるかを整理。
2	ユースケースの有効性の整理	様々な通信経路や接続方式にてユースケースの有効性の検証を行うことでパターン毎に利点・欠点の整理を行う。 具体的には機体 (→地上リモート ID 受信端末) (→民間 USS サーバ) →遠隔識別 PF (→民間 USS サーバ) →地上リモート ID 受信端末という一連の経路の中で地上リモート ID 受信端末あるいは民間 USS サーバを経由するか否かで複数のパターンが存在する。	システム間遅延やコンピュータリソース制限、通信セキュリティや接続の安定性等様々な観点でユースケースを整理。
3	ニーズの特定	整理された利点・欠点を元に最適な接続形態および通信方式のユースケースを選定すると同時に、リモート ID 信号自体の分析を行うことでリモート ID 情報共有の具体的なニーズを特定しインタフェースの調整を行う。 具体的には ASTM 規格に含まれていない位置情報補正フラグや有人機インタフェースの追加等が挙げられる。	リモート ID 通信電文中の項目で過不足があればその補完を実施。
4	システムの最適化	特定できたニーズに合わせて民間 USS サーバ側の内部処理を最適化する。 具体的にはネットワーク型通信方式でリモート ID 発信中に十分なセルラー通信強度が確保できなかった場合に直接放送型通信方式に縮退運転 (fall back) する等。	民間サーバを介してリモート ID 信号を扱う上で電文のデータ検証処理やエンコード処理、優先度決定処理等を最適化。
5	概念実証の実施	民間 USS サーバに接続してもらった運航者側の理解を得るための提案および情報共有等の活動を行う。 具体的には国内で標準化されたリモート ID 通信規格に則った機体および制御ソフトを利用して、リモート ID の処理自体は USS 民間サーバ側で隠蔽してしまい、最小限の労力でリモート ID 発信義務を履行することが可能になる。	事業化を見据え、システムとしての信用を得て実績を積むための概念実証を実施。
6	継続的な改善	民間 USS サーバに接続する運航者数の増加を図るために接続形態の多様化等への対応およびニーズに合わせた改善を継続して行っていく。	今後の取組みとして検討。

## NTTデータ

### 1.19. 研究開発項目「②-2. 運航者情報および機体情報管理機能の研究」

今回の研究では、ADS-B や MLAT など有人航空機の位置を補足するための複数の技術を使って取得した情報を比較検討し、優先度の高い位置情報を採用するフェージョン機能を開発した。今後、無人航空機と有人航空機の位置情報を共有する仕組みを構築する場合に、どのような手段で有人航空機の位置情報を取得し、採用する情報を判別するかについて、今回の研究結果を踏まえた設計が必要になる。

また無人航空機と有人航空機の位置情報を共有する仕組みについて、公的機関にてインフラを整備するのか、民間事業者間の情報連携で実現するのか、方針を決める必要がある。公的機関と民間事業者のどちらが位置情報共有の仕組みの実現を担うかにより、必要となる技術やインフラは異なってくる。公的機関と民間事業者のどちらが無人航空機と有人航空機の位置情報共有を担うのかの方針に従って、法制度やインフラが整備され、事業化されていくことになる。

### 1.20. 研究開発項目「④-4. 運航者情報・機体情報管理機能のネットワーク方式リモートIDの開発」

無人航空機の運航者情報および機能情報の取得や管理については、法制度やシステムが整備されている。今後、これらの情報を活用した無人航空機の安全安心な運航のための各種サービスが事業化する見込みである。

この実現のためには、現在の無人航空機に関する情報を保有する公的機関の各種システムが情報を提供し、民間事業者においてユースケースに合わせた各種サービスの開発が可能になる必要がある。またAPI等により、公的機関と民間事業者のシステムが連携することにより、個々のユースケースに合わせた情報のやり取りが効率的に行われることで、サービスの利便性が向上していく。

また、無人航空機の利用が進むにつれて、管理すべき情報や参照したい情報が個々のユースケースごとに発生することが想定される。これらのニーズに対応する形で、法制度とシステムの整備がさらに進むことで、無人航空機の安全安心な運航に寄与する情報提供の事業は発展していく見込みである。

## NICT

### 1.21. 研究開発項目「①-4.2. 機体間通信方式の研究」

研究開発終了後、実用化を想定したソフトウェアの改良を実施するとともに、継続的な実証実験を通じて信頼性向上のための課題への対応を行う。また国際的な標準化活動における機体間通信の議論の動向を注視し、適切なタイミングで寄与を行い、日本発の技術が国際的に認知されるよう努める必要がある。これらの活動を行いつつ、2022年度より、実用化に賛同するメーカーとの協議を始め、システムの製品化を目指す。

### 1.22. 研究開発項目「④-7. ブロードキャスト方式の通信性能評価手法の開発」

研究開発終了後、実用化を想定したソフトウェアの改良を実施し、システムの製品化を目指す。

## MPAT

### 1.23. 研究開発項目「②-3. 有人航空機のネットワーク型探知技術の研究」

本研究で実証した技術は低高度を飛行する既存の有人航空機の位置をリアルタイムで得ることができる。得られた情報を無人機に無線伝送することで、有人機と安全な距離を保つことが可能となり、衝突やニアミスなどを事前に回避し、安全安心な空

域共有を実現が期待できる。無人機の安全運航のみならず、今後発展予想される空飛ぶクルマなど次世代空モビリティにおける安全運航の管理などより幅広い分野への適用を進める。

J A X A

1. 24. 研究開発項目「②-4. 有人航空機と無人航空機の機体間飛行情報共有技術の研究」

ポータブル ADS-B の社会実装に向けて関係当局との調整を継続する。無線設備規則の定義（電波法）が必要であることから、業界からのニーズを取りまとめて当局に説明することが必要。

1. 25. 研究開発項目「③. 情報統合アーキテクチャの研究」

空域ファスト・タイム・シミュレータは次世代空モビリティの研究開発でも重要な役割を果たす。広く産業界に技術提供する。

2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

N E C

2. 1. 研究開発項目「①-1. 機体識別情報共有プラットフォームの研究」

無人航空機運航数の大幅な増加には、航空法などの法的な問題を含めて様々な課題の解決が必要であると考えられるが、そのための環境整備の一つとして、無人航空機の機体識別技術は重要な要素であると考えられる。

2. 2. 研究開発項目「②-1. 飛行計画管理機能の研究」

無人航空機の運航管理を活用した無人航空機を活用するサービスは、ますます発展すると想定される。

限りあるリソースである「空」で無人航空機、有人航空機の混雑が発生し「空」リソース枯渇による無人航空機の衝突等が発生する可能性を回避し、無人航空機を安心・安全に飛行させる仕組みを提供することで無人航空機産業の発展に貢献すると考えられる。

今後の課題としては、無人航空機の運航管理として航空交通管制システムとの連携が必要であり、有人航空機の運用ルールの制定とあわせて議論・検討する必要がある。

また、今回の研究で検討課題として上げた項目への取り組みが必要と考える。

表 2. 2. 1. 9-19 飛行計画管理機能の課題と今後の対応

課題	今後の対応
<p>有人航空機システムから得られる情報をどの程度無人航空機を扱う事業者を提供して良いか検討する必要がある。 フライトプランには機微情報も含まれるため全ての情報を提供するの難しいと考える。</p>	<p>運航管理システムの標準化、法整備を進めていく。</p>

課題	今後の対応
フライトプランの経路解析が100%ではないため、さらに経路解析精度を向上する必要がある。	実際の運用データ（フライトプラン）の経路解析結果と飛行実績の突き合わせを行い、曖昧検索以外にも、機械学習等による解析精度の向上の検討を行う。
今回の研究では、社会実装時の処理能力を満たすサーバ構築を実施していない。	社会実装時を意識したサーバのアーキテクチャを検討する。
APIを公開し、民間事業者が容易に情報を得られる仕組みの検討が必要である。	民間事業者がさらに容易に接続できるようAPIの改善を検討する。

- 2.3. 研究開発項目「④-1. ブロードキャスト方式のリモートIDデバイスの小型化・性能向上」  
 小型化の実現のために、「④-11 小型無人航空機へ搭載するブロードキャスト方式リモートIDの開発」のテーマにて、100gの機体への搭載が可能となるよう更なる軽量化を検討し、質量10g以下を目標に研究を実施する。
- 2.4. 研究開発項目「④-2. 識別情報管理プラットフォームのネットワーク方式リモートIDの開発」  
 無人航空機運航数の大幅な増加には、航空法などの法的な問題を含めて様々な課題の解決が必要であると考えられるが、そのための環境整備の一つとして、無人航空機の機体識別技術は重要な要素であると考えられる。
- 2.5. 研究開発項目「④-8. ブロードキャスト方式のセキュリティにおける共通鍵技術の検証」  
 今回の研究では暗号方式としてAES-128bit-CBCを採用したが、暗号技術を取り巻く環境は常に変化しており、将来に渡って安全が保障される方式は存在していない。総務省および経済産業省が策定している「電子政府における調達のために参照すべき暗号のリスト」に掲載されている推奨暗号技術も随時見直しがされているため、リモートIDの社会実装後についても使用する暗号方式の見直しを適宜行う必要がある。社会実装へ向けては、使用する暗号方式を将来変更することができるよう、インタフェース仕様等で配慮することが求められる。
- 2.6. 研究開発項目「④-10. リモートIDデバイスの共通鍵の管理技術の開発」  
 無人航空機運航数の大幅な増加には、航空法などの法的な問題を含む様々な課題の解決が必要であると考えられる。本研究で開発したユーザ登録機能に相当する、機体IDおよび共通鍵を生成する仕組みについては行政事業として整備され、国もしくは国からの委託により運営されることが想定される。また、リモートIDデバイスで共通鍵を安全に管理する対応については、無人航空機の製造業者並びにリモートID製造業者の無人航空機登録制度への早期対応を促進するものである。
- 2.7. 研究開発項目「④-11. 小型無人航空機へ搭載するブロードキャスト方式リモートIDの開発」  
 開発および実証実験等を通して、リモートIDの通信距離性能、アンテナ特性に関する確認を行うことができた。この中で、機体製造業者から見た場合の実装方式については、更なる改善を継続的に実施して行くことが必要と考えられる。無人航空機のセンサなどの既存機能を活用して、リモートIDの基本機能を実現することで、正確

で安全なオペレーションの実現にも資するものであり、機体製造業者と連携して具体的な適用事例を一つずつ着実に実施して行くことで、社会実装に関する実績を蓄積しながら質的な向上を図って行くことが重要であるとする。

#### 日立製作所

##### 2.8. 研究開発項目「①-2. 位置情報共有プラットフォームの研究」

“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”にて制定されている「空の産業革命に向けたロードマップ 2022」に協調しつつ機体識別事業の在り方を継続して検討する。実証実験を継続して行い、技術開発を促進し、その検証結果をもととした機体識別ルールの策定に関して積極的に関係省庁への提案を継続し、環境整備の促進を図るとともに、機体識別事業を確立させる。あわせて、関連する海外の主要標準化団体の会合への派遣や先行する諸外国の関連団体の研究者との意見交換・交流を通じて、最新の標準化動向を把握しつつ、国内関係官庁の政策のみだけでなく、本プロジェクトの成果の国際標準化を獲得するための具体的な活動計画を提言していく。

##### 2.9. 研究開発項目「④-3. 位置情報共有プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」

“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”にて制定されている「空の産業革命に向けたロードマップ 2022」に協調しつつ機体識別事業の在り方を継続して検討する。実証実験を継続して行い、技術開発を促進し、その検証結果をもととした機体識別ルールの策定に関して積極的に関係省庁への提案を継続し、環境整備の促進を図るとともに、機体識別事業を確立させる。あわせて、関連する海外の主要標準化団体の会合への派遣や先行する諸外国の関連団体の研究者との意見交換・交流を通じて、最新の標準化動向を把握する。

#### NTTドコモ

##### 2.10. 研究開発項目「①-3. 情報共有プラットフォームへの携帯電話網から得られる情報提供に係る研究」

前述の通り、ネットワーク型リモート ID の整備は未定となっているため、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会における「空の産業革命に向けたロードマップ 2022」に則り、本研究開発をベースに引き続き運航管理技術の高度化及び実用化に向けて、継続検討を官民含めて実施していく予定である。

また、上記検討に合わせて、パブリックセーフティの実現に向け、ネットワーク型リモート ID の信憑性の確保についても継続検討が必要である。リモート ID の信憑性の確保の必要性や詐称に対するリスク等を官民含めて議論し明らかにしたうえで、その実現性及び実現に向けたスケジュールやコストの検討を行っていく必要がある。さらに、実用化においては、上記に加えて、事業性/採算性や具体的な提供形態の実現方法の検討も必要となってくる。

##### 2.11. 研究開発項目「④-6. 携帯電話網を活用したネットワーク方式リモート ID の開発」

前述の通り、ネットワーク型リモート ID の整備は未定となっているため、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会における「空の産業革命に向けたロードマップ 2022」に則り、本研究開発をベースに引き続き運航管理技術の高度化及び実用化に向けて、継続検討を官民含めて実施していく予定である。

本研究開発で得られた知見については、リモート ID の社会実装の進捗にあわせて既に商用サービス中のプラットフォームの事業の高度化に向けて適宜反映する計画



である。特に、ネットワーク型リモート ID は、NTT ドコモが目指している、無人航空機の日視外飛行（飛行レベル 3, 4）の社会実現においても、重要な要素である。ネットワーク型リモート ID の発信にも活用が期待される、上空でのモバイル通信の利活用の促進と合わせて、実用化の検討を継続していく。

#### K D D I

#### 2. 12. 研究開発項目「①-4. 機体識別および位置把握のための通信アーキテクチャの研究」

ネットワーク型のリモート ID の実用化に向けて、直接放送型のリモート ID の運用実態を踏まえたパブリックセーフティにおける補完としての位置づけや、フライトセーフティにおける運航管理システムとの連携を踏まえた技術要件の策定、機体搭載に向けた無線モジュールのさらなる小型化を図ると共に、制度整備に向けては、一般運用者によるトイドローン等の利用における上空でのネットワーク通信費の負担等を含めた、制度運用面での課題検討が必要となる。

#### 2. 13. 研究開発項目「①-4. 1 ネットワーク型通信方式の研究」

ネットワーク型のリモート ID の実用化に向けて、直接放送型のリモート ID の運用実態を踏まえたパブリックセーフティにおける補完としての位置づけや、フライトセーフティにおける運航管理システムとの連携を踏まえた技術要件の策定、機体搭載に向けた無線モジュールのさらなる小型化を図ると共に、制度整備に向けては、一般運用者によるトイドローン等の利用における上空でのネットワーク通信費の負担等を含めた制度運用面での課題検討が必要となる。

#### 2. 14. 研究開発項目「④-5 ネットワーク方式リモート ID の通信・システム開発」

ネットワーク型のリモート ID の実用化に向けて、直接放送型のリモート ID の運用実態を踏まえたパブリックセーフティにおける補完としての位置づけや、フライトセーフティにおける運航管理システムとの連携を踏まえた技術要件の策定、機体搭載に向けた無線モジュールのさらなる小型化を図ると共に、制度整備に向けては、一般運用者によるトイドローン等の利用における上空でのネットワーク通信費の負担等を含めた制度運用面での課題検討が必要となる。

#### 2. 15. 研究開発項目「④-9 ロードキャスト方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証」

ネットワーク型のリモート ID の実用化に向けて、直接放送型のリモート ID の運用実態を踏まえたパブリックセーフティにおける補完としての位置づけや、フライトセーフティにおける運航管理システムとの連携を踏まえた技術要件の策定、機体搭載に向けた無線モジュールのさらなる小型化を図ると共に、制度整備に向けては、一般運用者によるトイドローン等の利用における上空でのネットワーク通信費の負担等を含めた制度運用面での課題検討が必要となる。

#### 2. 16. 研究開発項目「⑤-1 運航管理システムと識別技術の調和システム開発」

フライトセーフティの実現に向けた制度整備と併せて、トイドローン等の運航管理対象外の無人航空機における機体識別、動態情報のネットワーク共有に向け、ネットワーク型を含むリモート ID の技術要件の策定、また、運航管理システムとの連携に向けて、国際標準の動向を踏まえた国内運航管理システムにおける FIMS や UASSP (USS) の位置づけと機能整理を含む技術要件の策定が必要となる。

#### 2. 17. 研究開発項目「⑤-2 遠隔識別技術の海外訴求活動」

フライトセーフティの実現に向けた制度整備と併せて、トイドローン等の運航管理対象外の無人航空機における機体識別、動態情報のネットワーク共有に向け、ネットワーク型を含むリモート ID の技術要件の策定、また、運航管理システムとの連携に向けて、国際標準の動向を踏まえた国内運航管理システムにおける FIMS や UASSP (USS) の位置づけと機能整理を含む技術要件の策定が必要となる。

テラドローン

2.18. 研究開発項目「①-4.3 通信制御の開発」

リモート ID 発信義務化が制度として定着することにより、以下のような社会受容性の向上が見込まれる。



図 2.2.1.9-81 社会受容性向上のステップイメージ

一般市民が地上アプリから遠隔で飛行中の機体の身元を確認できるようになると、物流ユースケース等における民家上空の飛行時においても情報の透明性向上が見込め、さらには権利侵害等の事案発生時に任意で通報できる仕組みが存在することによる安心感の高まりによって、結果的に社会受容性が確保されることが考えられる。社会受容性が高まることにより多くの無人航空機が第三者上空で目視外飛行できる場所が広がり、物流以外の様々なユースケースでの無人航空機の利活用が促進されることが予想される。

ただし、上記のような社会受容性を構築していく過程で一度でも無人航空機に第三者上空を目視外で飛行されることを忌避するような市民感情が根付いてしまえば、それまでの実績が水泡に帰すことになってしまう。そのため、民意醸成のための施策と並行して無人航空機が及ぼしうる社会的脅威への対応策を用意していく必要があると考える。

表 2.2.1.9-20 社会受容性を損なうおそれのある課題とその対応方針

項番	課題	概要
1	なりすまし操縦、乗っ取り	明確に悪意を持ってパブリックセーフティを脅かす存在としてのなりすまし操縦、乗っ取り等に対してはサイバーセキュリティ対策、および対無人航空機システム (C-

		UAS) 等の導入検討を行う必要がある。 特に空港や大使館等の重要施設周辺においては機体が発信する位置情報の誤報は社会に対する著しい脅威となり得るため、有事の際に対応できるように準備を整えておく必要がある。
2	身元不明の野良ドローン	機体登録制度および操縦ライセンス制度の導入によって最も解決が見込める分野であり、リモート ID 信号情報を辿ることにより操縦者の身元特定まで可能となる。 無人機購入から飛行実施までの一連の流れの中で、各運航者に対して登録義務化の法令が施行されることの注意喚起を徹底して行っていくことが求められる。
3	許可基準逸脱ドローン	飛行許可の申請内容とは異なる、あるいは申請された基準および範囲を逸脱する形で運航してしまった場合には、逸脱の程度に対して閾値を設ける等の段階的な検知・警報の仕組みを設ける必要がある。 また、飛行許可を得ている運航であってもリモート ID 発信時の発信頻度不足あるいは発信必須項目の欠落等の未達事項がある場合も、飛行許可基準逸脱の場合と同様に運航の傾向分析結果を元に運航者や機体製造元に対するフィードバックを行う仕組みを整える必要がある。

## NTTデータ

### 2.19. 研究開発項目「②-2. 運航者情報および機体情報管理機能の研究」

今回の研究では、有人航空機の位置情報を捕捉する仕組みとして、ADS-B、MLAT (モード S)、MLAT (モード AC) を採用し、シミュレーションデータを使用した LTE データの取込機能を準備したが、事業化に向けて、全ての有人航空機の位置情報をどのような手段をもって補足するのか明確にする必要がある。

また、同一の有人航空機を識別するためのコードとして ICAO コードがあるが、MLAT (モード AC) には ICAO コードが含まれていない。今回の実証における MLAT (モード AC) の同一機体判定には追尾番号を使用した。どのような手段により同一の有人航空機であるかを識別するかも、同様に明確にする必要がある。

### 2.20. 研究開発項目「④-4. 運航者情報・機体情報管理機能のネットワーク方式リモート ID の開発」

無人航空機の運航者情報および機体情報の利用が進む中で、誰にどのような情報を、何を持って提供するか観点が必要になる。今回の研究では、提供する情報を一般向けと捜査機関向けに分け、一般向けには無人航空機の運航者情報を提供しない形とした。このような提供先ごとの情報項目の選別や、個人情報のような機密性の高い情報のセキュリティ確保は、今後の課題と考える。

また、無人航空機の運航者情報および機体情報に関する海外の制度との共通化を考慮する必要がある。これらの登録に関する国際的な標準は存在しないが、海外の無人航空機ユーザが日本国内で無人航空機を運航することを想定して、諸制度における海外との相違を少なくする営みが必要になると考える。

## NICT

### 2.21. 研究開発項目「①-4.2. 機体間通信方式の研究」

開発した機体間通信方式に用いている LPWA 通信方式が利用する 920MHz 帯は、他の事業にも利用される共用バンドであるため、将来は無線 LAN が利用する 2.4GHz 帯と同様に混雑してくる可能性がある。その場合、複数チャネル化によるダイナミックチャネル制御などの干渉回避技術の導入も課題となる。

また、本方式は、目視外で運用する無人航空機の安全運航に役立てるための応用として、無人航空機同士、あるいは無人航空機と有人機間の操縦者や地上ネットワークを経由しない自律的なニアミス回避への応用が可能であることが本研究開発で実証され、特に数キロ以上の距離を隔ての動態把握が可能であるため、十分な余裕をもって予防安全を図ることが可能であることが示された。一方、本方式で得られた他機の位置情報を元に、どのように飛行経路を変更すればよいのか、他機が複数存在し、かつそれらが互いに独立な方向に飛行している場合にどのように最適な飛行経路を見つければよいのか、についてはさらなる検討が必要であり、知財化並びに実証実験に向けた具体的な検討を進めている。

さらにもう 1 つの応用として、複数無人航空機の隊列飛行の実現可能性についても本研究開発で実証された。この方法を用いることにより、将来 1 操縦者が複数の無人航空機を運航する場合に、それぞれの無人航空機毎に C2 通信（コマンド・テレメトリ通信）を行うことなしに、リーダー機のみとの通信を行えばよくなるため、電波の有効利用が図れ、かつ複数無人航空機の同時運航の際の安全性も向上できる可能性が示された。この方式については、まだ実証事例が多くないため、今後さらに物流などのアプリケーションを想定した実証を重ね、フィールドでの信頼性の向上と有効性のアピールを行っていくことが課題となる。2022 年度は飛行制御アルゴリズムの改良検討を行い、2023 年度をめどに物流アプリケーションを想定した複数機隊列飛行の実証実験を行う計画である。

また、本技術を用いた無人航空機社会全体の安全性向上を目指すには、目視外を飛行する無人航空機には搭載を制度化し、また無人航空機と空域を共有する可能性のある有人機にも搭載できるようなガイドラインが策定されることが期待される。

## 2.22. 研究開発項目「④-7. ブロードキャスト方式の通信性能評価手法の開発」

本手法で使用した Wi-Fi Aware については、実際無人航空機で使用されている方式のフォーマット（Wi-Fi アライアンスで認証された Wi-Fi Aware 方式とは少し異なる）にはまだ準拠していないため、リモート ID に Wi-Fi Aware 方式を採用したメーカーの協力を得てフォーマットを適合させる必要がある。

## M P A T

## 2.23. 研究開発項目「②-3. 有人航空機のネットワーク型探知技術の研究」

米国においては、低高度の空域共有は USP（民間事業者：UTM Service Provider）が担うという形の施策が進んでいる。欧州においても同様の傾向があり、低高度の空域共有に USP が関与することが予想される。本研究で実証した技術は海外 USP においても必要とされるソリューションであることから、海外の展示会などにおいて USP 等のユーザに対して積極的にシステム有効性・有用性の発信を行う。また、システムを製造販売するメーカーとともに、システムの販売やサービスの提供の準備を進める。

## J A X A

## 2.24. 研究開発項目「②-4. 有人航空機と無人航空機の機体間飛行情報共有技術の研究」

航空局の UTM 社会実装ロードマップでは有人航空機の動態情報の義務化が示唆されており、2025 年以降となる。そのタイミングでポータブル ADS-B の社会実装が実

現しているように関係当局との調整を継続する。後継の ReAMo プロジェクトで継続して取り組む。

## 2. 25. 研究開発項目「③. 情報統合アーキテクチャの研究」

航空局の UTM 社会実装ロードマップでは有人航空機の動態情報の義務化が示唆されており、2025 年以降となる。そのタイミングでポータブル ADS-B の社会実装が実現しているように関係当局との調整を継続する。後継の ReAMo プロジェクトで継続して取り組む。

## 3. 実用化・事業化の見通し

### NEC

#### 3. 1. 研究開発項目「①-1. 機体識別情報共有プラットフォームの研究」

小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会の、「小型無人機の有人地帯での目視外飛行実現に向けた制度設計の基本方針」に則り、小無人機が発信する機体識別情報の管理や、共有する必要性は高まると考えられる。また、2022 年 6 月 20 日より施行される無人航空機の登録制度により、無人航空機が他の無人航空機を装い、他の無人航空機の機体識別情報を発信する「なりすまし」によって、無人航空機が悪用される危険がある。有人・無人航空機の安全な運航および公共の安全を確保するためには「なりすまし」の対策も重要となると考えられる。

本研究の開発項目は、無人航空機を飛行させるために、必要となる申請情報と飛行中の無人航空機が発信する機体識別情報を照合することで正式に登録された無人航空機かどうかを判定することが可能となり、登録済みの無人航空機を識別する社会インフラシステムに位置付けられると想定される。社会インフラシステムは、行政事業として整備され、国もしくは国からの委託により運営されることが想定される。運営の在り方およびそれに伴う責任の所在については、運用ルールの制定とあわせて慎重に議論・検討する必要があるものの、登録機体の識別を主体とする運営事業は、必然的にビジネスモデルが確立されるものと想定する。

#### 3. 2. 研究開発項目「②-1. 飛行計画管理機能の研究」

無人航空機は、実用化が進みこれからますます産業での活用が期待されている。

しかしながら、空には有人航空機がすでに飛行しており、有人航空機と無人航空機の衝突等が発生する可能性が高まるため、安全性が低下する。有人航空機の情報を無人航空機の運航管理に取り込む必要がある。

本研究開発対象である有人航空機との空域共有の研究のうち、飛行計画管理機能の研究を行った内容は、社会インフラシステムに位置付けられると想定される。

社会インフラシステムは、国土交通省で整備されている航空交通管制システムとの連携が必要であり、有人航空機の運用ルールの制定とあわせて慎重に議論・検討する必要があるものの、無人航空機運航管理を主体とする運営事業は、必然的にビジネスモデルが確立されるものと想定する。

### 3.3. 研究開発項目「④-1. ブロードキャスト方式のリモート ID デバイスの小型化・性能向上」

2019年6月に“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”で制定される空の産業革命に向けたロードマップ2019が改定され、2022年度より有人地帯での目視外飛行の社会実装を行うことが明確化された。さらに2020年7月には、同協議会での議論を経て改訂されたロードマップ2020においてブロードキャスト型とネットワーク型のリモート ID の両方式の技術開発が明確化され、ブロードキャスト型の先行開発工程が示された。2022年6月20日より無人航空機の登録制度が施行され、無人航空機を飛行させる際にブロードキャスト型のリモート ID が必要となる。

本研究で試作し性能評価を行ったブロードキャスト型リモート ID デバイスは、仕様および性能評価結果を公開したことにより、無人航空機の製造業者並びにリモート ID 製造業者の、無人航空機の登録制度の早期対応を促進すると考えられる。

### 3.4. 研究開発項目「④-2. 識別情報管理プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」

2019年6月に“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”で制定される空の産業革命に向けたロードマップ2019が改定され、2022年度より有人地帯での目視外飛行の社会実装を行うことが明確化された。また、2019年にASTM等で国際的なリモート ID の規格標準化の検討が進められている中において、ブロードキャスト型に加えてネットワーク方式によるリモート ID 技術の併用が社会実装においては重要であるとされており、ネットワーク方式に係る規格案が提案されている。さらに2020年7月には、同協議会での議論を経て改訂されたロードマップ2020においてブロードキャスト型とネットワーク型のリモート ID への両方式の技術開発が明確化されている。

ネットワーク型のリモート ID が将来無人航空機に搭載されると予想され、無人航空機を飛行させるために、必要となる機体登録から得られる登録、申請情報と飛行中の無人航空機が発信する機体識別情報を照合することで正式に登録された無人航空機かどうかを判定することが可能となる。本開発対象は、登録済みの無人航空機を識別する社会インフラシステムに位置付けられると想定される。社会インフラシステムは、行政事業として整備され、国もしくは国からの委託により運営されることが想定される。運営の在り方およびそれに伴う責任の所在については、運用ルールの制定とあわせて慎重に議論・検討する必要があるものの、登録機体の識別を主体とする運営事業は、必然的にビジネスモデルが確立されるものと想定する。

### 3.5. 研究開発項目「④-8. ブロードキャスト方式のセキュリティにおける共通鍵技術の検証」

2020年7月“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”での議論を経て改訂されたロードマップ2020においてブロードキャスト型とネットワーク型のリモートIDへの両方式の技術開発が明確化され、ブロードキャスト型の先行開発工程が示された。その後、本プロジェクト有識者会議にも参加している関連省庁との意見交換から、ブロードキャスト型のセキュリティ技術に関して具体的に共通鍵方式の技術開発の必要性が顕在化し、実用化、事業化を想定して開発を行った。

### 3.6. 研究開発項目「④-10. リモートIDデバイスの共通鍵の管理技術の開発」

2020年7月“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”での議論を経て改訂されたロードマップ2020においてブロードキャスト型とネットワーク型のリモートIDへの両方式の技術開発が明確化され、ブロードキャスト型の先行開発工程が示された。その後、本プロジェクト有識者会議にも参加している関連省庁との意見交換から、ブロードキャスト型のセキュリティ技術に関して具体的に共通鍵方式の技術開発の必要性が顕在化し、リモートIDデバイス内で共通鍵を安全に管理する方式が必要となり本件研究開発を開始した。リモートID技術規格書（案）では、暗号鍵情報は、暗号化して格納する等、窃取、改ざんその他の第三者による攻撃が容易にできないための対策を講じた上でRID機器等に保持しなければならないと定義されており、具体的な用途を想定し、実用化、事業化を視野に入れた形で仕様を策定し、当初の目標通り、開発を完了した。

### 3.7. 研究開発項目「④-11. 小型無人航空機へ搭載するブロードキャスト方式リモートIDの開発」

2021年12月3日の“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”で、リモートIDの基本設計（案）が示され、100g以上の軽量な小型無人機も対象になることが示された。関係省庁および業界団体との意見交換、実証視察からも軽量な小型無人機に搭載可能なブロードキャスト型デバイスの技術開発の必要性が顕在化した。この状況を鑑み、社会実装を想定して100gの機体に搭載可能な小型かつ頑健性のあるリモートIDデバイスの検討が必要となり、本件研究開発を開始した。

本研究で試作し、性能評価を行ったブロードキャスト型リモートIDデバイスの仕様および性能評価結果を公開することにより、無人航空機の製造業者並びにリモートID製造業者の、無人航空機の登録制度の早期対応を促進するものである。

日立製作所

### 3.8. 研究開発項目「①-2. 位置情報共有プラットフォームの研究」



本研究開発対象である位置情報共有プラットフォームは、低高度空域を管理する社会インフラシステムに位置づけられると想定される。社会インフラシステムは、行政事業として整備され国もしくは国からの委託により運営されることが想定される。運営の在り方およびそれに伴う責任の所在については、運用ルールの制定とあわせて慎重に議論・検討する必要があるものの、運航管理を主体とする運営事業は必然的にビジネスモデルが確立されるものと想定する。

### 3.9. 研究開発項目「④-3. 位置情報共有プラットフォームのネットワーク方式リモート ID の開発」

本研究開発対象である位置情報共有プラットフォームおよびネットワーク方式リモート ID は、低高度空域を管理する社会インフラシステムに位置づけられると想定される。社会インフラシステムは、行政事業として整備され国もしくは国からの委託により運営されることが想定される。運営の在り方およびそれに伴う責任の所在については、運用ルールの制定とあわせて慎重に議論・検討する必要があるものの、運航管理を主体とする運営事業は必然的にビジネスモデルが確立されるものと想定する。

## NTTドコモ

### 3.10. 研究開発項目「①-3. 情報共有プラットフォームへの携帯電話網から得られる情報提供に係る研究」

ネットワーク型リモート ID の信憑性の確保に向けた具体的な実装方式について、本研究開発を踏まえた、さらなる検討が必要である。例えば、無人航空機から情報共有プラットフォームへの情報連携方法の整理、具体的には無人航空機からリモート ID 情報と共に携帯網固有の情報を送信するか、リモート ID を送信してきた無人航空機を移動体通信事業者が特定し、当該無人航空機にかかわる携帯網固有の情報を付加して、送信するかといったアーキテクチャについての検討である。

本研究開発の内容はリモート ID の信憑性の確保に資するものであるため、本研究内容をベースとしたさらなる高度化や実用化は、無人航空機の安全な飛行の実現に寄与する。結果として、無人航空機に対する社会受容性が高まり、さらなる無人航空機の利活用の拡大が期待できる。

### 3.11. 研究開発項目「④-6. 携帯電話網を活用したネットワーク方式リモート ID の開発」

本研究開発のネットワーク型リモート ID の送信にかかる所要時間の検証において、安定性という観点では専用通信環境のほうが優れていることが明らかになった

が、ネットワーク型リモート ID の送信にかかる所要時間自体が非常に短時間であることから、公衆通信環境を利用した構成でも、実用に耐えうる結果であった。しかし、今後その両環境の差分が影響するようなユースケースが想定される場合には、そのユースケースにおける仕様等を明らかにしたうえで、どのような実現方法が適切かを判断し対応する必要がある。特に、ネットワーク型リモート ID を専用通信環境で実現するには、相応のスケジュールとコストが必要となるため、その観点も加味したうえでの検討が必要である。例えば、飛行レベル 4 のような第三者上空での目視外飛行においては、その飛行特性から、安定した通信環境での飛行が適切であると考えられるため、専用通信環境を利用する等が想定される。

一方、公衆通信環境での実現においては、その実現に要するスケジュールやコストは専用通信環境での実現と比較すると、現実的なものになると想定される。ただ、公衆通信環境においては、その特徴から輻輳が生じる可能性があるため、専用通信環境と公衆通信環境の双方の特徴を踏まえ、適切に通信環境を選択する必要がある。

今後、無人航空機の目視外飛行においては、国土交通省にて定められている「無人航空機の目視外飛行に関する要件」にて、常に機体の状態（位置、進路、姿勢、高度、速度等）を把握することが求められており、その機体の状態把握には、長距離通信が可能な LTE のようなモバイル通信の活用が期待されている。ネットワーク型リモート ID は目視外飛行における無人航空機の安全な飛行の実現につながるものである。さらにその実現は、無人航空機の物流での活用等に資するものであり、ひいてはさらなる無人航空機の利活用の拡大に寄与する。

## KDDI

### 3.12. 研究開発項目「①-4. 機体識別および位置把握のための通信アーキテクチャの研究」

2020 年 7 月に小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会での議論を経て改訂された「空の産業革命に向けたロードマップ 2020」において、直接放送型とネットワーク型のリモート ID への両方式の技術開発が明確化され、直接放送型の先行開発工程が示されたことを受け、パブリックセーフティの実現を目的とした、直接放送型のリモート ID については、2021 年 6 月の同協議会にて公表された「リモート ID 技術規格書（案）」へ本研究開発における技術開発と実証試験の成果が反映され、2022 年 6 月の登録制度の施行に向けて民間での実用化フェーズに入っている。

他方、ネットワーク型のリモート ID については、KDDI が研究開発テーマ「①-4.1. ネットワーク型通信方式の研究（KDDI）」、「④-5. ネットワーク方式リモート ID の通信・システム開発（KDDI）」および「④-9. 直接放送方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証（KDDI）」を通じて技術開発と実

証実験を行ってきた直接放送型のリモート ID との調和、連携の観点に加え、レベル 4 飛行の実現に向けた運航管理の制度整備や、研究開発テーマ「⑤-1. 運航管理システムと識別技術の調和システム開発（KDDI）」および「⑤-2. 遠隔識別技術の海外訴求活動（KDDI）」を通じて技術開発と実証実験を行ってきた運航管理システムとの連携の観点を踏まえて、実用化に向けた技術要件の策定、制度整備を含めた継続検討がなされていく見込みである。

### 3.13. 研究開発項目「①-4.1 ネットワーク型通信方式の研究」

2020 年 7 月に小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会での議論を経て改訂された「空の産業革命に向けたロードマップ 2020」において、直接放送型とネットワーク型のリモート ID への両方式の技術開発が明確化され、直接放送型の先行開発工程が示されたことを受け、パブリックセーフティの実現を目的とした直接放送型のリモート ID については、2021 年 6 月の同協議会にて公表された「リモート ID 技術規格書（案）」へ本研究開発における技術開発と実証試験の成果が反映され、2022 年 6 月の登録制度の施行に向けて民間での実用化フェーズに入っている。一方、ネットワーク型リモート ID においても、KDDI が研究開発テーマ「①-4.1. ネットワーク型通信方式の研究（KDDI）」、「④-5. ネットワーク方式リモート ID の通信・システム開発（KDDI）」および「④-9. 直接放送方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証（KDDI）」を通じて技術開発と実証実験を行う中で、直接放送型における「通信距離」や「耐干渉性」等の課題へのネットワーク型の有効性を実証してきた。

ネットワーク型のリモート ID の実用化に向けては、直接放送型との調和、連携の観点に加えて、レベル 4 飛行の実現に向けた運航管理システムとの連携の観点を踏まえて、技術要件の策定、制度整備を含めた継続検討がなされていく見込みである。

### 3.14. 研究開発項目「④-5 ネットワーク方式リモート ID の通信・システム開発」

2020 年 7 月に小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会での議論を経て改訂された「空の産業革命に向けたロードマップ 2020」において、直接放送型とネットワーク型のリモート ID への両方式の技術開発が明確化され、直接放送型の先行開発工程が示されたことを受け、パブリックセーフティの実現を目的とした、直接放送型のリモート ID については、2021 年 6 月の同協議会にて公表された「リモート ID 技術規格書（案）」へ本研究開発における技術開発と実証試験の成果が反映され、2022 年 6 月の登録制度の施行に向けて民間での実用化フェーズに入っている。一方、ネットワーク型リモート ID においても、KDDI が研究開発テーマ「①-4.1. ネットワーク型通信方式の研究（KDDI）」、「④-5. ネットワーク方式リモ

ート ID の通信・システム開発（KDDI）」および「④-9. 直接放送方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証（KDDI）」を通じて技術開発と実証実験を行う中で、直接放送型における「通信距離」や「耐干渉性」等の課題へのネットワーク型の有効性を実証してきた。

ネットワーク型のリモート ID の実用化に向けては、直接放送型との調和、連携の観点に加えて、レベル 4 飛行の実現に向けた運航管理システムとの連携の観点を踏まえて、技術要件の策定、制度整備を含めた継続検討がなされていく見込みである。

### 3. 15. 研究開発項目「④-9 ロードキャスト方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証」

2020 年 7 月に小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会での議論を経て改訂された「空の産業革命に向けたロードマップ 2020」において、直接放送型とネットワーク型のリモート ID への両方式の技術開発が明確化され、直接放送型の先行開発工程が示されたことを受け、パブリックセーフティの実現を目的とした、直接放送型のリモート ID については、2021 年 6 月の同協議会にて公表された「リモート ID 技術規格書（案）」へ本研究開発における技術開発と実証試験の成果が反映され、2022 年 6 月の登録制度の施行に向けて民間での実用化フェーズに入っている。一方、ネットワーク型リモート ID においても、KDDI が研究開発テーマ「①-4. 1. ネットワーク型通信方式の研究（KDDI）」、「④-5. ネットワーク方式リモート ID の通信・システム開発（KDDI）」および「④-9. 直接放送方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証（KDDI）」を通じて技術開発と実証実験を行う中で、直接放送型における「通信距離」や「耐干渉性」等の課題へのネットワーク型の有効性を実証してきた。

ネットワーク型のリモート ID の実用化に向けては、直接放送型との調和、連携の観点に加えて、レベル 4 飛行の実現に向けた運航管理システムとの連携の観点を踏まえて、技術要件の策定、制度整備を含めた継続検討がなされていく見込みである。

### 3. 16. 研究開発項目「⑤-1 運航管理システムと識別技術の調和システム開発」

2020 年 7 月に小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会での議論を経て改訂された「空の産業革命に向けたロードマップ 2020」において、直接放送型とネットワーク型のリモート ID への両方式の技術開発が明確化され、直接放送型の先行開発工程が示されたことを受け、パブリックセーフティの実現を目的とした、直接放送型のリモート ID については、2021 年 6 月の同協議会にて公表された「リモート

ID 技術規格書（案）」へ本研究開発における技術開発と実証試験の成果が反映され、2022年6月の登録制度の施行に向けて民間での実用化フェーズに入っている。他方、フライトセーフティの実現に向けた研究の取り組みとして、トイドローン等の運航管理対象外の無人航空機における機体識別、動態情報のネットワーク共有のため、KDDIの研究開発テーマ「①-4.1. ネットワーク型通信方式の研究（KDDI）」、「④-5. ネットワーク方式リモートIDの通信・システム開発（KDDI）」、「④-9. 直接放送方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証（KDDI）」を通じて、直接放送型のリモートIDの地上端末経由のネットワーク共有、或いはネットワーク型リモートIDの技術開発と実証実験、また研究開発テーマ「⑤-1. 運航管理システムと識別技術の調和システム開発（KDDI）」および「⑤-2. 遠隔識別技術の海外訴求活動（KDDI）」を通じて、ASTM等の国際標準規格や欧米の動向を踏まえ、DRESSプロジェクトで開発している運航管理システムとのシステム連携の技術開発と実証実験を行う中で、これらのシステムや運用フローの有効性を実証してきた。

本研究開発テーマの取り組みを踏まえ、フライトセーフティの実現に向けては、直接放送型との調和、連携するネットワーク型リモートIDの実用化と共に、レベル4飛行の実現に向けた運航管理システムとの連携を踏まえて、技術要件の策定、制度整備を含めた継続検討がなされていく見込みである。

### 3.17. 研究開発項目「⑤-2 遠隔識別技術の海外訴求活動」

2020年7月に小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会での議論を経て改訂された「空の産業革命に向けたロードマップ2020」において、直接放送型とネットワーク型のリモートIDへの両方式の技術開発が明確化され、直接放送型の先行開発工程が示されたことを受け、パブリックセーフティの実現を目的とした、直接放送型のリモートIDについては、2021年6月の同協議会にて公表された「リモートID 技術規格書（案）」へ本研究開発における技術開発と実証試験の成果が反映され、2022年6月の登録制度の施行に向けて民間での実用化フェーズに入っている。他方、フライトセーフティの実現に向けた研究の取り組みとして、トイドローン等の運航管理対象外の無人航空機における機体識別、動態情報のネットワーク共有のため、KDDIの研究開発テーマ「①-4.1. ネットワーク型通信方式の研究（KDDI）」、「④-5. ネットワーク方式リモートIDの通信・システム開発（KDDI）」、「④-9. 直接放送方式と調和するネットワーク方式の技術開発と検証（KDDI）」を通じて、直接放送型のリモートIDの地上端末経由のネットワーク共有、或いはネットワーク型リモートIDの技術開発と実証実験、また研究開発テーマ「⑤-1. 運航管理システムと識別技術の調和システム開発（KDDI）」および「⑤-2. 遠隔識別技術の海外訴求活動（KDDI）」を通じて、ASTM等の国際標準

規格や欧米の動向を踏まえ、DRESS プロジェクトで開発している運航管理システムとのシステム連携の技術開発と実証実験を行う中で、これらのシステムや運用フローの有効性を実証してきた。

本研究開発テーマの取り組みを踏まえ、フライトセーフティの実現に向けては、直接放送型との調和、連携するネットワーク型リモート ID の実用化と共に、レベル 4 飛行の実現に向けた運航管理システムとの連携を踏まえて、技術要件の策定、制度整備を含めた継続検討がなされていく見込みである。

## テラドローン

### 3. 18. 研究開発項目「①-4. 3 通信制御の開発」

無人航空機が普及し飛行許可申請台数が増加するなか、航空法改正によって 100g 以上の機体のリモート ID 信号の発信が令和 4 年度より義務化される運びとなった。そのため無人機を製造する各メーカーは今後リモート ID 信号発信のためのモジュールおよびその送信先のインフラ基盤が必要となった。各機体メーカーそれぞれが個別にリモート ID 信号の発信および転送処理を独自に開発するのではなく、民間 USS という単位で一度リモート ID 信号を集約し、それを中央の統合基盤にまとめて転送するサービスを提供する。こうすることでリモート ID メーカー・機体メーカーだけでなく、様々な発信端末からのリモート ID 信号を一手に受信する機体識別情報共有 PF にとっても、予測可能な加工済みデータとして一様に処理することができ、細かなパラメータ等の調整も容易になることが予想される。

今後リモート ID システムが実用化に至るためには 1 日あたり何千何万件というリモート ID 信号を処理できるサーバ構成が必須となる。無数の無人航空機の運航が定期的に発生し、各無人航空機から遠隔識別 PF に対して大量のリモート ID 信号が送信されるとシステムの許容範囲を超えることが容易に予測されるため、遠隔識別 PF と各無人航空機あるいは地上局との間に民間 USS サーバを媒介させることの有意性が出てくると考えられる。

ここで民間 USS サーバの運用事業者の立場として実用化および事業化を果たすためには、以下のような条件が必須となってくる。

- ・無人航空機の運航需要の高まり・・・運航数が多ければ多いほど、民間 USS サーバにて分散的に処理する意義が大きくなる
- ・同一機体上の通信方式の冗長化・・・リモート ID が機体から連携される際の通信経路および方式が、運航条件や外乱状況によって動的に変化する状況では、エッジ側の運航状況を正確に判定するためのフォグとしての民間 USS サーバの存在意義が大きくなる
- ・無人航空機が利活用されるユースケースの多様化・・・無人航空機を用いた多様なユースケースが増えることにより、各運航ニーズへのきめ細かな対応が必要

となってくるが、その度に中央の遠隔識別 PF をアップデートすることなく民間 USS サーバにてニーズの変化部分を吸収することで民間 USS サーバの意義がより大きくなる

- ・低空域運航の高密度化・・・空飛ぶクルマの実用化に伴い、無人航空機が飛行する低空域の運航密度がより一層高まることとなり、運航間の適切なセパレーションを図るためにも全ての運航がリモート ID として常に識別できている必要が出てくるが、高密度運航が発生している空域の管制だけではなく、リモート ID の転送処理も合わせて民間 USS サーバが担うことにより、局所的な空域内の最適化された低遅延での運航意図共有を実現することが可能となる

無人航空機が当たり前にご利用される社会を築くために、今後も無人航空機に対する社会受容性の醸成を図っていく。

#### NTTデータ

##### 3.19. 研究開発項目「②-2. 運航者情報および機体情報管理機能の研究」

無人航空機と有人航空機の接触は大事故につながる可能性が高く、無人航空機を安全に安心して飛行させるためには、有人航空機の位置情報を把握することは不可欠である。基本的には、飛行高度により無人航空機と有人航空機の住み分けが成されるが、今後、無人航空機の飛行エリアが拡大し目視外飛行が進む中で、飛行計画時だけでなく飛行中の無人航空機、有人航空機それぞれの位置情報を共有する仕組みの実用化が不可欠になることは間違いない。

今回の研究では、無人航空機の発信する情報からの位置情報と、有人航空機の位置を捕捉した情報を、スマートフォンアプリの地図上で表現した。このような形で、無人航空機の運航者が有人航空機の位置情報を把握できるようにすることを、早期に実現することが望まれる。

##### 3.20. 研究開発項目「④-4. 運航者情報・機体情報管理機能のネットワーク方式リモート ID の開発」

今回の研究では、リモート ID をキー情報としてドローン情報基盤システムで管理する情報を提供する仕組みを構築することにより、飛行する無人航空機の情報スマートフォンアプリにて確認可能とした。すでにドローンやラジコン機等の無人航空機を、飛行禁止区域で飛行させる場合や夜間飛行や目視外飛行等の方法により飛行させる場合は、事前に所定の窓口に申請書を提出し、国土交通大臣による許可又は承認を受ける必要があり、その情報をドローン情報基盤システムにて管理している。また、機体重量（バッテリー含む）が 100g 以上の無人航空機（ドローン・



ラジコン機など) について、国土交通省への機体登録が 2022 年 6 月 20 日から義務化され、その情報はドローン登録システムにて管理される。

これらの制度やシステムにより、無人航空機の運航者や機体の情報管理が可能となり、それらの情報は、無人航空機が発信するリモート ID をキー情報として取得できる見通しである。

## N I C T

### 3. 21. 研究開発項目「①-4. 2. 機体間通信方式の研究」

試作開発した機体間通信方式（マルチ通信端末）は、小型機が 55g、汎用機が 100g 程度（ともにバッテリーは除く）で市販の半導体デバイスを用いた試作が実現できており、目視外で運用することを想定した規模の無人航空機を対象とすることを前提とすれば、小型化・軽量化・材料の入手性の観点では実用レベルにほぼ達していると考えられる。また LPWA 通信方式（920MHz 帯）は無線局免許が不要であり、送信電力や送信時間も十分小さく同じ周波数帯を用いる他の無線局とも共存がしやすいこと、数キロ以上にわたる十分長距離での通信が可能であることも一般への普及にあたっての利点である。ただし、本研究開発では様々な機能追加やオプション追加を行った結果、技術仕様やユーザインタフェースが複雑化しているため、実用化にあたってはこれを整理し、ユーザのニーズに合わせて使いやすくするためのソフトウェア改良が必要である。

レベル 4 が解禁され、また運用業務の効率化・省力化並びに空の安全に対するニーズに対応するため、研究開発が進められている運航管理システムを災害時・障害時なども想定してこれを補強することを可能とする機体間通信技術への期待は高まっており、こうした動きに合わせ、2022 度より、実用化に向けた具体的な協議をメーカーとともに進める予定となっており、2 年後程度での実用化を目指すこととしている。

### 3. 22. 研究開発項目「④-7. ブロードキャスト方式の通信性能評価手法の開発」

試作開発した通信性能評価手法の実用化は、「機体間通信方式の研究（情報通信研究機構）」の項目に記載した機体間通信方式の実用化に準ずるものであり、機体間通信方式が実用化できれば本通信性能評価手法も実用化できる。課題としては、機体間通信方式と同様、技術仕様やユーザインタフェースを整理し、ユーザのニーズに合わせて使いやすくするためのソフトウェア改良が必要である。

## M P A T

### 3. 23. 研究開発項目「②-3. 有人航空機のネットワーク型探知技術の研究」

現状、無人機は一部の限定された空域での利用にとどまっており本システムの二

ーズは小さい。一方、関東財務局（令和3年11月）の経済レポートによると、無人機市場（機体、サービス、周辺サービス）で、令和2年（2020年）1840億円、令和7（2025年）6468億円と予測している。周辺サービスだけでも令和7年797億程度を見込んでいる。上記レポート予測では周辺サービスは年間15%程度の市場拡大を予測しており、市場が拡大し無人航空機の飛行頻度が高まるについて空域管理の重要性が増し、本システムの市場ニーズに拡大し、これに応じて事業化が進むことが予想される。

J A X A

3.24. 研究開発項目「②-4. 有人航空機と無人航空機の機体間飛行情報共有技術の研究」

ポータブル ADS-B の社会実装は技術のみならず法制度化が必要であり相当の時間を要すると考えられる。早期に着手することが必要。

3.25. 研究開発項目「③. 情報統合アーキテクチャの研究」

空域ファスト・タイム・シミュレータは次世代空モビリティの研究開発にも活用可能である。



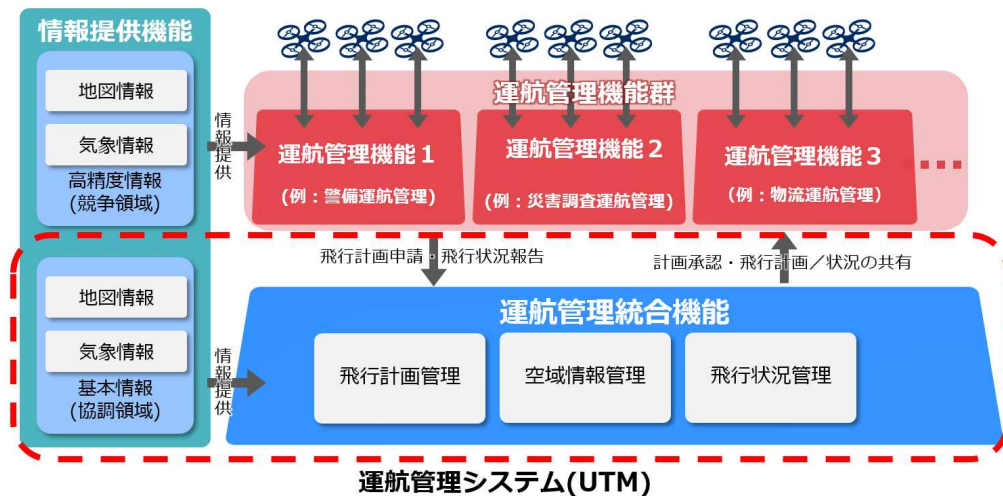


図 2. 2. 1. 10-2 研究のスコープ

各機能の役割・呼称を以下とする。

- 運航管理統合機能 (以下、FIMS[Flight Information Management System]と呼ぶ) :
  - ・ 運航管理機能から要求された無人航空機の飛行空域の効率的な割り当て、承認を実施する。
  - ・ 無人航空機の飛行空域の安全性(他の空域との接近状態等)の確保を行う。
- 運航管理機能 (その1) (以下、UASSP[UAS Service Provider] と呼ぶ) :
  - ・ 割り当てられた空域を飛行する個々の無人航空機の安全性の確保を行う。
  - ・ 無人航空機の出発承認・誘導を実施する。
  - ・ 運航管理機能(UASSP)間で空域の調整を実施する。
- 運航管理機能 (その2) (以下、UASO[UAS Operator] と呼ぶ) :
  - ・ 無人航空機と直接通信を行い、現在位置等の情報を運航管理統合機能(FIMS)、運航管理機能(UASSP)に提供する。
- 情報提供機能(以下、SDSP[Supplemental Data Service Provider]と呼ぶ) :
  - ・ 運航管理統合機能(FIMS)、運航管理機能(UASSP)、運航管理機能(UASO)で必要な以下の情報の提供を行う。

地図データベース：無人航空機の飛行に必要な地形および建造物等の三次元情報、飛行が可能な空域及び飛行が禁止された空域、その他の地図情報として提供を行う。

気象情報システム：無人航空機の飛行する空域における、風（風向及び風速等）、降水、気温及び気圧等の無人航空機の飛行に影響を与える気象観測情報および予測情報に気象情報（風向、風速等）の提供を行う。
- 無人航空機(以下、UAS[Unmanned Aircraft System]と呼ぶ) :
  - ・ 本プロジェクトの研究では、25kg 以下の小型無人航空機のうちマルチローターヘリ型の無人航空機を対象とする。

## 2) 事業概要

- ① 運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発

無人航空機を扱う事業者向けに、運航管理統合機能のサービスへの接続を容易にし、飛行計画の登録/参照および動態情報を登録可能とする機能の提供、開発を行う（図 2.2.1.10-3）。

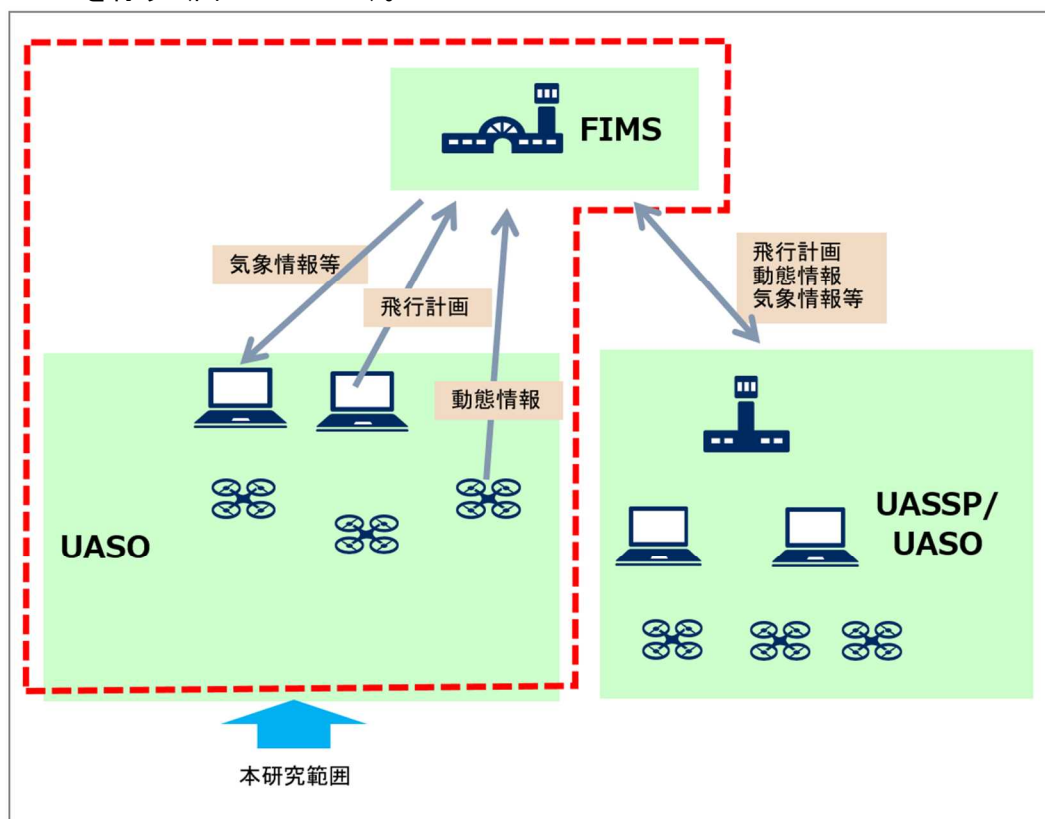


図 2.2.1.10-3 飛行計画、動態情報の簡易登録機能のブロック図

- ② サーバ障害発生時の対応に関する開発  
サーバプログラム等の死活監視、障害時の復旧方法等に関して無人航空機運用の観点での課題抽出と解決策の検討、機能開発を実施する（図 2.2.1.10-4 及び 2.2.1.10-5）。

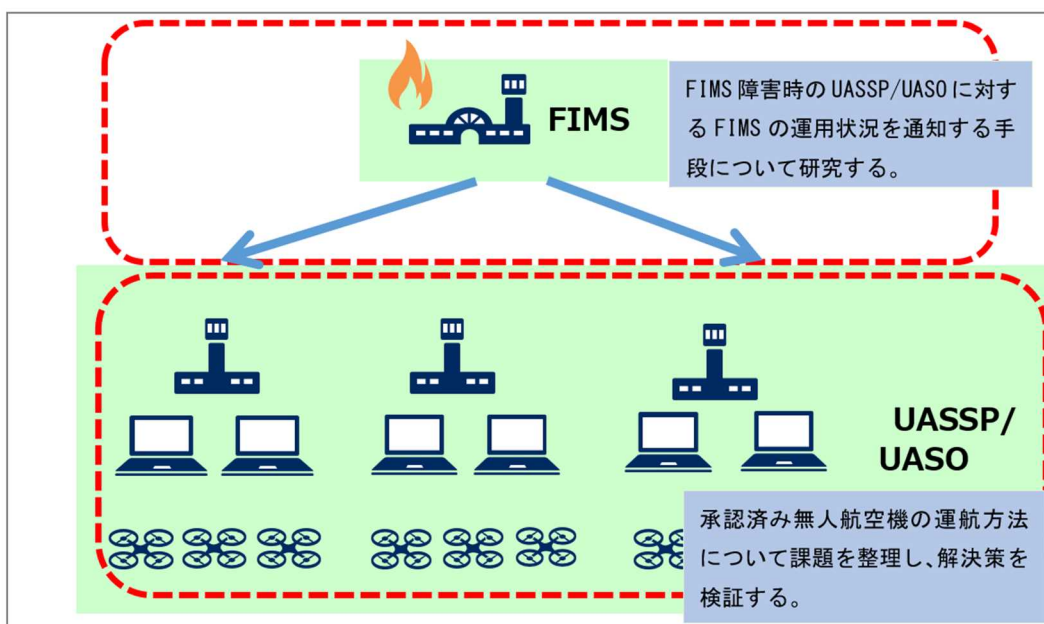


図 2.2.1.10-4 FIMS 障害時のブロック図

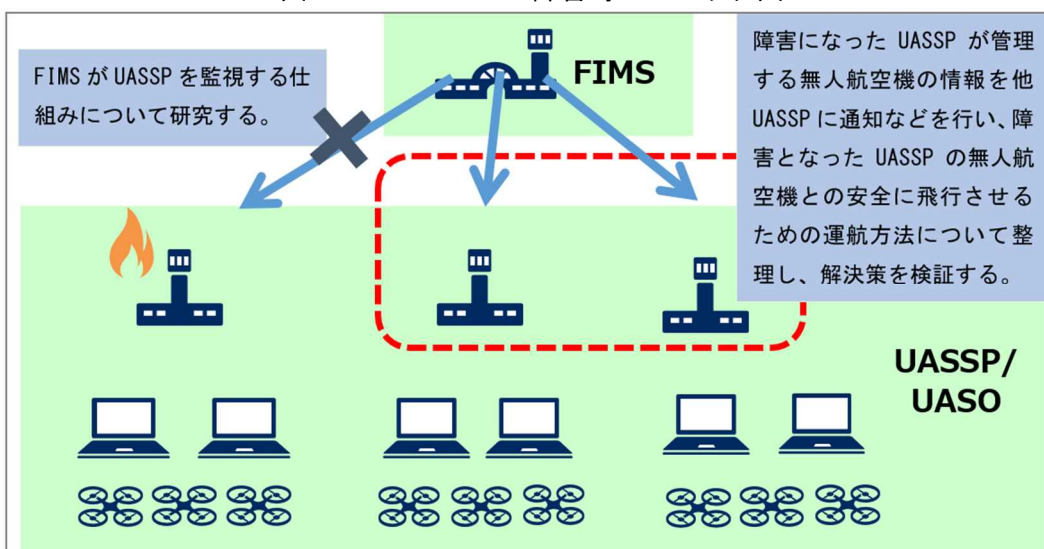


図 2.2.1.10-5 UASSP 障害時のブロック図

- ③ 運航管理統合機能の処理分散技術の開発  
 社会実装時を見越し運航管理統合機能の処理分散のアーキテクチャの研究/開発を実施する。また、処理分散のアーキテクチャについては海外動向(ASTM 等)を考慮し研究を実施する(図 2.2.1.10-6)。

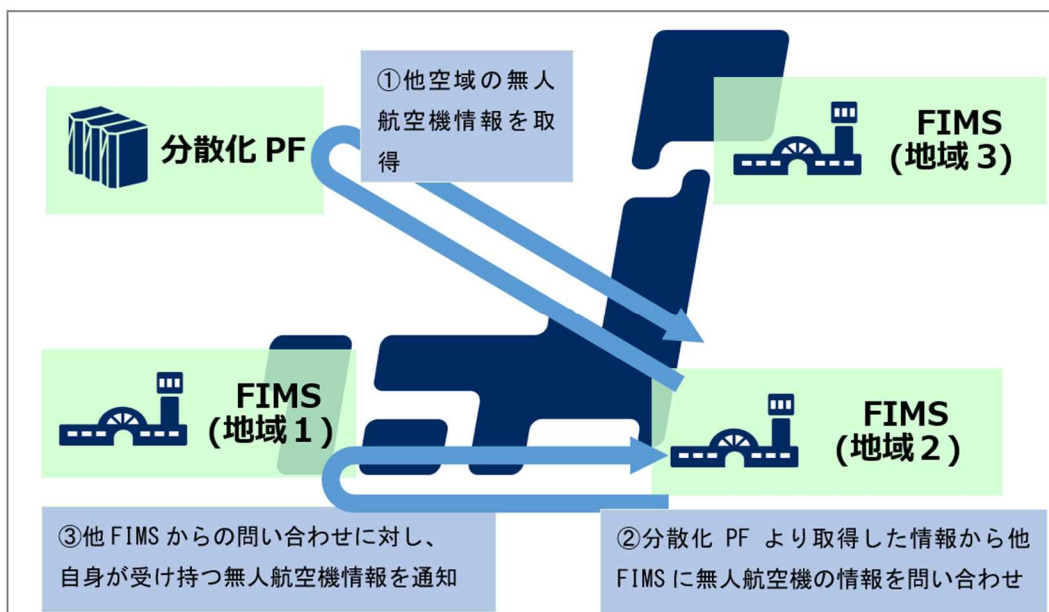


図 2. 2. 1. 10-6 FIMS 分散化イメージ図

- ④ 全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発  
 全国に整備済みの地図情報および気象観測装置を活用し、無人航空機の運航管理に使用するための研究/開発を実施する（図 2. 2. 1. 10-7）。

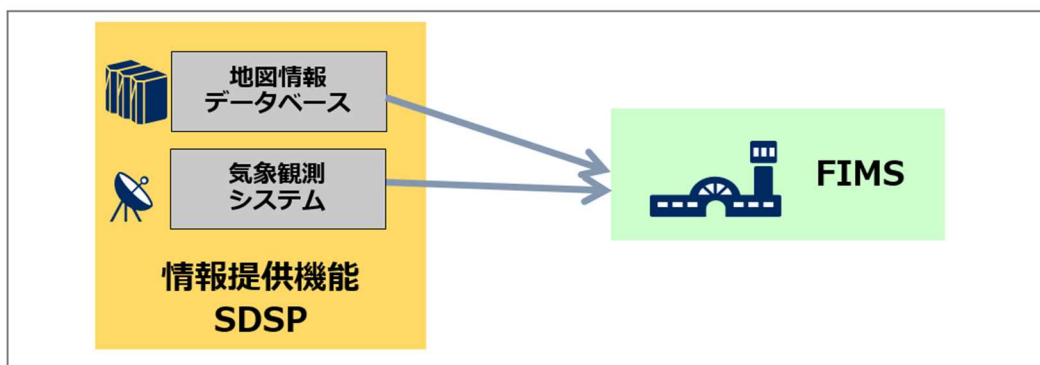


図 2. 2. 1. 10-7 情報提供イメージ図



(2) 研究開発目標と根拠

1) 共同実施者の研究分担

以下に、本プロジェクトにおける共同実施者の研究開発内容を示す。

表 2. 2. 1. 10-1 共同実施者の研究分担

研究テーマ	小項目	分担
① 運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発	a. 事業者向けのユーザインタフェース機能改善の開発	日本電気株式会社
	b. 空域管理機能の高度化	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
	c. 接近状態の回避機能と事故発生時の運用機能の開発	株式会社日立製作所
	d. 有人航空機動態管理機能の開発	株式会社ウェザーニューズ
② サーバ障害発生時の対応に関する開発	a. 障害発生時の飛行計画管理機能に関する開発	日本電気株式会社
	b. 障害発生時の空域管理機能に関する開発	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
	c. 障害発生時の飛行状況管理に関する運用機能の開発	株式会社日立製作所
	d. サーバ障害発生時の対応に関する開発	株式会社ウェザーニューズ
③ 運航管理統合機能の処理分散技術の開発	a. 飛行計画分散技術および分散PF高度化の開発	日本電気株式会社
	b. 空域情報の分散管理技術の開発	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
	c. 飛行状況管理の処理分散技術の開発	株式会社日立製作所
④ 全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発	a. 地図情報機能改善の開発	日本電気株式会社
	b. 地図情報に係る空域情報管理機能の改善	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
	c. 地図情報機能改善の開発	株式会社日立製作所
	d. 全国の気象情報の管理、活用技術の開発	株式会社ウェザーニューズ

## 2) 研究開発目標と根拠

本プロジェクトでは、最終年度までに福島ロボットテストフィールドに運航管理統合機能に拡張した機能を取り込み、実証実験によるシステムの検証をする。具体的に以下の検証を実施する。

### ① 日本電気株式会社

- 複数の事業者に改善したユーザインタフェースの検証を実施する。
- 空域管理機能の高度化について検証を実施すること。
- 接近状態の回避機能と事故発生時の運用方針の検証を実施すること。
- 有人航空機動態情報の必要性について検証を実施すること。
- サーバプログラムの動作監視を行い、障害時および復旧時の運用方法に検証を実施すること。
- 運航管理統合機能に実装した分散のアーキテクチャの妥当性の検証を実施すること。
- 全国に整備済みの地図情報および気象観測装置の活用について検証を実施すること。

### ② 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

- 無人航空機の運航特性に応じた特定空域内での飛行可否を柔軟に設定・判断するための空域管理機能を検証する。
- 有人航空機との空域統合管理を想定した空域動的設定と、有人航空機動態情報の活用について検証する。
- 空域管理機能障害発生時の業務継続性を考慮した運用フローの検討および必要な機能の検証
- 全国範囲の空域関連情報を管理するための分散情報処理アーキテクチャを検証する。
- 無人航空機の安全運航に必要な地図および空域情報の管理手法を検証する。

### ③ 株式会社日立製作所

- ドローン飛行事業者に効果的に危険を周知できる手段と危険がある通知を受けた時の対処方法の検証を実施する。
- ドローン飛行事業者がサーバ障害に関する警報発生時にとるべきリアクションの検証を実施する。
- 複数サーバによる飛行状況管理機能の分散処理を実施する。
- 社会実装に向けた地図、気象情報を利用する。

### ④ 株式会社ウェザーニューズ

- 指定されたエリア・高度の気象実況/予測データが運航管理統合機能と連携できること。
- 運航管理統合機能へ有人航空機動態情報(シミュレーションデータ)を連携できること。
- 災害時シナリオにおいて、気象観測ドローンから得られる上空のリアルタイムの風向風速情報を統合管制室にて確認できること。
- システム障害時シナリオにおいて、気象実況予測データ、および、有人航空機動態情報が連携できない状況におけるオペレーションを検証すること。

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

1) 研究スケジュール

以下に各社の研究開発スケジュールを示す。

表 2.2.1.10-2 研究開発スケジュール

① 日本電気株式会社

事業項目	2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
① 運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発								
①-a. 事業者向けのユーザインタフェース機能改善の開発								
・要件定義		→						
・設計/製造/評価			→					
・設計(性能向上開発)				→				
・製造(性能向上開発)					→			
・評価(性能向上開発)						→		
・全体評価							→	
② サーバ障害発生時の対応に関する開発								
②-a. 障害発生時の飛行計画管理機能に関する開発								
・要件定義		→						
・設計			→					
・製造				→				
・評価					→			
・全体評価							→	
③ 運航管理統合機能の処理分散技術の開発								
③-a. 飛行計画分散技術および分散PF高度化の開発								
・要件定義		→						
・設計			→					
・製造				→				
・評価					→			
・全体評価							→	
④ 全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発								
④-a. 地図情報機能改善の開発								
・要件定義			→					
・設計				→				
・製造					→			
・評価						→		
・全体評価							→	

② 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

事業項目	2020 年度				2021 年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
① 運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発								
①-b. 空域管理機能の高度化 ・要件定義 ・設計 ・製造/評価(一部機能) ・製造 ・評価 ・機能/性能向上開発 ・全体評価		→	→	→	→	→	→	→
② サーバ障害発生時の対応に関する開発								
②-b. 障害発生時の空域管理機能に関する開発 ・運用フロー検討/要件定義 ・設計 ・製造 ・評価 ・機能/性能向上開発 ・全体評価		→	→	→	→	→	→	→
③ 運航管理統合機能の処理分散技術の開発								
③-b. 空域情報の分散管理技術の開発 ・運用フロー検討/システム構成検討 ・設計 ・製造 ・評価 ・機能/性能向上開発 ・全体評価		→	→	→	→	→	→	→
④ 全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発								
④-b. 地図情報に係る空域情報管理機能の改善 ・対象情報の調査/選定 ・設計 ・製造 ・評価 ・機能/性能向上開発 ・全体評価			→	→	→	→	→	→

③ 株式会社日立製作所

事業項目	2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
① 運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発								
①-c. 接近状態の回避機能と事故発生時の運用機能の開発								
・運用フロー検討/要件定義		→						
・設計			→					
・製造				→				
・評価					→			
・機能/性能向上開発						→		
・全体評価								→
② サーバ障害発生時の対応に関する開発								
②-c. 障害発生時の飛行状況管理に関する運用機能の開発								
・運用フロー検討/要件定義		→						
・設計			→					
・製造				→				
・評価					→			
・機能/性能向上開発						→		
・全体評価								→
③ 運航管理統合機能の処理分散技術の開発								
③-c. 飛行状況管理の処理分散技術の開発								
・運用フロー検討/要件定義		→						
・設計			→					
・製造				→				
・評価					→			
・機能/性能向上開発						→		
・全体評価								→
④ 全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発								
④-c. 地図情報機能改善の開発								
・要件定義				→				
・設計					→			
・製造						→		
・評価							→	
・全体評価								→

④ 株式会社ウェザーニューズ

事業項目	2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
① 運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発								
①-d. 有人航空機動態管理機能の開発								
・要件定義		→						
・設計			→					
・製造				→				
・総合試験					→			
・機能/性能向上開発							→	
・全体評価								→
② サーバ障害発生時の対応に関する開発								
②-d. サーバ障害発生時の対応に関する開発								
・運用フロー検討/システム構成検討		→						
・設計			→					
・製造				→				
・総合試験					→			
・機能/性能向上開発							→	
・全体評価								→
④ 全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発								
④-d. 全国の気象情報の管理、活用技術の開発								
・要件定義		→						
・設計			→					
・製造				→				
・総合試験					→			
・機能/性能向上開発							→	
・全体評価								→

## 2) 実施体制

「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」実施体制

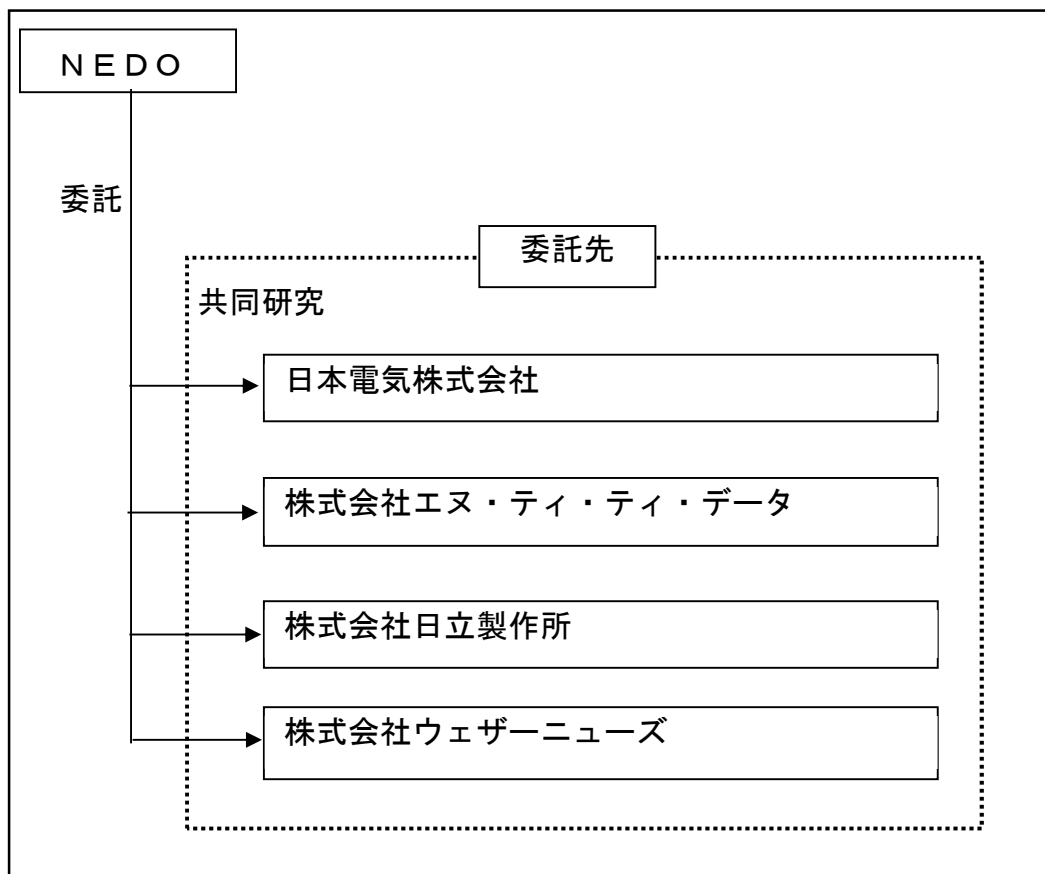


図 2.2.1.10-8 実施体制



(4) 研究開発の達成状況

① 運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発

最終目標	成果	達成度	備考
<p>[日本電気株式会社]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・運航管理統合機能の要件定義を行い、運用シーケンスを設計する。</li> <li>・簡易登録機能のための試験装置を導入し評価を実施する。</li> </ul>	<p>無人航空機飛行計画の簡易登録機能の実装を完了させ、2020年度における飛行実証にて実装の妥当性及び性能を確認した。</p>	○	
<p>[日本電気株式会社]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2020年度で行った評価結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。</li> </ul>	<p>2020年度の実証試験にて顕在化した課題点を改修し、福島ロボットテストフィールドにて実証試験を行い、改修効果の妥当性及び性能を確認した。</p>	○	
<p>[株式会社エヌ・ティ・ティ・データ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地域特性に応じた空域管理運用の仮説検討を行い、必要な機能の検討と一部実装を行う。</li> <li>・地域毎に異なる空域管理関連データ（空域情報、地図、有人機情報）の入手方法およびシステムでの利用方法について検討する。</li> <li>・データ項目およびインタフェースの設計を行う。</li> <li>・災害時における有人航空機/無人航空機間での空域利用調整のあるべき運用について定め、必要な機能の設計を行う。</li> </ul>	<p>地域特性・運航特性に応じた柔軟な空域運用を実現するための機能として飛行禁止空域への入域許可条件の設定と、条件に基づいた入域許可の制御を行う機能を一部実装した。</p> <p>空域管理関連データについては、ウェザーニューズやDRESSの他研究システムから提供された有人航空機の動態情報を活用することで空域の状況認識を向上できることを確認した。</p> <p>災害時における空域利用調整については公知情報等から整理した運用要件を元に必要な機能を洗い出し、運航管理統合機能での実装を検討した。</p>	○	
<p>[株式会社エヌ・ティ・ティ・データ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・運航管理統合機能および運航管理機能との連携実証を行い、実装した空域管理機能の有効性を確認する。</li> <li>・機体・運航目的・運航者の能力等に応じて空域利用の可否判断を行う機能を実装し、実証を通じて機能の有効性を検証する。</li> <li>・検証により課題が明らかになった場合は、その改善案を検討する。</li> </ul>	<p>飛行禁止空域への入域許可条件設定/判定機能、無人航空機の飛行推奨空域の動的設定機能を新たに実装し、実証を通じて空域の有効活用に資することを検証した。</p>	○	

最終目標	成果	達成度	備考
<p>[株式会社日立製作所]</p> <p>・共通インタフェースの仕様を決定し、事業者が使用する運用フロー、ユースケースを検討し、システムリアクションの追加実装を実施する。また、追加実装後、シミュレーションを含めた実証実験を行い、課題を整理する。</p>	<p>・機体故障、飛行計画逸脱時に、対象機体の周囲を一時的飛行禁止エリアとする機能を実装。2020年度に飛行実証1回を実施し、課題を抽出。</p>	○	
<p>[株式会社日立製作所]</p> <p>・2020年度に行った抽出課題を基に、改修、検証を行う。複数の運航管理統合機能を連携させ、実フィールドを模した環境を想定し、実機/シミュレーションによる実証(想定2回)を行い、実運用に向けて耐える機能であるかの評価、実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出を行う。</p>	<p>2020年度実証にて抽出した課題を元に、飛行禁止エリア作成機能を改修。 飛行計画逸脱、無人機コンフリクト、有人機コンフリクト、機体故障発生、気象警報の各警報発生時に、警報通知間隔、及び適切な機体の対応の調査(2021年9月、2021年12月の2回)を実施。合わせて、機体ベンダーへのヒアリングも実施し、適切な対応を検討した。</p>	○	
<p>[株式会社ウェザーニューズ]</p> <p>・ウェザーニューズの所有する有人航空機動態管理システム(FOSTER-CoPilot)を活用し、事前に取り交わした情報共有協定範囲内で、FIMSと連携可能な有人航空機動態情報管理システムの利用方法について検討し、データ項目およびインタフェースの設計を行う。</p>	<p>2020年度に有人航空機動態情報を運航管理統合機能との接続が完了し、2021年度はFIMSタブレットでの表示が可能となった。</p>	○	
<p>[株式会社ウェザーニューズ]</p> <p>・2020年度までに行った抽出課題を基に、有人航空機動態管理機能と運航管理統合機能間の連携と検証を実施する。また、実証実験を通じて、無人航空機と有人航空機間情報連携の有用性および実用性を検証する。</p>	<p>2021年度は、複数の地域実証において有人航空機シミュレーションデータと共に実機との連携を行い、無人航空機と有人航空機間情報連携の有用性および実用性を検証することができた。</p>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②サーバ障害発生時の対応に関する開発

最終目標	成果	達成度	備考
<p>[日本電気株式会社]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・運航管理システム全体としてのサーバ障害時に関するユースケースを検討する。</li> <li>・FIMS-UASSP 間のインターフェースを検討する。</li> <li>・サーバ障害機能のための試験装置の設計を行う。</li> </ul>	<p>システム障害時におけるユースケースの整理及び障害のUASSP に対する通知手段について研究を実施した。</p>	○	
<p>[日本電気株式会社]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サーバ障害機能のための試験装置を導入し評価を実施する</li> <li>・評価結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。</li> </ul>	<p>運航事業者向けにシステム稼働状態を通知するポータルサイトを作成し、リアルタイムで障害検出を可能とする仕組みを実現した。同ポータルサイトを用いて福島ロボットテストフィールドにおける実証を行い、障害ユースケース時における運用想定の有効性を確認した。</p>	○	
<p>[株式会社エヌ・ティ・ティ・データ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・障害発生時の運用フローを整理し、安全に運航を継続するために必要な機能の検討および実装方式の検討を行う。</li> <li>・検討結果に基づき機能設計を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・障害発生時の運用フローを整理し、安全に運航を継続するために必要な機能の検討および実装方式の検討を行った。</li> <li>・検討結果に基づき機能設計を行った。</li> </ul>	○	
<p>株式会社エヌ・ティ・ティ・データ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・障害発生時の対応機能を実装し、実証実験を通じて運用の妥当性および機能の有効性を検証する。</li> <li>・検証により課題が明らかになった場合は、その改善案を検討する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・障害発生時の対応機能を実装し、実証実験を通じて運用の妥当性および機能の有効性を検証した。</li> <li>・検証で明らかになった課題について改善を行い改善の有効性を確認した。</li> </ul>	○	
<p>株式会社日立製作所</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・運航管理統合機能の障害時、運航管理機能の障害時の運用フロー、ユースケースを検討し課題を整理する。また、障害時の機能について FIMS 試験装置の機能拡張の検討を行うとともに、実装に向けた設計を行う。</li> </ul>	<p>FIMS 障害、UASSP 障害、SDSP 障害の検出ロジックを検討及び実装。 2021 年 3 月の実証にて、動作検証を実施した。</p>	○	

最終目標	成果	達成度	備考
[株式会社日立製作所] ・評価結果と顕在化した課題を基に、改修、検証を行う。複数の運航管理統合機能を連携させ、実フィールドを模した環境を想定し、実機/シミュレーションによる実証（想定2回）を行い、実運用に向けて耐えうる機能であるかの評価、実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出を行う。	2020年度実証にて抽出した課題を元に、FIMS障害、UASSP障害、SDSP障害検出機能を改修。FIMS障害、UASSP障害、SDSP障害の各警報発生時に、警報通知間隔、及び適切な機体の対応の調査(2021年9月、2021年12月の2回)を実施。合わせて、機体ベンダーへのヒアリングも実施し、適切な対応を検討した。	○	
[株式会社ウェザーニューズ] ・気象情報システムのサーバプログラム等の死活監視、障害時の復旧方法等に関して、無人航空機運用の観点での課題抽出と解決策の検討、機能開発を実施する。	オンプレミス環境とクラウド環境にて冗長的にデータを管理する構成について検証を実施した。	○	
[株式会社ウェザーニューズ] ・2020年度に行った抽出課題を基に、改修、検証を行う。障害発生時には連携システムに対してダウンの通知等を行い、一時的な気象情報機能の縮退運転や代替運用、および、社会実装時を見越した要件と課題を整理する。	2021年度は2020年度に構築したシステムに対し、システムアラート通知とオンプレミス環境とクラウド環境間の代替運用の検証を実施した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### ③運航管理統合機能の処理分散技術の開発

最終目標	成果	達成度	備考
[日本電気株式会社] ・運航管理システム全体としての分散技術に関するユースケースを検討する。 ・FIMS-分散化PFのインタフェースを検討する。 ・分散技術機能のための試験装置の設計を行う。	海外動向等の調査結果に基づく飛行計画管理機能のエリア単位での分散化を検討し、実証に向けて全国を東西のエリアに2分した分散化PFの設計を完了した。	○	日本電気株式会社
[日本電気株式会社] ・分散技術機能のための試験装置を導入し評価を実施する ・評価結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。	2020年度行った検討事項と設計を基に実装を完了させ、福島ロボットテストフィールドにおける実証においてエリア分散の有効性及び性能を確認した。	○	日本電気株式会社

最終目標	成果	達成度	備考
[株式会社エヌ・ティ・ティ・データ] ・全国規模での空域管理を実現するためのシステム全体構成および分散処理方式を検討するとともに、実装に向けた設計を行う。	2020 年度に分散処理方式を検討。一部事前のプロトタイプ評価を行いながら処理方式を決定し設計を完了した。	○	
[株式会社エヌ・ティ・ティ・データ] ・分散処理機能を実装し、運航管理統合機能および運航管理機能との連携実証を通じ、実装した方式の妥当性を検証する。 ・検証により課題が明らかになった場合は、その改善案を検討する。	分散処理機能を実装。FIMS を東西の 2 環境に分散し空域・障害物・標高の各データを分散管理できることを実証した。標高についてはデータ数が膨大であるため、処理性能を踏まえて最適な分散数がどの程度であるか評価した。	○	
[株式会社日立製作所] ・FIMS の負荷分散のアーキテクチャの検討を実施し課題を整理する。また、分散プロトコルの検討を行うとともに、実装に向けた設計を行う。	東日本管理 FIMS/西日本管理 FIMS/代表FIMSの基本アーキテクチャを検討し、基本設計/機能設計を実施した。	○	
[株式会社日立製作所] ・評価結果と顕在化した課題を基に、改修、検証を行う。複数の運航管理統合機能を連携させ、実フィールドを模した環境を想定し、実機/シミュレーションによる実証（想定 2 回）を行い、実運用に向けて耐えうる機能であるかの評価、実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出を行う。	東日本管理 FIMS/西日本管理 FIMS/代表FIMSの基本アーキテクチャに基づく FIMS を実装し、福島 RTF を用いた 2 回の実証（2021 年 9 月/12 月）にて、運用実績を積むとともに、1 サーバ当たり同時飛行機数 100 機（2 サーバ合わせて 200 機）の性能目標を達成した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発

最終目標	成果	達成度	備考
<p>[日本電気株式会社]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・全国規模で整備されている地図情報を調査し、運航管理統合機能で活用するユースケースを検討する。</li> <li>・FIMS-SDSP(地図情報)のインタフェースを検討する。</li> </ul>	<p>全国規模で整備されている地図情報について調査検討を行い、国土地理院の地理院タイルを用いて実装を完了させた。</p>	○	
<p>[日本電気株式会社]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地図情報活用のための試験装置試験装置を導入し評価を実施する。</li> <li>・評価結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。</li> </ul>	<p>2020 年度の実証試験にて顕在化した課題点を改修し、Open Street Map タイルを用いて福島ロボットテストフィールドにて実証試験を行い、改修効果の妥当性及び性能を確認した。</p>	○	
<p>[株式会社エヌ・ティ・ティ・データ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現在の運用に合わせた無人航空機の安全運航に必要な地図および空域情報の調査</li> <li>・上記情報の取得方法/取込み手法の検討(インタフェースやデータ変換機能の検討)</li> </ul>	<p>全国の重要施設情報、有人航空機の空域情報、障害物情報の入手あるいは作成の方法を検討するとともに、一部データの作成を行った。</p>	○	
<p>[株式会社エヌ・ティ・ティ・データ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・前年度で検討した情報取得/取込機能を実装し評価する。</li> <li>・評価結果と顕在化した課題に基づき、機能改修と性能改善を行う。</li> </ul>	<p>全国の重要施設情報、障害物情報、標高データを運航管理統合機能に取込み、実証を通じて機能性・性能を評価した。 評価の結果、全国分の標高データの管理において性能面の課題が顕在化したため、解決のための新たなデータ管理方式の検討およびプロトタイプ検証を行い、解決策を導き出した。</p>	○	
<p>[株式会社日立製作所]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・運航管理統合機能、運航管理機能で地図情報を活用する運用フロー、ユースケースを検討し課題を整理する。</li> <li>・FIMS-SDSP(地図情報)のインタフェースを検討する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国土地理院版全国地形データ、ウェザーニュースの全国気象 API を実装し、全国版の地形/気象を保持する場合のメモリ上限及び効率的なデータ管理を検討した。</li> <li>・気象 API として、ウェザーニュースの API を追加実装した。</li> </ul>	○	

最終目標	成果	達成度	備考
<p>[株式会社日立製作所]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地図情報活用のため FIMS 試験装置の機能拡張の検討を行うとともに、設計・実装を行う。</li> <li>・評価結果と顕在化した課題を基に、改修、検証を行う。複数の運航管理統合機能を連携させ、実フィールドを模した環境を想定し、実機/シミュレーションによる実証（想定2回）を行い、実運用に向けて耐えうる機能であるかの評価、実際の運用を見据えて早期に課題や改善点の抽出を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全国地形情報を用いた機能拡張版 FIMS を用いて、2021 年 3 月に実証実験を実施。課題抽出。</li> <li>・課題を改修し、新規気象 API を実装した FIMS を用いて、福島 RTF を用いた 2 回の実証（2021 年 9 月/12 月）にて、運用実績を積むとともに、地表接近警報、気象警報の妥当性評価を実施した。</li> </ul>	○	
<p>[株式会社ウェザーニューズ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・既に連携されている FIMS-気象情報システム間連携において、全国に整備済みの気象観測装置データを活用し、無人航空機の運航管理に使用するためのデータ項目およびインターフェースの設計を行う。</li> </ul>	<p>気象観測装置データおよび全国の地形情報をベースとした無人航空機運航向けの気象モデルを開発した。また、実測値との精度検証を実施し良好な結果を得た。</p>	○	
<p>[株式会社ウェザーニューズ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2020 年度までに行った抽出課題を基に、気象情報システムと運航管理統合機能間の連携と検証を実施する。また、実証実験を通じて、無人航空機運航用気象情報の有用性および実用性を検証する。</li> </ul>	<p>実況解析や極短時間予測など低空域、高精細、短時間など無人航空機運航に必要な情報を運航管理統合機能に提供し、情報の有効性、実用性の妥当性評価を実施した。</p>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達



## (5) 成果と意義

### 5.1. 研究開発項目①「運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発」

#### 5.1.1. 「運航管理統合機能への飛行計画、動態情報の簡易登録機能の開発」(実施者：日本電気株式会社)

##### (1) 実施事項

###### (A) 飛行計画の登録に関する研究

運航管理統合機能に飛行計画を登録出来る仕組み、および無人航空機のGCS(Ground Control Station)や航空局システムへも容易に飛行計画を共有できる仕組みについての研究を実施した。

###### (B) 動態情報の登録に関する研究

(A)の研究に合わせて無人航空機に搭載可能な端末を用いて、無人航空機の動態情報を運航管理統合機能へ登録出来る仕組みを研究し、飛行計画と連動した管理・表示ができるような実装を行う手法について研究を実施した。

###### (C) 情報参照に関する研究

運航管理統合機能が保有する無人航空機を安全に飛行させる情報(気象情報や飛行禁止エリア等)を提供する仕組みについて研究を実施した。

###### (D) 有人航空機動態管理機能の開発と連携した有人航空機動態情報表示に関する研究

飛行計画申請時等における参考情報として各事業者向けに活用できるよう、地図画面上に有人航空機の動態情報を無人航空機と同様に表示する機能を株式会社ウェザーニューズの有人航空機動態管理機能の開発研究と連携して行えるよう研究を実施した。

##### (2) 研究を通じた成果

###### (A) 飛行計画の登録に関する研究

以前の研究では、運航管理統合機能(FIMS)配下に複数の運航管理機能(サービスプロバイダ)を配置し、実際に無人航空機を飛行させる事業者はサービスプロバイダ経由で接続し情報の共有をする必要がある。

今回の研究では、無人航空機を飛行させる事業者が容易に運航管理統合機能に接続出来るよう、運航管理統合機能のユーザインタフェースを機能改善し飛行計画、動態情報を登録出来る仕組みを研究する。

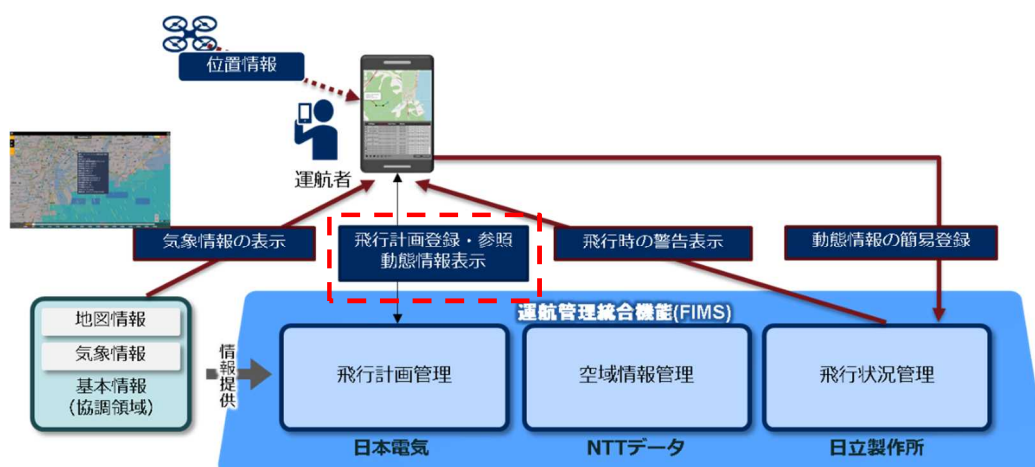


図 2.2.1.10-9 飛行計画の登録に関する研究の対象

a) タブレット端末による飛行計画の登録、参照を行うユーザインタフェースの実現

事業者が屋外にて飛行計画の登録、更新、参照を容易に行えることを目的として、タブレット端末向けのユーザインタフェースを開発した。

全飛行計画取得 API、指定飛行計画取得 API を利用し、飛行計画管理サーバから申請済み飛行計画の一覧を取得。タブレット端末の地図上に表示し、飛行計画の日時、経路、申請状況等を確認する機能を有する。

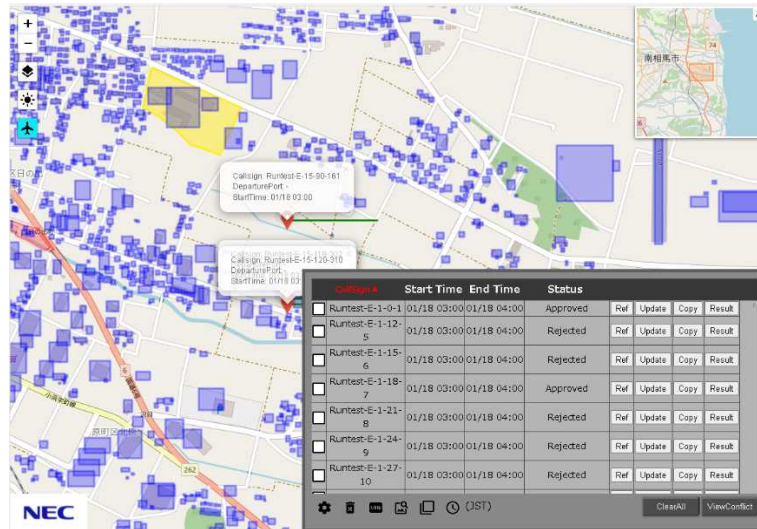


図 2. 2. 1. 10-10 飛行計画一覧画面  
(出典 : openstreetmap.org)

また、飛行計画新規申請、更新、取消 API を利用し、タブレット端末から簡易に飛行計画を登録・更新することを可能とした。

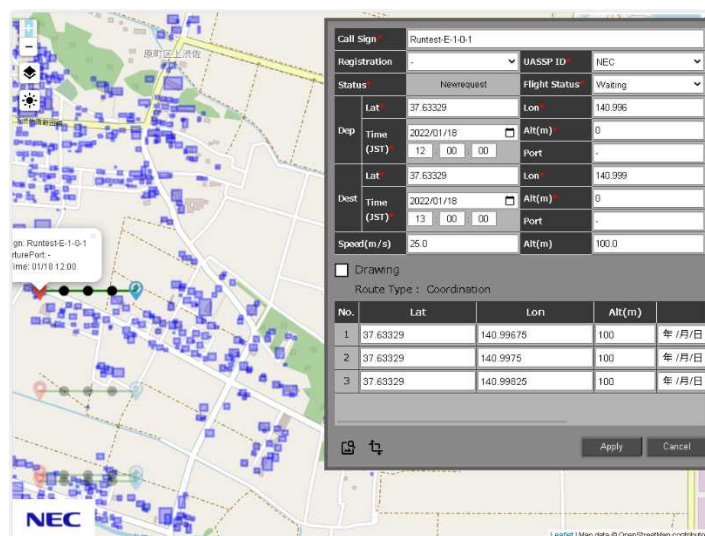


図 2. 2. 1. 10-11 飛行計画申請画面  
(出典 : openstreetmap.org)

タブレット端末の画面サイズは比較的小さいため、地図の表示確認や飛行経路の入力作業のし易さを考慮し、地図エリアを極力広くとれるような画面レイアウトとした。

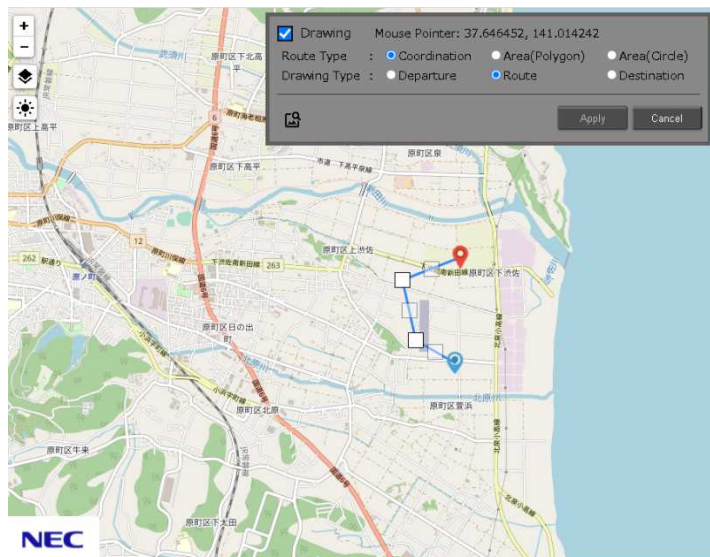


図 2. 2. 1. 10-12 経路作成画面のイメージ  
(出典 : openstreetmap.org)

b) 飛行計画のインポート・エクスポート機能の実装

申請済みの飛行計画を CSV ファイル、または KML ファイルにエクスポートし、エクスポート CSV ファイル、または KML ファイルをインポートすることにより、更に簡易な飛行計画の登録を可能とした。外部システムで作成された CSV ファイル、または KML ファイルを正しくインポートできることを確認した。



図 2. 2. 1. 10-13 飛行計画申請画面

(B) 動態情報の登録に関する研究

無人機の位置情報を受信し、運航管理統合機能に登録する仕組みを研究する。

無人機の位置情報を受信する方法は 2 種類用意する。

- ・無人機に搭載した位置情報モジュールから近距離無線通信 (Bluetooth) で送信された位置情報をスマートフォンで受信。スマートフォンに組み込まれたアプリケーションで飛行計画管理に送信。
- ・無人機に搭載した位置情報モジュールから LTE 回線で直接、飛行計画管理に送信。

飛行計画管理で受信した無人機の位置情報は、動態情報として飛行状況管理に送信。飛行状況管理から警告情報と共に動態情報を再び飛行計画管理で受信し地図上に表示する。

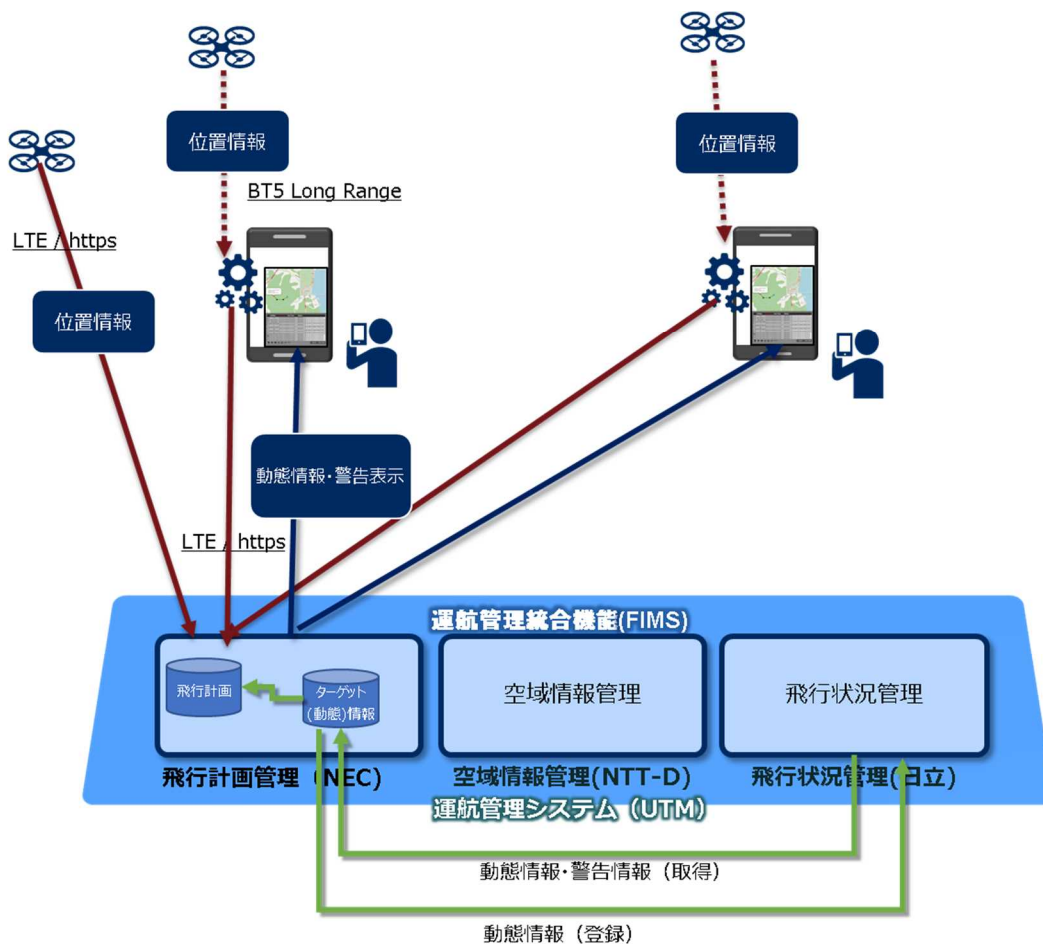


図 2. 2. 1. 10-14 動態情報の登録に関する研究の概要

a) 位置情報受信スマートフォン用アプリケーション

無人機に搭載した位置情報送信モジュールから位置情報を受信し、飛行計画管理に送信するスマートフォン用アプリケーションを開発した。Bluetoothにて複数の無人航空機から位置情報を受信し、LTE回線で飛行計画管理に送信する。

b) 無人機から直接位置情報を送信

無人機がLTE回線を用いて直接送信した位置情報を飛行計画管理で受信することも可能とした。

c) 飛行計画管理の位置情報受信

飛行計画管理は受信位置情報と申請済みの飛行計画を紐づけ、動態情報として飛行状況管理に送信し、飛行状況管理から受信した動態情報、および警告情報を受信する機能を追加した。タブレットにて、受信した動態情報、および警報情報がリアルタイムに表示されることを確認した。



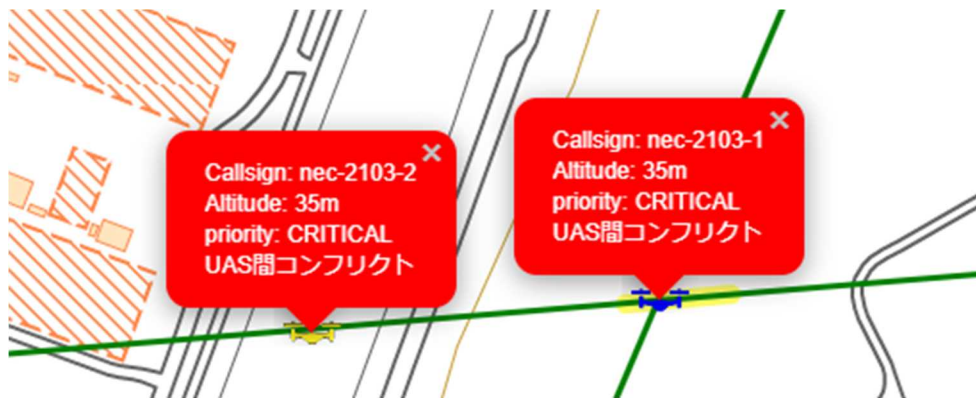


図 2. 2. 1. 10-15 無人機動態、警報情報表示の例  
(出典 : openstreetmap.org)

(C) 情報参照に関する研究

気象情報、空域情報を使った衝突判定と、飛行禁止エリアへの入域許可判定の仕組みを研究する。

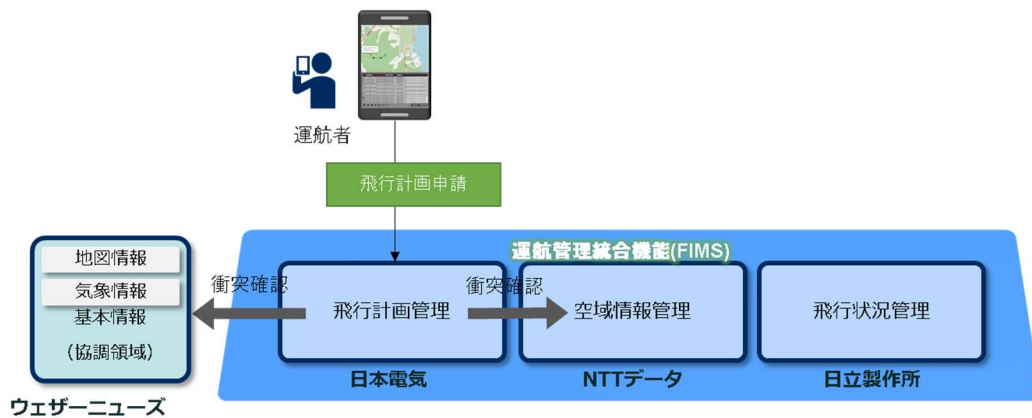


図 2. 2. 1. 10. 16 情報参照に関する研究の概要

a) 気象情報と飛行禁止エリアとの衝突判定

申請された飛行計画の飛行時間、位置情報から気象情報と飛行禁止エリアとの衝突判定を行い、無人航空機がより安全に飛行するための機能を実装した。

また、気象情報、飛行禁止エリアとの衝突判定有無を任意のタイミングで画面から切り替える機能についても実現した。

### CONFIG

- 気象情報との判定
- 飛行禁止エリアとの判定
- 地表障害物との判定
- 同一UASSP間でのコンフリクト判定

予測経路地点作成間隔	10000	ms
計画と計算速度の許容範囲	30000	m/s
計画と計算到着時間の許容範囲	3600000	ms
風速上限値	10	m/s
保護空域形状	<input checked="" type="radio"/> 角柱 <input type="radio"/> 円柱	
保護空域幅	5	m
Coordinationの縦間隔係数(前後方向) <small>ex. 保護空域幅(10m)×係数(2)=20m</small>	2	
無人航空機動態情報表示間隔	1	s
飛行計画の削除	20	日前

図 2. 2. 1. 10-17 CONFIG ダイアログ

b) 緊急飛行時の飛行禁止エリアの入域許可判定

空域情報管理と連携し、緊急飛行等で一時的に飛行禁止エリアへの入域が許可された場合、衝突無しとして判定されることも確認できている。

- (D) 有人航空機動態管理機能の開発と連携した有人航空機動態情報表示に関する研究  
 (C)の実験における無人航空機の動態表示のように有人航空機に対しても動態表示が行えるよう連携して研究を実施し、図 2. 2. 1. 10-18 示すとおり実証実験時において仮想友人機に対して動態表示を実現できている。

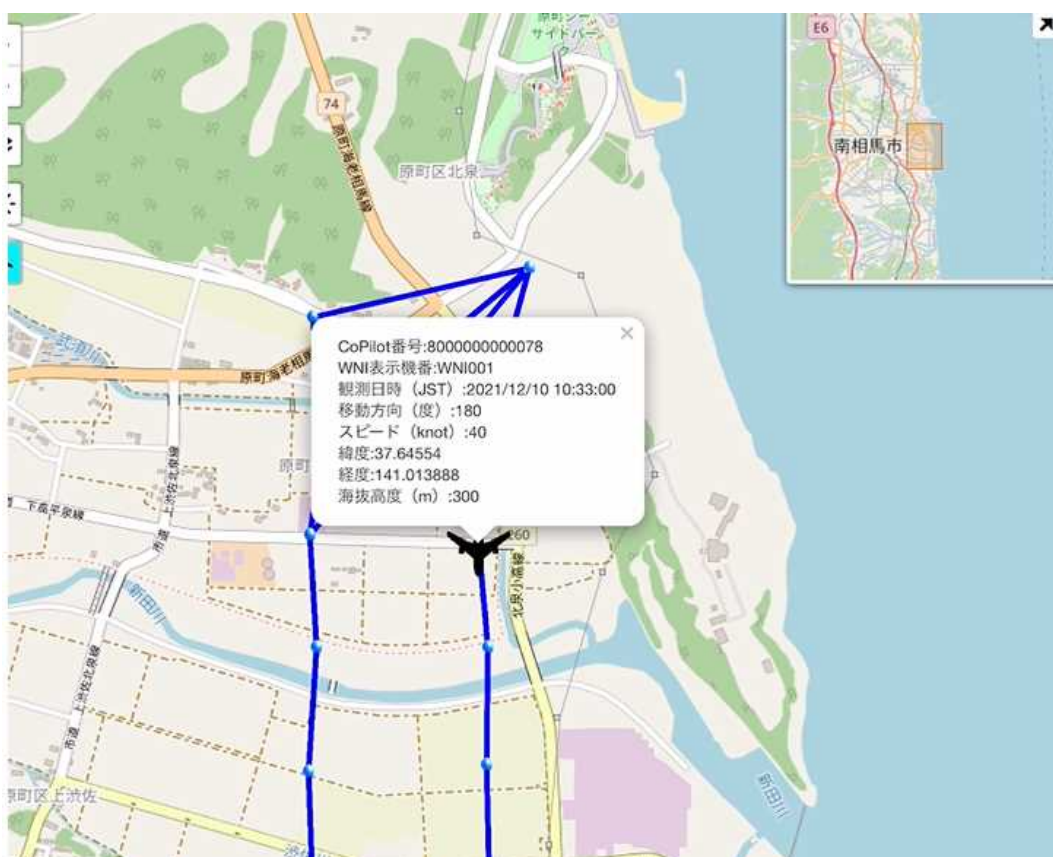


図 2. 2. 1. 10-18 実証実験時における有人機動態情報の表示（航空機アイコン）  
（出典：openstreetmap.org）

リアルタイムな有人航空機動態の位置情報・移動方向の表示更新、全経路情報の表示の正当性について確認を行った。



(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 飛行計画の登録に関する研究

福島ロボットテストフィールドでの実証実験を通じて実証に参画した各事業者より全体的に UI に関する改善の要望を頂いている。特に表示する地図情報についての最新版反映の要望や各種入力に関するユーザビリティの向上が求められている。画面表示に関連する UI 機能のさらなる改善の検討が必要である。

(B) 動態情報の登録に関する研究

実証実験中、同一動態に対して飛行計画の修正を行った場合、一時的に修正前の動態情報も合わせて表示されてしまい、2重表示に見えるタイミングが発生することがあった。動態情報管理と連携した機能改善の検討を行う必要がある。

(C) 情報参照に関する研究

アーキテクチャ上、申請結果、特に衝突発生による否認の内容をユーザ通知することが難しく、問い合わせが発生することが多かった。サーバサイドのアーキテクチャを見直し、ユーザビリティの向上を図る必要がある。

(D) 有人航空機動態管理機能の開発と連携した有人航空機動態情報表示に関する研究

ウェザーニュースへの有人航空機動態の問い合わせ回数が多いため、飛行計画管理、ウェザーニュース共にサーバの負荷が高くなることがある。サーバの負荷状況や外部パラメータファイルによる問い合わせ回数を調整する機能が必要と考えられる。

## 5.1.2. 「空域管理機能の高度化」(実施者：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)

### (1) 実施事項

#### (A) 運航特性や地域特性に応じた柔軟な空域運用に必要な機能の検証

LEVEL4 運航やその先の高密度運航の実現に向けては、機体性能や運航者の保有する資格・能力などに応じた飛行可否判断や、上空および地上へのリスク評価に基づいた空域管理の手法が必要となると考える。また、運航する地域エリアによっても空域運用に求められる要件が異なる则认为。ここでは、機体・運航目的・運航者の能力といった運航の特性に応じて地域毎に適正な空域利用を実現するための空域管理手法について研究を行った。

#### (B) 災害時における有人航空機/無人航空機間での空域利用調整の検証

無人航空機活用ニーズの高まりに従い、有人航空機が飛行する周辺空域で無人航空機を飛行させる機会が増加すると想定する。特に災害やイベント等では限定された空域において有人航空機と無人航空機が共存することになる。このようなケースを想定し有人航空機と無人航空機の効率的運航を可能とする空域統合運用に必要な空域割当の機能を検討し一部検証を行った。

#### (C) 有人航空機動態情報連携による空域の状況認識向上の検証

飛行中の周辺状況の把握による安全向上を目的とし、無人航空機運航者へ提供する有人航空機動態情報の充実を図るための研究を実施した。具体的には株式会社ウェザーニューズの提供するヘリコプターの動態情報、その他サードパーティが提供する有人航空機全般の動態情報、さらには他の研究開発案件(遠隔からの機体識別および有人航空機との空域共有に関する研究開発)で開発した「有人・無人航空機飛行情報共有システム」と連携して入手した福島ロボットテストフィールド周辺の有人航空機動態情報を活用することで、無人航空機運航者の状況認識を向上することを検証した。

### (2) 研究を通じて得られた成果

#### (A) 運航特性や地域特性に応じた柔軟な空域運用に必要な機能の検証

LEVEL4 運航実施時に求められる空域管理運用としては以下の仮説を検討している。本研究では、これらの仮説に基づき、必要な機能の検討、一部実装をおこなった。

#### 【仮説】

- ① 飛行の目的や飛行する運航者によって対象となる飛行禁止/注意空域における飛行可否の判断は異なってくる。例えば、警備・災害・救助・医療目的などの緊急度や優先度の高い飛行については、一般に飛行を禁止あるいは事前の許可が必要な空域においても優先的に飛行を許可するといった運用が考えられる。
- ② 飛行中の無人航空機の機体や通信状態に異常が発生した場合など、周辺を飛行中の無人航空機の安全を確保するため、異常が発生した機体の周囲は他の無人航空機の飛行を一時的に禁止とし、特定の無人航空機以外は飛行させないような運用が考えられる。
- ③ LEVEL4 運航やその先の高密度運航の実現に向けては、機体性能や運航者の保有する資格・能力などに応じた飛行可否判断や、上空および地上へのリスク評価に基づいた空域管理の手法が必要となる。

(ア) 入域許可判定機能

上記の仮説に基づき、飛行用途や事業者に応じて特定の飛行禁止空域内への入域許可/不許可を判断する運用を実現するため、入域許可設定/判定機能を具備することとした。

まず、入域許可設定機能では、これまで管理していた飛行禁止空域のエリア情報（エリア形状、有効期限等）に加え、その空域への入域を許可する各種条件を保持・管理するようにすることで、空域管理者が各飛行禁止空域に対して入域許可情報を設定する機能を実装した。

入域許可判定機能では、FIMS 内部の他機能や外部の UASSP が特定の飛行禁止空域に対して入域が許可されているか否かを判断できるよう、リクエストに応じて入域可/不可の判定結果を返却する API を実装した。

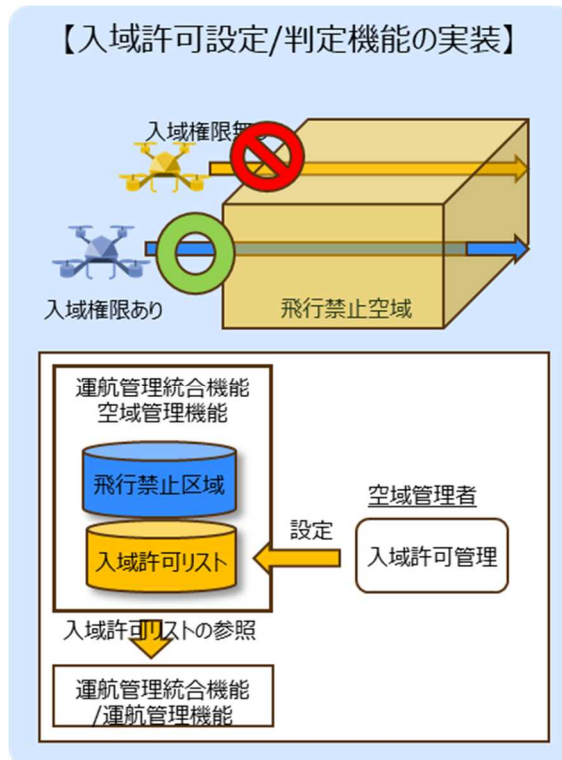


図 2. 2. 1. 10-19 入域許可設定/判定機能

入域許可の条件は以下の項目を設定することとした。各飛行禁止/注意空域毎にそれぞれ以下の条件を設定し、条件を満たした飛行のみ当該空域に入ってもアラートを発生させないよう制御可能となる。

### 【許可条件】

■ 飛行用途：以下の用途から選択（複数選択可）

- ✓ ・ 物流
- ✓ ・ 撮影
- ✓ ・ 災害対応

■ 運航者 ID (UASSP\_ID)：手入力（複数設定可）

条件設定画面の例を以下に示す。

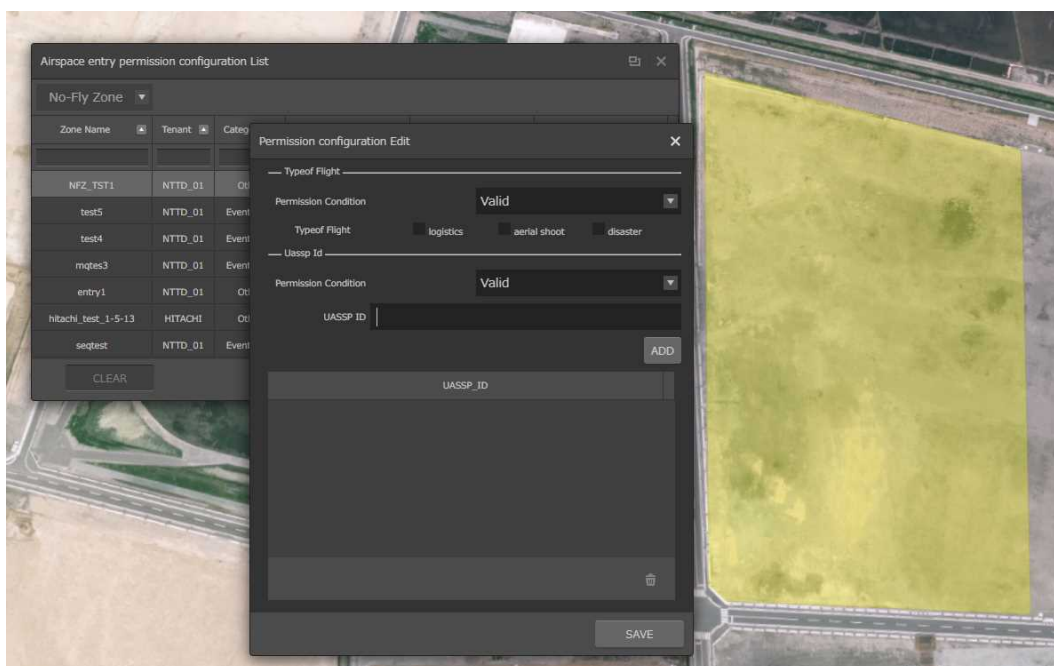


図 2.2.1.10-20 飛行禁止空域に対する入域許可条件設定画面  
(出典：openstreetmap.org)

入域許可判定 API のデータ項目・インターフェースについて以下に示す。飛行目的による飛行可否判断は、緊急飛行か否か、飛行用途の種類により行い、事業者による飛行可否判断は、UASSP\_ID により行うこととした。

表 2.2.1.10-3 入域許可判定 API

項番	項目名	カラム名	値域	必須項目	説明
1	空域 ID	fly_zone_id	1~2147483647	○	入域判定する空域の空域 ID を指定
2	空域識別	fly_zone_type	0. 飛行禁止空域 1. 飛行注意空域	○	入域判定する空域の識別子を指定
3	緊急飛行	emergency	00. 緊急飛行ではない 90. 緊急飛行である	○	空域に入域する機体の飛行状況を指定
4	飛行用途	typeof_flight	00. 物流 01. 撮影 90. 災害対応	-	空域に入域する機体の飛行用途を指定
5	UASSP_ID	uassp_id	RRRRRRRR-RRRR-4RRR-rRRR-RRRRRRRRRRR	※緊急飛行の項目が“緊急飛行ではない”の場合のみ必須	空域に入域する機体の UASSP_ID を指定

実装した入域許可判定機能について、実際にドローンを飛行させての実装実験を行い、計画段階および飛行中の2パターンで入域許可判定 API の有効性を確認した。

実証実施にあたっては、日本電気株式会社が担当する飛行計画の承認機能において、弊社が今回実装した入域許可判定 API を用いて飛行計画の検証を行うよう実装していただいた。計画段階での確認として、運航管理統合機能の空域情報管理機能にて入域許可情報を設定した飛行禁止空域を新規登録し、運航管理機能から当該飛行禁止空域に侵入する飛行計画を作成・申請して、設定した入域許可情報に基づいて運航管理統合機能の飛行計画管理機能から飛行計画の承認／否認が正しく運航管理機能側へ返却されるかを確認した。また、承認された飛行プランで飛行禁止空域内を飛行させ、運航管理統合機能で警報が発生しないかも確認した。実証実験の結果および評価について以下に示す。

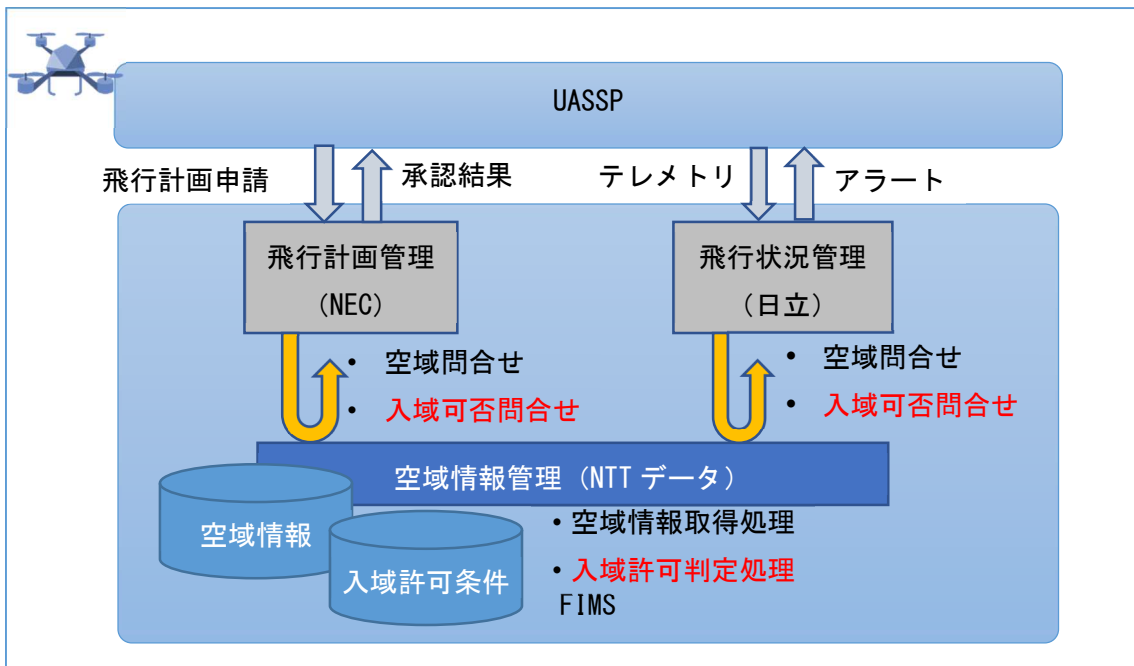


図 2. 2. 1. 10-21 入域許可判定の機能関連図

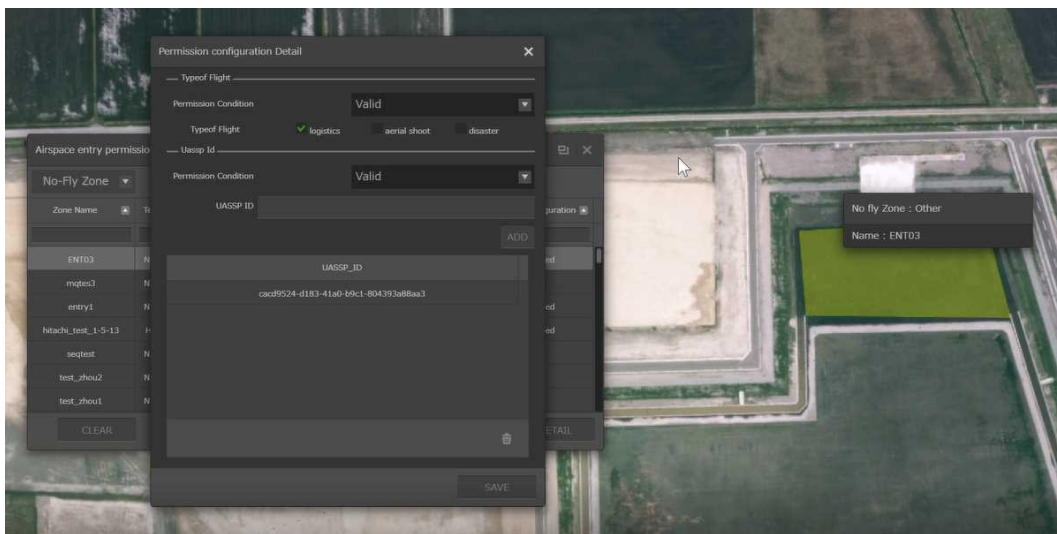


図 2. 2. 1. 10-22 FIMS での入域許可設定画面（物流用途飛行に対する許可）  
（出典：openstreetmap.org）

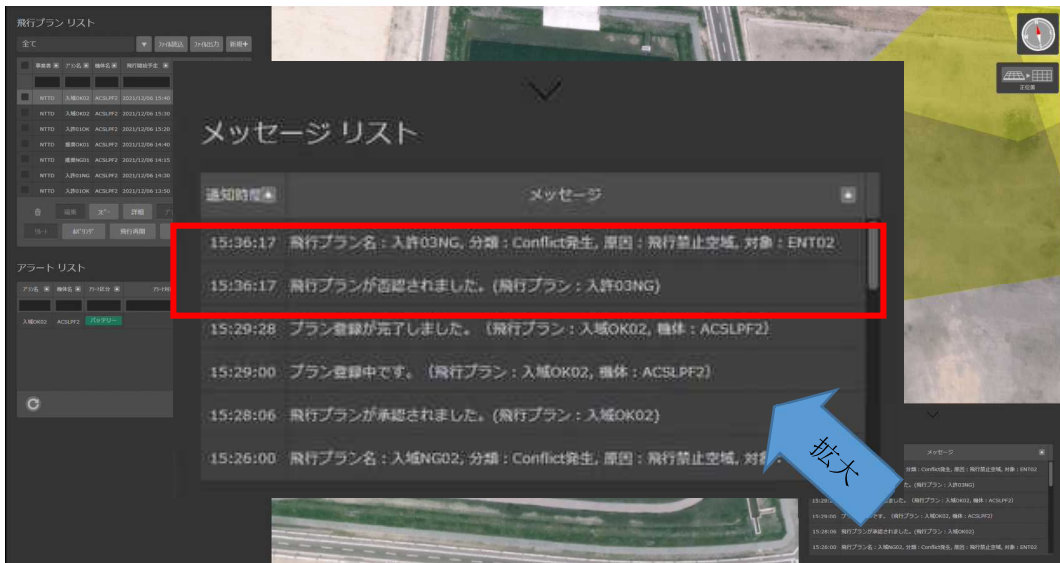


図 2. 2. 1. 10-23 運航管理機能側での飛行計画申請画面  
 (入域 NG で飛行計画が否認された場合)  
 (出典 : openstreetmap.org)



図 2. 2. 1. 10-24 運航管理機能側での飛行計画申請画面 (入域 OK で承認された場合)  
 (出典 : openstreetmap.org)





図 2. 2. 1. 10-25 飛行計画承認後の運航管理機能側の飛行画面  
(出典 : openstreetmap.org)

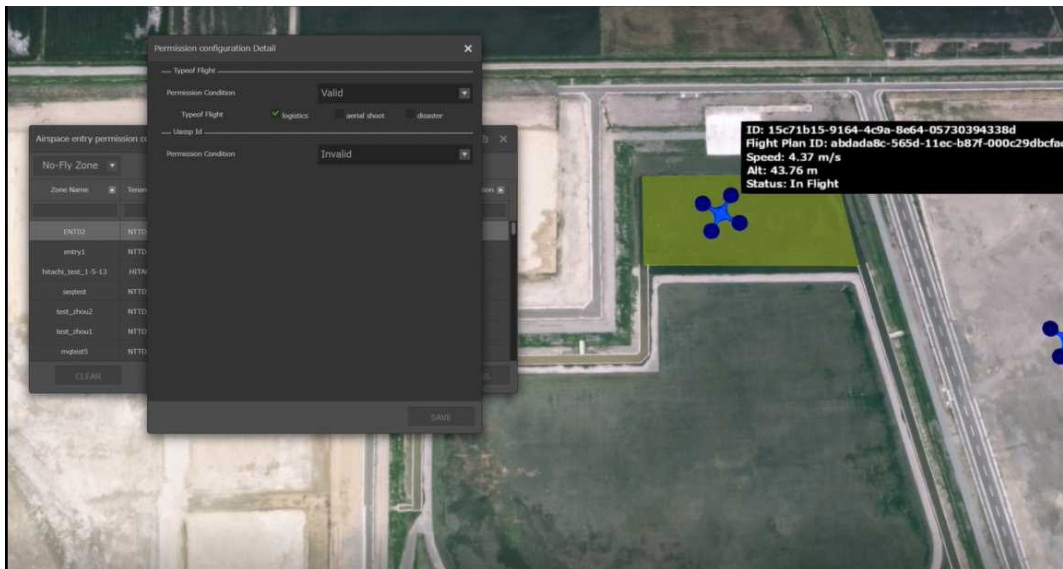


図 2. 2. 1. 10-26 運航管理統合機能での入域許可対象機の飛行状況モニタ画面  
(出典 : openstreetmap.org)

上記のとおり、実証実験では、実装した入域許可判定 API のロジック・インタフェースの妥当性を確認できた。これまでの空域情報管理機能では設定された飛行禁止空域において一律飛行不可と判断していたところ、特定の許可された飛行用途・事業者で飛行禁止空域内を飛行可能とする運用の有効性を評価した。

また、飛行計画管理機能での飛行計画チェックにおいて、今回新たに入域許可判定 API による問合せを実装したため、UASSP から飛行計画申請し、UASSP で申請結果を受け取るまでの処理時間についても計測し、課題について確認した。処理時間測定結果は 1 秒程度であり、性能的にも問題なしと判断した。

次に、飛行中においても飛行禁止空域に入域しようとする無人航空機に対して、入域可否の判定を行う機能についても実装した。本機能の実装にあたっては、

株式会社日立製作所が開発担当する運航管理統合機能の飛行状況管理において当社が実装した API を用いて飛行中の判定を行うよう実装していただいた。実証では飛行経路上に2つの飛行禁止空域を設定し、そのうちの一方は入域を許可しない設定に、もう一方は入域を許可する設定にした上で、実際に無人航空機を飛行させて検証を行った。その結果、飛行中においてもリアルタイムで正しく入域可否の判定を行えることが確認できた。以下に実証時の判定結果の画面を示す。

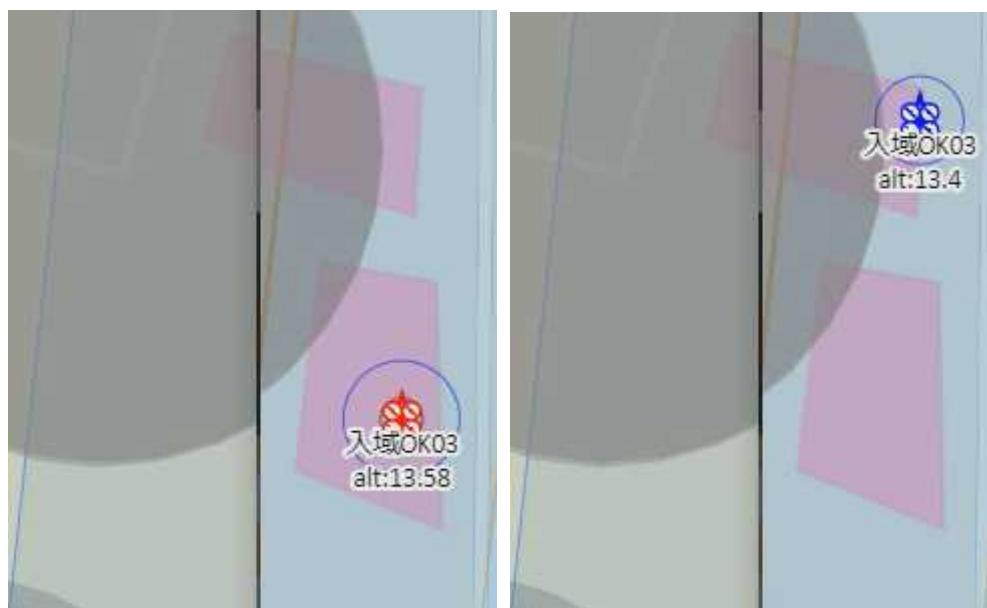


図 2. 2. 1. 10-27 運航管理統合機能での入域判定結果（左：入域 NG、右：入域 OK）  
（出典：openstreetmap.org）

上記のとおり、飛行中においても、計画段階同様、入域許可判定 API の有効性について確認することができた。

(イ) 飛行経路リスク判定機能

LEVEL4 や将来の高密度運航を想定し、さらなる安全性向上のための空域管理手段の一つの可能性として、飛行計画段階において無人航空機が飛行する経路の上空および地上へのリスク評価に基づいた飛行経路の安全性評価を行う機能を検討した。

飛行経路リスク判定機能については、特に将来の LEVEL4 運航を見据え、無人航空機が設定した飛行ルートに、飛行禁止空域、地表・障害物、悪天候、他の機体等による影響をリスク値として加味し、安全に飛行できるルートであるかを判定する機能として検討した。



図 2. 2. 1. 10-28 飛行経路候補のイメージ

リスク値計算の基本的な考え方を以下に示す。

- 空域・標高・建物・気象などの各制約データを各種情報提供元から入手
- 各制約データをそれぞれリスク値として地理的情報とマッチングされた評価テーブルに落とし込む。リスク値の決定指標はあらかじめ設定しておく。
- 飛行経路の通過地点におけるリスク値を合計し評価する



図 2. 2. 1. 10-29 飛行経路のリスク値落とし込みのイメージ



本研究では、検討した実現方式に基づき、経路リスク判定機能アプリケーションのプロトタイプ開発を実施し、各種制約事項（飛行禁止空域、地表・障害物、悪天候、他の機体等）による影響をリスク値として加味し、安全に飛行できるルートであるかを判定する機能として検討し、プロトタイプを作成して評価した。リスク値を加味して、飛行ルートのリスク判定を実施した結果を以下に示す。

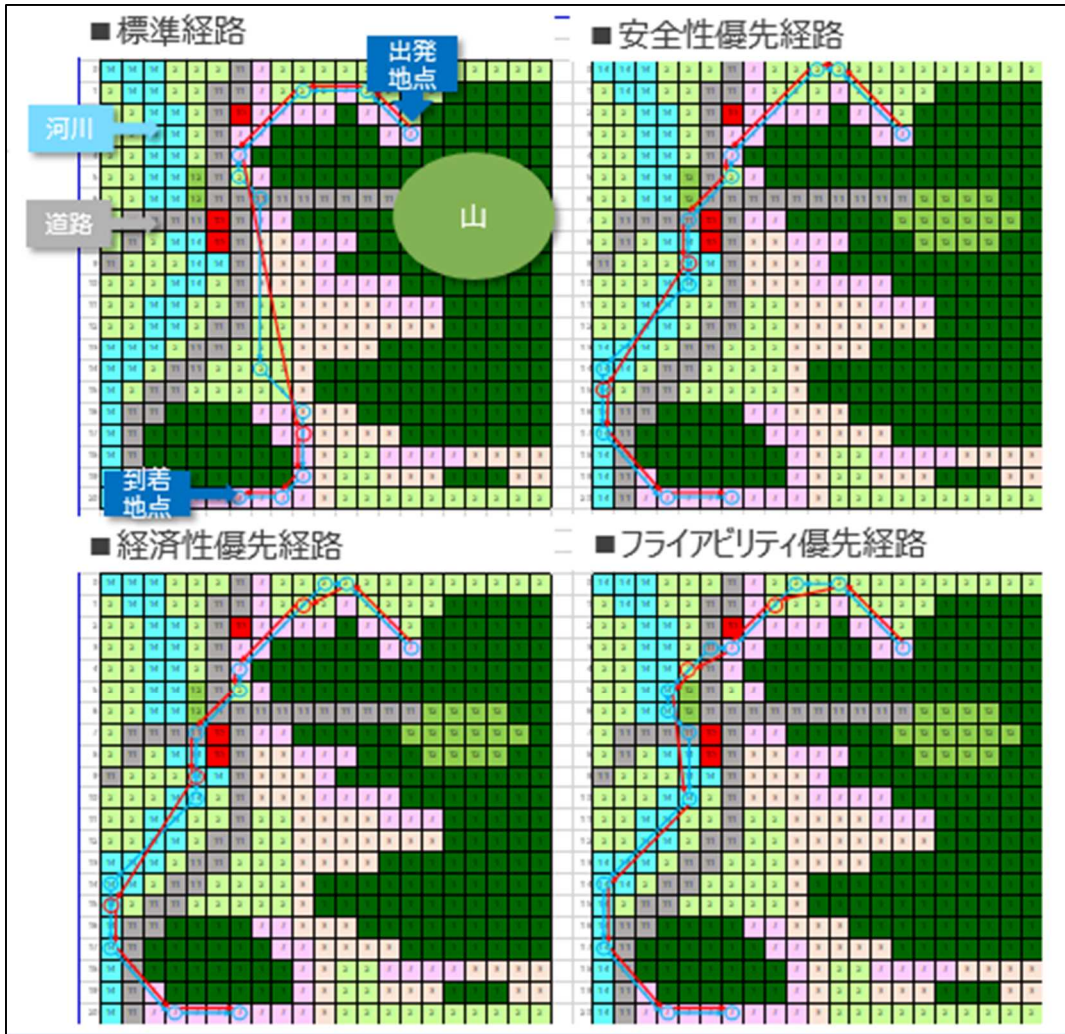


図 2.2.1.10-30 飛行経路リスク判定機能（プロトタイプ）における判定結果

各種制約事項によるリスク値を平均的に加味した場合（標準経路）には、飛行距離が短く、直進的な飛行ルートが最もリスク値が低いと判定された。一方で、安全性・経済性に関わるリスクを重視して判定すると、河川上空を飛行するルートが最もリスク値が低いと判定された。

各種制約事項のリスクの重みづけをどう決めるか（設定・チューニングするか）は運航者や空域管理者のポリシー次第となる部分が大きく、社会実装に向けてはさらに検討を深める必要がある。

(B) 災害時における有人航空機/無人航空機間での空域利用調整の検証

有人航空機と無人航空機の空域は今現在、高度とエリアで分割されており、これにより双方が安全に運航できている。しかし将来的に無人航空機の運航ニーズが高まるにつれ、無人航空機運航者の空域利用ニーズも高まることが想定される。現状でも

災害発生時における迅速な人命救助や被害状況の把握のため無人航空機と有人航空機がそれぞれの利点を最大限に活用して協調して活動にあたることが求められており、そのようなケースにおいても特に両者間での空域利用調整が必要となる。

本研究では、大規模災害時をユースケースとして有人航空機と無人航空機両者間での空域利用調整のあるべき運用について公開情報に基づき調査・検討した。さらに、現行のFIMSの有する機能をどう活用して運用要件を満たすことができるのか、もしくは新たな機能の追加が必要となるのかを整理した。以下に整理した結果を示す。

表 2.2.1.10-4 運用要件と FIMS 機能の関係性

運用要件	対応する FIMS の機能
有人航空機と無人航空機の間でそれぞれの動態情報を共有する。	有人機動態情報連携機能、 無人航空機動態情報連携機能 (該当機能無し)
有人航空機と無人航空機の飛行空域が重複しないよう調整する。	
有人機の飛行禁止空域を連携した場合に併せて無人機が有人機の飛行禁止空域で飛行する場合の入域許可情報が必要となる。	入域許可判定機能
無人機の飛行の判断に活用するため、有人機の飛行空域情報も判定に活用する。	飛行推奨空域内判定
無人機の飛行の判断に活用するため、有人機の飛行空域情報も判定に活用する。	飛行禁止/注意空域設定機能 で代替可能
災害情報を元に、災害空域情報を UI にて手入力し、災害情報を最新化する。	飛行禁止/注意空域設定機能 で代替可能
災害が発生している場所、空域を画面表示し、災害の発生場所、及び、無人機の飛行可否を人が判断する。	飛行禁止/注意空域設定機能 で代替可能
他システム、及び、UASSP にて災害空域を確認し飛行可否判断に活用するため、災害空域の更新情報を他システム、及び、UASSP に通知、及び、連携する。	飛行禁止/注意空域情報 API で代替可能
災害が発生している、空域で飛行可能かどうかを、最新の災害空域を基に判断し、災害空域への入域申請に対して許可判定を行い、二次災害を抑止する。	入域許可設定/判定機能
災害が発生している、空域へ無人機が侵入した場合、警報を他システム、及び、UASSP に通知し二次災害を抑止する。	警報通知機能

整理の結果、大部分の機能は既存のFIMSの機能を活用または流用して運用に供することが可能と判断したが、計画段階において有人航空機と無人航空機の飛行空域が重複しないよう調整するという要件については一部機能追加の検討が必要と判明した。そこでFIMSに当該機能をどう実装するかを検討した。FIMSでは無人航空機が安全に飛行できる空域としてあらかじめ定めた飛行推奨空域という定義があり、これを活用することで開発規模を抑えつつ効果的に実現できるのではと考えた。現在、飛行推奨空域はあらかじめ定められた場所に設定した固定的なものだが、この空域を時間・場所を動的に設定/変更することで無人航空機の飛行可能な空域を有人航空機の飛行ニーズと調整しながら動的にコントロールできるようになると考え、仕組みを実装しその有効性を検証した。

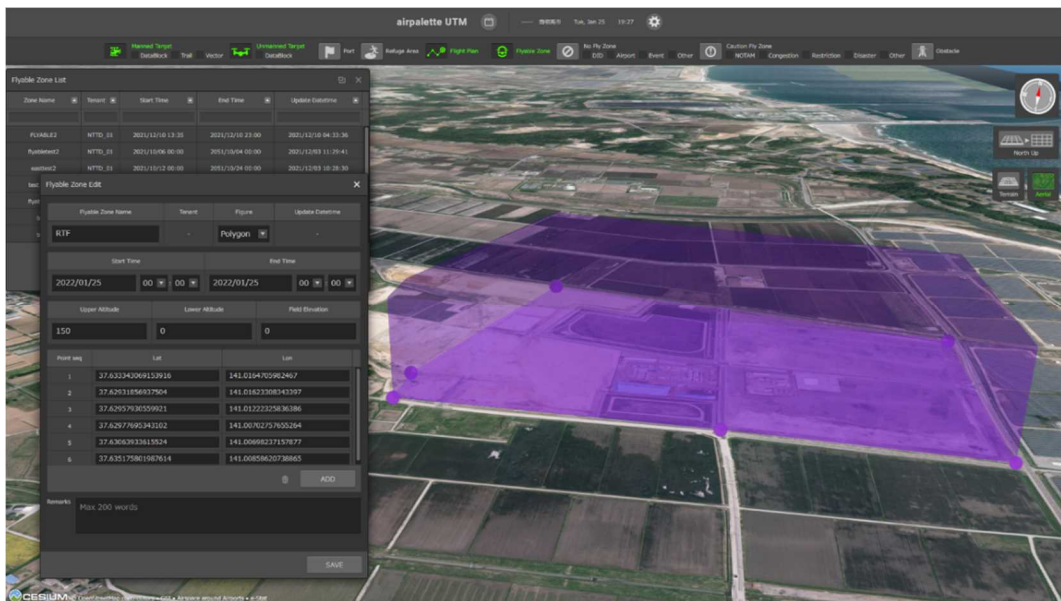


図 2.2.1. 10-31 飛行推奨空域設定画面の例（福島 RTF 一帯を飛行推奨空域に設定）  
（出典：openstreetmap.org）

また、飛行計画時に飛行推奨空域内の飛行計画となっているか、飛行中に飛行推奨空域内を飛行しているかについて運航者が判断できるようにするためのAPIとして、飛行推奨空域内在判定APIを実装した。飛行推奨空域内在判定APIのデータ項目・インタフェース設計結果について以下に示す。

表 2.2.1.10-5 内在判定APIのインタフェース仕様

項番	項目名	カラム名	値域	必須／オプション	繰り返し	説明
1	取得範囲形式	type	0:多角形 1:円形	○	-	判定する範囲の指定方法を指定
2	半径	radius	1~10000	※取得形式が円形の場合のみ必須	-	円の半径（単位：メートル） 整数部最大5桁
3	指定範囲	area	-	-	○	指定範囲の地点情報 指定範囲の形式が多角形の場合、3地点以上、円形の場合は1地点を指定
3-1	経度	longitude	-180~180	○	-	指定範囲を構成する経度 整数部最大3桁 小数部最大7桁
3-2	緯度	latitude	-90~90	○	-	指定範囲を構成する緯度 整数部最大2桁 小数部最大8桁



実証実験では、飛行推奨空域の動的設定、および飛行推奨空域内在判定 API の有効性を確認した。なお、今回は、飛行計画申請～飛行開始まで、以下の運用手順とした。

- ・ 運航者が飛行計画を UASSP で作成し、FIMS へ申請する
- ・ FIMS の飛行計画管理機能で各種干渉チェックを実施する（飛行推奨空域内在判定 API を使用した飛行推奨空域内外チェックは対象外）
- ・ FIMS の空域管理者が、上記で承認された飛行計画について、飛行推奨空域内在判定 API を利用し、推奨空域内の飛行計画であること／推奨空域外も含む飛行計画であることを確認する
- ・ FIMS の空域管理者が運航者に対して、申請した飛行計画が飛行推奨空域内か／推奨空域外も含まれるかを通知する
- ・ 運航者は飛行推奨空域内の飛行計画である場合、飛行開始する

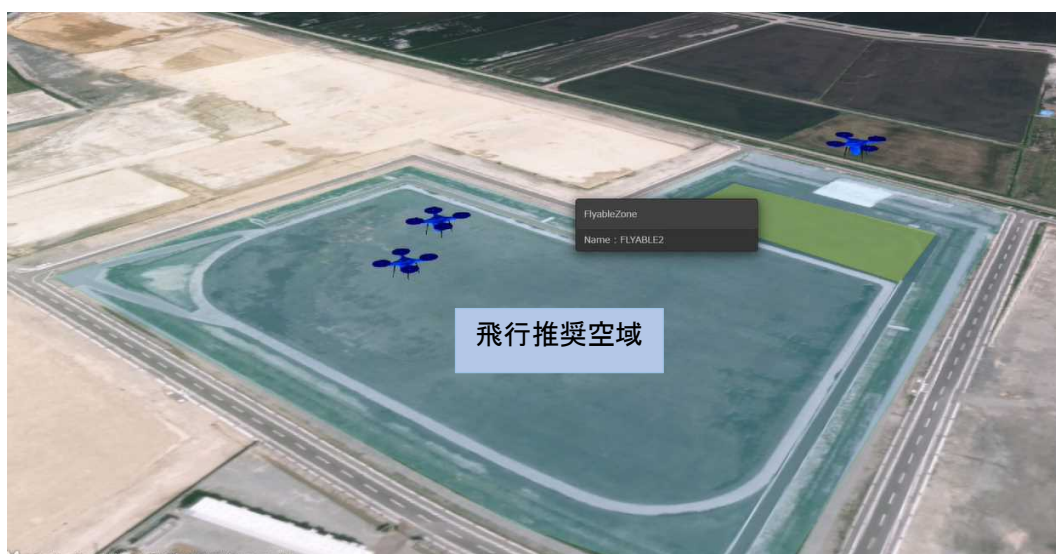


図 2.2.1.10-32 飛行推奨空域内を飛行する無人航空機  
(出典：openstreetmap.org)

本研究の実証実験において、実装した飛行推奨空域内在判定 API のロジック・インタフェースの妥当性について確認できた。今回の実証実験では、飛行計画段階での運用を想定したものに留まったが、今後は飛行中も飛行推奨空域内在判定 API を利用し、飛行中にリアルタイムで飛行推奨空域内であることをチェックしながら運用することも検討すべき課題として抽出した。

また、これまでは、飛行推奨空域の事前設定（SQL で直接 DB へ登録）のみに対応していたところ、画面で飛行推奨空域を動的に設定することが可能となり、より柔軟な空域設定が可能となったと評価した。

(C) 有人航空機動態情報連携による空域の状況認識向上の検証

FIMSでは、無人航空機操縦者が飛行させている無人航空機周辺の有人航空機存在を認識し異常な接近を防止するよう、無人航空機運航者に飛行中の有人航空機動態情報を提供する仕組みを実装している。2019年度までの研究では有人航空機が一方向的に発信している位置情報信号(ADS-Bの信号)を簡易的に受信し、その情報を無人航空機とのコンフリクト検知に活用してきた。しかしながら、無人航空機と接近する可能性の高い低高度を飛行する有人航空機(ヘリコプター等)はADS-Bに対応していない機体が少なくなく、無人航空機の状況認識向上への活用という点では不十分であった。

そこで今回の研究では共同研究者である株式会社ウェザーニューズの保有するヘリコプターの動態情報や、DRESSプロジェクトの他研究で開発したシステムから提供される動態情報、さらには他サードパーティが提供している動態情報を取り込み、取得できる航空機の機数増加と取得対象エリアの拡大を図ることで、無人航空機運航者の状況認識向上に繋がるか検証した。実証の結果、飛行中の空域状況認識の向上効果を確認することができた。

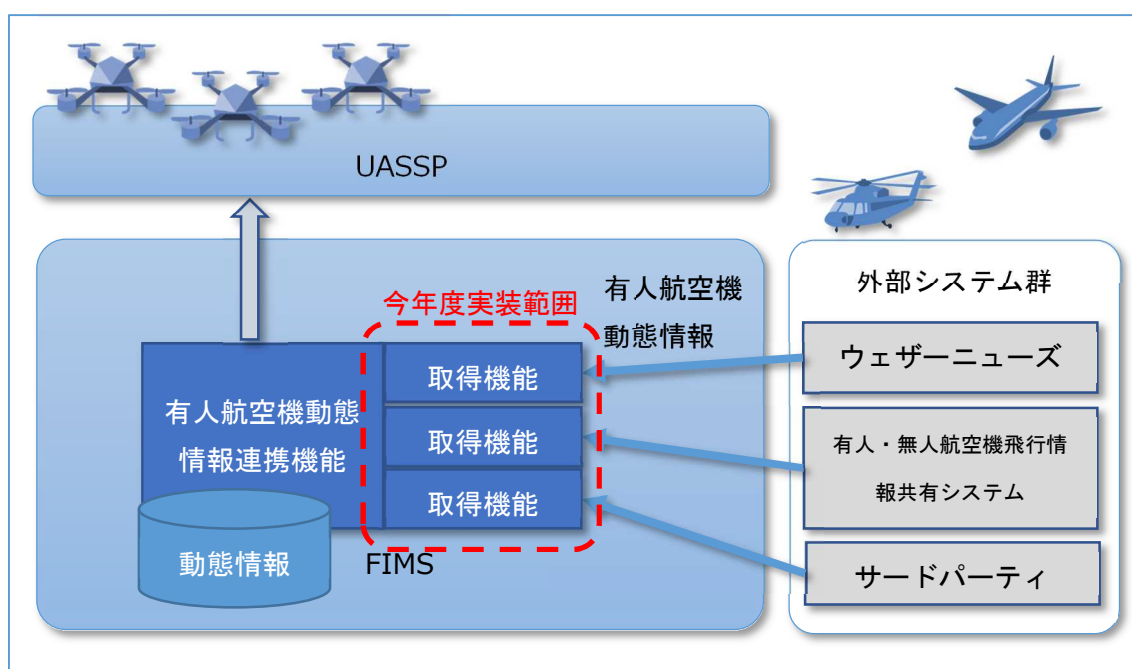


図 2.2.1.10-33 有人航空機動態情報連携機能の機能関連図

有人航空機動態情報連携については、各情報入力源の API 仕様に基づき、受信機能や受信データ項目の既存 DB 項目へのマッピング等の設計を実施した。有人航空機動態情報の情報入力源（連携先）、情報入力源システムの方式・特徴、位置情報の更新頻度を以下に示す。

表 2.2.1.10-6 有人航空機動態情報入力源システムの特徴

項番	情報入力源	方式	位置情報更新頻度	対象機体	対象エリア
1	ウェザーニューズ	機上で測位した GPS 位置情報を衛星回線経由で地上に送信	30 秒～数分（対象の運航者によって異なる）	同社のシステムを搭載した機体	日本全国
2	有人・無人航空機飛行情報共有システム	航空機が発信したトランスポンダ情報（SSR-Mode A/C、ADS-B）を福島 RTF 周辺に設置したマルチラレーションシステムで測位	1 秒	SSR-Mode A/C、ADS-B 対応機	福島県 RTF および南相馬市周辺
3	サードパーティ	航空機が発信したトランスポンダ情報（ADS-B）を世界各地に配置された地上の受信機、および衛星で受信	1 秒	SSR-ModeS、ADS-B 対応機	全世界

実装した機能について、福島ロボットテストフィールドにて FIMS および UASSP との連携実証をおこない、機能の有効性および空域状況認識改善の確認を実施した。実証実験の結果および評価について以下に示す。

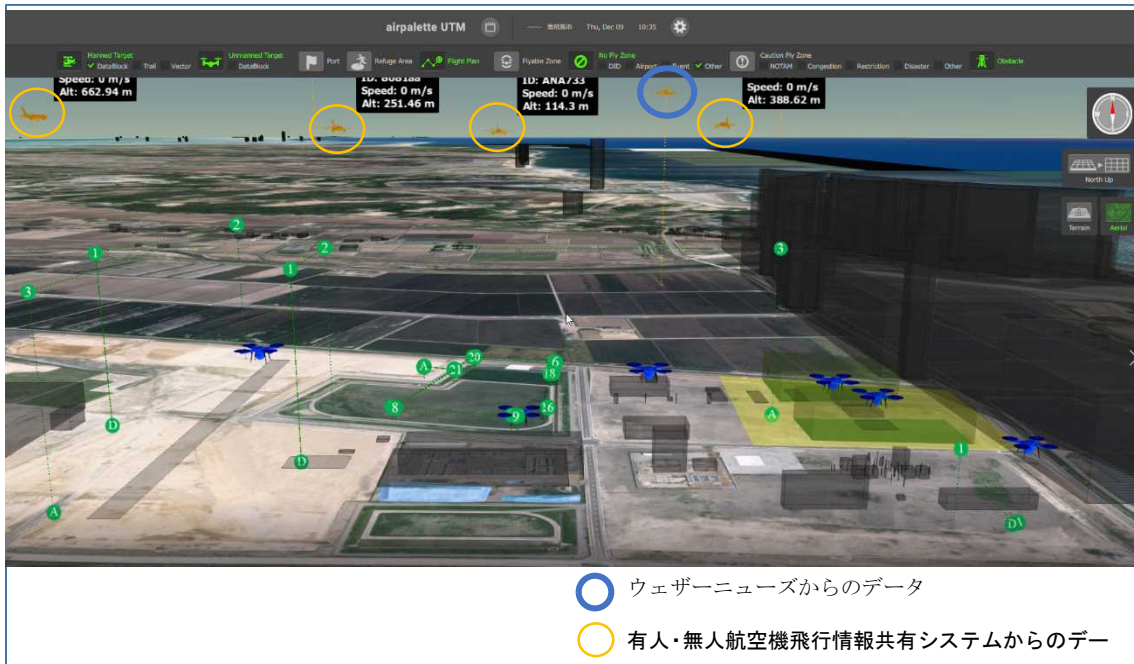


図 2. 2. 1. 10-34 運航管理統合機能側での有人航空機動態情報表示画面  
(出典 : openstreetmap.org)

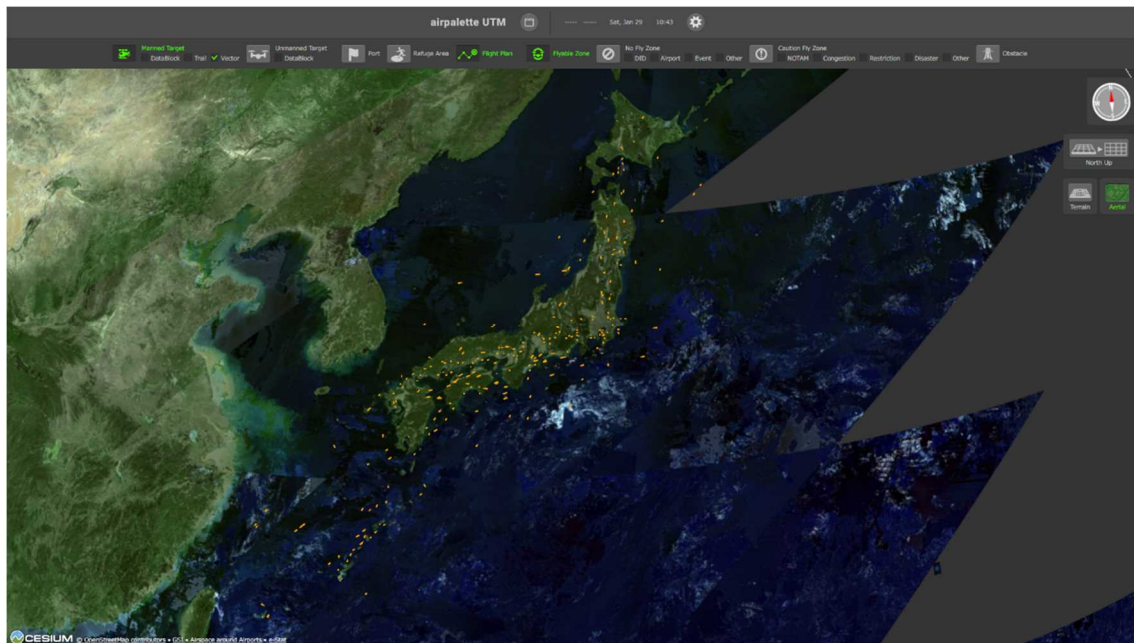


図 2. 2. 1. 10-35 サードパーティからの有人機動態情報 (全国表示)  
(出典 : openstreetmap.org)



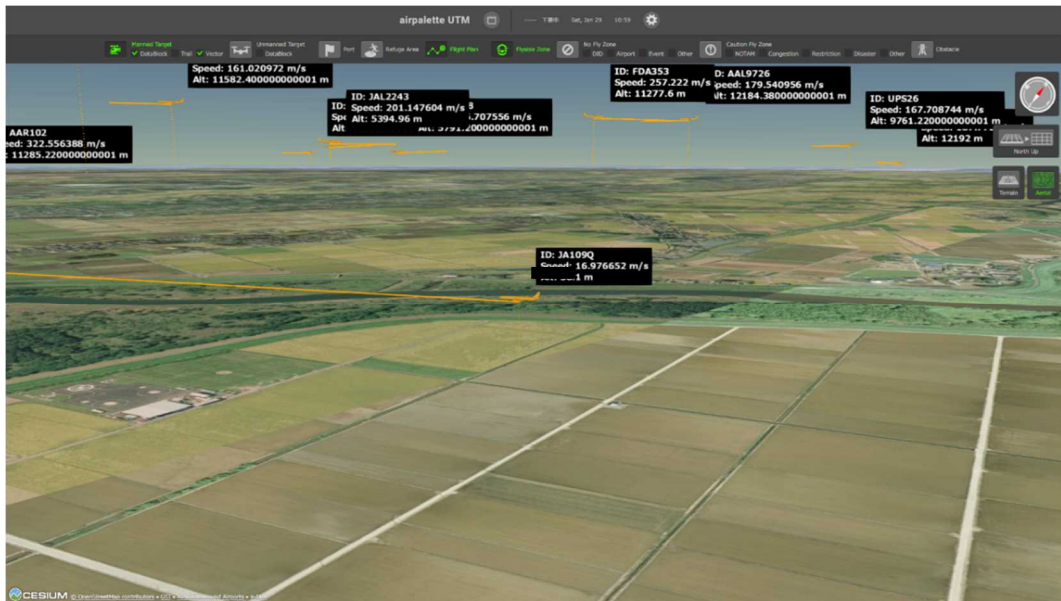


図 2. 2. 1. 10-36 サードパーティからの有人機動態情報（低高度を飛行するヘリの例）  
 （出典：openstreetmap.org）

上記のとおり、有人航空機動態情報の入力ソースが増えたことで、空域状況認識の改善につながると評価した。地域特性として、訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）が周辺にある場合や、災害時など有人航空機と無人航空機が空域共有して活動する場合などは特に有効であると考えられる。

また、有人機動態情報連携機能については、NEDO 地域実証プロジェクトでも一部の地域実証へ参画する運航者側から運用時に有人航空機動態情報を閲覧したいという要望も挙がり、有人航空機との異常接近の防止は無人航空機の運航者にも重要な課題であることを改めて認識した。特に空港周辺やドクターヘリの運航が頻繁に行われている空域を飛行させる無人機運航者にとっては特に有効な機能である。

一方、FIMS や UASSP に外部システムから受信した有人航空機動態情報を表示する際に、無人航空機と比較して経由する装置／システムが多いため、データ送受信頻度やタイムラグが課題となることがわかった。画面に表示される動態情報が最大で何秒前の情報となりうるかを加味し、表示方法や近接判定の条件・仕組み等の検討を深める必要がある。また、（有人・無人航空機飛行情報共有システム経由での有人航空機動態情報には、フュージョンが考慮された情報を受信するが）複数の入力源から有人航空機動態情報を入手する場合のデータの信頼度・重複／データ項目の差異などについても、FIMS としてデータをどう取扱うかをよく検討していく必要があると考える。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

本研究では、地域特性に応じて空域を設定する運用やそれに必要な技術検証、また、飛行用途（運航目的）・事業者（運航者）に応じて適正な空域利用を実現するための空域管理手法などについて研究を行った。

(A) 運航特性や地域特性に応じた柔軟な空域運用に必要な機能の検証

入域許可設定／判定機能においては、本研究では、基礎機能開発として飛行用途（目的）・事業者による可否判断までを対象とした。今後は、機体性能や運航者（事業者）の資格・能力による飛行可否判断についても、今後の制度設計で明確に規定された段階で機能拡張していくことが必要である。ただし、飛行可否判断のための対象データ項目を増やすことで、入域許可判定 API での判定項目が増えるため、特にリアルタイム性が求められる飛行中のチェックについて、性能面で課題が顕在化しないように検討を進める必要がある。

(B) 災害時における有人航空機/無人航空機間での空域利用調整の検証

飛行推奨空域動的設定機能について、検証では、飛行推奨空域内在判定 API の利用によるチェックや、運航者へのチェック結果伝達において手動で実施したが、「FIMS の飛行計画管理機能や、UASSP から、本機能をより容易に利用するための API の追加開発・改善」を課題として抽出した。今後は、段階的運用の改善や運用者への自動連携などへ対応していくべきと考える。また、今回の実証実験では、飛行計画段階での運用を想定したものに留まったが、今後は飛行中も飛行推奨空域内在判定 API を利用し、飛行中にリアルタイムで飛行推奨空域内であることをチェックしながら運用できるような改善へも取り組むべきと考えている。

(C) 有人航空機動態情報連携による空域の状況認識向上の検証

有人機動態情報連携機能においては、FIMS や UASSP に外部システムから受信した有人航空機動態情報を表示する際に、無人航空機と比較して経由する装置／システムが多いため、データ送受信頻度やタイムラグが課題となることがわかった。画面に表示される動態情報が最大で何秒前の情報となりうるか等を加味し、表示方法や近接判定の条件・仕組み等の検討を深める必要がある。また、（リモート ID 経由での有人航空機動態情報には、フュージョンが考慮された情報を受信するが）複数の入力源から有人航空機動態情報を入手する場合のデータの各ソースの特徴（データ更新頻度、送信遅延時間、信頼度・重複／データ項目の差異など）についても、FIMS としてデータをどう取扱うかをよく検討していく必要があると考える。

### 5.1.3. 「接近状態の回避機能と事故発生時の運用機能の開発」(実施者：株式会社日立製作所)

#### (1) 実施事項

##### (A) 警報機能の追加開発

飛行中の接近状態の検出、異なる UASSP 間での情報共有と、警報による回避指示の有用性、および網羅性について研究した。現在検討されている運航管理統合機能の責任分界点として、運航者に注意を促すことがミッションであり、飛行の安全に関する判断についてはパイロットが行う想定である。本研究開発では、その責任分界点を損なうことなく、すべての飛行危険性を周知する研究を実施した。

##### (B) 飛行禁止エリア自動生成機能

2017年～2019年度の開発において、異なる UASSP 間での情報共有手段として、異なる UASSP に所属する機体が接近した場合、近傍機体情報を配布し、接近状態を知らせるとともに、回避に必要となる情報を周知する手段を実装した。さらに機体同士が接近する場合は、警報を通知することで、危険状態が迫っていることを通知する手段を実装した。

しかし、情報を危険が迫っている UASSP 及び機体に通知するのみでなく、より広く無人航空機運航事業者に周知することにより、より安全性の高い危機回避が可能になると考える。このため、危険状態を周知するために有効的な手段として、警報発生機体をより可視化することを目的に、機体近傍での飛行禁止エリア自動生成機能の実装を行い、有用性を判断した。

##### (C) 発生した警報、飛行禁止エリアに基づくリアクション検証

現在、発生した警報に対して、機体及び運用者がとるべきリアクションはルールとして規定されていない。このため、危険に遭遇すると想定される時間から、何秒間の猶予をもって発報することが適切か、また発報の際の機体及び運用者がとるべきリアクションをシミュレーション/実証を通して検証するとともに、機体ベンダーに対するヒアリングも実施した。



(2) 研究を通じた成果

(A) 警報機能の追加開発

以下の監視機能を開発した。

a) 飛行禁止/注意エリア侵入監視

無人航空機が飛行禁止/注意エリアに接近、侵入した場合に警報を発報する。下図の赤の円が飛行禁止エリアを、黄色の円が飛行注意エリアを表す。



図 2. 2. 1. 10-37 飛行禁止エリア侵入警報  
(出典 : openstreetmap.org)



図 2. 2. 1. 10-38 飛行禁止エリア侵入警報 (注意エリアの場合は低重要度の警報)  
(出典 : openstreetmap.org)

b) 飛行計画逸脱監視

無人航空機が飛行計画の境界に接近、逸脱した場合に警報を発報する。また逸脱時には飛行禁止エリアを生成する。下図の赤の円が飛行禁止エリアを表す。

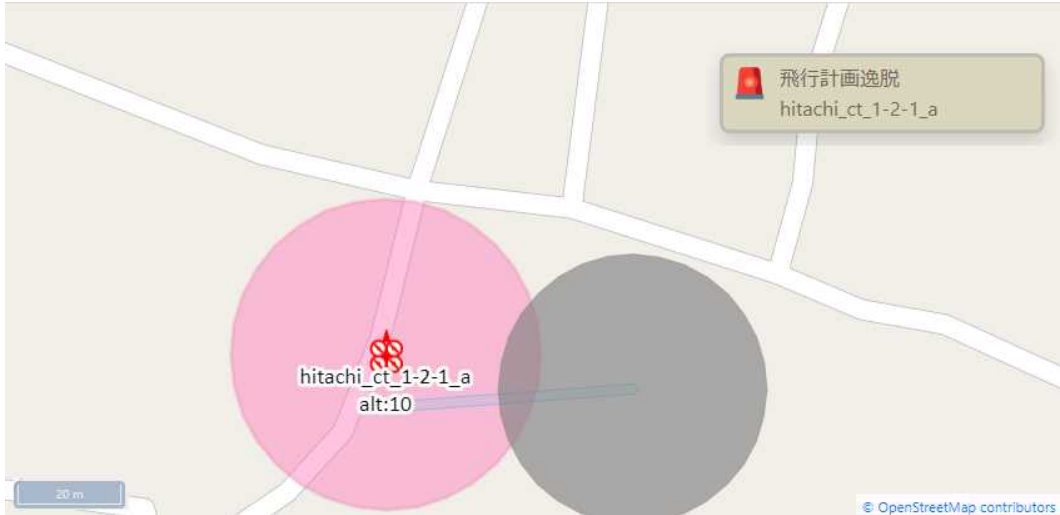


図 2. 2. 1. 10-39 飛行計画逸脱警報と飛行禁止エリア生成  
(出典 : openstreetmap.org)

c) 機体故障監視

無人航空機から機体故障を受信した場合に飛行禁止エリアを生成する。下図の赤の円が飛行禁止エリアを表す。

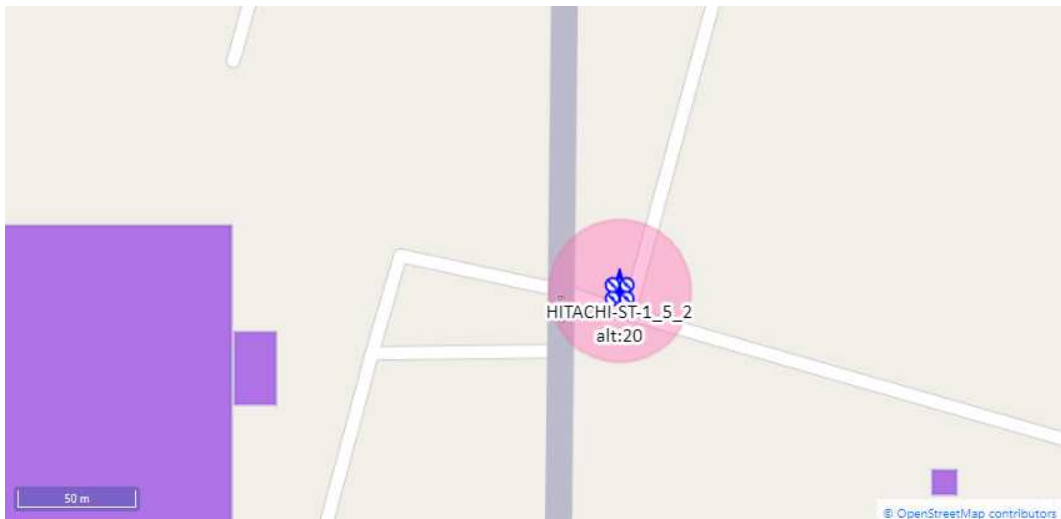


図 2. 2. 1. 10-40 機体故障による飛行禁止エリア生成  
(出典 : openstreetmap.org)

d) 無許可飛行監視

運航管理統合機能に登録されていない飛行計画 ID を受信した場合に警報を発報し、さらに飛行禁止エリアを生成する。下図の赤の円が飛行禁止エリアを表す。



図 2. 2. 1. 10-41 無許可飛行による飛行禁止エリア生成  
(出典 : openstreetmap.org)

e) 地表接近監視

無人航空機が地表に接近した場合に警報を発報する。



図 2. 2. 1. 10-42 地表接近警報  
(出典 : openstreetmap.org)

f) 無人機間コンフリクト監視

無人航空機同士が接近した場合に警報を発報する。

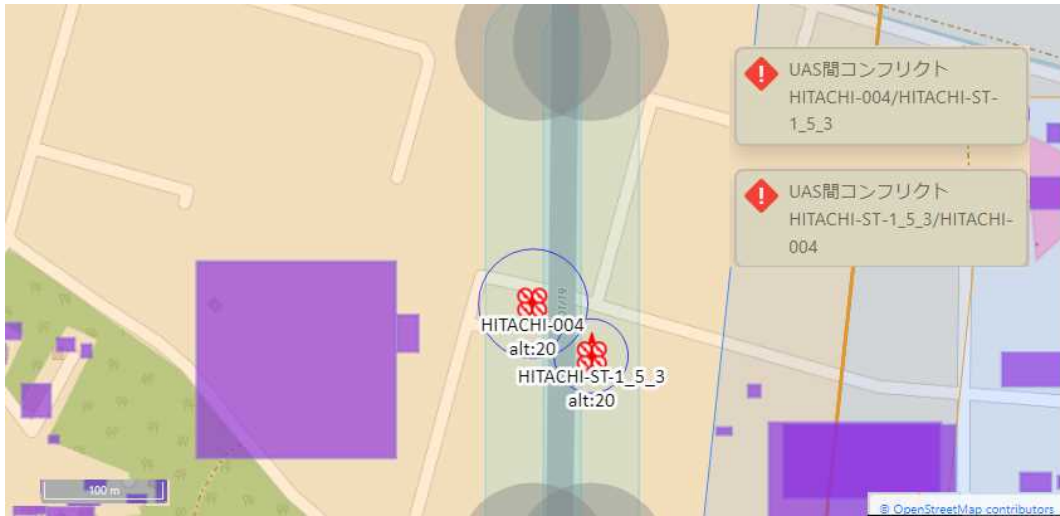


図 2. 2. 1. 10-43 無人機 (UAS) 間コンフリクト警報  
(出典 : openstreetmap.org)

g) 気象監視

無人航空機が降雨、強風エリアに接近、侵入した場合に警報を発報する。下図の青色の四角形が降雨エリアを、黄色の四角形が強風エリアを表す。

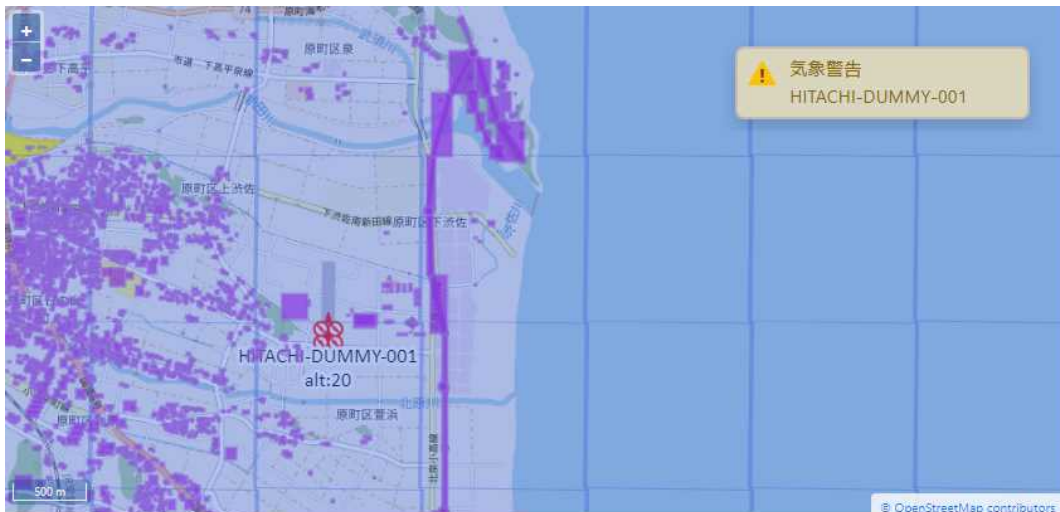


図 2. 2. 1. 10-44 気象警報 (降雨)  
(出典 : openstreetmap.org)

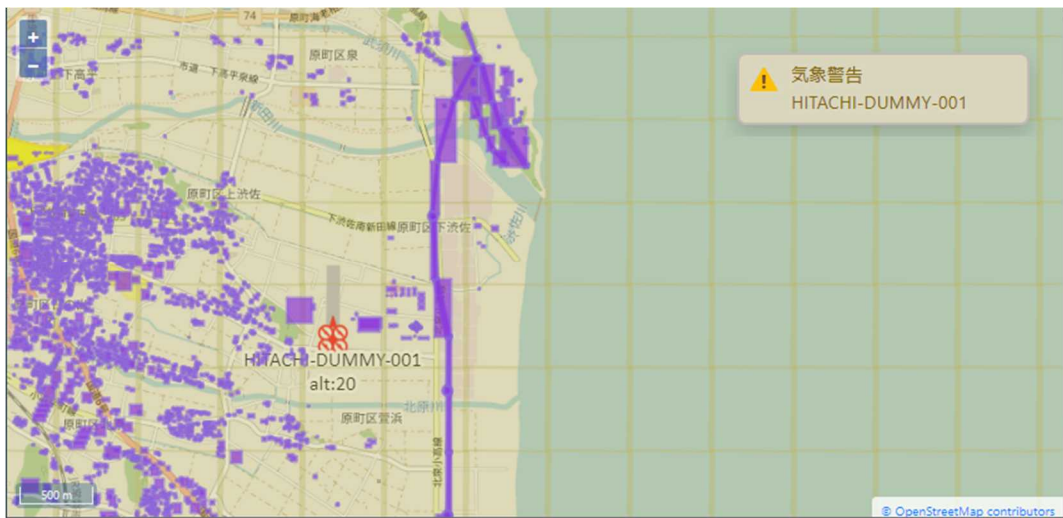


図 2. 2. 1. 10-45 気象警報（強風）  
（出典：openstreetmap.org）

h) 制限高度超過監視

無人航空機が対地高度 150[m]以上の空域に接近、侵入した場合に警報を発報する。

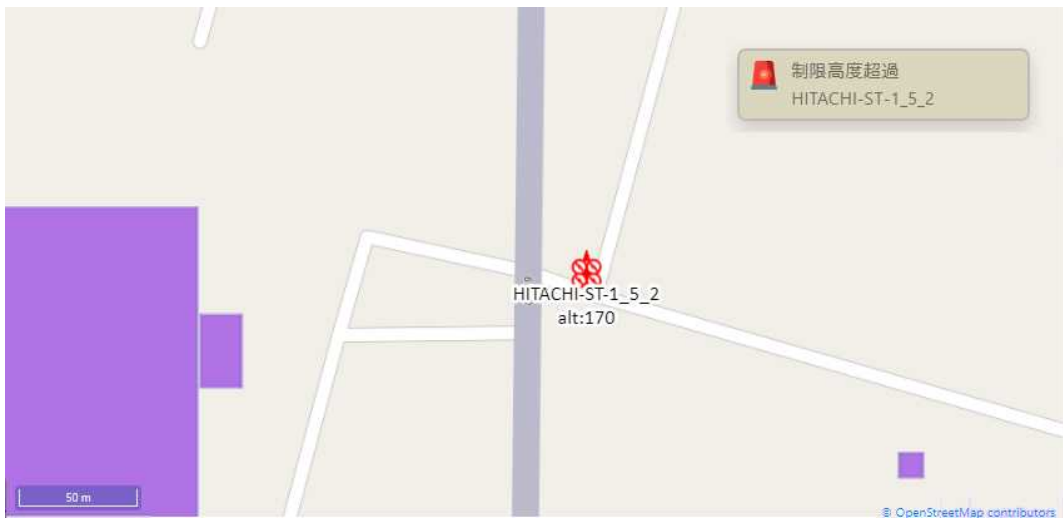


図 2. 2. 1. 10-46 制限高度超過警報  
（出典：openstreetmap.org）

i) 地表障害物接近監視

無人航空機が地表障害物に接近、侵入した場合に警報を発報する。下図の紫色の四角形が地表障害物を表す。

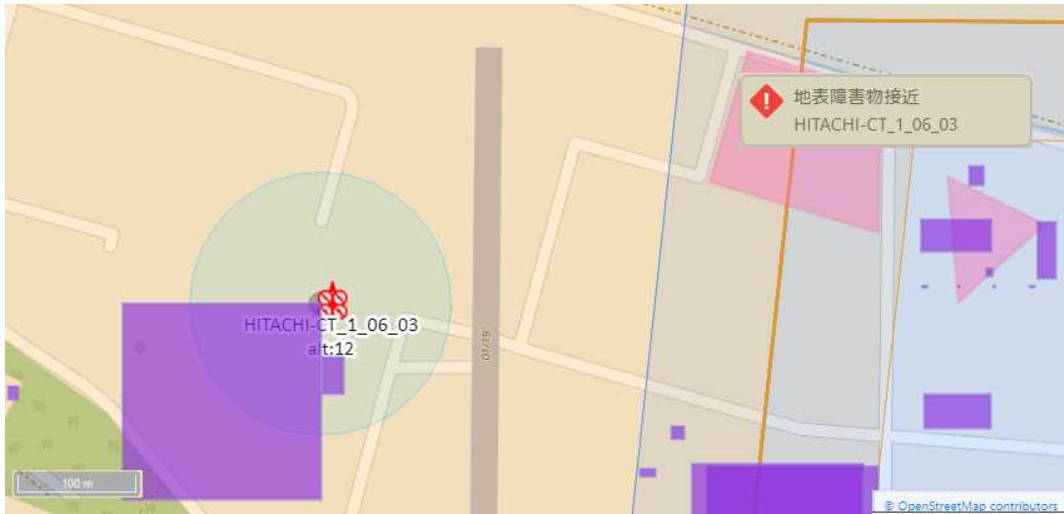


図 2. 2. 1. 10-47 地表障害物接近警報  
(出典 : openstreetmap.org)

j) 有人機間コンフリクト監視

無人航空機が有人機に接近、接触した場合に警報を発報する。

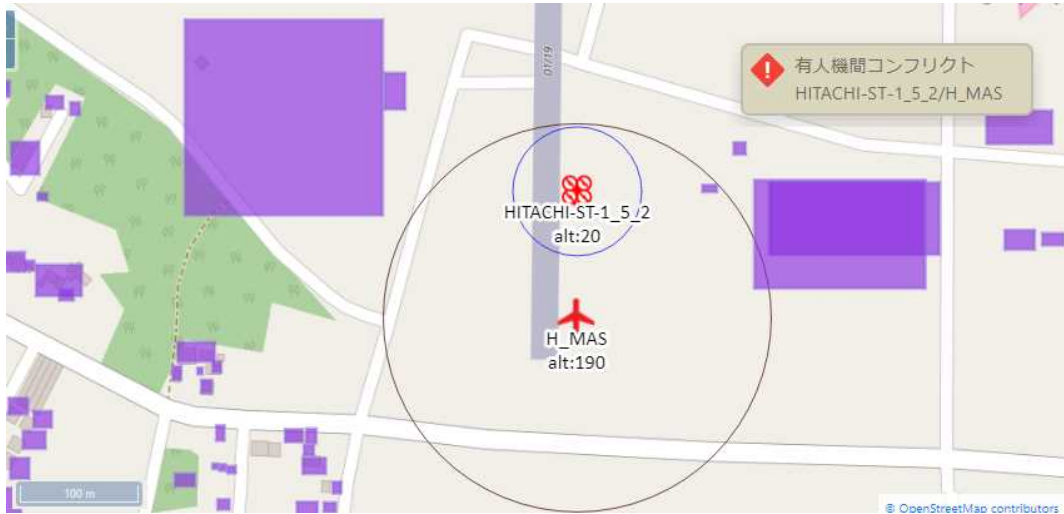


図 2. 2. 1. 10-48 有人機間コンフリクト警報  
(出典 : openstreetmap.org)

(B) 飛行禁止エリア自動生成機能

警報以外に警戒を促す手段として、飛行禁止エリアを自動生成する機能を実装した。

次の場合に飛行禁止エリアを生成する。

(ア) 飛行計画逸脱監視機能にて、飛行計画から逸脱を検知

(イ) 機体故障監視機能にて、機体故障を検知

(ウ) 無許可飛行監視機能にて、運航管理統合機能に登録されていない飛行計画 ID を検知

生成する飛行禁止エリアの形状は円柱で、円の中心は検知時の機体の位置、半径は無人航空機の数値[m/秒]×20[秒]、高さは海拔高度 0~300[m]、生存期間は 10 秒とした。下図の赤の円が飛行禁止エリアである。

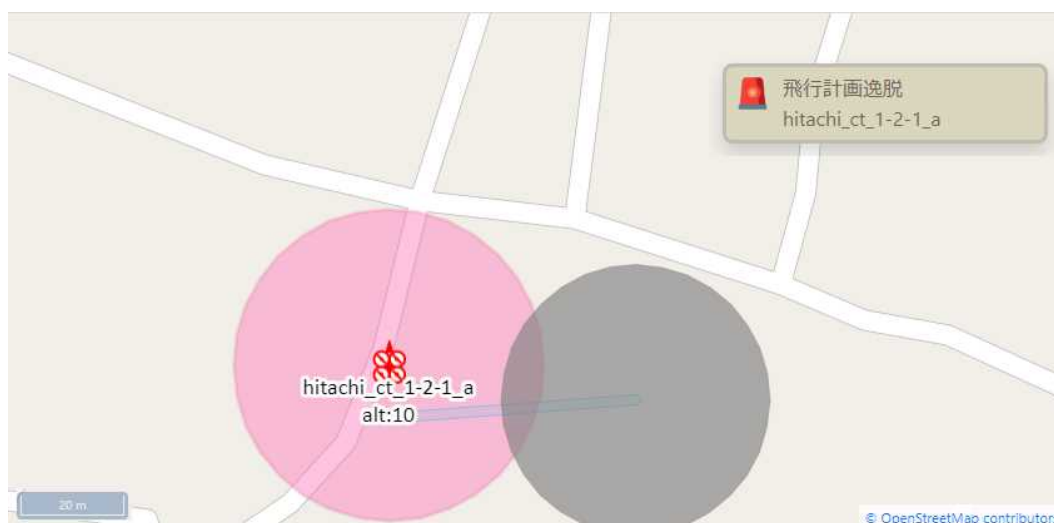


図 2.2.1.10-49 自動生成した飛行禁止エリア  
(出典 : openstreetmap.org)

これまでの警報では飛行計画逸脱など緊急性のある事象でも、その無人航空機が所属している UASSP にのみ通知を行い、事象発生側への対処を促す目的であった。

これに対して、自動生成した飛行禁止エリアは、すべての UASSP に周知できるとともに、何らかの故障が発生しリアクションが取れない状況になっている機体を保護することもできるため、有効に機能した。



(C) 発生した警報、飛行禁止エリアに基づくリアクション検証

これまでは警報の種類を網羅性を高めてきた。今回の研究では新たな軸として、「リアクションを行う運用者」に着目した。これはリアクションを行う運用者が、システムである場合/人である場合によって余裕時間が異なるためである。

警報、飛行禁止エリアを認識した際の無人航空機のリアクションを実証試験にて検証した。

(ア) 自動生成された飛行禁止エリア

2機の無人航空機のうち、1機は警報と飛行禁止エリアを生成する警戒事象発生側、もう1機は飛行禁止エリア侵入する正常側とし、それぞれリアクションを検証した。

表 2.2.1.10-7 自動生成された飛行禁止エリア発生時のリアクション検証(例)

No	飛行禁止エリアを生成する警戒事象	リアクション	
		警戒事象発生側：警報発報時の動作	正常側：飛行禁止エリア侵入時の動作
1	飛行計画逸脱	そのまま飛行	回避
2	飛行計画逸脱	ホバリング	回避
3	飛行計画逸脱	ホバリング	ホバリング
4	飛行計画逸脱	離陸地点に帰還	ホバリング
5	機体故障	着陸	回避
6	機体故障	着陸	ホバリング
7	無許可飛行	そのまま飛行	回避
8	無許可飛行	そのまま飛行	着陸

(イ) 地表接近警報

無人航空機の降下時垂直速度と地表衝突までの余裕時間（地表接近警報の発報タイミング）を変えることで、地表接近警報を認識してからリアクションまでに必要な時間を検証した。

表 2.2.1.10-8 地表接近警報時のリアクション検証(例)

No	垂直速度 [m/s]	余裕時間 [s]
1	1	10
2	1	20
3	1	30
4	2	30
5	2	40

(ウ) 無人航空機間コンフリクト警報

2機の無人航空機（機体 A, B）を接近させ、衝突までの余裕時間（無人航空機間コンフリクト警報の発報タイミング）やリアクションを変えることで、無人航空機間コンフリクト警報を認識してからリアクションまでに必要な時間やリアクションを検証した。

表 2. 2. 1. 10-9 無人航空機間コンフリクト警報時のリアクション検証(例)

No	余裕時間[s]	リアクション	
		機体 A	機体 B
1	10	離陸地点に戻る	ホバリング
2	10	着陸	ホバリング
3	10	そのまま飛行	着陸
4	20	着陸	ホバリング
5	20	着陸	着陸
6	40	そのまま飛行	そのまま飛行
7	40	ホバリング	そのまま飛行
8	60	そのまま飛行	そのまま飛行

(エ) 気象警報

無人航空機が降雨、強風エリアに侵入した場合のリアクションを変えることで、気象警報を認識時のリアクションを検証した。

表 2. 2. 1. 10-10 気象警報時のリアクション検証(例)

No	気象警報の原因	リアクション
1	降雨エリア侵入	離陸地点に戻る
2	強風エリア侵入	ホバリング
3	強風エリア侵入	着陸

リアクションとして着陸、離陸地点に戻る、ホバリング、そのまま飛行、回避の妥当性を、実証を通して検証した。また、機体ベンダーへのヒアリングも実施し、評価を行った。

評価の結果として、

「警報の原因となる機体が着陸」が基本リアクションとなった。落下の危険性がある機体は、直ちに安全な場所に着陸させ、墜落リスクを下げる事が重要と判明した。

また、警報発報には、移動速度に関わらず、リアクションを開始するための一定の猶予時間を確保することが重要である事が判明した。リアクションを行う運用者がシステム(自動)である場合、人間が業務フローに則って実施する場合で異なるが、最低でも30~40秒は必要であるとのことが、実証での主観的評価及びヒアリング結果から明らかになった。ただし、システムの応答時間(機体の近接検知→機体が回避措置を実施するまで)が十分早ければ、余裕時間を縮められる可能性がある。

ただし着陸時は、着陸地点の安全性が確実に確保されている必要がある。安全性とは、

- ・無人航空機の着陸に必要な十分な広さが確保されていること
- ・人の立ち入り等、人命に関わるような不安材料が無いことが保証されていること

と定義できる。問題事象発生機体の近隣に安全性が保証された着陸場所がない場合は、「離陸地点に戻る」が最も妥当である。離陸地点は、既に安全性が確認されている場所であり、現時点で離着陸地点に選定した場所以外に安全性が確保された着陸地点が存在しないためである。

- (3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応
- (A) 安全性が確保された離着陸ポイントの整備  
警報発生時のリアクションとして、「着陸」させることが重要であるが、現時点では「離陸ポイント」以外の安全性が保証されているかは不明である。事前に定めた着陸ポイントが、飛行後に安全に着陸できる状態である保証がないためである。  
このため、無人航空機が飛行するために、安全性が保証された
- ・ 離陸ポイント
  - ・ 着陸ポイント
  - ・ 途中経路で緊急的に着陸できるポイント
- が必要である。
- (B) 運用主体に応じた警報の余裕時間の変更機能の検討と実装  
リアクションを行う運用主体によって余裕時間を分ける必要がある。これを飛行計画単位で行うには、飛行計画にリアクションを行う運用者の追加と動態管理システムの修正が必要になる。UASSP 単位もしくは動態管理システム単位で行うには、動態管理システムの修正が必要になる。
- (C) 飛行禁止エリア作成時間の短縮  
飛行禁止エリア作成 REST API を実行してから、MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) にて飛行禁止エリアデータを受信するまでに、現実装では 30 秒以上を要するため、その分の誤差が生じる。そのため、より実行から受信まで時間が短縮されることが望まれる。  
短縮が難しい場合は、実行から受信までの時間と飛行禁止エリアの大きさをどのように決定するかが課題となる。
- (D) 気象警報の細分化  
風速と降雨で同じ気象警報を出しているが、警報検出時、運用者がリアクションをそれぞれ選べるように、降雨警報と風速警報に分割する必要がある。

#### 5.1.4. 「有人航空機動態管理機能の開発」(実施者：株式会社ウェザーニューズ)

##### (1) 実施事項

無人航空機の社会実装後は、航空機使用事業者などが所有する有人航空機と空域を共有するケースが多くなると予想される。その際、機体同士の接近による衝突のリスクがあり、無人航空機運航者と有人航空機運航者間で同一空域において双方の動態情報を把握し、回避行動を取るための対策が必要となる。また、近年の自然災害において被害状況の確認、行方不明者の捜索などで無人航空機が活用されている。今後は、人命救助や大規模避難所への物資輸送は、有人航空機が引き続き担いつつ、無人航空機と有人航空機の連携による災害時オペレーションが増加すると思われる。

以上の経緯を背景に、運航管理統合機能の空域情報管理機能へ有人機動態情報をインタフェースする有人航空機動態情報管理の開発を実施し、本テーマの研究開発項目および目標を定めた。

##### (A) 空域情報管理機能と有人航空機動態情報連携の研究

ウェザーニューズが航空機使用事業者や官公庁などのヘリ運航者(2021年12月時点400機弱)に展開している(図2.2.1.10-50 有人航空機動態情報端末(FOSTER-CoPilot))から取得したデータを管理する有人航空機動態情報を運航管理統合機能の空域情報管理機能へ最適なインタフェース形式で連携する仕組みについて研究を実施した。



図 2.2.1.10-50 有人航空機動態情報端末 (FOSTER-CoPilot)

##### (B) 有人航空機動態シミュレータに関する研究

無人航空機と有人航空機のコンフリクト時の衝突回避オペレーションや無人航空機と有人航空機共同オペレーションや実証実験を実施する場合、有人航空機運航などで多大なコストが掛かるとともに、実際の衝突回避行動において危険なケースが生じるリスクがある。

以上の経緯を背景に有人航空機動態情報をシミュレーションデータとして、空域情報管理機能へ連携することにより、有人航空機運航のコスト削減と危険な状況を現実ではなく仮想的に実現するための研究を実施した。

## 研究を通じた成果

### (A) 空域情報管理機能と有人航空機動態情報連携の研究

図 2.2.1.10-51 有人航空機動態情報連携イメージ図に示すように運航管理統合機能の空域情報管理の一部である有人航空機情報連携機能へ有人航空機動態情報を連携する研究を実施した。

今回の研究により、無人航空機運航者と有人航空機運航者間での情報共有協定に基づく無人航空機運航者側での有人航空機の識別、有人航空機運航者側での無人航空機が可能となった。また、ウェザーニュース以外の有人航空機動態情報を取り込むインターフェースも整備し、D-NET などの保有する消防・防災ヘリなどの動態情報を有人航空機動態情報として統合し、空域情報管理機能へ連携することが可能となり、災害時等の有事において、特定空域内の無人航空機と消防・防災ヘリ、ドクターヘリ、民間機等を問わず、有人航空機の動態情報を一元的に管理することが可能となった。

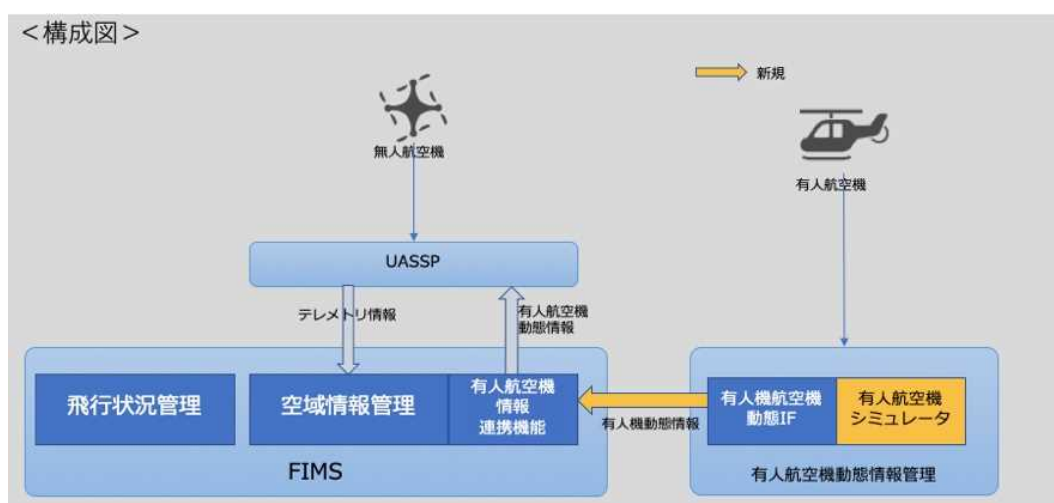


図 2.2.1.10-51 有人航空機動態情報連携イメージ図

空域情報管理機能と有人航空機動態情報連携の仕様を以下に示す。

a) インターネット接続前提

インターネットを介した接続であることを前提とする。

b) 認証機能

ウェザーニュースの発行する FIMS コンソ認証キーにより認証処理を行う。

c) 通信方式は、Restful API を採用する。有人航空機動態情報 API の個別仕様は以下(表 2.2.1.10-11 有人航空機動態情報 API 個別仕様)に示す。

表 2.2.1.10-11 有人航空機動態情報 API 個別仕様

対象 API	機能名	機能説明
共通	認証機能	すべての API は、FIMS コンソの API 認証キー (URL の get パラメータ) による認証を行う。
有人航空機一覧	有人航空機一覧	運航管理統合機能で参照可能な有人航空機機体情報を連携する。 ・ 出力データ項目 FOSTER-CoPilot 番号 ウェザーニュース表示機番 ※機体識別番号
有人航空機動態情報 (ALL)	有人航空機動態情報 (全機体)	運航管理統合機能で参照可能な有人航空機動態情報を全機体分連携する。 ・ データ項目 緯度 経度 高度 速度 方角 ウェザーニュース表示機番 ※機体識別番号 時刻 (YYYY-MM-DD hh:mm:ss) ・ データ形式 : JSON ・ 更新間隔 : 1 分 ・ データ保持時間 最後に連携されてから 10 分経過後にデータ連携終了。
有人航空機動態情報 (個別機体)	有人航空機動態情報 (個別機体)	運航管理統合機能で参照可能な有人航空機動態情報のうち、特定の 1 機について、過去 60 分からの航跡データを連携する。 ・ データ項目 観測時間 観測時間に紐づく緯度 観測時間に紐づく経度 観測時間に紐づく高度 観測時間に紐づく速度 観測時間に紐づく方角 ウェザーニュース表示機番 ※機体識別番号 時刻 (YYYY-MM-DD hh:mm:ss) ・ データ形式 : JSON ・ 更新間隔 : 1 分 ・ データ取得単位 過去の時間 (分) [1~60] を指定する。 ・ データ保持時間 最後に連携されてから 10 分経過後にデータ連携終了。



(B) 有人航空機動態シミュレータに関する研究

有人航空機動態情報シミュレーションデータを空域情報管理機能へ連携するための研究を実施した。

今回の研究では、有人航空機動態情報シミュレーション登録機能、シミュレーションデータ生成バッチ、および、外部動態連携バッチを開発した。本シミュレータデータは、2020 年度に実施された「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト/無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発/地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」において、岐阜(岐阜県)、洲本(兵庫県)、五島(長崎県)、志摩(三重県)、稚内(北海道)の実証においても活用され、とくに、岐阜・五島においては、有人航空機動態情報(実機)と並行でシミュレーションデータを活用し、各地の実証シナリオに即した連携を実現することができた。

空域情報管理機能と有人航空機動態シミュレーション機能の仕様を以下(表 2.2.1.10-12 有人航空機動態情報シミュレーション機能個別仕様)に示す。

表 2.2.1.10-12 有人航空機動態情報シミュレーション機能個別仕様

対象機能	機能名	機能説明
共通	認証機能	すべての API は、FIMS コンソの API 認証キー (URL の get パラメータ) による認証を行う。
有人航空機動態シミュレーション登録	飛行計画データ登録	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ データ項目</li> <li>シナリオ ID</li> <li>機体番号</li> <li>時刻 (UTC)</li> <li>出発地点</li> <li>WayRoot (中間地点)</li> <li>到着地点</li> <li>高度</li> <li>速度</li> <li>方角</li> <li>・ 特記事項</li> <li>同時に連携する機体数については制限がない。</li> <li>・ データ形式 : KML 形式</li> </ul>
有人航空機動態シミュレーション情報 API	有人航空機動態情報データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ データ項目</li> <li>緯度</li> <li>経度</li> <li>高度</li> <li>速度</li> <li>方角</li> <li>ウェザーニュース表示機番</li> <li>※機体識別番号</li> <li>時刻</li> <li>・ データ形式 : JSON</li> <li>・ 更新間隔 : 1分</li> </ul>

有人航空機動態情報API から連携された有人航空機情報は、FIMS タブレットから、以下、図 2.2.1.10-52 FIMS タブレット上で表示された有人航空機動態情報のとおり表示される。

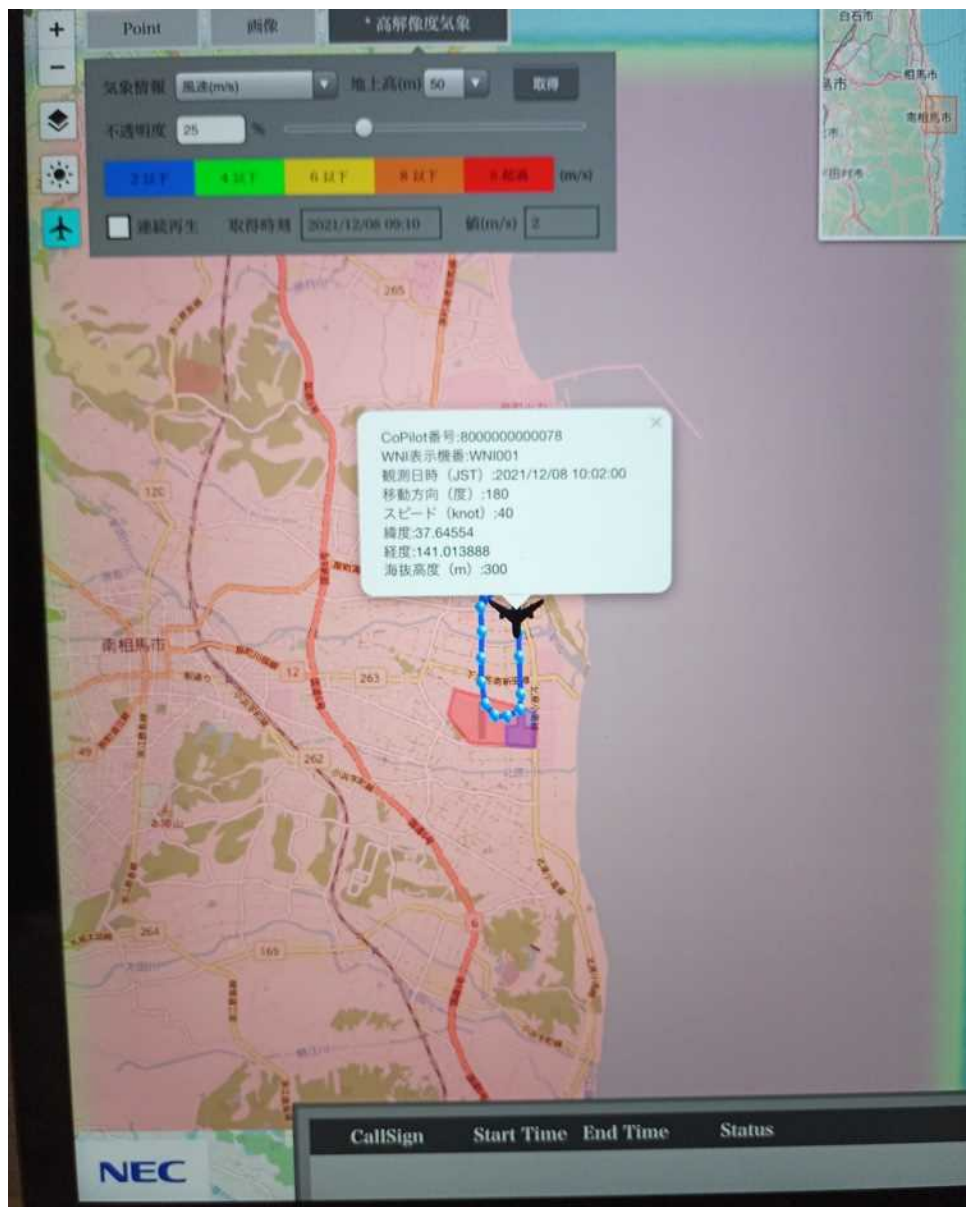


図 2.2.1.10-52 FIMS タブレット上で表示された有人航空機動態情報



図 2. 2. 1. 10-53 有人航空機動態シミュレーション登録機能

有人航空機動態シミュレーションデータ生成処理の仕様を以下(表 2. 2. 1. 10-13 有人航空機動態シミュレーションデータ生成処理仕様)に示す。

表 2. 2. 1. 10-13 有人航空機動態シミュレーションデータ生成処理仕様

機能名	機能説明
シミュレーションデータ生成バッチ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実行間隔 1分毎</li> <li>・ 生成条件 サーバ時間(UTC)とシミュレーションデータテーブルに登録されたレコードの日付を参照し、YYYYMMDDhhmmが一致したレコードをAPI連携対象として有人航空機動態情報テーブルに登録する。</li> </ul>
外部の有人航空機動態情報取込バッチ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 外部の有人航空機動態情報を取り込み可能とするバッチ</li> <li>・ 実行間隔 データドリブン</li> <li>・ 生成条件 外部よりデータ連携された際に有人航空機動態情報テーブルに登録する。</li> </ul>

(2) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 空域情報管理機能と有人航空機動態情報連携の研究

ウェザーニューズの保有する有人航空機動態情報、および、外部機関の保有する有人航空機動態情報を統合し、運航管理統合機能に連携することが可能となり、空域管理機能では、有人航空機の動態情報の参照が可能となった。本研究により、日本国内における低空域の有人無人航空機の動態情報を統制管理する道筋ができたといえる。2022年6月より開始される国土交通省のドローン所有者の登録義務化、および Remote-ID 等無人航空機の動態情報を管理する仕組みが構築されれば、より精緻な空域管理が可能になる。また、運航管理統合機能の持つ「接近状態の回避機能と事故発生時の運用機能」では、無人航空機同士だけではなく、無人航空機と有人航空機の近接アラートが可能になる。

有人航空機の動態情報は、FOSTER-CoPilot 以外にも ADS-B など複数の方式が存在するため、方式の異なる動態情報を統合的に参照するためのインターフェースが必要になると思われる。

(B) 有人航空機動態シミュレータに関する研究

本研究において、有人航空機動態シミュレーション登録と有人航空機動態シミュレーションデータ連携 API を空域間機能と連携することができた。本連携の実現により、2020年度に実施された「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト/無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発/地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」でも多くの実証実験プロジェクトに提供が可能となり、実証実験シナリオにおいても、有人航空機接近時のダイバート運用、有人航空機と無人航空機を連携したオペレーションシナリオなど、これまであまり見られなかった有人航空機を意識した実証実験が可能となった。

2021年12月時点において、有人航空機動態シミュレーション登録機能は、各実証実験コンソからの設定依頼という形でウェザーニューズでの設定が必要であった。今後も各地の実証実験が実施されることが予想されるため、有人航空機動態シミュレーション登録機能を実証実験実施者自身で設定し、FIMS タブレットや各社の UTM などから有人航空機動態情報を参照できるようになれば、より柔軟な実証実験や運航オペレーション構築が可能になる。

## 5.2. 研究開発項目②「サーバ障害発生時の対応に関する開発」

### 5.2.1. 「障害発生時の飛行計画管理機能に関する開発」(実施者：日本電気株式会社)

#### (1) 実施事項

##### (A) FIMS 障害時における UASSP/UASO に対する FIMS 運用状況の通知手段の研究

UASSP/UASO が飛行計画申請を行う段階、または飛行中において FIMS の運用状況をリアルタイムで把握する手段を講じることで、障害発生時における UASSP/UASO の運用負担低減が見込めるよう研究を行った。障害時における運用の取り決め及び FIMS の運用状況の情報通知手段として以下の項目について研究し、研究内容に対し検証システムを用い研究の妥当性を評価した。

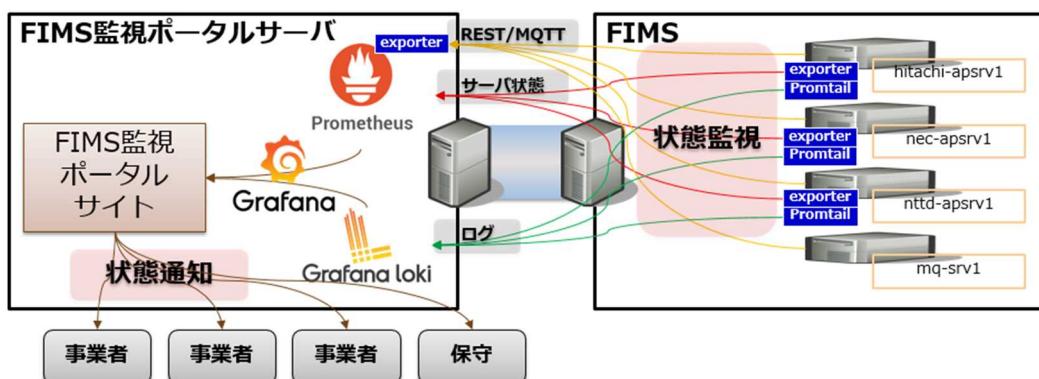


図 2.2.1. 10-54 監視ポータルサイトシステム構成図

##### (B) FIMS 運用状況を常時監視し表示するポータルサイトに関する研究

FIMS のシステム全体及び個別機能に対してのリアルタイムの運用状況を監視・表示するポータルサイトを作成することで UASSP/UASO に対して最新のシステム運用状態を提示させる機能及び妥当性について研究を行った。ポータルサイトに関しては下記の機能について研究・実装することにより、詳細な運用状態提示に関する妥当性の研究を行った。

###### a) システム全体の運用状況表示機能

現時点における FIMS 全体の運用状況を監視・表示させるための手法及び実装手段に関する研究を実施した。

###### b) 機能単位における運用状況表示機能

a) で示した FIMS 全体の運用状況を機能別に細分化することにより、実態に即した状況を UASSP/UASO に対して提示できるような手法及び実装手段に関して研究を実施した。

###### c) システム管理者向けの FIMS 稼働状況表示機能

UASSP/UASO 向けではないシステム管理者に向けた情報（システムの内部的な稼働状況等）を監視・表示させることで障害発生時における状況把握を、より容易かつ迅速に行うための手法及び実装手段に関して研究を実施した。

###### d) ユーザ別の情報開示範囲の管理機能

ポータルサイトにアクセスするユーザの属性（UASSP/UASO、システム管理者等）に応じて開示する情報の範囲を制御することにより、ユーザに応じた最適な情報開示を行えるよう研究を実施した。

###### e) ポータルサイトの UI 機能

a)～d)までの各要素を踏まえた上で、FIMSの運用状況把握に最適なUIについての研究を実施した。

(C) 飛行計画分散技術の研究と連携した障害発生時の対応に関する研究

後述する飛行計画分散技術の研究と連携し、FIMSが分散化されている前提において、(A)で研究を行ったポータルサイトにてそれぞれのFIMSの運用状況を監視・表示するための研究を実施し、将来的に分散化台数が増大した場合も考慮し拡張性についても研究を実施した。合わせて分散PF自体の運用状況も把握できるように監視を行うための手法及び実装方法についての研究を実施した。

(D) 障害発生時におけるUASSP/UASOに対する飛行計画管理の運用に関する研究

FIMSに何らかの障害が発生している状況において、飛行計画管理機能がUASSP/UASOが行う飛行計画申請に対してどのように振る舞うべきかの研究を実施した。

(E) FIMSの障害情報のUASSP/UASOに対する直接通知の研究

FIMSに何らかの障害を検知した際に(A)にて研究を行ったポータルサイトに依らずダイレクトにUASSP/UASOに対する通知するための手段について研究を実施した。



(2) 研究を通じた成果

(A) FIMS 障害時における UASSP/UASO に対する FIMS 運用状況の通知手段の研究

FIMS 運用状況の通知手段として図 2. 2. 1. 10-55 および図 2. 2. 1. 10-56 に示す FIMS の運用状況ポータルサイトを作成し、FIMS 障害発生時に UASSP/UASO の運用に求められる要件の整理を行い、障害発生時における監視・表示手法に関する研究を行った。



図 2. 2. 1. 10-55 FIMS 運用状況監視ポータルサイト (TOP ページ)



図 2. 2. 1. 10-56 FIMS 運用状況監視ポータルサイト (システム管理者向けページ)

(B) FIMS 運用状況を常時監視し表示するポータルサイトに関する研究

a) システム全体の運用状況表示機能

FIMS運用状況

稼働中

図 2.2.1.10-57 FIMS 運用状況

サーバの起動状態および各機能の稼働状態を要約した「FIMS 運用状況」という項目を用意し、一見して全体的な運用状況が把握できるようにした。

本項目が「稼働中」であればすべての機能が問題ないことを示し、「障害中」であれば何らかの機能で問題があることを示す。「障害中」の場合には、詳細な項目を確認することで問題を把握できる。このように段階的な表示項目とすることで必要以上の監視作業が発生しないよう設計した。

b) 機能単位における運用状況表示機能



図 2.2.1.10-58 機能単位における運用状況

a)に記載の項目が「障害中」の場合には具体的にどの機能で問題があるか判断できるように機能単位の運用状況表示機能を実装した。

主に Prometheus を利用して様々な条件を複合的に、かつ周期的に監視できるように実装した。

- ・ REST API を利用した機能（飛行計画情報、空域問い合わせ情報など）  
各機能に対して HTTP のダミーリクエストを送信して監視するように実装した。機能ごとに、エラー回数や応答時間の閾値を設定することで、より現実的な機能ごとの監視方法を実装した。
- ・ MQTT を利用した機能（有人機動態情報、近傍機体情報など）  
当該機能については、MQTT ブローカーの監視のみでは機能の稼働状況が判断できないと検討し、ブローカーの監視と併せて各機能のプロセス状況やログに出力される詳細情報を分析し、より現実的な機能ごとの監視方法を実装した。

c) システム管理者向けの FIMS 稼働状況表示機能



図 2. 2. 1. 10-59 システム管理者向けの FIMS 稼働状況

システム管理者向けには Prometheus の活用に加え、障害の発生要因をグラフィカルに認識できるように、リソース情報表示の為「Grafana」およびログ情報の表示の為「Grafana Loki」を採用した。

CPU/メモリ/ストレージ/ネットワークといったリソースをグラフにて迅速に状況把握できるように実装した。

d) ユーザ別の情報開示範囲の管理機能

近年の WEB アプリケーションで採用実績の多い Django フレームワークを利用することで、ユーザ管理およびアクセスコントロールを実装した。

それによって、認証機能の設計にコストを割かずビジネスロジック（監視機能など）の設計・実装に注力できた。

e) ポータルサイトの UI 機能

各表示項目に「段階（要約した項目、機能ごとの項目、ユーザごとの項目など）」を持たせることで、必要以上の監視作業が発生しないように、また適切な担当者が適切な項目を確認できるように設計を行った。

他システムでも採用実績の多いオープンソースのフレームワークを採用することで、実装コストの最適化のみならず、親和性が高く直感的な UI デザインとなるように（Bootstrap フレームワークによって）実装した。

(C) 飛行計画分散技術の研究と連携した障害発生時の対応に関する研究



図 2. 2. 1. 10-60 分散化運用状況

分散機能の監視においても、問題発生の有無を要約した項目「分散化運用状況」を用意することで、一見した監視が行えるように実装した。

分散化運用状況が「障害中」表示の場合には各機能の監視項目を確認することで、具体的な問題個所を把握できるように実装することで、前記した「FIMS 運用状況」と同様の「段階的」な UI でユーザビリティを考慮した設計を行った。

また、Prometheus により監視項目をコンフィギュレーション化することで、プログラムのソースコードではなく設定の変更により分散化台数の増大に対応でき、拡張性の容易さを考慮した。これによる別の恩恵として、例えば実証実験などで判明した問題のフィードバックを迅速に対応することができ、プログラム変更によるソースコードコンパイルや実行モジュールのデプロイといった煩雑な作業からも解放され、運用面にも寄与した。

非常に利便性の高い機能が様々あるが、それらがオープンソースのアプリケーション (Prometheus、Grafana) によって実現することを研究の成果として得ることができた。



図 2. 2. 1. 10-61 監視ポータルサイトのレイアウト

画面レイアウトにおいても、Bootstrap フレームワークによって分散化台数の増加によるレイアウト変更が容易となった。

具体的にはフレームワークによって、画面項目の増加によるレイアウト変更を自動で調整し、レイアウト崩れの問題が解消された。

本研究のように構成が変更しうるシステムにこそオープンソースで実績のあるフレームワークを活用することが有意義であることが認識できた。

(D) 障害発生時における UASSP/UASO に対する飛行計画管理の運用に関する研究

障害発生時および運用に関する連絡事項をユーザへ通知する機能として、「お知らせ」という掲示板機能を実装した。

障害が発生した場合には、ユーザから運用管理者への連絡が多くなる（障害の具体的状況や調査の進捗状況、復旧めどなどを確認したい為）。それにより、障害の調査作業などと併せて運用管理者の作業負荷が高まってしまう場合がある。「お知らせ」機能により障害発生状況の 1 次情報をユーザへ共有することによって、運用管理者への直接的な連絡回数が減る。

「お知らせ」機能があることで、運用管理者の作業負荷低減が見込めるとと思われる。

お知らせ

現在、飛行計画管理にて障害が発生しております。  
・原因：HTTP通信が高負荷の為、一部つながりづらくなっている  
対策として、アプリケーションプロセスの設定を見直しています。

お急ぎの方は管理者までお問い合わせください。

保存

図 2. 2. 1. 10. 62 お知らせ機能

(E) FIMS の障害情報の UASSP/UASO に対する直接通知の研究

ポータルサイトはアクセスすることで監視ができるため、能動的な監視作業が必要となる。そのため、直接通知によって即座に障害情報を把握できるように検討を行った。

ポータルサイトで活用している Prometheus に加え、「Alertmanager」を組み合わせることで Webhook やメールなどで障害発生および復旧を直接通知する仕組みを研究した。

Alertmanager と Prometheus の組み合わせにより通知することで、ポータルサイトの監視項目と一貫性があり、通知をトリガーとしてポータルサイトを確認して詳細な障害情報を把握するといったシームレスな運用が可能となることが研究の成果となった。

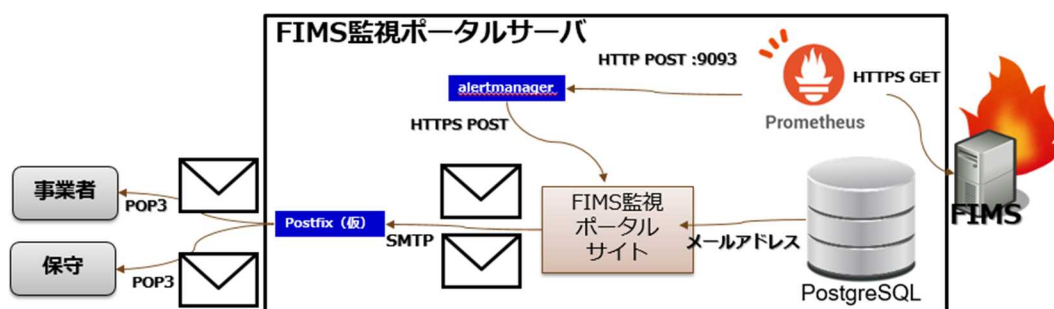


図 2. 2. 1. 10-63 直接通知の構成図

- (3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応
- (A) FIMS 障害時における UASSP/UASO に対する FIMS 運用状況の通知手段の研究  
FIMS 運用状況ポータルサイトに表示する各情報についてポーリング間隔が 1 分間のため、手動更新を行わない限り障害情報の取得に即時性が欠ける。そのため監視ポーリング間隔の見直し、もしくは情報取得手段の見直しが必要である。
- (B) 飛行計画分散技術の研究と連携した障害発生時の対応に関する研究
- a) 長距離飛行を見据えたエリア間をまたぐ飛行計画の分散処理  
飛行計画分散の手法が現状、各分散されたエリア定義に重複部分が必須の状態となっており、障害発生時重複部分を跨ぐ飛行計画については非障害の FIMS エリアにまで影響が及んでしまう。飛行計画の新たな分散手法の検討が必要である。
- b) オープンソースにおけるライセンスの認識  
オープンソースにおけるシステム構築はさまざまな問題と懸念も存在することが分かった。  
オープンソースのソフトウェアにはライセンスが設定されている。  
少なくないオープンソースプロジェクトは比較的自由的な利用が可能なライセンスが適用されている。  
しかしながら、今回は特に Grafana Loki において、そのライセンスに関して課題事項が発生した。  
具体的には分散化やサーバ増加にともなう監視項目の増加によって、ログ収集対象が増加した。その際に、Grafana Loki の潜在的なバグでメモリーリークすることが判明。あるバージョンからそのバグが解消されていることが分かったが、そのバージョンを境にライセンスが変更されていることも判明。  
Apache License（改変が無い前提でサーバに配置した利用で、当該ライセンスが派生しない）から AGPLv3（改変が無い前提でもサーバに配置した利用で、当該ライセンスが派生しうる）に変更となっており、利用について慎重にならざるを得なかった。  
設定とプログラムの工夫で以前のバージョンにおける問題を回避する対策を講じたがこのような問題に直面することも認識できる研究となった。
- (C) 障害発生時における UASSP/UASO に対する飛行計画管理の運用に関する研究  
現状飛行計画管理に関連したシステム障害時は一律飛行計画管理の登録・更新の停止をしているが、障害の状況に応じてより柔軟な対応が必要。  
より詳細な障害ユースケース単位での運用方法の策定。
- (D) FIMS の障害情報の UASSP/UASO に対する直接通知の研究  
現状具体的な UASSP/UASO とのインタフェース等の策定が行われておらず、どのような内容をどのような手法で通知するかの詳細な取り決めが必要。  
FIMS-UASSP/UASO 間の障害情報の通知手法及びインタフェースについて検討。

## 5.2.2. 「障害発生時の空域管理機能に関する開発」(実施者：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)

### (1) 実施事項

#### (A) 障害発生時の運用フローの整理、安全に運航を継続するために必要な機能の検討および実装方式の検討

運航管理統合機能の社会実装に際しては、社会インフラとして高い可用性・耐障害性を有したシステムであることが求められる。その上で、万が一運航中に障害が発生した場合でも運航を継続あるいは安全に中断できるよう、緊急時の運用や業務継続性について十分に考慮されたシステムを構築しなければならない。本研究においては、運航管理統合機能の空域管理機能に障害が発生した場合の業務継続性を考慮した運用フロー・機能・実装方式について、整理・検討した。

#### (B) 必要機能・実装方式の検討結果に基づく機能設計

前項 (A) の検討結果に基づき、FIMS 監視ポータルとのインタフェース設計 (障害検知インタフェース) の機能設計を実施した。

#### (C) 障害発生時の対応機能の実装、実証実験を通じた運用の妥当性および機能の有効性の検証

前項 (B) の設計結果に基づき、障害監視機能を実装した。福島ロボットテストフィールドで運航管理統合機能全体としての実証実験を実施した。実証実験では、運用時に障害が発生した場合を模擬し、運航管理統合機能で障害検知してから運航管理機能/運航者と連携し、運用中の無人航空機が運航停止するまでの検証を行い、運用の妥当性・機能の有効性を確認した。



(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 障害発生時の運用フローの整理、安全に運航を継続するために必要な機能の検討および実装方式の検討

本研究では、当社担当である空域管理機能に障害が発生した場合の業務継続性を考慮した運用フロー・機能・実装方式について、整理・検討した。

まず初めに、障害発生の有無を監視する「監視対象」について検討し、空域管理機能として構築した業務 AP を監視対象とするほか、運航管理統合機能全体としてミドルウェアや OS などとも状態監視をする場合には、監視に資する情報提供が必要と整理した。また、当社で監視対象とする業務 AP については、運航管理統合機能内の機能間の関連を整理し、当社が開発・提供する API のうち、具体的にどの API を監視する必要があるかまで明確化した。

次に、上記で整理した監視対象となる API について、障害発生時の運用フローを整理し、どの API にどのような障害が発生した場合に、運航管理統合機能および運航管理機能でどのように対処すべきかを検討した。検討した結果を以下に示す。なお、運航管理機能への障害通知の仕組みは運航管理統合機能全体で共通的に利用する機能として要件を定め、FIMS 監視ポータルサイトで状態通知する方針とした。

表 2.2.1.10-14 障害発生時の運用フロー

No.	インタフェース名	障害内容	運用影響	運航管理統合機能内での対応	運航管理機能への対応	運用対処（案）
1	飛行計画（仮）情報 飛行計画申請	飛行禁止空域管理機能（空域問い合わせ）から応答がない 飛行禁止空域管理機能（地表障害物問い合わせ）から応答がない 飛行禁止空域管理機能（標高データ問い合わせ）から応答がない	運航管理機能から飛行計画申請ができない。	飛行計画管理機能に「飛行禁止空域の提供」ができないことを通知する 飛行計画管理機能に「地表障害物の提供」ができないことを通知する 飛行計画管理機能に「標高データの提供」ができないことを通知する	飛行計画管理機能から“条件付き承認”として返却する。	運航管理統合機能から運航管理機能に対して“条件付き承認”として返却する。飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）
2	運航状況情報	飛行禁止空域管理機能（空域問い合わせ）から応答がない 飛行禁止空域管理機能（地表障害物問い合わせ）から応答がない 有人航空機管制システム連携機能から応答がない	運航管理機能から運航状況をモニタリングできない、運航管理機能で飛行禁止空域等との接近状態がわからない（アラート通知されない）	接近状態管理機能に「飛行禁止空域の提供」ができないことを通知する 接近状態管理機能に「地表障害物の提供」ができないことを通知する 接近状態管理機能に「有人航空機管制システム情報の提供」ができないことを通知する	接近状態管理機能から空域/地表障害物/有人機情報が無効であることをアラートとして通知する。	空域情報（Rest API）および地表障害物は静的なので運航継続可能。 空域情報（動的に設定されたPub/Subで配信されるもの）および有人機情報はリアルタイムで更新されるので、アラートを発し制限付き運用とする。
3	空域問い合わせ情報	飛行禁止空域管理機能（空域問い合わせ）から応答がない	運航管理機能から空域情報が参照できず、飛行計画への影響が確認できない。	—	飛行禁止空域管理機能から「飛行禁止空域の提供」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せ（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）

No.	インタフェース名	障害内容	運用影響	運航管理統合機能内での対応	運航管理機能への対応	運用対処（案）
4	有人機動態情報	飛行禁止空域管理機能から有人機動態情報が送信されない	運航管理機能で有人機動態情報をモニタリングできない、運航管理機能で有人航空機との接近状態がわからない（アラート通知されない）	—	飛行禁止空域管理機能から「動態情報（有人機）の提供」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。 アラートを発生し制限付き運用とする。
			運航管理統合機能の飛行状況管理で有人機動態情報のモニタリングおよび衝突検知ができない	接近状態管理機能に「動態情報（有人機）の提供」ができないことを通知する	接近状態管理機能から空域/地表障害物/有人機情報が無効であることをアラートとして通知する。	
5	飛行禁止空域情報	飛行禁止空域管理機能から飛行禁止空域情報が送信されない	運航管理機能で飛行禁止空域情報を受信できず、飛行計画への影響が確認できない。	—	飛行禁止空域管理機能から「飛行禁止空域の提供」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）
6	飛行注意空域情報	飛行禁止空域管理機能から飛行注意空域情報が送信されない	運航管理機能で飛行注意空域情報を受信できず、飛行計画への影響が確認できない。	—	飛行禁止空域管理機能から「飛行禁止空域の提供」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）
7	空域編集	飛行禁止空域管理機能から空域情報が送信されない	運航管理統合機能の飛行計画管理機能で、空域侵害および地表障害物干渉チェックが実施できない。	飛行計画管理機能に「飛行禁止空域の提供（画面機能にて編集した空域情報の提供）」ができないことを通知する	—	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）

No.	インタフェース名	障害内容	運用影響	運航管理統合機能内での対応	運航管理機能への対応	運用対処（案）
			運航管理統合機能の飛行状況管理機能で、空域侵害および地表障害物干渉チェックが実施できない。	接近状態管理機能に「飛行禁止空域の提供（画面機能にて編集した空域情報の提供）」ができないことを通知する	—	飛行の判断は運航者に任せる。
			運航管理機能で最新の空域情報が参照できず、飛行計画への影響が確認できない。	—	飛行禁止空域管理機能から「飛行禁止空域の提供（画面機能にて編集した空域情報の提供）」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。
8	空域登録	飛行禁止空域管理機能（空域情報登録）から応答がない	No.1～3, 5～7と同様	接近状態管理機能に「空域情報の登録」ができないことを通知する	—	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）
9	有人航空機動態登録	動態情報（有人機）が登録できない	No.4と同様	接近状態管理機能に「動態情報（有人機）の提供」ができないことを通知する	接近状態管理機能から空域/地表障害物/有人機情報が無効であることをアラートとして通知する。	アラートを発生し制限付き運用とする。
				—	有人航空機動態登録機能・飛行禁止空域管理機能から「動態情報（有人機）の提供」ができないことを通知する	飛行の判断は運航者に任せる。（計画段階であれば飛行の取り止めを推奨）

上記で整理した運用フローに基づき、安全に運航を継続するために必要な機能の検討および実装方式の検討を実施した。機能・実装方式の検討に当たっては、運航管理統合機能全体で共通の方式を採用するよう整合を取りながら進め、FIMS 監視ポータル仕様の仕様についても考慮した。監視対象ごとの監視方式についての検討結果を以下に示す。

表 2.2.1.10-15 監視方式検討結果一覧

項番	サーバ名	監視対象	個別監視方式		
			API 監視方式	ログ監視方式	プロセス監視方式
1	nttd- apsrv1	業務 AP_(内 03/外 8) 空域問い合わせ (RestAPI)	○		
2	nttd- apsrv2	業務 AP_(内 06) 地表障害物問い合わせ (RestAPI)	○		
3		業務 AP_(内 09) 標高データ問い合わせ (RestAPI)	○		
4		業務 AP_(内 22) 有人機ターゲット情報参照要求 (RestAPI)	○		
5		業務 AP_(外 10) 有人機動態情報 (Pub/Sub)		○	
6		業務 AP_(外 11) 飛行禁止空域情報 (Pub/Sub)		○	
7		業務 AP_(外 12) 飛行注意空域情報 (Pub/Sub)		○	
8		業務 AP_(内 28) 空域登録 (RestAPI)	○		
9		業務 AP_(機能 5, 6) 有人航空機動態登録 (FTP)		○	
10		MW_Tomcat			○
11		nttd- dimpsrv1	業務 AP_分散情報管理問い合わせ情報 (RestAPI)	○	

(B) 必要機能・実装方式の検討結果に基づく機能設計

前項 (A) の検討結果に基づき、FIMS 監視ポータルとのインタフェース設計（障害検知インタフェース）の機能設計を実施した結果を以下に示す。

表 2.2.1.10-16 監視プロダクト

項番	プロダクト名	バージョン	機能概要
1	Prometheus	FIMS 監視ポータルに配置するため割愛	メトリクスの収集・保存・管理を行う。
2	Grok exporter	0.2.3	ログをメトリクスに変換する。
3	Blackbox exporter	FIMS 監視ポータルに配置するため割愛	HTTP サービスをモニタリングし、メトリクスを取得する。
4	Process exporter	0.7.5	プロセスをモニタリングし、メトリクスを取得する。
5	Grafana	FIMS 監視ポータルに配置するため割愛	Prometheusサーバからのアラートを取り込み、メール、チャットメッセージ、オンコール呼び出し等の通知に変換する。

表 2.2.1.10-17 プロダクトの配置構成

項番	機器種別	Prometheus	Grok exporter	Blackbox exporter	Process exporter	Grafana
1	FIMS-AP サーバ	-	●	-	●	-
2	FIMS 監視ポータル	●	-	●	-	●
3	FIMS-DIMP サーバ (※)	-	-	-	-	-

(※)FIMS-DIMP サーバの監視については、API 監視方式を採用し、監視に必要となる Blackbox exporter は FIMS 監視ポータルのみに配置するため、プロダクトの配置はなし。

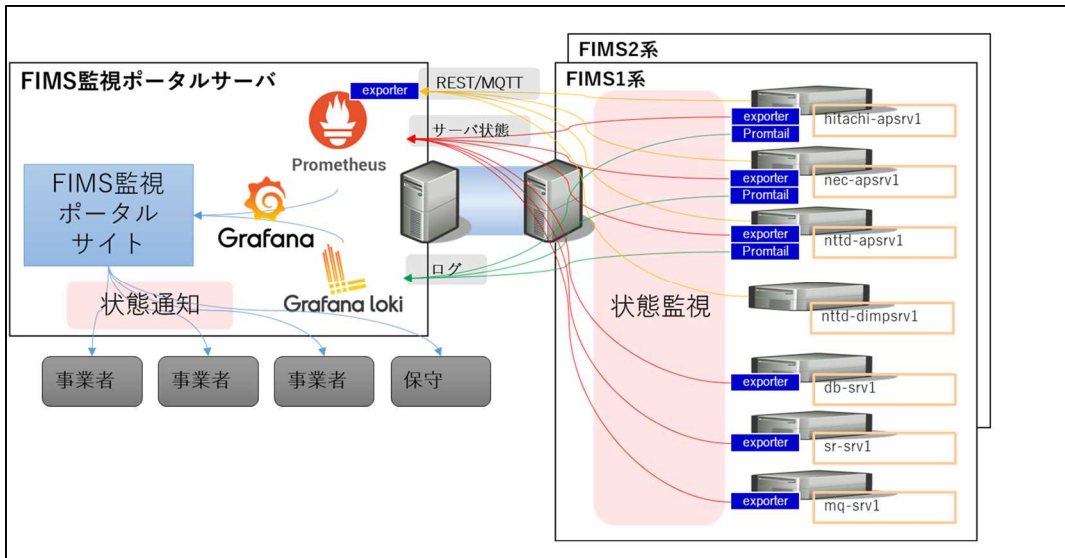


図 2. 2. 1. 10-64 システム監視構成図（全体）

表 2. 2. 1. 10-18 監視項目と実現するプロダクト

No.	監視項目	監視機能	プロダクト	
			Manager	Agent
1	API 監視	API の死活監視	Prometheus	Blackbox exporter
2	ログ監視	AP のエラーログ監視	Prometheus	Grok exporter
3	プロセス監視	Tomcat プロセス監視	Prometheus	Process exporter

また、監視項目（API 監視、ログ監視、プロセス監視）ごとの処理方式および使用ポート、プロトコルについての設計結果を以下に示す。なお、監視項目（監視方式）の対象となる API については、前項（A）の表 2. 2. 1. 10-15 に示すとおりである。



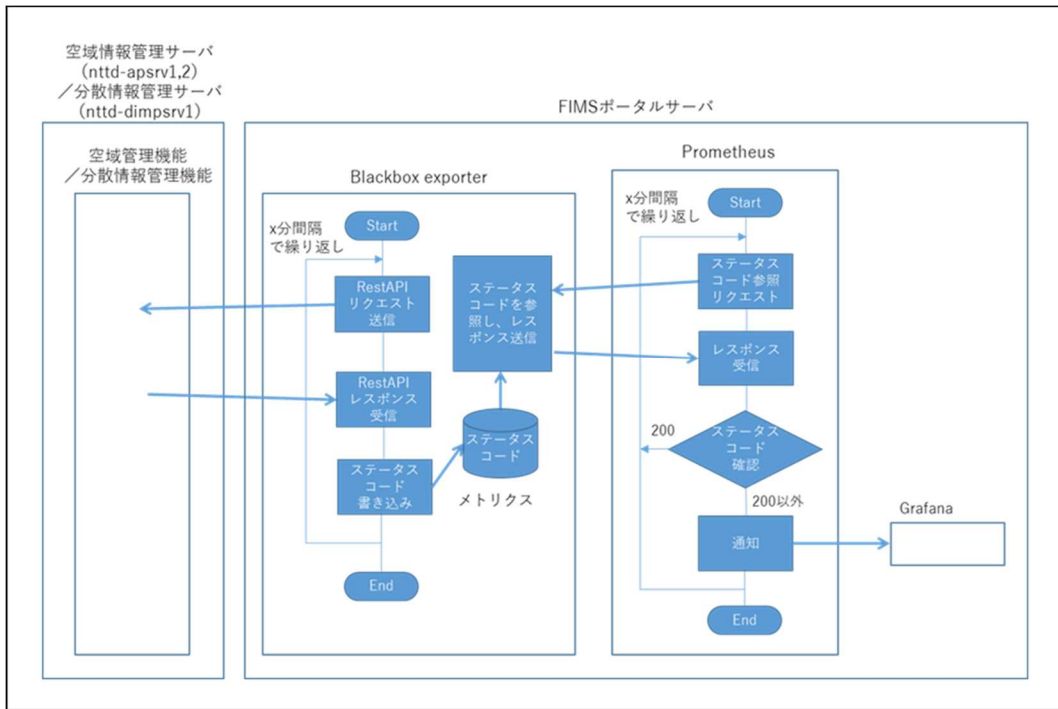


図 2.2.1.10-65 API 監視における処理方式、使用ポート、プロトコル

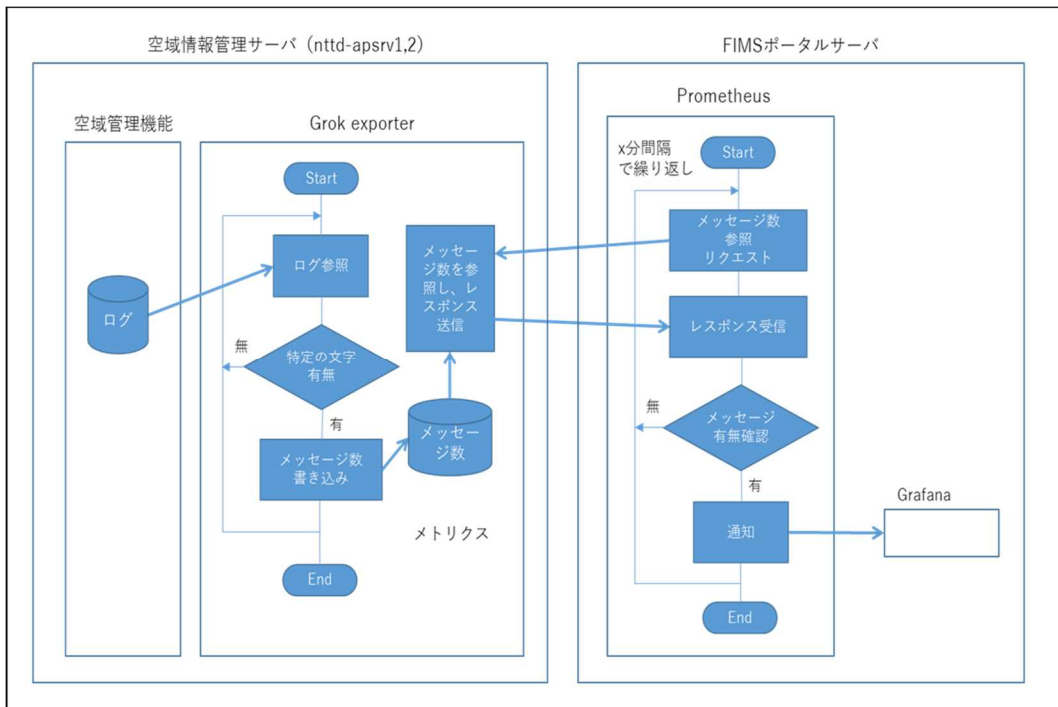


図 2.2.1.10-66 ログ監視における処理方式、使用ポート、プロトコル

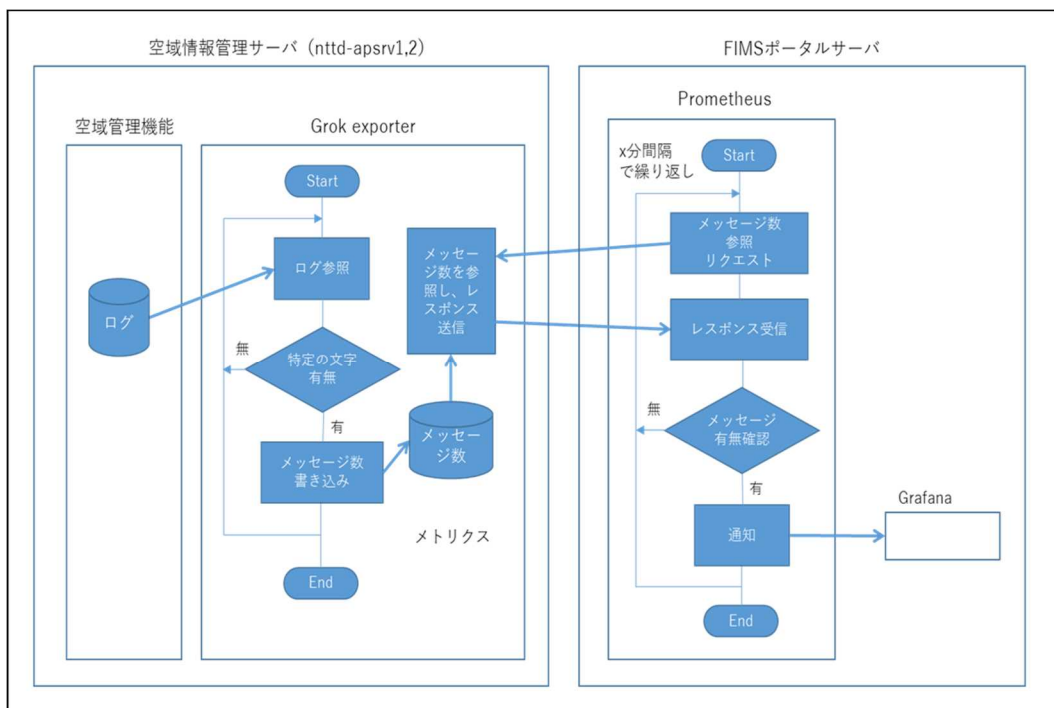


図 2. 2. 1. 10-67 プロセス監視における処理方式、使用ポート、プロトコル

(C) 障害発生時の対応機能の実装、実証実験を通じた運用の妥当性および機能の有効性の検証

前項 (B) の設計結果に基づき、障害監視機能について実装した。単体試験および運航管理統合機能全体として結合試験を実施したのち、福島ロボットテストフィールドで実証実験を実施した。実証実験では、運用時に障害が発生した場合を模擬し、運航管理統合機能で障害検知してから運航管理機能/運航者と連携し、運用中の無人航空機が運航停止するまでの検証を行い、運用の妥当性・機能の有効性を確認した。

空域管理機能で障害が発生・検知すると、FIMS 監視ポータル上で障害状況が以下の図のように可視化される。



図 2. 2. 1. 10-68 空域管理機能で障害が発生した際の FIMS ポータル (例)

実証実験では、FIMS 監視ポータル上での障害発生を確認し、運航者が運航管理機能にて飛行中の無人航空機へ飛行中断を指示し、上空で停止（ホバリング）させた。

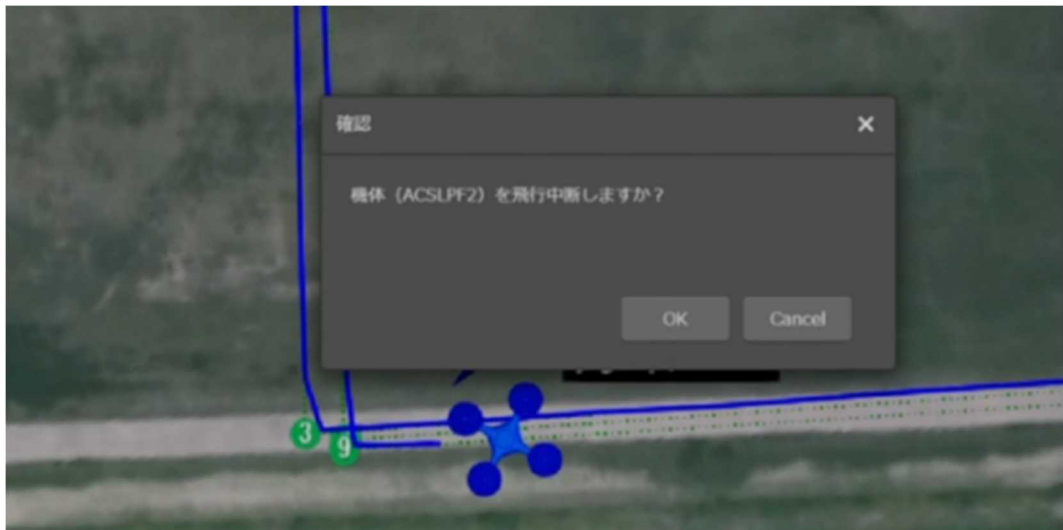


図 2.2.1.10-69 運航管理機能での飛行中断指示  
(出典 : openstreetmap.org)

さらに上空ホバリング中に、周囲の安全確認をおこなった後、運航者が運航管理機能にて緊急リターンの指示を行い、離発着地点まで戻して着陸させた。

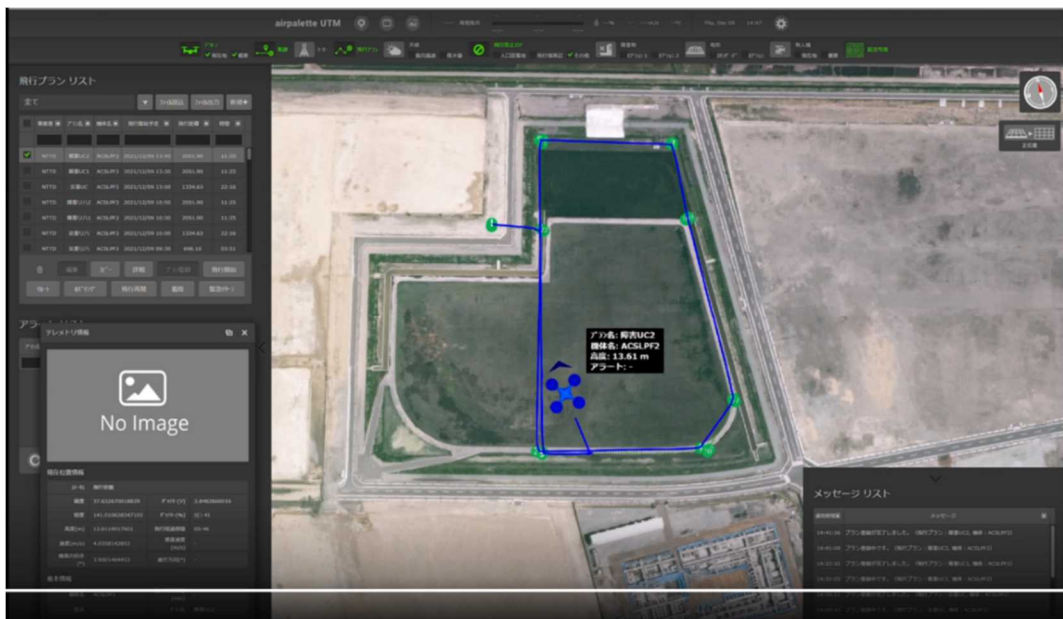


図 2.2.1.10-70 安全確認後、緊急リターンにて無人航空機を戻す場面  
(出典 : openstreetmap.org)

- 今回の実証実験において、FIMS 監視ポータル画面で障害検知してから、運航者が飛行中の無人航空機を停止させるという一連の運用の流れを確認し、運用の妥当性・機能の有効性について確認することができた。
- (3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応  
本研究では、運航管理統合機能の空域管理機能に障害が発生した際にも安全に運航を

完了するために必要な運用および機能の検討を行い、障害監視機能を実装した。また、実証を通して無人航空機の運航中に運航管理統合機能に障害が発生した場合を模擬し、今回検討・構築した機能が、運航管理統合機能の障害発生時にも安全に運航を完了することに資するものであることを確認した。

今後は、より安全な運航を目指すため、障害検知から運航者が必要な対処を打つまでの全体的な時間短縮に向けて検討を深める必要がある。

### 5.2.3. 「障害発生時の飛行状況管理に関する運用機能の開発」(実施者：株式会社日立製作所)

#### (1) 実施事項

##### (A) 外部サービス監視ツールの導入、FIMS 監視ポータル障害検知時の警報通知機能の開発

FIMS 自身の障害監視を実施し、飛行状況管理機能の各機能及び飛行状況管理サーバ自体のサービス全停止の検出を可能とした。

外部監視サーバでの FIMS の動作状況の監視結果を、飛行状況管理機能内の警報機能にて警報化し、UASSP に配布する機能を実装の上で、警報の有効性とリアクションを検討した。

##### (B) 接続装置障害発生時の通知機能の開発

FIMS に接続される、SDSP/UASSP についても、通信途絶、機器自体の障害の発生が想定される。これら障害の検知方法の検討、障害検知時の警報化、警報発生時のリアクションについてそれぞれ実装、検討、検証を実施した。

#### (2) 研究を通じて得られた成果

安全な飛行を担保するためには、飛行計画管理にて調整された飛行計画通りに無人航空機が飛行し、かつ運航管理統合機能のハードウェア・ソフトウェアが正常に動作している必要がある。しかし、飛行中に機器の故障が発生するなどの外部要因により、計画通りの飛行が行われない場合や、運航管理統合機能ですべてを管理できない場合がある。ハードウェアやソフトウェアに障害が発生した場合、UASSP、UASO、UAS に対し、その旨を伝達し安全に運航出来るよう促す必要がある。

弊社では、障害に関するモニタリングを以下の 3 つのテーマに基づき実施した。

##### (A) 外部サービス監視ツールの導入、FIMS 監視ポータル障害検知時の警報通知機能の開発

日本電気株式会社が管理する外部サービス監視ツール (prometheus) についての情報を整理した結果、ツールの監視項目ごとに警報の発生/解消の状態や時刻などの情報を保持しており、それを webhook 形式で連携できることが判明した。



図 2.2.1.10-71 障害発生時の運航管理統合機能の監視ポータル画面

障害発生時の運航管理の観点から運航管理統合機能の監視ポータルにて障害を検知した場合、障害の種別によって弊社 API の機能停止や管理画面の挙動不良、UASSP・他システムへのインタフェースの授受に問題が発生する等の可能性があるため、該当する運航管理機能へ警報や注意報及びそれらに対する対処指示を即座に通知するとともに、必要に応じて、無人航空機の操縦者に対して連絡を取ることが必要となる。

FIMS 監視ポータル障害検知時は弊社 API でそれを検知し警報を発出・通知する機能、FIMS 監視ポータル障害復旧時は障害ステータスを更新する機能の検討・実装を行った。また、妥当性及び課題抽出のための実証試験を行った。実施した内容及び成果について、詳細を以下に示す。

a) FIMS 監視ポータル監視の整理・API 通知までのフロー策定

監視サーバにて利用する障害監視ツールの構成、運航管理統合機能サーバにて用意する弊社 API 構成の整理を行い、通知を行うまでのフローを策定した。以下に障害通知のフローを示す。

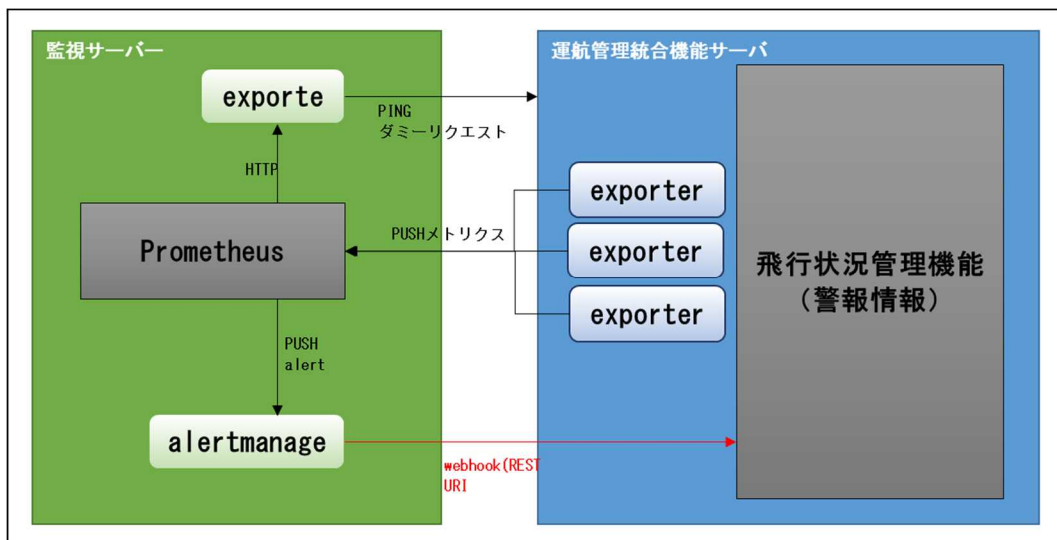


図 2. 2. 1. 10-72 障害通知フロー図

b) API に通知される警報種別の策定

監視サーバにて行う監視のうち、API に通知する警報の整理・選定を行った。以下に通知される警報の一覧を示す。警報は運航管理統合サーバに関連するハードウェア障害、弊社 API に関連するソフトウェア障害の 2 つに区別している。



表 2.2.1.10-19 警報一覧

警報種別	インタフェース名	監視種別
ハードウェア障害	- (リソース状況)	CPU 使用率監視
		ストレージ空き容量監視
		メモリ使用率監視
		ネットワークトラフィック使用量監視
ソフトウェア障害	飛行状況管理	REST API 監視
	近傍機体情報	ログ監視
	警報情報	ログ監視
	接近状態判定	ログ監視
	警報通知	ログ監視
	UASSP 連携	ログ監視

c) 外部サービス監視ツール-運航管理統合機能間インタフェースの整理

外部サービス監視ツールで検知した障害に関する情報を、弊社警報 API にて通知をすることを前提として、外部サービス監視ツール - 飛行状況管理間 API の情報要素を整理した。整理した要素を下記に示す。

<b>固定的な情報</b> 警報ステータス 警報名 警報検知サーバ名 警報種別 警報発出開始日時 警報発出終了日時 ※運航管理統合機能で取り扱う情報のみ抜粋
---

図 2.2.1.10-73 障害通知情報要素

d) 情報有用性の実証

定義した外部サービス監視ツール-運航管理統合機能間インタフェースを実装した運航管理統合機能の監視ポータル部のプロトタイプを構築した。また、福島 RTF にて実証試験を行い、動作検証及びインタフェースで受信したデータの有用性を評価した。





図 2. 2. 1. 10-74 運航管理統合機能で障害発生時の飛行状況管理画面  
 (出典 : openstreetmap.org)



図 2. 2. 1. 10-75 監視サーバ、運航管理統合機能間の構成イメージ  
 (出典 : openstreetmap.org)

e) 運航管理統合機能の障害検知時のリアクション検討

飛行状況管理機能に異常が発生した場合、安全な飛行に支障をきたす可能性がある。福島 RTF での実証試験では、試験的に運航管理統合機能で、飛行状況管理機能の障害を発生させ、飛行している無人航空機に対して各障害が発生した場合の、リアクションとして最適な運用を検証した。

- ① ハードウェア障害発生時のリアクション

表 2.2.1.10-20 ハードウェア障害発生時のリアクションと検証結果

障害発生時のリアクション	検証結果	
そのまま飛行	○	基本的にそのまま飛行で問題なし。リソース枯渇で API に異常が発生した場合は着陸等リアクションを取る必要あり。
回避	×	安全性の観点から、飛行計画から外れる飛行をするリアクションは妥当ではない。
ホバリング	△	安全性の観点でその場を動かない行為は妥当ではあるが、飛行時間が伸びることにより、バッテリー切れ等による墜落リスクが高まるため、最適ではない。
離陸地点に戻る	△	安全性の観点でホームポイントへ戻る行為は妥当だが、飛行計画を外れる経路を飛行する可能性があり、最適ではない。
着陸	△	安全性の観点でその場を動かない行為は妥当ではあるが、着陸に移行する行為がリスクを伴うため、最適ではない。

FIMS 監視ポータルからのハードウェア障害通知を、警報で通知できる状態の場合は、基本的に飛行状況管理機能の全通知機能が動作可能な状態であると判断できるため、そのまま飛行で問題はない。

② ソフトウェア障害発生時のリアクション

表 2.2.1.10-21 ソフトウェア 障害発生時のリアクションと検証結果

障害発生時のリアクション	検証結果	
そのまま飛行	○	(飛行状況管理以外の場合) 飛行状況管理機能に異常がない場合は、致命的な障害ではない事が考えられるため、そのまま飛行を継続して問題なし
回避	×	運航管理統合機能上で無人航空機の動態を捕捉できない可能性があるため、無人航空機を移動させるのはリアクションとして不適
ホバリング	△	安全性の観点でその場を動かない行為は妥当ではあるが、飛行時間が伸びることにより、バッテリー切れ等による墜落リスクが高まるため、最適ではない。
離陸地点に戻る	△	安全性の観点でホームポイントへ戻る行為は妥当だが、無人航空機の移動が伴うため最適ではない。
着陸	○	(飛行状況管理の場合) 着陸後、運航管理統合機能の監視ポータルで警報の解消を確認の上で、飛行を再開する。

飛行状況管理の API が異常である場合、テレメトリ収集/衝突判定/判定結果の正しい配信が行われていない可能性があるため、安全上のリスクが発生しうる。このため、可能であれば着陸が望ましい。

(B) 接続装置障害発生時の通知機能の開発

障害発生時の運航管理の観点から、飛行状況管理機能に接続している各機能が通信途絶した場合、機能によって飛行状況 API にも通知を行い、無人航空機は最適なりアクションをとる必要がある。接続している機能(装置)に関して情報の整理を行い、飛行状況管理機能で通知を行う対象機能について検討を行った。

検討を行った結果、① UASSP が接続時に利用している MQTT、② SDSP (降雨・風速情報提供機能) が接続時に利用している REST API の 2 つを対象とすることにした。

前述の機能(装置)が通信途絶した場合に飛行状況管理機能でそれを検知し警報を発報・他システムに通知する機能を、接続再確立時は障害ステータスを更新する機能の検討・実装を行った。

a) UASSP 障害発生時の通知機能の開発

UASSP が何らかの要因によって MQTT との通信が途絶した場合、該当 UASSP (A) が関連する無人航空機を運航管理統合機能で管理することが出来なくなる。また、UASSP

(A) が管轄する無人航空機の動態情報を、運航管理統合機能上で捕捉できなくなるため、場合によっては、正常に通信が確立している他 UASSP (B) 管轄にて運航中の無人航空機の飛行を安全に行えなくなることが想定される。

また、運航中の無人航空機の安全な運航に問題がある場合(問題が発生する兆候がある場合を含む)には、UASSP (B) に対し、警報や注意報及びそれらに対する対処指示を即座に通知するとともに、必要に応じて、機体の操縦者に対して連絡を取ることが必要となる。

上記要件を念頭に UASSP 障害発生時の通知機能のシステム設計・開発を行い、妥当性及び課題抽出のための実証試験を行った。

(ア) UASSP 障害定義の整理・策定

運航管理統合機能-UASSP 間のテレメトリ等のデータのやり取りは MQTT データ配信プロトコルを仲介して行っている。無人航空機の故障等の要因で UASSP から MQTT への接続が切断された場合に UASSP 障害が発生したと定義する。

以下に運航管理統合機能-UASSP 間の通信断が発生してから運航管理統合機能が切断を検知するまでのフローを示す。

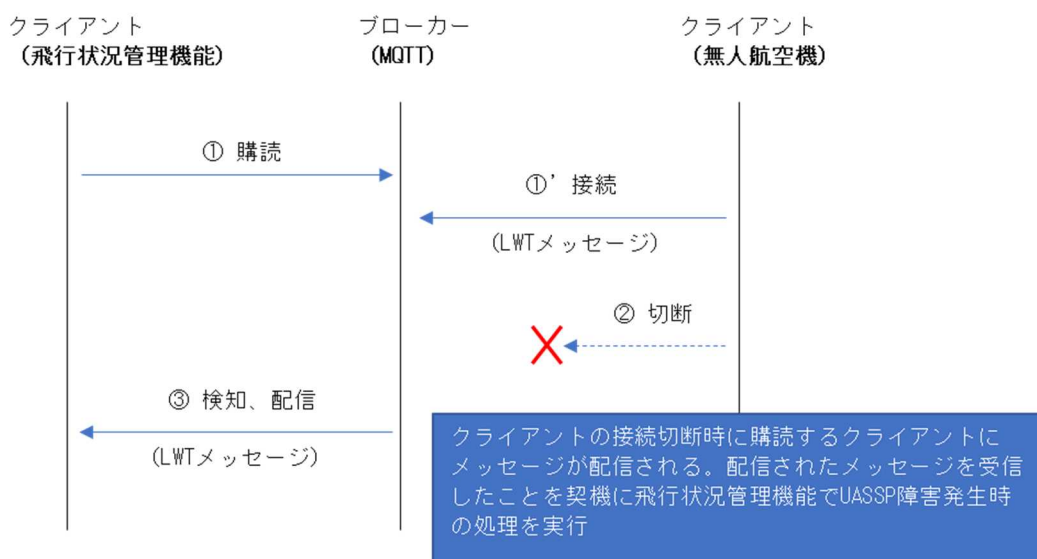


図 2. 2. 1. 10-76 障害通知フロー図

(イ) 情報有用性の実証

UASSP 障害発生時に送信される LWT (Last Will and Testament) メッセージ  
を利用し、UASSP 障害発生を監視する機能を構築した。また、福島 RTF にて実  
証試験を行い、動作検証及び有用性を評価した。



図 2. 2. 1. 10-77 接続装置障害発生時の飛行状況管理画面 (UASSP)  
(出典 : openstreetmap.org)



図 2. 2. 1. 10-78 UASSP 障害発生監視部プロトタイプを用いた実証試験の成果  
(出典 : openstreetmap.org)

(ウ) UASSP 障害発生時のリアクション検討

UASSP 障害が発生した場合、障害が発生している UASSP (A) が管轄する無人航空機をシステム上で捕捉できなくなるため、安全な飛行が出来なくなる。そのため実証試験において UASSP 障害を発生させ、無人航空機に検討したリアクションを指示・実行させることで、どのリアクションが最適か検証を実施した。

表 2.2.1.10-22 UASSP 障害発生時のリアクションと検証結果

障害発生時のリアクション	検証結果	
UASSP (A) 所属機体そのまま飛行	×	飛行状況管理で無人航空機の動態を捕捉できないため、無人航空機を移動させるのはリアクションとして不適
UASSP (B) 側の機体が回避	×	飛行状況管理で無人航空機の動態を捕捉できないため、無人航空機を移動させるのはリアクションとして不適
UASSP (A) 所属機体がホバリング	△	安全性の観点でその場を動かない行為は妥当。着陸ができるのであればより安全
UASSP (A) 所属機体が離陸地点に戻る	△	安全性の観点でホームポイントへ戻る行為は妥当だが、無人航空機の移動が伴うため最適ではない。
UASSP (A) 所属機体が着陸	○	UASSP (A) の障害復帰を確認後、飛行を再開することは妥当

b) SDSP 障害発生時の通知機能の開発

風速／降雨などの情報提供機能からの受信に失敗した際、関連する情報を運航管理統合機能上に表示することが出来なくなるだけでなく、場合によっては運航中の無人航空機の飛行を安全に行えなくなることが想定される。

また、運航中の無人航空機の安全な運航に問題がある場合（問題が発生する兆候がある場合を含む）には、該当する運航管理機能へ警報や注意報及びそれらに対する対処指示を即座に通知するとともに、必要に応じて、機体の操縦者に対して連絡を取ることが必要となる。

上記要件を念頭に SDSP 障害発生時の通知機能のシステム設計・開発を行い、妥当性及び課題抽出のための実証試験を行った。実施した内容及び成果について、詳細を以下に示す。



(ア) SDSP 障害定義の整理・策定

運航管理統合機能-情報提供機能のデータ通信は REST API を用いている。クライアント・サーバいずれかの故障等の要因で情報が取得できなかった場合に SDSP 障害が発生したと定義する。

以下に運航管理統合機能から提供情報の取得失敗、SDSP 障害の検知までのフローを示す。

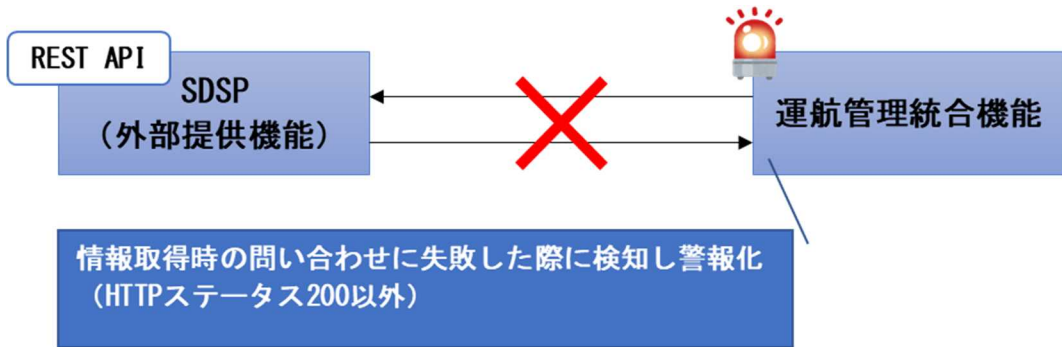


図 2. 2. 1. 10-79 障害通知フロー図

(イ) 情報有用性の実証

運航管理統合機能が SDSP から情報取得に失敗した事象を想定し、SDSP 障害監視部の構築を行った。また、福島 RTF にて実証試験を行い、動作検証及び有用性を評価した。

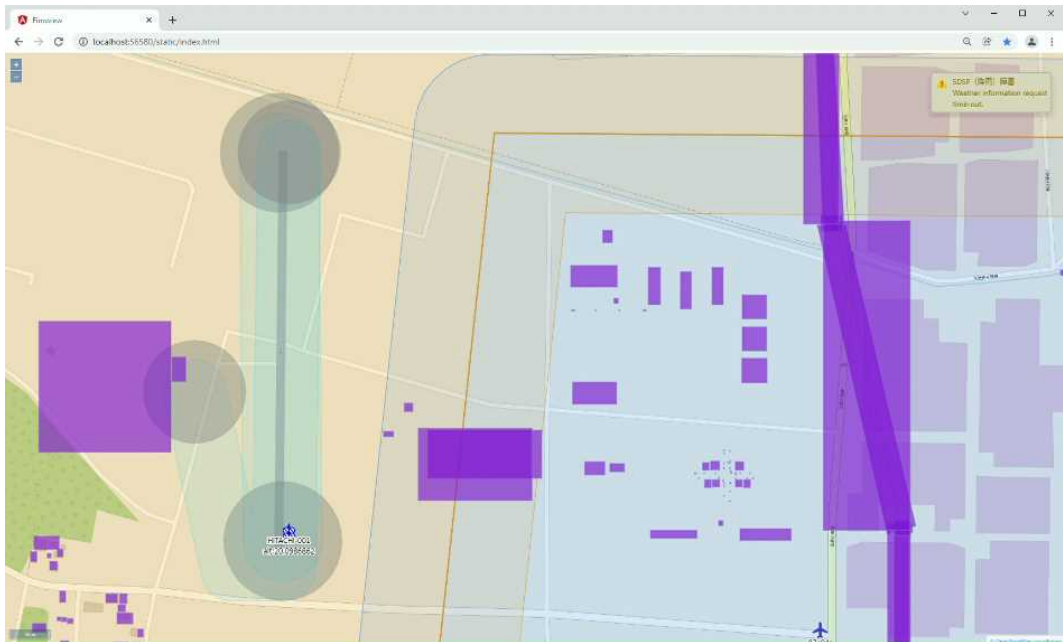


図 2. 2. 1. 10-80 接続装置障害発生時の飛行状況管理画面 (SDSP)  
(出典 : openstreetmap.org)



図 2. 2. 1. 10-81 SDSP 障害監視部プロトタイプを用いた実証試験の成果  
(出典 : openstreetmap.org)

(ウ) SDSP 障害発生時のリアクション検討

情報提供機能から気象情報の取得時に障害が発生した場合、無人航空機周辺の降雨・風速の状況が捕捉できなくなるため、安全な飛行が出来ない可能性がある。そのため実証試験において SDSP 障害を発生させ、無人航空機に検討したリアクションを指示・実行させることで、どのリアクションが最適か検証を実施した。

表 2. 2. 1. 10-23 SDSP 障害発生時のリアクションと検証結果

障害発生時のリアクション	検証結果
そのまま飛行	○ 飛行状況管理に問題はなく、致命的な障害ではないため基本的にはそのまま飛行を継続して問題ない。降雨・風速が規定以上の場合は着陸を行うのが妥当
回避	× 情報提供機能の障害であり飛行には問題ないため、回避は不要。
ホバリング	× 情報提供機能の障害であり飛行には問題ないため、ホバリングは不要。
離陸地点に戻る	× 情報提供機能の障害であり飛行には問題ないため、RTH は不要。
着陸	△ 降雨・風速が規定以上の場合は着陸を行うべき



(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

本項では、検討した①FIMS 監視ポータル障害発生時、②接続装置障害発生時の通知機能の評価ポイントである、連携頻度、警報発生時のリアクションの妥当性について、それぞれ考察を述べる。

(A) 連携頻度 (①のみ)

実証時の状況として、運航管理統合機能の監視ポータルから情報が通知される間隔が 5 分であった。これは運航管理統合機能になんらかの障害が発生してから検知し、警報として通知するまでに 5 分かかることを示している。状況によっては警報を受信してから無人航空機が障害発生時のリアクションを取るまでの間に事故が発生してしまう恐れがあるため、通知間隔を短くする必要がある。

実装面においては、運航管理統合機能の監視ポータルから PUSH 型で 5 分に 1 回連携されるようになっており、通知間隔の変更や、運航管理統合機能のポータルで障害が発生してから即座に警報を連携する等検討が必要になる。

(B) 警報発生時のリアクション (①②共通)

運航管理統合機能の監視ポータルが検知する障害／接続装置障害、いずれの障害が発生した場合に共通するのは、前項で述べた通り「無人航空機の安全な飛行が出来なくなる場合、安全な飛行が出来ることを確認するまで着陸する」というリアクションが妥当である。しかし、無人航空機の真下が海上・不整地などの場合は安全な着陸が出来ないことが考えられるため、緊急着陸場所まで無人航空機を移動させ着陸する必要がある。

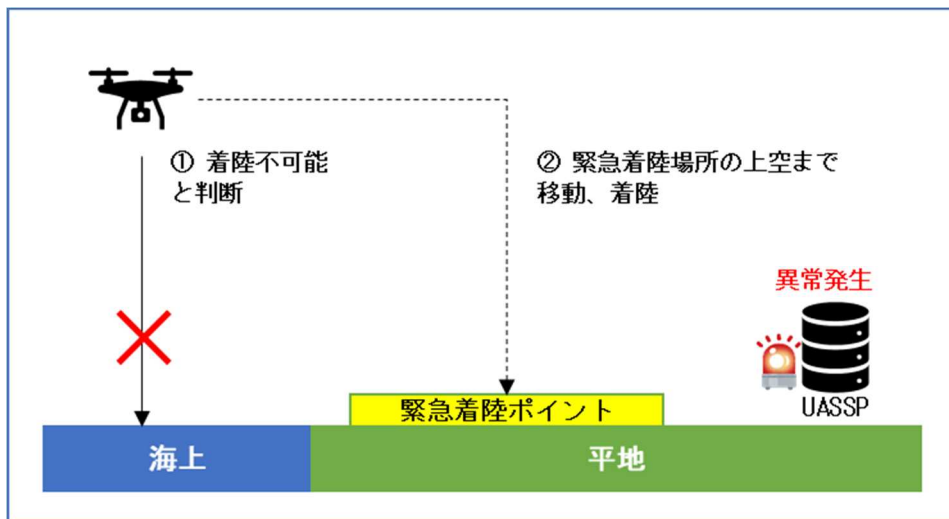


図 2. 2. 1. 10-82 緊急着陸ポイント整備後の障害発生時のリアクションイメージ図

5.2.4. 「サーバ障害発生時の対応に関する開発」（実施者：株式会社ウェザーニューズ）

(1) 実施事項

サーバ障害発生時の対応に関する開発として、サーバプログラム等の死活監視、障害時の復旧方法等に関して無人航空機運用の観点での課題抽出と解決策の検討、機能開発を実施する。また、社会実装時を見越し、障害発生時にはFIMSに対してダウンの通知等を行い、気象情報提供の一時的な縮退運転・代替運用などを整理する。

(A) オンプレミス環境とクラウド環境並列環境構築の研究

気象情報および有人航空機動態情報は、国内のオンプレミスのデータセンターにて管理している。本研究の気象情報について、低空域、高解像、高頻度の気象モデルを生成する必要があるため、オンプレミスのデータセンターにサーバを追加するのではなく、クラウド環境でのシステム構築を実施した。

(B) システム障害発生時のアラーム発報・代替手段についての研究

オンプレミス環境とクラウド環境のいずれかでシステム障害が発生した場合のアラーム発報と障害発生時の代替手段について研究を実施した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) オンプレミス環境とクラウド環境並列環境構築の研究

気象情報および有人航空機動態情報は、図 2.2.1.10-83 気象情報・有人航空機動態情報のシステム構成に示すとおり、オンプレミス環境と AWS のクラウド環境で構築した。データ層において、気象情報をオンプレミスとクラウド環境にて同じデータを冗長的に管理する構成とした。ロジック層について、オンプレミス側では、認証、アクセス制御、データ加工などの処理機能を実装し、気象情報 API 群と有人航空機動態 API を配置した。クラウド側では AWS の認証機能(Cognito)などを活用し、気象 UI を配置した。また、実況解析気象モデル生成など、多くのマシンパワーが必要となる処理機能についてクラウド側に配置した。

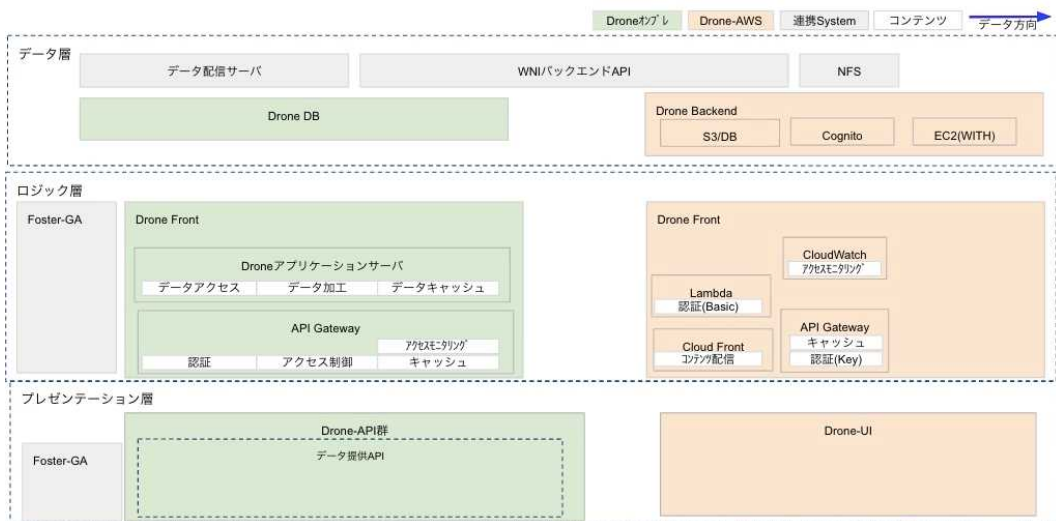


図 2.2.1.10-83 気象情報・有人航空機動態情報のシステム構成

(B) システム障害発生時のアラーム発報・代替手段についての研究

オンプレミス環境とクラウド環境のいずれかでシステム障害が発生した場合、ロジック層にある認証・アクセス制御部分を切り替えることで早期の復旧を可能とする構成とした。また、システム障害発生時やあらかじめ定義した閾値を超過した場合のアラート発報機能の開発を実施した。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) オンプレミス環境とクラウド環境並列環境構築の研究

本研究において、オンプレミス環境にある既存の気象情報資源を活かしつつ、新規気象モデルなどはクラウド環境で構築した。クラウド環境は、AWS サービスを使用しており、PaaS(Platform as a Service)の特徴であるアクセス数やシステムリソースの増減による自動的な構成変更に対応できる仕組みを構築できた。ただし、クラウドサービスの初期費用は少額だが、サービスを利用した分の運用費が掛かる契約形態のため、システム構成において、本来、実施すべきクラウド環境のマルチリージョン化などのBCP対応が出来なかった。今後は、気象情報と有人航空機動態情報の重要性が増し、活用される機会が増えた際にあらためてBCP対応を検討する必要がある。

(B) システム障害発生時のアラーム発報・代替手段についての研究

オンプレミス環境とクラウド環境のいずれかでシステム障害が発生した場合のアラート発報と代替手段の研究を実施した。データ層については、気象情報をオンプレミス環境とクラウド環境の双方で管理する仕組みを構築できたが、ロジック層においては、オンプレミスとクラウド間で機能や実装方式、開発言語が異なるなどデータ層に比べて機能の移行が難しい仕組みとなった。(A)に記載のとおり、クラウド環境のマルチリージョン対応などにより、現在のオンプレミスとクラウドのハイブリッド構成からクラウド環境に一本化することにより、スケールアウトや可用性の担保が容易になると思われる。

5.3. 研究開発項目③「運航管理統合機能の処理分散技術の開発」

5.3.1. 「飛行計画分散技術および分散 PF 高度化の開発」(実施者：日本電気株式会社)

(1) 実施事項

(A) FIMS の東西分散化に関する研究

飛行計画管理機能に焦点をおきつつ FIMS 全体の分散化を行うべく分散手法及び実装手段に関する研究を実施した。実証試験に向けてはまず東西 2 分割による分散案を主として既存の他機能との整合性を維持したまま将来的な分散数の増加にも対応できるように拡張性についても視野に入れた手法となるよう研究を実施した。

(B) 全国のエリア化による飛行計画管理の分散化に向けた研究

(A) で行った研究を基に飛行計画管理において全国を複数のエリアに分割し、エリア単位での飛行計画管理の分散処理を行うための手法及び実装方法についての研究を実施した。

FIMS での実装にあたり実証試験に向けて全国を東西の 2 つのエリアに区分した分散定義を想定し、飛行計画のコンフリクト判定など東西間のインタフェースの検討や必要に応じた飛行計画の共有を行うための手法及び実装方法についての研究を実施した。

(C) 飛行計画管理の分散による各 FIMS の飛行計画管理に関連した性能の研究

(B) で行った研究に基づき飛行計画管理について全国が東西エリアに分散化された状態において、分散化による性能面での耐久性を確認するべく研究を行った。将来的な無人航空機の飛行計画申請数について前年度研究結果に基づいた基数を含んだ測定を行い、現段階での性能の限界値及び将来的な分散数の増加を見込んだ場合の効果に関する研究を実施した。

(D) 交渉・監査機能に関する研究

欧米で標準化が進む分散型 UTM において、Negotiation (交渉) と Audit (監査) が次の標準化対象としてマイルストーンに挙がっている。そこで、これに関する研究開発を先行的に行った。現在の FIMS は飛行申請を受け付け、重複判定を行い、飛行可否を判断するが、ASTM 標準では各 USS (UASSP に相当) が相互に計画を共有し、重複がなければ、飛行拒否判断を行う。この ASTM 標準は 2021 年 11 月に成立し、12 月には EASA による AMC (Acceptance Means of Compliance) & GM (Guideline Material) が出された。すなわち、U-Space のレギュレーションに準拠する一つの方法という扱いがされるようになった。この ASTM の標準化ロードマップにおいて、次バージョンに候補として Negotiation と Audit が含まれている。

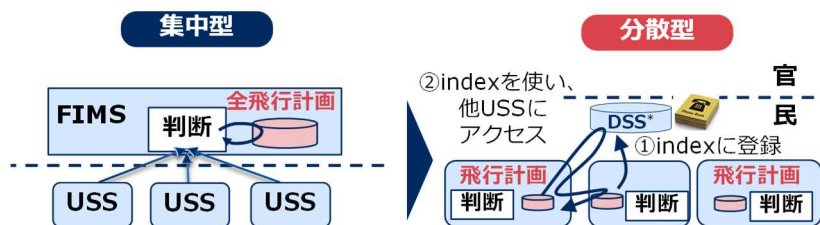


図 2.2.1.10-84 集中型と分散型の違い

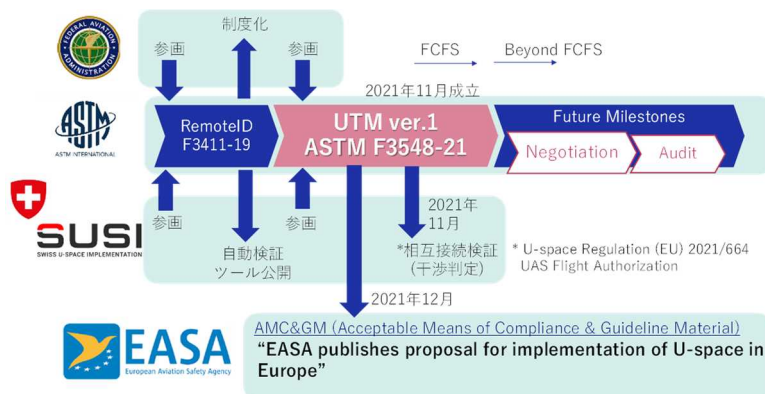


図 2. 2. 1. 10-85 ASTM 標準に対する欧米での政策的判断

a) 交渉プロトコル

交渉がない場合は、FCFS に基づき USS 間の調整がなされる。すなわち、緊急のドローン物流があっても、先に提出された飛行計画が優先される。そこで、計画を調整するプロトコルが必要となる。本研究では、Negotiation プロトコルを設計した。シングルショットの交渉と、より高機能なプロトコルを設計した。シングルショットの交渉とは、相手に空間を譲ってもらえるか否かを問い合わせ、Yes/No のみが返るプロトコルである。一方、高機能なものは、複数回のやり取りがある。

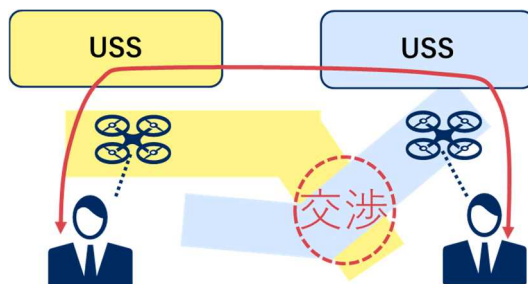


図 2. 2. 1. 10-86 Operator 間による空間の調整

b) 監査

分散型 UTM では、民間の複数の USS 事業者 (UASSP 相当)、Operator が空間を利用しあうため、特定事業者が公平性に欠ける運航、危険な運航をしていないかを、Regulator が管理するため、監査する機能が必要となる。

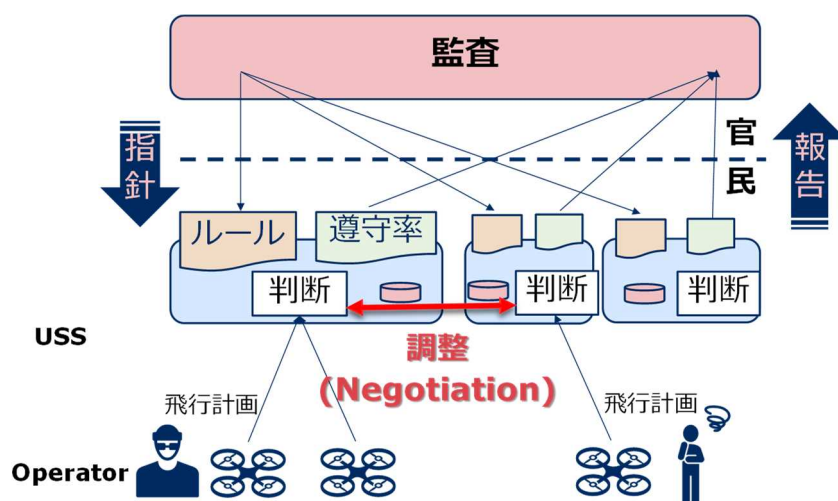


図 2.2.1.10-87 監査の位置づけ

我々は、このシステムを試作し、USS をシミュレータ動作させたものから、2つのメトリックを収集し、監査画面に表示する検証を行った。ここで、メトリックとは監視項目対象の情報であり、標準化によって定まるものである。

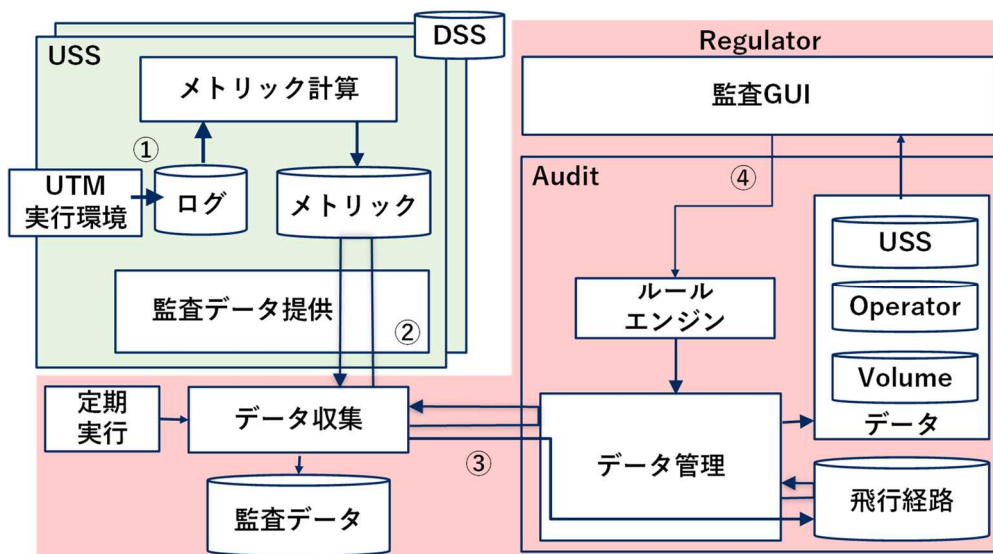


図 2.2.1.10-88 監査のシステム構成

第1のメトリックは、交渉の拒否率とし、Operator 間で調整依頼が発生した場合にも、その調整を断り続けるような Operator を、好ましい挙動をしない Operator として検出するものである。

第2のメトリックは、空間の利用効率である。広い時空間を利用すると予約しつつも、実際に利用する時空間があまりに小さいと、好ましい挙動をしない Operator として検出する



(2) 研究を通じた成果

(A) FIMS の東西分散化に関する研究

分散化に関する技術や海外動向に関する研究結果を基に FIMS のシステム構成を分散化するために、分散装置及び情報共有の仕組みを以下の観点で実現できるように研究を実施した。

- ① FIMS の外部にロードバランサ (LB) を新設し、運航事業者からの飛行計画情報の申請や問い合わせをより低負荷の FIMS にディスパッチする。
- ② FIMS の MQTT サーバを統合し、飛行計画情報の格納先、および飛行計画情報の共有が必要な運航事業者を一元管理する。
- ③ FIMS の内部に分散処理機能を新設し、要求された飛行計画情報を外部の FIMS から取得する。
- ④ 運航事業者に配信する飛行計画情報の絞り込みを可能とするため、MQTT サーバの Pub/Sub トピック定義を拡張する

上記観点を基にした分散化した FIMS の構成図を以下に示す。

※図中①～③は上記観点的①～③に該当

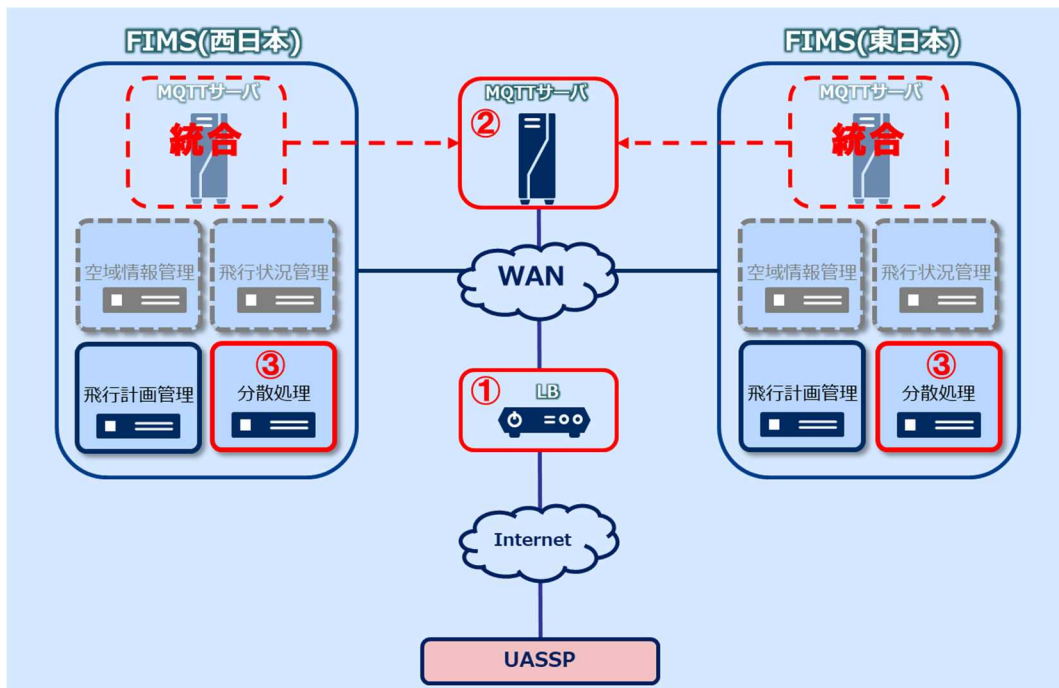


図 2.2.1.10-89 FIMS 分散化システム構成概要図



a) FIMS 分散化に向けた飛行計画分散化 PF について

FIMS 分散化にあたり、飛行計画のフローを分散する新たな機能として分散化 PF を追加する。分散化 PF の設計については InterUSS の思想を継承して以下の機能を実装した。

- ・ 発見 (Discovery)  
FIMS が情報を取得する必要がある他の FIMS を発見できる機能。
- ・ 同期 (Synchronization Service)  
必要なときに他の FIMS の完全かつ最新の情報を確実に取得する機能。

上記を基にした分散化 PF の概要図について下図に示す。

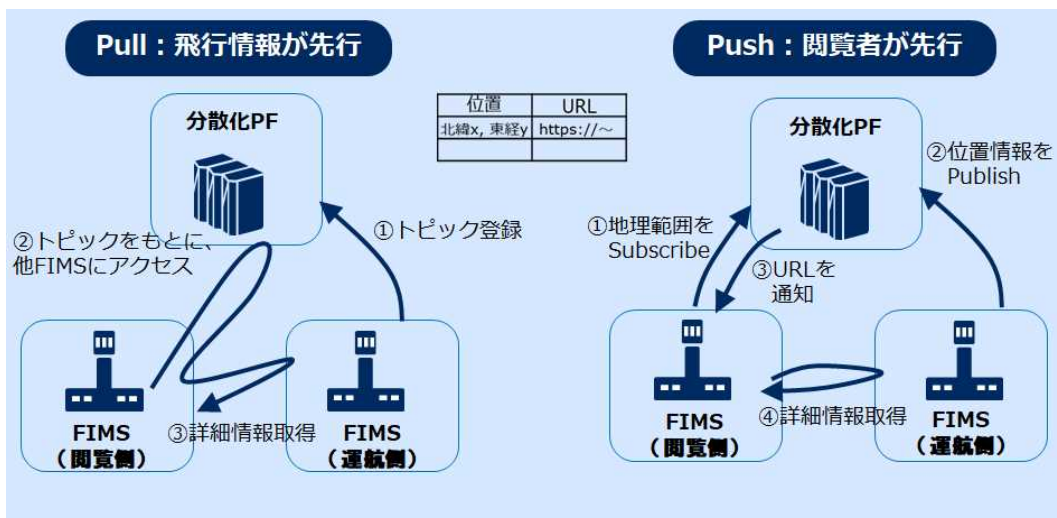


図 2. 2. 1. 10-90 飛行計画分散化 PF 概要図

b) 分散化 PF アーキテクチャについて

前提条件として、MQTT サーバ (FIMS 共有) には飛行計画情報がトピック形式ですべて集約されているものとして、分散化 PF について以下のフローでの運用を実現するべく研究を行った。

- ① FIMS (東) は運航事業者からのエリア等関心事を MQTT サーバへ登録 (Subscribe) する。
- ② FIMS (西) は運航事業者からの飛行計画申請を受信する。
- ③ FIMS (西) は申請元の運航事業者へ飛行計画申請結果通知を返却する。
- ④ FIMS (西) は運航事業者からの飛行計画申請を MQTT サーバへ通知する。
- ⑤ MQTT サーバは登録されたトピックに合致するメッセージを FIMS (東) へ返却する。
- ⑥ 返却されたメッセージよりトピック発行元の FIMS (西) へ詳細情報をリクエストする。
- ⑦ 関心を示していた運航事業者に飛行計画メッセージが通知される。
- ⑧ 上記アーキテクチャを導入することによる、分散化前と分散化後の飛行計画に関するフローの変更点の概要について、下記の図に概要を示す。

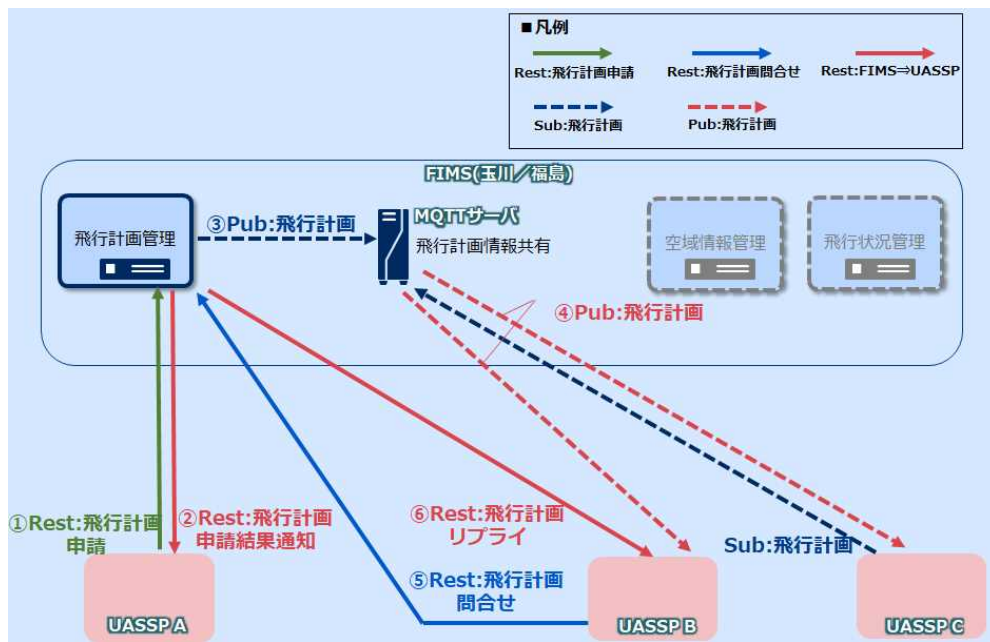


図 2. 2. 1. 10-91 分散化 PF 導入前のフロー概要図

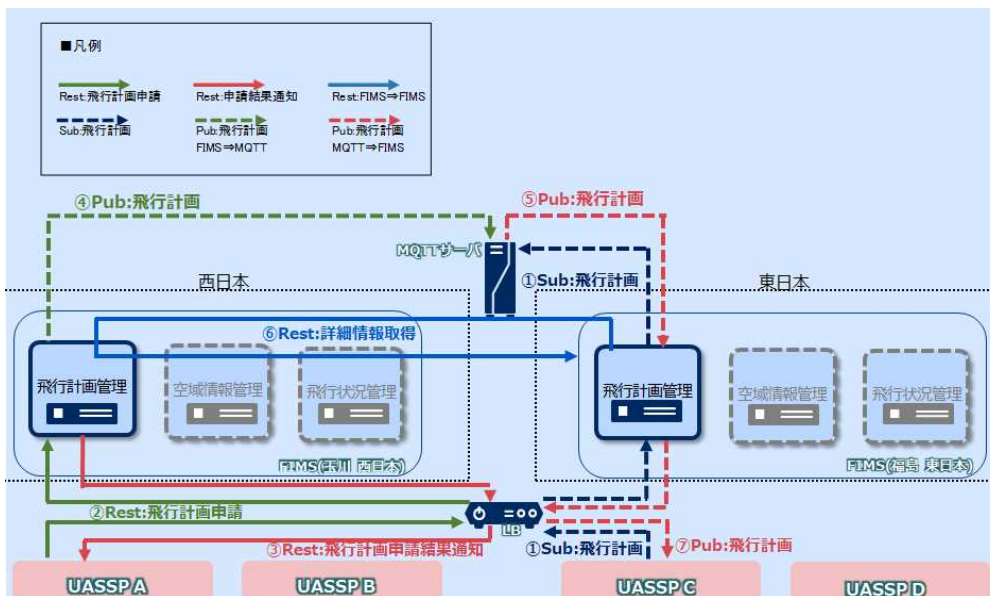


図 2. 2. 1. 10-92 分散化 PF 導入後のフロー概要図

c) 分散化 PF 導入にあたっての要件について

分散化以前の FIMS に分散化 PF を導入するにあたり必要となる各種要件について調査を行い、主要な項目について妥当性を確認しつつ下記に示す項目についてそれぞれ研究を行い記載の要件の実装を行った。

(ア) インタフェース関連

FIMS と関連する以下のインタフェースについて分散化 PF を導入するにあたり記載の要件が必要となり、実装を実施した。

● FIMS-運航事業者間インタフェース

運航事業者に配信する飛行計画情報の絞り込みを可能とするため、従来の FIMS の Pub/Sub トピック定義を検討した。他の点においては、FIMS の分散設置にともなう FIMS-運航事業者間インタフェースの変更は不要である。

・ 拡張前

SUBSCRIBE 済の UASSP にすべての飛行計画情報が配信される。

表 2.2.1.10-24 拡張前 FIMS-運航事業者間インタフェース表

第一階層
flightplan

・ 拡張後

特定の UASSP が登録した飛行計画情報のみ配信対象とすることが可能である。

表 2.2.1.10-25 拡張後 FIMS-運航事業者間インタフェース表

第一階層	第二階層
[uassp_id*] ※運航事業者を一意に判別するキー	flightplan

● FIMS 間インタフェース

FIMS の分散設置にともない FIMS 間インタフェースの追加が必要となり、下記表示に示すインタフェースを追加実装した。

表 2.2.1.10-26 FIMS 間インタフェース表

インタフェース名	概要
飛行計画情報	飛行計画の申請を行う
	飛行計画を問い合わせる
	UASSP 間で飛行計画情報を共有する
飛行計画申請結果通知	飛行計画の申請結果を通知する

- FIMS-MQTT サーバ間インタフェース  
FIMS の分散設置にともないFIMS 間インタフェースの追加が必要となり、下記表に示すインタフェースを追加実装した。

表 2. 2. 1. 10-27 FIMS-MQTT 間インタフェース表

インタフェース名	概要
飛行計画格納先通知	FIMS 間で飛行計画の格納先拠点を共有する

(イ)MQTT サーバ関連

FIMS 内の MQTT サーバについて分散化 PF を導入するにあたり記載の要件が必要となり、下記表に示した観点にて実装及び検討を実施した。

表 2. 2. 1. 10-28 MQTT サーバ要件表

要件	概要
統合	飛行計画情報の格納先、および飛行計画情報の共有が必要な運航事業者を一元管理するため、FIMS の MQTT サーバを統合した
可用性	MQTT サーバの障害やメンテナンスによるサービス中断を回避するため、複数拠点到設置して情報を同期するなど、可用性を高めるための検討を実施した
FIMS-MQTT 間 IF 追加 (飛行計画格納先通知)	FIMS と飛行計画格納先通知を送受信するための機能を追加した
FIMS-UASSP 間 IF 変更 (Pub/Sub トピック定義拡張)	UASSP に配信する飛行計画情報の絞り込みを可能とするため、Pub/Sub トピック定義を拡張した。ただし、現状の拡張方式では Pub 側が特定運航事業者を配信対象から除外するといった用途に対応できないため、実装は行わず継続して検討を実施した

(ウ)LB(ロードバランサ)関連

FIMS 分散化に必要な LB の要件について研究を行い記載の要件が必要となり、下記表に示した観点にて実装及び検討を実施した。

表 2.2.1.10-29 LB 要件表

項目	実装要件	理由
配置	ツーマーム構成	運航事業者からのアクセス先をLBに一元化するため
仮想 IP アドレス	運航事業者の接続先 IP アドレス	運航事業者からのアクセス先をLBに一元化するため
負荷分散レイヤ	レイヤ7	運航事業者からの「飛行計画申請(変更/取消)」および「飛行計画問合せ」の振分先を対象情報が存在するFIMSに限定することで、FIMS間IFによる負荷を抑制するため。
SSL オフロード	あり	運航事業者からの「飛行計画申請(変更/取消)」および「飛行計画問合せ」の振分先を対象情報が存在するFIMSに限定することで、FIMS間IFによる負荷を抑制するため。
冗長化	あり	LBの障害やメンテナンスによるサービス中断を回避するため

(エ)セキュリティ証明書関連

FIMS 分散化に必要なセキュリティ証明書の要件について研究を行い記載の要件が必要となり、下記表に示した観点にて実装を実施した。

表 2.2.1.10-30 セキュリティ証明書要件表

証明書種別	要件
CA 証明書	運航事業者側のサーバ証明書を変更しないため、変更は不要
クライアント証明書	分散設置したFIMSの各々に対して各運航事業者のクライアント証明書を導入する
運航事業者側サーバ証明書	運航事業者側のサーバ証明書は変更せず、分散設置したFIMSの各々で同一の証明書を共有する

d) FIMS の東西エリアによる分散化について

分散化の実現及び検証に向けて a) で研究及び検討を行った分散化 PF を実装した FIMS を飛行計画単位で東西二分割して行うことを研究し実装を行った。

東西分散化を実施した際におけるシステム構成及び飛行計画のフロー概要を下記図に示す。

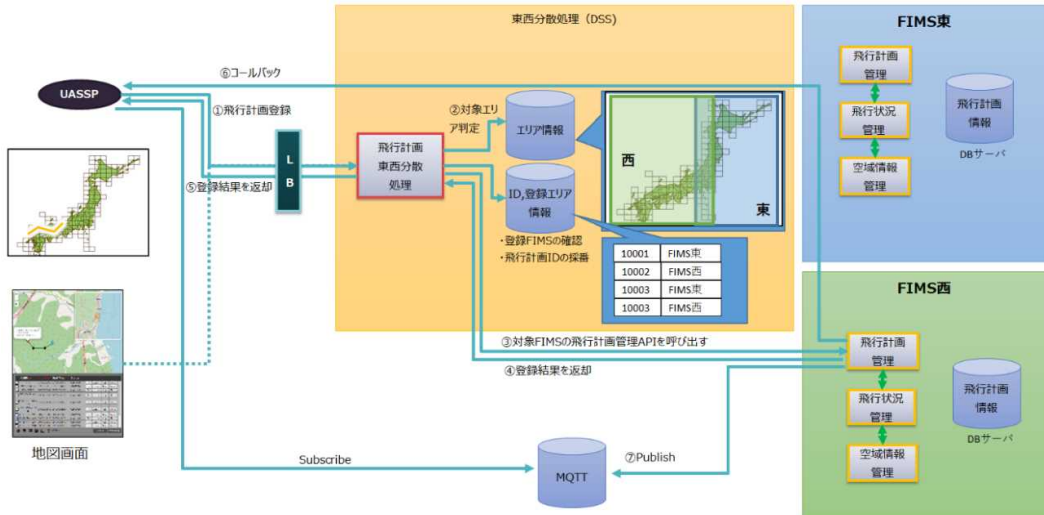


図 2. 2. 1. 10-93 FIMS 東西分割の構成及びフロー概要図

FIMS の東西分散化実装にあたり、特記すべき点として下記に示した項目について詳細を述べる。

a) LB について

検討段階において、飛行計画分散のロジックの実装箇所について LB 内に設ける案も浮上していたが、LB 内に実装可能なロジックの機能性について要件を満たさない可能性があり将来拡張性や実装の容易性を考慮した結果、分散ロジックは別途サーバ内に実装することとし、各 FIMS へのディスパッチ機能はオミットし LB は冗長性を持ったハブとしての機能に限定している。

b) 分散化 PF (DSS) について

a) の結果を踏まえて検討を実施し、DSS については分散化した FIMS のうちどれかをマスタとして搭載することで拡張を維持しつつ実装可能な要求レベルを実現した。

c) 飛行計画の分散定義について

飛行計画の分散定義については、各 FIMS の将来拡張性と実際の無人航空機の運航状況に即した分散定義を実現できるよう、飛行ルートから飛行エリアを特定したエリア分散を行えるよう研究し、実装を行った。

(B) 全国のエリア化による飛行計画管理の分散化に向けた研究

(A)で実施した研究結果に基づいて、飛行計画管理については全国を区分したエリア単位で管理を行う方針として検討を進め、東西2分割による東西2エリア及びその重複エリアで構成されるよう実装を行った。図 2.2.1.10-94 に示す東西区分は福島ロボットテストフィールドにおける実証試験を行った際のエリア定義である。(東西区分の一例)

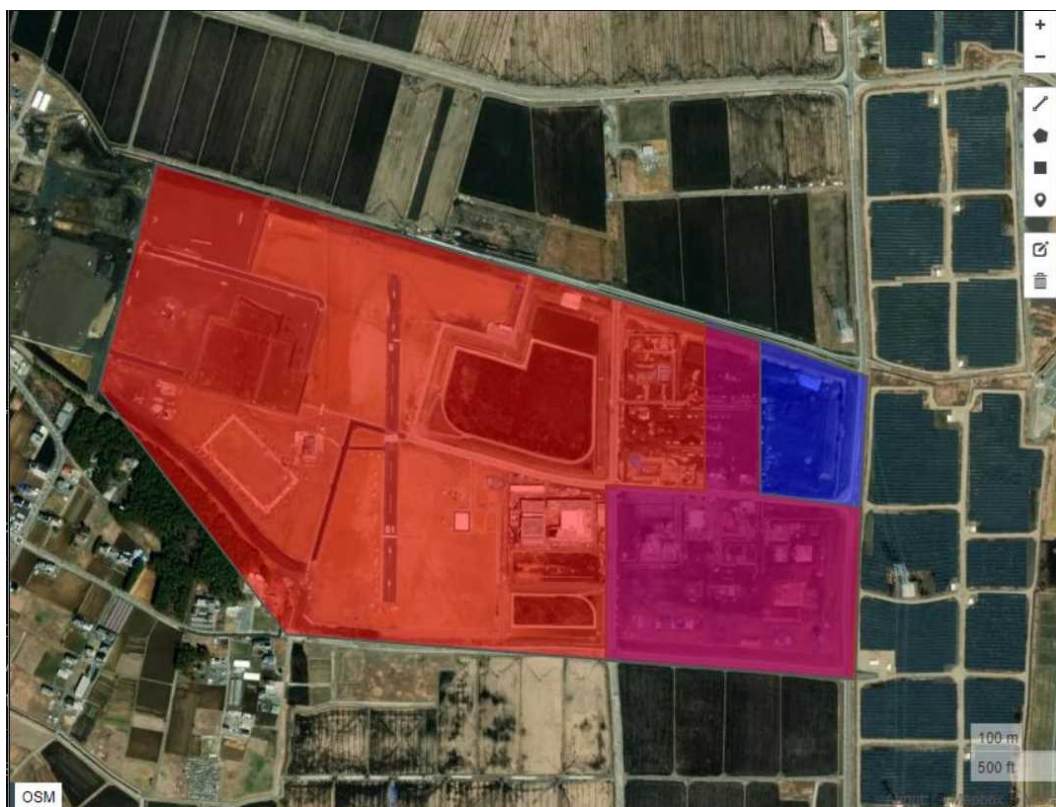


図 2.2.1.10-94 実証試験時における疑似的な東西エリア設定  
(赤：西、青：東、紫：重複)  
(出典：openstreetmap.org)



分散化機能（DSS）は以下のようなシステムの構成とした。  
FIMS 東側に DSS を配置し、リクエストの受信を担当する。飛行計画の内容によっ  
て、東側および西側への分散を行う。

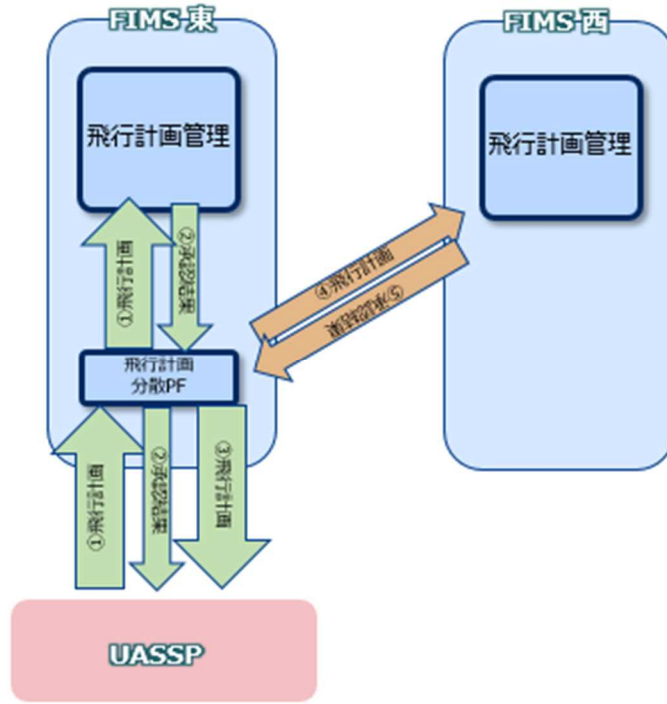


図 2. 2. 1. 10-95 分散化機能のシステム構成

分散化機能（DSS）にて、下図のような申請可否判断を実装した。  
 （下表の申請可否判断表の No. と、下図の申請エリア例の数字が対応）

No.	FIMS西	FIMS東	主エリア	副エリア	備考
1	含まない	含まない	-	-	DSSにてエラー
2	含まない	部分的に含む	-	-	DSSにてエラー
3	含まない	完全に含む	FIMS東	-	
4	部分的に含む	含まない	-	-	DSSにてエラー
5	部分的に含む	部分的に含む	-	-	DSSにてエラー
6	部分的に含む	完全に含む	FIMS東	FIMS西	
7	完全に含む	含まない	FIMS西	-	
8	完全に含む	部分的に含む	FIMS西	FIMS東	
9	完全に含む	完全に含む	FIMS東	FIMS西	FIMS東を主エリア、FIMS西を副エリアと固定的に判断する

図 2. 2. 1. 10-96 申請可否判断表

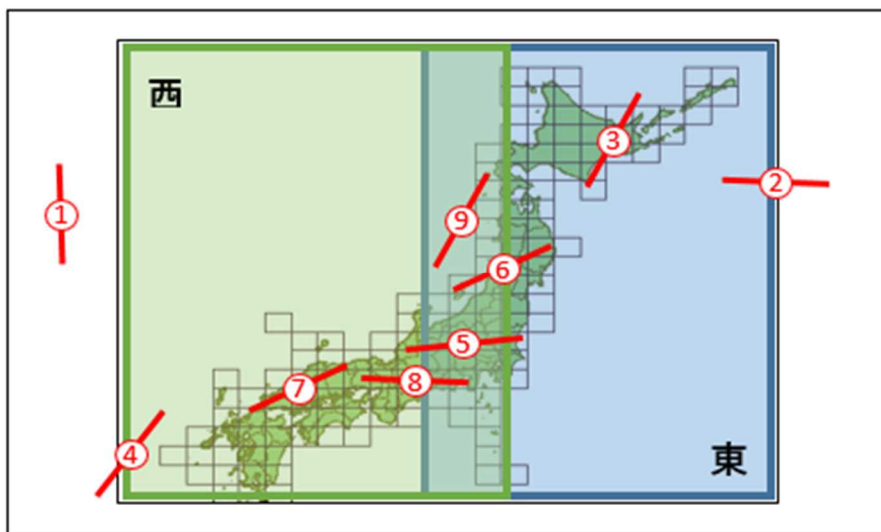


図 2. 2. 1. 10-97 申請エリア例

PostgreSQL のプラグインである PostGIS を利用することで飛行計画の可否判断を行うように実装した。

具体的には以下のようなシーケンスで飛行計画の申請を受け付ける。

- ① 【分散機能】 飛行計画申請を受信
- ② 【分散機能】 受信した申請内容を可否判断
- ③ 【分散機能】 判断結果が問題なければ分散機能が保有する DB に情報登録
- ④ 【分散機能】 飛行計画管理機能（申請内容に基づき FIMS 東または FIMS 西のいずれか）に情報登録
- ⑤ 【飛行計画管理機能】にてコンフリクト判定し MQTT に Publish
- ⑥ 【分散機能】上記⑤の Publish を受け、上記④で登録していない飛行計画管理に情報登録（上記④で FIMS 東に登録済みならば FIMS 西に）

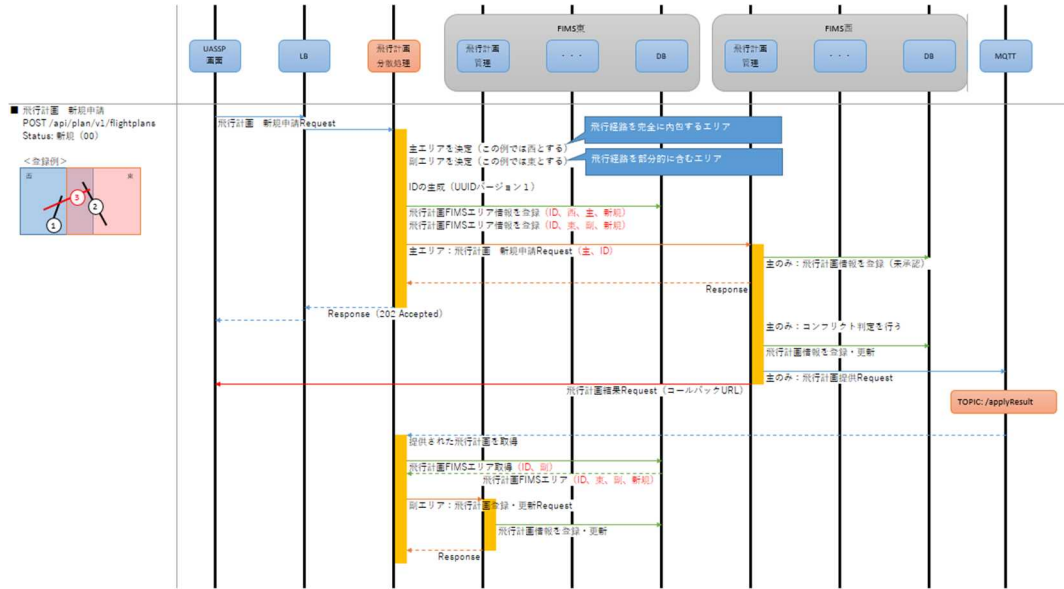


図 2.2.1.10-98 飛行計画新規申請シーケンス

(C) 飛行計画管理の分散による各 FIMS の飛行計画管理に関連した性能の研究

エリア分散に伴い飛行計画申請の経路も増える為、将来的には各エリアから同時期に複数の飛行計画申請を受ける場面も想定される。よって、現段階での飛行計画管理における秒間の最大処理件数についての検証を行った。

測定条件として、将来的な実運用上では飛行計画同士のコリダクションは一律発生するケースは稀であるとし、コリダクションの発生はランダムに秒間 1~3 件の申請を断続的に行う。また、エリアごとの申請数も一定であるとは限らない為、本検証では「単一エリアのみの申請」「東西両エリアへの申請」の各パターンで検証を行うものとした。

以下、パターンごとの検証結果を示す。

【単一エリアのみの申請】

旧実装を想定した 1 サーバのみでの飛行計画申請受理を想定した検証。

秒間 1 件の処理は問題なく行えているが、秒間 2 件以上の処理となると大きく性能が下がる結果となった。

表 2.2.1.10-31 測定結果

秒間の申請件数	処理時間 (平均)	処理時間 (最小)	処理時間 (最大)
1/sec	0.08sec	0.04sec	0.86sec
2/sec	1.35sec	0.04sec	2.77sec
3/sec	1.62sec	0.04sec	3.15sec

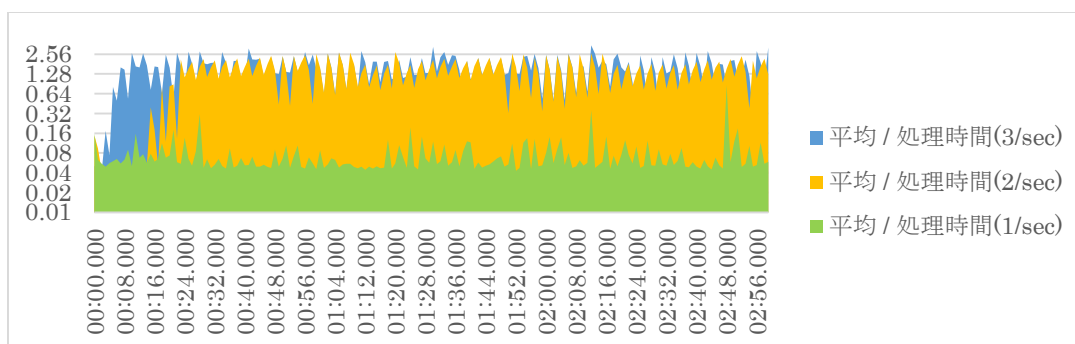


図 2.2.1.10-99 平均処理時間の推移

【東西両エリアに対し申請】

分散化実装後、エリアごとに申請受理するサーバを分散させた場合の検証。本検証では東西エリアでサーバを分散させた結果秒間 2 件まで安定して処理可能となり、1サーバあたり分散数分の処理負荷軽減が見込まれる。ただし、単一サーバでの処理性能は先の結果から秒間 1 件までであり、本検証でも秒間 3 件の処理では性能が劣化する結果となった。

表 2. 2. 1. 10-32 測定結果

秒間の申請件数	処理時間（平均）	処理時間（最小）	処理時間（最大）
1/sec	0.12sec	0.09sec	0.22sec
2/sec	0.11sec	0.09sec	0.23sec
3/sec	1.07sec	0.09sec	5.14sec

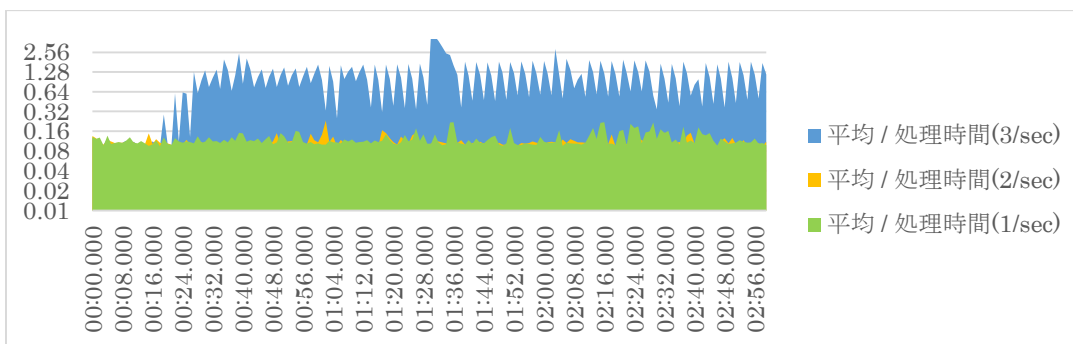


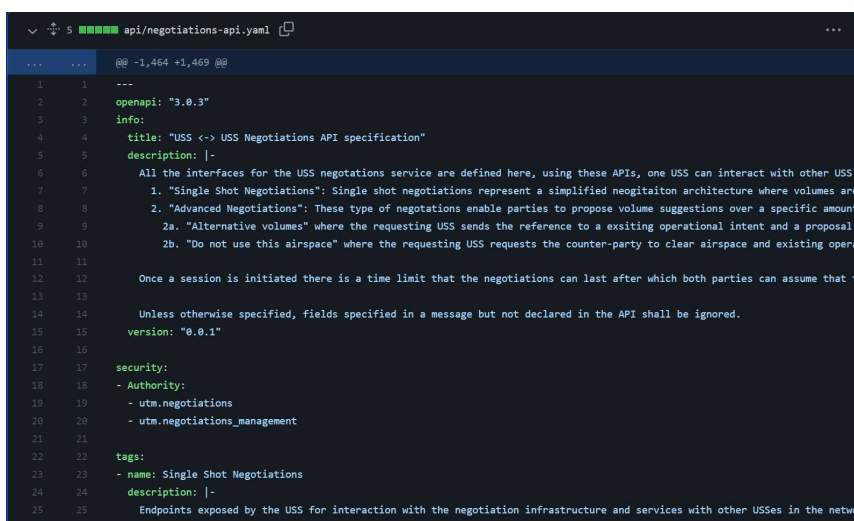
図 2. 2. 1. 10-100 平均処理時間の推移

上記から、1 申請に対する処理時間は平均 0.1~0.2 秒。エリアを増やすことで、処理可能件数が増加し、性能向上が見込めることが分かった。

## (D) 交渉・監査機能に関する研究

### a) 交渉プロトコル

API 定義の手法として一般的な yaml 形式で、交渉プロトコルを設計した。ASTM ロードマップでは、交渉が次の標準化候補となっているが、候補がさらに、Single Shot 交渉と、複数回のやり取りをする交渉 (Advanced Negotiation) との 2 つが挙がっている。NEC は、自動交渉に関する AI コミュニティに属しており、IJCAI といわれる AI のトップ会議併設で交渉コンペを主催している。こういった知見から、それぞれのプロトコルを設計した。Single Shot は、提案に対して Yes/No の回答だけであるのに対して、Advanced Negotiation は、一定時間内に合意できなければ、交渉が終了するようなプロトコルとしている。



```
api/negotiations-api.yaml
@@ -1,464 +1,469 @@
1 1 ---
2 2 openapi: "3.0.3"
3 3 info:
4 4   title: "USS <-> USS Negotiations API specification"
5 5   description: |-
6 6     All the interfaces for the USS negotiations service are defined here, using these APIs, one USS can interact with other USS
7 7     1. "Single Shot Negotiations": Single shot negotiations represent a simplified negotiaton architecture where volumes are
8 8     2. "Advanced Negotiations": These type of negotiations enable parties to propose volume suggestions over a specific amount
9 9     2a. "Alternative volumes" where the requesting USS sends the reference to a existing operational intent and a proposal
10 10    2b. "Do not use this airspace" where the requesting USS requests the counter-party to clear airspace and existing operat
11 11
12 12    Once a session is initiated there is a time limit that the negotiations can last after which both parties can assume that t
13 13
14 14    Unless otherwise specified, fields specified in a message but not declared in the API shall be ignored.
15 15    version: "0.0.1"
16 16
17 17 security:
18 18   - Authority:
19 19     - utm.negotiations
20 20     - utm.negotiations_management
21 21
22 22 tags:
23 23   - name: Single Shot Negotiations
24 24   description: |-
25 25     Endpoints exposed by the USS for interaction with the negotiation infrastructure and services with other USSes in the netw
```

図 2.2.1.10-101 交渉プロトコルの設計画面

b) 監査

開発したデモシステムの画面は以下である。設定したルールに対して、各 USS や各 Operator が遵守できているかを一覧することができる Conformance Status、各 USS の遵守状況、各運航者の遵守状況詳細、各運航の状況、ルールの編集画面である。ルールは、USS や Operator 毎に設定可能である。

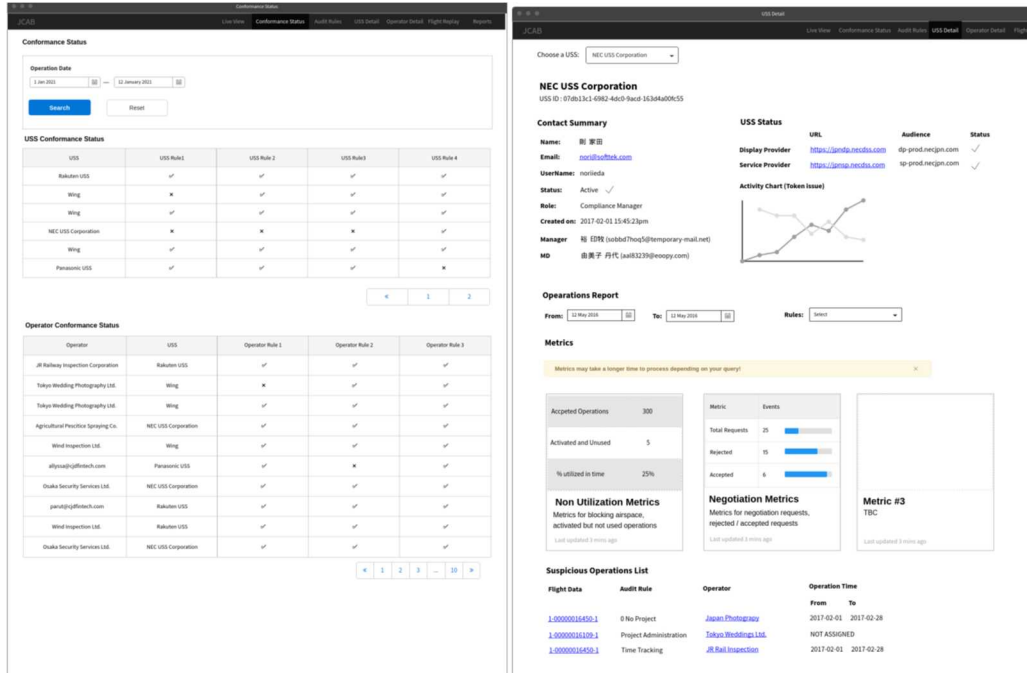


図 2. 2. 1. 10-102 Conformance Status (ルール準拠状況)  
Detailed USS View (USS の遵守状況詳細)

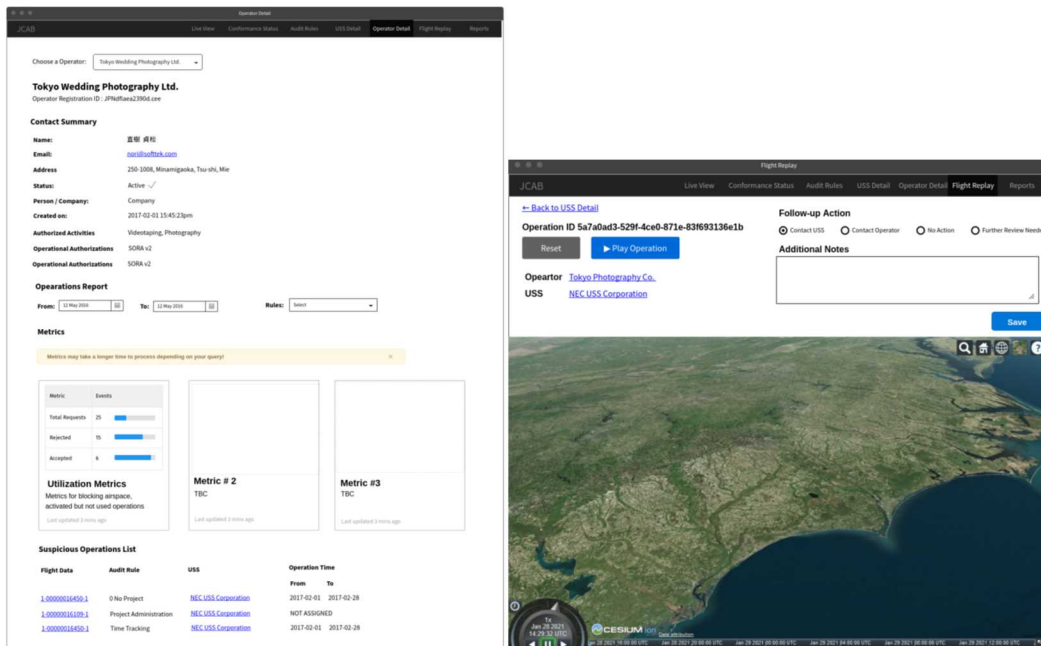


図 2. 2. 1. 10-103 Detailed Operator View (運航者の遵守状況詳細)  
Operation View (各運航の状況)  
(出典 : openstreetmap.org)



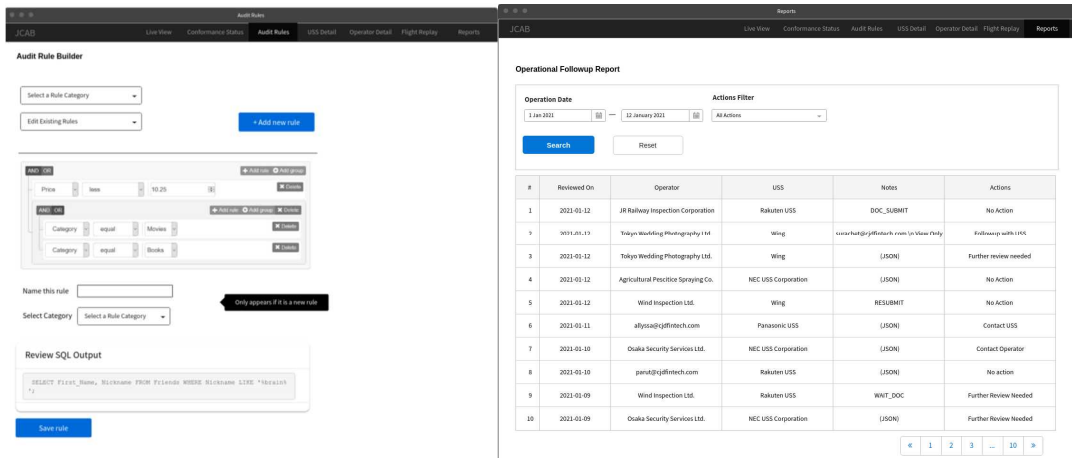


図 2.2.1.10-104  
Rule Builder View (ルール構築画面) Reports View (各運航の状況)

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 飛行計画管理機能の分散化に関する研究

飛行計画管理の分散に向けて導入した LB に関して現状ハブ以上の機能を持たせられず、冗長な構成となってしまっている。SW (DSS) での分散のみならず NW レベルでの分散についての可否について改めての検討が必要である。

(B) 全国のエリア化による飛行計画管理の分散化に向けた研究

現状のエリア別の分散化手法では、重複エリアを超えたエリア間を飛行する飛行計画の申請が不可となっている。将来的なエリアの増加や無人航空機の航続距離の増大を考慮すると複数エリアを含めた飛行計画についても申請可能となるべきである。

現在実装されている主・副エリアでの飛行計画管理による分散手法ではないエリアに依存しない分散手法を検討する必要がある。

(C) 飛行計画管理の分散による各 FIMS の飛行計画管理に関連した性能の研究

・非同期処理の性能向上

現段階での飛行計画管理では、飛行計画申請において 1 件あたりの処理時間は平均 0.1~0.2 秒程で処理可能であることが確認できたが、同時期に複数の申請を受理した場合に大きくパフォーマンスが下がる問題が検出された。

要因として、現行のシステムは、1 回の申請処理に対し複数のモジュールを RESTAPI で連携する橋渡しの構成となっており、その内いくつかのモジュールでは DB への接続も行っている為、飛行計画管理内のモジュールと DB サーバ間とのコネクションリソースの負荷が高くなる問題が挙げられる。複数の申請受理の際は起動した非同期スレッド毎に DB への登録・更新・削除処理を行っている為、DB サーバ間とのコネクションリソースの最適化および非同期スレッドの管理方法についても見直しが必要とされる。

・コンフリクト判定処理の構成見直し

飛行計画申請受理の際コンフリクト判定処理においては、他複数の連携先とのやり取りも多くある為、性能向上にはシステム構成の全体的な見直しが必要。

(D) 交渉・監査機能に関する研究

a) 交渉

成立した ASTM の UTM 標準のフェーズでは、交渉は含まれていないが、交渉については ASTM 内の主要メンバーと情報交換を行い、ASTM 会合に提案を行う必要がある。

b) 監査

監査機能について Swiss FOCA (航空当局) や国交省航空局等に紹介したところ「民主導の分散型になったときに、当局が行うべきことのイメージが持てた」といった意見とともに、「気象情報など、様々な情報も同時に見えるといい。各運航者が、一見、公平性に欠ける運航をしているように見えても、理由が分かるかもしれない」といった改善意見も頂いた。こういった利用者視点での機能開発を、今後、行っていく必要がある。

### 5.3.2. 「空域情報の分散管理技術の開発」(実施者：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)

#### (1) 実施事項

##### (A) 全国規模での空域管理を実現するためのシステム全体構成および分散処理方式の検討、実装に向けた設計

空域管理機能の社会実装においては、全国範囲で空域情報・地図情報を管理し安全運航に活用できる基盤となることが求められる。システムで管理する情報量も膨大になり、また、今後予想される無人航空機の機体数・運航数の急増により利用数も増加することが想定されるため、短時間で大量のデータを扱う高い性能を実現することが求められる。本研究では社会実装を見越し、全国規模での空域管理を実現するためのシステム全体構成、分散処理方式の検討、実装に向けた設計を実施した。

##### (B) 分散処理機能を実装し、運航管理統合機能および運航管理機能との連携実証、実装した方式の妥当性検証

前項 (A) の設計結果に基づき、分散情報処理機能について実装した。また、結合試験や実証実験にて、空域情報の分散化により運航管理統合機能および運航管理機能の運用に影響を与えないかの検証をおこなった。

##### (C) 検証により明らかになった課題への改善案検討

前項 (B) の検証で明らかになった課題への改善案を検討した。

#### (2) 研究を通じて得られた成果

##### (A) 全国規模での空域管理を実現するためのシステム全体構成および分散処理方式の検討、実装に向けた設計

本研究では、全国規模での空域管理を実現するため、システムの処理性能および拡張性を向上することを目的とし、空域管理機能の分散処理方式を検討し、実装に向けた設計を実施した。検討する上では以下の3点を前提事項とした。

###### 【検討の前提事項】

- ・空域管理機能で保持する各種情報は複数のサーバに分散して管理する。
- ・運航管理機能側からの問合せのインターフェースは既存仕様から変更しない。
- ・運航管理機能側から情報取得する際に、運航管理統合機能の空域管理機能が分散されていることを運航管理機能側に意識させない。

前提を踏まえて、実装方式・システム構成を検討した結果を以下に示す。

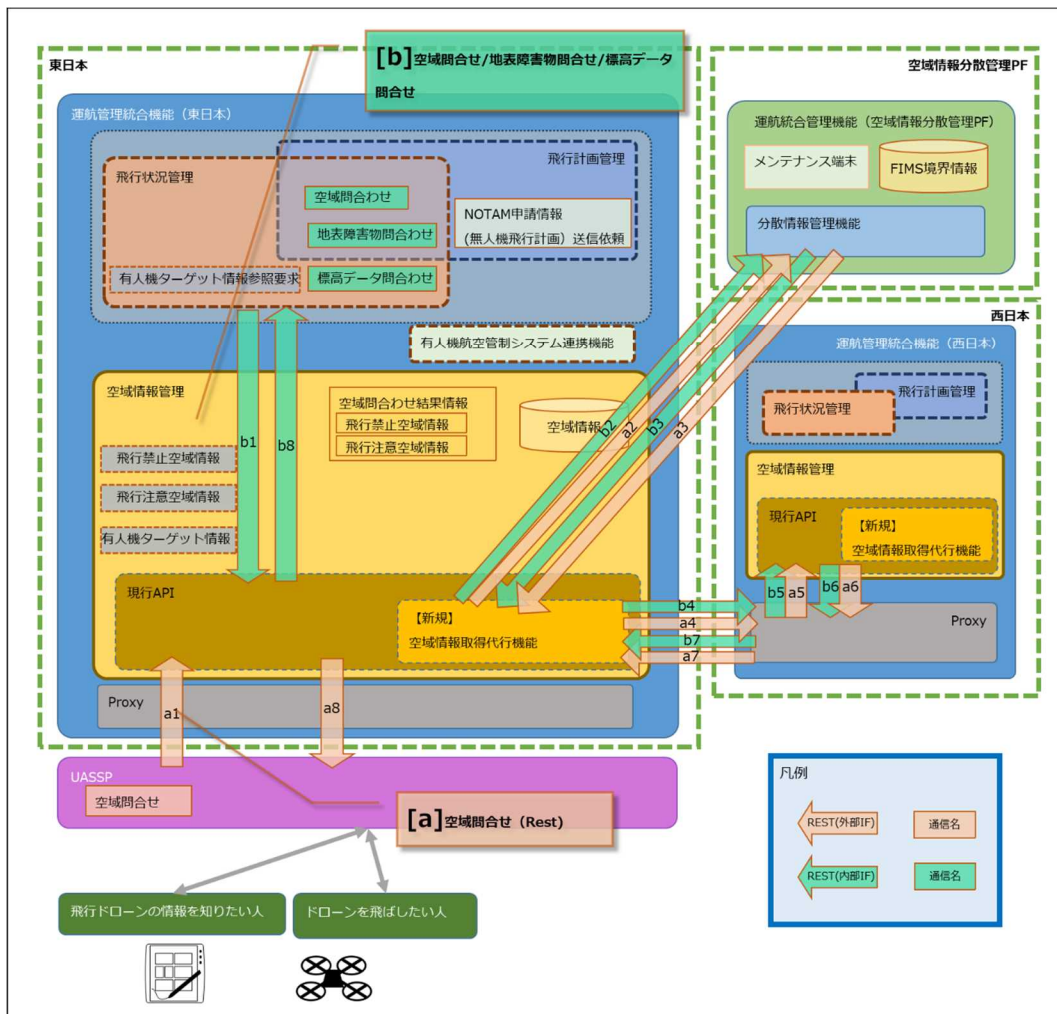


図 2. 2. 1. 10-105 実装方式・システム構成

運航管理統合機能の地理的分散配置として、東日本と西日本の 2 つの領域に分けることとし、東日本/西日本の各運航管理統合機能の空域管理機能は、各地域が担当するエリアの空域や障害物等の情報を保持する。各種情報を東日本/西日本のどちらで保有しているかについては、新規に構築する空域情報分散管理プラットフォーム内の分散情報管理機能にて保持する。また、各運航管理統合機能の空域管理機能内に空域情報取得代行機能を新規に構築し、分散情報管理機能に情報保有先を問い合わせる機能を持たせる。

運航管理統合機能内外から空域問合せ等があった場合 (a1、b1) には、空域情報取得代行機能が空域情報分散管理プラットフォーム内の分散情報管理機能へ情報連携する (a2、b2)。空域情報分散管理プラットフォームでは全国の空域情報、標高データ情報、障害物情報が東西どちらに配置されているかの境界情報を管理しているため、この情報をもとに、分散情報管理機能では問合せのあった領域が東西どちらに配置されているかの結果を、空域管理機能の空域情報取得代行機能に返す (a3、b3)。空域情報取得代行機能では、東西それぞれから必要な情報を取得・マージし (a4～a7、b4～b7)、問合せ先に情報を返却する (a8、b8)。

この実装方式・システム構成に基づき、分散管理機能の要件定義・外部設計を実施した。以下では、空域管理機能の空域情報取得代行機能と分散情報管理機能とのインタフェースとなる「分散情報管理問合せ機能」の設計結果について抜粋して説明する。

空域等のデータは東日本/西日本の2つのサーバに分散して保持されているが、運航管理統合機能内外から空域管理機能へ空域等の問合せを実施した際、問合せ元では取得したいデータが東日本/西日本のどちらのサーバに格納されているかはわからない。分散情報管理問合せ機能は、運航管理統合機能内外からの空域等の問合せを受けた際に、問合せ対象データの格納先が東日本/西日本のどちらのサーバであるかの情報を返却するものである。分散情報管理問合せ API のデータ項目について以下に示す。

表2.2.1.10-33 分散情報管理問合せ情報のデータ項目

項番	項目階層	論理項目名	物理項目名	値域	説明
1	01	情報区分	infoCategory	0:空域情報問い合わせ情報 API 用 1:地表障害物問い合わせ API 用 2:標高データ問い合わせ API 用	分散情報管理における情報区分の識別子 ■0:空域情報問い合わせ API 用 →例) 東と西の2種に領域が分割されている ■1:地表障害物問い合わせ API 用 →例) 都道府県別の47種に領域が分割されている ■2:標高データ問い合わせ API 用 →例) 都道府県別の47種に領域が分割されている
2	01	図形識別子	polygonType	0:多角形 1:円形 2:矩形	判定する平面上での図形の識別子
3	01	半径	radius	1~10000	[図形識別子]が円形の場合のみ必須 [単位:m]
4	01	エリア	area	—	[図形識別子]により下記データを要求する。 ・多角形の場合、リストは3件以上であること →3件未満(件数 < 3)はエラーとする。 →リスト内の頂点(緯度、経度)の順序は時計回りとする。  ・円形の場合、リストは1件であること →2件目以降(件数 >= 2)は無効とする。

項番	項目階層	論理項目名	物理項目名	値域	説明
					<ul style="list-style-type: none"> <li>・矩形の場合、リストは2件で[左下緯度, 左下経度][右上緯度, 右上経度]の順であること</li> <li>→2件未満は(件数 &lt; 2)とエラーとする。</li> <li>→3件目以降(件数 &gt;= 3)は無効とする。</li> </ul>
5	02	緯度	latitude	-90.000000000000 ~ 90.000000000000	10進緯度 [単位:度]
6	02	経度	longitude	- 180.000000000000 ~ 180.000000000000	10進経度 [単位:度]

(B) 分散処理機能を実装し、運航管理統合機能および運航管理機能との連携実証、実装した方式の妥当性検証

前項 (A) の設計結果に基づき、分散情報処理機能について実装した。結合試験や実証実験にて、空域情報の分散化により運航管理統合機能および運航管理機能の運用に影響を与えないかの検証をおこなった。なお、実証実験時の空域情報の東西分割について以下のとおりとした。



図 2.2.1.10-105 空域情報（飛行禁止空域、飛行注意空域）、障害物データの東西分割  
(出典：openstreetmap.org)





表 2.2.1.10-34 空域問合せ／障害物問合せ／標高問合せの処理時間計測結果

項番	問合せ種別		レスポンスタイム	
	種別	領域	1回目 (s)	2回目 (s)
1	空域	半径 100m	0.48	0.48
2		半径 1,000m	0.61	0.52
3		半径 10,000m	2.11	1.87
4	空域 (GeoJSON 形式)	半径 100m	0.15	0.50
5		半径 1,000m	0.61	0.61
6		半径 10,000m	1.50	1.46
7	障害物	半径 100m	0.08	0.07
8		半径 1,000m	0.96	0.84
9		半径 10,000m	63.49	61.23
10	標高	半径 1m	1236.27	1167.46

処理時間測定の結果、空域問合せに関しては条件によらず 1~2 秒程度のレスポンスとなっており、運用への影響はなしと判断した。障害物問合せに関しては、半径 100m、1,000m では 1 秒未満であり運用影響なしと判断するが、半径 10,000m の問合せ領域とした場合に、処理時間が 1 分を超える結果となった。物流ユースケースなどの長距離飛行の場合に、性能改善の検討が必要と考える。また、標高問合せに関しては、処理時間が約 20 分となっており、抜本的な改善が必要という結果となった。

(C) 検証により明らかになった課題への改善案検討

前項 (B) の結果、性能改善が必要と判断した障害物問合せおよび標高問合せについて、改善案を検討し、データ分散保持時の分割数の最適化、データ管理方式の最適化を進めることが有効ではないかと考えた。

本研究では、標高問合せについて、以下の 2 つの追加検証を実施した。

- ・ データ格納 DB の分割数の最適化検証
- ・ データ管理方式の最適化検証

a) データ格納 DB の分散数の最適化検証

標高問合せについて、2019 年度までの研究において、福島ロボットテストフィールド周辺のみ標高データを投入した状態と比較し、全国分の標高データ投入後の性能劣化が顕著であった。標高データについては他の情報と比べてデータ量が膨大であるため、データの分割数を増やし、1 サーバあたりのデータ件数を減らすことで性能改善を試みた。追加検証結果を以下に示す。

表 2. 2. 1. 10-35 追加検証結果

分割数	データ件数	レスポンスタイム	
		1 回目 (s)	2 回目 (s)
2 分割	1, 809, 394, 623 件	1236. 27	1167. 46
4 分割	904, 697, 312 件	595. 26(※)	517. 19(※)
8 分割	452, 348, 656 件	285. 72(※)	229. 11(※)
16 分割	226, 174, 328 件	137. 15	140. 67
32 分割	113, 087, 164 件	65. 83	64. 32
64 分割	56, 543, 582 件	31. 28	29. 73
128 分割	28, 271, 791 件	12. 22	12. 21

(※) デッドタプルが発生していたため、推測値を算出

追加検証では、データ件数と処理性能が比例することが確認できた。今回検証した範囲では、全国データを 128 分割した際の処理時間が 12 秒程度と最小となり、さらに分割数を増やすことでさらなる処理時間の短縮が見込まれる。ただし、標高データが頻繁に更新必要となる種別のデータではないことを踏まえたとしても、標高データ保持用に数百のテーブルを構築・管理することは現実的ではない。また、検証中は CPU やメモリ等のリソース状況の監視も行ったが、特に問題はなく、単純にデータ件数が多いことが性能課題の原因と考えられた。このため、標高データについては、現在採用するリレーショナルデータベース (RDB) である PostgreSQL で管理することには限界があり、別方式でデータを扱うことも視野に検討を進める必要があると考えた。

#### b) データ管理方式の最適化検証

前項(a)の結果を受け、本研究では、RDB である PostgreSQL に変わり、同等の処理を分散型検索エンジンで実現できるかを検証し、両者の性能比較も行うこととした。

まず、本研究で採用する分散型検索エンジンを決定するため調査を実施した。調査の結果、地理空間系の機能が充実し、かつ大容量データにも耐えられると評価した「Elasticsearch」を採用することとした。

検証は 2 フェーズに分け、登録するデータ数を変えて実施した。Phase1 では 1 県分 (福島県) の標高データを投入した状態で実施し、Phase2 では 4 県分 (福島県、青森県、岩手県、宮城県) の標高データを投入した状態で検証を行った。各県のデータ件数は以下のとおりであった。

表 2. 2. 1. 10-36 検証で使用するデータ

項番	データエリア	geojsonデータファイルサイズ	データ件数	Phase1時データ	Phase2時データ
1	福島県	約 26.8 GB	139,624,434	○	○
2	青森県	約 13.7 GB	71,667,143		○
3	岩手県	約 26.5 GB	137,637,733		○
4	宮城県	約 14.8 GB	77,388,425		○
	合計	約 81.6 GB	426,317,735		

検証項目および検証結果を以下に示す。

検証種別		リクエストエリアパターン			同時リクエスト数	
項番	検証カテゴリ	項番	形状	エリア	項番	データパターン
①	データ検索・データ取得	A	円形	半径100m (面積: 31,415㎡)	I	1件
②	データ検索(件数カウントのみ)	B	円形	半径1km (1,000m) (面積: 3,141,592㎡)	II	5件
		C	円形	半径10km (10,000m) (面積: 314,159,265㎡)	III	10件
		D	矩形(ポリゴン)	縦軸: 約300m 横軸: 約100m (面積: 約30,000㎡)		
		E	矩形(ポリゴン)	縦軸: 約3,000m 横軸: 約1,000m (面積: 約3,000,000㎡)		
		F	矩形(ポリゴン)	縦軸: 約30,000m 横軸: 約15,000m (面積: 約450,000,000㎡)		
		G	円形	半径500km (500,000m) ※データ登録済みのエリア全域 (4都道府県分)		

図 2. 2. 1. 10-108 検証項目

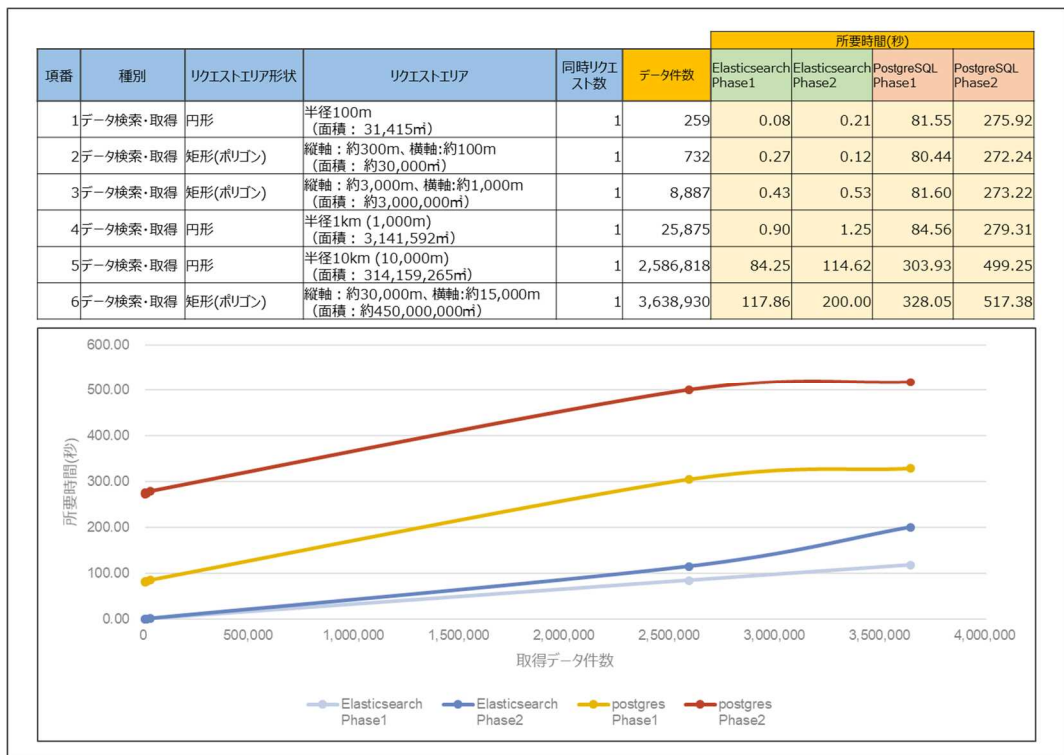


図 2. 2. 1-10-109 【データ検索・取得】単発リクエストにおける処理時間

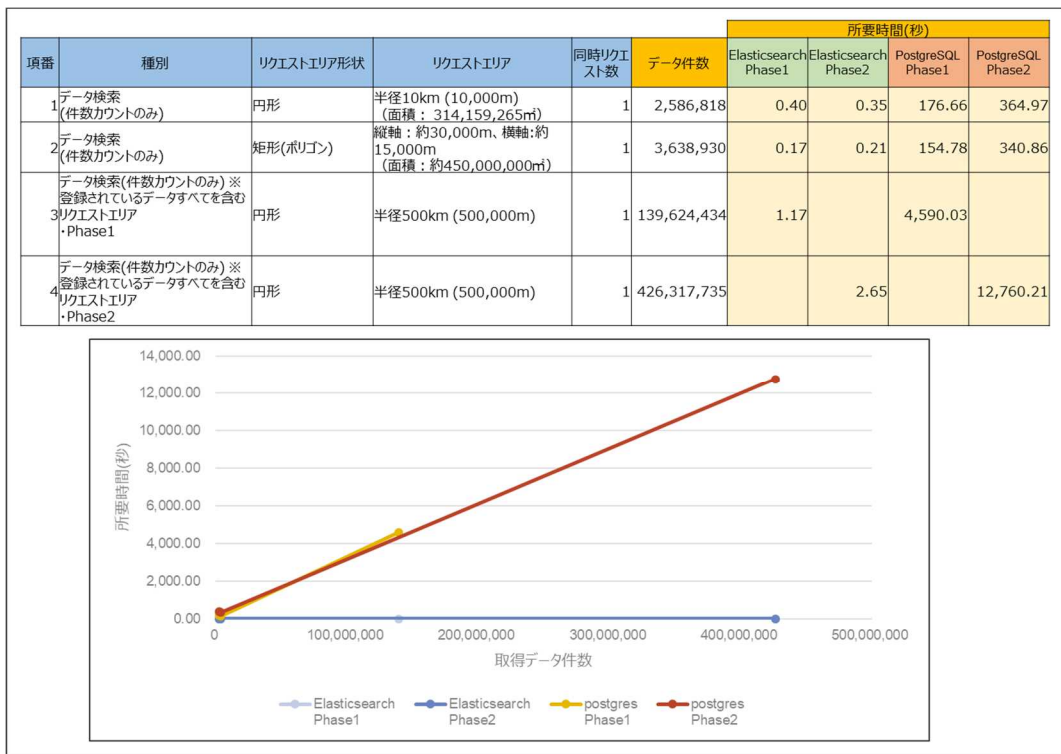


図 2. 2. 1. 10-110 【データ件数カウント】単発リクエストにおける処理時間

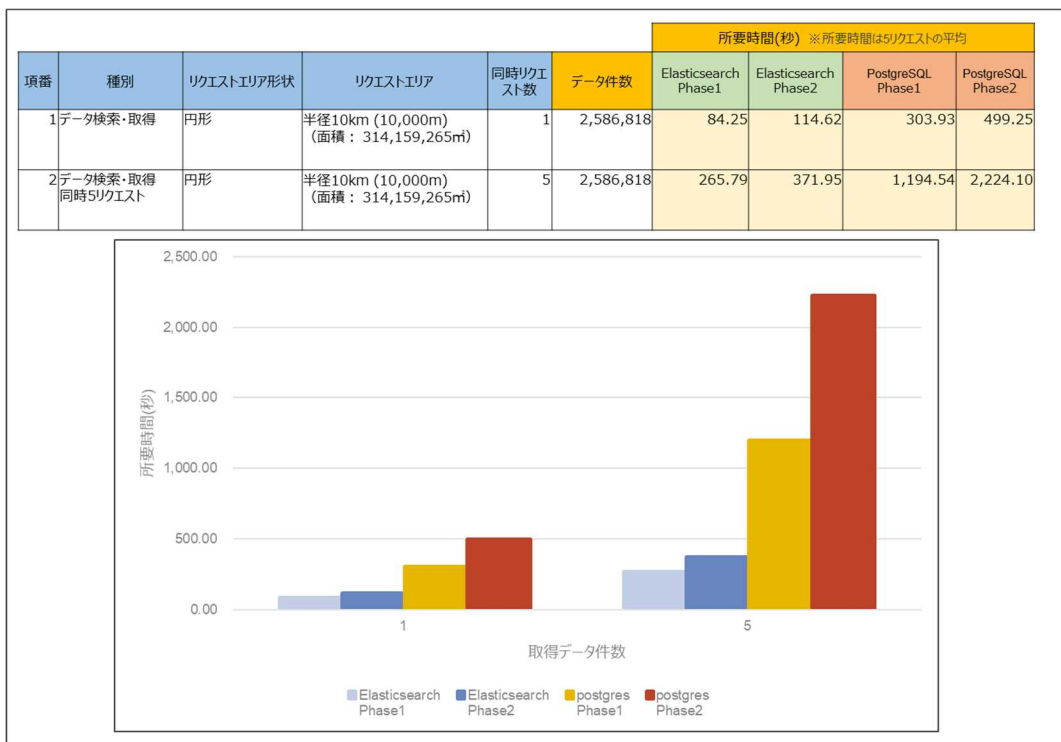


図 2. 2. 1. 10-111 【データ検索・取得】同一内容の同時5リクエストにおける処理時間

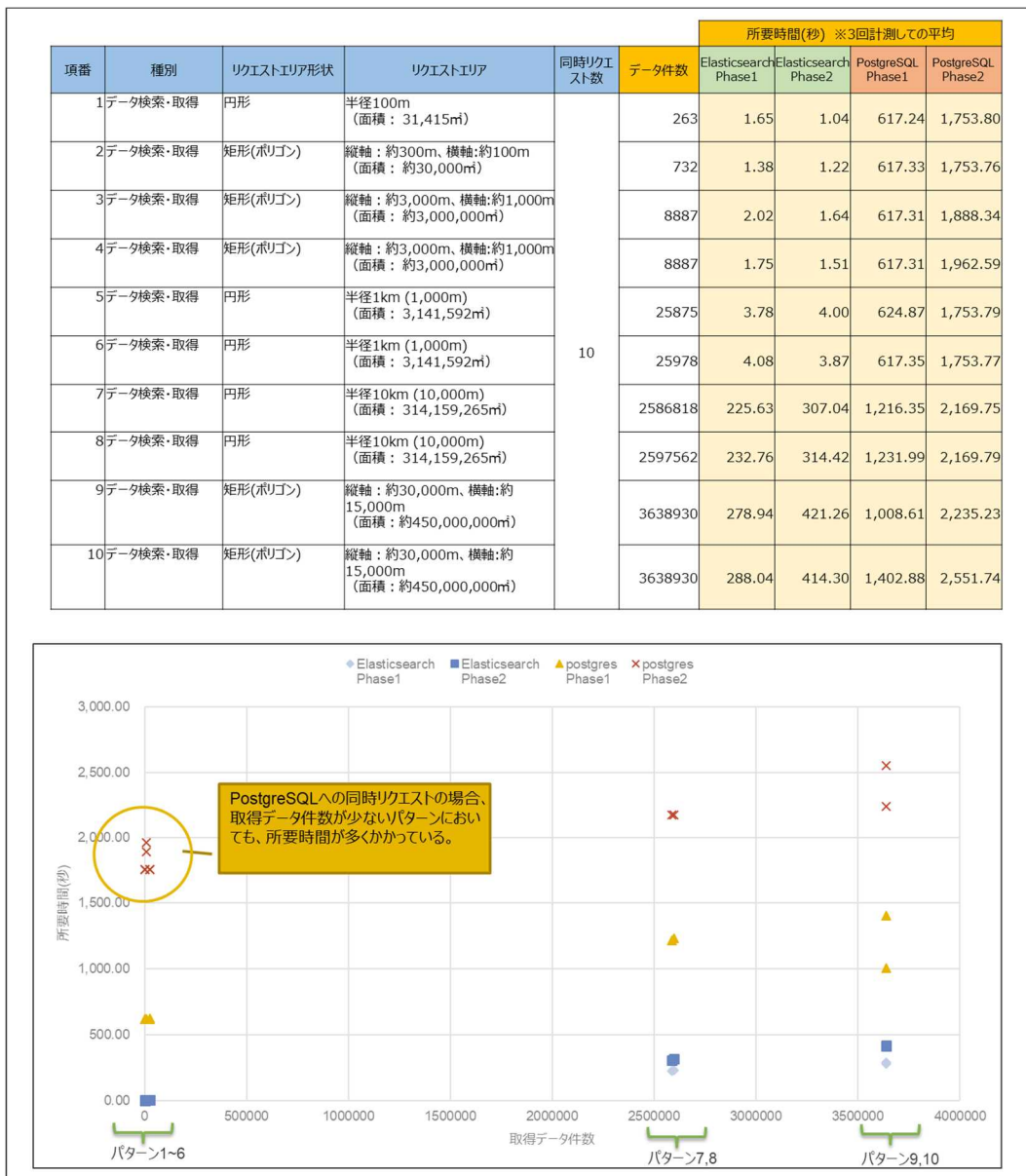


図 2. 2. 1. 10-112 【データ検索・取得】データパターンが異なる同時 10 リクエストにおける処理時間

検証の結果、同一のデータ量、環境（CPU 数、メモリ）にて、同一の検索リクエストを送った場合、Elasticsearch の方が、PostgreSQL よりも結果返却までの時間が速いことがわかった。検索範囲にもよるが、検索結果が 1 万件以下程度の場合、Elasticsearch は、PostgreSQL よりも約 500 倍速く、3 万件程度の場合、2.5 倍速い結果となった。また、データ件数のカウントにて、検索結果が大きい場合、PostgreSQL では検索速度が顕著に遅くなることがわかった。データ件数が 426,317,735 件（4 県分）である場合の件数カウントでは、Elasticsearch は PostgreSQL よりも約 4,500 倍速い結果が得られた。同時リクエストによる検証については、Elasticsearch と PostgreSQL とともに、同時リクエスト件数が増えると、処理時間が伸びていくことがわかり、環境に依存する結果と考えられる。

本検証により、社会実装を見据えて全国標高データを保持する場合には、分散型検索エンジンを採用することで大幅な性能改善が見込まれることが分かった。

なお、追加検証として実施した「データ格納 DB の分割数の最適化検証」および「データ管理方式の最適化検証」の結果を統合して、Elasticsearch を採用した場合に、データ格納 DB の分割数によりレスポンスタイムがどうなるかを試算も行った。試算した結果を以下に示す。データ格納 DB を 4 分割以上とすることで、レスポンスタイムが 1 秒未満なると想定される結果となった。

表 2.2.1.10-37 格納 DB 分割数に対応した Elasticsearch 採用時のレスポンスタイム  
試算値

分割数	データ件数	レスポンスタイム	
		Elasticsearch 採用時の試算値	<参考> PostgreSQL 実測値
2 分割	1,809,394,623 件	1.14	1236.27
4 分割	904,697,312 件	0.55	595.26
8 分割	452,348,656 件	0.21	285.72
16 分割	226,174,328 件	0.13	137.15
32 分割	113,087,164 件	0.08	65.83
64 分割	56,543,582 件	0.03	31.28
128 分割	28,271,791 件	0.01	12.22

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

本研究では、社会実装を見越し、システムの処理性能および拡張性を向上する空域管理機能の分散処理法の検討および評価を実施した。

空域管理機能で扱うデータとしては、空域情報（飛行禁止空域、飛行注意空域）、障害物データ、標高データの大きく3種類あるが、今回採用した分散処理方式では、障害物データ、標高データについて処理性能に課題があることが判明した。今後、特に標高データでは抜本的な改善が必要であるが、本研究において、技術的な解決の方向性（データ分散保持、データ管理方式の見直し）を確認できた

今回の研究で扱った各データについて、運用想定に基づき求められるであろうデータ処理レスポンスの想定値を設定し、それを満たすために必要なデータ管理方式および分散数の想定を参考値として整理した。以下にその結果を示す。社会実装においてはこの想定を参考として現実的な実装方法を見極めていく必要がある。



表 2.2.1.10-38 運用想定に基づく要求性能の想定と実現方式案の整理

情報種別	運用想定	要求レスポンス想定(*)	データ管理方式	必要分散数
空域	<p>【データ特性】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・空域は動的に変更される想定であり、情報の更新頻度が高い。</li> </ul> <p>【利用想定】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行計画段階における空域との干渉確認に利用。</li> <li>・飛行中においても動的に設定された空域情報をリアルタイムに把握する必要がある。</li> </ul>	3 秒	RDB	<p>想定数：2</p> <p>現状設定されている飛行禁止区域数に基づく想定。管理対象の空域種別が増える場合にはさらに分散が必要。</p>
障害物	<p>【データ特性】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・建物/障害物の変動は多いが、定期的に情報収集することはコスト的にも現実的ではないため、情報の更新頻度は低い想定。</li> <li>・精緻な障害物情報が必要な場合はデータ量が膨大になる。</li> </ul> <p>【利用想定】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行計画段階における障害物との干渉確認に利用。</li> <li>・情報の更新頻度が低く、またデータ量が多いため、FIMS から取得したデータを利用者側で一時的に保持する運用を想定。</li> </ul>	10 秒	分散型検索エンジン	<p>想定数：-</p> <p>要求するデータ精度によって異なるため一概に推定できないが、2桁程度の分散が必要と想定。</p>
標高	<p>【データ特性】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・標高の短期的な変動はそれほど高く、情報の更新頻度は低い。</li> <li>・データ量は非常に多い(2~3TB)。</li> </ul> <p>【利用想定】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行計画段階における地表との干渉確認に利用。</li> <li>・情報の更新頻度が低く、またデータ量が多いため、FIMS から取得したデータを利用者側で一時的に保持する運用を想定。</li> </ul>	10 秒	分散型検索エンジン	<p>想定数：4</p> <p>国土地理院の10mメッシュの標高データを扱う想定での数値。さらに高精度のデータを使用する場合は分割数増となる。管理の容易の観点から、国土地理院のデータ分割の単位に合わせて都道府県単位での分割も考えられる。</p>

(\*) 100 km<sup>2</sup>の範囲でデータ検索した場合に求められるレスポンスの想定値

### 5.3.3. 「飛行状況管理の処理分散技術の開発」(実施者：株式会社日立製作所)

#### (1) 実施事項

##### (A) 分散構成の検討

2019年度までは、福島 RTF を含む南相馬市浜通り地区周辺を管理空域と仮定し、1サーバあたり 100 機の処理能力を目標として設計した。

社会実装を想定した場合、より広い管理空域、より多くの機数の動態管理を実施する必要がある。このため、同様性能のサーバを並列動作させることで容易に処理能力向上が可能な方式を検討した。

本研究では、分散方式の最小限の評価として、2 台のサーバを用いて担当空域を分割し、それぞれのサーバで同時飛行機数 100 機、合わせて 200 機の動態管理を行う事を目標とし、最適なシステム構成を検討した。

##### (B) 実証での空域検討

2 台のサーバを用いて空域分割する場合、本研究においては日本全国をカバーするよう空域設計を行う必要がある。

このため、実証用に日本のエリアを西日本、東日本で分割し、2 台のサーバで分割管理を行う事、合わせて福島 RTF において実証を実施するための管理空域分割構成について検討した。

##### (C) 性能評価

(A)にて設計した分散構成のサーバが、所定の能力を発揮できることを、シミュレータによる負荷試験によって実施し、構築サーバの性能達成状況の確認、及びアーキテクチャの課題抽出を実施した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 分散構成の検討

これまでは、1つのサーバで飛行状況管理を行っていたが、日本全国を対応するには性能上困難であるため、空域ごとの分散構成(スケールアウト)での対応を検討した。

理想とする分散処理構成を下図に示す。

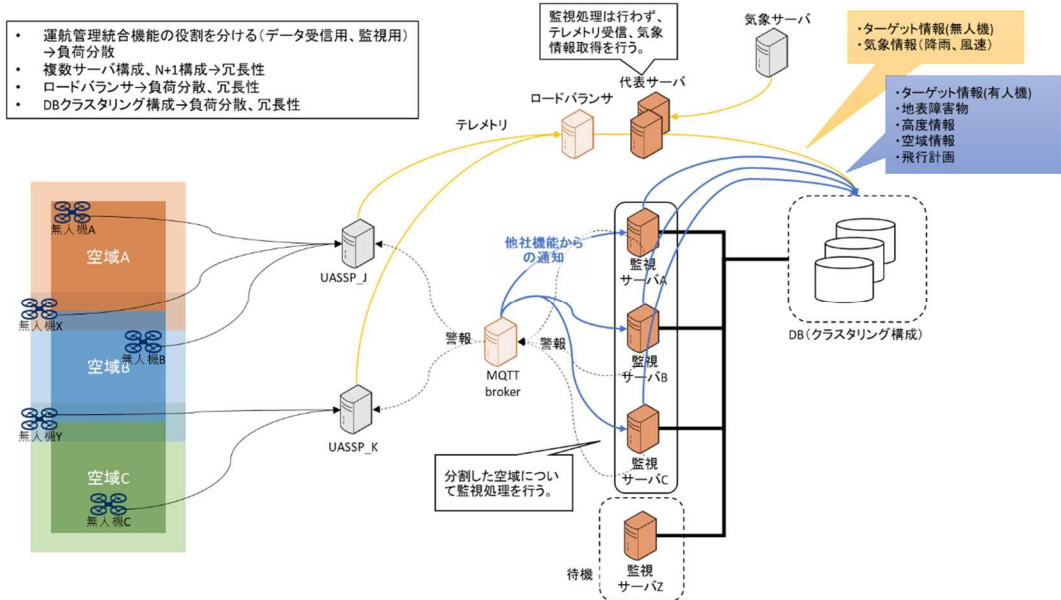


図 2. 2. 1. 10-113 処理分散構成の理想形

(B) 実証での空域検討

実証時には下図のように空域を東日本（オレンジ）、西日本（青）に2分割し、検証した。

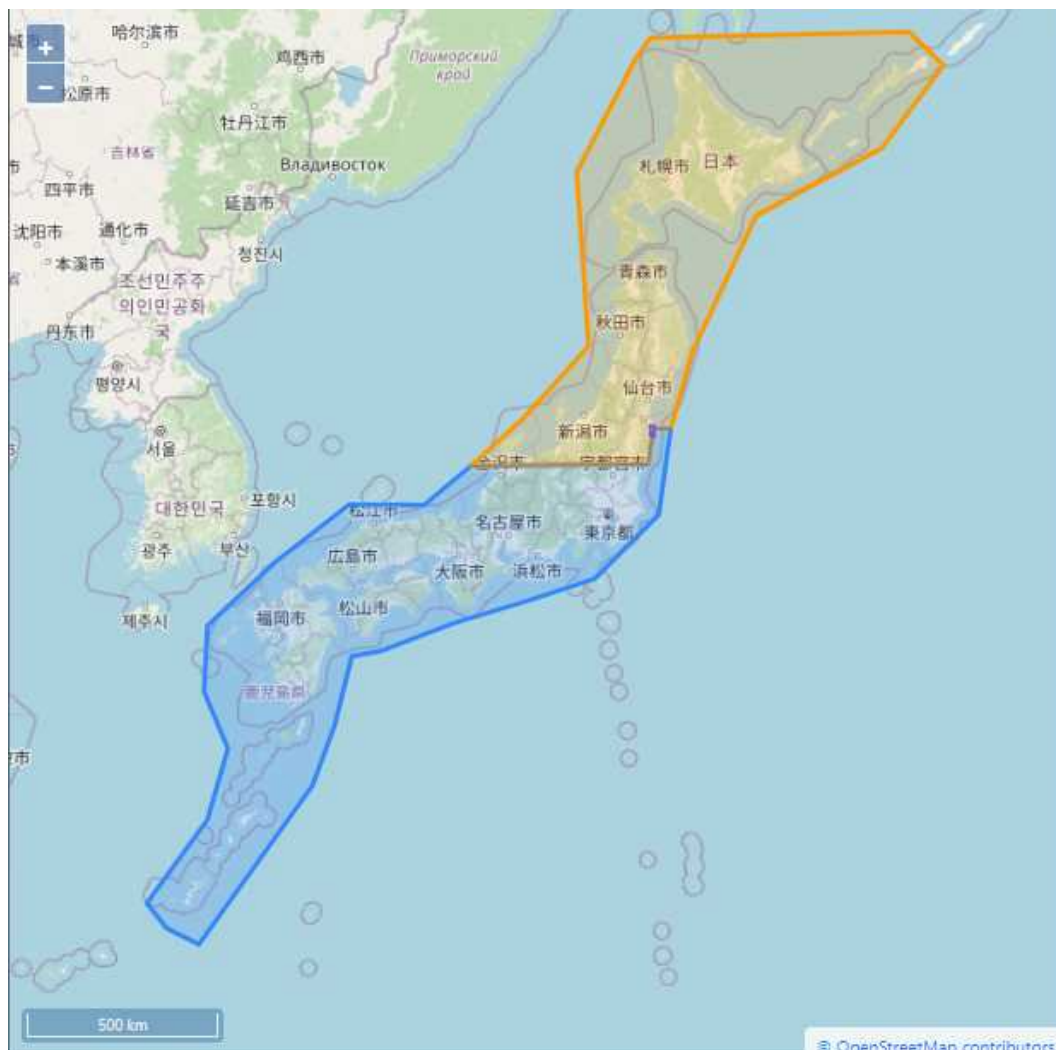


図 2. 2. 1. 10-114 東日本、西日本で分割  
(出典 : openstreetmap.org)

また処理分散構成としては外部とのインターフェースとなる代表サーバと東日本の監視処理サーバを同一マシン上で稼働させ、DBは空域ごとに分けた。

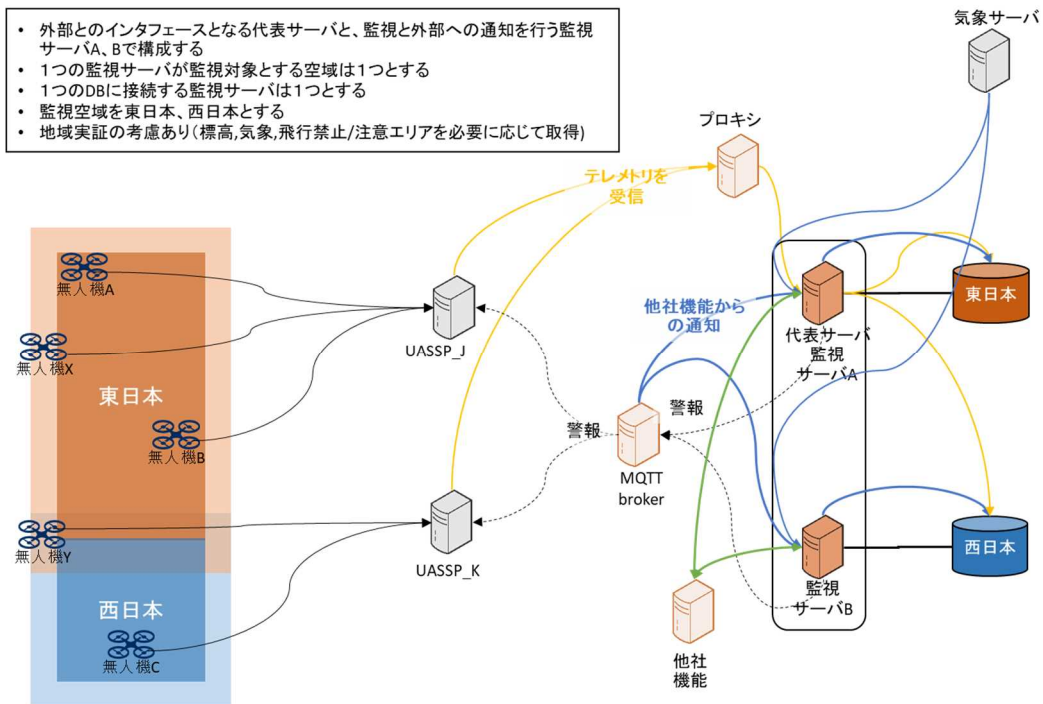


図 2. 2. 1. 10-115 実証時の構成

(C) 性能評価

実証時の構成では東西日本 100 機ずつの処理分散を前提とし、動態情報受信⇒衝突判定⇒近傍機体情報の送付ないしは警報送ออกมาでの時間を測定した。また性能試験時のイメージを図に示す。

東日本担当サーバ、西日本担当サーバにて、それぞれ 100 機分のテレメトリを 1 秒間隔で入力し、近傍機体情報ないしは警報送ออกมาでにかかった時間を表 2. 2. 1. 10-39 に示す。西日本担当サーバは、純粋な衝突判定のみのため、すべてのテレメトリ受信⇒応答までの時間が 1 秒以内に収まっており、所定の処理能力を達成することができた。一方、東日本担当サーバは、近傍機体情報送付(約 1.6 秒)、飛行計画逸脱警報送付(約 1.3 秒)でそれぞれ 1 秒を超える応答時間となっており、性能目標を達成できなかった。

表 2.2.1.10-39 東日本、西日本の処理性能

処理	処理時間[s]		
	種類	東日本 ※代表サーバ同居	西日本 ※代表サーバなし
200 機分のテレメ トリ	最大	0.742	なし
	平均	0.623	なし
100 機分の UAS 間 コンフリクト警報	最大	0.768	0.717
	平均	0.586	0.427
100 機分の近傍機 体通知	最大	1.592	0.997
	平均	1.382	0.996
100 機分の飛行計 画逸脱警報	最大	1.252	0.768
	平均	0.998	0.578



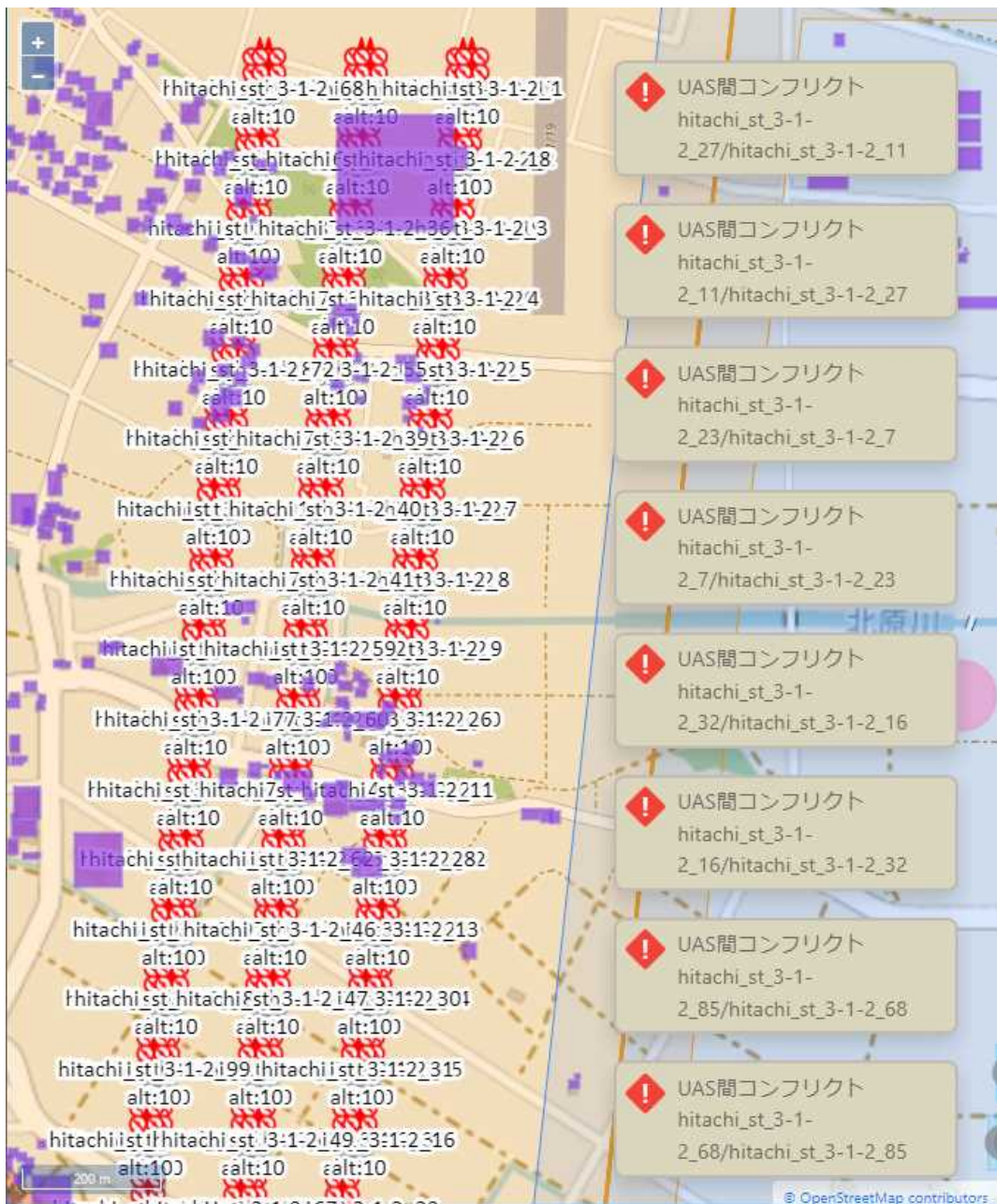


図 2. 2. 1. 10-116 東日本の性能試験時のイメージ  
(出典 : openstreetmap.org)



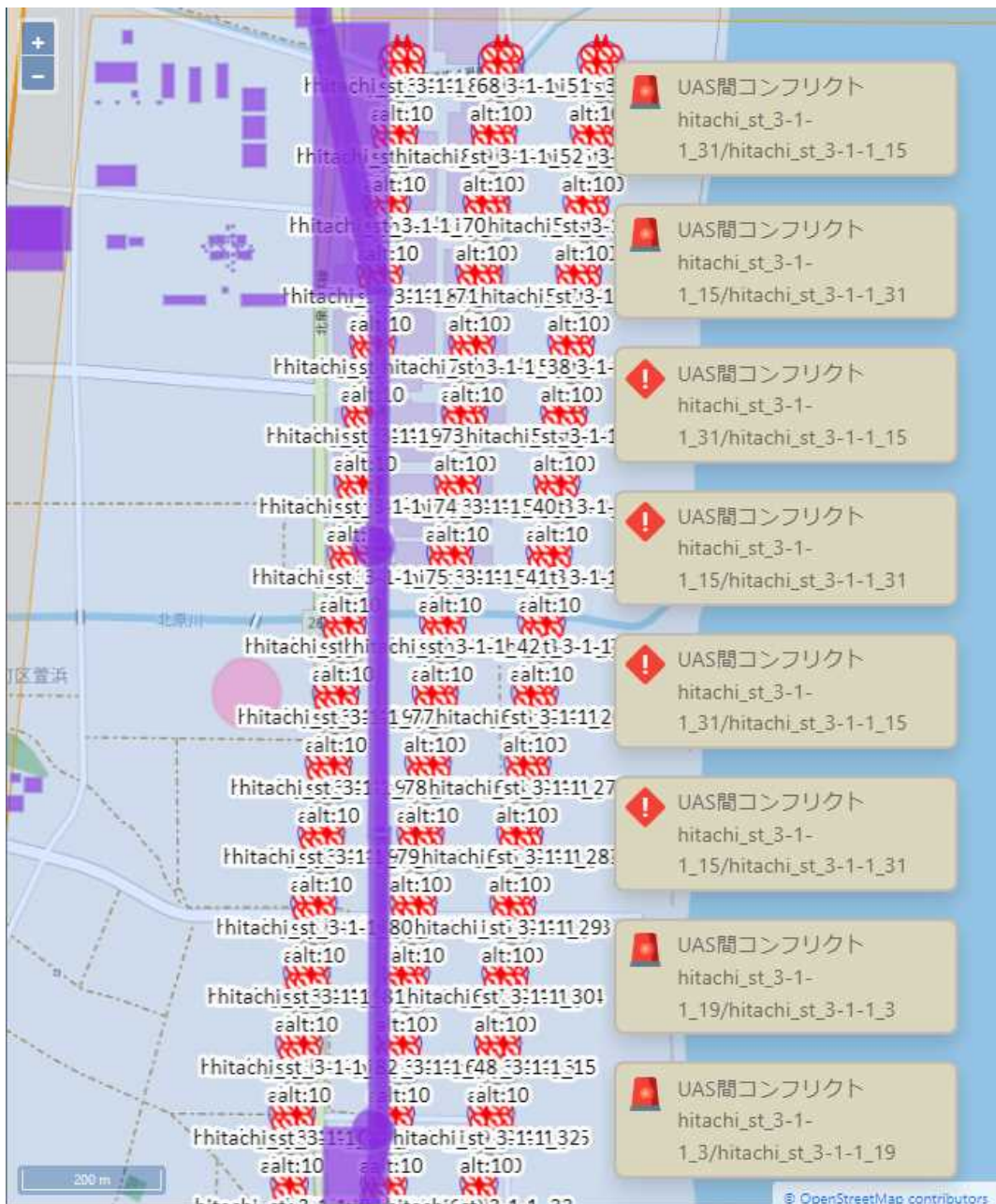


図 2. 2. 1. 10-117 西日本の性能試験時のイメージ  
(出典 : openstreetmap.org)

性能の基準を超過した原因としては代表サーバと東日本の監視処理サーバ A を同一マシン上で稼働させていたことにより、衝突判定処理に必要な CPU リソースを消費していたと想定される。東日本サーバと西日本サーバの CPU/メモリ使用率を比較すると、東日本サーバ側では CPU 使用率は高いが、メモリ使用率が低い。振り分け処理に CPU リソースを消費し、衝突判定処理量が減ったため、衝突判定処理に必要なメモリ使用率が減ったと考えられる。下表に各マシンの CPU 使用率と空メモリ容量を示す。

表 2.2.1.10-40 東日本、西日本のマシンの CPU 使用率と空メモリ容量

処理	消費リソース			
	マシン全体のリソース	種類	東日本 ※代表サーバ同居	西日本 ※代表サーバなし
200 機分のテレメトリ、 100 機分の UAS 間コンフリクト警報、 100 機分の近傍機体通知	CPU 使用率 [%]	最大	81	63
		平均	65	54
	空きメモリ容量 [MB]	最大	4,839	2,988
		平均	4,766	2,932
100 機分の飛行計画逸脱警報	CPU 使用率 [%]	最大	49	28
		平均	41	22
	空きメモリ容量 [KB]	最大	3,346	4,332
		平均	3,315	4,317

つまり「(A) 処理分散構成の検討」で示した理想形の分散構成に合わせて代表サーバを別マシンに移せば、東日本の監視処理サーバでも西日本と同様に性能が出ている想定ができる。そのため地域によるスケールアウトは構成を適切に考慮することで可能になると想定できる。下図に東西日本 100 機ずつの処理分散可能な構成を示す。

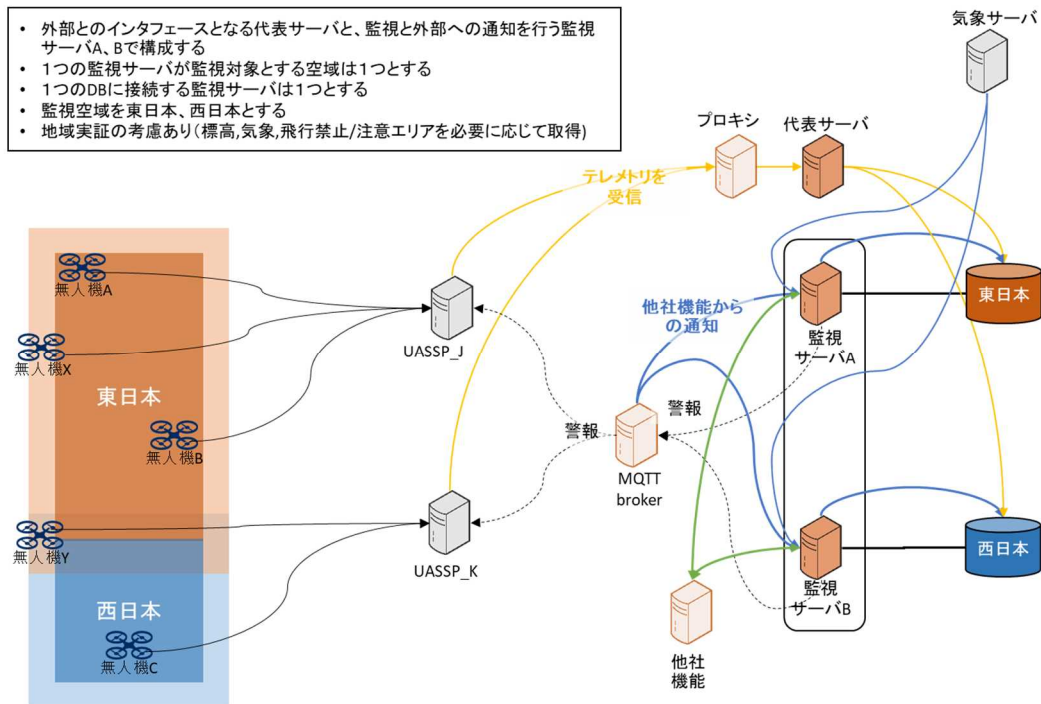


図 2.2.1.10-118 東西日本 100 機ずつの処理分散可能な構成

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

代表サーバ、飛行状況管理機能サーバの最適構成検討及びスケールアウトの確認は十分達成できたと考える。より多くの地域分割に対応するために、「図 2. 2. 1. 10-113 処理分散構成の理想形」で示した理想形の分散構成での検証が必要である。具体的にはロードバランスによる代表サーバの分散構成や DB のクラスタリング構成を検討する必要があると考えている。

ただし、地域の分割方式によっては、処理能力に差が出ることが想定される。例えば都道府県単位に空域を分割した場合、都道府県の県境に当たる箇所は複雑な形状となるため、処理に大きく影響を与える。そのため、四角形などの単調な空域での分割を行い、重複する空域を双方の UTM で監視する形態が望ましいと想定する。エリア分割例を図 2. 2. 1. 10-119 に示す。

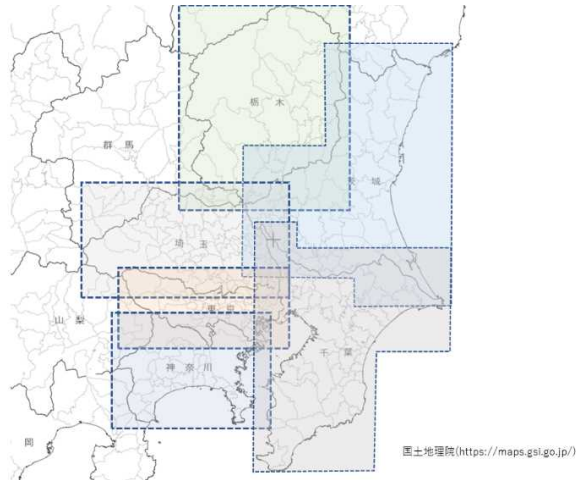


図 2. 2. 1. 10-119 エリア分割例  
(出典：地国土地理院 <https://maps.gssi.go.jp/>)

#### 5.4. 研究開発項目③「全国の地図情報、気象情報の活用技術の開発」

##### 5.4.1. 「地図情報機能改善の開発」(実施者：日本電気株式会社)

###### (1) 実施事項

###### (A) 全国規模整備された地図情報の表示に向けた研究

全国規模で整備されている地図として、Tile Map Service を採用し、運航管理統合機能で活用するユースケースを研究した。また FIMS-SDSP(地図情報)のインターフェースは拡張性、デバイスを問わない柔軟性を考慮し Web GIS を採用し研究を実施した。

###### (B) 地図情報に係る空域情報管理機能の改善研究と連携した地図情報表示に向けた研究

飛行計画申請時等における参考情報として各事業者向けに活用できるよう、地図画面上に飛行禁止エリア及び飛行禁止区域および標高データを表示する機能を株式会社エヌ・ティ・ティ・データの地図情報に係る空域情報管理機能の改善研究と連携して行えるよう研究を実施した。

###### (C) 全国の気象情報の管理、活用技術の開発と連携した気象情報表示に向けた研究

飛行計画申請時等における参考情報として各事業者向けに活用できるよう、地図画面上にアメダス情報や高解像度気象情報をオーバーレイして表示する機能を株式会社ウェザーニューズの全国の気象情報の管理、活用技術の開発研究と連携して行えるよう研究を実施した。



(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 全国規模整備された地図情報の表示に向けた研究

Tile Map Serviceとして、当初は国土地理院の地理院タイルを採用した。

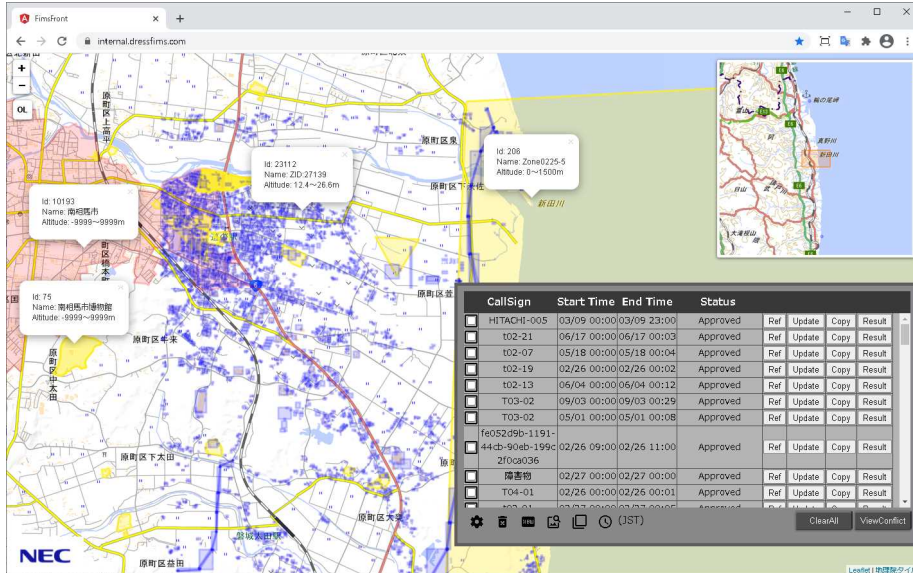


図 2. 2. 1. 10-120 地理院タイルによる表示  
(出典：地国土地理院 <https://maps.gssi.go.jp/>)

実証実験を行った結果、無人航空機が飛行するエリアは狭域のため、地図拡大時、より詳細な地図を表示することができる Open Street Map タイルに変更することとなった。

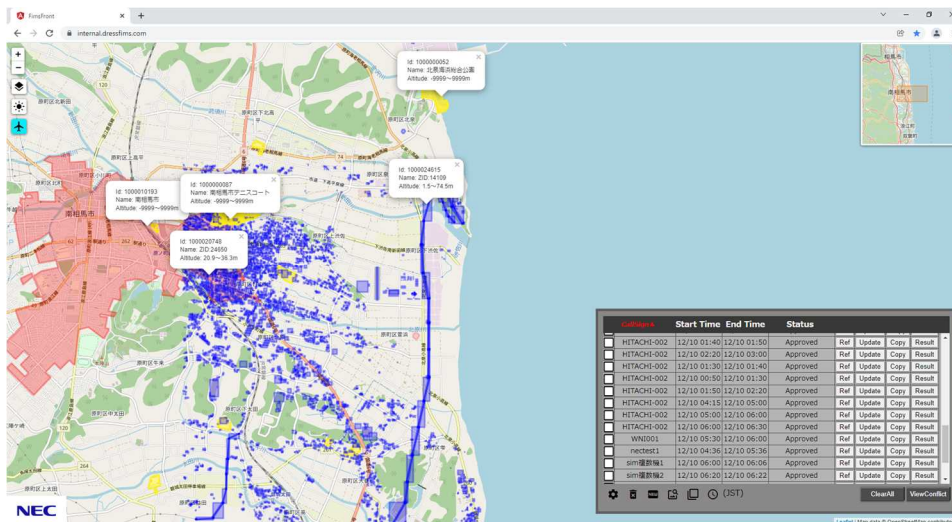


図 2. 2. 1. 10-121 Open Street Map タイルによる表示  
(出典：openstreetmap.org)

また、国土地理院の陰影起伏図、色別標高図、写真、OSM Buildings をオーバーレイすることにより、地形データを確認することを可能とした。

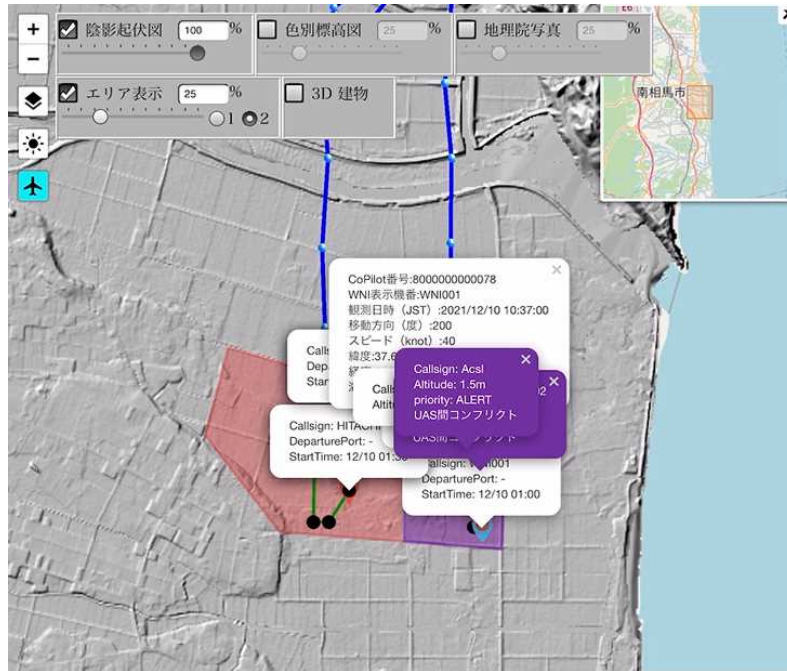


図 2. 2. 1. 10-122 陰影起伏図表示  
(出典：地国土地理院 <https://maps.gssi.go.jp/>)

(B) 地図情報に係る空域情報管理機能の改善研究と連携した地図情報表示に向けた研究

空域情報管理機能の改善研究と連携し、地図表示時に空域情報管理から飛行禁止エリアの情報を取得し、地図上に表示することで飛行禁止エリアの可視化を行った。

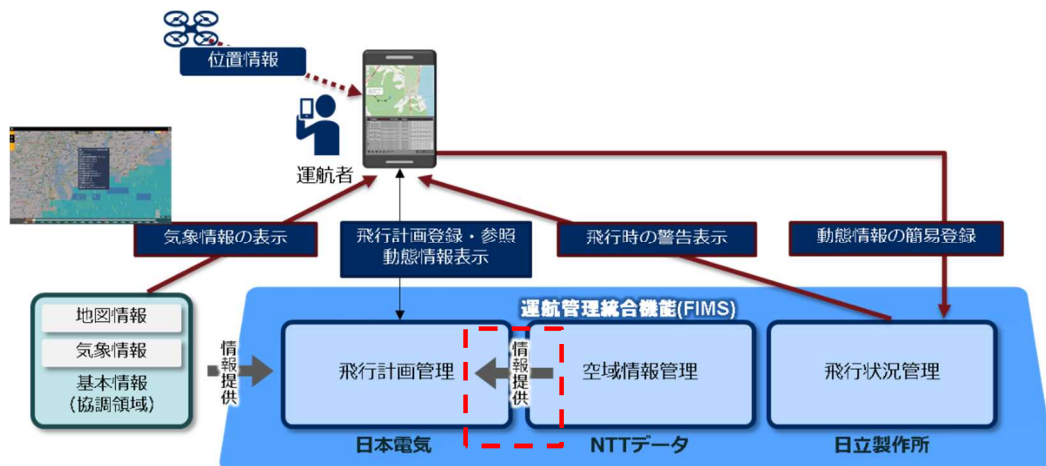


図 2. 1. 1. 10-123 地図情報に係る空域情報管理機能の改善研究と連携した地図情報表示に向けた研究の範囲

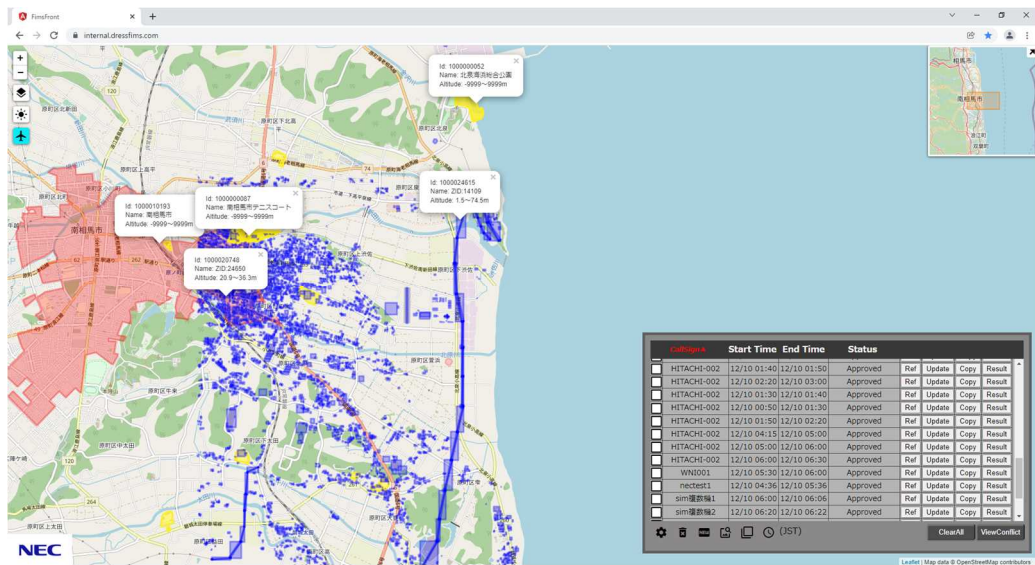


図 2. 2. 1. 10-124 飛行禁止エリアの表示  
(出典 : openstreetmap.org)

飛行禁止エリアと、申請された飛行計画、無人航空機の動態情報を同時に表示することでより安全な無人航空機の運航を実現することができた。

- (C) 全国の気象情報の管理、活用技術の開発と連携した気象情報表示に向けた研究  
ウェザーニュースの全国の気象情報を地図上にオーバーレイし、飛行計画登録時の参考情報として地図画面上で確認できるようにした。

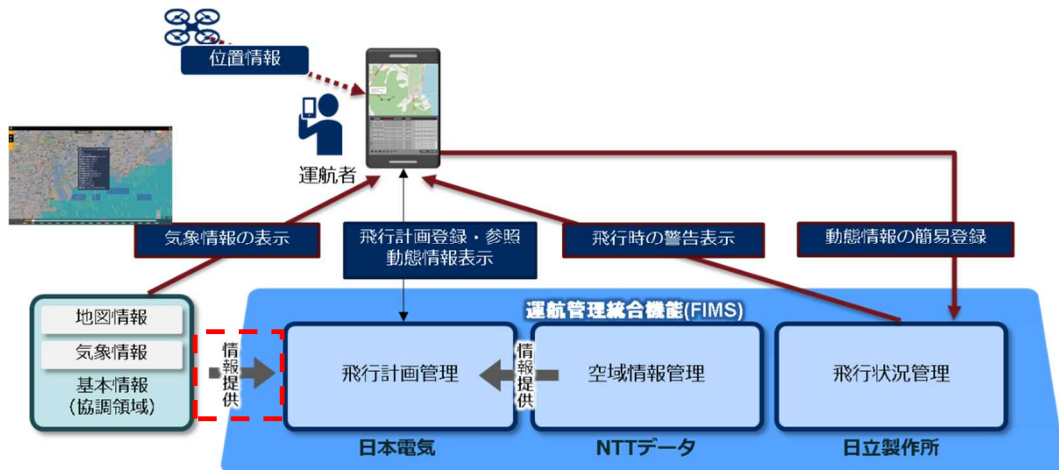


図 2. 2. 1. 10-125 全国の気象情報の管理、活用技術の開発と連携した気象情報表示に向けた研究の範囲



図 2. 2. 1. 10-126 に示す画像は福島ロボットテストフィールドにおける実証試験を行った際の気象情報画面表示の一例である。(風速情報のプロット)

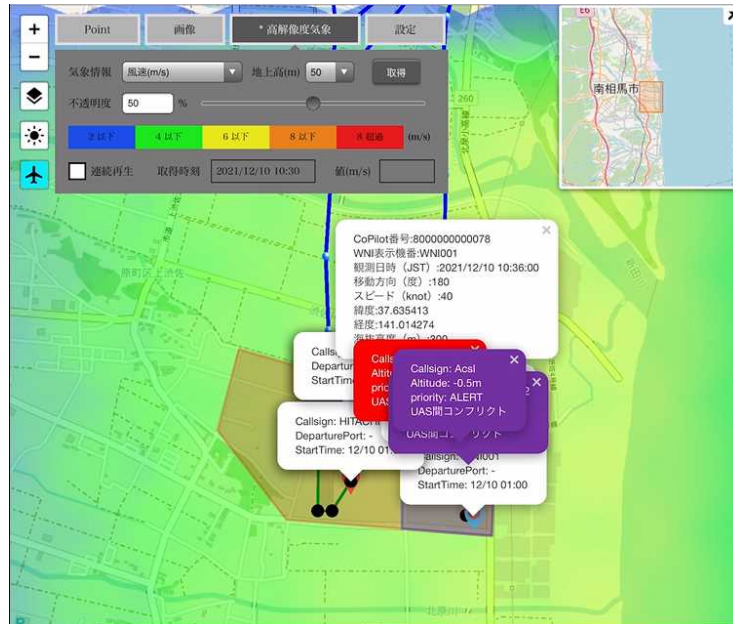


図 2. 2. 1. 10-126 実証試験時における気象情報(風速)の地図画面表示  
(出典 : openstreetmap.org)

図 2. 2. 1. 10-127 に示す画像は短期予報を表示した際の気象情報画面表示の一例である。

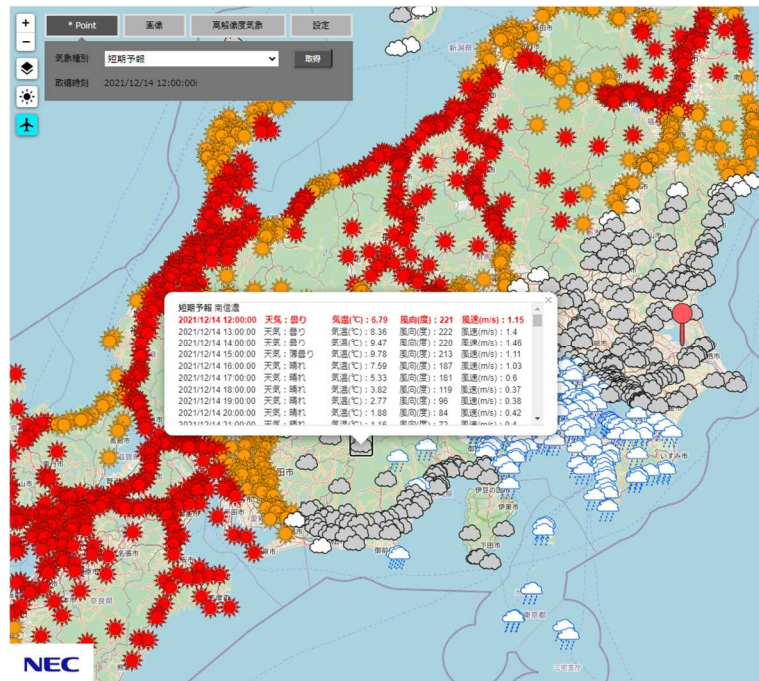


図 2. 2. 1. 10-127 短期予報表示時の地図画面表示  
(出典 : openstreetmap.org)

実証実験では下表の気象情報を表示し、確認を行った。

表 2.2.1.10-41 気象種別とオーバレイ方式

気象種別		オーバレイ方式	概要
アメダス		ポイント情報	全地点の最新のアメダス情報を表示する。
SYNOP		ポイント情報	全地点の最新の SYNOP 情報を表示する。
METAR		ポイント情報	ICAO コードによる空港情報を取得し、全世界の最新の METAR 情報を表示する。
WNI 観測機		ポイント情報	WNI 観測地点の観測データを表示する。
短期予報		ポイント情報	任意地点、固定地点の短期予報情報を表示する。
雷 LIDEN		ポイント情報	最新の雷の発生情報を表示する。
レーダー画像		Tile Map Service	気象庁レーダーが観測した画像データを表示する。
GPV データ情報		Tile Map Service	GPV の画像データを表示する。
衛星画像		Tile Map Service	衛星画像を表示する。
高解像度降水ナウキャスト		Tile Map Service	降水の短時間予報を表示する。
雷ナウキャスト		Tile Map Service	過去 60 分以内に観測された雷のデータを表示する。
レーダーアメダス		Tile Map Service	レーダーアメダス情報を表示する。
高解像度 気象	風速 (m/s)	ヒートマップ	指定されたエリアの風速 (m/s) を取得する。
	気温 (°C)	ヒートマップ	指定されたエリアの気温 (°C) を取得する。
	相対湿度 (%)	ヒートマップ	指定されたエリアの相対湿度 (%) を取得する。
	気圧 (Ph)	ヒートマップ	指定されたエリアの気圧 (Ph) を取得する。
	降水量 (m)	ヒートマップ	指定されたエリアの降水量 (m) を取得する。

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 全国規模整備された地図情報の表示に向けた研究

Open Street Map は更新頻度が低いため表示された地図情報が古い地点が存在した。また、住宅街レベルまでの表示することができないという課題が検出された。更新頻度が高く住宅街レベルまで表示可能な Tile Map Service の選定、または Tile Map Service 以外の地図表示方法を検討する必要がある。

(B) 地図情報に係る空域情報管理機能の改善研究と連携した地図情報表示に向けた研究

飛行禁止エリアのデータ量が多いため、フロントエンド、バックエンド共に高負荷となるという問題が検出された。フロントエンドについては表示方法を再検討する必要がある。バックエンドについては飛行禁止エリア情報取得の高速化のためのアーキテクチャの設計が必要となる。

(C) 全国の気象情報の管理、活用技術の開発と連携した気象情報表示に向けた研究

表示される気象情報の各種値について、グリッド単位で取得した値からそれ以外の地点についてはグリッドからの距離に応じて算出された値で表示しており、グリッドから離れるほど情報の精度が下がってしまう。表示する値についての算出方法について見直しが必要となる。

実証実験として多くの気象種別を表示したが、どれが有用な情報であるか迷うことがあった。より有用な情報の選定と表示 UI の見直しが必要である。

5.4.2. 「地図情報に係る空域情報管理機能の改善」(実施者：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)

(1) 実施事項

- (A) 現在の運用に合わせた無人航空機の安全運航に必要な地図および空域情報の調査  
全国規模で整備された飛行禁止空域及び標高データを空域管理機能で管理し、運航管理統合機能の飛行計画管理および飛行状況管理で効率的に活用する機能について研究を行った。本研究では、2019年度までの成果も踏まえ、現在の運用に合わせて新規取込みが有効と考えられる地図・空域種別の調査、標高データの取込み範囲の整理を行った。
- (B) 上記情報の取得方法／取込み手法の検討（インタフェースやデータ変換機能の検討）  
前項(A)で調査し、本研究で対象とした情報ごとに、取得方法／取込み手法を検討した。
- (C) 上記で検討した情報取得/取込機能の実装および評価  
前項(B)で取得・取込方法を検討した情報について、空域管理機能に実装して評価した。
- (D) 評価結果と顕在化した課題に基づく、機能改修と性能改善  
前項(C)の評価結果に基づいて、機能改修や性能改善について検討した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 現在の運用に合わせた無人航空機の安全運航に必要な地図および空域情報の調査  
本研究では、2019 年度までの研究成果や国土交通省航空局からの公開情報等を踏まえ、現在の運用に合わせて新規取込みが有効と考えられる地図・空域種別を調査し、「重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）」、「航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）」、有人航空の空域情報として「制限空域および訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）」を対象とすることと整理した。

また、全国展開を踏まえて、2019 年度までに福島ロボットテストフィールド付近など限定的な一部地域のみの高標高データを保持するにとどまっていたところを改善し、全国の標高データを保持することと整理した。

(B) 上記情報の取得方法／取込み手法の検討（インタフェースやデータ変換機能の検討）

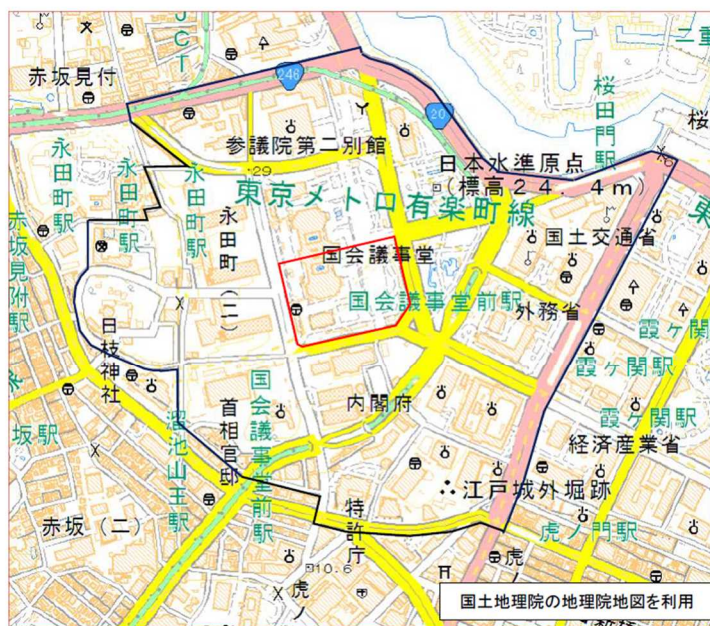
対象とする情報ごとに、取得方法／取込み手法を検討した成果を以下に示す。

a) 重要施設情報（警察管轄施設、防衛省・米軍関連施設）

警察管轄施設については、警察庁警備局が HP で公開している「小型無人機等飛行禁止法に基づく対象施設の指定関係

(<https://www.npa.go.jp/bureau/security/kogatamujinki/shitei.html>)」を参考とし、国の重要な施設等／対象外国公館等／対象防衛関係施設／対象空港／対象原子力事業所の施設情報を取込み対象とした。対象原子力事業所を除いては、地図上で対象施設の敷地等を図示したものが PDF 化されて提供されているが、運航管理統合機能の空域管理機能に取り込むためには、図示されている情報を電子データ化（緯度経度情報を持つポリゴンとして変換）し、定義済みの DB 項目に合致するようデータ整理を行い、SQL 構文化して、空域管理機能のデータベースへ取込むこととした。

国会議事堂(衆議院所管部分) 対象施設の敷地及び周辺地域



この地図は、縮尺2万5,000分の1の地形図相当の誤差を有しております。また、地図上に記載した区域を示す線はデータ作成上の誤差を含んでいます。そのため、区域の概略の位置を示す参考図として御利用ください。

対象施設の敷地   
 対象施設周辺地域

図 2. 2. 1. 10-128 公開されている重要施設（警察管轄施設）情報の例  
 (出典：

[https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb\\_annai.nsf/html/statics/osirase/hikoukinshi\\_gijidou.pdf/\\$File/hikoukinshi\\_gijidou.pdf](https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_annai.nsf/html/statics/osirase/hikoukinshi_gijidou.pdf/$File/hikoukinshi_gijidou.pdf))

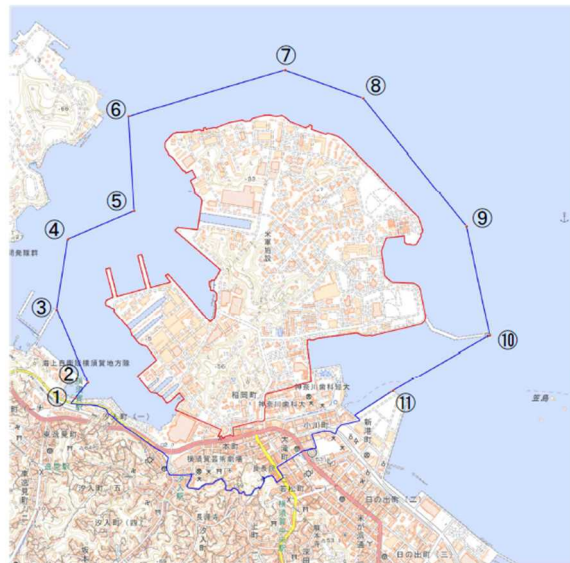
警察管轄施設のうち、対象原子力事業所については、HP 上で明確に対象施設の敷地等の情報を示すものが公開されていなかったため、国土地理院の地図情報から対象施設敷地を目視で読み取った上で、前述の他施設情報と同様、電子データ化・SQL構文化ののち、空域管理機能のデータベースへ取り込むこととした。この際、地図情報から読み取った敷地に対して、バッファとなる領域を持たせるべきか、持たせる場合にはどれくらいの範囲が妥当かについて、現時点では判断根拠とするに有意な情報がなく、今後の課題と考えた。

防衛省・米軍関連施設については、防衛省・自衛隊がHPで公開している「小型無人機等飛行禁止法関係」で示される「自衛隊の対象防衛関係施設の一覧」(<https://www.mod.go.jp/j/presiding/law/drone/list.html>) および「在日米軍の対象防衛関係施設の一覧」

([https://www.mod.go.jp/j/presiding/law/drone/list\\_zai beigun.html](https://www.mod.go.jp/j/presiding/law/drone/list_zai beigun.html))」を参考とし、これらの施設情報を取込み対象とした。空域管理機能への取込み手法については、前述の警察管轄施設と同様としたが、警察管轄施設の「対象防衛関係施設」で示された施設と重複したものが多く、精査が必要であった。



横須賀海軍施設周辺地域



この地図は、縮尺2万5000分の1の地形図相当の誤差を有しております。また、地図上に記載した区域を示す線は、データ作成上の誤差を含んでいます。そのため、区域の概略の位置を示す参考図としてご利用ください。

国土地理院の地理院地図を利用

対象施設の区域

対象施設周辺地域

図 2. 2. 1. 10-129 公開されている重要施設（防衛省・米軍関連施設）の例  
（出典：  
[https://www.mod.go.jp/j/presiding/law/drone/pdf/map/zaibeigun\\_map6.pdf](https://www.mod.go.jp/j/presiding/law/drone/pdf/map/zaibeigun_map6.pdf)）

b) 航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）

国土交通省航空局では、有人航空機の管制に必要な情報として全国の障害物データを公示している。無人航空機の運用においても、安全性確保の観点から障害物データの活用が有効と考え、AIS JAPAN（電子航空路誌）で提供される障害物データをダウンロードし（csv ファイル形式、kml ファイル形式で提供）、空域管理機能へ取込むこととした。取込み手法としては、前述の重要施設情報の取込みと同様、SQL 構文化して、空域管理機能のデータベースへ取込むこととした。

c) 制限空域および訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）

2019 年度までの研究成果で、将来の有人航空機側システムと情報連携を見据えて有人航空の空域情報の取込みの必要性を示唆した。本研究では、有人航空機の空域情報のうち、制限空域、民間訓練試験空域、自衛隊訓練試験空域、臨時訓練試験空域について、空域管理機能への取込み方法について検討した。空域情報の取得にあたっては、AIS JAPAN にて提供される AIP（航空路誌）の「ENR 5.1 禁止、制限及び危険区域」、「ENR 5.2 演習及び訓練空域並びに防空識別圏」、「ENR 5.3 その他危険を伴う諸活動」および補足資料（SUP）を取得元とした。



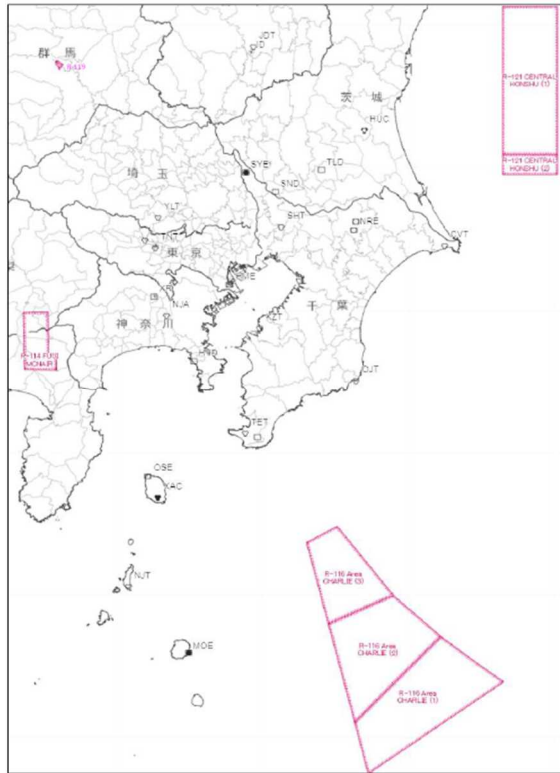


図 2. 2. 1. 10-130 関東甲信越エリアの空域制限として定義されたエリア（制限空域）  
 （出典：地図表示画面 国土交通省 AIS JAPAN サイト  
<https://aisjapan.mlit.go.jp/>）

AIP で定義された制限空域、訓練試験空域のエリアについては、複数のフォーマットの異なるエリア定義によって指定されている。このため、空域管理機能への取込む際の座標抽出手順を検討した。検討にあたっては、まず、エリア定義のパターンを整理する観点を抽出し、その後、抽出した観点に従って、AIP で定義された制限空域、訓練試験空域の全エリアについてパターン分け（汎化）を行った。

(1) エリアの形状

AIP および AIS の AIVIEW で図示されたエリアの形状について、パターンを抽出する。  
以下は例である。

- ①直線を繋げたエリア形状
- ②特定の場所を中心とした、レンジ／アジマスで示したエリア形状
- ③地形に基づく境界（市区町村、川、海岸線など）を示したエリア
- ④上記①②③を組み合わせたエリア

(2) エリアの形状を表す情報

AIP の表に記載された、エリアを形作る座標情報の記述方法について、パターン抽出する。  
以下は例である。

- ①指定された座標を結んだエリア
- ②特定の場所を中心として、レンジ／アジマスで示したエリア
- ③地形に基づく境界（市区町村、川、海岸線など）を示したエリア
- ④上記①②③を組み合わせたエリア

(3) 制限高度

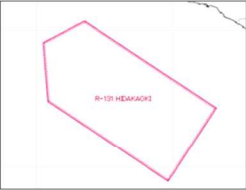

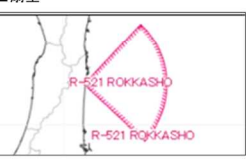
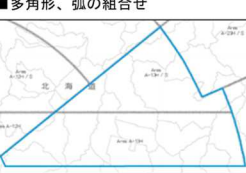
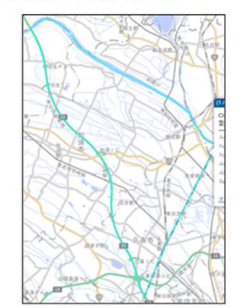
制限高度について、NOTAM による通知、上下限高度固定などのパターン抽出する。

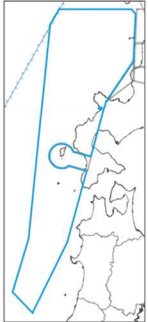
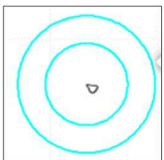
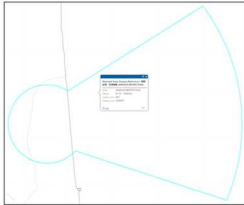

(4) 制限時刻

時間的制約について、NOTAM による通知、開始終了時刻による期間指定、全日などのパターン抽出する。

図2.2.1.10-131 エリア定義のパターン整理観点

表 2.2.1.10-42 エリア定義パターンの汎化と課題の整理

エリアパターン番号	エリア共通パターン ※記載された図は一例である。	パターン概要	エリアの座標抽出に対する課題  (注1)資料からエリアの形状を示す情報を抽出するにあたり、課題となる事柄について記載。 (注2)DBへの保持形式については別途検討が必要。保持形式によっては抽出方法の再検討が必要となる。 例えば、弧を表す図形について、座標を繋げた線分で保持するか、中心、半径、角度で保持するかなど。
1	<p>■多角形</p> 	緯度経度で指定した座標を、指定順に直線で結んだ多角形のエリア。	<p>【課題】 なし。記載内容から抽出可能。</p> <p>【確認】 (1)一部エリア定義にNOTAMにより通知される記載がある。ただし、当該エリア形状はAIR SUP (NR039/20)に定義されており、NOTAMにより通知されるエリア形状が、定義されたエリア形状と同一のものと考えてよいか確認が必要。 &lt;対象エリア&gt; ・区分：制限空域 ・エリア名：R-144</p> <p>(2)AIViewでは多角形となっているが、サークルを示す説明に中心点(半径は未記載)が記述されている。この中心点の考慮は不要の認識で良いか要確認。 &lt;対象エリア&gt; ・区分：制限空域 ・エリア名：W-174A</p>
2	<p>■円</p> 	中心点、半径を指定したエリア。	<p>【課題】 なし。記載内容から抽出可能。</p>
3	<p>■扇型</p> 	中心点、半径、角度を指定したエリア。	<p>【課題】 なし。記載内容から抽出可能。</p> <p>【確認】 半径のみ異なる扇型が2つ定義されているが、範囲の大きいほうのエリアに含めず、2つ定義している理由が不明。 &lt;対象エリア&gt; ・区分：制限空域 ・エリア名：R-521</p>
4	<p>■多角形、弧の組合せ</p> 	多角形の辺の一部に弧を組合せたエリア。	<p>【課題】 (1)弧の部分の情報の保持方法について検討が必要。</p> <p>【確認】 (1)経度(度分秒)の分の部分に“96”が指定されている。00~59の範囲の想定でいるが、誤記であれば正しい値を確認する必要がある。 実際に定義されている内容は、「1279600E」となる。 &lt;対象エリア&gt; ・区分：制限空域 ・エリア名：W-174</p>
5	<p>■多角形と、地理上の境界線および公共施設の中心線の組合せ</p> 	多角形の辺の一部に、地理上の境界線および公共施設の中心線を含むエリア。 ・市町村境界 ・海岸線 ・湖の境界 ・川の中心線 ・鉄道の中心線 ・道路の中心線 ・湖の境界線	<p>【課題】 (1)下記情報については、国土地理院の地図情報から抽出するなどの検討が必要。 ・市町村境界 ・海岸線 ・湖の境界 ・川の中心線 ・鉄道の中心線 ・道路の中心線</p>

エリアパターン番号	エリア共通パターン ※記載された図は一例である。	パターン概要	エリアの座標抽出に対する課題  (注1) 資料からエリアの形状を示す情報を抽出するにあたり、課題となる事柄について記載。 (注2) DBへの保持形式については別途検討が必要。保持形式によっては抽出方法の再検討が必要となる。 例えば、弧を表す図形について、座標を繋げた線分で保持するか、中心、半径、角度で保持するかなど。
6	<p>■多角形のエリアから他で定義したエリアを除いたエリア</p> 	基本となる多角形のエリアから、他で指定したエリアの重なる領域を除外したエリア。	<p>【課題】 なし。記載内容から抽出可能。</p> <p>【確認】 (1) 指定された円が重なる領域について、高度制限のみ定義した記載がある。この高度に制限について有効とすべきか確認が必要。 &lt;対象エリア&gt; ・区分：民間訓練試験空域 ・エリア名：TH13-1、HT13-2、CK21-2、KS2</p> <p>(2) 一部角度の単位に「° T」の記述があるが、真北(true north)を表していると想定。この認識であっているか要確認。 &lt;対象エリア&gt; ・区分：民間訓練試験空域 ・エリア名：HK2-4、HK2-7、TH3-1、TH3-2、KK3-1、KK3-2</p>
7	<p>■外側のエリアに包含されるエリアの領域を除いたエリア</p> 	外側のエリアから、内側のエリアの重なる領域を除外したエリア。	<p>【課題】 なし。記載内容から抽出可能。</p>
8	<p>■円、直線、弧の組合せ</p> 	複数指定したエリアを組合せたエリア。	<p>【課題】 (1) 円と海岸線の交点について、国土地理院の地図情報から抽出するなどの検討が必要。 &lt;対象エリア&gt; ・区分：制限空域 ・エリア名：R-130 MISAWA</p> <p>(2) 2直線上の任意の点から一定の幅の範囲の取得方法について検討が必要。 &lt;対象エリア&gt; ・区分：自衛隊訓練試験空域 ・エリア名：Area C-2</p> <p>(3) 特定の緯度あるいは経度を基にした直線から一定幅を持たせた平行線を取得する方法について検討が必要。 &lt;対象エリア&gt; ・区分：自衛隊訓練試験空域 ・エリア名：Area S-1、Area S-2</p>
9	<p>■円、直線の組合せ</p> 	円と線を組合せたエリア。	<p>【課題】 なし。記載内容から抽出可能。</p> <p>【確認】 一部角度の単位に「° T」の記述があるが、真北(true north)を表していると想定。この認識であっているか要確認。 &lt;対象エリア&gt; ・区分：民間訓練試験空域 ・エリア名：HK2-4、HK2-7、TH3-1、TH3-2、KK3-1、KK3-2</p>

(出典：地図表示画面 国土交通省 AIS JAPAN サイト  
<https://aisjapan.mlit.go.jp/>)

エリア定義のパターン整理を実施した結果、エリア定義が円弧で指定している場合や、海岸線に沿った形状となっている場合など、データ化する上で課題があることがわかった。エリアをデータ化するには、ポリゴンもしくは円柱で形状を作成して登録する必要がある。エリアが円弧で指定される場合は、完全な円形ではないためポリゴンとして多角形の近似でデータ化せざるを得なく、円弧のエリア境界の部分では、本来は訓練試験空域内であるにも関わらず空域外と登録されてしまう場所、またその逆となる場所が出てくる懸念がある。また、エリアが海岸線に沿った形状の場合には、複雑な地形をポリゴンで模擬することに非常に時間がかかり、複雑度によってはポリゴンで表現するには限界がある場合も考えられる。

#### d) 全国標高データ

標高データについては、2019年度までの研究成果を踏襲して、情報取得元は国土地理院とするが、全国展開を見据えて全国分の標高データの取込み手法について検討した。無人航空機の運航管理に資するためには、ある程度の精度の標高データが必要となるが（過去の研究成果を踏襲して10mメッシュデータを採用）、精度の高い標高データはデータ量が大きくなる。データ量が多いと、データ取込みにも時間を要し、データ活用時の性能にも影響を与えるため、データ取込み方法・保持方法が課題であり、別テーマである「空域情報の分散管理技術の開発」と合わせて研究していくことが不可欠であった。

分散管理側の検討で、運航管理統合機能のオンプレミスのサーバは東西の2分割することとなったが、東西に2分割したとしても全国分標高データを投入すると、DB容量が枯渇することが想定されたため、クラウド環境（Amazon Web Services (AWS)）でのデータ保持の方針で検討を進めた。取込み方法は、これまでの方法を踏襲し、国土地理院HPからダウンロードした標高データをSQL化してDB投入することとした。

### (C) 検討した情報取得/取込機能の実装および評価

本研究では、前項（B）で取得・取込方法を検討した中から、「重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）」、「航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）」および「全国標高データ」を実装し、評価した。

「制限空域および訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）」については、前述のとおり、エリアが円弧で指定されている場合や海岸線に沿った形状となっている場合などで、データ化して取込むことが現状では難しいため、本研究内での実装は見送った。今後、これらの対応案についてはさらに検討を深める必要がある。

#### a) 重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）

前項（B）で検討した取得方法、取込み手法に基づき、空域管理機能の飛行禁止／注意空域情報 DB に飛行禁止空域の情報区分：その他として、情報を取込んだ。情報取込み後、結合試験および実証実験において、追加した飛行禁止空域を加味して飛行計画申請時および飛行中の干渉チェックが行われるかを確認した。

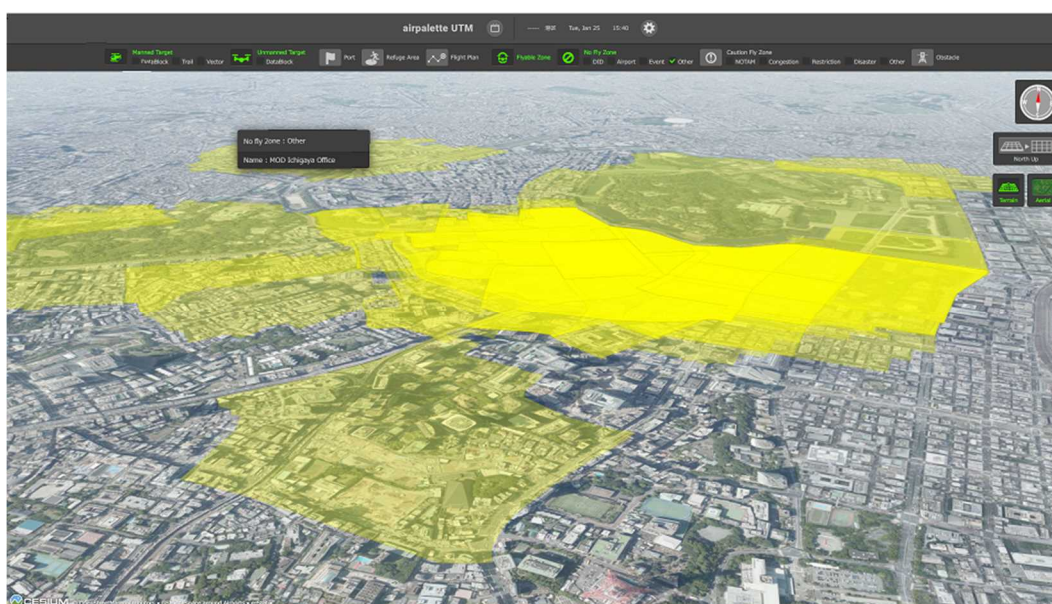


図 2. 2. 1. 10-132 運用管理統合機能へ飛行禁止空域として取込んだ重要施設情報  
(出典 : openstreetmap.org)



b) 航空局から公示された全国の障害物データ (eTOD)

前項 (B) で検討した取得方法、取込み手法に基づき、空域管理機能の地表障害物／標高情報 DB に、地表障害物データとして情報を取込んだ。情報取込み後、結合試験および実証実験において、追加した全国障害物データを加味して飛行計画申請時および飛行中の干渉チェックが行われるかを確認した。

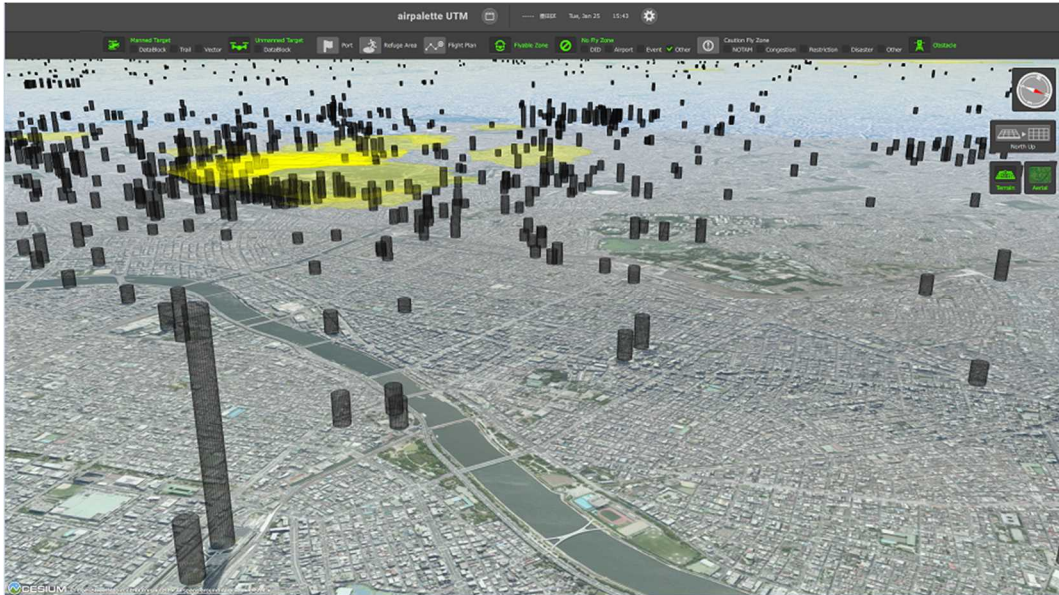


図 2. 2. 1. 10-133 運用管理統合機能へ取込んだ eTOD データ  
(出典 : openstreetmap.org)

c) 全国標高データ

前項 (B) で検討した取得方法、取込み手法に基づき、空域管理機能の地表障害物／標高情報 DB に、全国標高データを取込んだ。情報取込み後、結合試験および実証実験において、追加した全国標高データを加味して飛行計画申請時および飛行中の干渉チェックが行われるか、その際に性能劣化等が見られないかを確認した。

(D) 評価結果と顕在化した課題に基づく、機能改修と性能改善

重要施設情報 (警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設) および航空局から公示された全国の障害物データ (eTOD) については、情報追加後に実施した結合試験や実証実験において、飛行計画管理機能および飛行状況管理機能含む既存機能へ影響がないことを確認した。ただし、障害物データに関しては、分散管理技術の研究にて福島ロボットテストフィールド付近のエリアで障害物問合せの性能検証した際、広域 (半径 10km) での問合せの場合に、レスポンスに 1 分程度かかることが分かった。この結果に関する考察等は 5. 3. 2. 章にて説明する。

全国標高データについては、情報追加後に実施した結合試験や実証実験で、飛行計画管理機能及び飛行状況管理機能で標高データとの干渉チェックを行う際の処理時間に影響があること (性能課題) が顕在化した。本研究ではこの性能課題を受け、データ格納 DB の分割数の最適化、データ管理方式の最適化の 2 つのアプローチで性能改善が見込まれるかどうかを追加検証した。具体的な検証内容および検証結果については、5. 3. 2 章で説明している。



### (3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

本研究では、現在の運用に合わせて新規取込みが有効と考えられる「重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）」、「航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）」、および、全国展開を踏まえて「全国標高データ」を新たに取込み、評価を行った。また、有人航空の空域情報として「制限空域および訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）」の情報取得方法、取込み手法の調査・検討を実施した。

「重要施設情報（警察管轄施設、防衛関連施設、原子力施設）」について、警察管轄施設・防衛関連施設の情報は公開されているものの、地図上で対象区域を枠で囲んだ画像ファイルを PDF 化しての提供であり、運航管理統合機能に取込めるような電子データの形では整備されていなかった。今後の社会実装に向けては、公開情報を基にした、電子データの整備・管理（提供、定期的な更新）などの在り方について検討を深める必要がある。また、原子力施設については、電子データ整備のもととなると思われる PDF ファイル自体も未提供であり、原子力施設周辺のどの範囲を飛行禁止空域とすべきかを含めて検討していく必要がある。

「航空局から公示された全国の障害物データ（eTOD）」については、電子データでの提供があるが、運航管理統合機能上へ取り込む際の更新頻度の妥当性についてはさらに検討する必要がある。

「全国標高データ」については、データ量が膨大であり、本研究では性能面での課題があることが判明したが、本研究において、技術的な解決の方向性（データ分散保持、データ管理方式の見直し）は確認できたため、社会実装に向けて現実的な実装方法を見極めていく必要がある。

「制限空域および訓練試験空域（民間／自衛隊／臨時）」について、本研究では、情報取得方法および取込み手法の調査・検討までの対応となったため、今後は実装・評価を実施し、課題の洗い出し・改善を実施していく必要がある。

また、無人航空機の運用時にはユースケースによって、安全面を考慮し、事前に空域調整したうえで飛行禁止空域を飛行させた方がよいと判断するケースもあると考えられる。しかし、事前の空域調整における手順・調整先が明確になっていないケースもあると想定されるため、今後は飛行禁止空域の整備に加え、各空域の調整先や調整手順等の整理・公開についても検討を深める必要があると考える。

#### 5.4.3. 「地図情報機能改善の開発」(実施者：株式会社日立製作所)

##### (1) 実施事項

###### (A) 全国版の標高、気象データ取得機能の実装

2019年度までは標高、気象データの取得可能な地域は福島 RTF 周辺に限られていた。本研究において、全国の標高、気象データの取得を可能とするよう処理改修を実施した。

###### (B) 複数気象 SDSP 対応

2019年度までの研究において、日本気象協会現況気象情報、ウェザーニューズアラート情報に対応した。

本研究においては、新たにウェザーニューズ現況気象情報に対応することで、複数の SDSP からの気象情報に対応可能とした。

###### (C) 飛行状況管理機能における管理エリア面積の検討

分散管理技術と関連し、標高、気象データを保持できるメモリ容量、処理能力から、最適な管理空域の面積を算出し、社会実装時のサーバ台数の根拠を検討した。

(2) 研究を通じて得られた成果

(A) 全国版の標高、気象データ取得機能の実装

2019年度までは標高、気象データの取得可能な地域は福島 RTF 周辺に限られていたが、本研究では全国のデータを取得可能とした。

標高データ取得では、取得 REST API のレスポンスデータ変更に対応した。

気象データ取得では、SDSP が日本気象協会から株式会社ウェザーニューズへの変更したことに伴い、株式会社ウェザーニューズの取得 REST API に対応する機能を実装した。

(B) 複数気象 SDSP 対応

気象 SDSP を日本気象協会と株式会社ウェザーニューズとで切り替え可能となった。これにより下図のように使用している気象 SDSP①に障害が起こった際に気象 SDSP②に切り替えるという復旧手段ができた。

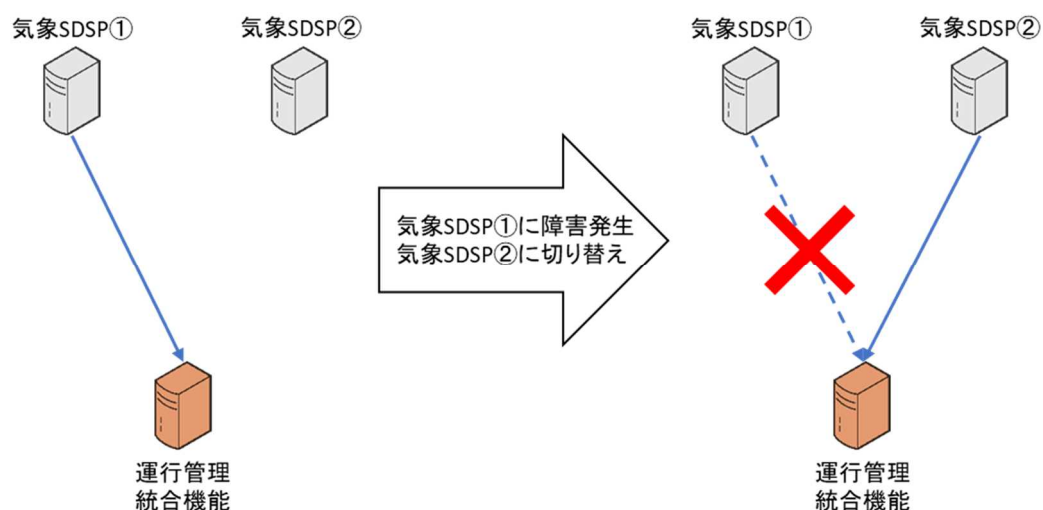


図 2. 2. 1. 10-134 気象 SDSP の切り替え

・ ウェザーニューズからの気象情報取得

2019年度までと同等の気象データを提供するウェザーニューズの気象情報取得 REST API に対応し、これまでと同様の活用ができた。詳細を以下に示す。

① 降雨情報

降雨エリア表示および侵入警報のイメージ図を以下に示す。

水色網掛け部分は降水量 0.1 [mm/h] 以上の降雨エリアを示しており、エリア接近時及び侵入時には警報の発報を行った。

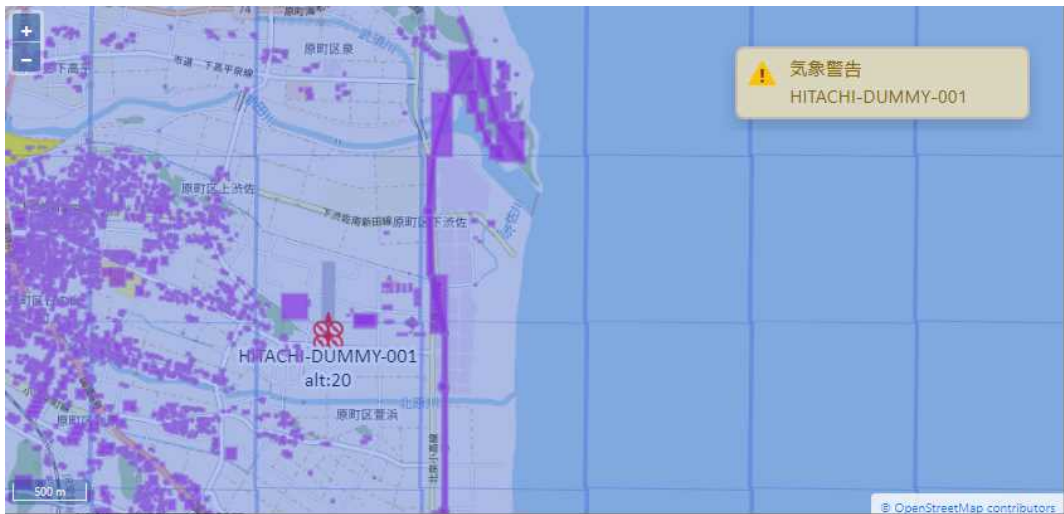


図 2. 2. 1. 10-135 降雨エリア表示および侵入警報のイメージ  
 (出典 : openstreetmap.org)

② 風速情報

強風エリア表示および侵入警報のイメージ図を以下に示す。

灰色網掛け部分は風速 10[m/s]以上の強風エリアを示しており、エリア接近時及び侵入時には警報の発報を行った。

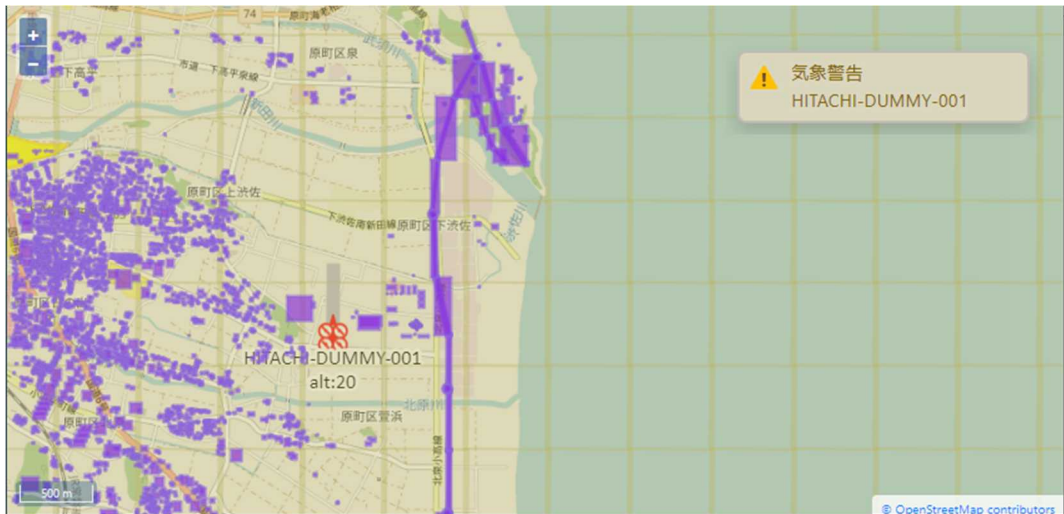


図 2. 2. 1. 10-136 強風エリア表示および侵入警報のイメージ  
 (出典 : openstreetmap.org)

(C) 飛行状況管理機能における管理エリア面積の検討

これまでの研究から現サーバにて保持できる、地図データに割り当て可能な最大データ量は 16,191 [MB] と算出した。根拠を表 2.2.1.10-44 に示す。一方、福島 RTF 周辺の地図データの 1 [km<sup>2</sup>] 当たりのデータ量は 1.643 [MB/km<sup>2</sup>] である。これらから 1 サーバが担当する区域の面積は、9,855 [km<sup>2</sup>] である。青森県の 9,645.62 [km<sup>2</sup>] (※1) と同程度となる。

表 2.2.1.10-43 地図データ量集計

地図データ	1 [km <sup>2</sup> ] (単位面積)		9,855 [km <sup>2</sup> ] (最大データ時)	
	データ量 [MB]	件数 [件]	データ量 [MB]	件数 [件]
標高	1.245	8,659.4	12,268	85,336,491
地表障害物	0.325	297.6	3,208	2,933,167
風速	0.071	17.5	695	172,049
降雨	0.001	1.2	8	11,549
飛行禁止／ 注意エリア	0.001	0.6	13	5,971
合計	1.643	-	16,191	-

表 2.2.1.10-44 割り当て可能な最大データ量の根拠

DB の総容量 [MB]	100,664
DB 利用会社数	3
1 社の使用可能容量 [MB]	33,555
地図データ以外の日立の DB 使用量 [MB] ※ (2022-01-10 時点)	586
地図データ以外の日立の DB 使用量 × 2 [MB] ※ (余裕を持たせるため)	1,173
地図データに使用可能な最大容量 [MB]	32,382
地図データに使用可能な最大容量 ÷ 2 [MB] ※ (余裕を持たせるため)	16,191

※1 参照文献：国土地理院技術資料 E2-No. 74 令和 3 年全国都道府県市区町村別面積調 (10 月 1 日時点)

(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

(A) 気象情報の更新間隔の短縮

気象情報は10分更新のため、その分の誤差が生じる。そのためより短い更新間隔が望まれる。

短縮が難しい場合は、更新間隔により機体と気象警報エリアの衝突余裕時間をどのように決定するかが課題となる。

(B) 適切な管理エリア単位

「表 2.2.1.10-44 割り当て可能な最大データ量の根拠」から適切な地域単位は、都道府県単位での区域分割が妥当と考える。ただし北海道などの広い地域は分割が必要である。

今後の課題としては、性能面での評価である。理由は、「表 2.2.1.10-43 地図データ量集計」の9,855[km<sup>2</sup>]内に含まれる標高データ件数が平均8,500万件以上、地表障害物は300万件近くあるため、性能によっては地域単位の縮小ないしは標高データ/地表障害物データ形式の最適化を検討する必要がある。

#### 5.4.4. 「全国の気象情報の管理、活用技術の開発」(実施者：株式会社ウェザーニューズ)

##### (1) 実施事項

無人航空機運航に最適化した全国の気象情報の管理、活用技術の研究開発を実施した。無人航空機運航判断においては特に、風向風速、降水(雨雲位置)、気温、雷の要素における確認頻度が高く、更に、有人航空機と比べ以下の3点の特徴が挙げられる。

- ・ 飛行時間が短い
- ・ 飛行エリアが比較的狭い
- ・ 機体が小さく、局地的な気象の影響を受けやすい

この3点を含めた有人航空機と無人航空機を比較した結果、および、無人航空機向けサービスとして求められる要件について、以下、図 2.2.1.10-137 有人航空機と無人航空機の比較と無人航空機に求められる気象要件にまとめた。



図 2.2.1.10-137 有人航空機と無人航空機の比較と無人航空機に求められる気象要件

無人航空機運航に求められると想定される気象情報の要件として以下を挙げる。

##### (A) No Briefing

有人航空機での運航について、大型旅客機などを用いて輸送を行う航空運送事業者では、運航計画に基づく気象情報を含む運航前のブリーフィングが実施される。また、ヘリなどの航空機使用事業者は、運航前にパイロット自身、または、ディスパッチャとともに運航ルートの確認及び気象状況の確認を行うと思われる。

無人航空機の運航においては、同時運航数の多さ、飛行距離、1フライトのコストなどを含めて、毎回の運航毎にブリーフィングを行うケースは少ないと想定される。

##### (B) Multi Flight Multi Support

無人航空機運航事業者は、有人航空機運航とは比較にならないほどの同時かつ複数機体の運航となることが想定される。そのため、1機每人手によるサポートを前提とするのではなく、複数機体を同時に気象面でサポートする必要がある。

##### (C) 高解像メッシュ

無人航空機運航の要件として、有人航空機と比較し、飛行距離が短いこと、機体が小型であること、より低空域を飛行することが想定される。そのため、有人航空機向けに提供している気象情報よりもより、高解像高詳細の気象情報が必要である。

##### (D) 超短時間予測



無人航空機は、有人航空機よりも小型であること、運航距離の短くなることが想定される。そのため、数時間先までの気象情報よりも運航時間に最適化されたより短時間の気象情報が重要である。

(E) システム自動判定

無人航空機運航では、以下の項目について、より多様化細分化が進むと思われる。

- ・ 無人航空機の用途
- ・ 運航実施エリア
- ・ 運航高度
- ・ 機体サイズ
- ・ 機体の耐風性能
- ・ 機体の耐水性能
- ・ 機体の飛行時間

これらは機体スペックという静的な要素と運航実施エリア/運航高度など動的な要素の組み合わせとなるため、あらかじめ運航機体のスペックを加味した運航可否判断基準を設けることで、動的な要素である気象条件に対して、人手を介することなくシステムでの自動判定が可能になると思われる。そのため、運航管理統合機能へのAPIによる気象情報提供が有効である。

(F) ユーザ自身によるセルフサービス

無人航空機運航が有人航空機運航と大きく異なる部分として、プレイヤーが違うという部分がある。有人航空機運航では、民間航空会社など有人航空機運航を専門とする事業者が主流であった。一方、無人航空機運航では、物流、空撮、点検、農業などあらゆる事業者が参入し、個人も含めて参入障壁が有人航空機に比べてとても低いものとなっている。有人航空機運航事業者は、気象情報を基に運航可否判断が可能である事業者が多いが、無人航空機運航においては、気象に関する知識、気象による運航可否判断が難しいことが予想される。そのため、無人航空機運航者自身で判断できるような簡潔な気象情報を提供する必要がある。

以上の要件を研究テーマに定め、無人航空機運航判断向け気象情報として、従来よりも詳細な空間解像度、時間解像度をもつ気象情報データの研究開発を実施した。さらに、実証実験において精度検証を行った。表 2.1.1.10-45 無人航空機運航判断向け気象情報の概要は、開発した気象情報一覧であり、各実施内容の詳細についても以下で報告する。

表 2. 2. 1. 10-45 無人航空機運航判断向け気象情報の概要

	気象情報	内容
A	気象実況解析情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対象エリア：日本全域(緯度経度指定)</li> <li>・ メッシュサイズ：250 m<sup>2</sup></li> <li>・ 高度：地上～5000m</li> <li>・ 高度間隔：10m 単位</li> <li>・ 対象時間：実況</li> <li>・ 更新頻度：10 分毎</li> <li>・ 気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>風向</li> <li>風速</li> </ul> </li> <li>・ API 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> <li>・ SDK 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>クライアント端末の Javascript から実況解析 API を呼び出し、気象情報を生成する。</li> </ul> </li> <li>・ UI 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>API および SDK の情報から気象 UI へ実況解析情報を地図上に表示する。</li> </ul> </li> </ul>
B	視程実況・予測情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対象エリア：日本全域</li> <li>・ メッシュサイズ：5km 四方</li> <li>・ 高度：地上</li> <li>・ 対象時間： <ul style="list-style-type: none"> <li>実況</li> <li>予測(6 時間先まで)</li> </ul> </li> <li>・ 表示内容：地図上に表示</li> <li>・ 気象情報：視程 <ul style="list-style-type: none"> <li>3 段階の視程レベルを定義した。</li> <li>視程レベルの閾値は変更可能。</li> </ul> </li> <li>・ API 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：jpeg 画像</li> </ul> </li> </ul>

	気象情報	内容
C	極短時間予測気象情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 予測メッシュサイズ：250m</li> <li>・ 高度：地上～5000m</li> <li>・ 高度間隔：10m 単位</li> <li>・ 予測：3 時間先まで 10 分間隔</li> <li>・ 気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>風向</li> <li>風速</li> </ul> </li> <li>・ 更新頻度：1 時間</li> <li>・ 気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>風向</li> <li>風速</li> </ul> </li> <li>・ API 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> <li>・ 特記事項 <ul style="list-style-type: none"> <li>A の気象実況解析情報とデータを統合管理し、API、SDK、気象 UI は A と共通化している。</li> </ul> </li> </ul>
D	極短時間予測気象アラート	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対象エリア：日本全域(緯度経度指定)</li> <li>・ メッシュサイズ：1km 四方</li> <li>・ 高度：地上</li> <li>・ 対象時間：実況、予測(3 時間先まで)</li> <li>・ 表示内容：対象エリア</li> <li>・ 気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>降水</li> <li>降雪</li> <li>気温</li> <li>風向</li> <li>風速</li> <li>雷</li> </ul> </li> <li>・ API 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> </ul>

	気象情報	内容
E	警報・注意報情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：日本全域(緯度経度指定)</li> <li>・対象時間：警報/注意報発令期間中</li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>発表時刻</li> <li>市町村名</li> <li>市町村コード</li> <li>注意報/警報コード</li> </ul> </li> <li>・API仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> <li>・特記事項 <ul style="list-style-type: none"> <li>気象庁の発表する38種類の警報/注意報を扱う。</li> </ul> </li> </ul>
F	台風情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象エリア：日本近海含む全域</li> <li>・対象時間：台風発生期間中</li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>台風進路</li> <li>強さ</li> <li>暴風域</li> <li>強風域</li> <li>気圧</li> </ul> </li> <li>・API仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：GeoJSON</li> </ul> </li> <li>・特記事項 <ul style="list-style-type: none"> <li>気象庁の発表する台風情報を扱う。</li> </ul> </li> </ul>
G	地震情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：日本全域(緯度経度指定)</li> <li>・対象時間：地震情報発表期間中</li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>地震リスト</li> <li>地震ID</li> <li>発生時刻</li> <li>最大震度</li> <li>震源地</li> <li>マグニチュード</li> <li>震源の深さ</li> </ul> </li> <li>・API仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：GeoJSON</li> </ul> </li> <li>・特記事項 <ul style="list-style-type: none"> <li>気象庁の発表する地震情報を扱う。</li> </ul> </li> </ul>

	気象情報	内容
H	降雨実況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：日本全域(緯度経度指定)</li> <li>・データ仕様： <ul style="list-style-type: none"> <li>Point(特定1地点)版</li> <li>エリア版</li> <li>エリア版メッシュ最小単位：1km</li> <li>エリア版メッシュ最大単位：100km</li> </ul> </li> <li>・更新時間：10分</li> <li>・データ項目： <ul style="list-style-type: none"> <li>発表時間</li> <li>降雨1時間(mm/h)</li> <li>降雪1時間(cm/h)</li> <li>天気情報コード</li> </ul> </li> <li>・API仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> <li>・データ保持期間：過去1週間～最新まで</li> </ul>
I	雷実況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：日本全域</li> <li>・対象時間：過去60分以内に観測された雷のデータ。</li> <li>・更新時間：1分</li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>発雷地点座標</li> <li>経度</li> <li>緯度</li> <li>雷多重度 ※後続の発雷数</li> <li>観測日時</li> <li>雷種別</li> <li>雲放電</li> <li>対地放電</li> </ul> </li> <li>・API仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：GeoJSON</li> </ul> </li> </ul>
J	空港気象実況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：全世界の空港</li> <li>・対象時間：最新のMETAR情報</li> <li>・更新時間：1分</li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>ICAOコード</li> <li>MATARコード情報</li> </ul> </li> <li>・API仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> </ul>

	気象情報	内容
K	地上気象実況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：気象庁の設置した日本国内地上観測地点 (SYNOP) の気象実況</li> <li>・対象時間：1 日前から現在までの日時を指定</li> <li>・更新時間：1 分</li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>SYNOP コード</li> </ul> </li> <li>・API 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> </ul>
L	WNI 観測機気象実況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：ウェザーニューズの設置した日本国内地上観測地点の気象実況</li> <li>・対象時間：最新の気象実況情報</li> <li>・更新時間：1 分</li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>観測機 ID</li> <li>気温 (°C)</li> <li>現地気圧 (hpa)</li> <li>実効雨量 (mm)</li> <li>日射 (W/m<sup>2</sup>)</li> <li>瞬間最大風速の風向 (度)</li> <li>瞬間最大風速 (m/s)</li> <li>感雨</li> <li>降水強度 (mm/h)</li> <li>時間雨量 (mm)</li> <li>1 分間雨量 (mm)</li> <li>連続雨量 (mm)</li> <li>相対湿度 (%)</li> <li>海面気圧 (hpa)</li> <li>暑さ指数 (°C)</li> <li>平均風向 (度)</li> <li>平均風速 (m/s)</li> <li>天気</li> </ul> </li> <li>・観測日時</li> <li>・API 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> <li>・特記事項 <ul style="list-style-type: none"> <li>本研究では、福島ロボットテストフィールドに設置した観測機情報を取得した。</li> </ul> </li> </ul>

	気象情報	内容
M	アメダス気象実況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対象エリア：気象庁の設置した日本国内地上観測地点(アメダス)の気象実況</li> <li>・ 対象時間：最新のアメダス気象実況情報</li> <li>・ 更新時間：10分</li> <li>・ 気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>観測日時</li> <li>緯度</li> <li>経度</li> <li>観測機 ID</li> <li>観測機の標高 (m)</li> <li>相対湿度 (%)</li> <li>現地気圧 (Pa)</li> <li>海面更正気圧 (Pa)</li> <li>気温 (°C)</li> <li>水平視程 (m)</li> <li>前 10 分間の降水量 (kg/m<sup>2</sup> = mm)</li> <li>積雪の深さ (cm)</li> <li>前回計測時の積雪の深さ (cm)</li> <li>前 10 分間の日照時間の合計 (分)</li> <li>前 10 分間の最大瞬間風速の風向 (度(真方向))</li> <li>前 10 分間の平均風速の風向 (度(真方向))</li> <li>前 10 分間の最大瞬間風速 (m/s)</li> <li>前 10 分間の平均風速の風速 (m/s)</li> <li>自動観測による天気コード</li> </ul> </li> <li>・ API 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> </ul>



	気象情報	内容
N	短期予測(任意地点)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：日本国内の任意地点(緯度経度指定)によるピンポイント気象予測情報</li> <li>・対象時間：現在日時から48時間先まで</li> <li>・更新時間：60分</li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>基準日時 ※予測情報発表日時</li> <li>指定した緯度</li> <li>指定した経度</li> <li>気温(°C)</li> <li>前1時間降水量(mm/h)</li> <li>相対湿度(%)</li> <li>前1時間降雪量(cm/h)</li> <li>海面更正気圧(hPa)</li> <li>風速(m/s)</li> <li>風向(度)</li> <li>天気</li> <li>予報日時</li> </ul> </li> <li>・API仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> </ul>
0	短期予測(特定地点)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：日本国内のウェザーニューズが指定した地点の気象予測情報</li> <li>・対象時間：現在日時から64時間先まで</li> <li>・更新時間：60分</li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>基準日時 ※予測情報発表日時</li> <li>地点番号</li> <li>気温(°C)</li> </ul> </li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>気温(°C)</li> <li>前1時間降水量(mm/h)</li> <li>相対湿度(%)</li> <li>前1時間降雪量(cm/h)</li> <li>海面更正気圧(hpa)</li> <li>風速(m/s)</li> <li>風向(度)</li> <li>天気</li> <li>気圧(hpa)</li> <li>前1時間最大瞬間風速(m/s)</li> <li>降水確率(%)</li> <li>予報日時</li> </ul> </li> <li>・API仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> </ul>

	気象情報	内容
P	ライブカメラ情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：ウェザーニューズの設置した日本全国のライブカメラ情報</li> <li>・対象時間：過去7日前から現在日時まで</li> <li>・更新時間：1分</li> <li>・カメラ設定情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>カメラ ID</li> <li>カメラの見ている方向</li> <li>英名</li> <li>市区町村番号</li> <li>日本語名</li> <li>緯度</li> <li>経度</li> <li>状態 ※カメラ稼働状態</li> <li>地域</li> </ul> </li> <li>・カメラ設定情報 API 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JSON</li> </ul> </li> <li>・カメラ画像情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>撮影画像</li> </ul> </li> <li>・カメラ画像情報 API 仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：JPEG</li> </ul> </li> <li>・特記事項 <ul style="list-style-type: none"> <li>2021年度は、福島ロボットテストフィールド周辺の4地点のカメラを対象としている。カメラの向きは、福島ロボットテストフィールド方面に向けている。</li> <li>福島県いわき市(カメラ向き東側)</li> <li>福島県真野ダム(カメラ向き西側)</li> <li>福島県小名浜(カメラ向き南側)</li> <li>宮城県仙台空港(カメラ向き北側)</li> </ul> </li> </ul>
Q	高解像気象実況予測	後述の(表 2.2.1.10-47 高解像 API と実況解析 API の差異)にある高解像 API に仕様を記載

	気象情報	内容
R	レーダーアメダス情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：気象庁のレーダーアメダス(降雨予測)情報発表エリア</li> <li>・対象時間：過去1時間から6時間先まで</li> <li>・更新時間：60分</li> <li>・気象情報：降雨予測情報画像</li> <li>・API仕様 通信形式：RESTful データ形式：PNG</li> <li>・特記事項 本APIでは、降雨情報を載せた画像ファイルをレスポンスする。この画像は、グレースケール化されているため、降雨量に応じて階調値の色付け処理を実施した。UIに表示する際は、地図上にレーダアメダスレイヤーを被せて表示した。</li> </ul>
S	衛星画像情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：気象衛星ひまわり8号から取得した情報から地域を限定し、日本エリアとしている。</li> <li>・対象時間：過去7日前から現在日時まで</li> <li>・更新時間：5分</li> <li>・気象情報：衛星画像</li> <li>・API仕様 通信形式：RESTful データ形式：PNG</li> <li>・特記事項 本APIでは、ひまわり8号の撮影した画像ファイルをレスポンスする。UI等に表示する際は、地図上にレーダアメダスレイヤーを被せて表示する。</li> <li>・衛星画像情報 <ul style="list-style-type: none"> <li>ひまわり8号 全球カラー</li> <li>ひまわり8号 全球可視</li> <li>ひまわり8号 全球赤外</li> <li>ひまわり8号 全球水蒸気</li> <li>ひまわり8号 全球雲頂高度</li> <li>ひまわり8号 日本域カラー</li> <li>ひまわり8号 日本域可視</li> <li>ひまわり8号 日本域赤外</li> <li>ひまわり8号 日本域水蒸気</li> <li>ひまわり8号 日本域雲頂高度</li> </ul> </li> </ul>

	気象情報	内容
T	レーダー情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対象エリア：気象庁のレーダー(降雨実況)情報発表エリア</li> <li>・ 対象時間：過去1時間から6時間先まで</li> <li>・ 更新時間：5分</li> <li>・ 気象情報： 降雨実況情報画像</li> <li>・ API仕様 通信形式：RESTful データ形式：PNG</li> <li>・ 特記事項 本APIでは、降雨情報を載せた画像ファイルをレスポンスする。この画像は、グレースケール化されているため、降雨量に応じて階調値の色付け処理を実施した。UIに表示する際は、地図上にレーダレイヤーを被せて表示した。</li> </ul>
U	高解像ナウキャスト情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対象エリア：気象庁の高解像ナウキャスト情報発表エリア</li> <li>・ 対象時間：過去7日前から現在日時まで</li> <li>・ 更新時間：5分</li> <li>・ 気象情報： 高解像ナウキャスト情報画像</li> <li>・ API仕様 通信形式：RESTful データ形式：PNG</li> <li>・ 特記事項 本APIでは、高解像ナウキャストを載せた画像ファイルをレスポンスする。この画像は、グレースケール化されているため、降雨量に応じて階調値の色付け処理を実施した。UIに表示する際は、地図上に高解像ナウキャストレイヤーを被せて表示した。</li> </ul>

	気象情報	内容
V	雷発生予測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象エリア：日本全域</li> <li>・対象時間：現在日時から1時間先まで</li> <li>・更新時間：10分</li> <li>・気象情報： <ul style="list-style-type: none"> <li>発雷発生予測エリア画像</li> </ul> </li> <li>・API仕様 <ul style="list-style-type: none"> <li>通信形式：RESTful</li> <li>データ形式：PNG</li> </ul> </li> <li>・特記事項 <p>本APIでは、発雷発生予測エリアを載せた画像ファイルをレスポンスする。この画像は、グレースケール化されているため、発雷発生予測エリアに応じて階調値の色付け処理を実施した。UIに表示する際は、地図上に発雷発生予測エリアを被せて表示した。</p> </li> </ul>

気象情報の概要に挙げた項目について、無人航空機運航において時系列毎にどのタイミングにおいて必要となりうる情報かについて、図 2.2.1.10-138 無人航空機運航事業者の気象判断と想定機能に示す。航空機使用事業者のオペレーションを参考に、運航実施日が近づくにつれ、気象情報の精度と情報の種類を増やし、実況情報をより重視する機能配置としている。



図 2.2.1.10-138 無人航空機運航事業者の気象判断と想定機能

本研究を実施するにあたり、運航管理統合機能と連携する気象情報/有人航空機動態情報機能のシステム構成図を以下、図 2.2.1.10-139 気象情報/有人航空機動態情報機能にまとめた。

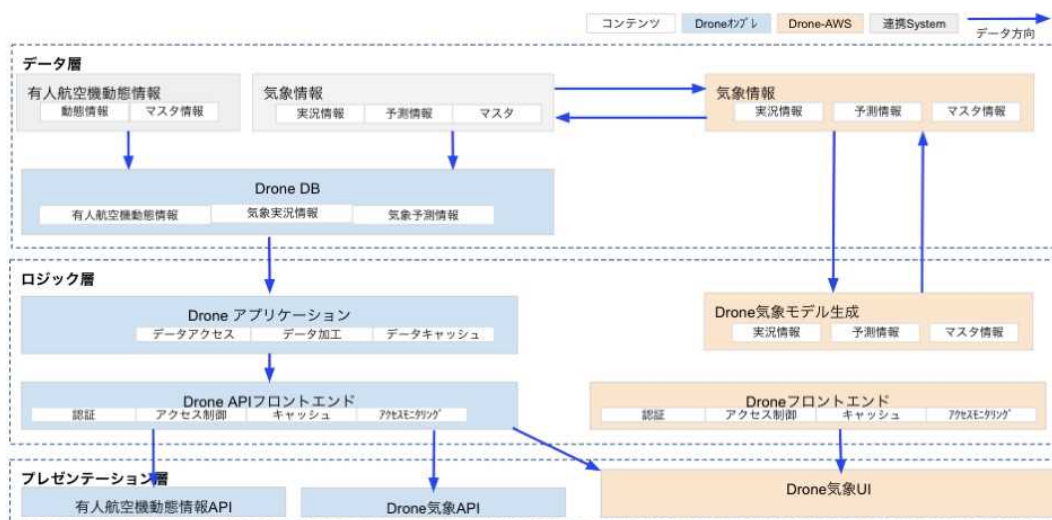


図 2.2.1.10-139 気象情報/有人航空機動態情報機能

本システム構成の特徴を以下の3層アーキテクチャ単位に示す。

(A) データ層

- ・ Drone 気象情報の元となる実況情報、予測情報、マスタ情報は、オンプレミスとAWS 双方で冗長的に保管する。データ同期のタイミングは、データドリブンとし、一方でデータ生成/変更/削除が行われた場合、即時にもう一方に同期される。
- ・ 有人航空機動態情報は、イリジウム衛星からの有人航空機位置情報を受信し、オンプレミス側にて保管する。
- ・ DroneDB は、気象情報、有人航空機動態情報データを取り込んでいる。

(B) アプリケーション層

- ・ Drone アプリケーションは、DroneDB へのデータアクセス、RESTful 形式で返却するデータ加工、DB アクセス負荷軽減とレスポンス最適化のため、データキャッシュを実行する。
- ・ オンプレミス側の DroneAPI フロントエンドでは、気象情報 API/有人航空機動態情報 API の認証、アクセス制御、リクエストパラメータ単位のデータキャッシュ、アクセス数管理とセキュリティチェックのためのアクセスモニタリングを行う。
- ・ Drone 気象モデル生成は、表 2.2.1.10-45 無人航空機運航判断向け気象情報の概要のA 気象実況解析情報、および、C 極短時間予測気象情報データの生成を行う。
- ・ AWS 側の DroneAPI フロントエンドでは、Drone 気象 UI のユーザ認証、アクセス制御、コンテンツキャッシュ、アクセス数管理とセキュリティチェックのためのアクセスモニタリングを行う。

(C) プレゼンテーション層

- ・ 運航管理統合機能からの有人航空機動態情報 API、および、Drone 気象 API の接続先は、オンプレミス側にアクセスとなる。
- ・ Drone 気象 UI のアクセス先は、AWS 側へのアクセスとなる。

運航管理統合機能と気象情報連携のインタフェース項目、および気象 UI の仕様を以下に示す。

(A) インターネット接続前提

インターネットを介した接続であることを前提とする。

(B) 認証機能

weathernews の発行する FIMS コンソ認証キーにより認証処理を行う。

(C) 通信方式

通信方式は、API については RESTful を採用する。気象情報連携インタフェースの項目については、表 2.2.1.10-46 気象情報連携 API 個別仕様に示す。気象 UI と実況解析 SDK は、ブラウザからのアクセスを前提とし、https でのアクセスとする。



表 2.2.1.10-46 気象情報連携 API 個別仕様

対象機能	機能名	機能説明
共通	認証機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>すべての API は、FIMS コンソの API 認証キー (URL の get パラメータ) による認証を行う。</li> <li>気象 UI、実況解析 SDK より呼び出される API についても FIMS コンソの API 認証キーを使用する。</li> </ul>
気象 UI	認証機能	気象 UI では、独自に以下の認証方式を採用する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>アカウント ID</li> <li>PASSWORD</li> <li>FIMS コンソ専用のアカウントを使用する。</li> </ul>
気象 UI	気象情報	表示項目は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> <li>高解像気象実況：風流線</li> <li>高解像気象実況：強風エリア</li> <li>ライブカメラ</li> <li>観測機</li> <li>降水量</li> <li>視程</li> <li>実況解析：風流線</li> <li>実況解析：強風エリア</li> <li>特記事項</li> </ul> ブラウザより以下の API を呼び出す。 高解像気象 API ライブカメラ API WNI 観測機 API レーダーアメダス API 実況解析 API
実況解析 SDK	気象情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>気象情報：               <ul style="list-style-type: none"> <li>風向</li> <li>風速</li> </ul> </li> </ul>

a) 気象実況解析情報

ウェザーニューズが設置した約 13,000 地点の気象観測装置や、気象庁が設置している気象観測装置の観測データを活用し、観測装置の無いエリアでも実況の気象情報を得られる気象実況解析情報（以下、実況解析）の研究開発を行い、簡易参照ツールに実装した。実況解析は、実況の観測データと直近の気象予測モデルの予測結果から生成される空間 3 次元的なデータであり、参照ツールからマップ表示、任意地点での気象要素の取得が可能である。なお、実況解析と極短時間予測の処理概要を図 2.2.1.10-140 実況解析とごく短時間予測の処理概要に示す。

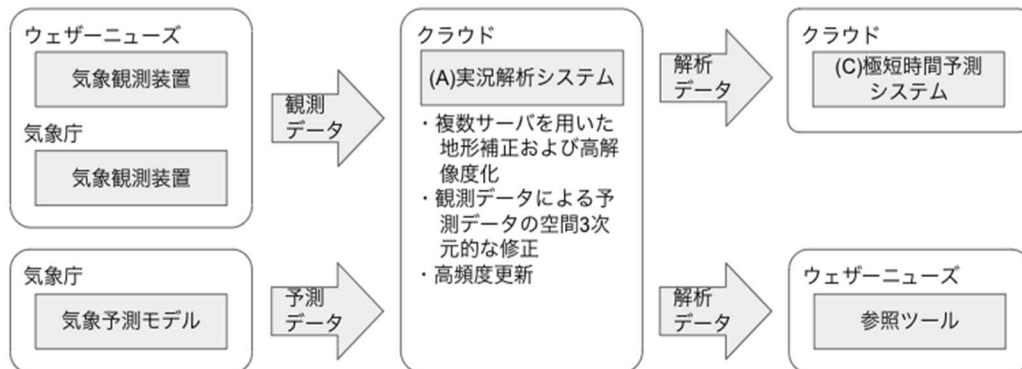


図 2. 2. 1. 10-140 実況解析とごく短時間予測の処理概要

本研究において開発した無人航空機運航判断向け実況解析のデータスペックは表 2. 2. 1. 10-137 に示す通り、高解像度（250m）、高頻度更新（10 分毎）である。無人航空機は数 100m 程度の低空を飛行するため、実況解析も下層を重視したものとなっており、高度方向は 10m 間隔での表示が可能である。また、実況解析を行うシステムは BCP 対策を念頭に、クラウド上に構築した。

なお、実況解析モデルデータは、図 2. 2. 1. 10-141 実況解析モデル生成エリアに示すとおり、日本全国を本州 9 エリア、離島 1 エリアの 10 エリアに分割して生成している。実況解析 API では、エリアを跨ぐ部分について、複数エリアのデータを結合し、レスポンスする仕様としている。

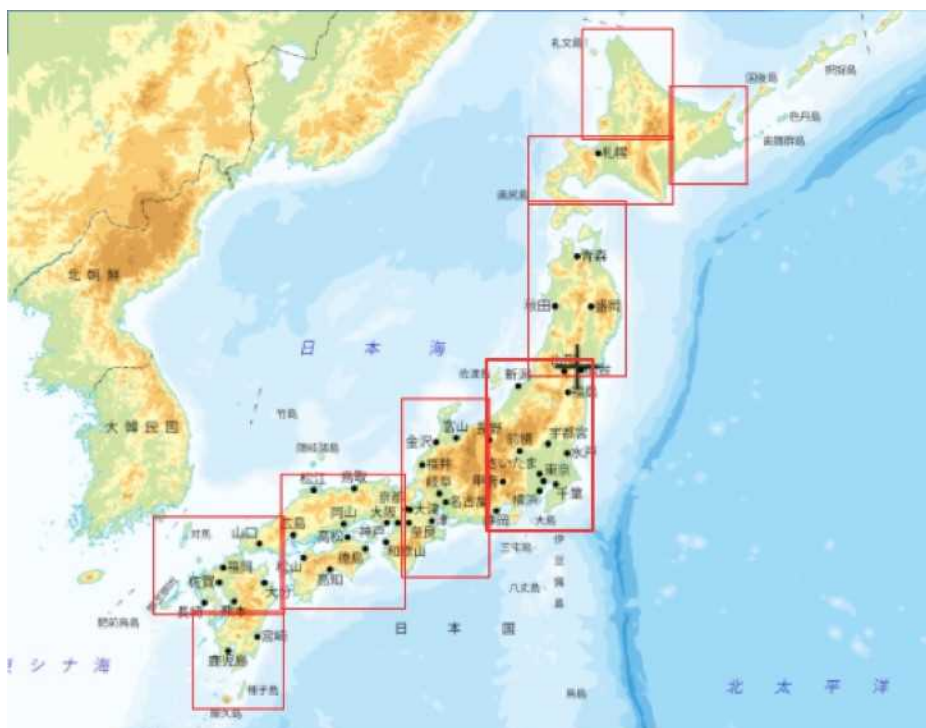


図 2. 2. 1. 10-141 実況解析モデル生成エリア  
 (出典：国土地理院 <https://maps.gsi.go.jp/>)

また、2019 年度までに運航管理統合機能と連携した 250m メッシュ、かつ、高度 10m 単位の高解像気象情報を提供する高解像 API との機能の差異について、表 2.2.1.10-47 高解像 API と実況解析 API の差異に示す。

表 2.2.1.10-47 高解像 API と実況解析 API の差異

	仕様	高解像 API	実況解析 API
1	対象エリア	日本全国、台湾、韓国、中国の一部	日本全国
2	データ更新間隔	1 時間毎	10 分毎
3	データ取得範囲 (最小-最大)	最小 : 250 m <sup>2</sup> 最大 : 300 km <sup>2</sup>	最小 : 250 m <sup>2</sup> 最大 : 日本全国を 10 ブロックに分割したエリア
4	実況/予測区分	実況/予測 : 0 時間~10 時間 先まで	実況のみ
5	対象高度	地上~10,000m(海面高度)	地上~5,000m(地上からの高度を予定)
6	高度単位	10m 毎 ※設定で変更可能	10m 毎
7	メッシュサイズ	250m ※設定で変更可能	250m
8	API アクセス方法	アクセス元クライアントでの javascript 組込方式	・ RESTful 形式(HTTP アクセスによる API)
9	取得できるデータ	降雨量 風成分(東西) 風成分(南北) 湿度 気温 標高 雲量(%)	風成分(東西) 風成分(南北)
10	その他特記事項	データ更新間隔が 1 時間毎のため、突然の気象変化に対応できないケースがある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地形特性/観測機データをベースとした Drone 気象モデルデータの API。</li> <li>・ 観測機の無いエリアでも実況に近いデータ。</li> <li>・ Drone 気象 UI で表示。</li> <li>・ 本 API をベースに 3 時間先までの超短期予測を本 API に統合した。</li> </ul>

実況解析 API では、データ受信先である運航管理統合機能側にて、複数の API レスポンスデータを結合し、風向風速を計算する処理が必要となる。このレスポンスデータの結合と計算を省略し、受信側での処理を簡略化し、計算後の風向風速データを直接取得する実況解析 SDK を併せて開発した。

図 2.2.1.10-142 実況解析 SDK システム連携図に示すとおり、実況解析以外の気象情報 API は運航管理統合機能サーバより、気象情報管理サーバへ API コールすることにより、気象情報を取得し、運航管理統合機能画面や FIMS タブレットにて気象情報を表示している。一方、実況解析 SDK は運航管理統合機能画面や FIMS タブレットなどの UI 部品の一部として javascript を組み込み、クライアント端末から直接、気象運航管理統合機能サーバへアクセスし、実況解析 API を呼び出す仕組みである。

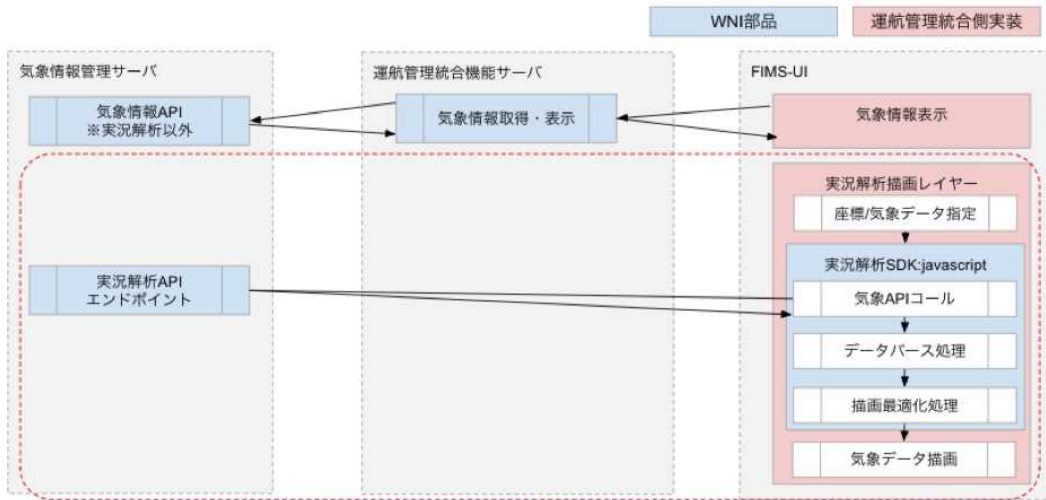


図 2.2.1.10-142 実況解析 SDK システム連携図

実況解析 API および実況解析 SDK から取得したデータは、図 2.2.1.10-143 気象 UI 上での実況解析風向風速表示に示すとおり、マップ上に視覚的に風向風速を確認できることを可能とした。

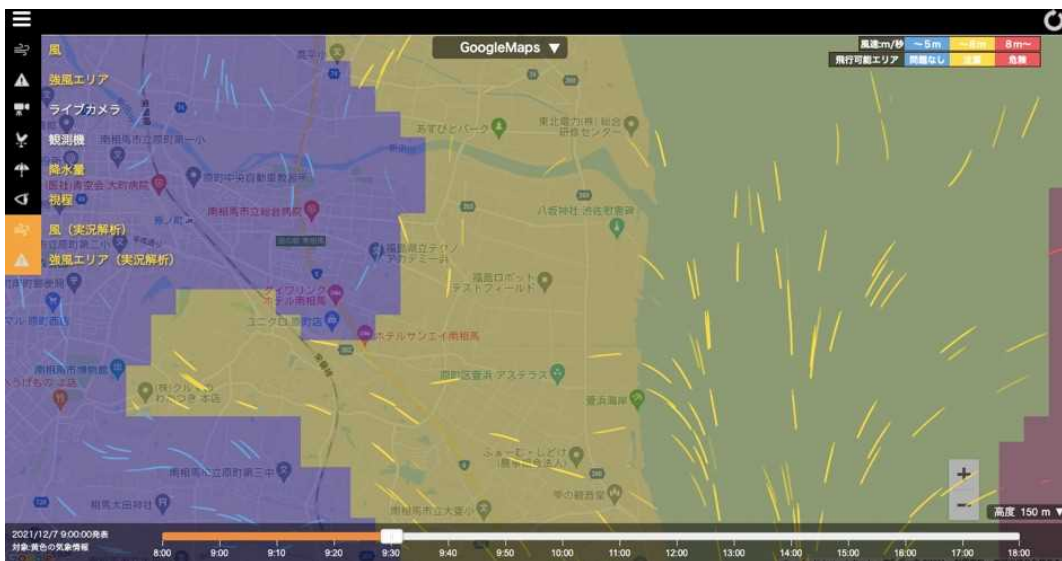


図 2.2.1.10-143 気象 UI 上での実況解析風向風速表示

初年度（2020 年度）は、実況解析の開発を実施し、茨城県のドローンフィールド KAWACHI における実証実験で得られた地上・上空の気象観測データを用いて実況解析の分析を行い、精度検証を実施した。

2 年目（2021 年度）は初年度の実証実験に基づいた実況解析生成ロジックのチューニング及び、極短時間予測気象情報にこの実況解析を反映させる研究開発を行った。また、2 年目の福島 RTF における実証実験においても同様に検証を実施した。

#### b) 視程実況・予測情報

無人航空機の運航可否判断として、視程の実況・予測情報は安全運航にとって重要であり、また、無人航空機は通常、カメラが搭載され、リアルタイムの映像を伝送し、運航中の状況をモニタリングする必要がある。そのため、視程実況と数時間までの視程の状況を予測し、運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。視程情報は、図 2. 2. 1. 10-144 気象 UI 上での視程情報から参照が可能である。



図 2. 2. 1. 10-144 気象 UI 上での視程情報

#### c) 極短時間予測気象情報

無人航空機運航判断においては、極短時間を対象とした空間的に高解像度な気象予測情報が必要となる。このような予測データの生成には、直近の観測データに基づいた高解像度な実況解析を使用する必要がある。そこで、初年度（A）で開発した実況解析を用いて、2 年目に極短時間の予測を生成する予測モデルの研究開発を行った。データスペックは表 2. 2. 1. 10-45 に示す通りである。

開発した予測モデルの精度検証は、実証実験で得られた地上・上空の気象実況データを用いて実施した。

#### d) 極短時間予測気象アラート

極短時間気象予測情報をもとに、無人航空機運航に影響を与える風速などの気象条件について、閾値を設けることにより、極短時間の気象アラートを発報し、運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

e) 警報・注意報情報

気象庁から発表される各地の気象警報・注意報情報を迅速に運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

f) 台風情報

台風は、台風の中心から離れていても、強風エリアである強風域が広範囲にわたる場合が多い。無人航空機運航可否判断にとって重要である台風の強度、台風の進路、暴風域、強風域などの情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

g) 地震情報

気象庁から発表される日本全国の地震情報を迅速に運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

h) 降雨実況

ウェザーニューズの観測した日本全国の降雨実況情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。本機能について、計画時には予定になかったが、運航管理統合機能で有効な情報との合意があり、連携対象とした。

i) 雷実況

有人航空機の運航においても重要な情報として扱われる発雷実況情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

j) 空港気象実況

有人航空機の運航においても重要な情報として扱われる日本国内の定時航空実況気象通報式 (METAR) 情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

k) 地上気象実況

気象庁の発表する地上実況気象通報式 (SYNOP) を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

l) WNI 観測機気象実況

ウェザーニューズが設置した気象観測機情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。2021年度は福島ロボットテストフィールド 1 機の情報を提供した。

m) アメダス気象実況

アメダス気象実況情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

n) 短期予測 (任意地点)

ウェザーニューズ独自の任意地点のピンポイント予測情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

o) 短期予測 (特定地点)

ウェザーニューズ独自の特定地点のピンポイント予測情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

p) ライブカメラ情報

ウェザーニューズの設置したライブカメラ情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。



q) 高解像気象実況予測

ウェザーニュースの高解像気象実況予測を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

r) レーダーアメダス情報

レーダーアメダス情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

s) 衛星画像情報

気象衛星ひまわり8号の画像を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

t) レーダー情報

日本全国に配置されているレーダー降雨情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

u) 高解像ナウキャスト情報

気象庁の降雨ナウキャスト情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。

v) 雷発生予測

雷の発生予測情報を運航管理統合機能と連携するための研究を実施した。



(2) 研究を通じて得られた成果

a) から v) までの計 21 種類の気象 API を開発し、運航管理統合機能と連携を実施した。また、API の情報を参照する気象 UI の開発を実施した。本研究では、図 2.2.1.10-45 有人航空機と無人航空機の比較と無人航空機に求められる気象要件と図 2.2.1.10-46 無人航空機運航事業者の気象判断と想定機能で述べた無人航空機運航で重要と思われる気象情報と粒度を仮説として設定し、API の開発を実施した。さらに、近年は、災害時における無人航空機による捜索や現地調査などが増えているため、警報注意報情報、地震情報の API 整備を実施した。本研究では、無人航空機運航用の気象モデルとして、(A) 気象実況解析情報と (C) 極短時間予測気象情報を開発した。2020 年度と 2021 年度の運航管理統合機能の実証実験にて、実測値との比較を実施した内容を以下にまとめる。

(A) 気象実況解析情報

気象観測装置から得られる気象観測データをもとに実況解析データを生成し、簡易参照ツールに実装した。実証実験（茨城県ドローンフィールド KAWACHI、福島ロボットテストフィールド）においては、現地の地上・上空の気象観測データと実況解析情報の分析を行い、精度検証を実施した。その結果、実況解析は現地の風の強さ、風の変化傾向を良好に表現できており、無人航空機運航判断においての有用性を確認することができた。以下、それぞれの実証実験における検証の詳細を報告する。

a) 茨城県ドローンフィールド KAWACHI における実証実験での検証

実証実験は 2021 年 3 月 15 日から 3 月 18 日に実施された。精度検証に使用した現地の気象観測は、気象観測ドローン 1 台、ドップラーソーダ 1 台により、実験場上空の観測機データを収集し、今年度開発の実況解析モデルデータと精度検証を実施した。地上データについては、実験場 4 箇所に設置する風車型風向風速計の観測機データを収集し、2020 年度開発の実況解析モデルデータと精度検証を実施した。

本実証実験時の各気象実況観測装置の配置場所は以下の図 2.2.1.10-145 KAWACHI 気象実況観測装置の配置場所に示す。



図 2.2.1.10-145 KAWACHI 気象実況観測装置の配置場所

各観測装置の測定対象と測定方法は以下の通り。

(ア) 気象観測ドローン

図 2.2.1.10-146 気象観測ドローンは、機体上部に気象観測装置を配置しており、超音波式の風向風速計により、上空 50m、100m、150m の風向、風速を計測対象とした。測定方法としては、各高度において 60 秒間のホバリングし、毎秒の風速を計測した。観測結果は、地上の端末にリアルタイムに伝送され、時系列にロギングした。



図 2.2.1.10-146 気象観測ドローン

(イ) ドップラーソーダ

図 2.2.1.10-147 ドップラーソーダは、音波を上空に発射し、空気密度の反射波から得られる空気の移動速度を元に上空の風向・風速を観測する装置である。ドップラーソーダでは、上空の上空 40m から 200m を 10m 毎、毎秒の風向・風速を観測対象とした。測定結果は、リアルタイムに受信衛星に伝送され、クラウド上に保管される。受信結果は、10 分毎の測定結果をブラウザから参照可能である。



図 2. 2. 1. 10-147 ドップラーソーダ

(ウ) 風車型風向風速計

本実証実験において、図 2. 2. 1. 10-148 風車型風向風速計 4 台をドローンフィールド KAWACHI に隣接するつつみ運動の河川敷に設置した。本観測機は、プロペラ型の風車により、風速 0m~90m までの風速と風向を観測することが可能である。観測周期は、1 秒サンプリングでのデータ取得とした。



図 2. 2. 1. 10-148 風車型風向風速計

検証においては、観測データの得られない場所での精度を確認するため、実況解析の生成には実証実験の現地観測データは使用していない。

ここでは、3月16日の事例に対する結果を示すが、実証実験の期間を通して実況解析は良好な精度であった。図 2.2.1.10-149 は、実況解析の地上風の水平分布図である（2021年3月16日9時）。左図が気象庁アメダスの観測値であり、実況解析の風分布は実況を良好に反映できていることが分かる。図 2.2.1.10-150 は、実証実験の現地の地上観測と実況解析及び、気象庁毎時大気解析を比較した結果である。気象庁毎時大気解析は 5km メッシュ、1 時間更新の解析データであり、一般に入手できる実況解析として比較の対象とした。図 2.2.1.10-151 は上空 180m での結果である。

この日の風の傾向としては、午前中は風が弱く、12 時頃に急激に風速が強くなるという特徴があったが、実況解析はこの変化傾向をよく表現できている。特に 12 時頃に大きく風速が変化している様子が、タイミング、風速の強さ共に精度よく捉えることができている。毎時大気解析も変化傾向は捉えているものの、やや緩やかな変化となっている。

毎時大気解析は地上高度での検証が困難なため、ここでは比較の対象としなかった。

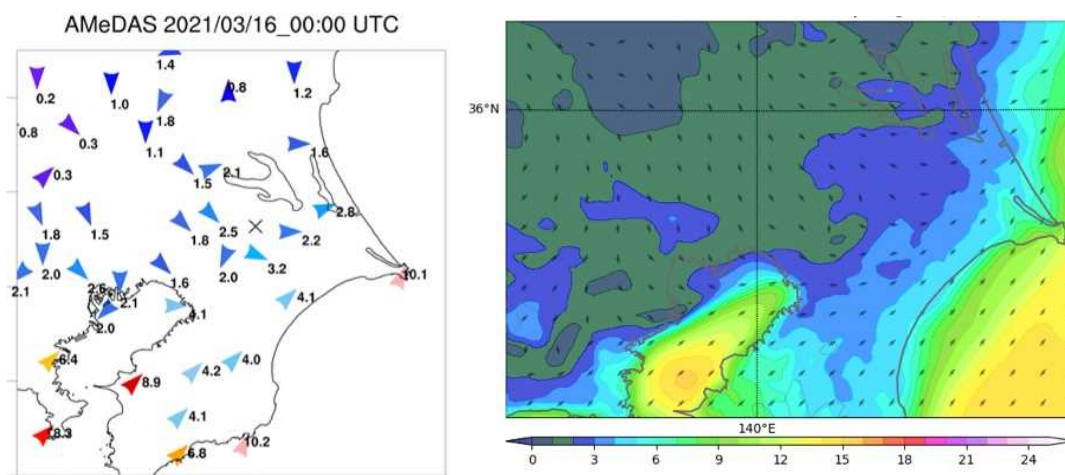


図 2.2.1.10-149 左図：アメダス観測値（2021年3月16日9時） / 右図：観測データを反映した実況解析



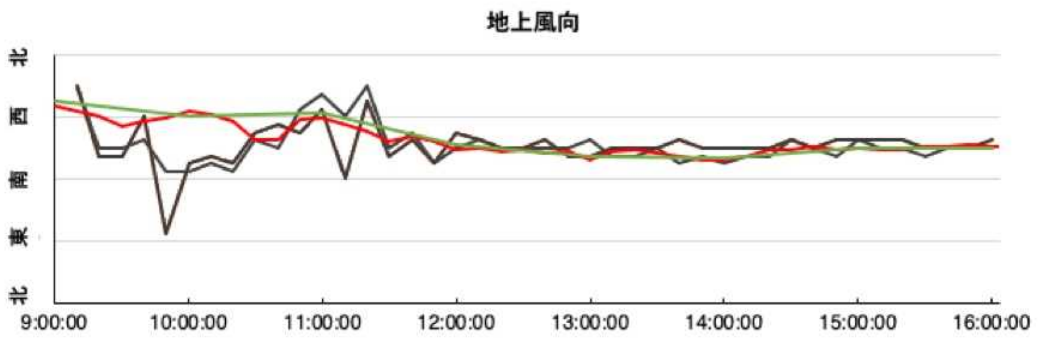
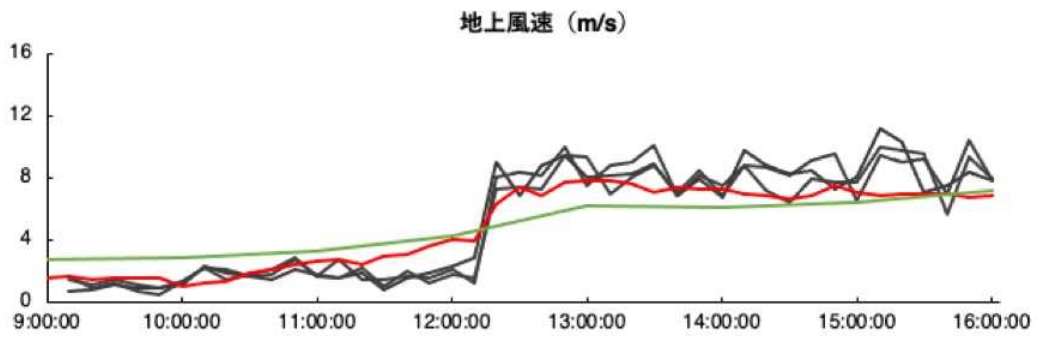


図 2. 2. 1. 10-150 2021 年 3 月 16 日の地上風速風向時系列  
 (茨城県ドローンフィールド KAWACHI)  
 赤線は実況解析、黒線は観測、緑線は気象庁毎時大気解析。

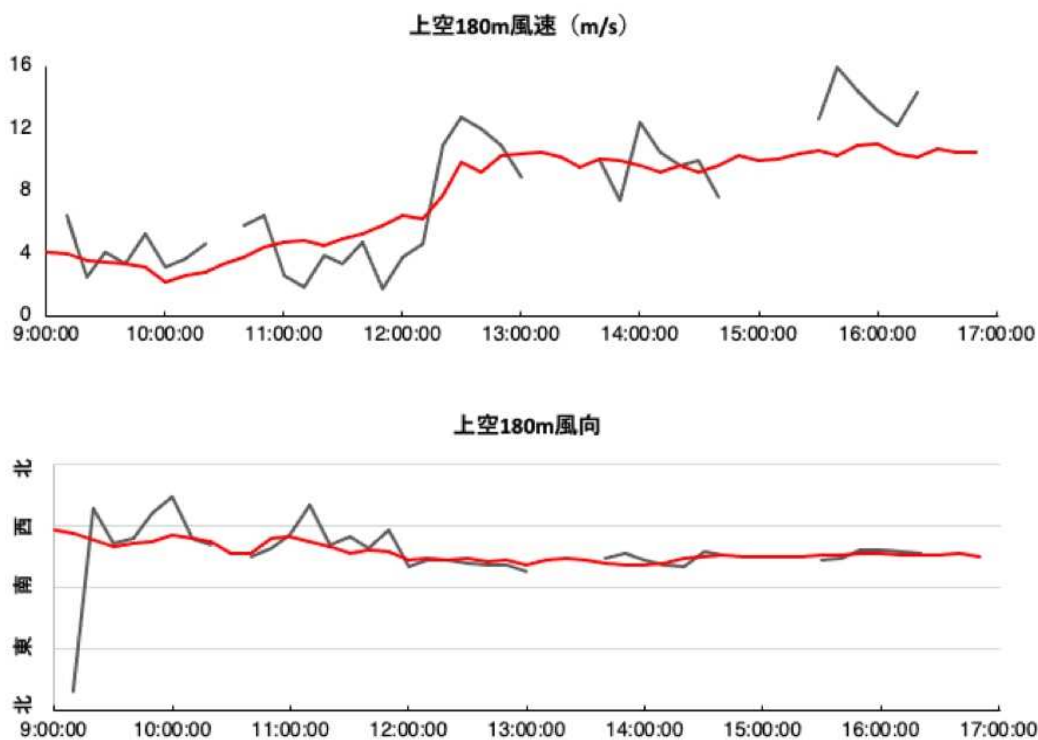


図 2. 2. 1. 10-151 2021 年 3 月 16 日の上空 180m の風速風向時系列  
 (茨城県ドローンフィールド KAWACHI における)  
 赤線は実況解析、黒線は観測。

b) 福島 RTF における実証実験での検証

実証実験は 2021 年 12 月 6 日から 12 月 10 日に実施された。精度検証に使用した現地の気象観測データは、2020 年度実証実験と同様、上空の風向風速は、気象観測ドローン 1 台、ドップラーソーダ 1 台を使用し、地上データについては、福島ロボットテストフィールドの 4 箇所に設置する風車型風向風速計の観測機データ、および、設置済の WNI 観測機のデータを収集し、2021 年度開発の実況解析モデルデータと精度検証を実施した。各観測機の配置場所を、図 2. 2. 1. 10-152 福島 RTF 観測機配置場所に示す。



図 2. 2. 1. 10-152 福島 RTF 観測機配置場所

また、今回使用した観測機を以下に示す。

上から、図 2. 2. 1. 10-153 福島 RTF 風向風速計、図 2. 2. 1. 10-154 福島 RTF 設置 WNI 観測機、図 2. 2. 1. 10-155 気象観測ドローン、図 2. 2. 1. 10-156 ドップラーソーダ。



風向風速計(南東) 風向風速計(北東) 風向風速計(北西) 風向風速(南西)

図 2. 2. 1. 10-153 福島 RTF 風向風速計





図 2. 2. 1. 10-154 福島 RTF 設置 WNI 観測機



図 2. 2. 1. 10-155 気象観測ドローン



図 2. 2. 1. 10-156 ドップラーソーダ

また、本実証実験では、気象観測ドローンは1秒更新、ドップラーソーダは10分更新の気象情報のモニタリングを統合管制室にて参照可能とした。

図 2. 2. 1. 10-157 気象観測ドローンの気象情報モニタリングは、気象観測ドローンの情報、図 2. 2. 1. 10-158 はドップラーソーダ気象情報である。



統合管制室にて設置した気象観測

気象観測ドローンの気象情報

図 2. 2. 1. 10-157 気象観測ドローンの気象情報モニタリング

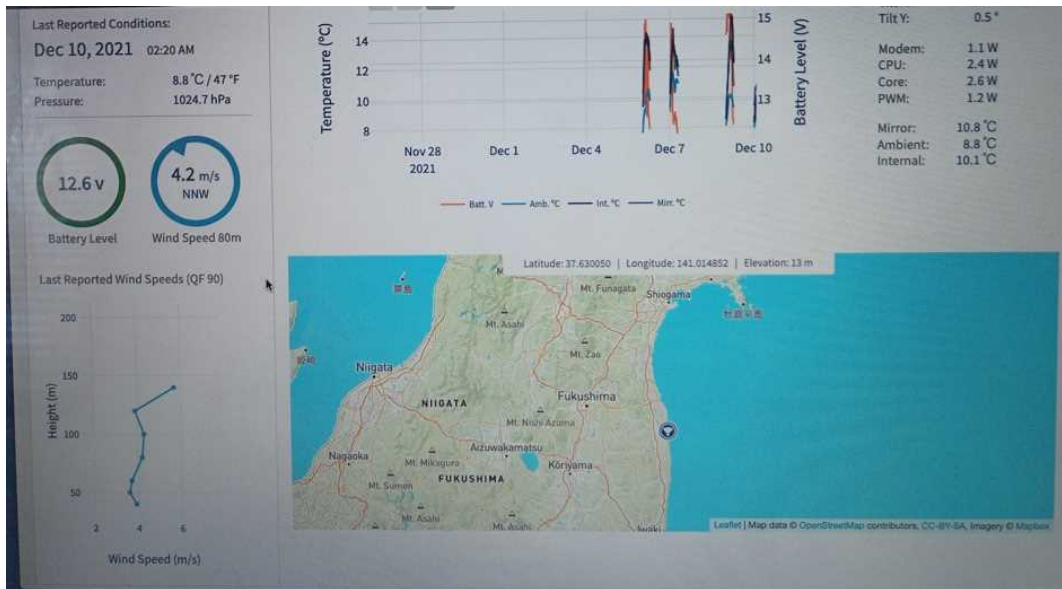


図 2. 2. 1. 10-158 ドップラーソーダ気象情報

図 2. 2. 1. 10-159 は現地の地上観測と実況解析を比較した結果であり、図 2. 2. 1. 10-160 は上空 160m での結果である。福島 RTF においても、実況解析は良好な精度であった。

2 回の実証実験での検証から、無人航空機運航判断において、この実況解析情報が有効であることが示された。また、開発した実況解析情報を利用した極短時間予測気象情報の研究成果については (C) で述べる。

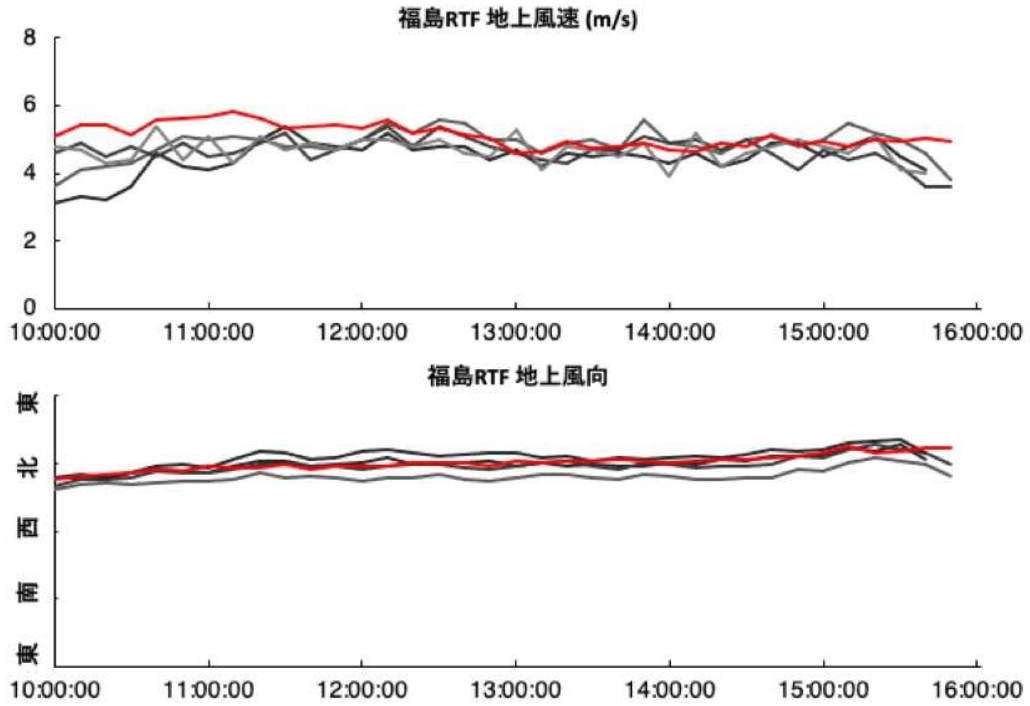


図 2. 2. 1. 10-159 2021 年 3 月 16 日の地上の風速風向時系列（福島 RTF）。  
赤線は実況解析、黒線は観測。



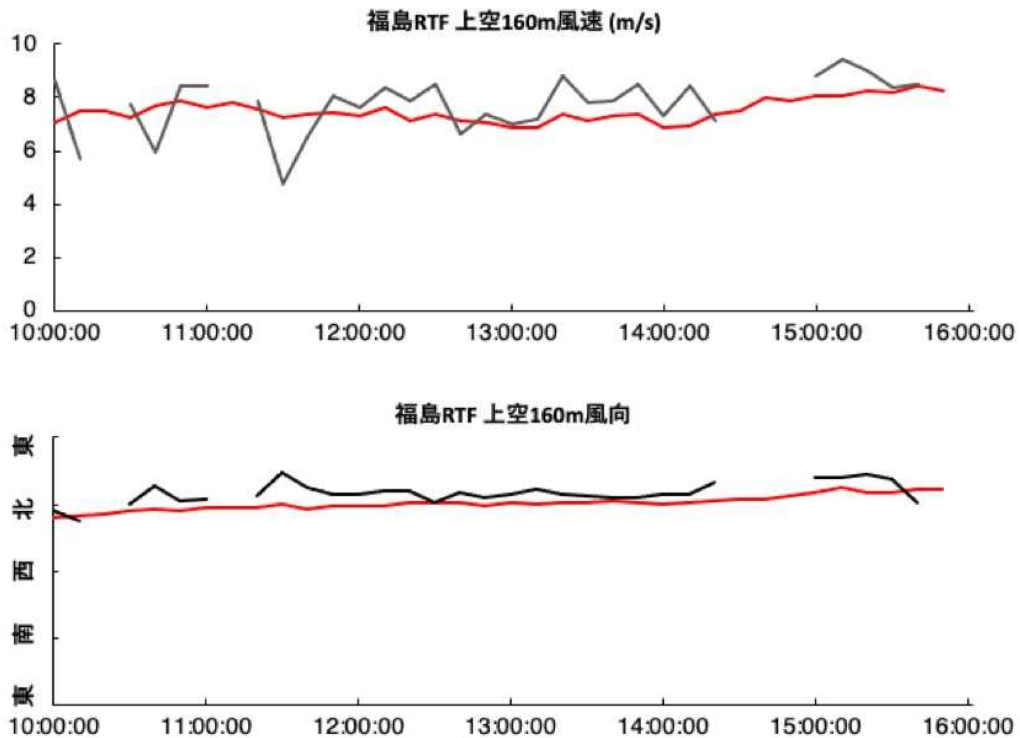


図 2. 2. 1. 10-160 2021 年 3 月 16 日の上空 160m の風速風向時系列 (福島 RTF)  
赤線は実況解析、黒線は観測。

(B) 極短時間予測気象情報

(A) で開発した実況解析を予測の初期値とし、極短時間予測を行うシステムの研究開発を実施した。ここでは、茨城県ドローンフィールド KAWACHI における実証実験の期間のうち、3 月 16 日の検証結果について報告する。

3 月 16 日は 12 時頃から地上、上空とも急激に風速が強まる (図 2. 2. 1. 10-161)。午前 9 時時点で入手できる最新の気象庁局地モデルの予測では、10 時ごろから強風予測となっている。一方、開発した極短時間予測では 12 時前後の風速の急激な変化が予測できており、風の強さも観測とよく一致する結果となった。広い範囲での風の分布も観測とよく一致している (図 2. 2. 1. 10-162)。

さらなる検証は必要であるが、ドローン運航用極短時間予測気象情報は実用にあたって十分活用可能なものであると確認できた。

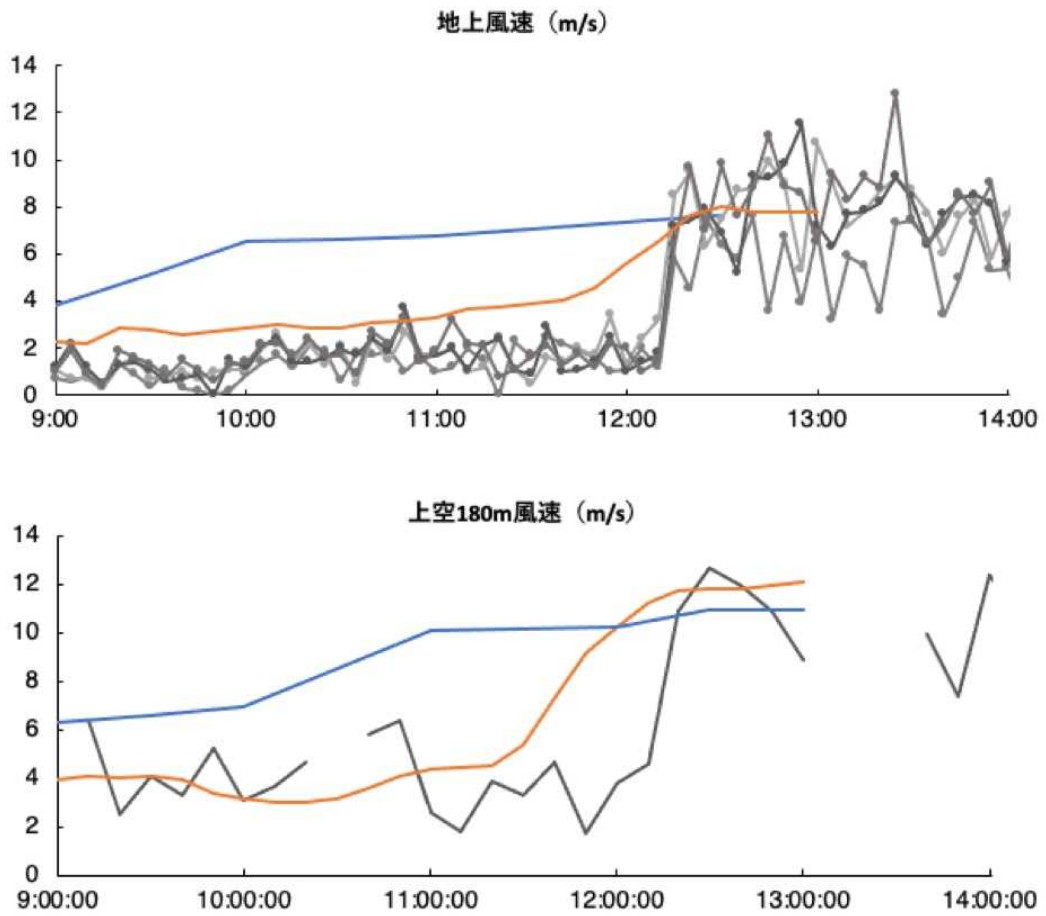


図 2. 2. 1. 10-161 2021 年 3 月 16 日の地上（上図）、上空 180m（下図）の風速風向時系列。橙色は極短時間予測、青線は気象庁 LFM の予測、黒線は観測。

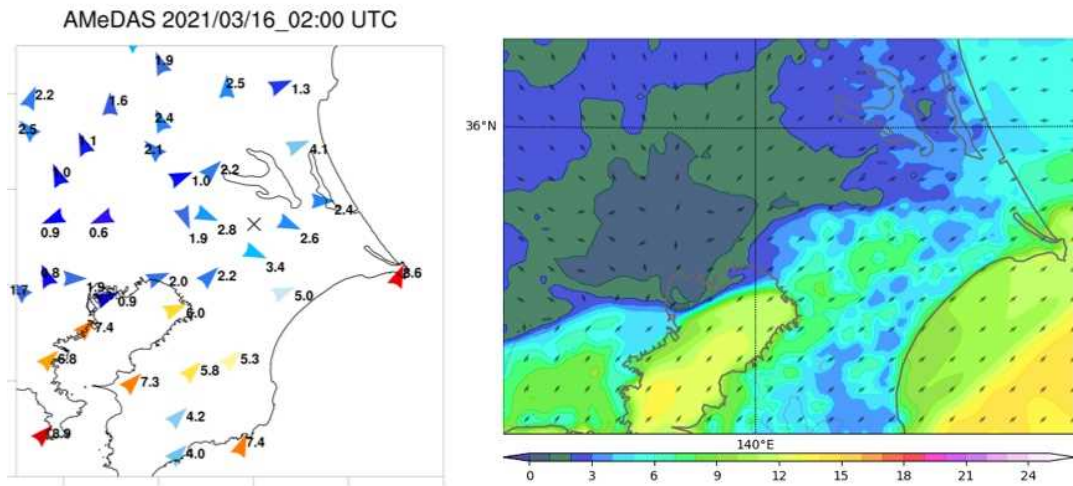


図 2. 2. 1. 10-162 極短時間予測の風速分布図の例。  
 左図はアメダス観測値（2021年3月16日11時）。  
 右図は極短時間予測（初期時刻は2021年3月16日9時）。



(3) 研究を通じて得られた課題と今後の対応

a) から v) までの計 21 種類の気象 API を開発し、運航管理統合機能と連携を実施した。

無人航空機運航で重要と思われる気象情報と粒度を仮説として設定した。課題として、無人航空機は機体サイズや耐風性能、耐水性能が異なり、また、輸送、空撮、検査など、様々な運航業務が想定され、積載物も多岐に渡る。本研究においては、無人航空機の機体特性や運航業務オペレーションを想定した機能の整備までには至っていない。無人航空機運航の安全性や経済性などを考慮すると、機体特性や運航高度などの業務特性を組み込んだ気象判断が必要になるとと思われる。

また、本研究では、無人航空機運航用の気象モデルとして、(A) 気象実況解析情報と (B) 極短時間予測気象情報を開発した。この 2 つの気象モデルについての課題と今後の対応を以下にまとめた。

(A) 気象実況解析情報

今回の研究開発で、無人航空機の運航判断に必要とする、高解像度、高頻度更新の実況解析情報を開発することができた。実証実験では良好な結果が得られたが、今回の実証実験のエリアが比較的地形の影響の少ない場所であった。今後の社会実装に向けては、地形の影響を大きく受ける山岳部での有用性を知ることが重要である。特に山岳部では入手できる観測データも平野に比べて少ないため、今後はそのような場所での検証も実施し、実況解析の精度向上のための生成ロジックの検討を継続していく必要がある。

また、利用する観測データについても、地上観測のみでなく、上空の観測や運航中の無人航空機に付けられた観測データを利用するなど、今後も検討が必要である。

(B) 極短時間予測気象情報

(A) で開発を行った実況解析を利用して、高解像度かつ極短時間の予測を行う予測モデルの開発を行い、検証を実施した。開発した実況解析を使用することで、極短時間の予測も従来の予測と比べて精度が向上することが分かったが、実況解析と同様に山岳部での有用性の検証など、今後も継続する必要がある。また、今後は都市部での無人航空機の運航が本格的に開始されるため、ビル風に代表されるような都市部特有の微気象の影響を取り込んだ予測の提供が必須となる。そのためには、100m 以下（数 m～数 10m）単位の気象情報データの開発が必要であり、積極的に取り組むべき課題であると考えられる。

## (6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	総計
論文	-	-	-	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	-	0	1	2	3
展示会出展	-	-	-	2	2	-	4
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	-	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	-	0	1	-	1
国内出願	-	-	-	0	1	-	1
外国出願	-	-	-	0	0	-	0

## (7) 実用化・事業化への道筋と課題

### 1. 実用化・事業化に向けた戦略

#### (1) 日本電気株式会社

無人航空機は、実用化が進みこれからますます産業での活用が期待されている。

しかしながら、複数の事業者が無人航空機を飛行する事により、無人航空機同士の衝突等が発生する可能性が高まるため、安全性が低下する。

安全性を確保するために、無人航空機の運航を管理する運航管理統合機能の必要が高まってくると考える。

本研究開発対象である運航管理統合機能は、低高度空域を管理する社会インフラシステムに位置づけられると想定される。社会インフラシステムは、行政事業として整備され、国もしくは国からの委託により運営されることが想定される。運営の在り方及びそれに伴う責任の所在については、運用ルールの制定とあわせて慎重に議論・検討する必要があるものの、運航管理を主体とする運営事業は、必然的にビジネスモデルが確立されるものと想定する。

#### (2) 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

本研究では多数の無人航空機が目視外で高頻度・高密度で運航する将来において必要となると想定される運航管理システムの機能を実現するための技術・機能を実装し評価した。特に限られた空域を多くの有人・無人の航空機が飛び交う世界において安全かつ効率的な運航管理を可能とする空域管理の運用・技術に着目して開発を進めてきた。当社はこれまでも防災・インフラ点検・物流といった様々な領域において、無人航空機を活用したビジネスを展開する様々な事業者に対してUTM・運航管理ソリューションを提供している。今後、2022年度のLEVEL4解禁を起点として物流など有人地帯上空でのBVLOS運航のニーズがさらに高まってくると想定するが、それに合わせるように安全管理に対する要件が一段と高まるものとする。今回の研究で得た有人航空機・無人航空機の空域管理の知見と、安全運航を支援する各種機能および情報提供の技術を元に自社ソリューションの機能拡充に繋げ、事業拡大するとともに業界の更なる活性化を目指す。さらにその先のUAM/AAMなどの次世代空モビリティの進展も見据え、低高度空域の統合的な空域管理の実現に寄与する。

#### (3) 株式会社日立製作所

無人航空機は、電力、道路、鉄道、といった社会インフラ点検、災害地における救援支援、空撮から導入が開始され、物流分野等様々な分野での活用が期待されている。

現在、法整備が進み、飛行計画の事前届け出、機体登録/免許の義務化等、静的情報での制度化が進みつつある。

今後、LEVEL3、LEVEL4等目視外飛行のニーズが高まるにつれて、遠隔でのドローンの飛行安全監視ニーズが高まると想定され、本実証にて実施した分散化飛行状況

管理機能アーキテクチャの整備が進むと考えられる。

#### (4) 株式会社ウェザーニューズ

本研究では、運航管理統合機能に対して、気象情報と有人航空機動態情報を連携する情報提供機能(SDSP)の一部として参画した。このうち、気象情報については、運航管理統合機能の特性として、様々な機体の情報を一元的に扱うこと、無人航空機の用途が異なること、多くの事業者の利用が想定されることにより、協調領域として扱える気象情報の粒度と種類の技術・機能を実装し評価した。本研究において、実装した機能は、個々の事業者の機体特性や運航業務に特化した用途である競争領域で活用される気象情報の基礎となるものであり、また、今後、地上と上空の気象観測が増えることにより、より正確な気象実況と予測が可能になれば、より精緻な運航可否判断や航路設定が可能になると思われる。

このように、新たな気象観測の導入と気象観測結果の検証とフィードバックを進めることで、無人航空機運航に最適化された気象情報へと進化し、協調領域・競争領域双方の気象情報活用が進むものと想定する。

## 2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

### (1) 日本電気株式会社

“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”にて制定されている「空の産業革命に向けたロードマップ」に協調しつつ無人航空機運航管理の在り方を継続して検討する。

また、無人航空機の運用ルールの策定に関して積極的に関係省庁へ提案を継続し、環境整備の促進を図ると共に、無人航空機運航管理事業を確立させる。

### (2) 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

本研究で得た成果を元に順次自社ソリューションの商品力向上に繋げる。これにより無人航空機の運航管理ニーズを喚起し市場形成/拡大のスピードアップを狙う。加えて、継続的な実証実験の実施により、さらに高度な運航実現に向けた課題抽出と技術開発を行い、競争力を確保する。市場を拡大し事業化を推し進めるためには、技術開発と並行して制度や運航ルールの継続的な見直しが不可欠であるため、官民での検討体や業界団体と協調した仕組み作りにも取り組む。更には諸外国の標準化団体( ASTM、EASA、ISO 等)の動向にも注視し、国際標準に準拠した製品開発を行うとともに、国内の関係者とも協力して標準策定にも積極的に関与し国際的な競争力の向上を目指す。

### (3) 株式会社日立製作所

“小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会”にて制定されている「空の産業革命に向けたロードマップ 2021」に協調しつつ運航管理事業の在り方を継続して検討する。ユーザ(自治体、事業者等)の具体的課題の解決をテーマとした社会実装を目的とした実証実験を実施し、安全な無人航空機運用環境の整備と、運用方法を確立する。

### (4) 株式会社ウェザーニューズ

今後の無人航空機事業者の実証実験に積極的に参画する。また、通常運航を実施している事業者、これから通常運航を予定している事業者に向けて、本研究で実装したAPI と UI を競争領域で活用されるべくニーズの把握と情報の活用についての検討を継続する。また、無人航空機と空域を共有することの多い有人航空機使用事業者にお

いても応用できるものとし、無人航空機事業者と有人航空機事業者双方にとって活用される情報となるよう事業化を進める。

### 3. 実用化・事業化の見通し

#### (1) 日本電気株式会社

無人航空機の運航管理を活用した無人航空機を活用するサービスは、ますます発展すると想定される。

限りあるリソースである「空」で無人航空機、有人航空機の混雑が発生し「空」リソース枯渇による無人航空機の衝突等が発生する可能性を回避し、無人航空機を安心・安全に飛行させる仕組みを提供することで無人航空機産業の発展に貢献すると考えられる。

その上で今回の研究結果を踏まえた課題点として無人航空機の運航事業者目線で要求される事項の検討や将来整備されると想定されるシステムのユーザビリティなどユーザ観点での研究事項がより必要である点が浮き彫りになったと考える。同時に無人航空機が普遍的に整備された際の膨大な機数を考慮したスケーラビリティについても、十分なマージンを確保したまま高度な機能を提供できるよう一層の研究が必要であると思われる。

研究を通して得られたこれらの知見に対して有効な策を検討し、より一層高度な技術研究を継続して実施していく。

#### (2) 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

無人航空機の普及は様々な業界における課題や社会課題の解決に寄与する。物流においては無人航空機の活用により深刻な配送ドライバーの労働力不足の改善が見込める。橋梁・道路などの社会インフラの老朽化に伴うメンテナンスコストの増大といった課題に対しても無人航空機を活用した点検自動化は有効な解決策の一つである。このように無人航空機関連技術の向上は持続可能な経済成長・産業化に繋がるものと考えられる。また、無人航空機により人々にとって空がより身近になり、これまで活用できていなかった空を活用した新たな移動手段の発展や、新しいビジネスの創出にも繋がると考える。

一方で、上空の低い所を無人航空機が飛び交う事に対する様々な不安(事故・騒音・プライバシー確保、セキュリティなど)が高まるといった課題もある。このような課題を克服するために、安全・安心を担保する制度・ルールを策定するとともに、システムの面から安全対策・リスク管理の支援を行う技術開発を継続していく。

#### (3) 株式会社日立製作所

運航管理事業の確立とともに、無人航空機を活用するサービスがますます発展すると想定される。運航管理統合機能により、安心・安全に無人航空機が利活用されることで、今後加速していくと予想される労働者人口不足の課題を解消する1つの手段となり、経済成長を促す無人航空機産業の発展に貢献すると考えられる。

本事業において、インシデント発生時のリアクションについて、通知情報の整理、シミュレーション/実証を行った。検証フェーズにおける警報通知間隔のチューニング、無人航空機事業者からのヒアリングを通じて、得られた結論は「早急に安全な場所に着陸する」ことが最もインシデント回避に有効であるという結論が得られた。だが、現状のインフラでは、「離陸ポイント」のみが、安全性が確認された場所であるため、安全性が確保された着陸ポイントが現時点で存在していないことが最大の課題であると考えられる。今後、安全なドローン運用インフラについて考察及び整備を行っていく。

(4) 株式会社ウェザーニューズ

LEVEL4 解禁後の無人航空機はさらに普及が進むと思われる。有人航空機と異なる部分として、機体数が膨大となること、運航時間が比較的短くなること、複数機体による複数の運航が可能であることなどがある。そのため、無人航空機運航では、システムによる運航可否自動判定や自動航路設定などが重要になると思われる。個々の無人航空機運航に必要となる情報として、運航の用途、機体スペック、運航高度、地域の気象特性などがあり、より多くの情報を基にした気象判定が必要になると思われる。

#### 6.2.1.11 8) 単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）：

##### 単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）

（実施期間：2年間（2020年度～2021年度））

（実施者：株式会社SUBARU 日本無線株式会社 日本アビオニクス株式会社 株式会社ACSL マゼランシステムズジャパン株式会社）

#### （1）事業の背景・意義（目的・概要）

##### （1）目的

ロボット・ドローンは様々な分野で革命を起こす可能性を秘めており、諸外国でも利活用分野の拡大のための制度設計、技術開発及び標準化活動が活発である。一方、我が国においても、サービスの高度化や社会課題解決のためにロボット・ドローンの高度利活用が期待されており、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会にて取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ」に沿って、本土・離島間や山間地での無人航空機による物流等の実現等を目指し、官民一体となって取り組んでいると認識している。

本研究開発項目の「単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）」は、この「空の産業革命に向けたロードマップ2020」において、「小型化・省電力化等の衝突回避等技術」の技術開発として位置付けられているものである。（図2.2.1.11-1参照）

「単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）」は、安全かつ信頼性の高い目視外での自律飛行を実現するために、「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”を小型無人航空機に搭載し、飛行試験によってその有効性を評価するとともに、離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合を想定した運航管理機能を研究開発する。

研究開発項目：「単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）」

⇒「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において取りまとめられた「空の産業革命に向けたロードマップ2020」に示された、無人地帯での目視外飛行（レベル3）及び有人地帯での目視外飛行（レベル4）の本格化に向けた「小型化・省電力化等の衝突回避等技術」の技術開発として位置付けられている



出典：経済産業省ホームページ

[https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/robot/pdf/roadmap2020.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/pdf/roadmap2020.pdf)

図 2.1.1.11-1 「単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）」の位置付け

(2) 概要

本研究開発においては、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の“非協調式 SAA (Sense And Avoid) システム”及び「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の“協調式 SAA システム”を小型無人航空機に搭載し、福島県のロボットテストフィールド（以下、「福島 RTF」）等において飛行試験を実施することで、主に離島間物流用途を想定した実環境下における衝突回避技術の有効性を検証する。

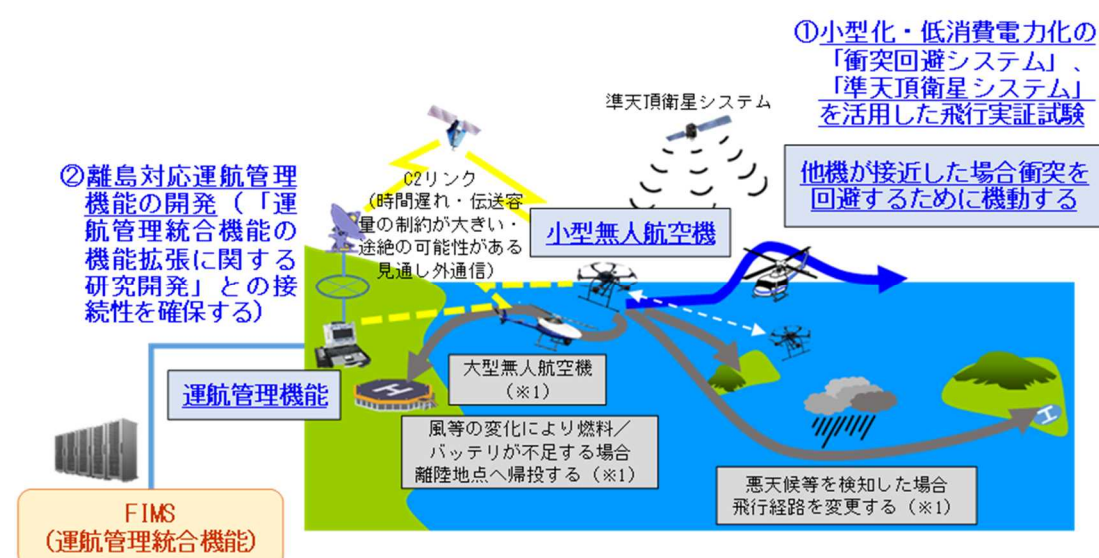
また、無人航空機の衝突回避技術の搭載に当たっては、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避



技術の開発／運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」との接続性を踏まえつつ、通信インフラの脆弱な環境下においても、“衝突回避技術を含む自律的に経路変更を行う無人航空機”の運航に適する離島対応の運航管理機能の技術を開発・実証する。

本研究開発においては、2017年度から2019年度に研究開発した「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発（※1）」（以下、「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」）の成果を活用する。

本研究開発と「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」との関係を図 2. 2. 1. 11-2 に示す。



- ・ 本研究開発の対象＝下線箇所
- ・ C2 リンク : Command and Control link
- ・ FIMS : Flight Information Management System

※1 : 「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」においては、離島間物流を想定し、地上と無人航空機間の通信インフラが十分に整備されていないにも関わらず、様々な状況の変化が想定される長距離飛行において、周辺環境の変化に対応し、大型無人航空機が自律的に飛行経路を変更し、準天頂衛星システムを利用して、精密に飛行する技術を実装したシステムを開発した。

図 2. 2. 1. 11-2 単独長距離飛行を実現する運航管理機能の開発（離島対応）の研究開発内容

## (2) 研究開発目標と根拠

### (1) 飛行試験

「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”の有効性を評価するために、以下の(a)～(c)のステップで飛行試験を実施する。

なお、飛行試験の実施に当たっては、「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」の成果を活用する。

また、これらの飛行試験実施にあたり、小型化・低消費電力化の衝突回避システムの電波センサ（レーダ）を使用するために、実験無線局の登録手続きに係る作業を実施する。

#### (a) 基礎データの取得

定量的な評価試験に先立ち、①「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」及び②「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の開発で必要な下記の基礎データを取得する。

①-1：光波センサの探知情報等のデータ

①-2：電波センサ（レーダ）の探知情報等のデータ

①-3：非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機の衝突回避機動に関する動作検証のデータ

②-1：準天頂衛星システムによる測位精度検証のデータ

#### (b) 定量的な評価試験

「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”を小型無人航空機に搭載し、設定した運航シナリオが安全に実現できることを福島 RTF において実証し、定量的な性能を把握する。

#### (c) 実環境での飛行実証

離島運航シナリオを設定し、周辺環境の変化が予想される本土及び離島間を想定した飛行を実施し、実環境下において、本研究開発の技術の有効性を評価する。

### (2) 離島対応の運航管理機能の技術開発・実証

離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合を想定した運航管理機能を、「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」において開発された運航管理機能の成果を活用し、「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」との接続性を踏まえつつ開発・実証する。

#### (a) 離島対応の運航管理機能の技術開発

「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」の成果を踏まえ、G2 リンクが完全に途絶した場合においても、自律的な衝突回避機能を含む飛行経路変更を行う無人航空機の運航に適するように、離島対応の運航管理機能を「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」の委託先と連携して開発する。

#### (b) 離島対応の運航管理機能の実証

「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」と接続し、シミュレーション等により離島対応運航管理機能の接続性を検証する。

### (3) 標準化に関する検討

2.2(1) 飛行試験及び 2.2(2) 離島対応の運航管理機能の技術開発・実証の成果等に基づ

き、無人航空機の衝突回避技術の標準化に関する検討及び提案活動を実施する。

- (a) 無人航空機の衝突回避技術に関する標準化提案
- (b) 衝突回避技術用センサに関する標準化の調査検討
- (c) 標準化活動に向けた実証試験の実施

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

目標達成に向けた研究開発のスケジュールを表 2.2.1.11-1 に示す。

また、研究開発の実施体制を図 2.2.1.11-3 に示す。

表 2.2.1.11-1 研究開発スケジュール

事業項目	2020 年度				2021 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
(1) 飛行試験								
(a) 基礎データの取得		→						
(b) 定量的な評価試験					→			
(c) 実環境での飛行実証							→	
(2) 離島対応の運航管理機能の技術開発・実証								
(a) 離島対応の運航管理機能の技術開発		→						
(b) 離島対応の運航管理機能の実証					→			
(3) 標準化に関する検討								
(a) 無人航空機の衝突回避技術に関する標準化提案				→				
(b) 衝突回避技術用センサに関する標準化の調査検討				→				
(c) 標準化活動に向けた実証試験の実施			→					

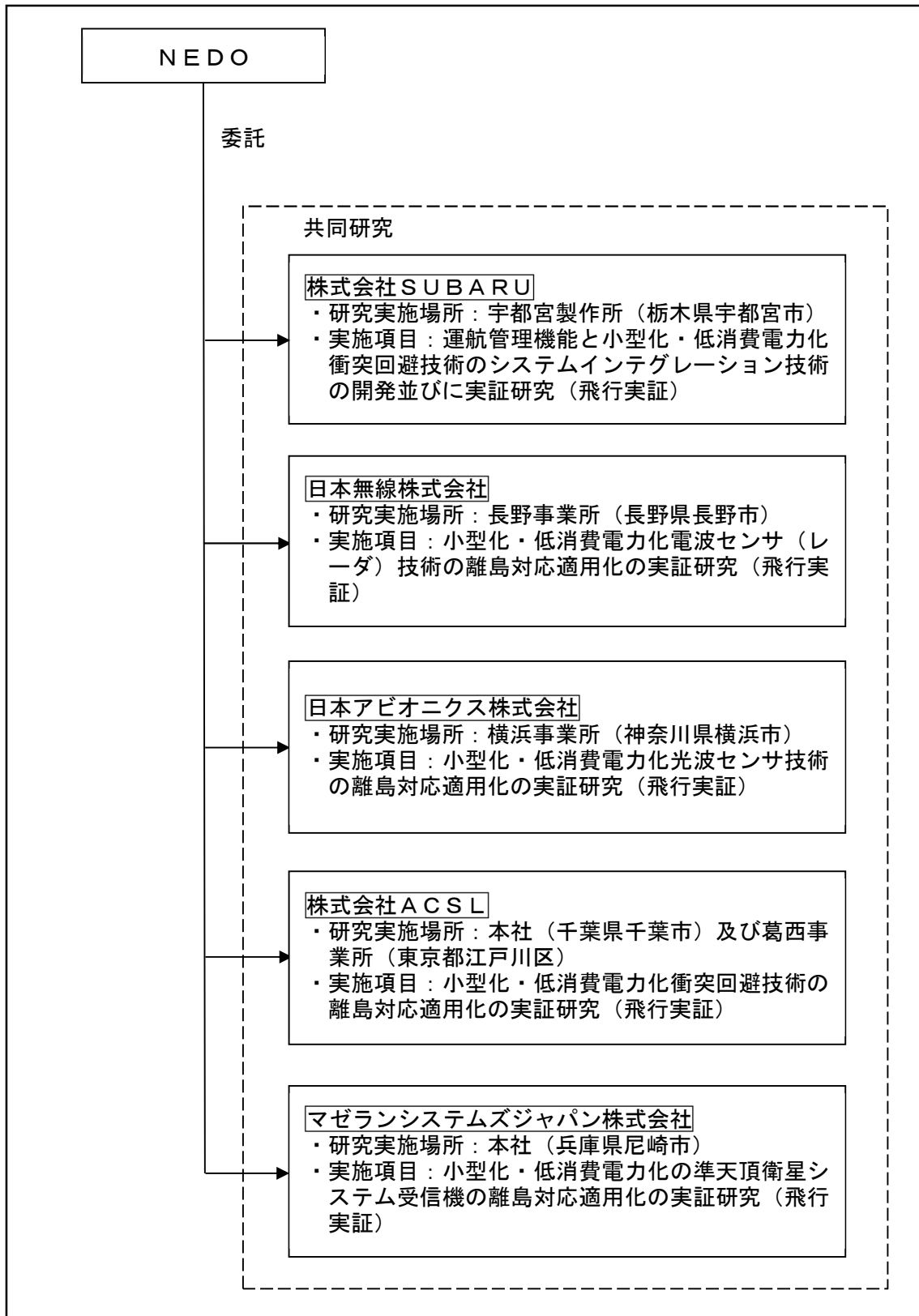


図 2.2.1.11-3 実施体制

(4) 研究開発の達成状況

① 飛行試験

「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システム、「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の協調式 SAA システムを小型無人航空機に搭載し、福島 RTF 及び愛知県三河湾等において飛行試験を実施することで、主に離島間物流用途を想定した実環境下における衝突回避技術の有効性を検証した。

最終目標	成果	達成度	備考
<p>「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」及び「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の飛行試験による実証</p> <p>①小型化・低消費電力化の衝突回避システムの各種センサを搭載した小型無人航空機が、想定ケース（対有人航空機と相対速度 200km/h）において回避可能か検証する（小型光波センサ・電波センサ搭載機体の衝突回避試験）</p> <p>②小型化・低消費電力化の準天頂衛星システム受信機を搭載した小型無人航空機が、想定ケース（対有人航空機と相対速度 200km/h）において回避可能か検証する（小型準天頂システム搭載機体の衝突回避試験）</p>	<p>・「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システム、「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の協調式 SAA システムを小型無人航空機に搭載し、福島 RTF や愛知県の三河湾海上等において飛行試験を実施することで、主に離島間物流用途を想定した実環境下における衝突回避技術の有効性をステップアップで検証した</p> <p>①非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機が、下記の想定ケースにおいて、自律的に回避できることを確認した</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対有人航空機 ： 相対速度 200km/h</li> <li>・ 対小型無人航空機 ： 相対速度 100km/h</li> </ul> <p>②協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機が、対有人航空機と相対速度 200km/h において、自律的に回避できることを確認した</p>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

②離島対応の運航管理機能の技術開発・実証

「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」との接続性を踏まえつつ、通信インフラの脆弱な環境下においても、衝突回避技術を含む自律的な経路変更を行う無人航空機の運航に適するような離島対応の運航管理機能の技術を開発・実証した。

最終目標	成果	達成度	備考
離島対応運航管理装置の製作及び検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」との接続性を踏まえつつ、通信インフラの脆弱な環境下において、地上と無人航空機間の通信（C2リンク）が完全に途絶した場合においても、衝突回避技術により自律的に経路変更を行う無人航空機の運航に適するような離島対応の運航管理機能の技術を開発・実証した</li> <li>・具体的には、C2リンクが途絶した状況下においても、離島対応の運航管理機能により、自律的な衝突回避経路を含む無人航空機の予想存在範囲を算出し、運航管理統合機能（機能拡張）へ提供することにより、“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”を搭載した無人航空機が運航管理された状態で、より安全に飛行を継続できることを確認した</li> </ul>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

③標準化に関する検討

①飛行試験及び②離島対応の運航管理機能の技術開発・実証の成果等に基づき、無人航空機の衝突回避技術に関する標準化提案、衝突回避技術用センサに関する標準化の調査検討及び標準化活動に向けた実証試験を実施した。

最終目標	成果	達成度	備考
無人航空機の衝突回避技術に関する標準化提案	・「Operational procedures」(IS021384-3)への衝突回避技術の内容入れ込み及びCD（Committee Draft）承認に関する標準化を実施した	○	
衝突回避技術用センサに関する標準化の調査検討	・「ISO/NP 15964 : Detection and Avoidance System for Unmanned Aircraft Systems」のNP（New work item Proposal）提案投票開始までの標準化を実施した	○	
標準化活動に向けた実証試験の実施	・“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”と「エネルギーマネジメントに関する研究開発」に関連するバッテリーを小型無人航空機に搭載して標準化を見据えた実証実験を実施した	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達



## (5) 成果と意義

### 5.1 研究開発項目①「飛行試験」

飛行試験は、定量的な評価試験に先立ち、「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」及び「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の開発に必要な基礎データを取得した。その後、「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」開発品の非協調式 SAA システム、「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」開発品の協調式 SAA システムをそれぞれ小型無人航空機に搭載し、福島 RTF にて定量的な評価試験を行うとともに、愛知県の三河湾にて本土及び離島間を想定した実環境での飛行実証を行い、「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”の有効性を評価した。

なお、飛行試験においては、下記の想定ケースにおいて、自律的に回避可能か検証することを最終目標として、ステップアップで実施した。

- ・対有人航空機 : 相対速度 200km/h
- ・対小型無人航空機 : 相対速度 100km/h

この想定ケースにおける小型無人航空機及び有人航空機の飛行速度は、次の考え方に基づきそれぞれ設定した。

- ・“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”搭載の小型無人航空機及び回避対象の小型無人航空機の飛行速度 : 50km/h

⇒ 現状普及している小型無人航空機は、4つ以上のプロペラを利用したマルチコプターで、飛行速度はトップクラスのもので毎秒 15m であり、これより飛行試験における小型無人航空機の飛行速度は、時速 50km に設定した。

(参考) 新エネルギー・産業技術総合開発機構の「安全安心なドローン基盤技術開発」プロジェクトによる研究開発成果をもとに、株式会社 ACSL が開発した「SOTEN (蒼天)」の飛行速度も同程度である。

- ・回避対象の有人航空機の飛行速度 : 150km/h

⇒ 日本国内で登録されている有人の回転翼航空機は、全備重量が 2,000kg～3,000kg のクラスのヘリコプターが最も機数が多く、かつ無人航空機が遭遇することが予想されるドクターヘリもこのクラスに包含され、低高度空域での活動は、ドクターヘリ飛行の他に、物資輸送(吊り下げ)及び送電線パトロールなどがある。ドクターヘリは、通常飛行高度 1,000FT 程度、飛行速度約 200km/h 程度で運航されており、無人航空機が運航する高度 150m 未満の高度におけるドクターヘリは、上昇/降下及び加速/減速中と考えられる。これより、回避対象の有人航空機の飛行速度は 150km/h として、自律的な衝突回避の検証を実施した。

(参考) また、対有人航空機の衝突回避検証の飛行試験の際に、有人航空機を速度 200km/h で飛行させ、センサの探知状況のデータ取得を実施した。

5.1.1 「飛行試験(1) 基礎データの取得」(実施者：株式会社SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ACSL、マゼランシステムズジャパン株式会社)

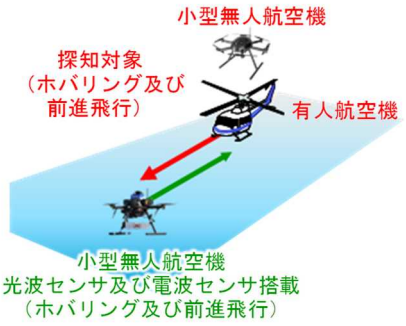
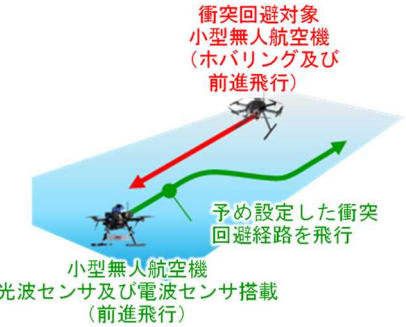
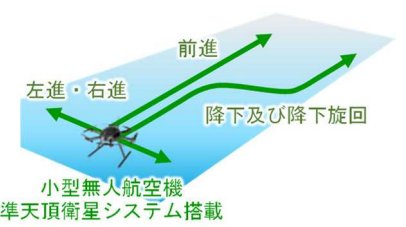
2021年4月15日から4月27日に、福島RTF、南相馬復興工業団地工業用地及び福島浜通りロボット実証区域(南相馬市)広域飛行区域において、基礎データ取得のための飛行試験を実施し、「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」及び「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の開発に必要な基礎データを取得した。試験場所及び試験成果概要を次に示す。

- ・ 図 2.2.1.11-4 基礎データ取得の試験場所
- ・ 表 2.2.1.11-2 基礎データ取得の試験成果概要



図 2.2.1.11-4 基礎データ取得の試験場所

表 2.2.1.11-2 基礎データ取得の試験成果概要



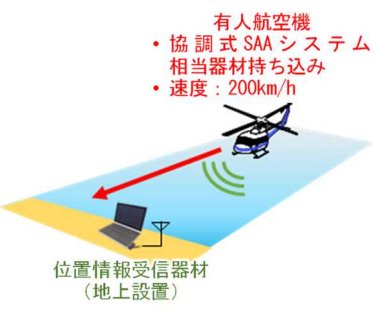
試験名称	試験成果概要	
<p>「衝突回避システム<small>の</small>小型化・低消費電力化」の光波センサ及び電波センサ（レーダ）の基礎データ取得試験</p>	<p><b>目的：</b>衝突回避対象に対する光波センサ及び電波センサ（レーダ）の探知情報等のデータを取得する</p> <p><b>成果：</b>「衝突回避システム<small>の</small>小型化・低消費電力化」の光波センサ及び電波センサ（レーダ）を搭載した小型無人航空機を飛行させ、対無人航空機及び有人航空機に対する光波センサ及び電波センサ（レーダ）の探知データ等を取得した</p>	
<p>「衝突回避システム<small>の</small>小型化・低消費電力化」の自律管理装置の基礎データ取得試験</p>	<p><b>目的：</b>非協調式SAAシステムを搭載した小型無人航空機が設計どおりの衝突回避機動を実施できることを確認する</p> <p><b>成果：</b>「衝突回避システム<small>の</small>小型化・低消費電力化」の光波センサ及び電波センサ（レーダ）を搭載した小型無人航空機を飛行させ、自律的な衝突回避における小型無人航空機の回避機動性のデータを取得した</p>	
<p>「準天頂衛星システム<small>の</small>小型化・低消費電力化」の準天頂衛星システムの基礎データ取得試験</p>	<p><b>目的：</b>小型無人航空機飛行時における準天頂衛星システムの測位精度を検証する</p> <p><b>成果：</b>「準天頂衛星システム<small>の</small>小型化・低消費電力化」の準天頂衛星システムを搭載した小型無人航空機を飛行させ、位置情報等の精度評価のデータを取得した</p>	

5.1.2 「飛行試験(2) 定量的な評価試験」(実施者:株式会社SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ACSL、マゼランシステムズジャパン株式会社)

2021年7月5日から7月16日に定量的な評価試験の事前確認を、2021年8月30日から9月11日に定量的な評価試験を福島RTF及び福島浜通りロボット実証区域(南相馬市)広域飛行空域(図2.2.1.11-4参照)において実施し、設定した運航シナリオが安全に実現できることを実証した。

定量的な評価試験の試験成果概要を表2.2.1.11-3に示す。

表Ⅲ2.2.1.11-3 定量的な評価試験の試験成果概要

試験名称	試験成果概要
<p>非協調式SAA 模擬衝突回避試験</p>	<p><b>目的:</b> 光波センサ及び電波センサ(レーダ)の探知性能を確認する</p> <p><b>成果:</b> 「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式SAAシステムを搭載した小型無人航空機を、予め設定した衝突回避経路で飛行させ、小型無人航空機及び有人航空機に対する光波センサ及び電波センサ(レーダ)の探知データを取得した</p> 
<p>非協調式SAA 自律的衝突回避試験</p>	<p><b>目的:</b> 想定ケースにおいて自律的に衝突回避できることを確認する</p> <p><b>成果:</b> 「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式SAAシステムを搭載した小型無人航空機を飛行させ、小型無人航空機及び有人航空機に対する自律的な衝突回避の性能を把握した</p> 
<p>協調式SAA 情報共有機能確認試験</p>	<p><b>目的:</b> 協調式SAA自律的衝突回避試験に際し、位置情報の取得及び送信ができることを事前に確認する</p> <p><b>成果:</b> 「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の協調式SAAシステム相当の器材を有人航空機の機内に持ち込み、飛行中の有人航空機の位置を機内の準天頂衛星システムにより測位し、この位置情報を地上器材に通信できることを確認した</p> 

非協調式 SAA の自律的衝突回避試験においては、小型無人航空機に搭載した「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の光波センサ及び電波センサ（レーダ）により、相対速度 200km/h で接近してくる有人航空機を飛行中に探知し、この探知情報に基づき「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の自律管理装置が小型無人航空機に対し衝突を回避する経路変更の指令を出力し自律的に飛行経路を変更できることを飛行試験で確認した。この飛行試験の結果などは、2021 年 11 月 8 日にニュースリリースした。

◇各社ホームページにてニュースリリース

- ・ 株式会社 S U B A R U  
[https://www.subaru.co.jp/news/2021\\_11\\_08\\_174517/](https://www.subaru.co.jp/news/2021_11_08_174517/)
- ・ 日本無線株式会社  
<https://www.jrc.co.jp/jp/about/news/2021/1108-1.html>
- ・ 日本アビオニクス株式会社  
<https://www.avio.co.jp/news/pdf/211108.pdf>
- ・ 株式会社 A C S L  
<https://www.acsl.co.jp/news-release/press-release/2014/>
- ・ マゼランシステムズジャパン株式会社  
<https://www.magellan.jp/news/755>

5.1.3 「飛行試験(3) 実環境での飛行実証」(実施者：株式会社SUBARU、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、株式会社ACSL、マゼランシステムズジャパン株式会社)

2021年11月9日から11月23日に実環境での飛行実証の事前確認を、2021年12月8日から12月21日に実環境での飛行実証を愛知県豊川市御津町愛知県企業庁工業用地御津1区及び周辺海上において実施した。

実環境での飛行実証は、周辺環境の変化が予想される本土及び離島間を想定した飛行を実施し、実環境下において、本研究開発の下記最終目標を含め評価した。

①「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」及び「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の飛行試験による実証

- ・小型化・低消費電力化の衝突回避システムの各種センサを搭載した小型無人航空機が、想定ケース(対有人航空機と相対速度200km/h)において回避可能か検証する。
- ・小型化・低消費電力化の準天頂衛星システム受信機を搭載した小型無人航空機が、想定ケース(対有人航空機と相対速度200km/h)において回避可能か検証する。

②離島対応運航管理機能の検証

この結果、「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された“小型化・低消費電力化の衝突回避技術”を小型無人航空機に搭載し、飛行試験によってその有効性を確認したとともに、C2リンクの途絶を模擬した場合においても、自律的な衝突回避による飛行経路変更を行う無人航空機の運航管理に適する離島対応の運航管理機能であることを確認した。

なお、下記の理由より、C2リンクは実際に途絶させずに、離島対応運航管理機能で受信する小型無人航空機の飛行情報を停止することにより、C2リンク途絶の模擬状態にて飛行実証を行った。

- ・国土交通省航空局発行の「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」※2において、下記のとおり規定されている。

4-1-1 全ての無人航空機の機能及び性能について、次に掲げる基準に適合すること。

(5) ~常時、不具合発生時等において、無人航空機を飛行させる者が機体を安全に着陸させられるよう、強制的に操作介入ができる設計であること。

- ・このため、常時、機体を安全に着陸させられるように、試験はC2リンクを接続した形態で実施した。
- ・また、離島対応運航管理機能は、C2リンクを実際に途絶させずに、離島対応運航管理機能で受信する小型無人航空機の飛行情報を停止することにより、C2リンクが途絶した場合と同様に機能するので、C2リンク途絶を模擬することで検証した。

※2 : 国土交通省ホームページ

<https://www.mlit.go.jp/common/001254115.pdf> P.12より転載

実環境での飛行実証の試験場所及び試験成果概要を次に示す。

- ・図2.2.1.11-5 実環境での飛行実証の試験場所
- ・表2.2.1.11-4 実環境での飛行実証の試験成果概要





図 2. 2. 1. 11-5 実環境での飛行実証の試験場所

表 2. 2. 1. 11-4 実環境での飛行実証の試験成果概要 (1/2)



試験名称	試験成果概要
非協調式 SAA 自律的な衝突回避試験	<p><b>目的：</b> 想定ケースにおいて自律的に衝突回避できることを確認する</p> <p><b>成果：</b> 「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機を飛行させ、小型無人航空機及び有人航空機に対する自律的な衝突回避の有効性を確認した</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対小型無人航空機： 相対速度 100km/h</li> <li>・ 対有人航空機： 相対速度 200km/h</li> </ul> 
非協調式 SAA と離島対応運航管理機能との統合試験	<p><b>目的：</b> 衝突回避技術と離島対応運航管理機能を組み合わせて、それぞれの技術の有効性を確認する</p> <p><b>成果：</b> 離島対応の運航管理機能と「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機及び運航管理統合機能（機能拡張）とを接続して、周辺環境の変化が予想される本土及び離島間を想定した飛行を実施し、本技術の有効性を確認した</p> 



表 2.2.1.11-4 実環境での飛行実証の試験成果概要 (2/2)

試験名称	試験成果概要
<p>非協調式 SAA と離島対応運航管理機能との統合試験 (C2 リンク途絶模擬)</p>	<p><b>目的:</b> 小型無人航空機の C2 リンクが途絶した場合※<sup>3</sup> においても、自律的に経路変更を行う無人航空機の運航に適した離島対応運航管理機能であることを確認する</p> <p><b>成果:</b> 小型無人航空機との C2 リンク途絶を模擬し、C2 リンクが途絶した場合でも、自律的な経路変更を含む未来の予想存在範囲を算出し、運航管理統合機能 (機能拡張) に提供しながら飛行を継続できることを確認した</p> <div data-bbox="938 421 1342 728" style="text-align: right;"> <p>離島対応運航管理機能</p> <p>衝突回避対象 有人航空機</p> <p>「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システム搭載 小型無人航空機</p> <p>運航管理統合機能 (機能拡張)</p> <p>※<sup>3</sup>: C2 リンク途絶 (模擬)</p> </div>
<p>協調式 SAA 自律的衝突回避試験</p>	<p><b>目的:</b> 協調式 SAA により自律的に衝突回避できることを確認する</p> <p><b>成果:</b> 「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機を飛行させ、対有人航空機と相対速度 200km/h において、位置情報を共有することによる自律的な衝突回避 (離陸地点に帰投) の有効性を確認した</p> <div data-bbox="954 898 1326 1256" style="text-align: right;"> <p>準天頂衛星システム (受信)</p> <p>有人航空機の位置情報を共有</p> <p>衝突回避対象 有人航空機 速度150km/h</p> <p>「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」の協調式 SAA システム搭載 小型無人航空機 速度: 50km/h</p> </div>

5.1.4 「飛行試験における「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」非協調式 SAA システムの光波センサの評価」（実施者：日本アビオニクス株式会社）

脅威機の衝突回避に必要な離隔距離（脅威機との安全離隔距離＋衝突回避動作に必要な距離 ⇒ 対小型無人航空機：250m 以遠、対有人航空機：750m 以遠）で脅威機を感知すると共に感知した目標情報を一定周期（10Hz）で自律管理装置に出力できることを飛行試験によって確認した。

(1) 飛行試験（基礎データ取得、定量的な評価、実環境での飛行実証）の成果

基礎データ取得試験において、コンピュータ解析用データを取得した。データは、光波センサと映像記録機器を搭載した小型無人航空機を飛行させ、同じく飛行している脅威機（小型無人航空機、有人ヘリコプター）を光波センサの可視光カメラで撮影して、映像記録機器に記録することによって取得した。

取得データの詳細を表 2.2.1.11-5 に示す。

表 2.2.1.11-5 取得データ詳細

No.	脅威機	脅威機の動作	探知機の動作	取得データの目的
1	小型無人航空機	離隔距離 250m でホバリング	ホバリング	離隔距離における探知 状況を確認するため
2		ホバリング	脅威機に接近	接近時の機体姿勢にお ける探知状況を確認す るため
3	有人ヘリコプター	離隔距離 750m でホバリング	ホバリング	離隔距離における探知 状況を確認するため

定量的な評価試験において、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／無人航空機の衝突回避技術の開発／衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の成果を踏まえ、次の①～②について、飛行試験による実証によって確認した。また、実環境での飛行実証に向けたコンピュータ解析用データを取得した。小型無人航空機探知時の画像を図 2.2.1.11-6 に示す。

- ①脅威機の衝突回避に必要な離隔距離（対小型無人航空機：250m 以遠、対有人ヘリコプター：750m 以遠）で脅威機を感知
- ②脅威機を感知した目標情報を一定周期（10Hz）で自律管理装置に出力



※定量的な評価試験において小型無人航空機を回避に必要な離隔距離である 250m 以遠で捉えている画像  
図 2.2.1.11-6 小型無人航空機探知時の画像

実環境での飛行実証においては、小型無人航空機同士の非協調式衝突回避試験を行い、光波センサが自律管理装置に出力した目標情報により、機体が回避行動することを確認した。図 2. 2. 1. 11-7 に飛行実証試験のイメージを示す。



© OpenStreetMap contributors

図 2. 2. 1. 11-7 飛行実証試験イメージ

(2) 今後の課題

今回の成果を踏まえた課題は、今回採用しているコントラストに基づく物体検出の方式では、回避対象の他にコントラストがはっきりした雲や構造物も検知されるものである。そのため、衝突回避には、これらの脅威判定をする必要があるが、現状の処理方式では非常に困難である。

現状は、映像の1フレームにおける検知物体の位置（機首方位を北とした相対的な方位、仰角）を抽出後、数フレームに渡って位置情報を基にした追尾を行うことで回避対象を抽出しており、飛行経路上の視野に継続して存在していることにより、脅威と判断するが、雲や構造物も追尾され易いため、脅威と判断されてしまう。現状の処理で得られる情報だけでは、検知物体の脅威判定をする情報としては乏しい。

判定には、現在抽出している位置情報に加え、距離情報や識別情報が有効と考えるが、これら付加情報を取得するためには、システム構成も含めた処理方式の改善が必要と考える。図 2. 2. 1. 11-8 に脅威機以外を探知した例を示す。



図 2. 2. 1. 11-8 脅威機以外を探知した例

5.1.5 「飛行試験における「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」非協調式 SAA システムの電波センサ（レーダ）の評価」（実施者：日本無線株式会社）

(1) 実験無線局の登録手続き

飛行試験で電波センサを実験無線局として使用するため、無線局免許状の取得（実験計画ならびに無線局運用の許可）に関して総務省、関係官庁と調整、電波使用に関する申請手続きを進め、実験試験局の無線局免許状を取得した。

(2) 基礎データ取得試験の成果

小型無人航空機に電波センサを搭載し、ホバリング時及び移動飛行時における脅威機（回避対象）の受信ログデータを取得した。なお、脅威機は有人ヘリの他、有人ヘリを模擬したコーナリフレクタを搭載した無人航空機を使用した。

取得した受信ログデータをオフライン解析した結果、図 2.2.1.11-9 及び図 2.2.1.11-10 に示す様に、脅威目標のみを検出させる事ができ、取得した受信ログデータは、オフライン解析・検証に有益なデータであることを確認できた。

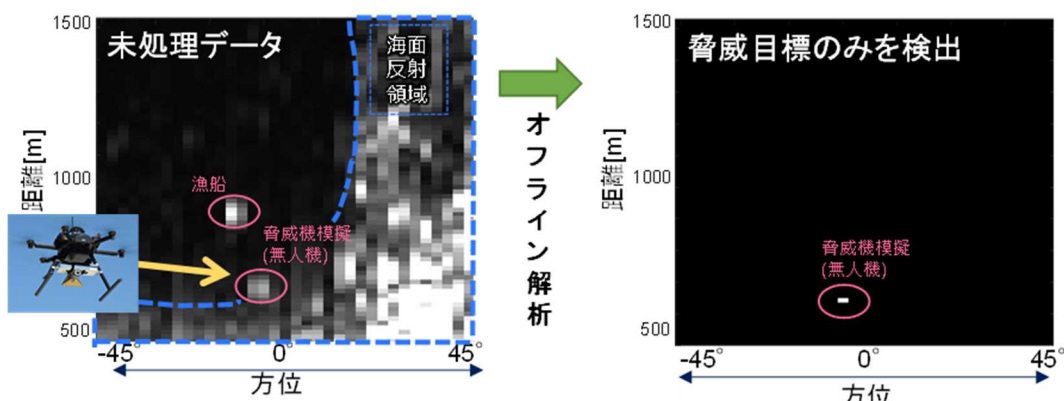


図 2.2.1.11-9 基礎データ取得試験のオフライン解析結果  
（コーナリフレクタ搭載無人航空機）

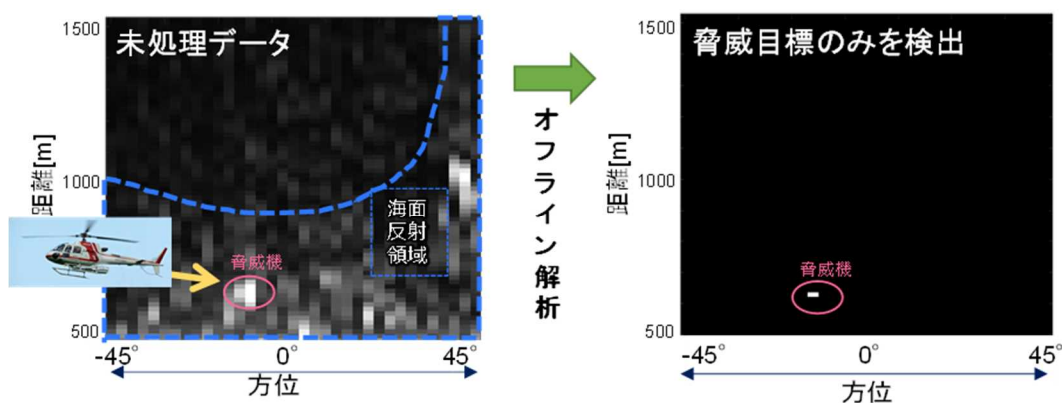


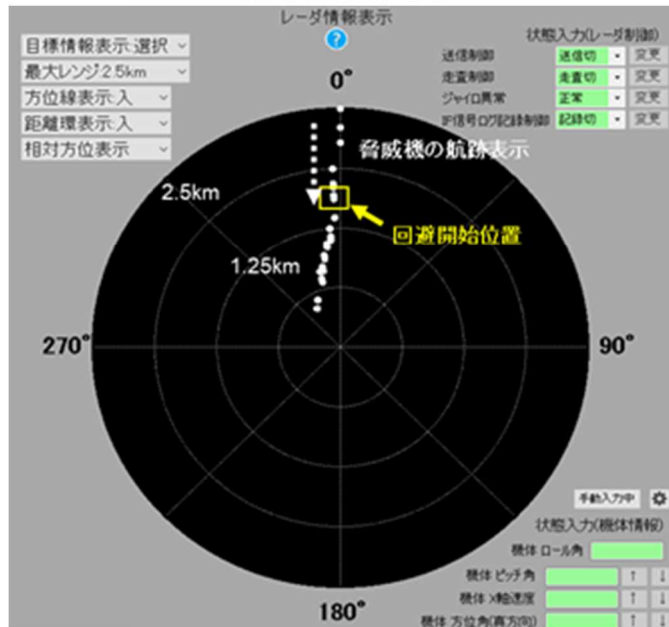
図 2.2.1.11-10 基礎データ取得試験のオフライン解析結果  
（有人ヘリ）

(3) 定量的な評価試験、実環境での飛行実証の成果

基礎データ取得試験で取得した受信ログデータをオフライン解析・パラメータ検証した結果を基に、最適な信号処理パラメータを電波センサに適用し、定量的な評価試験及び実環境での飛行実証で自律的な衝突回避試験を行った。その結果、各試験において相対速度 200km/h で飛行する脅威機を自律的に回避する事が確認でき、衝突回避に必要な脅威機の方位、距離、速度データを自律管理装置へ出力できている事が検証できた。図 2. 2. 1. 11-11 に飛行試験時のレーダ検出ログ画面を示す。



定量的な評価試験  
(福島県 南相馬市)



実環境での飛行実証  
(愛知県 蒲安市 (三河湾))

図 2. 2. 1. 11-11 自律的回避試験のレーダ検出ログ画面



5.1.6 「飛行試験における「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」非協調式 SAA システムの自律管理装置の評価」(実施者：株式会社 ACSL)

「無人航空機の衝突回避技術の開発」において開発された「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システムを小型無人航空機に搭載し、福島 RTF や愛知県の三河湾海上等において飛行試験を実施することで、主に離島間物流用途を想定した実環境下における衝突回避技術の有効性をステップアップで検証した。

非協調式 SAA システムを搭載した小型無人航空機(図 2.2.1.11-12 参照)が、下記の想定ケースにおいて、自律的に回避できることを確認した。

- ・ 対有人航空機 : 相対速度 200km/h
- ・ 対小型無人航空機 : 相対速度 100km/h


型式等		小型無人航空機 (非協調式 SAA システム搭載) ACSL-PF2
外観		
諸元	寸法	1.2m (プロペラ範囲) × 0.6m (全高)
	質量	10kg (最大)

図 2.2.1.11-12 実証実験に用いた無人航空機 (探知機)

小型無人航空機に搭載の自律管理装置では、以下のアルゴリズムで衝突回避を行う。(図 2.2.1.11-13 参照)

- (1) 検知/判断
  - ・ 対有人航空機 (相対 200km/h) :  
電波センサで、距離 1,500m 以内で、連続 3 フレーム (3 秒間) 同一セクタ、フレーム間移動 83m 以内、速度正 (接近)
  - ・ 対無人航空機 (相対 100km/h) :  
光波センサで、10 フレーム中 (1 秒間) で 5 フレーム以上検知  
同一目標の判定基準は方位角、仰角ともに  $\pm 2^\circ$  以内
- (2) 回避
  - ・ 対有人航空機 (相対 200km/h) :  
電波センサで、方位角 0~45 度 (=右側に脅威機を検知) ⇒ 左に回避  
方位角 -45~0 度 (=左側に脅威機を検知) ⇒ 右に回避
  - ・ 対無人航空機 (相対 100km/h) :  
光波センサで、方位角 0~45 度 (=右側に脅威機を検知) ⇒ 左に回避  
方位角 -45~0 度 (=左側に脅威機を検知) ⇒ 右に回避
- (3) 再検知/待機

- 対有人航空機（相対 200km/h）：電波センサで、左右 45 度に脅威機が見えている間は一時停止
  - 対無人航空機（相対 100km/h）：光波センサで、左右 45 度に脅威機が見えている間は一時停止
- (4) 飛行再開
- 回避後に脅威機が検知されなければ、計画されている目的地へ直進

### 非協調式 SAA システムの回避ロジック

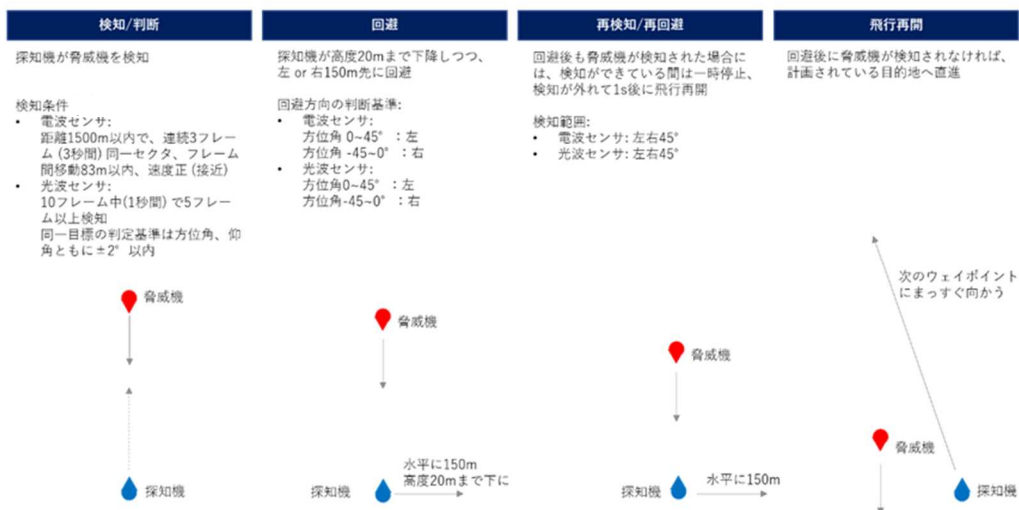


図 2. 2. 1. 11-13 衝突回避アルゴリズムのロジック概要



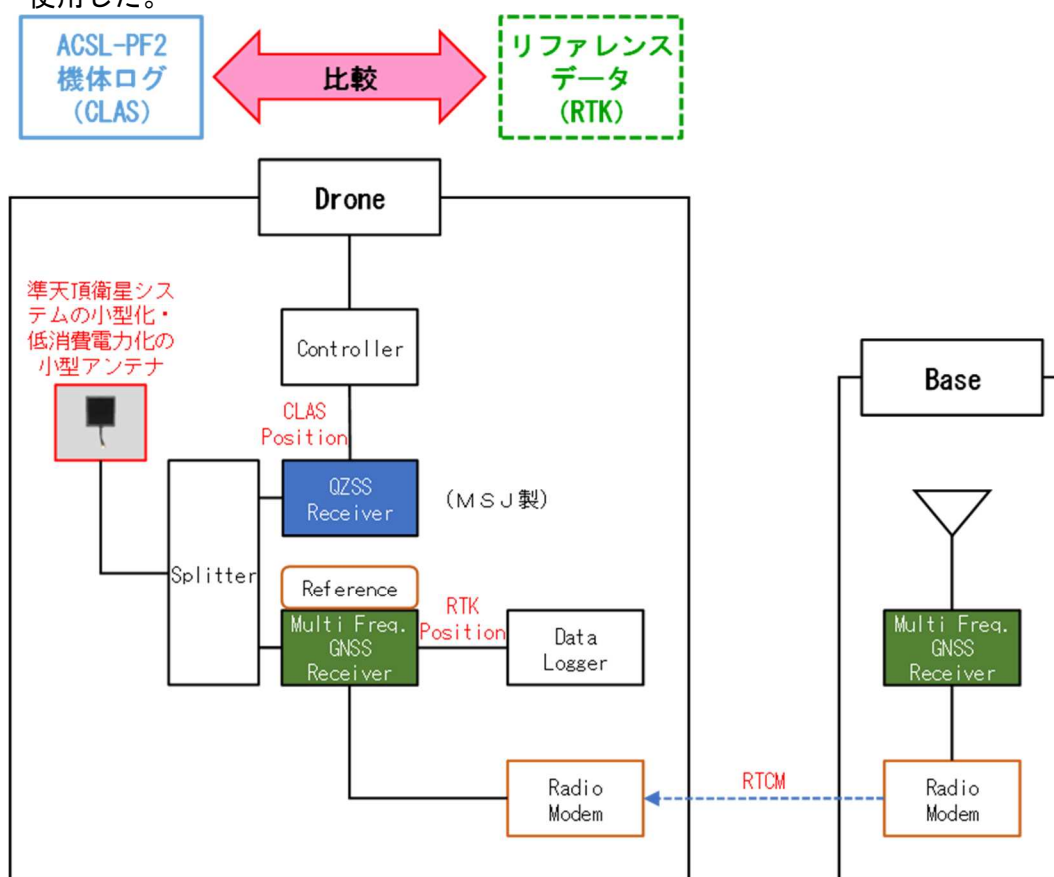
5.1.7 「飛行試験における「準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」協調式 SAA システムの評価」(実施者：マゼランシステムズジャパン株式会社)

協調式 SAA システムの有効性の評価は、福島 RTF にて実施した基礎データ取得試験及び定量的な評価試験による、小型無人航空機に搭載の準天頂衛星システムの測位精度検証を経て、愛知県の三河湾にて実施した実環境における飛行実証による、対有人航空機との衝突回避飛行の動作検証により実施した。

(1) 準天頂衛星システム (GLAS 測位) による測位精度の検証

小型無人航空機に GLAS (Centimeter Level Augmentation Service) 測位システムを搭載し、脅威機との衝突回避を想定して予め設定した飛行パターンに沿って最高時速 50km/h で飛行し、リファレンスとして同時に搭載した RTK (Real Time Kinematic) 測位による測位位置との比較により測位精度評価を行った (機器構成は図 2.2.1.11-14、飛行パターンは図 2.2.1.11-15)。

GNSS (Global Navigation Satellite System) 測位信号を受信するアンテナとして、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト/無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発/無人航空機の衝突回避技術の開発/準天頂衛星システムの小型化・低消費電力化」で開発した小型アンテナを使用した。



- ・ QZSS : Quasi-Zenith Satellite System
- ・ RTCM : Radio Technical Commission for Maritime services

図 2.2.1.11-14 GLAS 測位精度評価・機器構成

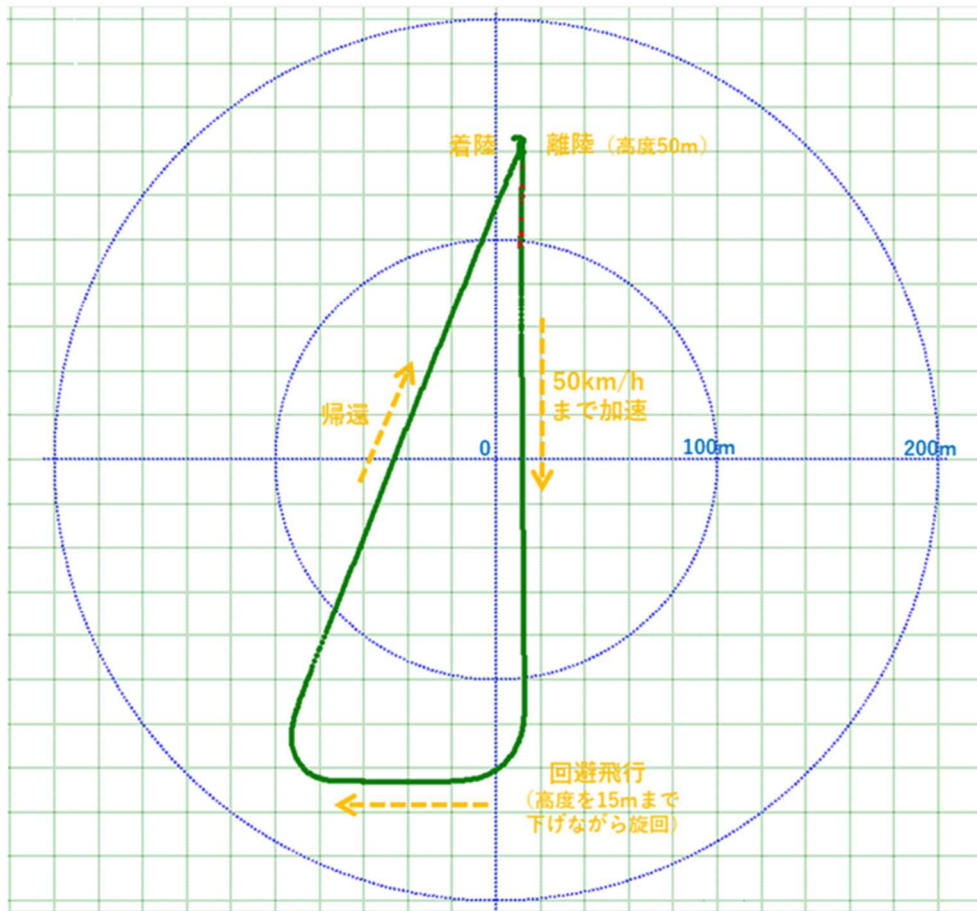


図 2. 2. 1. 11-15 CLAS 測位精度評価・飛行パターン

この飛行により得られた CLAS・RTK の測位データにより、水平／垂直の双方の測位位置比較を行った結果を以下のグラフに示す。

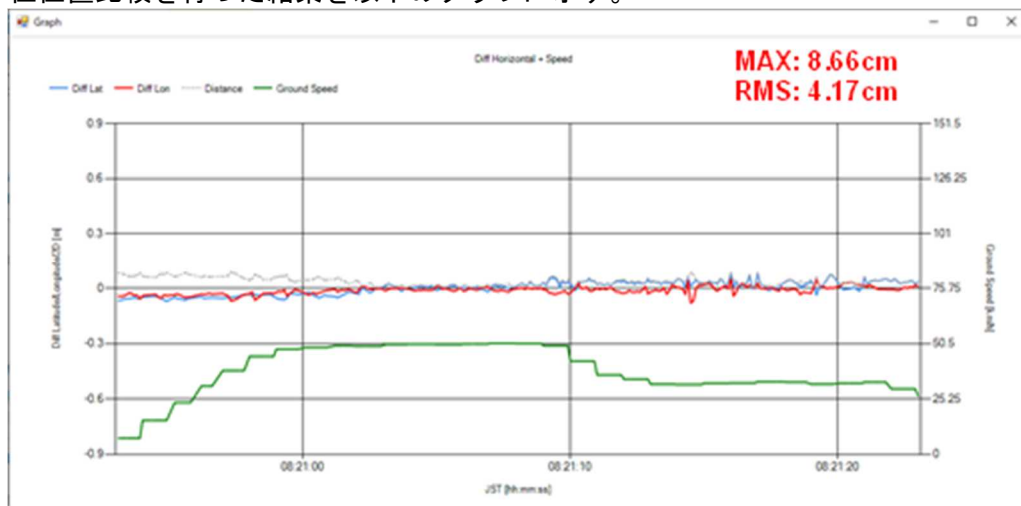


図 2. 2. 1. 11-16 測位精度比較・水平方向

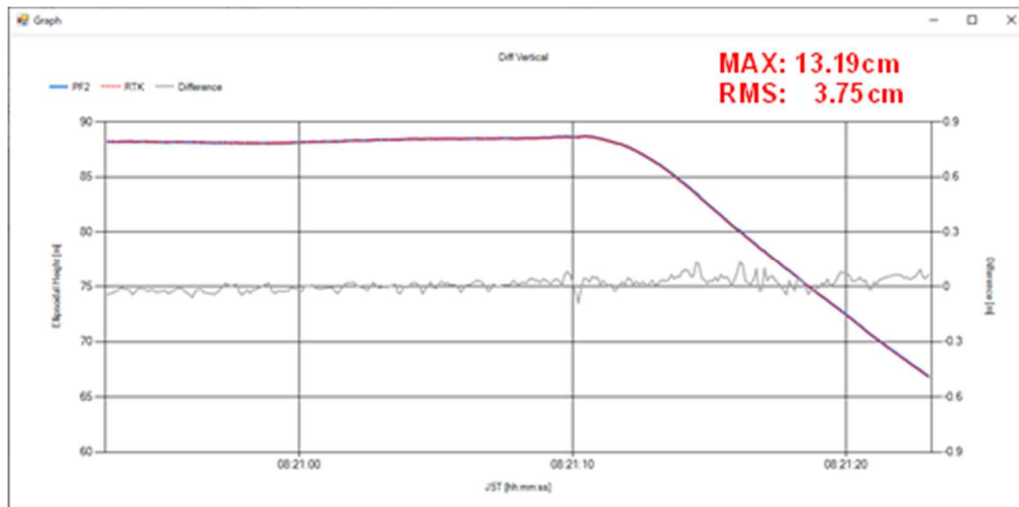


図 2. 2. 1. 11-17 測位精度比較・垂直方向

以上の結果により、CLAS による測位精度は RTK による測位精度と同等であることが確認できた。

(2) 有人航空機を検知し自律的に回避飛行を行うことの動作検証

無人航空機が有人航空機的位置情報を無線で常時受信しながら相対速度 200km/h (無人航空機: 50km/h、有人航空機: 150km/h) で接近している際、無人航空機は有人航空機が 3km 以内にいることを検知すると、自律的に回避飛行 (離発着場所へ帰還) を行うことを確認した。(飛行シナリオを、図 2. 2. 1. 11-18 に示す)

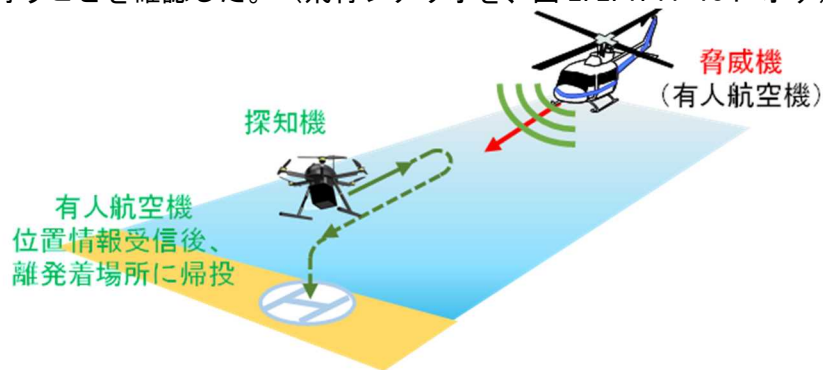


図 2. 2. 1. 11-18 飛行シナリオ

機器構成を図 2.2.1.11-19 に示す。

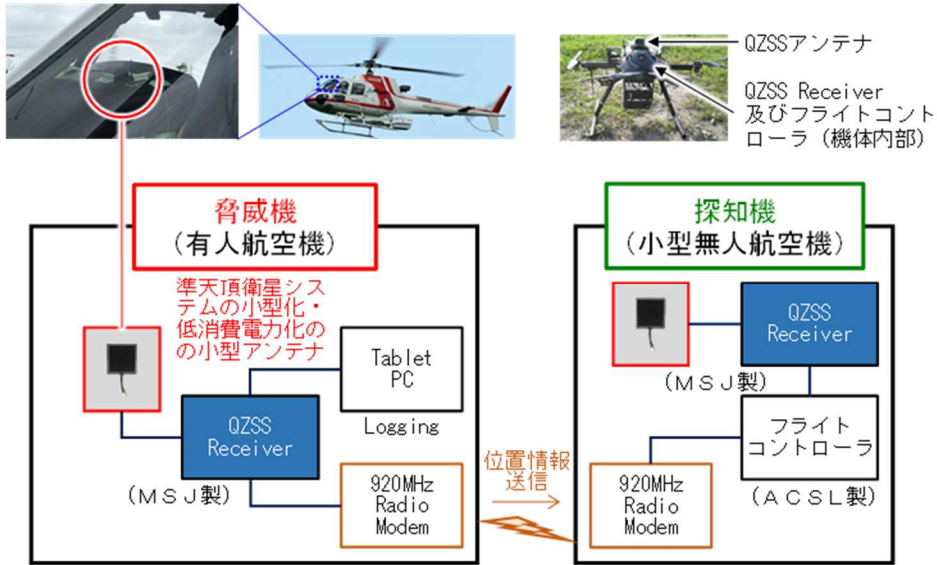


図 2.2.1.11-19 機器構成

双方の飛行ルートと位置をプロットしたものを図 2.2.1.11-20 に、双方の距離・速度を時系列にグラフにしたものを図 2.2.1.11-21 に示す。

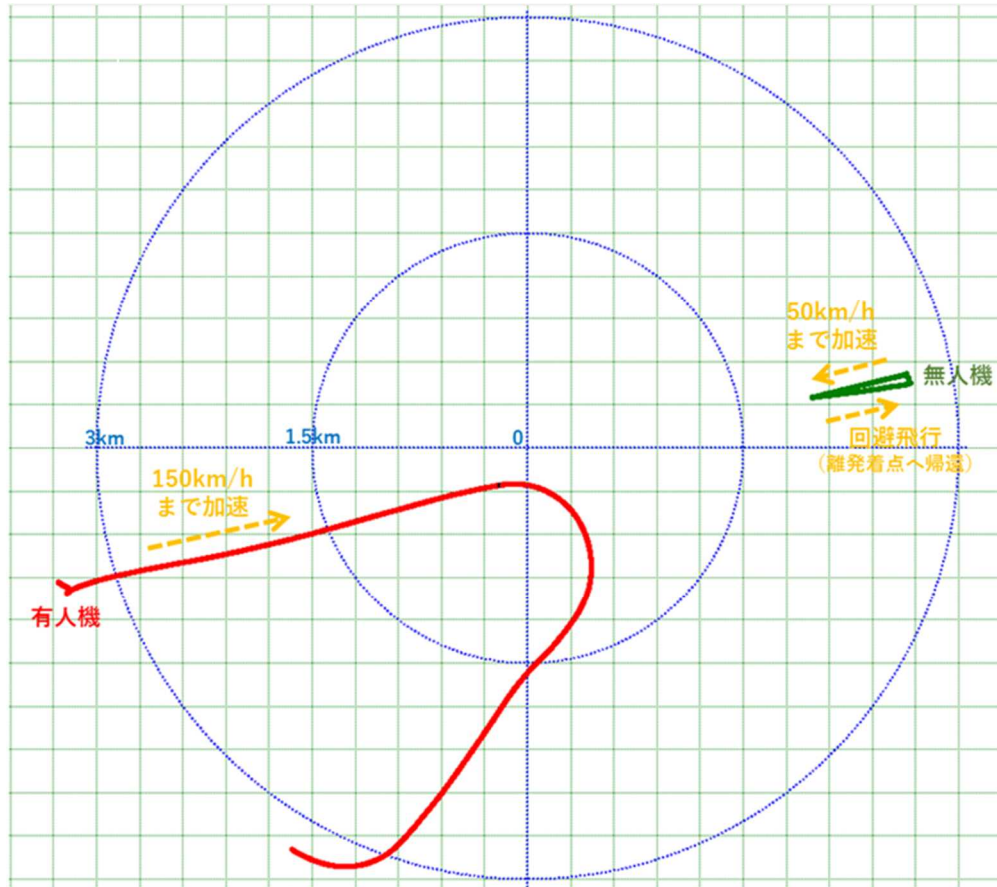


図 2.2.1.11-20 飛行ルートのプロット図



有人航空機が、3km 以内に入ったことを検知。回避飛行開始。

図 2. 2. 1. 11-21 飛行時の双方の距離・速度

以上の結果により、無人航空機は有人航空機が 3km 以内に接近したことを検知し自律的に回避飛行を行うことが確認できた。

## 5.2 研究開発項②「離島対応の運航管理機能の技術開発・実証」

### (1) 離島対応の運航管理機能の技術開発

離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合は、地上と無人航空機間の通信（C2 リンク）が途絶しやすい状態であることを想定する。C2 リンクが途絶すると地上で無人航空機の位置を把握することができず、他の無人航空機の運航に影響を及ぼす恐れが生じる。そのため、予想存在範囲算出機能について技術開発を実施した。

予想存在範囲算出機能は、C2 リンク途絶後の無人航空機の予想存在範囲を運航管理統合機能（機能拡張）（以下、「FIMS」）に共有することで、自律的に経路変更を行う無人航空機が安全に運航を継続できるとともに、他の無人航空機も飛行情報を把握することにより、より安全に運航することができる。FIMS は、無人航空機の飛行計画・運航状況等を一元管理し、安全な運航に寄与するシステムである。

また、「衝突回避システムの小型化・低消費電力化」の非協調式 SAA システムに対応した他機探知情報送信機能及び変更経路送信機能を開発した。

離島対応の運航管理機能の各機能の概要を表Ⅲ2.2.1.11-6 に示す。

表Ⅲ2.2.1.11-6 離島対応の運航管理機能の概要

機能名称	機能概要
予想存在範囲算出機能	衝突回避技術を含む自律的に経路変更を行う無人航空機の C2 リンク途絶後の予想存在範囲を算出し、FIMS へ共有する機能
他機探知情報送信機能	無人航空機に搭載されている非協調式 SAA システムのセンサの探知情報のうち、FIMS より受け取る他機飛行情報に存在しないものを照合し、FIMS へ共有する機能
変更経路送信機能	自機が他の無人航空機との衝突を回避するよう経路を変更した際に、経路変更後の WP（Way Point）を FIMS へ共有する機能

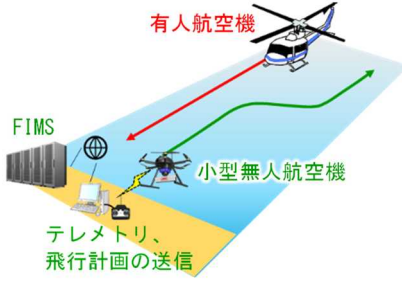

### (2) 離島対応の運航管理機能の実証

離島対応の運航管理機能の技術開発の成果を「運航管理統合機能の機能拡張に関する研究開発」と接続し、シミュレーション又は飛行実証を通して各機能の接続性を検証した。

実環境での飛行実証においては、「小型化・低消費電力化の衝突回避システムを搭載した小型無人航空機」と離島対応の運航管理機能を組み合わせて、離島間物流のように単独で長距離飛行を行う場合を想定した環境下で基本機能及び予想存在範囲算出機能の有効性を確認した。

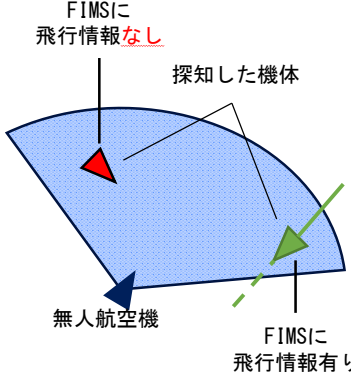
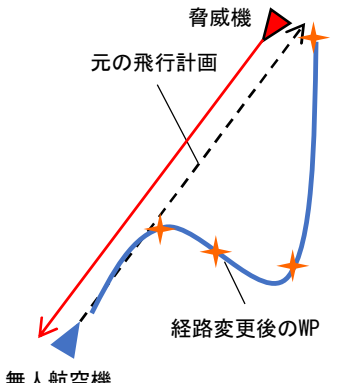
離島対応の運航管理機能の各機能の試験成果概要を表Ⅲ2.2.1.11-7 に示す。

表Ⅲ2.2.1.11-7 離島対応の運航管理機能 試験成果概要 (1/2)

機能名称	試験形態	試験成果概要
基本機能	飛行実証	<p><b>目的：</b>実環境下の小型無人航空機飛行状態において、離島対応運航管理機能からFIMSに飛行計画及び飛行情報を接続できることを確認する</p> <p><b>成果：</b>「小型化・低消費電力化の衝突回避システム」を搭載した小型無人航空機を飛行させ、対有人航空機への衝突回避を行う環境下においてFIMSへ飛行計画申請・飛行情報を送信できることを確認した</p> 
予想存在範囲算出機能	飛行実証及びシミュレーション	<p><b>目的：</b>小型無人航空機飛行状態において、管制下にある無人航空機のC2リンクの途絶を模擬した場合に、無人航空機の未来の予想存在範囲をFIMSに送信できることを確認する</p> <p><b>成果：</b>「小型化・低消費電力化の衝突回避システム」を搭載した小型無人航空機とのC2リンク途絶模擬を行い、対有人航空機への模擬衝突回避を行う小型無人航空機の予想存在範囲をFIMSへ送信できることを確認した</p> 



表Ⅲ2.2.1.11-7 離島対応の運航管理機能 試験成果概要 (2/2)

機能名称	試験形態	試験成果概要
他機探知 情報送信 機能	シミュレ ーション	<p><b>目的</b>：FIMS に存在しない他機の探知情報をFIMSへ送信できることを確認する</p> <p><b>成果</b>：無人航空機と探知対象となる有人航空機をシミュレーションし、無人航空機搭載センサによる探知情報とFIMSより送信された他機の飛行情報を照合し、FIMSの飛行情報に存在しない探知情報をFIMSへ送信できることを確認した</p> 
変更経路 送信機能	シミュレ ーション	<p><b>目的</b>：無人航空機が衝突回避を行った場合の衝突回避経路のWP情報をFIMSへ送信できることを確認する</p> <p><b>成果</b>：無人航空機による対有人航空機への相対 200km/h での衝突回避をシミュレーションし、経路変更後のWPをFIMSへ送信できることを確認した</p> 

5.2.1 「離島対応の運航管理機能の技術開発」（実施者：株式会社SUBARU、株式会社ACSL）

(1) 基本機能

運航管理機能には、管轄する無人航空機の運航を管理する役割がある。基本機能として、飛行前の飛行計画の申請、飛行中の動態情報の共有を行う。

基本機能の一連の流れを図 2.2.1.11-22 に示す。

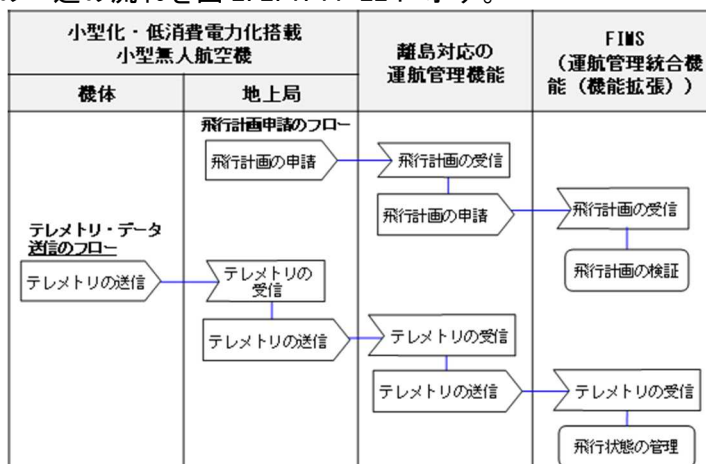


図 2.2.1.11-22 飛行計画の申請／テレメトリデータの送信 処理フロー一例

(2) 予想存在範囲算出機能

予想存在範囲算出機能は、管制下にある無人航空機との C2 リンクが途絶した場合に、一定周期で無人航空機の未来の予想存在範囲を算出し、FIMS へ共有する機能である。運航管理機能では、C2 リンクが途絶する直前の無人航空機の飛行諸元や飛行計画に基づき、飛行をシミュレーションすることによって未来の予想存在範囲を算出する。

また、予想存在範囲算出機能は脅威機に対して自律的な衝突回避を含む飛行経路変更を行う場合にも対応しており、飛行経路変更を含む未来位置を包含する予想存在範囲を算出する。

予想存在範囲算出機能の一連の流れを図 2.2.1.11-23 に示す。

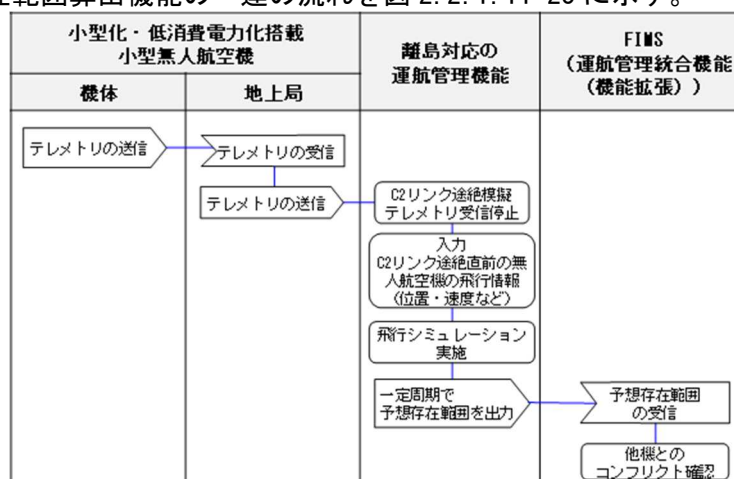


図 2.2.1.11-23 予想存在範囲算出機能 処理フロー一例

(3) 他機探知情報送信機能

他機探知情報送信機能は、無人航空機が飛行中に機上の非協調式 SAA システムのセンサ探知情報を FIMS へ共有する機能である。

離島対応の運航管理機能では無人航空機からダウンリンクされる探知情報のうち、FIMS より受け取る他機飛行情報と照合し、FIMS が保有していない脅威機の探知情報を FIMS へ共有する。

他機探知情報送信機能の一連の流れを図 2.2.1.11-24 に示す。

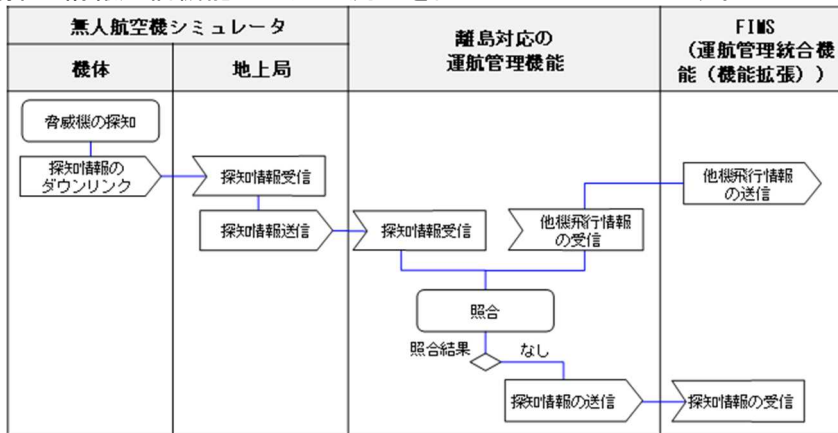


図 2.2.1.11-24 他機探知情報送信機能 処理フロー図

(4) 変更経路送信機能

変更経路送信機能は、小型無人航空機が衝突回避を行った場合の衝突回避経路の WP 情報を FIMS へ共有する機能である。

離島対応の運航管理機能では、小型無人航空機からダウンリンクされる衝突回避中の WP を UASO (Unmanned Aircraft System Operator) 地上局を介して受信し、飛行計画に反映して申請することで FIMS へ情報を共有する。

変更経路送信機能の一連の流れを図 2.2.1.11-25 に示す。

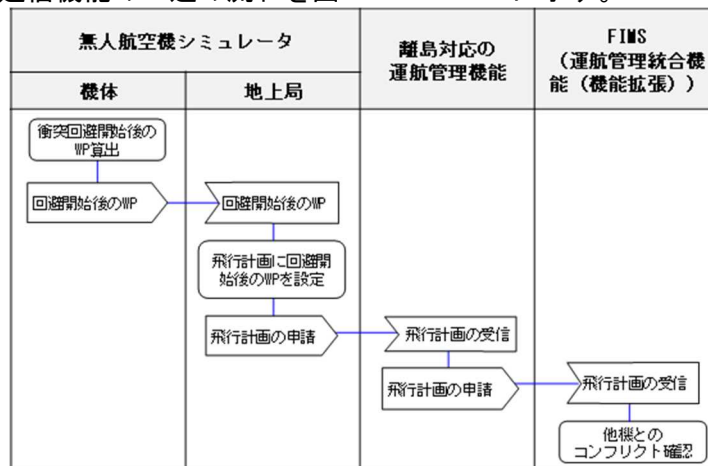


図 2.2.1.11-25 変更経路送信機能 処理フロー一例

## 5.2.2 「離島対応の運航管理機能の実証」(実施者：株式会社SUBARU、株式会社ACSL)

### (1) 基本機能

2021年12月の実環境での飛行実証を通して、基本機能の有効性を検証した。

離陸前フェーズにおいては、飛行計画をFIMSへ申請し承認され、FIMSの管理画面に表示されることを確認した。

飛行フェーズにおいては、非協調式SAAシステムを搭載した小型無人航空機が有人航空機と相対速度200km/hで衝突回避する場合に、テレメトリデータをFIMSへ送信可能なことを確認した。

FIMSの管理画面上における飛行計画の表示例を図2.2.1.11-26に示す。

なお、図2.2.1.11-26に示す有人航空機及び小型無人航空機の航跡は、別途追記したものである。

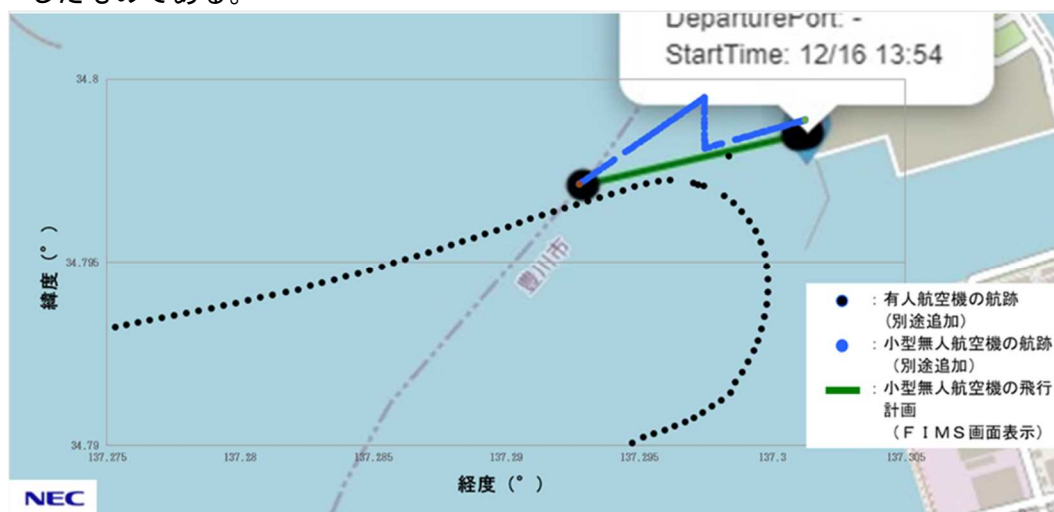


図 2.2.1.11-26 FIMS 管理画面表示例

### (2) 予想存在範囲算出機能

2021年12月の実環境での飛行実証及びシミュレーションを通して、予想存在範囲算出機能の有効性を検証した。

無人航空機が有人航空機と相対速度200km/hで衝突回避する状況をシミュレーションし、図2.2.1.11-27に示すとおりC2リンク途絶模擬後の無人航空機の飛行経路を包含するような予想存在範囲を出力することを確認した。

実環境での飛行実証では、無人航空機からのダウンリンク情報をもとにC2リンク途絶模擬後の自機の予想存在範囲を算出し、FIMSへ送信可能なことを確認した。FIMSの管理画面上における予想存在範囲の表示例を図2.2.1.11-28に示す。

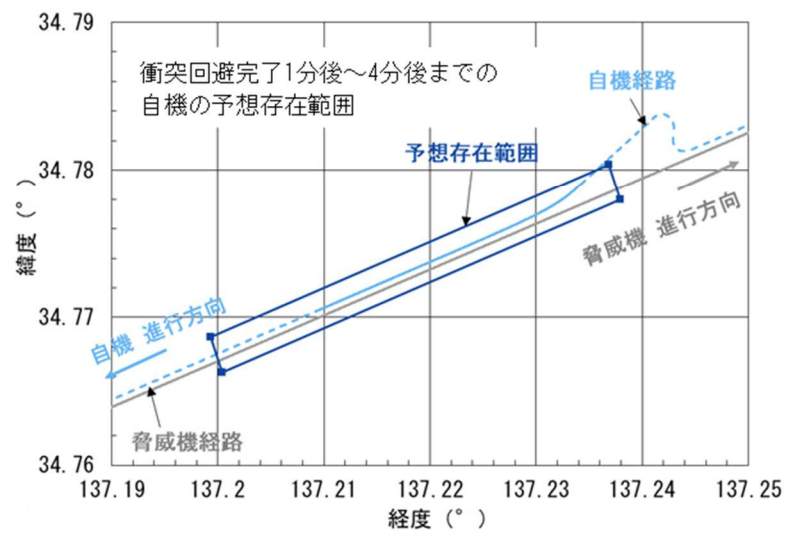
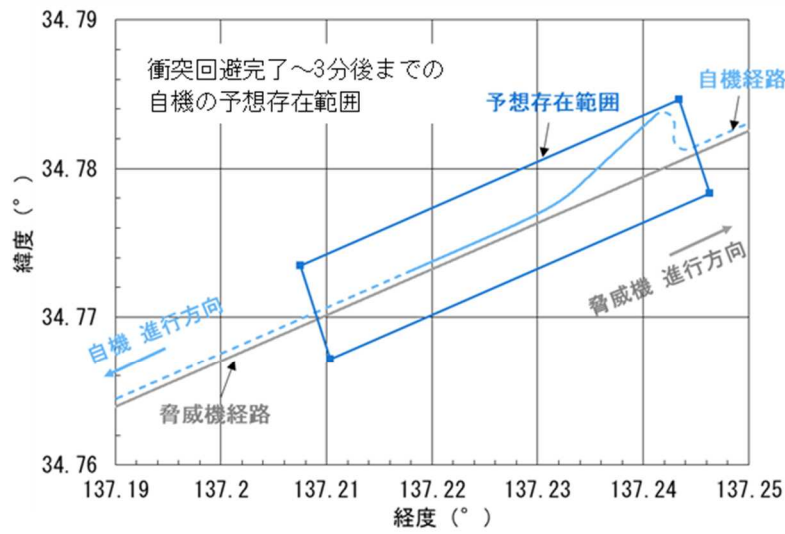


図 2. 2. 1. 11-27 予想存在範囲と自機飛行経路の比較

自機経路の実線が予測した時間帯における飛行経路を示し、予想存在範囲が包含していることを確認できた。



図 2. 2. 1. 11-28 実環境での飛行実証 FIMS の画面表示例

### (3) 他機探知情報送信機能

シミュレーションにより他機探知情報送信機能の有効性を検証した。

無人航空機が有人航空機を探知するケースをシミュレートし、FIMS の他機飛行情報の有無により探知情報が送信されることを確認した。(図 2. 2. 1. 11-29 参照)

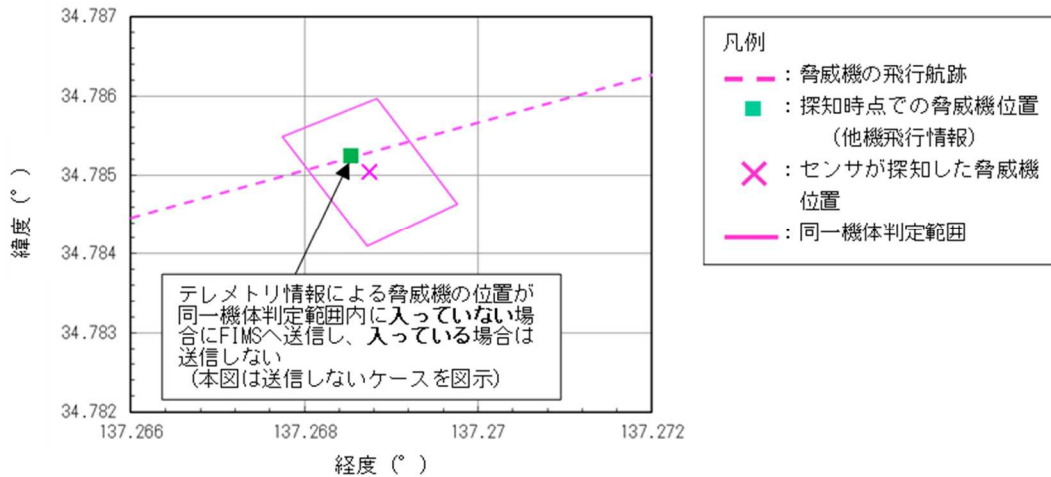


図 2. 2. 1. 11-29 探知情報と他機飛行情報

### (4) 変更経路送信機能

シミュレーションにより変更経路送信機能の有効性を検証した。

無人航空機が有人航空機と相対速度 200km/h で衝突回避する状況をシミュレーションし、図 2. 2. 1. 11-30 に示すよう衝突回避経路に沿った WP を出力していることを確認した。

また、WP を飛行計画に反映し、FIMS へ飛行計画の変更申請が可能であることを確認した。

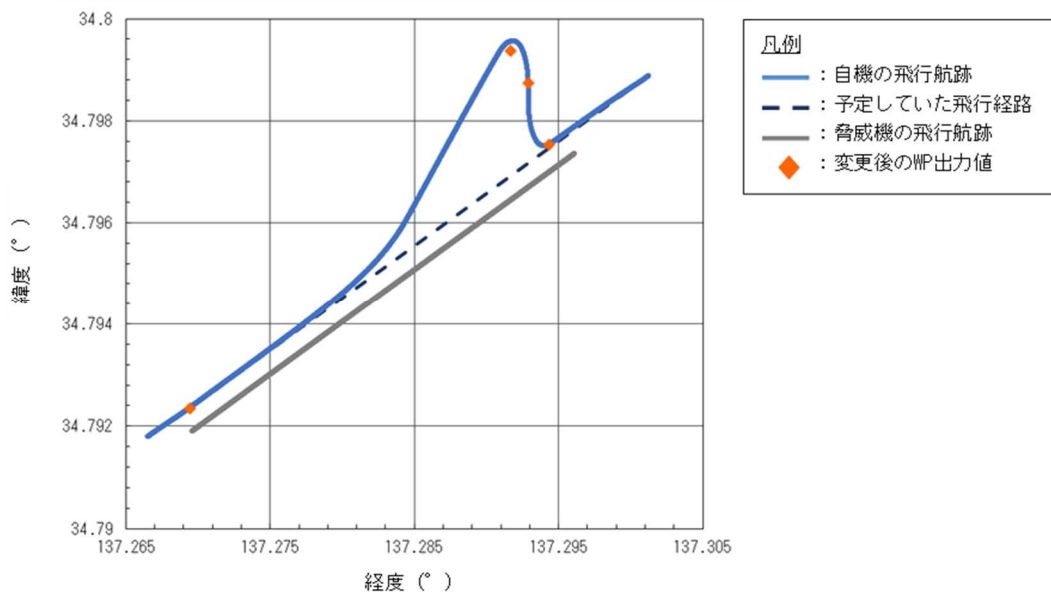


図 2. 2. 1. 11-30 自機飛行航跡と変更後 WP 出力値の比較

### 5.3 研究開発項目③「標準化に関する検討の成果」

#### 5.3.1 「無人航空機の衝突回避技術に関する標準化提案」(実施者:株式会社SUBARU、株式会社ACSL)

##### (1) 衝突回避技術の運航に関する標準化提案

2017年度～2019年度の期間に実施した、「準天頂衛星システムを利用した無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の開発」において、世界初、相対速度100km/hでの無人航空機の衝突回避試験に成功した。その成果等をもって、国際標準化に向けた提案活動を実施した結果、ISO/TC20の分科委員会であるSC16の第10回国際会議にて、衝突回避の運航コンセプトを既存文書である「Operational procedures」(ISO21384-3)に入れ込むことになり、無人航空機の運航に関する規格を議論しているWG3にて議論を進める方針が決定された。

本方針に従い、既存文書である「Operational procedures」(ISO21384-3)に衝突回避のフローチャート、その説明文章、これらに関する文言の定義等の内容を国内委員会やWG3内での議論を重ね、運航コンセプトに関する衝突回避技術の内容を反映した。

本既存文書は2021年10月にCD(Committee Draft)の投票が展開され、2021年12月15日に承認を各参加国より得られた。また、各参加国からのコメントに対する回答を作成し、WG3の事務局に提出完了した。

##### (2) UTMとの接続に関する標準化提案

UTM(Unmanned Aircraft System Traffic Management)との接続に関する標準化については、日本国内の関係担当者と協議の結果、2020年度末の段階でCD投票期間である既存文書「UTM functional structure」(ISO23629-5)に対するコメントとして、衝突回避技術の内容を国内委員会の事務局に提出した。なお、本既存文書は2022年2月末時点において、DIS(Draft International Standard)の投票中である。



### 5.3.2 「衝突回避技術用センサに関する標準化の調査検討」(実施者：日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社)

国内審議機関である日本航空宇宙工業会や日本産業用無人航空機工業会等と連携を取り、衝突回避技術用センサについての国際標準化を進めるため、以下の様な作業を進め成果を得た。

#### (1) 標準規格の検討状況の調査

ISO、ASTM、RTCA、EUROCAE、IEEE等の標準化機関における衝突回避センサの規格検討状況について調査した。ISOにおいては、ISO/TC20/SC16が無人航空機システムの規格開発担当であり、このSC16はWG1～WG6、JWG7の7つのWGと、衝突回避(Detect And Avoid)の実行計画に関する進捗を監視、議論するAG5(2021年3月設立)で構成されている。衝突回避センサに関する標準化は、UAS subsystemsを取り扱うWG6で必要な規格を開発する事となっており、本WG6へ衝突回避センサの規格提案を実施した。

#### (2) 特許情報の分析

無人航空機の衝突回避に使用する機上搭載カメラ、レーダやそのデータ処理等に係る特許情報を調査し、諸外国における当該分野の知財の保有状況を整理、分析した。その結果、米国の特許出願が最も多く、次いで中国の特許出願となっていたが、この2国の差は少なく、また国際出願の大半を占めている。ただし、特許の出願件数は多いとは言えず、クローズ戦略をとっている可能性も考慮すべきである。

#### (3) 標準化活動の方針整理

我が国の研究成果を標準化する方針を再検討し、過去に整理した標準化方針をアップデートした。具体的には、既存もしくは今後策定される関連規格のスコープや規格内容を比較し、そのギャップを分析すると共に、諸外国の知財保有状況を基にして我が国製品の市場獲得の観点から適切な標準化方針を特定した。

#### (4) ISOにおける標準化活動支援

再検討した国際標準化の方針に基づき、ISOへ提案する衝突回避センサの規格を検討すると共に、ISO国内委員会、ISO/TC20/SC16会合及び関連するWGに参加し、衝突回避センサに関するNP提案活動を進めた。

その結果、日中デュアルリーダーによる共同提案で衝突回避センサに関するNP提案を進める事が承認され、2022年1月4日、ISO TC20/SC16 N481で衝突回避センサに関する国際標準化、ISO/NP15964の投票が開始された。

### 5.3.3 「標準化活動に向けた実証試験の実施」(実施者：株式会社ACSL)

本委託契約で衝突回避センサと準天頂衛星測位技術を搭載し、研究開発項目①ロボット・ドローン機体の性能評価基準等の開発(3)「エネルギーマネジメントに関する研究開発」の助成事業を実施しているマクセル株式会社製のバッテリーを搭載し、小型無人機に統合された形での標準化を見据えた実証実験を行った。

日程：2021年3月26日

場所：君津 Dream Drone Flying Field

機体：ACSL-PF2

試験内容：

- ・マクセル製 小型無人機用バッテリー(駆動用給電として使用)
- ・日本無線製 衝突回避用電波センサ(モックアップ)
- ・日本アビオニクス製 衝突回避用光波センサ(モックアップ)

\* 試験実施時点で試験可能なものを使用する(モックなど)

結果：

上記機材を搭載し、小型無人機として最低限の運動性能を持つことができることを確認した。

- ・飛行速度：水平 5m/s、上下 1m/s
- ・航続距離：3km
- ・航続時間：10分

#### 1. 運動性能試験



#### 2. 航続性能試験



図 2.2.1.11-31 試験予定の飛行ケース及び経路

## (6) 特許出願数、論文等の発表数

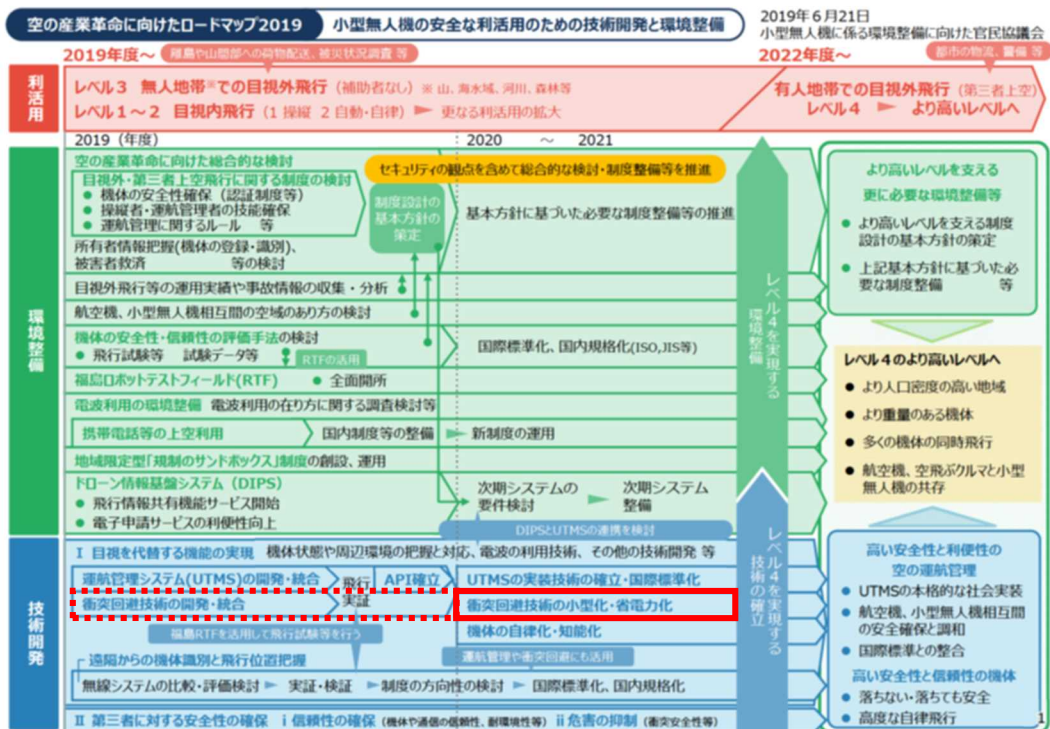
	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	-	-	-	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	-	1	1	-	2
展示会出展	-	-	-	2	2	-	4
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	-	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	-	0	1	-	1
国内出願	-	-	-	0	0	-	0
外国出願	-	-	-	0	0	-	0

## (7) 実用化・事業化への道筋と課題

### 1 実用化・事業化に向けた戦略

小型無人航空機は、図 2. 2. 1. 11-32 のように経済産業省主催の「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」において、2022 年度から「有人地帯での目視外飛行（レベル 4）」の実現をロードマップとして掲げ、各種取り組みを行なっている。そのロードマップの中で、衝突回避技術（赤枠内）が項目として明記されており、今後の小型無人航空機でのレベル 4 目視外飛行では必須の技術となる可能性が高い。

本事業での研究成果は、国家レベルで推進されている空の産業革命に大きく貢献することが可能となる。なお、現在のところ、相対速度 200km/h で飛行する有人航空機を自律的に衝突回避する、遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載された小型無人航空機は他に存在しない。すなわち、本事業で開発した自律的な衝突回避機能を搭載した小型無人航空機は競合が存在しないため、現在のところ優位な立ち位置であると考えられる。



出典：経済産業省ホームページ

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou12.pdf>

図 2.2.1.11-32 空の産業革命に向けたロードマップ 2019

また、ドローンをはじめとする無人航空機の活用は爆発的に拡大しており、その有用性については十分に証明されつつある段階にある。一方、無人航空機はその特性上、飛行する時間及び搭載できる機器に限られており、大型で高価な衝突回避システムでは本来の性能を制約してしまうため、必ずしもその能力を発揮できるとは考えられない。

このため、より小型で安価な衝突回避システムを使用できるというニーズは、今後更に顕著化することが予想される。

市場規模としては、インプレス総合研究所の「ドローンビジネス調査報告書 2019」によると、2019年度ドローン市場全体1,450億円に対して年間のドローン機体市場は471億円（32%）、2024年度は908億円（18%）となっている。また、高性能の空撮ドローンが活用されている空撮、土木・建築・点検・防犯市場は2019年度で合計271億円、2024年度で1,914億円であり、各年度の高性能の空撮ドローン機体市場は各々約88億円と343億円となる。現状、これらの大部分は外国製のドローンである。

Global Market insights Inc.によると、世界の空撮ドローン市場は2017年に17億USD（1,870億円；110円/ドル換算）と推定され、年間12% CAGR（Compound Average Growth Rate）で成長すると推定されている。結果、2019年は21億USD（2,346億円）、2024年は38億USD（4,134億円）となる。

本事業で開発するドローンは、海外製の既製品に対して価格競争力を持ちつつ、サイバーセキュリティについては、既製品には無い機能や耐性を有する。リモートIDやLTE通信等、最先端の機能も実装されている。現在、市場の大部分が外国製ドローンとなっているが、市場シェアを獲得することが期待できる。さらに、助成事業による主要部品

高性能化により、さらに競争力を持つと推定される。結果、市場シェアは広がっていくと計画する。従って、市場規模及びシェアは表 2.2.1.11-7 の通りを計画する。

表 2.2.1.11-7 市場規模及びシェア

	市場規模 (国内/国外)	シェア (国内/国外)	
		衝突回避システム搭載	衝突回避システム搭載 + 主要部品高性能化
2019 年	88 億円 / 2,346 億円	0% / 0%	0% / 0%
2021 年	204 億円 / 2,942 億円	5% / 0%	10% / 0%
2022 年	253 億円 / 3,296 億円	8% / 1%	13% / 1%
2025 年	403 億円 / 4,630 億円	20% / 5%	30% / 7%

## 2 実用化・事業化に向けた具体的取組

本研究開発成果を基に、2020 年代前半を目処に衝突回避ルールが整理された後、要件に合致する形で衝突回避システムを搭載したドローンとして開発・製造・販売する。特に本機能は、今後の小型無人航空機の広い社会実装に向けた、レベル 4 目視外飛行（有人地帯目視外）実用化のための重要な安全機能になると考えられる。本研究開発成果をドローンへ搭載可能な形で当該システムを応用した衝突回避システムの開発・製造・販売を計画しており、量産機体に搭載する場合は、500 万円程度で、年間 200 台程度の数量を見込んでいる。

実用化・事業化のシナリオについて、物流分野においては、過疎地域での物流において積載重量約 5kg 程度までの荷物をラストワンマイル配送する事業から開始されていくと見込んでおり、徐々に人口密集地域でのレベル 4 目視外飛行へ活用が広がっていくと見込んでいる。災害分野においては、大規模災害発生時に可視光カメラや赤外線カメラを搭載したドローンが目視外範囲まで飛行し長距離無線通信を使用したリアルタイム映像通信による調査での活用が期待される。いずれも同時に複数機のドローンや有人航空機などが飛行することが想定され、研究開発成果を用いた衝突回避技術は非常に有効な手段である。

また、無人航空機に搭載することを前提としたレーダは、軍事用途を除き、24GHz 帯を使用した送信出力、空中線利得に法的制限のあるシステムであり、本研究開発で開発した電波センサ（レーダ）の機能・性能並びに容積、重量、消費電力を有するものは見当たらない。光波センサに関しては、無人航空機に搭載する 360 度監視システムが海外に存在するが、それは中型・大型無人航空機をターゲットとしており、本開発品の様に重量が軽く小型無人航空機もターゲットとなるセンサは見当たらず、特に国内用途において優位性がある。更に、小型ドローンの競合品としては中国製が存在するが、本研究開発の開発品である遠距離飛行物体との衝突回避機能が搭載されたドローンは他に存在しない。

実用化・事業化に向けた計画を表 2.2.1.11-8 に示す。

表 2.2.1.11-8 実用化・事業化計画

年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
製品化設計	→				
信頼性試験	→ 続行 / 中断判断 ∇				
販売	→				
収益発生	→				

予想される重大な障害：

- ・ 製品化設計段階：法規制の強化による利用制限、市場環境の変化によるニーズ減退
- ・ 信頼性試験：想定外の不具合による販売遅延
- ・ 販売：競合の参入による販売低減

### 3 実用化・事業化の見通し

本研究開発の成果を適用する機器及びシステムは物流分野や災害調査用途に限らず他の分野への応用が可能である。以降の市場拡大としては本研究開発において目標とする自己位置推定、環境認識による障害物回避、飛行軌道実時間生成などの技術により初めて可能となる、真の意味での自律飛行機能が必要となる用途への適用が急速に進捗すると考える。具体例としては、自律飛行機能が不可欠である目視外飛行の運用が前提となる災害対応や火山・森林観測支援、あるいはメディアの緊急報道支援への展開が候補として挙げられ、各市町村や警察消防本部、研究機関やテレビ局等も視野に入れた展開が期待されるほか、インフラ点検等の分野においても点検場所への移動あるいは点検対象との干渉回避等を考えれば十分に応用可能であると考えられる。(表 2.2.1.11-9 参照)

2022 年度ごろからは、衝突回避機能を有した無人航空機を有した他企業の参画も活発化することが予想され、市場の規模は急速に拡大すると考えられる。

表 2.2.1.11-9 物流、インフラ点検以外の用途への適用予測

適用可能範囲	想定される市場	用途
災害対応支援 (監視及び配送等)	各市町村 地方警察消防本部等	災害時において地理的に孤立した被害者に対して緊急物資輸送及び監視支援
観測支援 (火山及び森林監視等)	各省庁 研究機関等	既存無人航空機の課題である飛行時間を解決した長距離化実現による観測支援
緊急報道支援	大手テレビ局等	災害時に中継で使用されるヘリコプターに代わる報道支援
道路運営	大手道路運営業等	道路橋、トンネル等の点検
鉄道運輸	大手鉄道業等	鉄道橋、トンネル等の点検
土木修繕	大手企業等	修繕対象の点検確認



## 6.2.1.12 9) 地域特性に考慮した情報提供機能に関する研究開発：

### 空の道を組み込んだ統合型情報提供機能の実用化

(実施期間：2年間(2020年度～2021年度))

(実施者：株式会社ゼンリン)

#### (1) 事業の背景・意義(目的・概要)

2019年6月に発表された「空の産業革命に向けたロードマップ2019」では無人航空機の飛行形態を4段階に分類し、レベル4(有人地帯での目視外飛行(第三者上空))の達成時期を2022年度に設定されている。



図 2.2.1.12-1 ロードマップ

現状の技術ではレベル3(無人地帯での目視外飛行)の実証段階に留まっており、おもに過疎地域でのドローン配送の実証実験が全国各地で実施されている。レベル4を実現可能とするためには、都市物流や警備などの新たな用途へ活用の幅を広げる必要があり、その実現に向けては、安心・安全に飛行するために必要な障害物の高さ情報を含む3次元の地理空間情報が不可欠と考えている。

本事業では、無人航空機が安全に飛行できる空の道の実用化により、無人航空機の産業利用の市場形成を支援し、空の産業革命の実現に寄与することを目的とする。

昨年度までのDRESSプロジェクトでは、APIの基本機能の設計・開発を完了した。しかし、現在の情報提供機能(SDSP)は、運行管理統合機能(FIMS)や多用途の運航管理機能(UASSP)の要求事項をすべて盛り込んだ情報仕様(データ種別・属性・精度・網羅性・更新頻度)になっており、過剰スペックになっていることが課題になっている。そのため、本仕様での運用はコスト面でも採算性が取れない可能性があり実用化に向けては、より地域の特性や無人航空機の飛行形態、物流・警備・災害時等の用途などに応じて、情報仕様を適合させていく必要性が高い。加えて実運用を考慮すると、SDSPは多様な情報を収集・統合・提供する役割を担っているため、情報セキュリティの担保が重要となっている。

また、昨年度、福島ロボットテストフィールド広域飛行区域において中長距離飛行無人航空機専用の飛行ルートの実証を実施し、一部エリアでの飛行実証を実施した。

こういった過年度の成果を踏まえて、本事業では、統合型情報提供機能(統合型SDSP)の全国本格稼働を2022年4月目標とし「製品開発」を実現する設計・運用手法の確立を目指す。

2020年度は設計フェーズとし、当社の開発部門やグループ会社の総力を挙げて、実運用を実現するための仕様決めと設計を完了させる。2021年度は、実証エリアでの飛



行実証への3D可視化マップの提供とAPIの製品開発を実施する。なお、API製品開発は、当社が自己投資で開発中のサービス提供基盤である「ZIPS(ZENRIN Interactive Platform Serves)」での構築を実施し、本製品開発の費用は助成事業ではなく自己投資で実施する計画としている。

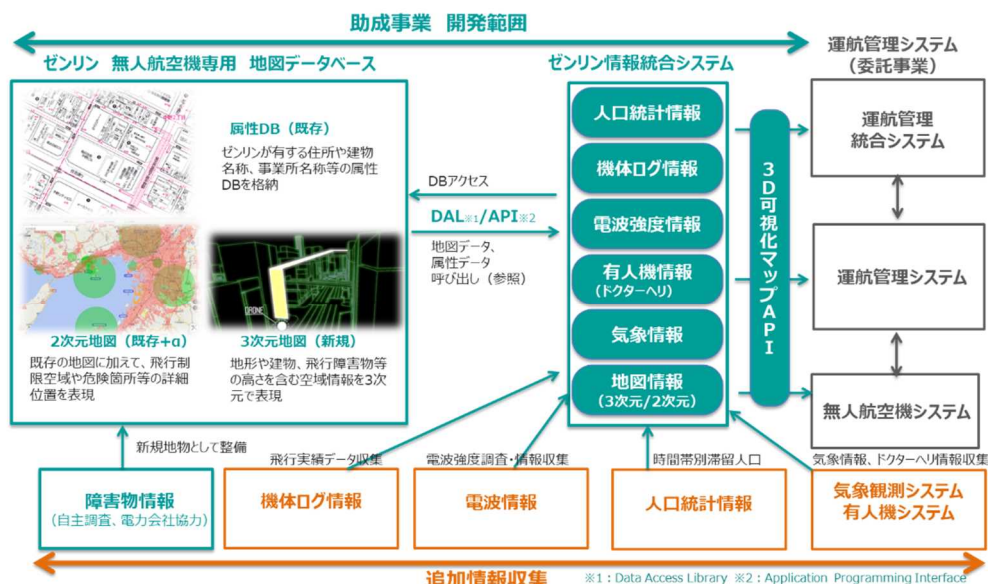


図 2. 2. 1. 12-2 システムの全体像

### 1. 1 研究開発項目 1 : 運航管理システムに必要な情報や 3D 属性の仕様設計、運用手法の確立

地域の地理的条件や無人航空機の飛行形態等を考慮した情報種別や属性を整理し、取得基準やDB格納仕様、運用手法を規定し、全国データの整備計画を立案し、一部エリアでの整備を開始する。また、(一財)日本気象協会の気象情報との連携手法も検討し、実証エリアにおいて地図+気象を統合して情報提供を実施する。

1. 新規整備する 3D 属性/コンテンツの定義 (IoT)  
新規整備を行う 3D 属性/コンテンツの定義について検討を行う。
2. 各情報出典の収集方法の検討 (外部データ取り込みも含む)  
送電線や鉄塔といった 3D 地物の出典の整備方法について検討を行う。
3. 整備仕様の設計  
新規整備する 3D 地物の整備仕様と取得基準について検討を行い、整備手法を設計する。
4. DB 格納仕様の設計  
整備された地物データを DB に格納する際の仕様を検討し設計する
5. (必要に応じて) 整備ツールの必要有無の検討およびツール設計  
地物整備を行う際に整備ツールが必要かどうか検討を行う。整備ツールの開発が必要な場合は設計を行う。
6. 運用方法の検討 (体制含む)  
地物の取得や整備、DB の運用方法などデータ運用の体制を検討する。
7. 実証エリアのプロトタイプデータの作成 (気象情報の統合を含む)  
実証実験を行う事業者に対し、実証エリアの地図を作成する。
8. 2021 年度からの整備計画の作成 (費用/人員含む)  
新規整備する地物データの整備計画を作成する。
9. 実証エリアでの飛行試験による検証

地図作成を行ったエリアでの飛行犬を行い、地図データが飛行に対して異常がないか検証を行う。

#### 10. データの整備（自己投資）

検討を行った仕様で地物の整備を行う。

#### 1.2 研究開発項目 2：スカイネットワークの仕様設計、運用手法の確立

中長距離での無人航空機専用ルート（スカイネットワーク）の仕様を定義し、整備・DB 格納仕様、運用手法を規定し、全国レベルでの実用化を目指し、一部エリアでの整備を開始する。

1. スカイネットワークの基本仕様の定義  
スカイネットワークの基本仕様を定義する。
2. 整備仕様の設計（自動化ツールの設計を含む）  
スカイネットワークを基本仕様に合うように整備する整備仕様を設計する。整備仕様は整備ツールを使用したもののため整備を自動で行うツールの設計を行う。
3. DB 格納仕様の設計  
DB に格納するデータの仕様を設計する
4. 運用方法の検討（体制含む）
5. 2021 年度からの整備計画の作成（費用/人員含む）
6. 一部整備の開始（福島ロボットテストフィールド広域飛行区域）
7. 飛行実験による安全性・実用性の評価
8. データの整備（自己投資）

#### 1.3 研究開発項目 3：API の設計、ZIPS (ZENRIN Interactive Platform Serves) 開発計画の作成

2019 年度までに開発した API を 2022 年度の製品化に向けた開発計画を作成する。  
(API 開発は、当社の API 基盤である ZIPS 上へ移管。自社投資で実施予定)

また、無人航空機の安全運航に必要となる重要な情報を扱うため、セキュリティ要件を定義し、対策を実施する。具体的には、利用ユーザー毎のアカウント・パスワード管理による認証基盤、各ユーザーが扱える情報や API 機能設定機能の導入を予定している。収集した各種情報は、設計するセキュリティ要件を満たしたクラウド環境下で管理するものとし、また、冗長性を保つため、バックアップ環境を準備する等を検討している。

1. データ提供 API の移管に向けた追加開発の検討及び詳細設計  
2019 年度までに開発した API の環境を ZIPS 上へ移管にあわせ、追加の機能開発の検討を行う。追加で機能を開発する場合、その機能の詳細設計を実施する。
2. データ提供 API の開発計画の作成（費用/工数含む）  
ZIPS 上でデータ提供型 API を構築する開発スケジュールを作成し、開発にかかる費用と工数を算出する。
3. 空間解析 API の要件定義、基本設計、詳細設計  
空間解析 API の要件定義を行い仕様の決定をする。要件と仕様に従い概要設計、詳細設計を行う。
4. 空間解析 API の開発計画の作成（費用/工数含む）  
空間解析 API の開発スケジュールを作成し、開発にかかる費用と工数を算出する。
5. API の製品開発（自己投資）  
データ提供 API、空間解析 API を ZIPS 上に環境構築し、製品仕様になるように開発を行う。

#### 1.4 研究開発項目 4：国際標準化の推進

2019年度までの成果を踏まえ ISO TC20 SC16において、地理空間情報のデータモデルの IS 発行を目指す。また ASTM での標準化動向を踏まえ、ASTM への API 標準化提案を検討し、必要に応じて実施する。

#### (2) 研究開発目標と根拠

本事業では、全国の3次元地理空間情報をリアルタイムかつ安価に提供可能な API 製品を 2022 年度に投入することを目標とする。

##### ●製品の目標値

- ①開発システムの検証完了および正常稼働…検証完了率 100%、システム稼働率 99.9%
- ②3次元地理空間情報の品質の担保…水平位置精度  $\sigma$  1.75 (地図情報レベル 2,500)、正確性 100%
- ③3次元地理空間情報の更新作業の品質…作業完了率 100%、エラー率 0%
- ④3次元地理空間情報のデータ提供エリア…網羅率 100% (日本全国)
- ⑤提供価格…既存の地図 API サービスと同等もしくはそれ以下

表 2.2.1.12-1 研究開発目標

研究開発項目	2021 年度 最終目標
1. 運航管理システムに必要なとなる情報や 3D 属性の仕様設計、運用手法の確立	ドローン向けに活用する 3D データの仕様設計の完了、および実証エリアのプロトタイプデータの試作完了。
2. スカイネットワークの仕様設計、運用手法の確立	スカイネットワークの仕様設計の完了およびスカイネットワーク運用手法を決定し、それらに基づいたプロトタイプデータを福島ロボットテストフィールドエリアで試作する。
3. API の設計、ZIPS 開発計画の作成	API 設計の完了、ZIPS 開発計画の策定完了。
4. 国際標準化の推進	地理空間情報のデータモデルの IS 発行を推進する。

### (3) 研究開発スケジュール・実施体制

●スケジュール：

図 2. 2. 1. 12-2 スケジュール

事業項目	2020 年度				2021 年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①運行管理システムに必要となる情報や3D属性の仕様設計、運用手法の確立	仕様・運用手法設計・実証	エリアプロトタイプ	データ試作		飛行実証による評価・検証			
②スカイネットワークの仕様設計、運用手法の確立	仕様・運用手法設計		福島 RTF エリアプロトタイプ		飛行実証による評価・検証		全国データ整備 (自己投資)	
③API の設計、ZIPS 開発計画の作成	設計・開発計画作成				API 製品開発 (自己投資)			
④国際標準化の推進			国際標準 (ISO) 提案活動					

●実施体制：

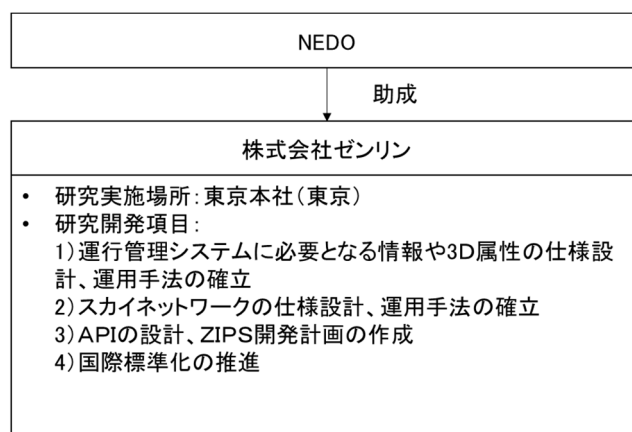


図 2. 2. 1. 12-3 実施体制

#### (4) 研究開発の達成状況

##### ① 運行管理システムに必要となる情報や3D属性の仕様設計、運用手法の確立

最終目標	成果	達成度	備考
ドローン向けに活用する3Dデータの仕様設計の完了、および実証エリアのプロトタイプデータの試作完了。	新規整備基準で地物DBを作成格納される地物種別を追加し、実証エリアのプロトタイプデータの試作を完了	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

##### ② スカイネットワークの仕様設計、運用手法の確立

最終目標	成果	達成度	備考
スカイネットワークの仕様設計の完了およびスカイネットワーク運用手法を決定し、それらに基づいたプロトタイプデータを福島ロボットテストフィールドエリアで試作する。	仕様設計、プロトタイプデータの試作を完了	○	(*1)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*1) 当初は、福島ロボットテストフィールドを想定していたが、スカイネットワークの機能検証に適切な、伊那市、秩父市に変更した。

##### ③ API の設計、ZIPS 開発計画の作成

最終目標	成果	達成度	備考
API 設計の完了、ZIPS 開発計画の策定完了。	経路探索エンジン、評価エンジンの開発完了 API の設計完了 ZIPS の開発計画の策定完了	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

##### ④ 国際標準化の推進

最終目標	成果	達成度	備考
地理空間情報のデータモデルのIS発行を推進する。	2021年9月にIS発行を完了	◎	(*2)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(\*2) 運行管理システムに関するIS規格として世界初となった。

## (5) 成果と意義

### 5.1. 研究開発項目①「運航管理システムに必要となる情報や 3D 属性の仕様設計、運用手法の確立」

ドローンの運航管理システム (FIMS/UASSP) で利用する 3 次元地図データベースの新規地図データ作成と既存地図データ更新を実施した。新規作成、更新を行ったエリアは長野県伊那市、埼玉県秩父市、兵庫県神戸市、福岡県北九州市、香川県高松市、静岡県富士市、岐阜県美濃加茂市、北海道稚内市、高知県高松市である。実証実験の対象地域と、運行管理システムの性能評価を行う都市部の地図データの作成を行った。また地図データベースに格納する地物の属性の追加を実施した。変更した地物属性を表 2.2.1.12-3 に示す。

表 2.2.1.12-3 地図データベース地物属性

第 1 分類	第 2 分類	第 3 分類
建物	飛行禁止施設	-
	人口密集施設	-
	一般家屋	-
交通	道路	高速自動車道
		一般国道
		都道府県道
		その他
	鉄道	-
敷地		
水系		

従来までは建物、敷地、水系の 3 属性であったが新たに交通の属性を追加した。またそれぞれの地物属性に細かく分類を行い格納した。地物属性を追加したデータベースの仕様にする事でドローンが飛行をする際により安全な飛行経路を生成することが可能となる。

### 5.2. 研究開発項目②「スカイネットワークの仕様設計、運用手法の確立」

ドローンが高速かつ安全に飛行できる空路として、当初は福島ロボットテストフィールドエリアでの作成を検討していた。しかし、スカイネットワーク機能検証に必要な要素を検討した結果、福島ロボテストフィールドではなく長野県伊那市と埼玉県秩父市を対象エリアとしてスカイネットワークの試作を行った。

経路探索の点では、出発地、目的地からスカイネットワークまでは自由経路探索を行うので探索に時間がかかる。しかしスカイネットワークは安全性を担保したネットワークのため、高速に経路探索を行うことができる。

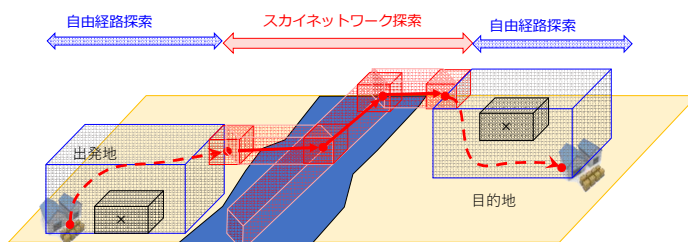


図 2.2.1.12-4 スカイネットワークのユースケース

整備したスカイネットワークを表示したものを図 2. 2. 1. 12-5 に示す。

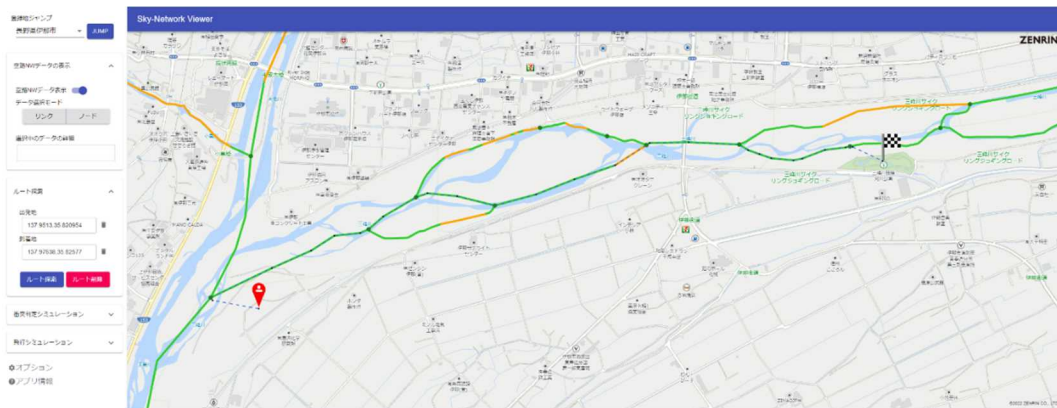


図 2. 2. 1. 12-5 スカイネットワークデモアプリ

スカイネットワークは河川ネットワークをベースに河川の上空を飛行する経路として設計を行った。ネットワークの高度はドローンが安全に飛行できる高度を設定した。また、ネットワークの危険度を2段階に分け、より安全な経路を選択可能とした。緑色で表示されているネットワークが安全に飛行できるネットワーク、オレンジ色で表示されているネットワークが落下分散範囲内に建物があり飛行に注意が必要となるネットワークである。

実際にドローンが安全に飛行できるかシミュレーションを行えるデモアプリを作成し、スカイネットワークの評価を実施した。

始点と終点を入力するとスカイネットワークの近傍ノードまでは自由経路探索を行い、ネットワーク内はネットワーク探索を行う。実際に作成した飛行ルートに対し3次元点群を表示し飛行シミュレーションを行い、経路の安全性を確認することができる。



### 5.3. 研究開発項目③「API の設計、ZIPS 開発計画の作成」

#### 【成果 1】経路探索エンジンの開発

ドローンが安全に飛行できる空路を自動で生成する経路探索エンジンの開発を行った。経路探索の手順の概要を下記図 2. 2. 1. 12-6 に示す。

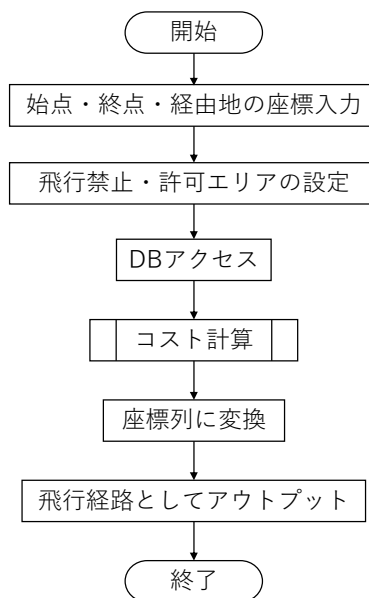


図 2. 2. 1. 12-6 経路探索フローチャート

まずドローンが離陸する始点の座標、着陸する終点の座標を設定する。必要に応じて経由地も設定する。

次にユーザーが独自で設定可能な飛行禁止、飛行許可エリアを指定する。この設定を行うことで、例えば人口集中地区などの地図上では飛行禁止になっているエリアに対し、航空法の許可承認を得ている場合には、飛行可能なエリアとして設定することができる。またユーザーが独自に飛行禁止の設定もできるため、ドローンの飛行経路として設定をしたくないエリアの指定が可能である。

与えられた座標データをもとに当社の地図データベースにアクセスし、3次元空間を立方体で区切った最小単位（ボクセル）でコストを算出する。算出されたボクセルのコスト値をもとに座標列へ変換し飛行経路としてアウトプットする。

コスト計算を行う際に特定の地物属性のコストを高くすることで、指定された地物の上を飛行しない経路の生成ができる。

## 【成果 2】経路探索エンジンの開発

ユーザーが生成した飛行経路に対して墜落と衝突の判定を行い経路の安全性を評価するエンジンを開発した。経路評価の手順を図 2. 2. 1. 12-7 に示す。

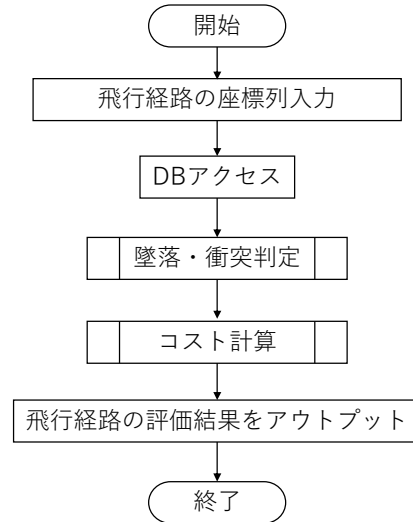


図 2. 2. 1. 12-7 経路評価エンジンフローチャート

まず、ユーザーが作成した飛行経路の座標列をインプットデータとして経路評価エンジンに入力する。

入力された座標をもとに当社の地図データベースにアクセスし、ドローンの墜落と衝突の 2 つのアルゴリズムで判定を行う。コスト計算を行う際に特定の地物属性のコストを高くすることで、指定された地物の上を飛行しない経路の生成ができる。墜落・衝突判定、コスト計算を行って評価された結果をアウトプットし、ドローンの飛行経路の安全性を評価する。

衝突の判定には自然地物、人工地物の離隔距離を指定することができる。設定した離隔距離が地物に対して確保できていないと衝突の判定となる。墜落は落下分散範囲を計算し飛行経路の落下分散範囲内に回避に指定された地物が存在していないか判定を行う。回避に指定された地物が落下分散の範囲に存在している場合に墜落のリスクがあると判定する。

### 5. 4. 研究開発項目④「国際標準化の推進」

当社データベース仕様を軸に ISO TC20 SC16 へ国際標準化へのロビー活動を強力に実施。2021 年 9 月に IS 発行を達成した。

下記、図 2. 2. 1. 12-8 に示す 3 次元地図データベースの 4 階層のモデルを軸に、ISO TC20 SC16 へ国際標準化の提案を実施した。具体的には、ドローンの安全飛行に係るシステム (GCS/UTM) を対象とし、システム間で取り扱う情報項目や属性情報を規定することで、システム間の認識の違いをなくし、適切な情報を流通させることを目的としている。地形情報が各階層を接続させる主のパッケージとし、各階層が副パッケージとして紐づけるモデルとなっている。

また、表 2. 2. 1. 12-4 にデータモデルに含まれる各階層の説明と分類、および事例を示す。2018 年 11 月から提案を開始、2019 年 1 月に NP 提案、2021 年 4 月に正式承認のために FDIS を登録 (表 2. 2. 1. 12-5)。2021 年 9 月 29 日に国際標準発行が完了した。

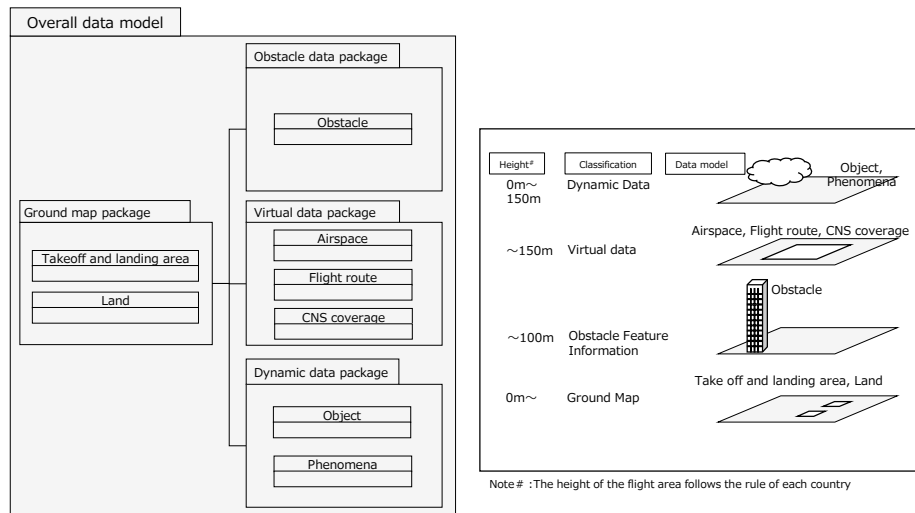


図 2. 2. 1. 12-8 3次元地図データベースのモデル

表 2. 2. 1. 12-4 データモデルに含まれる各階層の説明と分類

Package	Sub package / Entity	Preliminary examples
Ground map	Takeoff and landing area	Vertiport, emergency landing area
	Land	Residential area, farmland, park, road, railway, sidewalk, terrain (e.g. river, mountain), tree
Obstacle data	Obstacle	Transmission line tower, distribution pole, distribution line, transformer substation, power plant, tower building, high-rise apartment building, construction crane, stadium, factory
Virtual data	Airspace	Controlled airspace, uncontrolled airspace, authorized airspace, unauthorized airspace, no-fly zones or restricted areas (e.g. public areas, aerodrome vicinities, regulation area, radio wave service area, administrative boundary, national border)
	Flight route	Flight route
	CNS coverage	Coverage of cellular network, radio network, satellite navigation, radio navigation, surveillance areas of ADS-B
Dynamic data	Object sub-package	Aircraft, unmanned aircraft
	Phenomenon sub-package	Weather

表 2.2.1.12-5 IS 取得までのスケジュール

ステージ	内容	計画	期限	完了日	ステータス
10.00	新規プロジェクト案の登録			2018-10-16	終了
10.20	新規プロジェクトの投票開始	2018-10-15		2018-10-16	終了
10.60	投票の終了	2019-01-07		2019-01-08	終了
10.99	新規プロジェクト登録 (NP) の承認			2019-01-11	終了
20.00	TC/SC作業計画への新規プロジェクト登録			2019-01-11	終了
30.00	Committee draft (CD) の登録	2019-09-16	2019-11-11	2019-11-11	終了
40.00	DISの登録	2020-10-31	2021-01-11	2020-09-22	終了
40.20	DIS投票の開始	2020-11-24	-	2020-11-24	終了
40.60	投票終了	2021-02-16	-	2021-02-17	終了
50.00	正式承認のためにFDIS を登録	2021-06-8	-	2021-04-14	終了
60.60	国際規格の発行	2021-09-22	2022-01-11	2021-09-29	終了

## (6) 特許出願数、論文等の発表

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	-	-	-	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	-	0	1	-	1
展示会出展	-	-	-	0	0	-	0
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	-	0	0	-	0
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	-	0	1	-	1
国内出願	-	-	-	0	0	-	0
外国出願	-	-	-	0	0	-	0

知財確保の考え方：地図データベースの整備手法や具体的なアルゴリズムに関しては、ブラックボックス化することで知的財産権を確保することを方針としている。

## (7) 実用化・事業化への道筋と課題

### 1. 実用化・事業化に向けた戦略

本事業では、通信状況の情報（無人機の安全航行に関わる通信の電波情報の調査・重畳）、有人機の情報、気象情報、地図情報、インフラ等の障害物情報、人口統計情報（時間帯別の滞留人口統計の重畳）等の無人航空機の飛行安全に関係する多様な情報をクラウドサーバ上に一元的に集約し3次元地図上に表現する「無人航空機専用 3D 可視化マップ」およびその API を開発する。この API を通じて、想定ユーザーである無人航空機運航管理システムや無人航空機操縦者のシステムに対して上記の統合情報を提供するクラウド型情報提供システムを実現する。サービスの適用先である無人航空機運航管理システムや無人航空機操縦者は、本開発の成果として想定される API を各々が持つ運航管理のシステムに組み込むことにより、本開発の成果品である一元化された多様な情報を持つ無人航空機専用 3D 可視化マップと運航管理を統合することが可能となる。販売形態としては、本クラウドサービス利用のライセンス販売を想定している。

### 2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

事業化に向けたスケジュールを下記に示す。助成期間終了後、データベースのユーザー評価や拡張性の検討・実行を通じて製品化フェーズへ速やかに移行する。次に拡張部分の設備投資及び生産により、製品化を実現する。2022 年度には販売を開始する見込みである。

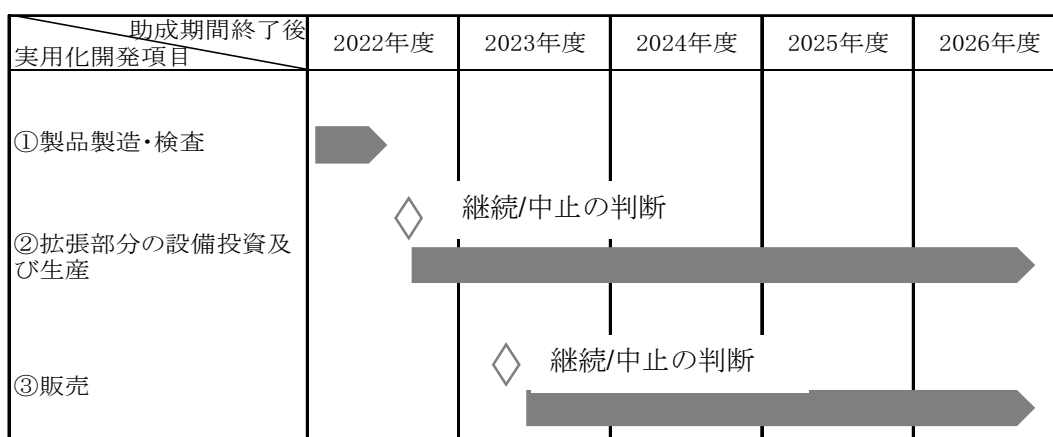


図 2.2.1.12-9 事業化に向けたスケジュール

### 3. 実用化・事業化の見通し

実用化を確実にするために、デジュールスタンダード獲得の施策として ISO TC20 SC16 へ国際標準提案を実施済みであり、2021 年 9 月に IS 発行を達成した。

また、他社との競争優位性として、地図に関しては、ゼンリングroupでこれまで作成し管理、メンテナンスを行っているデータベースを転用することが可能であり、新規に開発および取得すべきデータは少ないことから、製造コストの面で他社より優位性がある。また、質の担保においても、別事業において運用体制を確立しており、その体制を転用できることから、新規で構築するよりも質やコストの面で優位性がある。

また、気象情報など本製品へ重畳するデータについては、外注先からの提供を予定しているが、外注先データベースと弊社開発システムをつなぐ API の開発も想定している。データ自体は外注先が合意すれば競合他社も購入可能であるが、API によるシームレスな統合は競合他社と比較して、情報のリアルタイムな更新という点において優位性がある。そのため実用化は達成するものと見込んでいる。

#### 6.2.1.13 9) 地域特性に考慮した情報提供機能に関する研究開発：

##### 地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発

(実施期間：2年間(2020年度～2021年度))

(実施者：一般財団法人日本気象協会)

#### (1) 事業の背景・意義(目的・概要)

本研究開発は、2017～2019年度のNEDO「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト(以下、NEDO DRESS プロジェクト)」で日本気象協会が実施した「ドローン気象情報提供機能の研究開発」の成果を基に、地域特性を考慮した気象情報の改良と拡張を行い、気象特性が異なる地域に対してドローン気象情報提供機能を提供し、情報提供機能の実用性を検証するものである。この研究開発により、山間地や海(離島)などの多様な特性をもつ地域でも、信頼性が高いドローン気象情報を提供することで、ドローン運航の安全性と信頼性を向上する。

ドローン運航管理(UTM)サービスに係る市場は、2020年段階で本格的な市場形成に至っていない。ドローン運用を考えると、下記のような状況である。

- ドローンの利活用が空撮、インフラ点検、農業などに限定的である。
- 同一空域内で1事業者が1～数機の運用で、多くが目視内の運用となっている。

このため、ドローン運航管理システム(UTMS)の事業者間の空域調整や動態監視、気象監視などの必要性が低い状況にある。気象情報の利用から見ると、下記の点で、UTMS向けの気象情報サービスは市場形成が遅れている。

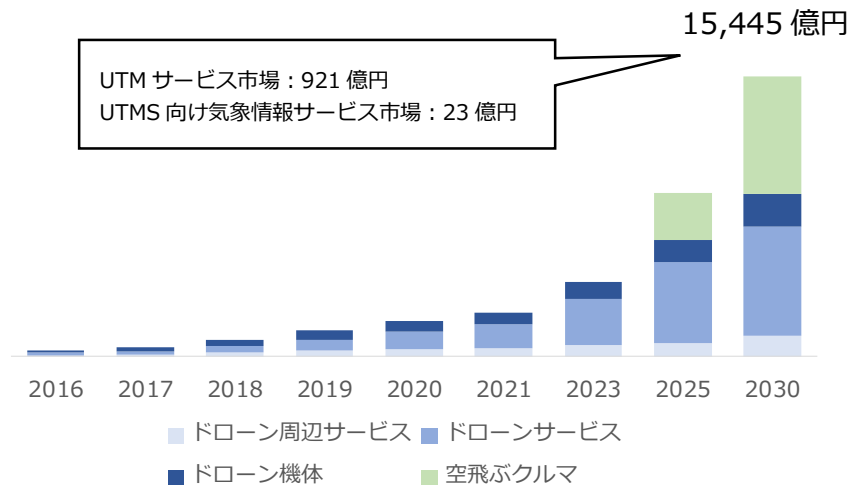
- 空域内で気象等の監視員を配置でき、現地で気象急変を把握できる。
- 運用スケジュールが1日単位で、無償の気象情報などの地上の気象予測で対応可能ある。

今後、ドローン運用ルールやUTMSの整備で、ドローンの飛行可能な空域が広がる。これにより、同一空域内で複数事業者による複数機の運用が現実的となる。このとき、NEDO DRESS プロジェクトが福島ロボットテストフィールド(福島RTF)で行った2019年10月の実証実験のように、将来、世界のいたるところで「同一空域に複数事業者の機体が飛行する」状況になることが期待できる。2025～2030年にかけてUTMサービス市場は成熟期となり、同時にUTMS向けの気象情報サービスの市場が確立される。

ドローンと同じ空域を利用する「空飛ぶクルマ」の普及が期待されている。「空の移動革命ロードマップ」によれば、2030年代には実用化が拡大され、都市を含めた人の移動が実現する。このとき、人が搭乗する空飛ぶクルマは、ドローンと同等以上の運航管理が重要で、安全性の向上が求められることは自明であり、空飛ぶクルマの運航のための気象情報サービスも同時に形成できる。

このような「空の産業革命」「空の移動革命」が進められることで、図2.2.1.13-1のとおりドローン及び空飛ぶクルマの市場規模は1.5兆円となる。このような市場拡大がされる中で、気象情報は、空の安全を守るために重要な情報を担うことから、本研究開発は、市場の拡大及び成長に大きく貢献できることが期待できる。

そこで、本研究開発は、観測、予測、情報提供を一体として、信頼性が高いUTMS向け気象情報技術の開発を主眼とし、この技術開発を通じ、UTMサービス市場形成、さらにはドローン・空飛ぶクルマの普及推進につなげ、国内から海外に展開可能な気象予測情報技術として研究開発を行うものである。



注) 1. 2016～2025 年は「ドローンビジネス調査報告書 2020」(株式会社インプレス)を用いた。

2030 年は独自に推計した。

2. 空飛ぶクルマの市場は「平成 29 年度製造基盤技術実態等調査(空の移動と物流の将来像に関する実態調査)」(METI、2018.3)を用いた。

図 2.2.1.13-1 ドローン・空飛ぶクルマの市場規模

## (2) 研究開発目標と根拠

本研究開発は、NEDO 基本計画の研究開発項目②「無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発」「(1) 無人航空機の運航管理システムの開発」のうち、「9) 地域特性に考慮した情報提供機能に関する研究開発」で必要な「地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発」を行う。

この研究開発では別に実施される「10) 地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」(以下、「②(1)10)」という)で選定された実証エリアの試験飛行において、無人航空機の飛行経路の風向及び風速等を含む気象情報や有人機情報等の各種情報を重畳した3D可視化マップを活用できるように、2017～2019年度で日本気象協会等が開発した情報提供機能を改良・拡張し、全国展開に向けた実用性を向上することを目標とした。本研究開発で達成する事業目標を表2.2.1.13-1に示す。日本気象協会は、地理空間情報のうち動的情報である「気象情報」を担い、10時間先までの強風予測の改良・拡張、気象情報提供機能の改良・拡張および可視化情報の開発、選定された実証エリアで実証実験により成果を検証する。これらの研究開発成果を基に、地理空間情報データモデルの国際標準化を推進する。



表 2.2.1.13-1 事業目標

項目	達成する目標
①地域特性を考慮した気象観測の検討と観測データの取得	ドローン運航管理で社会実装が可能な気象観測手法を選定し、選定した気象観測装置の最適な観測密度を設定する。
②地域特性を考慮した強風予測技術の改良と検証	2017～2019年度の成果を改良し、気象の地域特性を考慮でき全国展開が可能な「実況値の推定技術」及び「10時間先までの強風予測技術」を開発する。
③地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能の改良と検証	1) 2017～2019年度に開発を行ったドローン気象情報提供機能(API)の改良・拡張し、地理空間情報機能と連携し、全国展開に向けた実用性の向上を図る。また、より実用化に適合させた可視化情報を開発する。 2) 「②(1)10)」で指定したエリアでの試験飛行で、航路上の風向・風速を含む気象情報や各種情報を重畳した可視化マップを提供し、ドローン運航の安全性と効率的な運航を実現する。
④国際標準化の推進	本研究開発の成果に基づき、地理空間情報データモデルに係るドローン気象情報について、国際標準化を推進する。

表 2.2.1.13-1 の目標を定めた理由として、地域特性の違いにより気象特性も変化することにある。地域特性を気象観点から大別すると、平坦地、山間地、海（離島）に分けることができる。平坦地では、地形の変化が小さく、風も一様となる傾向が強い。一方、山間地や海（離島）では、その地域に見られる複雑な地形により影響を受ける。

ドローンは、このような地域特性で生じる気象を予測して、気象リスクが最小限となる飛行ルートを選定し、安全な飛行をしなければならない。しかし、国内を同一品質で入手できる高解像度な風向・風速予測は気象庁局地予測（LFM）しかない。気象庁 LFM は、水平メッシュが 2 km（地上）、鉛直メッシュは 10m、100m（1000hPa）、300m（975hPa）となっている。気象庁 LFM は、ドローンが飛行する低空で、微細な複雑地形による気象を表現することができず、複雑地形で生じる気象の変化を予測できない。また、気象庁 LFM を単純内挿したような気象情報では、地形変化による強風は予測できず、このような情報をドローン運航で判断に用いることは、飛行の危険性が増す可能性が生じる。このため、本研究開発の目標とする全国のいたるところで利用可能な高解像度風況情報は、ドローンの安全運航にとって重要な意味を持つ。

高解像度風況情報の研究開発は、2017～2019 年度に研究開発したドローン気象情報提供機能がある。この開発では、対象地域を福島 RTF（南相馬市）に限定して、高解像度風況情報を試作し、運航管理システムで活用した。この情報を、全国のさまざまな地域に適用した場合、以下の課題がある。

- (1) ドローン運航管理のための気象観測の不足
- (2) 複雑地形による複雑な気流を予測可能な気象情報の不足
- (3) 全国展開によるデータ量の増量とシステム負荷の増大

以上を踏まえ、本研究開発は、2017～2019 年度 NEDO DRESS プロジェクトの「ドローン気象情報の研究開発」の成果を改良・拡張して、日本各地で行われる地域実証実験での情報提供を行い、成果と有効性の検証を行うことにより、様々な地域特性を考慮し

たドローン気象情報提供機能を実現した研究開発を行った。この取組を踏まえ、ドローン運航管理のための地理空間情報データモデルの国際標準を目指した。

本研究開発の情報提供機能の連携イメージを図 2.2.1.13-2 に示す。また、地域実証実験での連携イメージを図 2.2.1.13-3 に示す。これらを実証するために、次の4つのテーマについて研究開発を進めた。

なお、地域実証での連携試験は、「地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業（実施者：KDDI 株式会社、パーソルプロセス&テクノロジー株式会社）」が実施した地域実証実験の実施事業コンソーシアム（以下、地域実証コンソ）のうち、本研究開発との連携協力のあった7コンソ及び先行実証の1コンソの計8コンソに対して実施した。

- ①地域特性を考慮した気象観測の検討と観測データの取得
- ②地域特性を考慮した強風予測技術の改良と検証
- ③地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能の改良と検証
- ④国際標準化の推進



図 2.2.1.13-2 地域特性を考慮した情報提供機能の連携イメージ

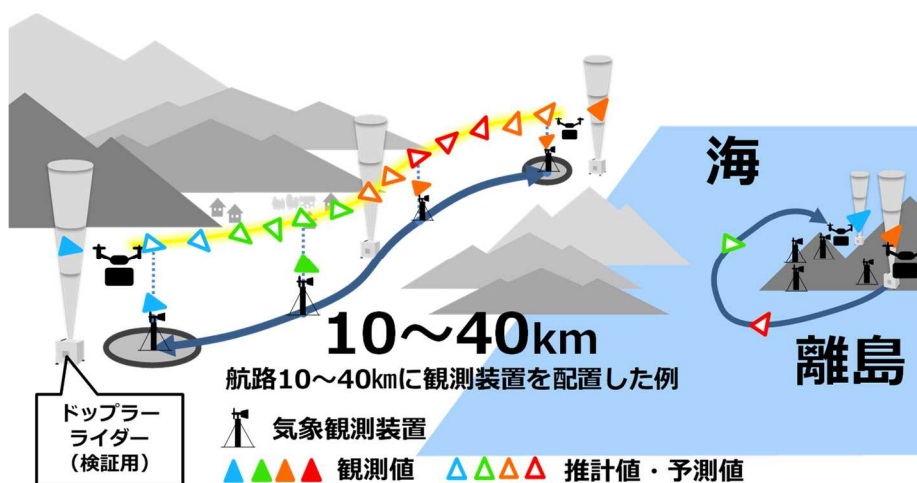


図 2.2.1.13-3 地域特性を考慮したドローン気象情報の研究開発イメージ

(3) 研究開発スケジュール・実施体制

研究開発スケジュールを表 2.2.1.13-2 に示す。

表 2.2.1.13-2 研究会開発スケジュール

事業項目	2020年度				2021年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①地域特性を考慮した 気象観測の検討と観測 データの取得		→	→	→	→	→	→	→
②地域特性を考慮した 強風予測技術の改良と 検証		→	→	→	→	→	→	→
③地域特性を考慮した ドローン気象情報提供 機能の改良と検証		→	→	→	→	→	→	→
④国際標準化の推進		→	→	→	→	→	→	→

実施体制を図 2.2.1.13-4 に示す。

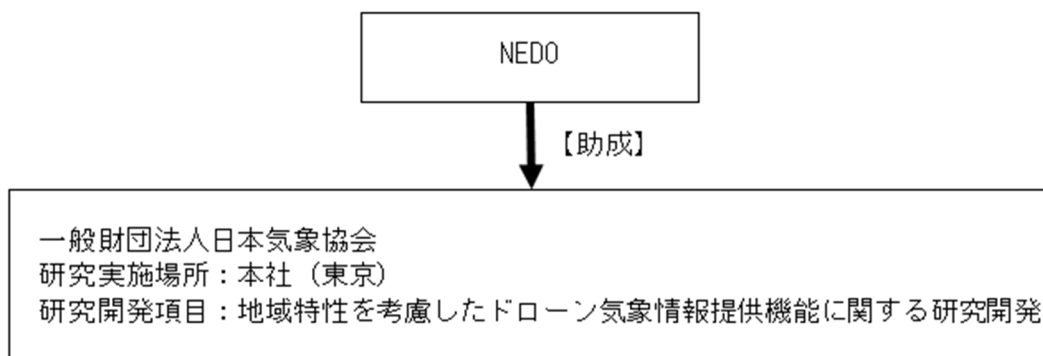


図 2.2.1.13-4 実施体制

#### (4) 研究開発の達成状況

##### 地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発

最終目標	成果	達成度	備考
①地域特性を考慮した気象観測の検討と観測データの取得	ドローン運航管理のための適切な気象観測手法の選定と、地域特性を把握するためのドローン運航管理に係る気象観測装置の適正配置検討手法を整理した。この成果を踏まえ、ドップラーライダー及びIoT小型気象センサーを実地形に配置し、その有効性を確認した。	○	
②地域特性を考慮した強風予測技術の改良と検証	連続稼働が可能な「全国200m3D風況予測」の運用システムを試作し、連続稼働による計算負荷、障害リスク、精度検証を進めた。また、地域実証などの比較的限定された範囲で適用可能な複雑地形用と都市街区用の2種類の高解像度3D風況予測手法を試作した。	○	
③地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能の改良と検証	ドローン気象APIの改良と拡張を行い、全国200m3D風況予測などの気象情報を全国で提供できる機能を実装した。ドローン気象の可視化システムを改良し、ドローン運航をサポートする可視化を表示可能なドローン気象WEBを試作した。地域実証コンソに試験提供を行い、有効性を確認した。	○	
④国際標準化の推進	ドローン運航管理のための地理空間情報データモデル ISO23629-7 UAS traffic management (UTM) -Part 7 Data model for spatial dataとして、国際標準化機構 (International Organization for Standardization) により2021年9月29日にとして正式に発行された。	◎	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

#### (5) 成果と意義

- 5.1. 研究開発項目「地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能に関する研究開発」
  - 5.1.1. 「地域特性を考慮した気象観測の検討と観測データの取得」(実施者: 日本気象協会)

地域特性を考慮した情報提供機能を開発するために、国内の代表的な地形(平坦地、山地、海(離島))に対して、地域特性を把握できドローン運航に安全な情報の開発に資する気象観測手法の選定を行った。ドローン運航管理のために気象実況データを取得する観測手法を検討した。検討した観測手法を図2.2.1.13-5に示す。これらの手法の観測精度、設置性、コストなどを総合的に勘案した結果、ドローン運航管理に適した気象実況データを取得する観測手法として「鉛直プロファイル型ドップラーライダー」と「IoT小型気象センサー」を選定した。運航管理では、リアルタイムにデータ取得が必要となる。そこで本研究開発では、通信手法として携帯電話通信(LTE)、省電力無線

通信（LPWA）、マルチホップ型無線通信を検討した。

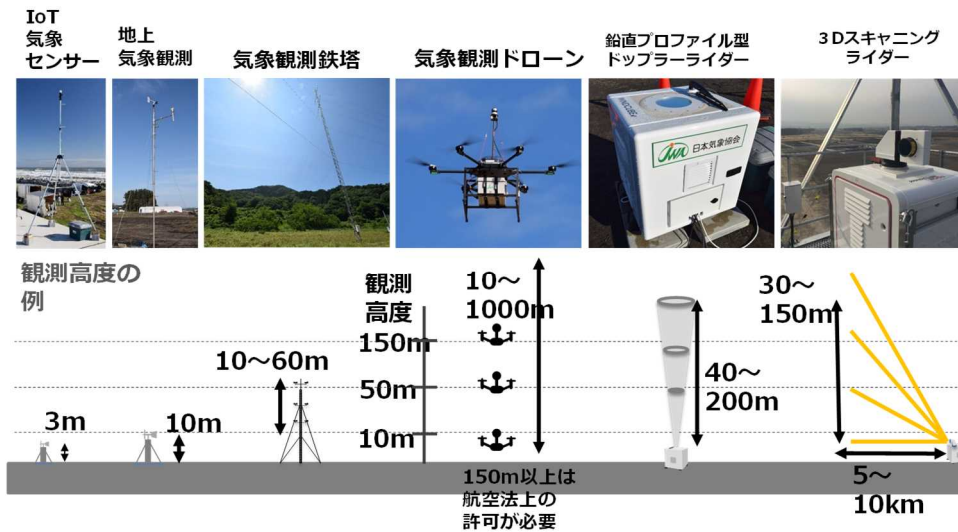


図 2. 2. 1. 13-5 ドローン運航管理に活用する気象実況データの取得方法の例

選定した気象観測手法について、2020年3月に宮城県仙台市で行われた先行実験で、ドローン運航管理のための気象観測の予備試験を実施した。予備試験では、IoT 小型気象センサー、鉛直プロファイル型ドップラーライダー（以下、ドップラーライダーという）、天気カメラを用いた検証を行い良好な結果を得た。この試験を踏まえ、山地・離島に展開する観測機材の再選定と試作を行った。

気象観測装置を展開した地域は、地域実証コンソの実証地域の中から、地域実証コンソ及び地元自治体の協力が得られた「宮城県美郷町」（山地）と「長崎県五島市」（離島）を選定した。地域実証コンソへのヒアリングを基に、気流シミュレーションに基づく気象センサーの配置計画を立案し、現地踏査結果を踏まえて、ドローン運航のための気象観測網を整備した。観測地点と機材は図 2. 2. 1. 13-6 および図 2. 2. 1. 13-7 のとおりで、各地点の観測の例は図 2. 2. 1. 13-8 のとおりである。長期観測の実証を行う固定地上観測点と臨時地上観測点には IoT 小型気象センサーを設置し、上空気象観測点にはドローン航路の高度の風況を観測するドップラーライダーを設置した。

また、2021年10月27日に全国13地域で実施したドローン同時飛行による運航管理の実証実験では、「岐阜県美濃加茂市」と「宮城県仙台市」の地域実証で、臨時観測を行った。これらの観測データは、④情報提供機能で試作した可視化システムを通じて、実証事業者へ情報提供を行い、地域実証での運航管理に活用できたことを確認した。

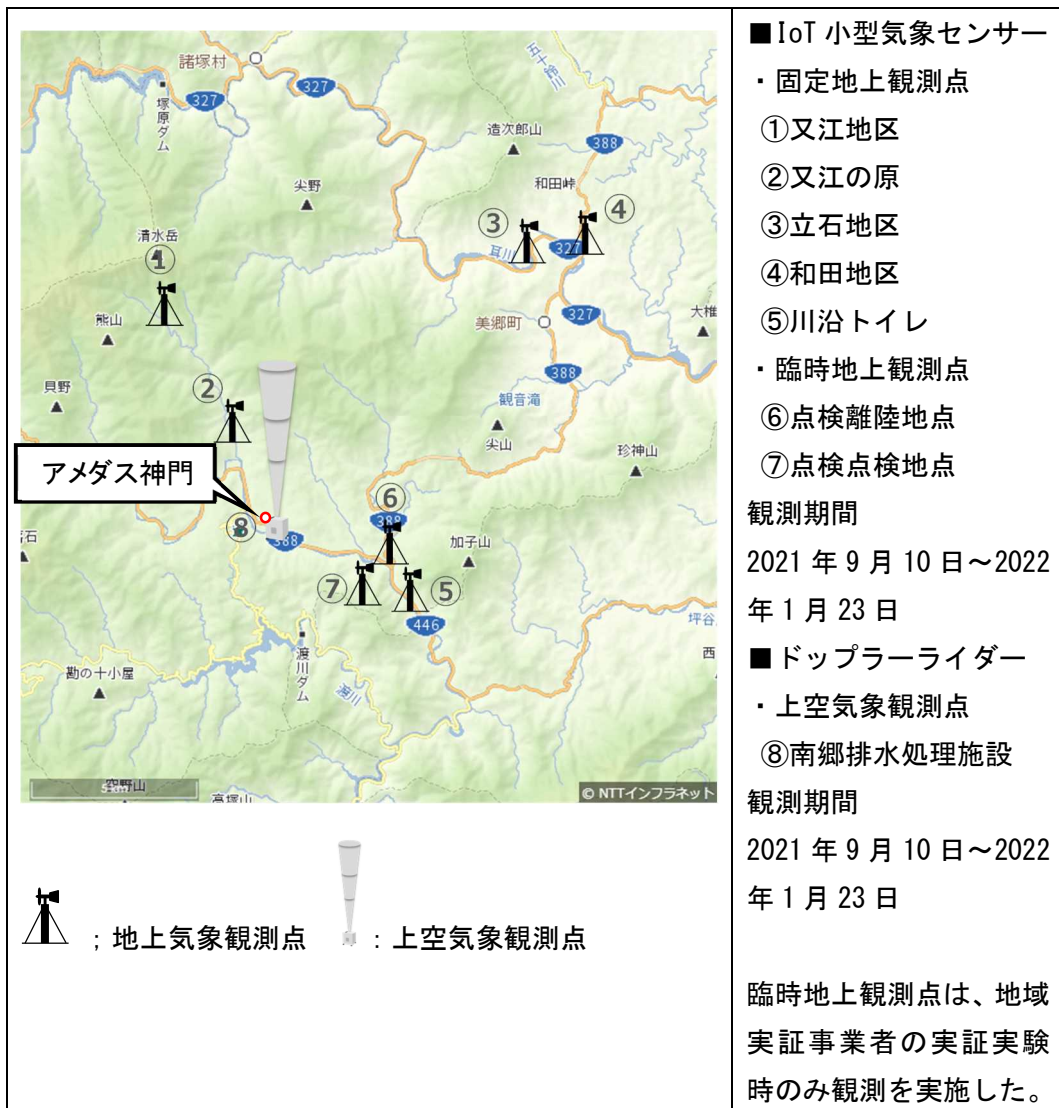


図 2. 2. 1. 13-6 山地の地域特性を把握するための気象観測網（宮崎県美郷町）

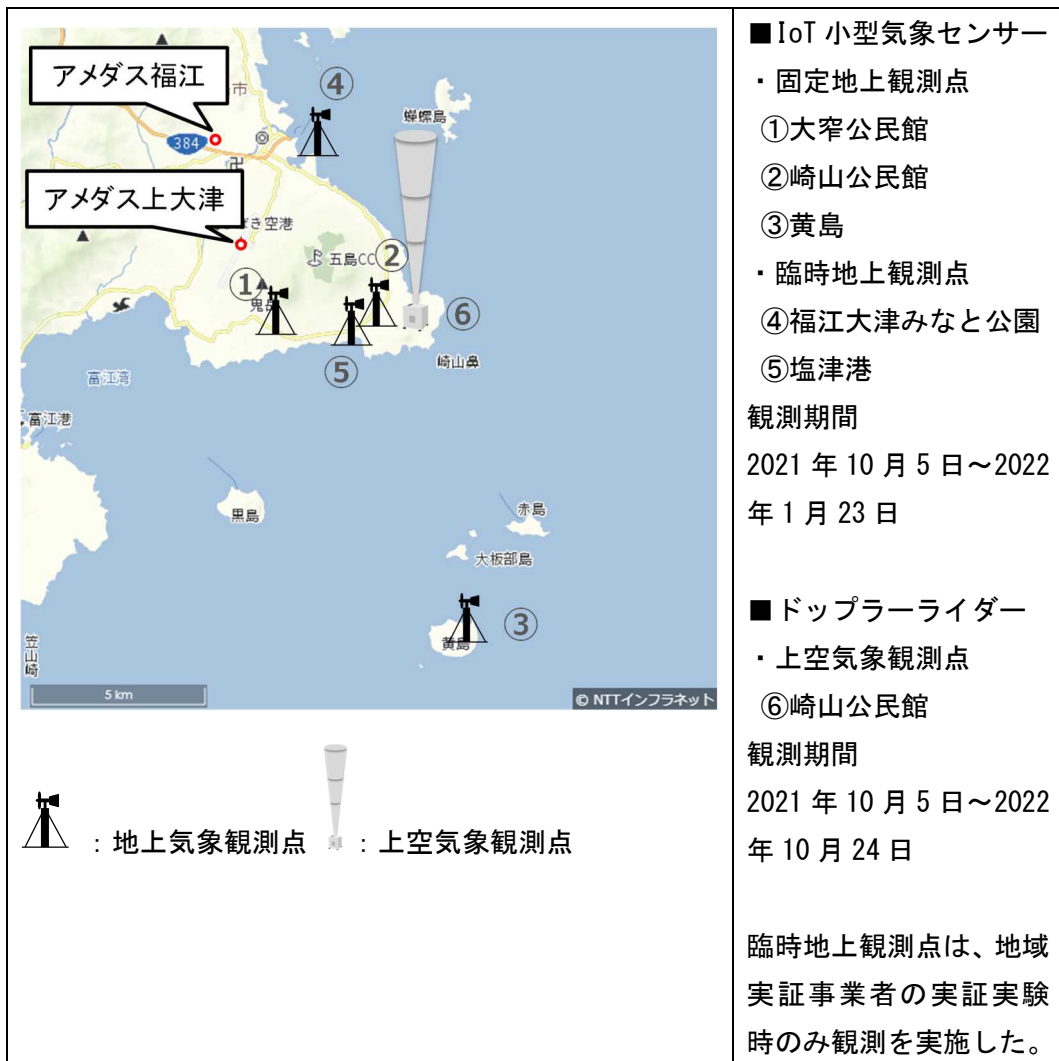


図 2. 2. 1. 13-7 離島の地域特性を把握するための気象観測網（長崎県五島市）





図 2. 2. 1. 13-8 地域特性を把握するための気象観測の例

5. 1. 2. 「地域特性を考慮した強風予測技術の改良と検証」（実施者：日本気象協会）

2017～2019 年度に開発した強風予測技術を改良し、既存のダウンスケール手法を導入することにより、本地域特性の考慮が可能な強風予測技術の開発を進めた。2.2.1.13-9 に開発した予測情報と対象とするメッシュサイズを整理した。入力データに気象庁数値予報データを用い、3種類のダウンスケール手法により、地域特性の違いを考慮したドローン3D風況予測を検討した。

■ ドローン強風予測の改良と拡張

- 1) 全国200mメッシュで3D風況予測
- 2) 複雑地形に対応する20～200mの高解像度3D風況予測
- 3) 都市街区に対応する5～20mの超高解像度3D風況予測

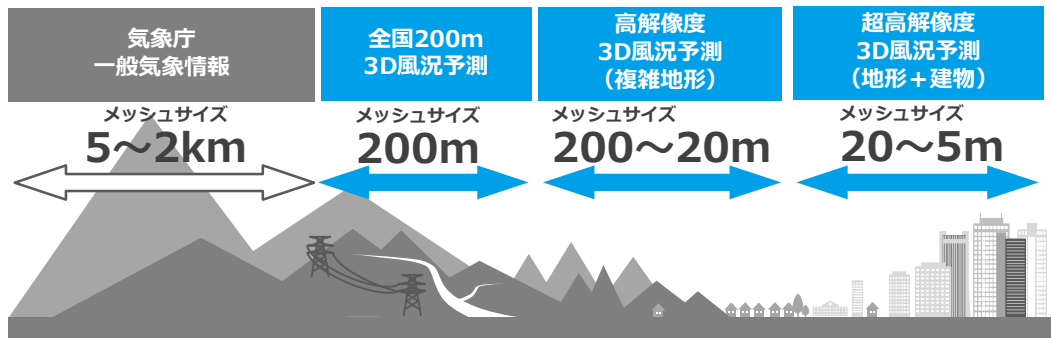


図 2.2.1.13-9 ドローン3D風況予測のメッシュサイズと対象地域

ドローン運航管理のためには、全国で適用可能な高解像度風況予測が必要となる。そこで、本研究開発では、全国拡張を行い 200m メッシュで、地上から高度 150m までの「全国 200m 3D 風況予測」を試作した。予測例を図 2.2.1.13-10 に示す。試作した風況予測の高度化のために GPU を利用して高速化が実現可能な気象モデルを導入し、高度化を図った。

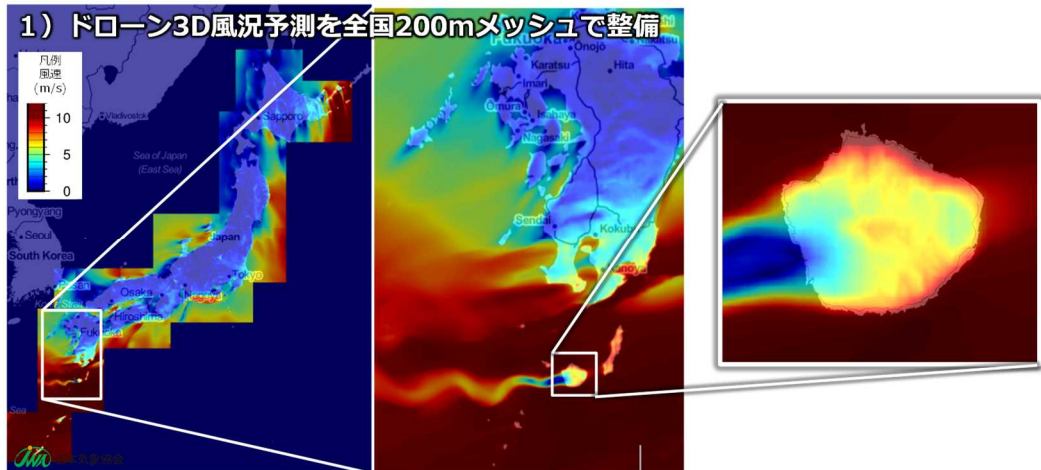


図 2.2.1.13-10 全国 200m 3D 風況予測の予測例

山地や離島では、全国 200m 3D 風況予測では解像度が不足し、地域特性が把握できないケースも想定される。そこで、山地や離島など細かな地形による風の変化を予測するためにダウンスケールに局所風況モデルを用いた。有人地帯のドローン運航管理を想定した場合、ビル等の建物による風況変化を把握する必要がある。そこで、ダウンスケールに都市気流モデルを用い、さらに高解像度化を実現した超高解像度 3D 風況予測の実現性を検討した。この計算例を図 2.2.1.13-11 に示す。

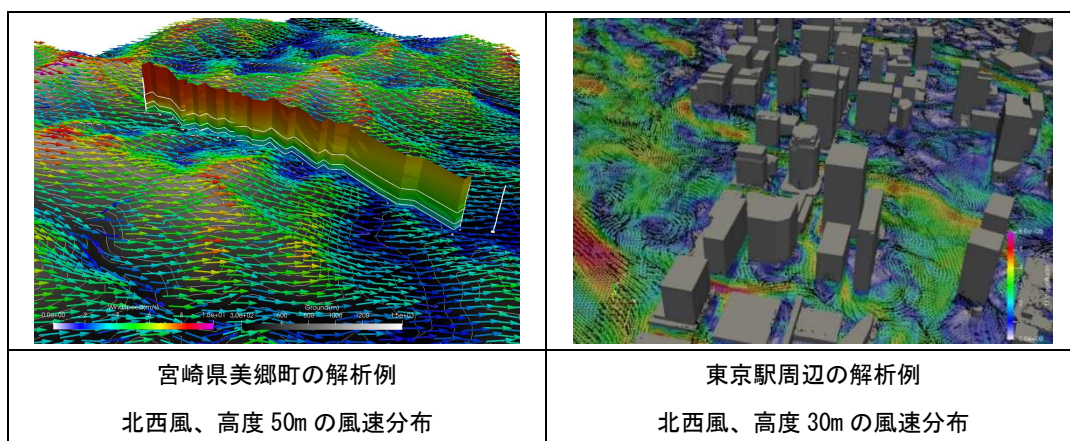


図 2. 2. 1. 13-11 地形や建物を改造した 3D 風況予測の予測例

2021 年度は、この成果を、地域実証で検証するために、表 2. 2. 1. 13-3 に示す地域について高解像度 3D 風況予測または超高解像度 3D 風況予測を適用した。前述の気象観測データを用いて検証を行い、予測の向上を図った。

表 2. 2. 1. 13-3 ドローン風況予測の試作状況

地域	全国 200m 3D 風況予測	高解像度 3D 風況予 測 (地形)	超高解像度 3D 風況予測 (地形+建 物)
全国	●	-	-
北海道稚内市	-	●	-
宮城県仙台市	-	●	-
静岡県富士市	-	●	-
岐阜県美濃加茂市	-	-	●
高知県四万十市	-	●	-
宮崎県美郷町	-	●	-
長崎県対馬市	-	●	-
長崎県五島市	-	●	-
東京（新宿区、千代田区）	-	-	●
大阪（中央区、北区、住之江区）	-	-	●
札幌市、名古屋市、広島市、福岡市	-	-	●

### 5. 1. 3. 「地域特性を考慮したドローン気象情報提供機能の改良と検証」（実施者：日本気象協会）

本研究開発では、2020 年度に 2017～2019 年度に開発したドローン気象情報提供 API を改良・拡張し、全国展開に向けた実用性の向上を図った。また、「②（1）10）」で指定された実証エリアに、より実用化に適合させた可視化情報を提供する機能の開発を

進めた。2021 年度には、全国提供を想定したハードウェアの増強とシステム改良を行った。さらに、セキュリティ対策のために、認証システムによるアクセス管理、ファイアウォールの配置、通信監視、不正侵入監視などを実装した。気象情報提供機能の利用を希望する地域実証事業者に対して、試作した API 及び可視化システムを試験提供し、実用性や有効性の検証を行った。

データ提供を行う「ドローン気象 API」と、ドローン気象を可視化するシステム「ドローン気象 WEB」の改良と拡張を行った。ドローン気象 API の全国拡張を行い、表 2.2.1.13-4 のとおり全国 200m 3D ドローン風況予測をはじめとする気象情報をドローン気象 API とドローン気象 WEB に実装した。地域実証等で安全な利用を行えるようセキュリティ対策も実装した。ドローン気象 WEB は、ドローン気象の可視化を行うシステムとして試作した。この例を図 2.2.1.13-12 に示す。ドローン気象 API と連携し、運航管理に必要な気象情報を専用に関連できるシステムとした。ドローン気象情報提供機能で実装した気象情報を表 2.2.1.13-4 に示す。これらの情報機能は、利用者であるドローン運航管理者やドローン運用者がインターネットを通じて、ドローン気象 API やドローン気象 WEB にアクセスを行うことにより利用できるようにした。

表 2.2.1.13-4 ドローン気象 API とドローン気象 Web に実装した情報

気象要素		ドローン気象 API	ドローン気象 WEB
風向 風速	全国 200m 3D 風況予測	全国	全国
	高解像度 3D 風況予測	北海道稚内市 高知県四万十市 宮崎県美郷町	北海道稚内市 宮城県仙台市 静岡県富士市 高知県四万十市 宮崎県美郷町 長崎県対馬市 長崎県五島市
	超高解像度 3D 風況予測	岐阜県美濃加茂市 東京、大阪、札幌市、 名古屋市、広島市、福岡市	岐阜県美濃加茂市 東京、大阪、札幌市、 名古屋市、広島市、福岡市
降水		全国	全国
気温		全国	全国
相対湿度		全国	全国
天気		全国	全国
観測 情報	アメダス	全国	全国
	雷	全国	全国
	IoT 小型気象 センサー	長崎県五島市 宮崎県美郷町 宮城県仙台市（臨時） 岐阜県美濃加茂市（臨時）	長崎県五島市 宮崎県美郷町 宮城県仙台市（臨時） 岐阜県美濃加茂市（臨時）
	ドップラー ライダー	長崎県五島市 宮崎県美郷町	長崎県五島市 宮崎県美郷町



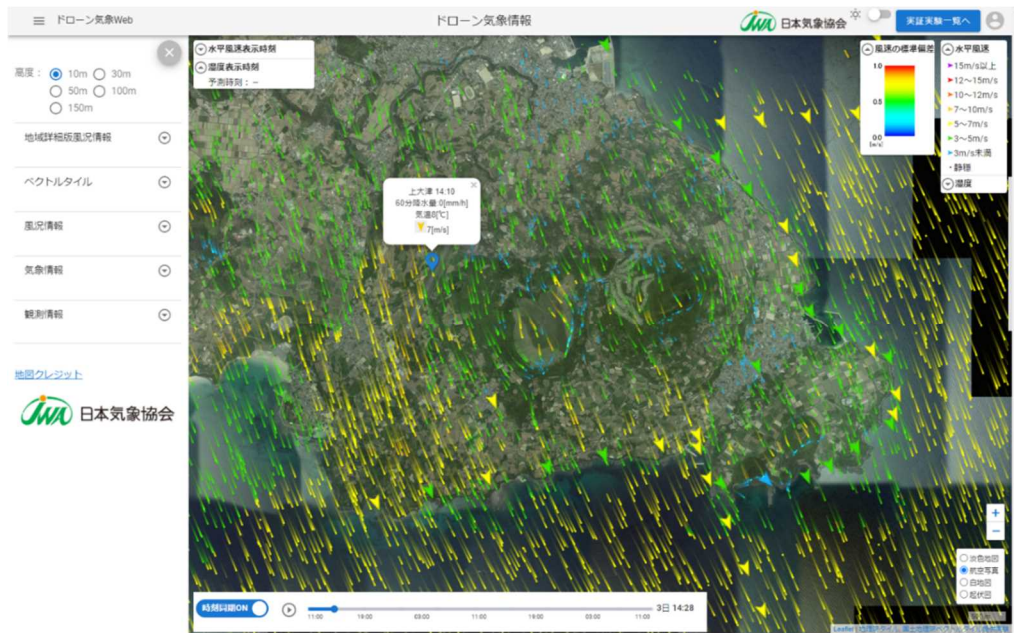


図 2. 2. 1. 13-12 試作したドローン気象可視化システム  
(ドローン気象 WEB) のイメージ

本研究開発では、ドローン気象情報提供機能として試作したドローン気象 API とドローン気象 WEB の試験提供を地域実証コンソに行った。これにより情報提供機能の有効性を検証した。地域実証実験に先立ち 2021 年 3 月に宮城県仙台市で行われた先行実証に対して、試作したドローン気象観測システムとドローン気象 WEB の表示端末を設置して事前検証を実施した。事前検証では、IoT 小型気象センサー、ドップラーライダーを用いた現地観測データの提供及び、ドローン気象 WEB の試作の検証を行った。

事前検証を踏まえ、地域実証コンソ向けにドローン気象 API とドローン気象 WEB を試作した。試作した地域実証の地域は表 2. 2. 1. 13-5 に示すとおりである。なお、初期計画段階で試験提供先のニーズを把握したうえで、試作を進めた。

2021 年 10 月の全国合同の地域実証実験では、「宮城県美郷町」、「長崎県五島市」、「宮城県仙台市」、「岐阜県美濃加茂市」での実証実験に気象支援班として参加した。現地で気象情報支援を行うとともに、提供したドローン気象 API やドローン気象 WEB の利用状況の把握やドローン運用事業者から課題ヒアリングなどを実施した。参加した地域実証の支援状況を図 2. 2. 1. 13-13 および図 2. 2. 1. 13-14 に示す。宮城県美郷町と長崎県五島市は、固定観測地点に加え、離発着地点に臨時観測地点を設け、離発着時の安全飛行を支援した。宮城県仙台市は、臨時観測地点ではあるが、ドップラーライダー、IoT 小型気象センサーを配置した。岐阜県美濃加茂市は、IoT 小型気象センサーを配置した。これらの地域には、気象支援班を配置した。

本研究開発では、ドローン気象情報提供を 8 地域で検証することにより、日本の様々な地形で発生する気象の予測技術と観測装置による実況把握技術を実現した。

表 2.2.1.13-5 地域実証実験への情報提供による検証

実証地域	ドローン気象 API	ドローン気象 WEB	気象観測	現地気象支援
北海道稚内市	●	—	—	—
宮城県仙台市	—	●	▲	●
静岡県富士市	—	●	—	—
岐阜県美濃加茂市	●	●	▲	●
高知県四万十市	●	●	—	—
宮崎県美郷町	●	●	●	●
長崎県対馬市	—	●	—	—
長崎県五島市	—	●	●	●

注) ●は提供、▲は実証時のみ提供、—は未提供。提供は、地域実証事業者の希望があった場合に用意した。

長崎県五島市	 <p>IoT 小型気象センサーによる観測</p>	 <p>IoT 小型気象センサーによる観測</p>
宮崎県美郷町	 <p>IoT 小型気象センサーによる観測</p>	 <p>ドローン気象 WEB などの利用状況</p>

図 2.2.1.13-13 地域実証時の現地気象支援の様子（山地、離島）



宮 城 県 仙 台 市	 <p data-bbox="357 651 807 734">IoT 小型気象センサーとドップラー ライダーによる観測</p>	 <p data-bbox="887 651 1311 685">ドローン気象 WEB などの気象支援</p>
岐 阜 県 美 濃 加 茂 市	 <p data-bbox="373 1131 791 1164">IoT 小型気象センサーによる観測</p>	 <p data-bbox="887 1131 1305 1164">IoT 小型気象センサーによる観測</p>

図 2. 2. 1. 13-14 地域実証時の現地気象支援の様子（追加支援地点）

#### 5. 1. 4. 「① 国際標準化の推進」（実施者：日本気象協会）

2017～2019 年度の研究開発では、下記の通り、株式会社ゼンリンと協力して ISO/TC20/SC16 に地理空間情報のデータモデルに係る標準化提案を進めた。これらの活動を通し、UTM に係る気象情報の知財、国内・海外 UTM 事業者の気象情報ニーズ、UTM の気象情報の扱いなどについて国内外の動向を調査した。この結果に基づき、運航管理で用いる気象情報の国際競争力向上に資する標準化を推進した。

図 2. 2. 1. 13-15 のとおり、この推進活動により、2021 年 2 月に国際規格案（Draft International Standard=DIS）が承認された。その後、最終国際規格案（Final Draft International Standard=FDIS）が 8 月に承認され、国際規格（International Standard）が 2021 年 9 月 29 日に国際標準化機構（International Organization for Standardization）により、ISO23629-7 UAS traffic management (UTM) –Part 7 Data model for spatial data として正式発行に至った。





図 2.2.1.13-15 ドローン運航管理の地理空間情報に係る国際標準化の推進状況

#### (6) 特許出願数、論文等の発表数

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	-	-	-	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	-	1	0	1	2
展示会出展	-	-	-	1	2	-	3
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	-	0	0	1	1
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	-	0	1	-	1
国内出願	-	-	-	0	0	-	0
外国出願	-	-	-	0	0	-	0

#### (7) 実用化・事業化への道筋と課題

##### 1. 実用化・事業化に向けた戦略

本プロジェクト終了後、ドローン運航の実用化に向けた検証実験に参画しながら、本プロジェクトで開発したドローン気象 API 及びドローン気象 WEB を基礎に気象情報提供の最適化を図り、サービス提供の実現を目指す。

現状では、観測値による実況監視のニーズが高いことから、IoT 小型気象センサーやドップラーライダーによる離発着地点監視や上空気象監視を重点に事業化を進め、ドローン運航頻度の増大に伴って、予測情報の提供につなげる戦略とする。

サービス提供エリアは、飛行の集中するエリアを優先しつつ、全国拡大を視野に設計を行う。

##### 2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

当面は、ドローン運用者 (UASO) 向けサービスを軸とするが、ドローン運航管理システム (UTMS) の普及に合わせ、これらのシステム向けに機能向上を図りながら、気象情報提供サービスとしてシステム安定性も向上を進める。ドローン活用社会の実現に向けたドローンの産業利用拡大と本開発の気象情報提供のサービス化を連動させながら、運用者が利用可能なドローン気象閲覧サービスや、運航管理者が利用するデータ連携サービスなどに当協会のドローン気象サービスを展開していく。



6.2.1.14 10) 地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業：  
 地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業  
 (実施期間：2年間(2020年度～2021年度))  
 (実施者：KDDI株式会社 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社)

(1) 事業の背景・意義(目的・概要)

1.1 本事業の背景

「空の産業革命に向けたロードマップ2020」で示されたとおり、2022年の「有人地帯での目視外飛行(レベル4)の実現に向け、環境整備、技術開発、社会実装が進められている。技術開発の要素としては、「運航管理システム(UTMS)」、「リモートID」、「衝突回避等技術」、「機体性能評価」、「国際標準(ISO等)化」が挙げられている。

これらの内、「運航管理システム(UTMS)」については、NEDO DRESS プロジェクトにおいて複数の無人航空機システム(UAS)を運用するオペレータ(UASO)間の飛行経路のコンフリクト等を調整する運航管理機能(UASSP)、UASSPの申請を承認し、UASSP間のコンフリクトを調整する運航管理統合機能(FIMS)、UASSPやFIMSに気象情報や地図情報、通信用の電波情報等を提供する情報提供機能(SDSP)で構成されるアーキテクチャを検討、機能開発が行われてきた。その成果として、2019年10月、福島ロボットテストフィールドにおいて、1時間1平方kmに100フライト以上の無人航空機の飛行試験に成功したところである。

しかし、実運用環境における実証は未実施であり、運航管理システムの社会実装を促進するためには、実運用環境における運航管理システムの利用者等のニーズを踏まえたシステムのあるべき姿・アーキテクチャを構想し繰り返し実証することで、環境整備や社会実装への準備が求められている。



図 2.2.1.14-1 空の産業革命に向けたロードマップ2020

出所：「小型無人機に関する関係府省庁連絡会議」(2020年7月17日公表)

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou14.pdf>

## 1.2 本事業の意義

前述の「空の産業革命に向けたロードマップ2020」における位置づけから、本研究は、レベル4実現に向けた運航管理システムの機能開発および実運用環境における実証を通じて、運航管理システムの社会実装に向けた課題とその解決の方向性を具体化することに意義がある。

特に、今後より多くの無人航空機が異なる目的で同一空域を飛行する実運用環境において、衝突・墜落を回避するためにオペレータが利用する運航管理機能の信頼性向上は不可欠となる。加えて、運航管理機能間、及び運航管理統合機能との間の調整方法を確立することは、運航管理システムを日本全国に展開する上で非常に重要な意義を持つ。本研究のコンセプトを図2.2.1.14-2に示す。

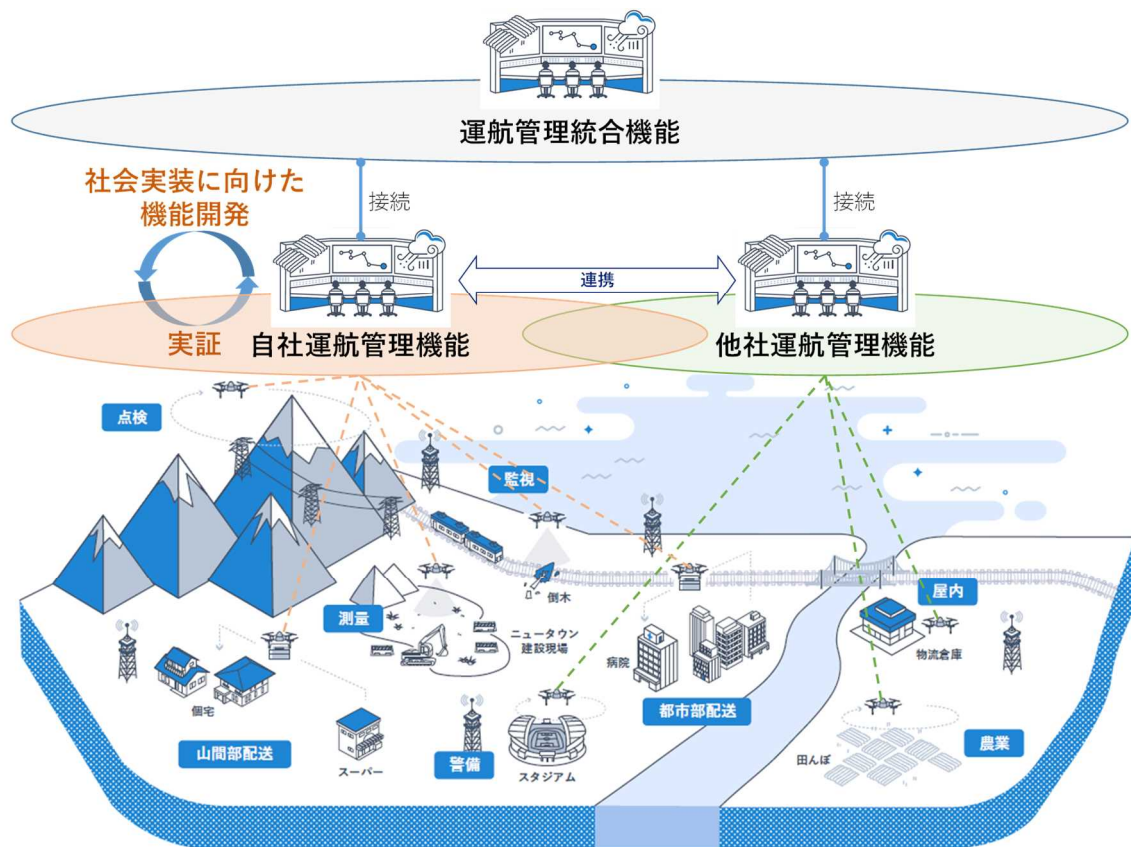


図 2.2.1.14-2 本研究のコンセプト図

## 1.3 本事業の概要

前項の目的・意義を踏まえ、本研究では以下の4つの研究開発を実施した。まず社会実装に向けた運航管理機能の研究開発を行い、先行実証を通じた改善を図った。その後、事務局が推進主体となり、さらに多様な実環境で運航管理システムの地域実証を行うことで、日本各地でレベル4実現に向けた運航管理システムの社会実装に向けた課題の洗い出し、およびその実現に向けた提言を整理した。研究開発の推進イメージを図2.2.1.14-3に示す。

- 研究開発項目①運航管理機能の研究開発：

社会実装に向けて必要となる運航管理機能自体の機能開発や、拡張が予定されている運航管理統合機能等との接続を実施する。



- 研究開発項目②運航管理機能の先行実証：  
レベル 4 のユースケースとしてどのようなものが存在し（What）、なぜそうしたユースケースが必要であるか（Why）を明確にする。これは国民生活や産業振興にとって必要なユースケースに絞って技術開発を行うことを意図している。次に、そうしたユースケースをどのように実現するか（How）を全体アーキテクチャやビジネスモデルの観点から検討し、実際のフィールドで実証する（Try）。
- 研究開発項目③事務局運営：  
事務局は、先行実証の結果をガイドラインとしてとりまとめ、地域実証の円滑な遂行のため活用する他、地域実証に参加する自治体・企業の募集・相談窓口として機能する。地域実証では、全国各地から応募し、採択された多様な自治体・企業が実環境で運航管理システムの社会実装を目指した実証を行う。より多くの環境が異なる地域で What-Why-How-Try のサイクルを回すことで、先行実証では把握できなかった機能や運用面（ビジネスモデル）に関する更なる改善事項を抽出する。
- 研究開発項目④成果とりまとめ：  
先行・地域実証の結果をとりまとめ、本研究内で実証できた運航管理システムの社会実装方法と、残課題を明らかにする。また、それらの成果や残課題を公開することで、法規制整備や社会受容性向上に貢献する。

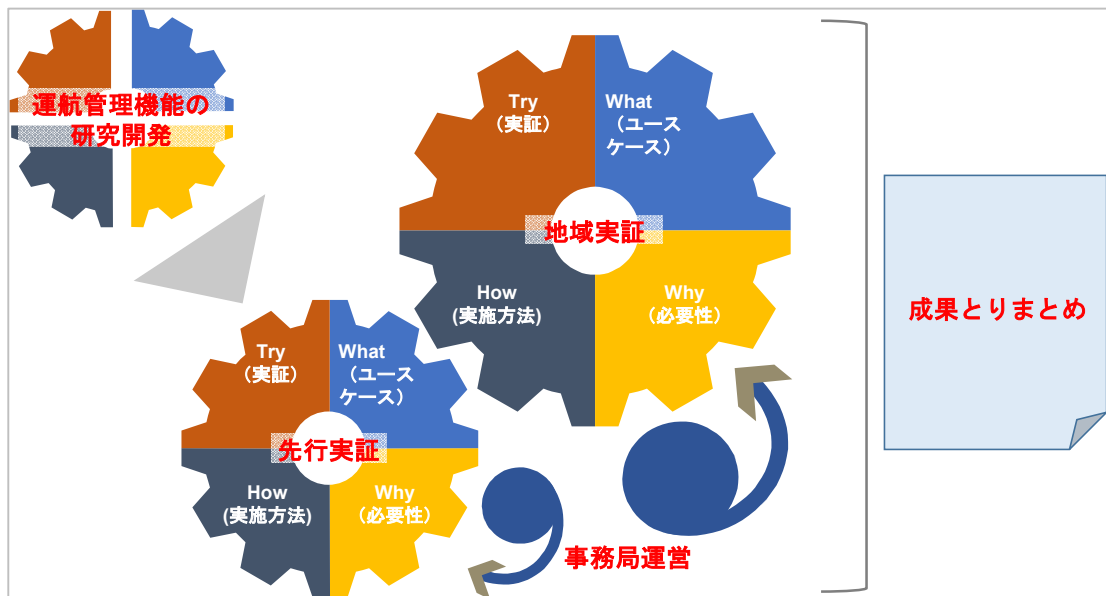


図 2. 2. 1. 14-3 本研究の構成

## (2) 研究開発目標と根拠

### 2.1 運航管理機能の研究開発

2020 年度は、社会実装に向けた接続システムと飛行制御システムを開発し、西日本・東日本・災害の 3 つのコンソーシアムを立ち上げ、先行的に検証を実施する（以下、先行実証）。また、先行実証の結果得られた知見や課題を踏まえ、2021 年度に必要な機能改修を実施し、全国の各地で検証を実施する（以下、地域実証）。有人機システム I/F は、2021 年度の地域実証に向けて開発を行う。運航管理機能の改良については、地域実証の全ユースケースに対し実効的に運航管理が可能となるよう要件の確認と必要な改修を行い、地域実証で検証する。

加えて、地域実証及び最終的な統合実証を通じ、地域実証参加機関を含めた FIMS、UASSP、UASO、SDSP の接続下での運航管理実証等を通じ、運航管理統合機能を検証し、運航管理システム全体としての妥当性を確認する。

表 2.2.1.14-1 運航管理機能の研究開発における研究開発の目標

実証領域	中間目標（2020年度実証目標）	最終目標（2021年度実証目標）
運航管理統合機能の検証	—	<p>目標： 全国の地域実証の参加 UASSP/UASO の接続環境下において、飛行計画の調整・承認等、適切な運航管理を可能とすること。</p> <p>設定理由： 実運用に資するユースケースに対する運航管理統合機能の検証を行うため</p>
接続システムの開発・検証	<p>目標： 兵庫県、仙台市、志摩市の3地域における UASO の接続を可能とすること</p> <p>設定理由： 2021年度の総合的な実証や地域実証（2次公募）に向け、基本的な技術検証や課題抽出を行うため。</p>	<p>目標： 全国の地域実証の参加 UASO の接続を可能とすること。</p> <p>設定理由： 実運用に資するユースケースに対する運航管理システムの実証を行うため</p>
飛行制御システムの開発・検証	<p>目標： 兵庫県、仙台市、志摩市の3地域における UASO の飛行制御を可能とすること</p> <p>設定理由： 2021年度の総合的な実証や地域実証（2次公募）に向け、基本的な技術検証や課題抽出を行うため。</p>	<p>目標： 全国の地域実証の参加 UASO の飛行制御を可能とすること。</p> <p>設定理由： 実運用に資するユースケースに対する運航管理システムの実証を行うため</p>
有人機システム I/F 開発	—	<p>目標： 有人機情報システムとの I/F を開発し、有人機・無人航空機の飛行計画等の調整を可能とすること。</p> <p>設定理由： 実運用に資するユースケースに対する運航管理システムの実証を行うため</p>
運航管理機能の改良	—	<p>目標： 地域実証で扱うユースケースの運航管理要件に対応し、全国の地域実証の参加 UASO の運航管理を可能とすること。</p> <p>設定理由： 実運用に資するユースケースに対する運航管理システムの実証を行うため</p>

## 2.2 運航管理機能の先行実証

先行実証では「西日本のユースケース検証」、「東日本のユースケース検証」、「災害ユースケースの検証」の3つの実証を実施し、最終年度における総合実証や地域実証に向けた基本的な技術検証や、課題抽出を行う。

表 2.2.1.14-2 各ユースケース実証における中間目標および最終目標

実証領域	中間目標（2020年度実証目標）	最終目標（2021年度実証目標）
西日本ユースケース検証	<p>目標： 同一地域にて同時に飛行する2機体以上の運航管理が可能であること。また同一空域における複数事業の機体が干渉回避可能であること。</p> <p>設定理由： 2021年度の総合的な実証や地域実証（2次公募）に向け、基本的な技術検証や課題抽出を行うため。</p>	<p>目標： 複数の地域にて同時に飛行する2機体以上の運航管理が可能であること。また同一空域における複数事業の機体が干渉回避可能であること。</p> <p>設定理由：「西日本のユースケース検証」にて設定した「広域における複数接続状態での運航検証」、「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」に関する検証の為</p>
東日本ユースケース検証	<p>目標： 同一地域にて同時に飛行する2機体以上の運航管理が可能であること</p> <p>設定理由： 2021年度の総合的な実証や地域実証（2次公募）に向け、基本的な技術検証や課題抽出を行うため。</p>	<p>目標： 複数の地域にて同時に飛行する2機体以上の運航管理が可能であること</p> <p>設定理由： 「東日本のユースケース検証」にて設定した「広域における複数接続状態での運航検証」に関する検証の為</p>
運航管理システム	<p>目標： 同一地域にて1-2程度のオペレータ（複数機体）を対象とした災害時ユースケースの運航管理が可能であること。</p> <p>設定理由： 2021年度の総合的な実証や地域実証（2次公募）に向け、基本的な技術検証や課題抽出を行うため。</p>	<p>目標： 同一地域において、複数のオペレータを対象とした、災害時の複数ユースケースの運航管理が可能であること。</p> <p>設定理由： 「災害ユースケースの検証」にて設定した観点を総合的に検証するため。</p>

## 2.3 事務局運営

事務局としては、2020年度中に先行実証結果を踏まえて、地域実証の応募主体に求められる要件、公募スケジュール案等を策定し、公募予告を行うことを目標とする。公募予告を行うことで、自治体・企業が十分な応募準備期間を確保できるようにする。2021年度中には、先行実証の結果を受けて整備するガイドラインを参考に、採択された自治体・企業が全て、地域実証又は統合実証に参加することを目標とし、支援を行う。



表 2. 2. 1. 14-3 事務局運営における中間目標および最終目標

領域	中間目標（2020 年度目標）	最終目標（2021 年度目標）
事務局	<p>目標： 地域実証の公募予告を実施すること。</p> <p>設定理由： 先行実証結果のとりまとめ完了後に公募を行うと、応募準備期間が短くなるため、公募予告を行うことで、十分な準備期間を確保できる様にする。</p>	<p>目標： 採択された自治体・企業が全て、地域実証又は統合実証に参加すること。</p> <p>設定理由： 実証試験に必ずしも習熟していない自治体・企業の支援を行うことが事務局の役割であるため、実証を完了できたことを目標にすることは妥当と考えられる。</p>

#### 2.4 成果とりまとめ

事務局は主に地域実証における成果とりまとめを実施するが、別途、本研究全体として、運航管理機能の研究開発、先行実証、事務局運営、地域実証を通じた成果と課題のとりまとめを実施する。

表 2. 2. 1. 14-4 成果取りまとめにおける中間目標および最終目標

領域	中間目標（2020 年度目標）	最終目標（2021 年度目標）
本研究全体	<p>目標： 本研究全体（運航管理機能の研究開発、先行実証、事務局運営、地域実証）の進捗を明らかにすること。</p> <p>設定理由： 全体の進捗を俯瞰して確認することで、次年度に向けた作業の抜け漏れや、スケジュール上のボトルネックを把握する。</p>	<p>目標： 本研究全体（運航管理機能の研究開発、先行実証、事務局運営、地域実証）の成果・残課題に対する対応策をとりまとめる。</p> <p>例</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 運航管理システムアーキテクチャの在り方</li> <li>• 運航管理システム実装時のビジネスモデル</li> <li>• 運航管理機能の構成・機能・インターフェース</li> <li>• 社会実装に向けた自治体のアクションプラン</li> <li>• 残課題と対応策案（運航管理システム、法規制、社会受容性等）</li> </ul> <p>設定理由： 本研究の成果及び残課題に対する対応策をとりまとめることは、レベル4の実現に向けた取組の過不足を判断する材料となる。</p>



(4) 研究開発の達成状況

4.1 研究開発項目①運航管理機能の研究 (KDD I 株式会社)

① 運航管理統合機能の検証

最終目標	成果	達成度	備考
全国の地域実証の参加 UASSP/UASO の接続環境下において、飛行計画の調整・承認等、適切な運航管理を可能とすること。	全国 13 地域 52 機のドローン同時飛行による運航管理システムの実証を実施し、実運用環境においても NEDO DRESS アーキテクチャによる運航管理が一定程度機能することを実証した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

② 接続システムの開発・検証

最終目標	成果	達成度	備考
全国の地域実証の参加 UASO の接続を可能とすること。	NEDO DRESS アーキテクチャにおける FIMS との動態情報の連携について、複数のパターンの接続方法を実証した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

③ 飛行制御システムの開発・検証

最終目標	成果	達成度	備考
全国の地域実証の参加 UASO の飛行制御を可能とすること。	弊社が開発した LTE に対応した飛行制御システムを活用し、遠隔での制御が可能であることを示した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

④ 有人機システム I/F 開発

最終目標	成果	達成度	備考
有人機情報システムとの I/F を開発し、有人機・無人航空機の飛行計画等の調整を可能とすること。	D-NET と UASSP の接続 I/F を開発し、災害時 UTM を活用した災害時の航空運用調整を実証した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

⑤ 運航管理機能の改良

最終目標	成果	達成度	備考
地域実証で扱うユースケースの運航管理要件に対応し、全国の地域実証の参加 UASO の運航管理を可能とすること。	同一の UASSP 管理下の機体の衝突危険を検知し、UASO にアラートを発報することで調整を促す機能を開発した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.2 研究開発項目②運航管理機能の先行実証

(1) ① 西日本ユースケース検証 (KDD I 株式会社)

最終目標	成果	達成度	備考
複数の地域にて同時に飛行する 2 機体以上の運航管理が可能であること。また同	兵庫県内における洲本市、姫路市、上郡町にて計 5 機の運航管理が可能であることを確認。また警備・点検実証においては複数機体におけ	○	

一空域における複数事業の機体が干渉回避可能であること。	る接近から回避の検証を完遂。		
-----------------------------	----------------	--	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(2). ② 東日本ユースケース検証 (パーソルプロセス&テクノロジー株式会社)

最終目標	成果	達成度	備考
複数の地域にて同時に飛行する2機体以上の運航管理が可能であること。また同一空域における複数事業の機体が干渉回避可能であること。	複数地域で同時飛行する3機以上でフライトができることを確認した。また、近接アラート検証(高度25mと高度30mで飛行)を実施した。警備・物流・点検実証においては複数機体における接近から回避の検証を完遂した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(3). ③ 災害時ユースケース検証 (KDDI株式会社)

最終目標	成果	達成度	備考
同一地域において、複数のオペレータを対象とした、災害時の複数ユースケースの運航管理が可能であること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発災直後と発災後数時間経過後の2時期を中心にシナリオや体制を検証、その結果を踏まえて平時の準備を含むガイドラインを策定した。</li> <li>・ヘリコプターとの運航調整、ドローン同士の運航調整を含むドローン利用プロセスを検討した上で実証を実施した。</li> <li>・複数ミッションのUASOに対する運航管理を実証した。</li> <li>・シミュレータを含め、4-5機のドローンに対する運航管理を実証した。</li> </ul>	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

4.3 研究開発項目③事務局運営 (パーソルプロセス&テクノロジー株式会社)

最終目標	成果	達成度	備考
採択された自治体・企業が全て、地域実証又は統合実証に参加すること。社会実装に必要な要素を整理したガイドラインを策定・公開すること。	<p>無人航空機の活用が想定される運航管理システムに接続した実証事業として、3地域の先行実証と、全国を対象とした公募により採択された10地域のコンソーシアムによる地域実証を実施した。</p> <p>運航管理システムの開発においては、開発したシステムを用い、各ユースケースにおいて運航管理システムが有効に機能することを確認した。実証後は、運航管理システムを用いた持続可能な無人航空機運航ビジネスのあり方を検討し、社会実装に必要な要素を整理し、「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」として取りまとめた資料を一般公開した。</p> <p>また、ドローンを用いた災害対応のあり方を示し、自治体・企業による災害対応へのドローン活用の拡大に繋げることを目的とした「災害時</p>	○	

	におけるドローン活用ガイドライン」も併せて一般公開した。		
--	------------------------------	--	--

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

#### 4.4 研究開発項目④成果とりまとめ

(KDDI株式会社。パーソルプロセス&テクノロジー株式会社)

最終目標	成果	達成度	備考
本研究全体（運航管理機能の研究開発、先行実証、事務局運営、地域実証）の成果・残課題に対する対応策をとりまとめる。	実証実験の結果に基づき、運航管理システムによって実現されると考えられる、レベル4環境下のドローン利用によるビジネスモデルのあり方を示し、社会認知を広げることを目的とした資料を一般公開した。また、ドローンを用いた災害対応のあり方を示し、自治体・企業による災害対応へのドローン活用の拡大に繋げることを目的としたガイドラインを一般公開した。	○	

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(5) 成果と意義

5.1. 研究開発項目①運航管理機能の研究

(4).5.1.1 運航管理統合機能の検証 (KDDI 株式会社)

本研究開発で検証対象とした運航管理機能を表 2.2.1.14-5 に示す。また、図 2.2.1.14-6 に検証対象とする運航管理システム (KDDI UASSP) の概要を示す。

表 2.2.1.14-5 検証対象の運航管理機能

機能区分	業務概要	機能名	概要
登録・認証機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>機体認証制度への対応</li> <li>操縦者・運航管理者資格制度への対応</li> <li>機体およびその所有者情報の登録義務化</li> </ul>	認証	UTMシステムへのログイン、UTM機能利用のための認証
		組織管理	UTM利用単位としての組織。システム管理者にて登録
		ユーザー管理	組織内ユーザー。運航時には操縦者として実施主体となる
		機体管理	組織内無人航空機の機体登録情報。遠隔識別番号付与の対象
		機体マスタ情報管理	機体型式、諸元等の静的データの管理
計画・飛行承認機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>携帯電波等の上空利用申請のUTM連携(実用局)</li> <li>飛行許可のための電子申請サービスの連携(DIPS・FISS)</li> <li>低高度を飛行する有人航空機と無人航空機との時間的・空間的セパレーションの確保</li> <li>異なる事業者間での運航調整環境の整備(Inter USS)</li> </ul>	運航計画管理	運航計画は運航範囲、飛行経路等の情報を含む
		飛行申請状況管理	運航者の個々の飛行申請に対する承認状況を管理
		空域管理	システム管理者および一部組織による飛行制限空域の管理
		干渉回避	運航計画間での干渉発生時に回避案の提示等により解消を図る
		運航計画公開	飛行許可承認済み運航計画を関係者に対して周知
追跡・運航実施機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔識別番号の発信義務化への対応(Remote ID連携)</li> <li>操縦者が利用する運航アプリケーションとUTMとの連携(FOS連携)</li> <li>リルーティング・ダイバート等の衝突回避システムの実現(Detect And Avoid)</li> <li>地上局を前提とした人為的運用の自動化(脱GCS)</li> <li>第三者上空飛行時の運航者義務の履行徹底</li> </ul>	衝突回避	飛行中機体の軌道上の衝突危険性予測およびその回避
		運航監視	注目範囲の運航の監視、異常検知
		空域監視	空域内の運航に関する様々な状況変化の監視
		緊急回避指示	例としてヘリコプター接近時のRQコマンド受信時の対応が該当する
監視・検知機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>運航中の状況認識支援(Situational Awareness)</li> <li>法令遵守および公共安全への配慮の意識付け(Conformance Monitoring)</li> <li>異常検知時の速やかな原因特定と周囲への注意喚起(Anomaly Detection)</li> <li>非協調的な飛翔体検知および対策(カウンタードローン)</li> <li>外乱環境の急激な変化の検知(非ノミナル運航)</li> </ul>	緊急回避指示	例としてヘリコプター接近時のRQコマンド受信時の対応が該当する
		ログ保存	運航ログの蓄積および将来的な分析供与のための可視化
緊急対応機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>災害発生時等の無人・有人機連携の可能性</li> <li>空中衝突発生時の副次的災害の抑止(NMAC)</li> <li>墜落時の落下分散を考慮した運航制限</li> <li>悪意のある第三者による乗っ取りへの対策(サイバーセキュリティ)</li> </ul>	飛行実績報告	飛行申請内容に則した運航を実施したことを当局に報告
		飛行実績報告	飛行申請内容に則した運航を実施したことを当局に報告
分析・報告機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>運航ログの分析によるリスク評価および保険料率設定</li> <li>操縦者および機体の傾向分析および運航者へのフィードバック</li> <li>干渉判定、衝突検知のための最適な閾値の探索</li> <li>通常運航および事故発生時の当局への報告義務の徹底</li> </ul>		



図 2.2.1.14-6 運航管理システム (KDDI UASSP) の概要

後述の5.1.2. ~5.1.5. の開発事項を踏まえ、表2.2.1.14-5に示した運航管理機能を先行実証及び地域実証の各試験を通じて検証した。

東日本(平時)、西日本(平時)、災害時を対象とした2020年度の先行実証では、FIMS-UASSP-SDSP-UASOの基本的な接続を検証すると共に、平時と災害時の複数ユースケースに対する堅牢性を確認し

た。また、異なる 3 地域での同時実証を行い、同時運用への堅牢性を確認した。2021 年度に実施した地域実証 10 地域及び先行実証 3 地域の実証では、運航管理システムの全国規模への拡張性を確認した。さらに、2021 年 10 月 27 日には図 2.2.1.14-7 に示す 13 地域・52 機体を同時に運航させる実証を行い、多数地域同時運用への堅牢性を確認するとともに、各地で飛行するドローンの運航状況を一元的に管理し、実際のオペレーションにおける課題の抽出を行った。

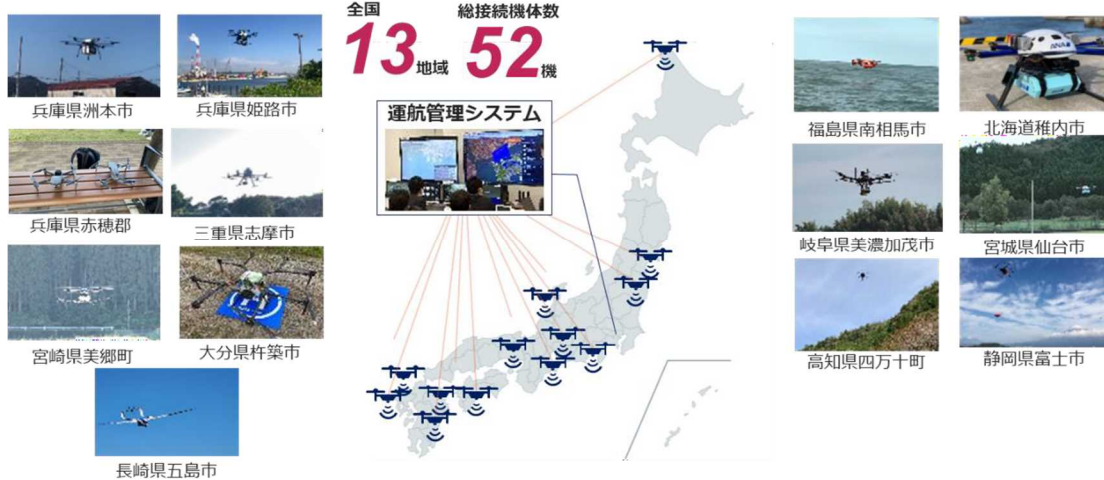


図 2.2.1.14-7 全国同時実証

(5).5.1.2 接続システムの開発・検証 (KDDI 株式会社)

本研究開発において検証した UASO の接続形態を図 2.2.1.14-8 に示す。UASO から UASSP・FIMS への接続パターンとしては、KDDI UASSP に接続する場合 (UASO①)、他社 UASSP に接続する場合 (UASO②)、FIMS に直接接続する場合 (UASO③) の 3 通りに大きく分類される。

UASSP と UASO の接続形態については、3 通り (KDDI UASSP への接続として UASO① a~c を記載) を検証した。UASO①a は、KDDI、つまり UASSP が独自に提供する飛行制御システム FOS を介して接続する場合、UASO①b は、UASO が独自に用意した GCS (飛行制御システムを含む) を介して接続する場合、UASO①c は、ドローンに搭載されるリモート ID 情報のみが共有される場合 (動態情報のみが共有)、である。本研究開発では、この 3 通りの接続方法に対応した I/F を開発した。このうち、GCS を介した接続については、2 種類の GCS に対応した I/F を開発した。

なお、他社 UASSP については 4 種類 (シミュレータ 1 種類を含む) に対応した。

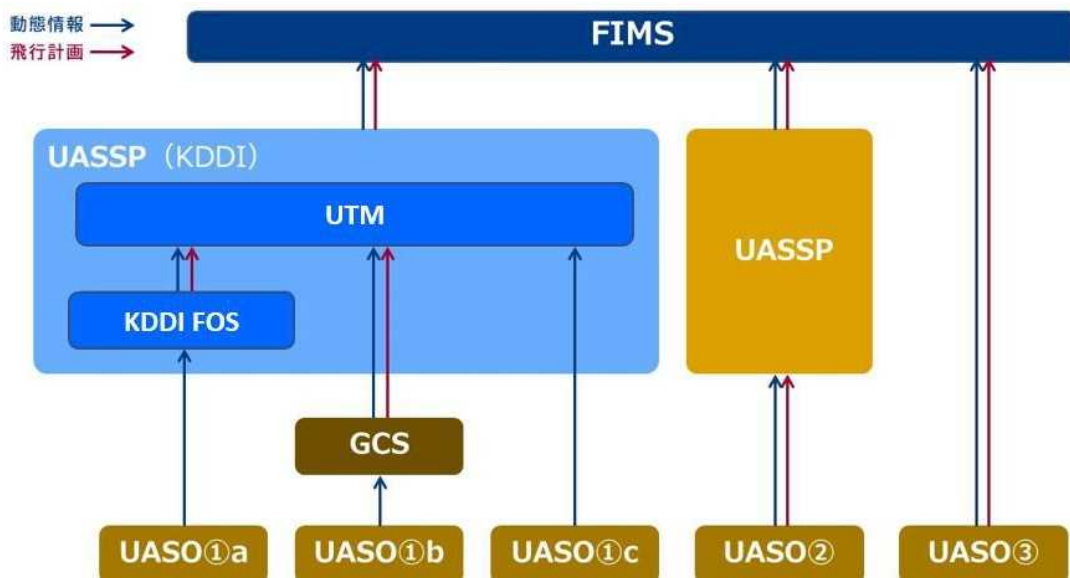


図 2.2.1.14-8 UASO の接続形態



実証試験の結果、全ての接続形態について、計画どおり飛行計画や動態情報の共有が確認できた。これにより、一つの UASSP の立場から想定されるほぼ全ての UASO の接続形態に対する同時運航管理が可能であることを確認できた。

#### (6). 5. 1. 3 飛行制御システムの開発・検証 (KDDI 株式会社)

本研究開発では、複数の UASO が運用するドローンの飛行制御システム (FOS: Flight Operation System) について、多数のオペレータ、多数の機体接続に対応可能なシステムを開発した。

FOS は、UASSP のサブシステムとして開発し、主に以下のような機能を具備することで、UASO による標準化された効率的なドローン運用をサポートする。

- 飛行計画の作成・申請
- 飛行指示
- 動態・テレメトリ情報の処理・表示
- 注意喚起情報の処理・表示
- 機体カメラ情報の処理・表示
- 操作介入 等

特に、一つの UASO による複数機ドローンの運用をサポートする。

本研究開発では、複数機種、多数機の FOS 接続に対応するため、機体搭載用 SDK を開発し、FOS 利用の希望者の機体に具備した上で実証試験を行った。図 2. 2. 1. 14-9 に各機体の FOS への接続イメージを示す。実証試験では、FOS を用いて、10 の UASO による 6 種 14 機のドローンの同時飛行制御を実現することができた。

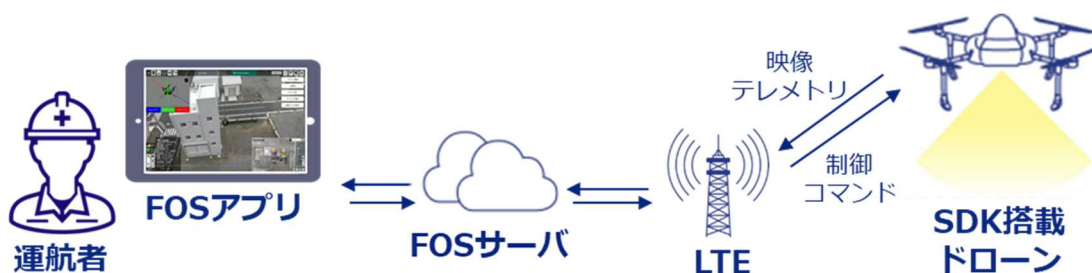


図 2. 2. 1. 14-9 各ドローンの FOS への接続イメージ

#### (7). 5. 1. 4 有人機システム I/F 開発 (KDDI 株式会社)

既存の有人機情報システムとして、株式会社ウェザーニューズが開発・運用する Foster-Copilot と、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) で研究開発が行われ、その成果の民間への転用が進められつつある災害救援航空機情報共有ネットワーク (D-NET) がある。

本研究開発では、Foster-Copilot 及び D-NET と KDDI UASSP との接続に対応した I/F 開発を行った。

図 2. 2. 1. 14-10 に、Foster-Copilot 及び D-NET と KDDI UASSP との接続に関して、災害ユースケース検証において検討・構築したシステムアーキテクチャを示す。KDDI UASSP 中の UTM と Foster-Copilot を接続し有人機の動態情報と飛行計画を UTM に共有、またドローンの動態情報を Foster-Copilot に共有する I/F を開発した。加えて、D-NET の有人機情報 (動態情報のみ) については Foster-Copilot のサーバを介して UTM に接続する I/F を開発した。これにより、Foster-Copilot に接続されるドクターヘリや民間ヘリ等、D-NET に接続される消防防災ヘリ等の双方の有人機情報に接続し、ドローンの運航管理に活用するための仕組みを構築できた。

実証試験では、三重県志摩市における災害ユースケース検証の一環で、シミュレータを用いて Foster-Copilot に接続されたヘリコプターと D-NET に接続されたヘリコプターの情報をドローンの運航管理に活用する検証を実施した。また、岐阜県美濃加茂市における物資輸送の検証の一環で、Foster-Copilot を搭載したヘリコプターの実機を用いた試験を実施した。双方とも、ドローン運航管理において、有人機情報共有の有効性が確認できた。

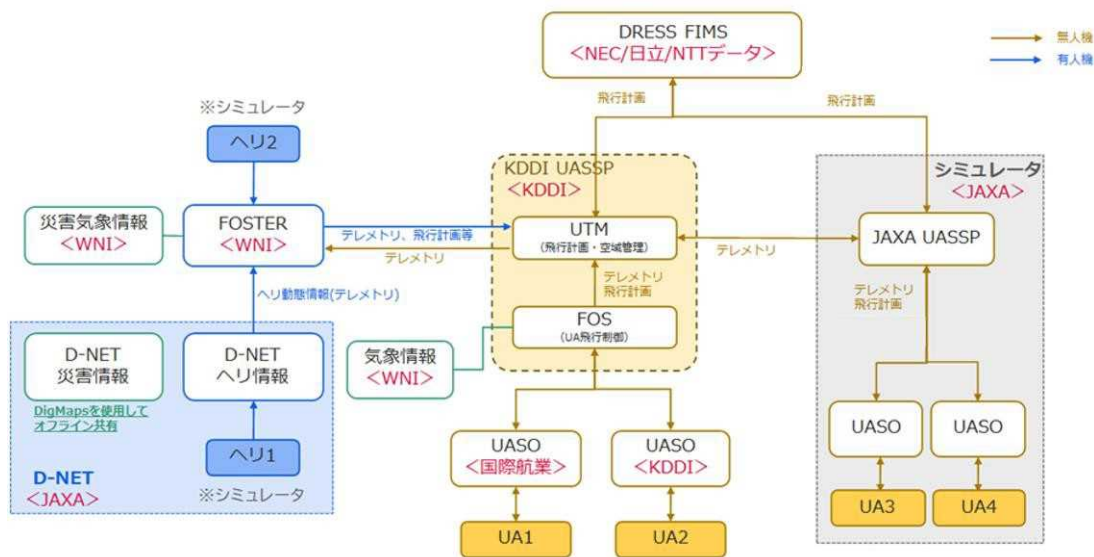


図 2. 2. 1. 14-10 災害ユースケース検証のシステムアーキテクチャ

(8). 5. 1. 5 運航管理機能の改良 (KDDI 株式会社)

本研究開発では、多岐に渡る用途のドローンを接続し運航管理の検証を行った。対象とした用途と飛行経路の特徴を表 2. 2. 1. 14-6 に示す。

表 2. 2. 1. 14-6 ユースケースに対応した飛行経路の特徴

ユースケース		飛行経路の特徴
平時	物資輸送 (物流)	配送元・配送先間の線的な飛行
	警備	警備対象エリア内の面的な飛行
	測量	測量対象エリア内の面的な飛行
	農業	観測・散布対象エリア内の面的な飛行
	空撮	撮影対象エリア内の面的な飛行
	点検	点検対象に沿った面的な飛行 (発電設備等)、線的な飛行 (橋梁等)
災害時	被害状況把握・捜索	対象エリア内の面的な飛行
	点検	点検対象に沿った面的な飛行 (港湾等)、線的な飛行 (堤防等)
	物資輸送	配送元・配送先間の線的な飛行

実証試験では、各ユースケースに対し、複数の UASO による飛行計画が検討された。これらの飛行計画が滞りなく実現できるよう運航管理機能の改良を実施した。

具体的には、以下のような機能改良を行った。

- 線的な運航と面的な運航について、時間差や高度差を考慮したコンフリクト判定、衝突回避判定のパラメータを改良し、ミッションの継続性向上を図った。
- 飛行計画に対する割当て空域の形状 (飛行経路に沿ったチューブ状、飛行エリアに対する円柱等) を検討し、ドローン運航と空域管理の効率性向上を図った。
- ユースケースに対応した段階的な優先度設定に基づくプリフライト干渉、インフライト干渉の回避ルールを実装すると共に、ユーザ登録・管理機能を実装した。
- ユースケースに応じた、コンフリクト発生時の回避方法 (ホバリング停止、離陸地点への帰

還、退避地点への退避)を検討した。

## 5.2. 研究開発項目②運航管理機能の先行実証

### (9).5.2.1. 西日本ユースケース検証 (KDDI 株式会社)

#### (1) 研究開発の目標

西日本コンソーシアムの検証としては、過去に福島ロボットテストフィールドにて様々な目的を持ったドローンによる空域を区切った形での飛行検証は実施済であるが、本実証では、実環境における飛行の実証を目的とする。課題及び到達目標を図 2.2.1.14-11 に示す。実運用環境を想定して同一空域にて様々な用途を持った機体が同時に運航可能であること(課題①)、複数のドローン飛行並びに飛行ルート重複時の運航が可能であること(課題②)、広域における複数の機体を運航管理できること(課題③)、地域に対するドローン事業のビジネスの設定(課題④)の4点検証することを2か年の目的として実証を行う。

西日本コンソーシアム課題		先行実証到達目標	
		定義	
発展要素 レベル感調整	<b>課題④ ドローンの地域実証検証</b> ● 地域に対するドローン事業の継続性の観点は未検証	地域に対してヒアリングや実証内容の検証を行い、ビジネスモデルとしての継続性を確認	令和3年度の実証にて検証
基本要素 優先度中	<b>課題③ 広域での複数接続状態での運航検証</b> ● 単体のドローンが運航管理システムへの接続実証は実施済。多様な目的を持つドローンが広域で複数接続した際の検証が未実施	複数用途のドローンが同時に運航管理システムに接続し、広域にて同時に運航が可能であることを検証する	令和2,3年度の実証にて検証
基本要素 優先度高	<b>課題② 同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証</b> ● 単機のドローンに対する障害物等への回避行動は検証済みであるが、同一空域かつ飛行ルートの一時的な交差等が実施した場合は未実施	同一空域にて様々な用途を持った機体が同時にかつ飛行ルートの交差等が発生する状況の検証を実施する	令和2年度の実証にて検証
基本要素 優先度高	<b>課題① 同一空域における複数機体による運航検証</b> ● 単機のドローンに対する障害物等への回避行動は検証済みであるが、多様な目的を持った同一空域での運用が未実施	同一空域にて様々な用途を持った機体が同時に運航が可能であることを検証する。	令和2年度の実証にて検証

図 2.2.1.14-11 西日本コンソーシアムの課題及び到達目標

#### (2) 西日本コンソーシアムの体制

西日本コンソーシアムの体制は図 2.2.1.14-12 のとおり。

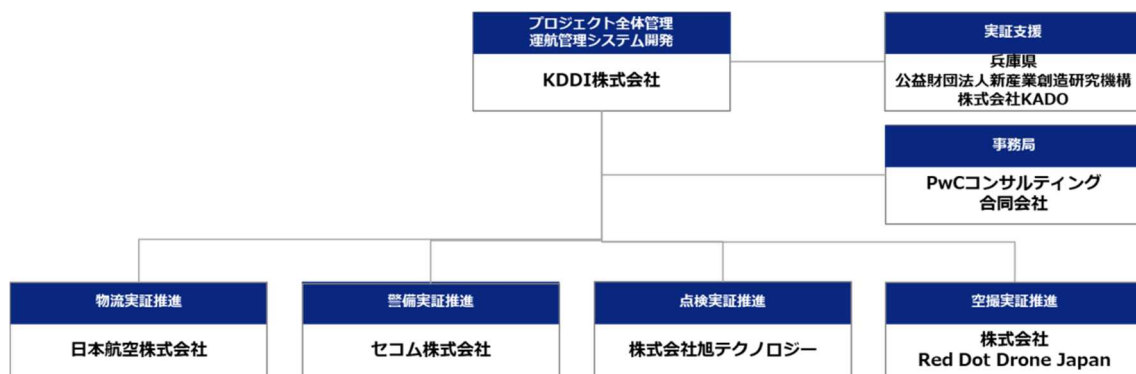


図 2.2.1.14-12 西日本コンソーシアム体制

- プロジェクト全体管理、運航管理システム開発 KDDI 株式会社
- 物流領域 日本航空株式会社
- 警備領域 セコム株式会社
- 点検領域 株式会社旭テクノロジー
- 空撮領域 株式会社RedDotDrone Japan
- 実証支援 株式会社KADO、兵庫県、公益財団法人新産業創造研究機構
- 事務局 PwC コンサルティング合同会社

### 5.2.1.1 2020 年度実証成果詳細

#### (1) 2020 年度実証

本項目では西日本コンソーシアムにて実施を行った 2020 年度の実証における実施概要並びに実施結果や実証後確認した課題について記載を行う。

#### (2) 実施目標

2020 年度においては課題①同一空域における複数機体による運航検証、課題②同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証並びに課題③広域での複数接続状態での運航検証を実施目標と設定。

#### (3) 検証計画

実証においては「UTM 機能検証」と「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」の観点から実証を実施。左記 2 点から実証を行い、UTM の利用における問題点並びに課題の洗い出しを実施する。

##### ① UTM 機能検証

UTM 機能検証では UTM に具備されている機能の検証を実施する。UTM に具備を想定している機能並びに本実証にて検証を行う機能の関係については表 2.2.1.14-7 のとおり。なお、アラート監視機能については別検証項目である「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」にて確認を実施。

表 2.2.1.14-7 UTM 機能及び検証対象

カテゴリ	機能の名称	概要	開発済機能	実証計画 (西日本コンソ)
登録および 認証機能	認証	UTMシステムへのログイン、UTM機能利用のための認証	○	
	組織管理	UTM利用単位としての組織。システム管理者にて登録	○	
	ユーザー管理	組織内ユーザー。運航時には操縦者として実施主体となる	○	
	機体管理	組織内無人航空機の機体登録情報。遠隔識別番号付与の対象	○	
	機体マスタ情報管理	機体型式、諸元等の静的データの管理	○	
計画および 飛行承認機能	運航計画管理	運航計画は運航範囲、飛行経路等の情報を含む		
	運航計画干渉回避	運航計画間での干渉発生時に回避案の提示等により解消を図る	○	
	飛行申請状況管理	運航者の個々の飛行申請に対する承認状況を管理	○	
追跡および 運航実施機能	運航計画公開	飛行許可承認済み運航計画を関係者に対して周知	○	
	衝突回避	飛行中機体の軌道上の衝突危険性予測およびその回避		
	運航計画監視	注目範囲の運航の監視、異常検知	○	○
監視および 検知機能	動感監視	全機体や特定空域、運行内の機体監視を行う	○	○
	アラート監視	全アラートを監視、特定の機体のアラートを監視を行う	○	○
	空域監視	空域内の運航に関する様々な状況変化の監視	○	○
緊急対応機能	緊急指示	例としてヘリコプター接近時のRQコマンド受信時の対応が該当する		
	他運航者調整	他運航者とのセパレーション閾値の設定や回避、危険性の通知等を行う		
	有人機調整	有人機とのセパレーション閾値の設定や回避、危険性の通知等を行う		
分析および 報告機能	運航ログ分析	運航ログの番橋および将来的な分析供与のための可視化		
	運航実施結果報告	飛行申請内容に則した運航を実施したことを当局に報告		

本年度については主に無人航空機を対象とした動態管理並びにアラート監視を中心に検証を計画。

##### ② 同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証

同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証では物流並びに警備ドローンにて緊急時における輻輳を実施。警備事業者のドローンに物流事業者のドローンが接近することで UTM より接近時のアラートが発報されることを確認。アラートを受けて物流事業者は UTM にて高度の離隔が十分にある事を確認し、回避行動等を実施せず運航を継続。

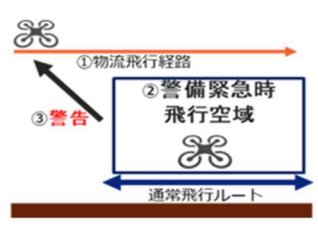
検証項目	検証内容	検証方法
同一空域かつ 複雑な複数機 体の運航検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>実フィールド内にて異なる事業者のドローンを近接させる事で運航管理システムからアラートが発報される。その際の運航対応等について検証を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>物流ドローンが予定された飛行ルートに従って飛行を実施</li> <li>警備ドローンは物流ドローンと接近する位置にて警備業務を実施</li> <li>物流ドローンは運航管理システムから接近時のアラートを受領し警備ドローンを認知</li> <li>高度の離隔を確認し、運航を継続</li> </ul> 

図 2.2.1.14-13 同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証



(4) 実行計画

① 実行計画全体概要

「同一空域における複数機体での運航検証」を実現する為、兵庫県の播磨科学公園都市にて物流、警備、点検、空撮について各ユースケース同時に飛行を実施した。各領域におけるユースケース概要は以下のとおり。

播磨科学公園都市飛行ルート全体概要



ユースケース一覧

領域	ユースケース	離発着地点	飛行ルート
物流	遠隔服薬指導後の医薬品配送	・離陸 兵庫県立西播磨総合リハビリテーションセンター芝生広場 ・着陸 光都プラザ	兵庫県立西播磨総合リハビリテーションセンター芝生広場→光都プラザ
警備	町の巡回警備・不審者発見	・離着陸 県民局横企業庁敷地内	西播磨県民局周辺
点検	太陽光発電所における太陽光パネルの点検	・離着陸： 太陽光発電所周辺企業庁敷地	播磨科学公園都市太陽光第一発電所
空撮	サッカーにおける戦術支援等の空撮	・離着陸 タイセル播磨光都 第1、2サッカー場	タイセル播磨光都 第1、2サッカー場

図 2. 2. 1. 14-14 実行計画全体概要  
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

また本実証のシステム全体像は図 2. 2. 1. 14-15 のとおり。UASSP の UTM へ直接接続を実施する事業者並びに KDDI 製の飛行制御システム (FOS) を介して接続する 2 種類の接続方式を用意。

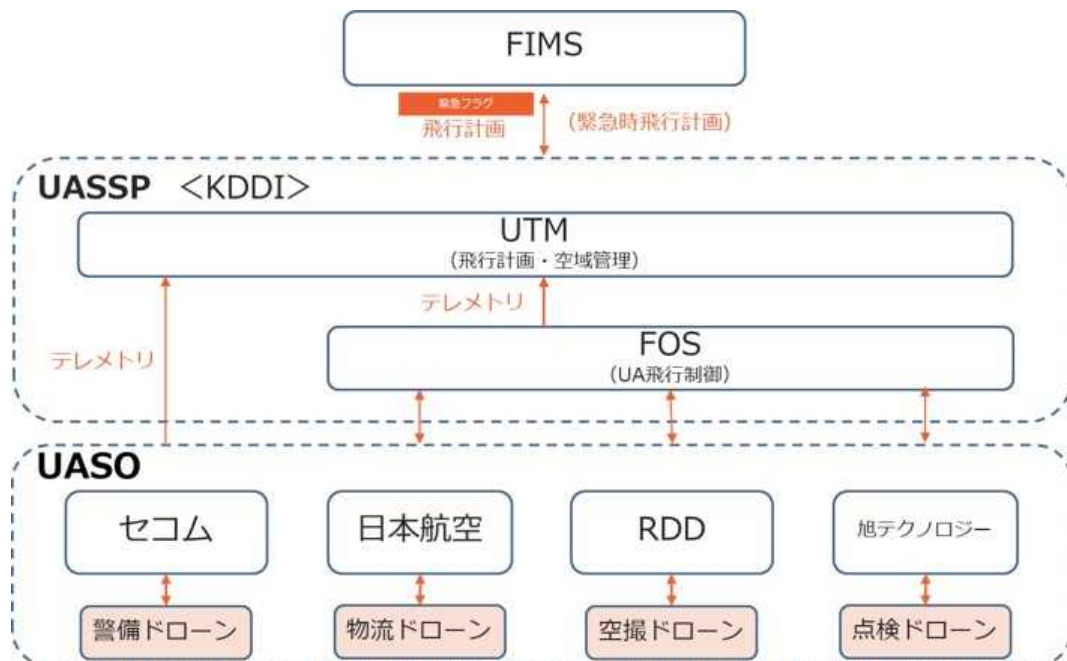


図 2. 2. 1. 14-15 本実証のシステム全体像

② 各領域実行計画

各領域における試験の概要は以下のとおり。

● 物流領域

将来的なドローンの実運用環境を想定し、リハビリテーション西播磨病院から光都プラザまで自律飛行による医薬品、及び輸血用血液製剤医療品の輸送を想定し、地域の課題に沿ったドローン物流の事業構築を実施。また警備・点検等ユースケースと同一空域における複数機体による複雑な運航を実施することで、より社会実装に近い形式での UTM の機能検証を実施。



図 2. 2. 1. 14-16 物流領域飛行ルート  
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

● 警備領域

将来的なドローンの実運用環境を想定し、西播磨県民局建屋周囲の巡回警備飛行、及び飛行中に不審者発見→追従→帰還までの一連の警備シナリオを策定し、実証を実施。不審者を発見し追従することで、あらかじめ設定した巡回警備飛行経路から逸脱する際に、他のユースケース（物流）で飛行するドローンの経路と輻輳させ、衝突回避に必要な機能検証を実施。



図 2. 2. 1. 14-17 警備領域飛行ルート  
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成



- 点検領域

設定されたルートに沿って自動航行を行い、対象物である太陽光パネルの撮影を実施し、自動帰還するまでを実施。

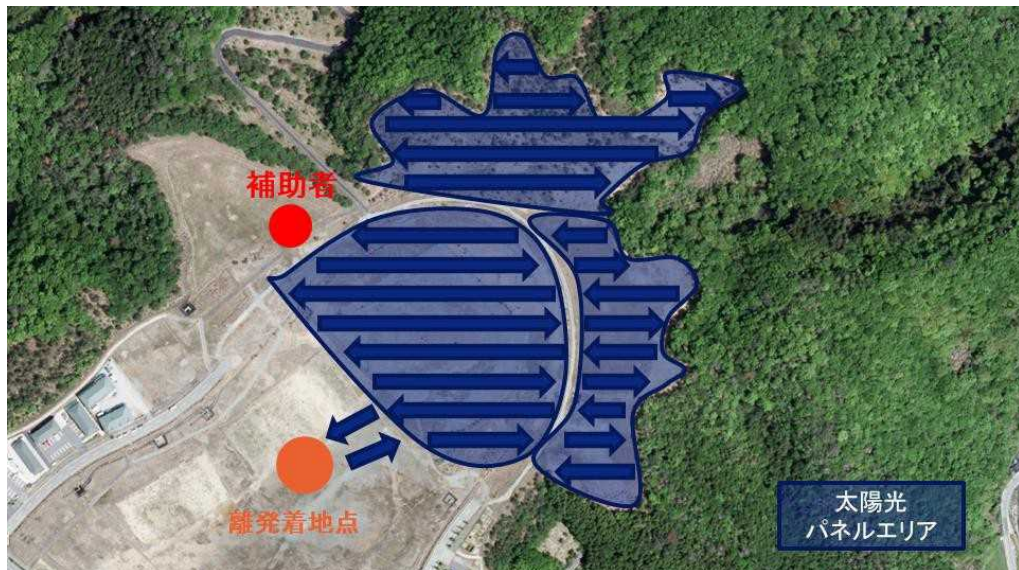


図 2. 2. 1. 14-18 点検領域飛行ルート  
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

- 空撮領域

播磨科学公園都市のダイセル播磨光都サッカー場にてサッカーチームの戦術解析用のプレイ映像取得を空撮にて実施。サッカー場周辺の高台から離陸し、サッカーコート横を経由しサッカー場内の飛行を実施。



図 2. 2. 1. 14-19 空撮領域飛行ルート  
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成



● 同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証

今年度の取り組みでは「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」として物流並びに警備ドローンにて以下の空域干渉検証を実施。実際の輻輳における飛行ルートについては以下図 2.2.1.14-20 のとおり。

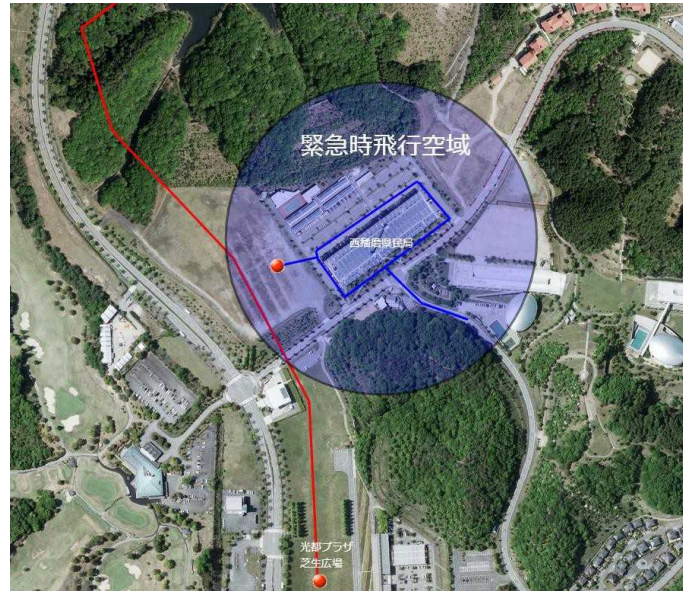


図 2.2.1.14-20 複数機体運航検証  
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

③ 対外調整概要

本実証においては播磨科学公園都市利用にあたり関係各社との調整を実施。関係各所への繋ぎは兵庫県産業労働部、兵庫県企業庁、公益財団法人新産業創造研究機構のサポートを受け実施。

表 2.2.1.14-8 調整先並びに調整概要一覧

調整領域	調整先	調整事項	
航空局申請	大阪航空局	飛行ルートや機体情報等の申請	
共通項目	兵庫県企業庁播磨科学公園都市まちづくり事務所	実証計画、安全対策の説明、調整地域イベント等有無の確認、調整現地申請等の調整	
	播磨高原広域事務組合		
	たつの市企画課		
	佐用町企画防災課		
	上郡町企画政策課		
	相生警察署		
	たつの警察署		
	西播磨消防組合 たつの消防署光都分署		ドクターヘリ等の対応方針の調整
	周辺自治会長		チラシの郵便等による近隣住民、企業への周知
地域企業/住民			

道路管理	西播磨県民局光都土木事務所	道路上空の飛行許可、工事等の有無の確認
	たつの市役所建設課	
	上郡町建設課	
物流	兵庫県立リハビリテーション西播磨病院	実証計画、安全対策の説明、実証当日の運用に関する確認
警備	西播磨県民局総務企画室	
点検	兵庫県企業庁水道課	
	兵庫県企業庁姫路利水事務所	
空撮	西播磨サッカー協会（ダイセル播磨光都サッカー場）	

● 調整コスト試算結果

本実証においては播磨科学公園都市にて実証を行う上で必要とした関係各所との調整コストについて試算を実施。結果を調整コスト試算結果に示す。

- ヒアリングの結果、1月～2月の2カ月の間に発生した事前調整コストの概算は約202時間程度（ただし現地視察の時間は除く）。
- 調整コストの内約85%が現地関係者との調整。ユースケース別では飛行ルートが広範囲に及ぶ警備、物流領域の工数が大きい。
- 播磨科学公園都市は県保有の敷地が大部分を占める現状で上記工数の為、レベル3、4を前提とした別地域での実証では飛行申請、私有地の調整等含め大幅な工数増加が想定される。

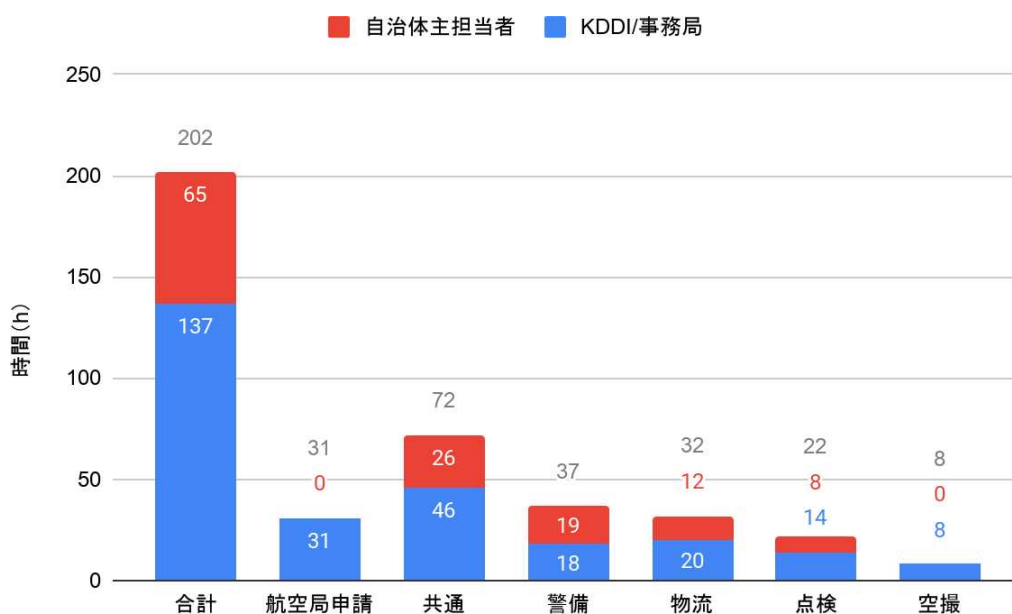


図 2.2.1.14-21 調整コスト試算結果

(5) 実証結果

① 実証結果全体概要

播磨科学公園都市内にて、物流・警備・点検・空撮の各領域で計 4 機ドローンの運航管理が可能であることを実証。また、兵庫県播磨科学公園都市（たつの市、上郡町）、三重県志摩市、宮城県仙台市の 3 エリアにて、複数機体を同時に飛行し、広域かつリアルタイムでのドローンの運航管理が可能であることを実証。



図 2.2.1.14-22 UTM 画面

② 各領域実証結果

● 物流

特定の 2 拠点間において自律飛行を行うドローンにより物資を輸送することが可能であることを実証。



図 2.2.1.14-23 物流領域の実証現場と FOS 画面

● 警備

特定の地域にて警備シナリオを策定し、そのシナリオに沿って自律飛行を行うドローンが警備飛行を遂行可能であることを実証。



図 2.2.1.14-24 警備領域の実証風景・点検



特定の施設における自律飛行と手動操縦を組み合わせた点検行為が遂行可能であることを実証。

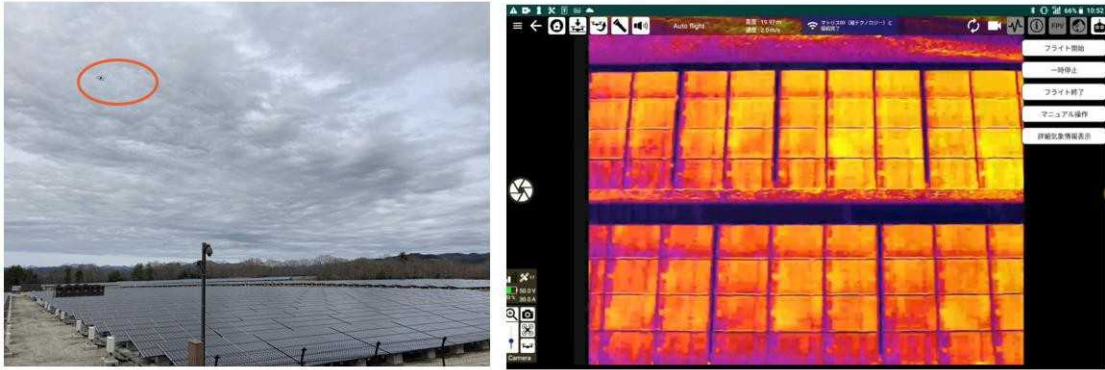


図 2.2.1.14-25 点検領域の実証現場と FOS 画面・空撮

特定のスポーツ施設周辺にて飛行し、ドローンを活用し映像取得並びにその解析が可能であることを実証。



図 2.2.1.14-26 空撮領域の実証現場と FOS 画面

## (6) 実証評価

本実証にて設定を行った西日本コンソーシアムにおける目標並びに UTM 機能検証、同一空域における複数機体での運航検証について評価を行う。

### ① 西日本コンソーシアム目標評価

課題①「同一空域における複数機体での運航検証」は、播磨科学公園都市内の同一空域にて複数機体での運航にて検証を実施し、目標を達成したと評価する。また課題③の「広域における複数接続状態での運航検証」についても、他先行実証コンソーシアムである三重県志摩市、宮城県仙台市を含む広域エリアにて同時に検証を実施し、目的を達成。

一方で、課題②「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」については、物流並びに警備の実証にて機体接近時のアラート検証を実施し、アラート発生による有用性を確認。ただし、次年度以降の課題としてより実運用に近い実証、例えば接近時の回避検証等、今後継続して検証が必要である。また、課題④の「ドローンの地域実装検証」については、今回の実証では実証フィールドありきで検証を実施したため、次年度にて更なるビジネスモデルを考慮した検証が必要である。

西日本コンソーシアム課題		R2年度先行実証到達状況	
		定義	到達度
発展要素 レベル感調整  基本要素 優先度高  基本要素 優先度高  基本要素 優先度高	<b>課題④ ドローンの地域実証検証</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>地域に対するドローン事業の継続性の観点は未検証</li> </ul>	地域に対してヒアリングや実証内容の検証を行い、ビジネスモデルとしての継続性を確認	△ 先行実証は調整期間短く、実証フィールド前提で決定したため、ビジネスモデルの構築に難あり
	<b>課題③ 広域での複数接続状態での運航検証</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>単体のドローンが運航管理システムへの接続実証は実施済。多様な目的を持つドローンが広域で複数接続した際の検証が未実施</li> </ul>	複数用途のドローンが同時に運航管理システムに接続し、広域にて同時に運航が可能である事を検証する	○ 他コンソと同一の日程で仙台、志摩、兵庫の三か所で運航管理が可能である事を確認。
	<b>課題② 同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>単機のドローンに対する障害物等への回避行動は検証済みであるが、同一空域かつ飛行ルートの一時的な交差等が実施した場合は未実施</li> </ul>	同一空域にて様々な用途を持った機体がかつ飛行ルートの交差等が発生する状況の検証を実施する	△ 物流、警備にて機体近接時のアラート監視の検証を実施済。より実運用に近い実証は次年度以降に実施が必要。
	<b>課題① 同一空域における複数機体による運航検証</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>単機のドローンに対する障害物等への回避行動は検証済みであるが、多様な目的を持った同一空域での運用が未実施</li> </ul>	同一空域にて様々な用途を持った機体が同時に運航が可能である事を検証する。	○ 播磨科学公園都市内の同一空域にて複数機体での運航管理が可能である事を確認。

図 2. 2. 1. 14-27 西日本コンソーシアムの課題及び 2020 年度到達目標

② UTM 機能検証評価

UTM の機能検証として「運航計画監視」、「動態監視」、「空域監視」のそれぞれが実現可能であることを確認。

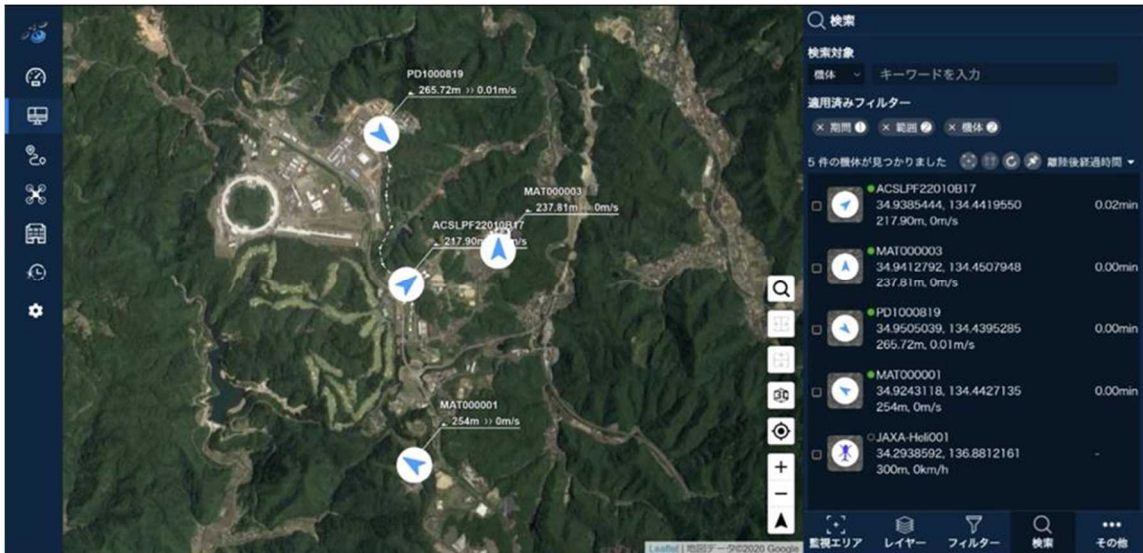


図 2. 2. 1. 14-28 西日本コンソーシアムの UTM 画面

③ 同一空域かつ複雑複数機体の運航検証評価

物流及び警備のユースケースのドローンを実フィールドにおいて水平距離の接近を行った。接近時には UTM に搭載された近接アラートが発報されることを確認し、該当機能の有用性を確認した。



図 2. 2. 1. 14-29 UTM 上の近接アラート表示



(7) 実証課題

2020 年度の実証を通じて確認された問題点並びに課題の整理を実施する。

① 課題全体概要

先行実証の実施において確認された各社からの問題点並びに問題点解決に必要な課題についての社会実装、技術開発、環境整備にて整理を実施。

領域	カテゴリ	想定される問題 (仮説)	先行実証から見た主な課題
社会実装	ビジネスモデル	・完全自動飛行が法制度上実施不可の為ビジネスモデルの成立が難しい	・完全自動飛行に向けたステップの検討
		・UTM/LTE利用時の費用によってビジネスモデルの成立が難しい	・UTM/LTE利用時のコスト・契約形態の検討
技術開発	UTM利用環境	・UTMを利用するための環境が整備されておらず、導入が進まない	・UTMへの接続方式の多様化
		・UTMから連携される情報が古く、ドローンの運航に際して問題がある	・UTM/LTE対応機体の多様化
	アラート監視	・アラート監視機能の文言やアラートの定義が安全対策上十分なのか不明	・アラート監視機能のアラート定義や回避方法の検討
	動態監視	・動態監視の高度の表記がわかりにくく離隔距離が十分かわからない	・UTMの高度表示方法の検討
	UTM運用	・UTMの運用体制と責任範囲が不明確で各主体運用方針を明確にできない	・UASSP、UASOの責任範囲明確化
		・UTMからUASOへ連携が必要な情報とタイミングが整理されていない	・UASOへの連携情報の整理
・運航方針の整備が未完了である為、運航業務に支障をきたす可能性がある		・管理空域の明確化	
・UTMで管理されない飛行体との衝突リスクがある		・コミュニケーション方法並びに運用指針の設定	
環境整備	飛行申請	・UTMとドローン間接続が通信障害で切断した場合、管制ができない	・運航時の優先度設定
		・道路横断時に補助者を設置する必要があり、実運用時には非現実的	・飛行体への対応策の検討
	運航周知	・急なルート変更や事前にルートを明示ができない場合に対応できない	・UTM切断時の対応策検討
		・飛行ルートの周辺関係者へ許可を得る範囲、対象、方法が明確でない為、調整コスト等が高く、調整遅れのリスクが存在	・道路横断時の安全対策明確化
			・安全対策による飛行ルートの直前修正の対応
			・範囲による飛行ルートの設定
			・関係者調整の法的位置づけの明確化
			・関係者調整方法の明確化、効率化

図 2.2.1.14-30 先行実証課題の全体像

② 課題詳細

上記課題の全体像にて整理した問題点並びに課題についての詳細を記載する。

表 2.2.1.14-9 先行実証課題詳細

領域	問題点	詳細	解決に向けた課題
社会実装	第三者上空の目視外自動飛行が現状の法制度では実施が不可の為、ビジネスモデルの成立が難しい。	物流等の領域はビジネスモデルが成立するには第三者上空や周辺道路上空の飛行が必要。この場合、補助者設置等の安全対策が必要になり人件費が増加し、ビジネスモデル成立が難しい。	【完全自動飛行移行に向けたステップの検討】 需要が見込まれる有人地帯周辺でのマニュアル対応者や、補助者なしの完全自動飛行移行に向けたステップの検討が必要。
	UTM/LTE 利用時の費用によってビジネスモデルの成立が難しい。	UTM やLTE の利用には機器取り付けまたはシステム対応が必要。その為、機体購入費用やシステム費用が増加し、ビジネスモデルの成立が難しくなる。一部事業者からは月数万円でないといけないと難しいと意見あり。	【UTM/LTE 利用時のコスト・契約形態の検討】 天候影響等によるドローン稼働率やビジネスモデルにあった UTM、LTE 利用に関する費用の設定、並びにライトな契約形態の検討が必要（月額サブスクリプション型等）。
技術開発	UTM を利用するための環境が整備されておらず導入が進まない。	現状 UTM を利用する際に特定の FOS の利用またはシステム対応が行われた機体以外利用できず、用途にあった機体を選択できない。	【UTM への接続方式の多様化】 UTM 接続だけを可能とするモジュールの提供等の接続形態多様化の検討や、サードパーティーアプリが接続可能となる連携方法、開発環境の準備が必要。
			【UTM/LTE 対応機体の多様化】 大型の機体だけでなく、小型機体等も含

		めて利用可能な機体の多様化の検討が必要。
UTM から連携される情報が古く、ドローンの運航に際して問題ある。	UTM 等にて表示される地図が古く、正しい情報を利用しミッションが実施できない（先行実証では太陽光発電所が非表示）。	【UTM の地図情報等の更新頻度の向上】 UTM の地図情報など利用する情報の更新頻度の見直しが必要。
アラート監視機能の文言や、アラートの定義が安全対策上十分なのか判断できない。	UTM に表示されるアラート監視機能について表示される文言の定義や、表示方法についての定義が明確でない。また、アラートが発生する際の定義が安全対策上現時点の仕様で十分なのか判断できない。	【アラート監視機能のアラート定義や回避方法の検討】 UTM に表示される文言（高度、接近）、色の定義や発生する接近時のアラートの定義や、表示方法 (Horizontal、Vertical の距離差 xxm 以内、xx 秒以内に衝突など) の整理が必要。また、アラート時の実際の回避方法（システム、運航管理からの指示）の整理が必要。
動態監視機能の高度の表記がわかりにくく、離隔距離が十分かわからない。	動態監視機能では平面により接近具合は十分に把握可能。ただし高度が 3D で表示されず数字でのみの確認である為、機体間の離隔距離が十分に設定されているのか確認が難しい。	【UTM の高度表示方法の検討】 2D 画面の表記では離隔距離が把握できるが、高度は数字から読み取る必要がある。また上昇中、下降中、高度維持のそれぞれ機体がどのような状態にあるのか色分けできると視認しやすく、高度の表示方法は整理が必要。
UTM の運用体制と責任範囲が不明確で UASSP、UASO が運用方針を明確にできない。	UTM の運用体制並びに責任範囲が明確でなく、有事や緊急時等において UASSP、UASO の指揮関係が不明確である為、効率的な運航管理業務が難しい。	【UASSP、UASO の責任範囲明確化】 運航時、有事発生時点等のフェーズ毎に UASSP と UASO の責任範囲の明確化が必要。
UTM から UASO に向けて連携が必要な情報並びにタイミングが整理されていない。	アラート監視機能の警告は FOS 側にはシステム的に通知されておらず、FOS 側では検知ができなかった。UASO 側へどのように連携するのか決まっていない。	【UASO への連携情報の整理】 UASO の運用に必要な情報の種類（高度、距離、動態情報、回避指示等、飛行映像）を整理の上、どのような方法で連携するか（口頭、システム連携）の検討が必要。
運航方針の整備が未完了である為、運航業務に支障をきたす可能性がある。	先行実証にて UTM により広域での動態管理は確認済み。具体的な管理範囲や緊急時の対応についての運用指針が明確でないため、機体数が増えた場合やドローン接近時等の状況によっては運航業務に支障をきたす可能性がある。	【管理空域の明確化】 どのような単位で空域を管理していくか、自治体等（市町等）基準や機体数等基準といった管理エリアの整理が必要。
		【コミュニケーション方法並びに運用指針の設定】 UASO、UASSP とのコミュニケーションの取り方、指揮命令系統、運航時の介入の有無、運用指針の整理が必要。  【運航時の優先度設定】 ドローン同士の接近時に、ミッション等に応じた優先度の整理が必要。
UTM で管理されない飛行体との衝突リスクがある。	UTM で管理されていない飛行体（凧、鷹匠等）との衝突リスクがあり、衝突が発生した場合、	【飛行体への対応策検討】 UTM で管理できない飛行体（凧等）について各責任主体が取るべき行動指針（回避手段、優



		ドローンが墜落し周囲に被害をもたらす可能性がある。	先度等) が必要。
	UTM - ドローン間接続が通信障害で切断した場合、運航管理ができない。	GCS 経路にてUTM と通信していたドローンが通信障害によってUTM 上に表示されない事例が発生した。その際にドローンの状況が把握できず運航管理が行えない。	【UTM 切断時の対応策検討】 UTM にて運航を行っていた機体は何らかの事由で管理ができなくなった場合、周囲にジオフェンスを設定する等の運航上の指針が必要。
環境整備	道路横断時に補助者を設置する必要があり、実運用時には非現実的。	現状歩行者や乗用車等の往来がある道路（国道、県道、市道等）においては第三者上空に当たる為、補助者設置の上での運航が必要。飛行ルートによっては大量の補助者が必要となり、運用面、コスト面からドローンの運航が難しくなる。	【道路横断時の安全対策明確化】 車、人等の往来時の第三者目視外における道路横断の方法並びに安全対策の明確化が必要。
	急なルート変更や事前にルートを明示できない場合に対応できない。	飛行申請時には特定の飛行ルートを申請する必要がある。運航直前に安全対策上やむを得ず飛行ルートの修正が必要な場合や、事業の特性上飛行範囲は提示できるがルートの明示をできない場合に現時点の飛行申請では対応できない。	【安全対策による飛行ルートの直前修正】 飛行直前の段階で安全対策上の理由によりルート変更が必要になった場合、航空局への申請内容と異なるとルート変更が出来ず、危険可能性を認識したまま飛行することになる為、直前の飛行ルートの変更方法等の検討が必要。
			【範囲による飛行ルートの設定】 空撮や警備の場合、事業特性上、事前に明確なルート設定は困難。ジオフェンスを設定し、エリアへの機体侵入を制限するまたエリアを離脱した場合には UTM にてアラートが出るなどの方法で範囲による飛行ルートを設定する方法が必要。
	飛行ルートの周辺関係者へ許可を得る範囲、対象、方法が明確でない為、調整コスト等が高く、調整漏れのリスクが存在。	飛行ルート確定後の自治体等の調整先は現行法制上設定されていない。調整先、調整方法等が整備されておらず、土地所有者や施設責任者が確認できず兵庫県担当者を通じ調整を実施。その上で実証内容の説明を実施。その為、工数の負担も大きく場合によっては調整漏れの可能性がある。	【関係者調整の法的位置づけの明確化】 飛行実施時に飛行周辺の関係者（自治体、商業施設、道路、第三者所有地）への運航許可並びに周知は法的義務なのか努力義務なのか不要なのかについて明確化が必要。  【関係者調整方法の明確化、効率化】 周辺関係者等の調整先、土地所有者の確認方法並びに調整範囲が明確化されていない為、高い工数が必要または調整漏れが発生する可能性がある。航空法に基づく許可・承認申請のみならず、航空法以外の法令に紐づく申請をシステム化し、行政をはじめとする関係者との調整の効率化が期待される。将来的なシステム化の実現に向け、関係者の調整方法について明確化が必要。

## 5.2.1.2 2021 年度実証成果詳細

### (1) 実施目標

2021 年度においては課題②同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証並びに④ドローンの地域実装検証を実施目標と設定。

西日本コンソーシアム課題		先行実証到達目標	
		定義	
発展要素 レベル感調整	<b>課題④ドローンの地域実装検証</b> ・ 地域に対するドローン事業の継続性の観点から未検証	地域に対してヒアリングや実証内容の検証を行い、ビジネスモデルとしての継続性を検証	令和3年度の実証にて検証
基本要素 優先度中	<b>課題③広域での複数接続状態での運航検証</b> ・ 単体のドローンが運航管理システムへの接続実証は実施済み。多様な目的を持つドローンが広域で複数接続した際の検証が未実施	複数用途のドローンが同時に運航管理システムに接続し、広域にて同時に運航が可能である事を検証	令和2年度の実証にて検証済み
基本要素 優先度高	<b>課題②同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証</b> ・ 単体のドローンに対する障害物等への回避行動は検証済みであるが、同一空域かつ飛行ルートの一時的な交差等が実施した場合は未実施	同一空域にて様々な用途を持った機体が同時にかつ飛行ルートの交差等が発生する状況の検証を実施	令和3年度の実証にて継続検証
基本要素 優先度高	<b>課題①同一空域における複数機体による運航検証</b> ・ 単体のドローンに対する障害物等への回避行動は検証済みであるが、多様な目的を持った同一空域での運用が未実施	同一空域にて様々な用途を持った機体が同時に運航が可能である事を検証	令和2年度の実証にて検証済み

図 2.2.1.14-31 西日本コンソーシアムの課題及び目標

### (2) 検証計画

実証においては「UTM 機能検証」、「UTM 運用検証」と「地域実証検証」の観点から実証を実施。これら 3 点から実証を行い、UTM の利用における問題点並びに課題の洗い出しを実施した。

#### ① 検証方針

前述の 3 点の検証観点に対し、2020 年度実証から見えた課題を整理し、図 2.2.1.14-32 のとおり検証対象を設定し、実証を実施した。

カテゴリ	想定される問題(仮説)	R2年度実証から見えた主な課題
UTM機能	・ UTMを利用するための環境が整備されておらず、導入が進まない	UTMへの接続方式の多様化
	・ UTMから連携される情報が古く、ドローンの運航に際して問題がある	UTM/LTE対応機体の多様化
	・ アラート監視機能の文言やアラートの定義が安全対策上十分なか不明	UTM地図情報などの更新頻度の向上
	・ 動態監視の高度の表記がわかりにくく離隔距離が十分かわからない	アラート監視機能のアラート定義や回避方法の検討
UTM運用	・ UTMの運用体制と責任範囲が不明確で各主体運用方針を明確にできない	UTMの高度表示方法の検討
	・ UTMからUASOへ連携に必要な情報とタイミングが整理されていない	UASSP、UASOの責任範囲明確化
	・ 運航方針の整備が未完了であるため、運航業務に支障をきたす可能性がある	UASOへの連携情報の整理
	・ UTMで管理されない飛行体との衝突リスクがある	管理空域の明確化
地域実装 (ビジネスモデル)	・ UTMとドローン間接続が通信障害で切断した場合、管制ができない	コミュニケーション方法並びに運用指針の設定
	・ 完全自動飛行が法制度上実施不可のためビジネスモデルの成立が難しい	運航時の優先度設定
	・ UTM/LTE利用時の費用によってビジネスモデルの成立が難しい	飛行体への対応策の検討
		完全自動以降に向けたステップの検討
		UTM/LTE利用時のコスト・契約形態の検討

※昨年度例示された法規制等の検証は対象外とする

■ 本年度検証対象

図 2.2.1.14-32 2021 年度実証における検証対象

#### ② UTM 機能検証

UTM 機能における本年度の課題 3 つに対して、以下の 4 つの検証項目により検証を実施。

表 2. 2. 1. 14-10 UTM 機能検証項目

先行実証から見た課題	検証項目	検証内容	検証方法	検証領域
UTMへの接続方式の多様化	他社飛行制御システムとの接続	UTMに対してRDD社の飛行制御システムとの接続を実施。UTM接続方式の多様化を検証。上記を通じて、他社システムがUTMに接続する際の懸念事項等の洗い出しを実施。	RDD社飛行制御システムとUTMを接続。UTMにて機体運航状況の把握や接近アラート等の連携を確認。	空撮
UTM/LTE対応機体の多様化	小型機体による実証	実証にてLTEモジュール搭載不可の小型機体2機を利用して検証を実施。小型機体利用時の懸念点等洗い出しを実施。	実証にてLTE搭載不可のDJI Mavic 2 Zoom2機を利用してミッションを実施。	空撮
アラート監視機能のアラート定義や回避方法の検討	アラート機能検証	UTM機能である逸脱、接近アラート機能の内容並びに有効性について検証を実施。	実証内にて各事業者のドローンを実際に接近/輻輳させ、逸脱接近アラートを発報させる。	警備点検 空撮
	接近回避検証	複数事業者のドローンを接近させ複数の回避行動を実施する事で、それぞれの回避行動についてメリット、デメリットを確認。	警備、点検ドローン接近時にアラートからの情報を基に、緊急着陸、上昇回避、ホバリング等による回避行動を実施し、その比較を行う。	警備点検

● 他社飛行制御システムとの接続

1 つ目の検証項目である他社飛行制御システムとの接続の全体像は図 2. 2. 1. 14-33 のとおり。空撮領域では他社飛行制御システムとの接続を実施した。



図 2. 2. 1. 14-33 他社飛行制御システムとの接続

● 小型機体による実証

2 つ目の検証項目である小型機体による実証の全体像は図 2. 2. 1. 14-34 のとおり。ここで、小型機体とは、LTE モジュールの追加搭載等が難しくバッテリー容量に余裕のない機体としている。空撮領域においては、バッテリー容量が小さい機体での継続的オペレーションの実現方法として、2 機の小型機体を用いた同時運航・複数飛行を実施した。

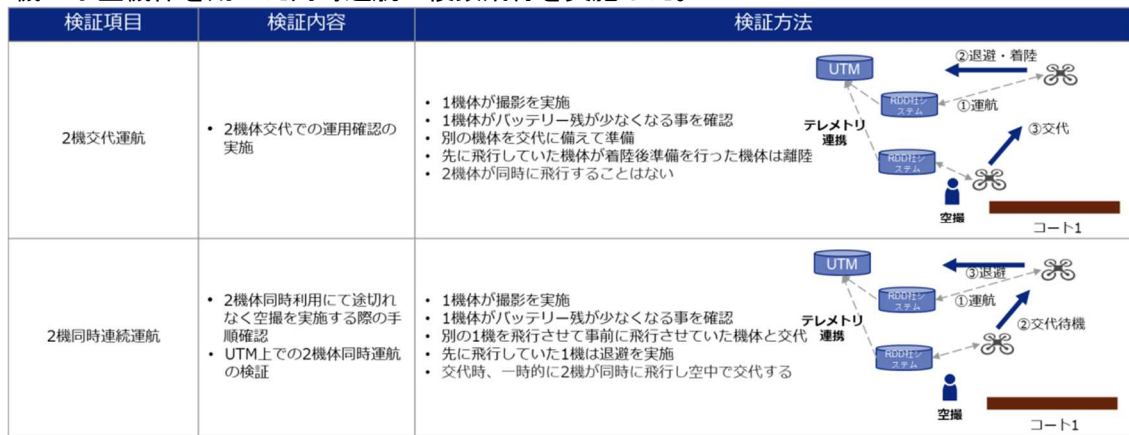


図 2. 2. 1. 14-34 小型機体による実証

● アラート機能検証

3 つ目の検証項目であるアラート検証の全体像は図 2. 2. 1. 14-35 のとおり。逸脱アラート及び近接アラートの 2 種のアラート機能検証を実施した。

検証項目	検証内容	検証方法
逸脱アラート	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドローンが計画されている運航範囲を逸脱した際にUTMよりアラートを発報する逸脱アラートについて検証を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>警備または点検事業者が何らかの理由により予定していた飛行空域を逸脱</li> <li>機体の逸脱をUTMが検知し、逸脱を行っている事業者側に通知を行う</li> </ul>
近接アラート	<ul style="list-style-type: none"> <li>機体接近時にUTMより発報される接近アラートの機能並びに回避の判断の有用性について検証を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>経路を逸脱したドローンが他事業者のドローンに接近</li> <li>UTMから両社に対して接近のアラートが連携。</li> <li>接近アラートから相手機体の位置等を確認し優先度の低い事業者は回避行動を実施</li> </ul>

図 2. 2. 1. 14-35 アラート検証

ここで、逸脱アラートとは、飛行計画申請した空域から逸脱した場合に、逸脱した機体 (の操縦士) 向けに発報されるアラートである。概略図を図 2. 2. 1. 14-36 に示す。

- (1)計画申請した空域を飛行中の場合 (2)計画申請した空域と機体が接した場合 (3)空域から機体が完全に逸脱した場合

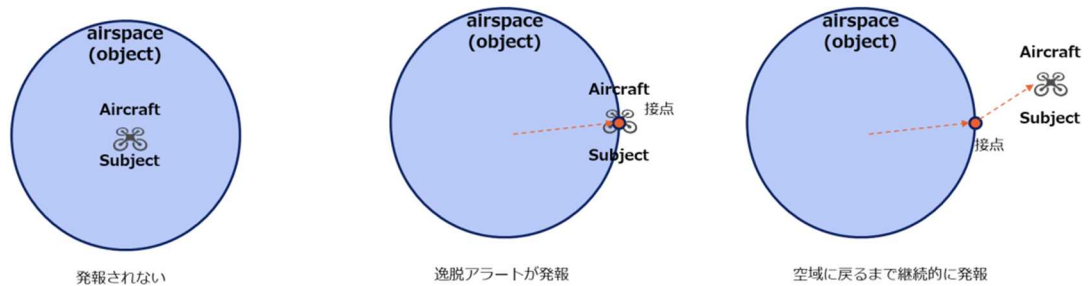


図 2. 2. 1. 14-36 逸脱アラート

また、近接アラートとは、飛行中の 2 機体が接近した場合に双方に通知されるアラートである。接近距離の閾値及びアラートに含まれる情報の概略図を図 2. 2. 1. 14-37 に示す。

**接近アラート判定イメージ図**

**接近アラート判定式**

- 飛行空域の干渉チェックが飛行申請時点で実施されている前提
- 接近する可能性については、事前に各事業者が把握可能
- 接近可能性判断後のアラートであるため、近傍を閾値として設定

		水平距離D[m]			
		D≤20	20<D≤50	50<D≤200	200<D
高度差 [m]	H≤10	CRITICAL	CRITICAL	INFO	-
	10<H≤20	CRITICAL	WARNING	INFO	-
	20<H	CRITICAL	INFO	INFO	-

**接近アラート情報/通知頻度**

含まれる情報	内容	通知頻度
自社/相手機体の現在位置の緯度	接近アラート通知時点の左記情報	各機体からUTMへテレメトリ送信が行われるたびに条件判定・双方に通知。
自社/相手機体の現在位置の経度		
自社/相手機体の現在位置のGPS高度		
自社/相手機体の移動方向の度数		
自社/相手機体速度		

図 2. 2. 1. 14-37 近接アラート



● 接近回避検証

4 つ目の検証項目である接近回避検証では、警備・点検領域の実証において 2 機体を接近させ、複数パターンの回避方法を行うことで検証を実施した。概要を図 2.2.1.14-38 に示す。

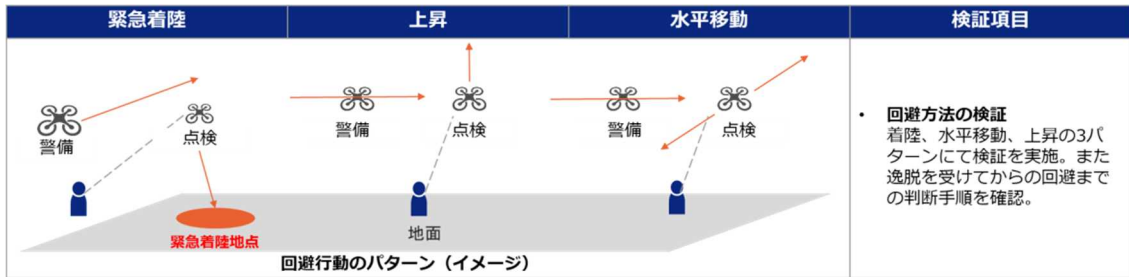


図 2.2.1.14-38 接近回避検証

③ UTM 運用検証

UTM 運用検証について以下 4 つの課題に対して検証項目を設定し検証した。

表 2.2.1.14-11 UTM 運用検証項目

先行実証課題	検証項目	検証内容	検証方法	検証領域
コミュニケーション方法並びに運用指針の設定	統合運航方法の検証	遠隔地にてUTM画面を確認し、統合運航の管理方法を検討	UTMとFOSにて取得可能な情報整理の上、遠隔地にてUTMによる動態監視を実施。飛行に係る機体、操縦者、経路、時間、天候など、事前計画・リアルタイム監視等の管理方法を検討	物流
UASOへの連携情報整理	運航体制の比較検証	複数運航体制による比較検証を実施。運航管理者の必要性と業務内容について検証	運航体制について操縦士単体での飛行と操縦士・運航管理者それぞれの方法にて運航を行い、飛行を実施。	物流
運航時の優先度設定	優先度設定検証	同一空域にて複数事業者飛行時の優先度設定の有用性並びに方針について確認	警備事業者と点検事業者はUTMを通じて互いの飛行領域の接近を検知。事前に各事業者間にて優先度を設定した上で、シナリオを作成し、優先度に沿った運用（回避行動等）を実施	警備 点検
飛行体への対応策の検討	緊急時の対応検討	緊急時に代替地への着陸あるいは引き返しといった手順の確立や緊急停止実施時の制動距離の確認	実証時、イレギュラー事項を想定。出発地点への引き返しあるいは代替着陸地点への着陸を実際実施。またポイントを定め「一時停止」操作を行い、制動距離、制動時間を確認	物流

● 統合運航方法の検証

1 つ目の検証項目である統合運航方法の検証の概要は図 2.2.1.14-39 のとおり。運航体制として運航管理者と操縦士の 2 人体制での運航を想定し、運航管理に必要な情報の取得元及び取得方法について整理した。



図 2.2.1.14-39 統合運航方法の検証

運航管理に必要な情報について内的要因又は外的要因に分類の上、洗い出しを実施。運航に際し、必要な情報を表 2.2.1.14-12 の検証のとおり整理した。

表 2.2.1.14-12 運航管理に必要な情報

大項目	中項目	小項目	計画段階	飛行中	運航管理者的 優先度	航空管制官的 優先度	実証時UTM 情報提供可否	実証時FOS 提供可否	情報提供元 外部システム	想定 情報取得元	取得可否	取得想定	実証時取得元
内 的 要 因	フライト プラン	飛行目的	○		高	中	不可	不可	FOS	FOS	否	FOS上から各機体のフライト目的が見れる事	不要 (シナリオにて事前設定)
		使用機種	○		高	高	不可	可	FOS		可	FOS	FOS
		予定航路	○		高	高	可	可	FOS		可	FOS	FOS
		予定飛行時間	○		高	中	不可	可	FOS		可	FOS	FOS
		許可・承認状況	○	○	高	高	可	可	FOS		可	FOS	FOS
	機体・シ ステム	整備・点検状況	○	○	高	低	不可	不可	FOS		否	システムが運用にて直前の整備結果が確認かである事	運用者
		運用限界	○	○	中	低	不可	不可	FOS		否	高度・電圧・速度・飛行時間等限界を超過する場合システムにてアラートや制御が可能である事	運用者
		飛行可能時間	○	○	高	中	不可	不可	FOS		可	FOS	FOS
		位置・高度・速度		○	高	高	可	可	FOS		可	FOS	FOS
		バッテリー残量(電圧)		○	高	低	不可	可	FOS		可	FOS	FOS
		GPSステータス		○	高	高	不可	可	FOS		可	FOS	FOS
		コンパス状況		○	高	高	不可	要確認	FOS		可	FOS	FOS
	操縦士	LTE電界強度		○	高	高	不可	可	FOS		可	FOS	FOS
		モーター負荷		○	低	低	不可	可	FOS		可	FOS	FOS
		積載重量	○		高	低	不可	不可	FOS		否	別システムにて管理想定	運用にて事前確認
		危険物	○		高	低	不可	不可	FOS		否	別システムにて管理想定	運用にて事前確認
		積載状況		○	高	低	不可	不可	FOS		否	別システムにて管理想定	運用にて事前確認
		必要資格	○		高	低	不可	不可	FOS		否	要確認	不要 (事前に満たした人が実施を想定)

同様に、運航管理に必要な外的要因情報を表 2.2.1.14-13 のとおり整理した。

表 2.2.1.14-13 運航管理に必要な外的要因情報

大項目	中項目	小項目	計画段階	飛行中	運航管理者的 優先度	航空管制官的 優先度	実証時UTM 情報提供可否	実証時FOS 提供可否	情報提供元 外部システム	想定 情報取得元	取得可否	取得想定	実証時取得元
外 的 要 因	気象	風向風速	○	○	高	高	不可	可	WNI	UTM	可	UTMで取得想定	FOS
		雨(工コー)	○	○	高	高	不可	可	WNI		可	UTMで取得想定	FOS
		雷	○	○	高	高	不可	可	WNI		可	UTMで取得想定	FOS
		乱気流	○	○	高	高	不可	不可	WNI		否	視野等の安全運航の観点から見直し距離や高さの嵩をUTMから取得を想定	当日運用確認
		視程	○	○	高	高	不可	不可	WNI		否	視野等の安全運航の観点から見直し距離や高さの嵩をUTMから取得を想定	当日運用確認
		雲底	○	○	高	高	不可	不可	WNI		否	視野等の安全運航の観点から見直し距離や高さの嵩をUTMから取得を想定	当日運用確認
		着氷	○	○	低	低	不可	不可	WNI		否	視野等の安全運航の観点から見直し距離や高さの嵩をUTMから取得を想定	当日運用確認
	制限空域	空港周辺	○	○	高	高	可	可	JCAB		可	-	UTM
		人口集中地区	○	○	高	高	可	可	JCAB		可	-	UTM
		対地150m	○	○	高	高	不可	不可	JCAB		可	UTMで取得想定	FOS
		小型無人機禁止法適用空域	○	○	高	高	不可	不可	JCAB		可	UTMで取得想定	FOS
		障害物	○	○	高	高	不可	不可	ZENRIN		否	ノードと同等にアドブレン・クレーン・電線等の情報をUTMから確認	当日運用確認
	他航空機	地形(DSM/DEM)	○	○	高	高	不可	可	GSI		可	UTMで取得想定	FOS
		無人航空機	○	○	高	高	不可	可	DSS		可	UTMで取得想定	FOS 接近アラート発生時のみ
		有人航空機	○	○	高	高	不可	可	Foster-GA		可	UTMで取得想定	Foster
	第三者	(警告・注意の危険度に応じたアラート)		○	高	高	可	可	N/A		可	UTMで取得想定	UTM
		離着陸場周辺	○	○	高	低	不可	不可	N/A		否	ドローンポート等にて取得	補助者・補助者統括
	ポート	経路周辺	○	○	高	低	不可	不可	N/A		否	別途検討が必要	補助者・補助者統括
受け入れ状況		○	○	中	低	不可	可	N/A	可	UTMで取得想定	不要 (ポートなし)		
健全性		○	○	中	低	不可	可	N/A	可	UTMで取得想定	不要 (ポートなし)		

また、実際に実証を行い、現時点で運航に際して必要な情報等の洗い出しを実施した。

● 運航体制の比較検証

2 つ目の検証項目である運航体制の比較検証では、操縦士のみ、運航管理者と操縦士（運航管理者は情報提供のみ）、運航管理者と操縦士（運航管理者が情報提示指示まで実施）、という 3 つの体制を想定し整理した。実証においては、運航管理者と操縦士（運航管理者は情報提供のみ）のパターンで検証を行った。概要を図 2.2.1.14-40 に示す。

● 運航体制の前提

想定する運航管理者と操縦士の全体としての役割は以下の通り



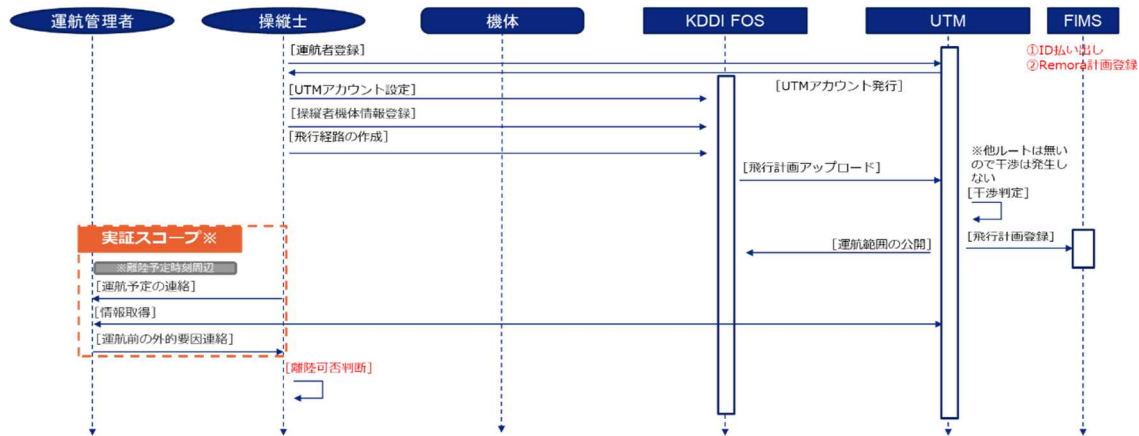
● 情報の役割分担

運航管理者が発生する場合、連携情報の役割分担は以下  
- 内的要因：フライトプラン、機体・システム、貨物、操縦士  
- 外的要因：気象、制限区域、障害物、他航空機、第三者、ポート



図 2.2.1.14-40 運航体制の比較

運航管理者と操縦士について、プリフライトにおいてやり取りが発生する部分を整理し、実証を行った。やりとりのうち、本実証の範囲を図 2.2.1.14-41 に示す。

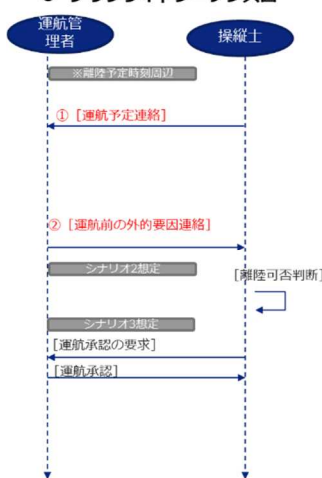


※操縦士のみ体制の場合は該当部分が存在しない形式にて実施。

図 2.2.1.14-41 運航管理者と操縦士のやり取り (プリフライト)

図 2.2.1.14-41 に示したプリフライトのやり取りの中で、連絡必須である項目について図 2.2.1.14-42 のとおり整理した。

● プリフライトシーケンス図



● 情報連携項目

大項目	中項目	小項目	連絡必須項目		想定取得元	実証時取得元
			①	②		
内的要因	フライトプラン	飛行目的	△	-	FOS	不要 (シナリオ事前設定)
		使用機種	△	-	FOS	FOS
		予定航路	○	-	FOS	FOS
	機体・システム	予定飛行時間	○	-	FOS	FOS
		許可・承認状況	-	-	FOS	FOS
		整備・点検状況	-	-	FOS	運用者 (PD)
		運用限界	-	-	FOS	運用者 (PD)
	貨物	飛行可能時間	-	-	FOS	運用者 (PD)
		積載重量	-	-	FOS	当日運用確認
		危険物	-	-	FOS	当日運用確認
外的要因	操縦士	操縦士名	○	-	FOS	要確認
		必要資格	-	-	FOS	不要
		飛行時間	-	-	FOS	不要
	気象	疲労管理	-	-	FOS	不要
		風向風速	-	○	UTM	FOS
		雨 (エコー)	-	○	UTM	FOS
		雷	-	-	UTM	FOS
運航管理者から操縦士	制限空域	乱気流	-	-	UTM	当日運用確認
		霧程	-	○	UTM	当日運用確認
		雲高	-	-	UTM	当日運用確認
		雷達	-	-	UTM	当日運用確認
		要求	-	-	UTM	当日運用確認
	他航空機	空域周辺	-	-	UTM	UTM
		人口集中地区	-	-	UTM	UTM
		対地150m	-	-	UTM	FOS
		小型無人機禁止法適用空域	-	-	UTM	不要
		障害物	物件	-	-	UTM
第三者	地形(DSM/DEM)	-	-	UTM	FOS	
	無人航空機	-	○	UTM	FOS	
	有人航空機	-	○	UTM	Foster	
ポート	離着陸場周辺	-	○	UTM	補助者統括	
	経路周辺	-	-	UTM	補助者統括	
		受け入れ状況	-	○	UTM	不要
		離全性	-	-	UTM	不要

● メッセージ例

図 2.2.1.14-42 情報連携項目 (プリフライト)





図に示したインフライトのやり取りの中で、連絡必須である項目について図 2.2.1.14-44 のとおり整理した。



図 2.2.1.14-44 情報連携項目 (インフライト)

整理した連絡項目にて、具体的な連絡内容並びにメッセージ例を表 2.2.1.14-15 のとおり整理した。

表 2.2.1.14-15 具体的な連絡内容 (プリフライト)

No	From	To	連絡必須項目	場面	メッセージ例
①	操縦士	運航管理者	バッテリー残量 GPSステータス LTE電界強度 コンパス状況	運航開始の宣言	(物流ドローン) バッテリー〇〇V、GPSRTK Fix、コンパス状況良好し、離陸行います。
②	操縦士	運航管理者	位置、高度、速度	上昇状況の共有	上昇中、高度〇〇mまで上昇します
③	操縦士	運航管理者	位置、高度、速度 バッテリー残量 GPSステータス	進行状況の共有	〇〇地点通過、高度〇〇m、速度〇〇m/s、バッテリー〇〇V、GPSRTK Fix
④	運航管理者	操縦士	風向風速 雨 他航空機 第三者	進行中の外的要因共有	飛行経路(方角)の風〇〇m、雨雲エコノ無し、他航空機の機影無し、経路下の第三者なし
⑤	操縦士	運航管理者	位置、高度、速度 バッテリー残量 GPSステータス	着陸開始の宣言	着陸地点上空到達、高度〇〇m降下中、バッテリー〇〇V、GPSRTK Fix
⑥	運航管理者(補助者)	操縦士(運航管理者)	風向風速 雨 第三者 離着陸場周辺 ポート 受け入れ	着陸時の外的要因共有	着陸地点、(微風、強風など風の状況、雨の有無など) 第三者なし、着陸支障ありません
⑦	操縦士	運航管理者	位置、高度、速度 バッテリー残量	着陸状況の共有	(〇〇時〇〇分) 着陸しました、バッテリー〇〇Vです
⑧	操縦士	運航管理者		運航終了の宣言	(便名あれば) 飛行終了です、次回医療センターからステイオ、〇〇時〇〇分出発予定です

整理を行ったフロー並びに連絡項目にて実際に医薬品配送を実施し、課題の洗い出しや運航体制の比較を実施した。

● 優先度設定検証

3 つ目の検証項目である優先度設定検証では、同一空域に複数事業者の機体が飛行した場合の飛行優先度の設定を警備・点検領域で実証した。優先度の設定及び実証における優先度設定の方法について図 2.2.1.14-45 に図示する。

● 優先度の設定

- 飛行計画時点の優先度は以下を前提に3段階を想定。  
 - 平時環境における優先度設定とする。  
 - 災害時や緊急用務区域設定時は対象外とする。  
 - 無人機同士の優先度を前提とし有人機に対する優先度は対象外

		無人機業務用途	
		緊急業務用途	左記以外の用途
無人機運用者	公的機関等	優先度高	優先度低
	民間機関	優先度中	優先度低

● 緊急業務の定義

- 緊急業務用途は道路交通法施行令第13条緊急自動車を参考とし、以下該当する業務を緊急業務として設定を行う。  
 - 消防の用途  
 - 救急用途または傷病者の応急手当等の用途  
 - 犯罪の捜査、交通取り締まり用途  
 - 施設における警備用途  
 - 電気やガス事業等の公共事業において危険防止措置用途  
 - 水防機関による水防用途  
 - 輸血等に用いる血液製剤の応急運搬用途  
 - 臓器の摘出に必要な器材の応急運搬用途  
 - 不法に開設された無線局の探索用途  
 - 事故例調査（交通事故があり直ちに現場で行う必要のあるもの）のための出動用途  
 - 原子力災害の発生又は拡大の防止を図るための応急の対策として実施する放射線量の測定、傷病者の搬送、施設若しくは設備の整備、点検若しくは復旧又は放射線による人体の障害を防止するための医薬品の運搬用途

● 本実証における優先度設定

- 左記の優先度設定の定義並びに緊急業務用途の設定から警備並びに点検用途については以下の優先度設定を行う  
 - 警備：通常の巡回業務は優先度低とする。ただし、**不審者発見時の侵入監視業務は警備用途として優先度中**に設定を行う  
 - 点検：通常の施設点検における点検業務は優先度低とする

図 2.2.1.14-45 優先度設定検証

本検証においては、警備機体の優先度が飛行中に業務内容が変更されることによって発生するものとし、優先度の異なる機体が接近した場合に優先度が低い事業者の機体は業務を一時中断し回避行動を行うものとして実証を行った。優先度変化の概要を図 2.2.1.14-46 に示す。

● 優先度の開始・停止について

- 警備事業者並びに点検事業者にて以下取り決めを行い実証を実施  
 - 警備事業者が不審者等の発見により定期業務から逸脱し、犯罪抑止目的における**侵入監視業務開始時点**から業務優先度中とする  
 - 点検事業者は**接近アラートを受領した時点で**業務一時中断・回避を行う（警備事業者業務が優先度中になった時点では不要）

	通常業務状態（優先度設定なし）	緊急業務状態（優先度設定あり）	緊急業務状態（優先度設定あり）	通常業務状態（優先度設定あり）	通常業務状態（優先度設定なし）
概要	両事業者の事前想定飛行ルートでは機体の発生が想定されない為、優先度の優劣はなし	警備ドローンが <b>不審者を発見</b> 、 <b>追跡開始時点から警備ドローンの優先度を中</b> と設定。点検事業者は逸脱アラートにて警備ドローンの逸脱を認知	警備ドローンが点検ドローンに接近し、点検事業者は <b>接近アラートを受領</b> 。点検事業者は優先度が高い警備ドローンに対し業務停止並びに回避	点検ドローンは警備ドローンが離脱し、 <b>接近アラートが停止したことを契機とし業務に復帰</b> 。警備ドローンの <b>業務優先度は中</b> にて継続	警備ドローンは定期の警備巡回業務に復帰。定期業務への <b>復帰を契機として優先度中から優先度低</b> へと移行
警備	定期の警備巡回業務	不審者の侵入監視業務	不審者の侵入監視業務	不審者の侵入監視業務	定期の警備巡回業務
点検	施設点検業務	施設点検業務	業務一時中断、回避・待機行動	施設点検業務	施設点検業務

優先度中業務      優先度低業務

図 2.2.1.14-46 優先度変化

● 緊急時の対応検証

4 つ目の検証項目である緊急時の対応検討では、飛行ルートの引き返し及び緊急着陸地点への着陸を実施した。それぞれの計画概要を示したのが図 2.2.1.14-47 である。

検証内容	概要	ユースケース	推進方法
緊急着陸地点への着陸	機体の緊急事態を検知し、事前に設定した緊急着陸地点へ着陸を行う	<p>① 緊急事態の通知 ② 介入 ③ 緊急着陸</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊急事態の把握 事前に指定したポイントにて、バッテリーの電圧低下等の事象が発生したと想定</li> <li>緊急着陸の実行 FOS機能を利用して着陸を実施</li> <li>発生地点の設定 緊急着陸地点周辺の場所にて設定</li> </ul>
ルート途中の引き返し	機体の緊急事態を検知し、ルート途中にて物流拠点へ引き返しを行う	<p>① 緊急事態の通知 ② 介入 ③ 引き返し ④ 着陸</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊急事態の把握 病院→医薬品配送拠点の帰路にて異常が発生した想定</li> <li>引き返しの実行 FOS機能を利用して引き返しを実施</li> <li>発生地点の設定 病院側着陸地点で川幅が広い部分にて実証を予定</li> </ul>

図 2.2.1.14-47 緊急時の対応検証

実際に緊急着陸地点への着陸並びにルート途中の引き返しといった対応検証を通じて課題の洗い出しを実施した。

#### ④地域実証検証

地域実証の検証に当たっては、全領域でターゲット及びビジネスモデルの設定を実施の上実証を行った。また、発展的な項目として、物流、点検、空撮領域において領域別の検証項目を設定の上、実証を実施した。

領域別の検証項目設定については表 2. 2. 1. 14-16 のとおり。

表 2. 2. 1. 14-16 領域別の検証項目設定

先行実証から見えた主な課題	検証項目	検証内容	検証方法	検証領域
ビジネス実現に向けた要件検証	医薬品配送の要件検証	輸送品、輸送時間、輸送経路の観点からドローンによる医薬品輸送の要件充足性を確認。	医薬品卸企業に対して要件をヒアリング。各実証にて各種期待値を充足できるか確認。	物流
	授受管理	荷物の受け渡し方法/必要機能並びに離着陸場における安全面の管理体制（ポート有無等）を検証。	メディセオ/医療センターへのヒアリングの上、荷物の受け渡し方法を検討。また実証当日に離着陸地点の運航関係者以外の立ち入り状況を確認。	物流
	費用見積と既存交通との比較	レベル4前後の想定コストを算出、既存交通との比較を実施する。	本実証コスト並びにレベル4想定コストを積算。積算した費用と既存の輸送手段の比較を実施。	物流
	遠隔による制御飛行	ビジネス成立に必要な遠隔地からの空撮におけるドローン制御の有用性を確認また課題の洗い出しを実施。	実施場所の遠隔地から実際に機体の運航を行い、スポーツ空撮を行う。	空撮
UTM/LTE利用時のコスト・契約形態の検討	費用構造の検証	想定されるレベル4時点での空撮並びに点検における費用構造を算定した上で、現状との比較並びに今後の課題の洗い出しを実施。	想定されるレベル4時点での費用算定を実施の上実証を実施。	点検 空撮

物流領域ではターゲットに医薬品卸企業を想定した。ターゲットの想定課題は配送の迅速化、災害時の代替輸送手段の確保、配送エネルギー効率の向上であると設定した。

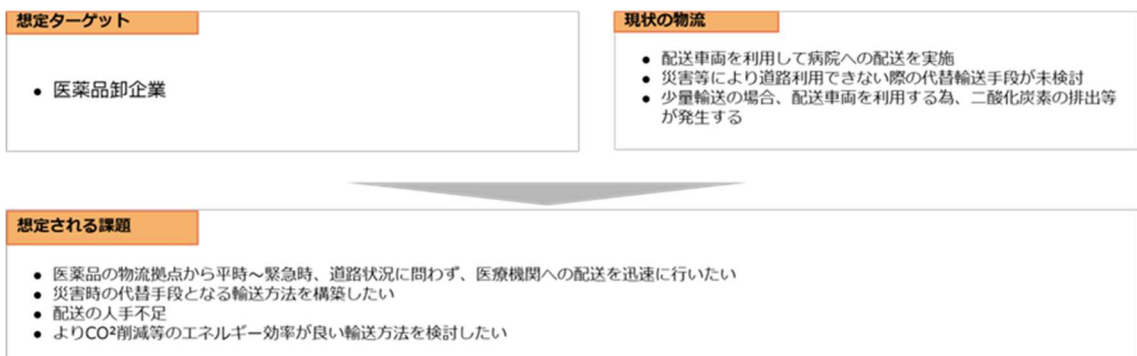


図 2. 2. 1. 14-48 物流領域の想定ターゲットと課題



上記課題に対し、空路にて医薬品配送を行うことで配送の迅速化、並びにドローンによる自動化が人手不足の解消に貢献し、災害時の代替手段となる配送体制を構築することを解決方法とした。概要を図 2. 2. 1. 14-49 に示す。



図 2. 2. 1. 14-49 物流領域の課題解決方法

物流領域で想定するビジネスモデル及びステークホルダーは図 2. 2. 1. 14-50 のとおり。

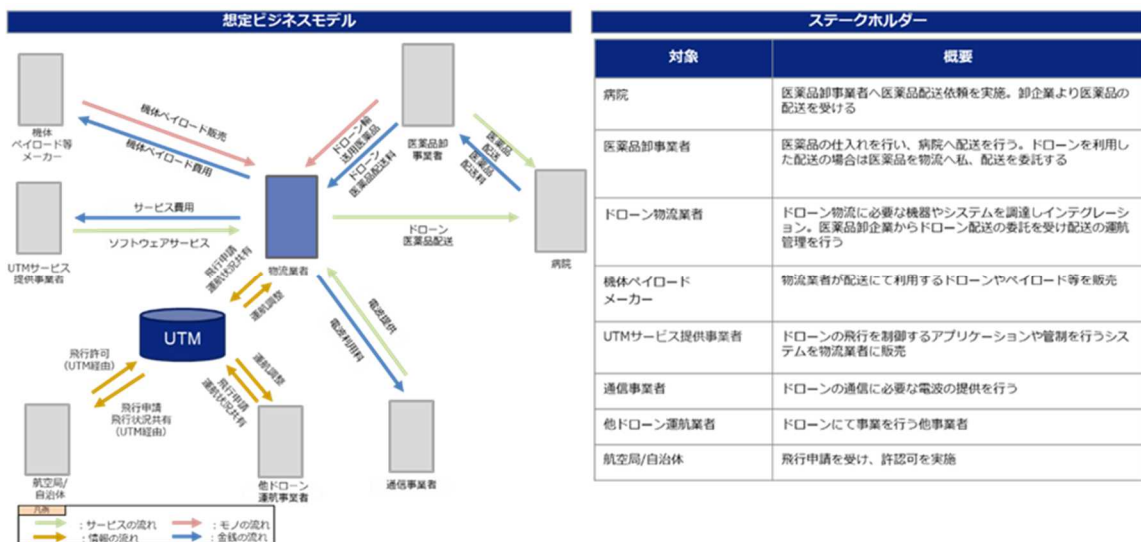


図 2. 2. 1. 14-50 物流領域で想定するビジネスモデル及びステークホルダー

● 医薬品配送の要件検証

ターゲットである医薬品卸企業に対して医薬品配送の要件についてヒアリングを実施。以下、配送時の要件に対して充足可能か検証を実施した。

表 2. 2. 1. 14-17 医薬品配送の要件

要件	求められる要件	検証方法
配送時間	既存の配送時間、約15分（出発から到着）よりも短い事	メディセオ～県立病院2拠点間の配送時間を測定
配送重量	特になし（既存の重量はドローンのペイロードよりもはるかに大きい）	現状の実運用ペイロードの上限値を確認
配送品質	配送品に破損が見られない事	構造上、高いアンプルの模擬品を輸送し破損がないことを確認

● 授受管理方法の検証

授受管理方法の検証ではターゲットとなる医薬品卸企業に対しヒアリングの上、現状の授受管理方法並びに授受要件について確認を行った。ヒアリングにて確認された授受方法並びに授受要件については図 2. 2. 1. 14-51 のとおり。

授受方法 (イメージ)	授受要件	要件達成方法
<p>1. 医薬品卸業者が受注伝票に基づき、品物および員数を確認。梱包 2. 梱包した医薬品を軽自動車またはトラックに格納し配送 3. 配送先医療機関と卸業者にて内容の確認、受領印を押印※ 4. 配送後、認印が押された納品書を持ち拠点へ帰還。 ※医療機関によっては、卸売業者での配送前の確認時の厳封をもって、内容確認を省略するケースあり</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●受取人の確認 受取人が病院関係者である事を確認できる事</li> <li>●授受記録の作成 授受を行った品目並びに日付が記録可能である事</li> <li>●配送品の確認 配送品が依頼のあったものと齟齬がないことを確認する事</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●受取人の確認 医薬品配送担当者が直接医療関係者と対面にて確認した上で手渡しを実施</li> <li>●授受記録の作成 配送担当者が日付並びに品目をシステム上に記録を実施</li> <li>●配送品の確認 医療関係者が授受時点にて内容を確認。押印を行い、認印を押す事で確認</li> </ul>

図 2. 2. 1. 14-51 授受管理方法の検証

ヒアリングの結果求められる要件として受取人の確認、授受記録の作成、配送品の確認が前提となる要件である事を確認した。上記要件を満たす為、本実証におけるドローン配送時の授受管理方法を図 2. 2. 1. 14-52 のように設定した。

授受方法 (イメージ)	授受要件	要件達成方法
<p>1. 医薬品卸業者が受注伝票に基づき、品物および員数を確認。厳封梱包。 2. ドローンにより配送を実施 3. 医療機関にて荷物の取り外し、内容の確認および受領印を押印。 4. ドローンにて認印が押された納品書を返送。 ※ドローン配送が緊急配送の場合は定期配送時にまとめて回収することも一案であるが、現状は原則不可。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●受取人の確認 受取人が病院関係者である事を確認できる事</li> <li>●授受記録の作成 授受を行った品目並びに日付が記録可能である事</li> <li>●配送品の確認 配送品が依頼のあったものと齟齬がないことを確認する事</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●受取人の確認 医薬品配送担当者が鍵を保有し、ドローンボックスの開錠を行う</li> <li>●授受記録の作成 現状と同様に配送担当者が日付並びに品目をシステム上に記録を実施</li> <li>●配送品の確認 医療関係者が授受時点にて内容を確認。押印を行い、認印を押す事で確認。押印された納品書はドローンにて返送</li> </ul>

図 2. 2. 1. 14-52 実証時の授受管理方法

実証時にはドローンボックスに施錠を行い、医薬品関係者が開錠することで受取人の確認を行う事とした。または配送品の確認の要件については、ドローンからの医薬品を医薬品関係者が授受後押印、並びに納品書を返却することで達成するものとした。

上記設定した授受方法にて問題なく授受管理が可能かどうかを検証すると同時に、授受管理方法の課題の洗い出しを実施した。

● 費用見積と既存手段との比較

費用見積と既存手段との比較として、既存の輸送手段である軽貨物事業者による輸送とドローン配達における 1 回当たり費用の比較を実施した。事前調査にて全国または兵庫県にて軽自動車輸送をおこなっている事業者について輸送距離が 1km から 20km の場合の 1 回当たりの輸送費用を調査した所、一部の例外的な事業者を除いたボリュームゾーンとして見られる金額は平均 4,890 円となった。上記の金額に対して本実証にて算定されるドローン配送時の費用と比較を行う。なお、軽貨物事業者の費用に関しては利用者として支払いを行う金額の事を指し、利益の計上がされている数値である。一方でドローン配送時の費用に関しては利益の計上を行わず、発生した費用の合計を指す前提とする。

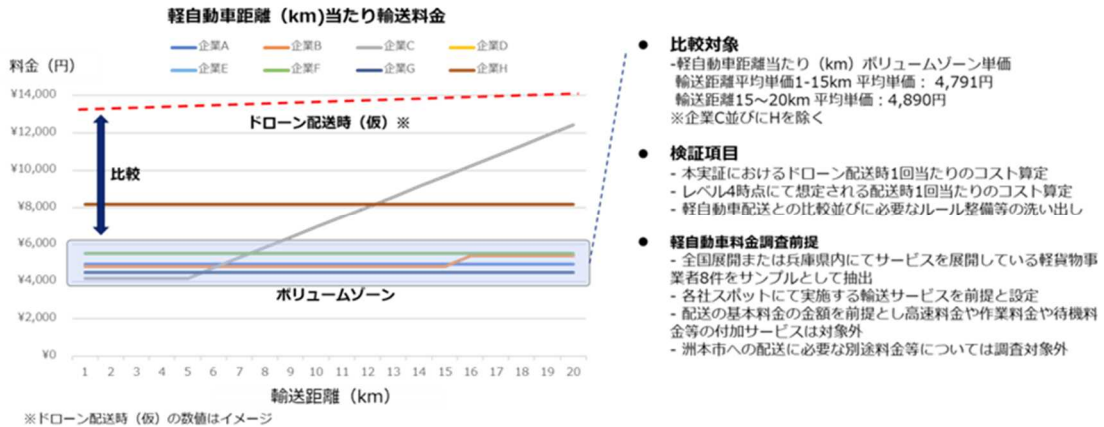


図 2. 2. 1. 14-53 費用見積と既存手段との比較

警備領域ではターゲットに民間企業（広大な監視対象を持つ企業の施設警備）を想定した。ターゲットの想定課題は監視コストの削減、セキュリティレベルの向上、並びに災害時等の有事により早期の状況把握であると設定した。

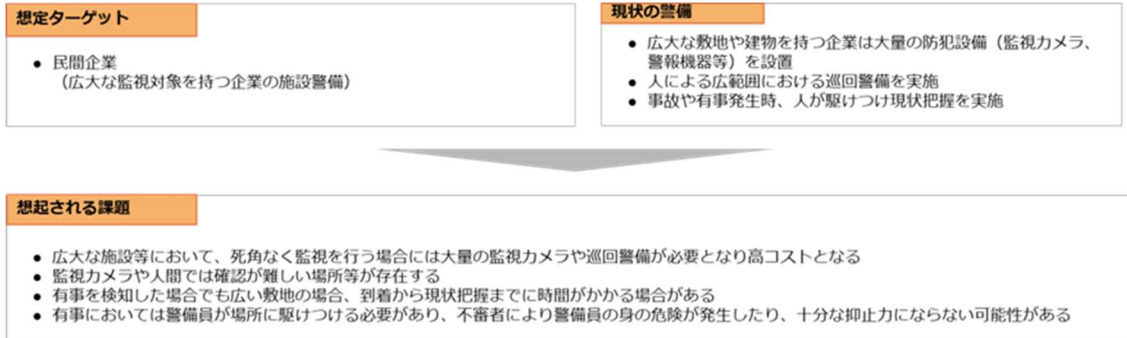


図 2. 2. 1. 14-54 警備領域の想定ターゲットと課題

上記課題に対し、図 2. 2. 1. 14-55 のとおり巡回監視並びに侵入監視のサービスを実施することでセキュリティレベルの向上に貢献するとともにコスト低減、有事の対応力強化を実現することを解決方法とした。



図 2. 2. 1. 14-55 警備領域の課題解決方法



警備領域で想定するビジネスモデルとステークホルダーは図 2. 2. 1. 14-56 のとおり。

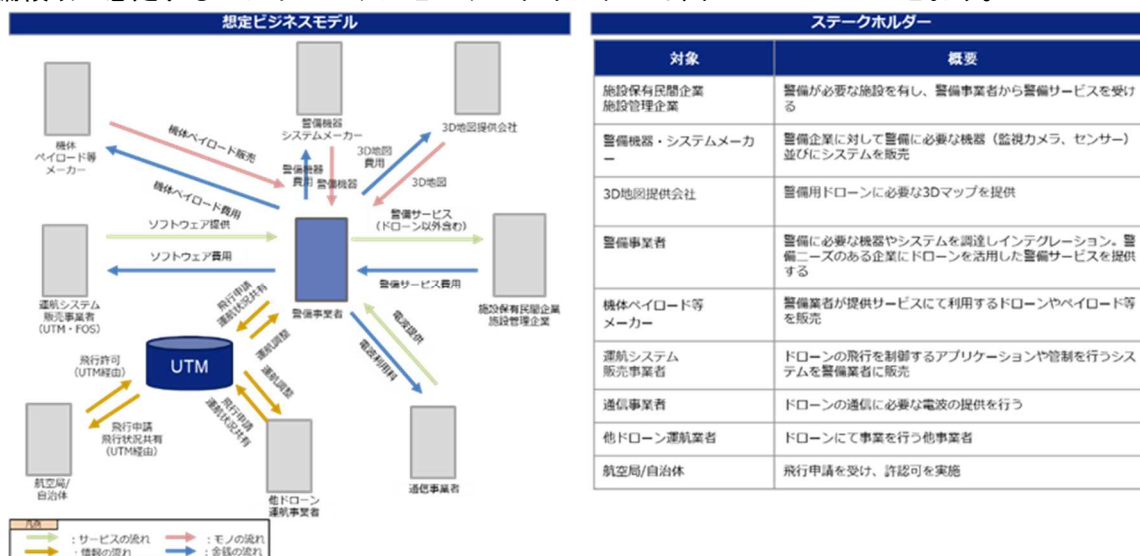


図 2. 2. 1. 14-56 警備領域で想定するビジネスモデルとステークホルダー

点検領域ではターゲットに大規模企業の管理者、管理業者を想定した。ターゲットの想定課題は点検コスト削減、品質向上、点検時の事故リスク回避であると設定した。また、一部事業者においては現在既にドローンを活用しているものの、人材面の制約からビジネス拡大ができていない等の意見があった。

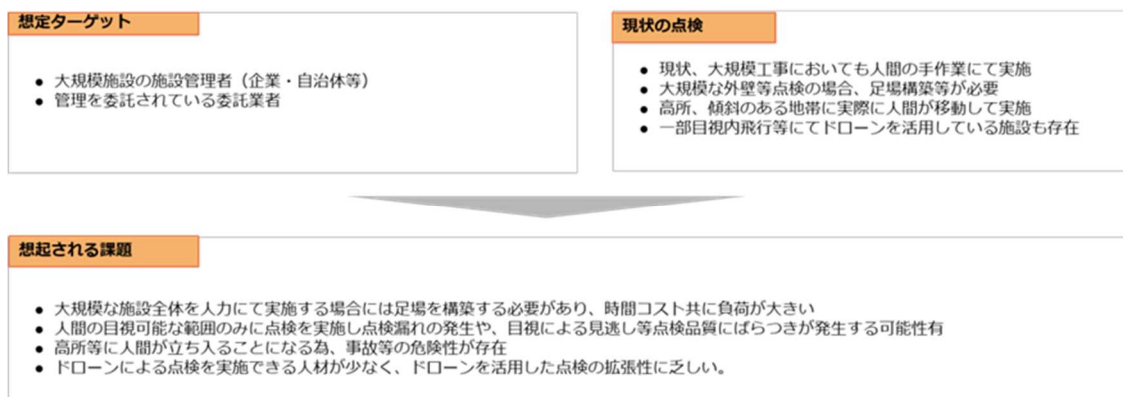


図 2. 2. 1. 14-57 点検領域の想定ターゲットと課題

上記課題に対し、点検領域ではドローンを用いた点検によりコスト削減、品質向上を行うとともに、人を点検実施対象に対して直接移動させないことによる事故リスク回避を行うことを解決方法とした。

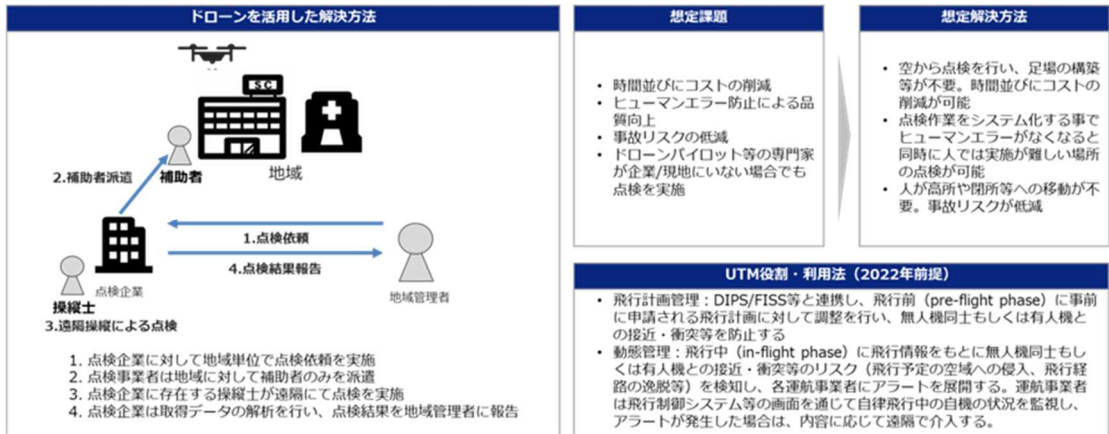


図 2. 2. 1. 14-58 点検領域の課題解決方法

点検領域で想定するビジネスモデルとステークホルダーは図 2. 2. 1. 14-59 のとおり。

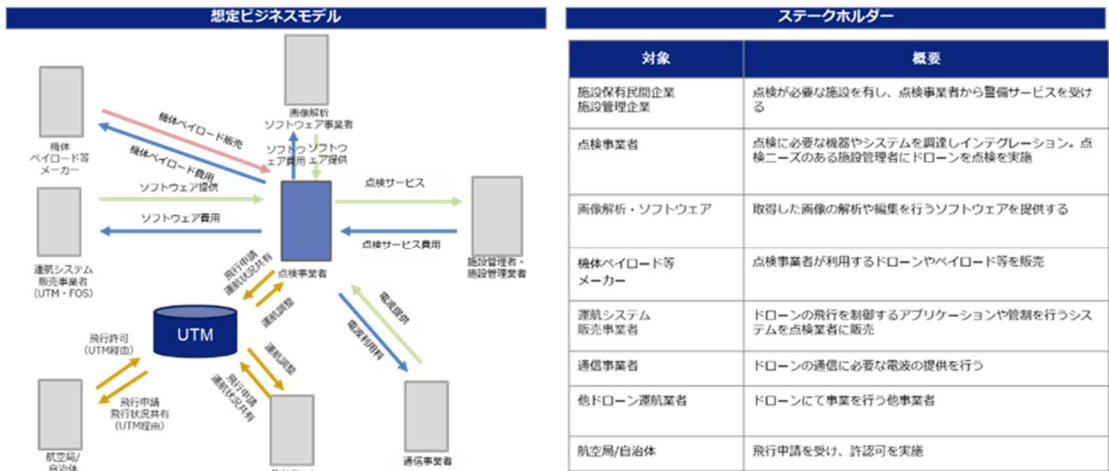


図 2. 2. 1. 14-59 点検領域で想定するビジネスモデルとステークホルダー

● 費用構造の検証

点検将来の像としては遠隔点検が想定される。本実証では各施設に補助者を配置し、特定の地点から操縦士が遠隔操縦を行う方法にて実証を実施する。

	現状点検	地域点検	遠隔点検
実施概要図			
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>各建造物ごとに操縦士と補助者が出向き点検を実施。</li> <li>各点検施設ごとに契約並びに点検を実施する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各施設にはそれぞれ補助者を配置</li> <li>操縦士は特定の拠点から目視外等を含めて操作を実施</li> <li>地域点検を契約としてまとめて1つで実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>操縦士は特定の拠点から遠隔にて操縦を実施。連続で遠隔にて点検を実施</li> <li>現地には補助者を配置し周辺を監視。また緊急事態が発生した場合には補助者が現地に介入を行い、操作を実施</li> </ul>
想定メリット		<ul style="list-style-type: none"> <li>まとめて実施をすることでコスト低下並びに品質のばらつきを防ぐことができる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>操縦士1人あたりの対応件数が増える為、売上の増加等が見込まれる。</li> <li>操縦士の教育や移動コストの削減が想定される</li> </ul>

← コスト試算対象
← 本実証検証対象
← コスト試算対象

図 2. 2. 1. 14-60 費用構造の検証

上記手段にて実施した内容から遠隔操縦によるコストの想定を算定し、現状点検とのコストについて比較を実施した。

空撮領域ではターゲットに広域スポーツ競技のチームを想定した。現時点では一部を除いてスポーツでは空撮が未活用となっており、ターゲットの想定課題を視点が固定であることによる動画の品質、撮影者スキルのばらつき等であると設定した。

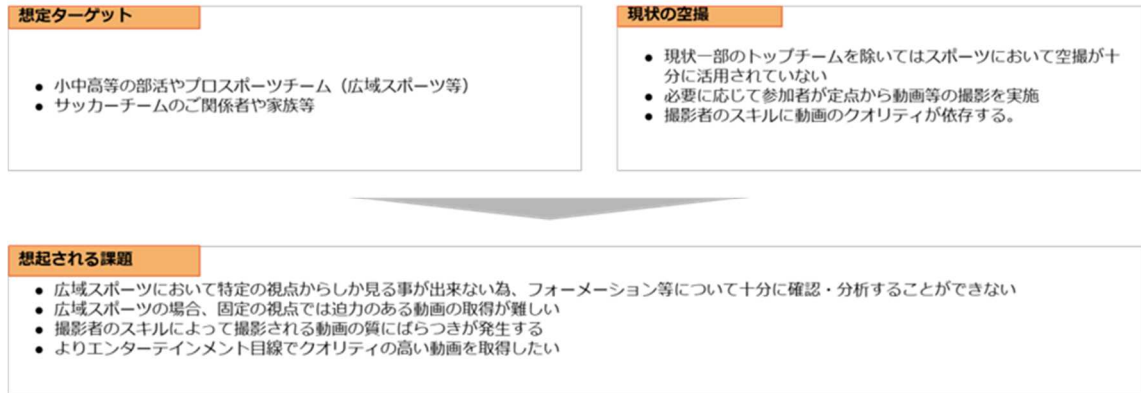


図 2. 2. 1. 14-61 空撮領域の想定ターゲットと課題

上記課題に対し、特定のスポーツ施設にドローンを配置し、遠隔で空撮を行うことにより多くのチームに空撮の提供を可能とすることを解決方法とした。



図 2. 2. 1. 14-62 空撮領域の課題解決方法

空撮領域で想定するビジネスモデルとステークホルダーは図 2. 2. 1. 14-63 のとおり。

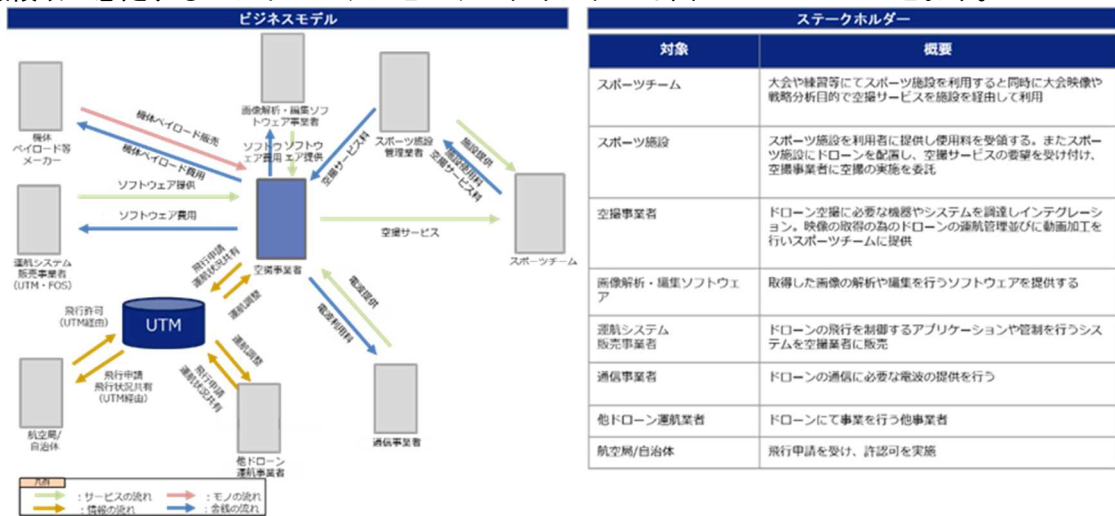


図 2. 2. 1. 14-63 空撮領域で想定するビジネスモデルとステークホルダー

● 遠隔による飛行制御

空撮領域における個別課題とした遠隔による飛行制御については、図 2. 2. 1. 14-64 のとおり現地に安全確保の為、操縦士を配置の上遠隔地からの機体運航を実施することで、遠隔による運用方法の検証や遠隔操縦によるシステム面での課題の洗い出しを実施した。

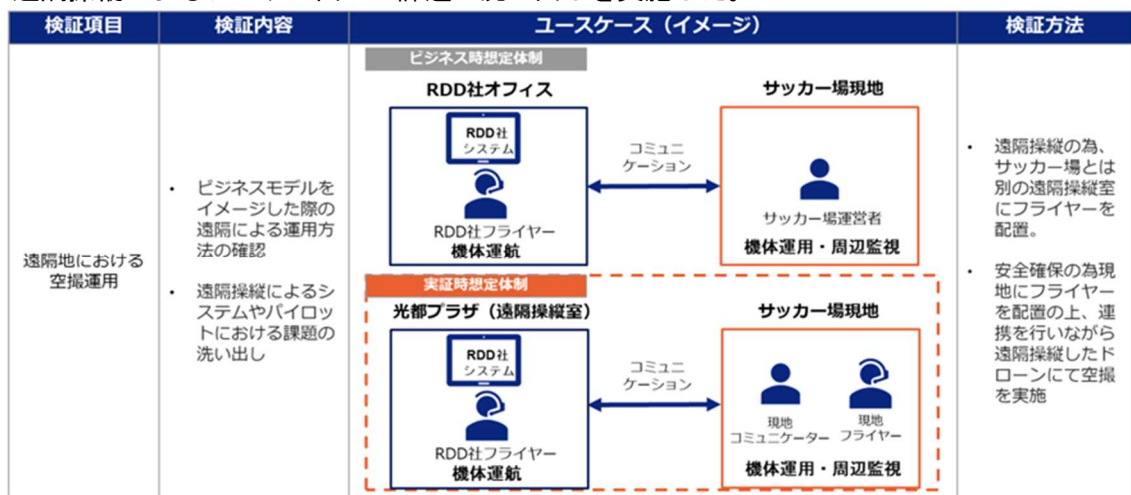


図 2. 2. 1. 14-64 空撮領域における遠隔による飛行制御



● 費用構造の検証

空撮領域についてサービス提供方法や価格の設定を設定の上、ヒアリングやコスト構造の整理を実施し、空撮におけるビジネスの精緻化並びに今後必要な課題の洗い出しを実施した。

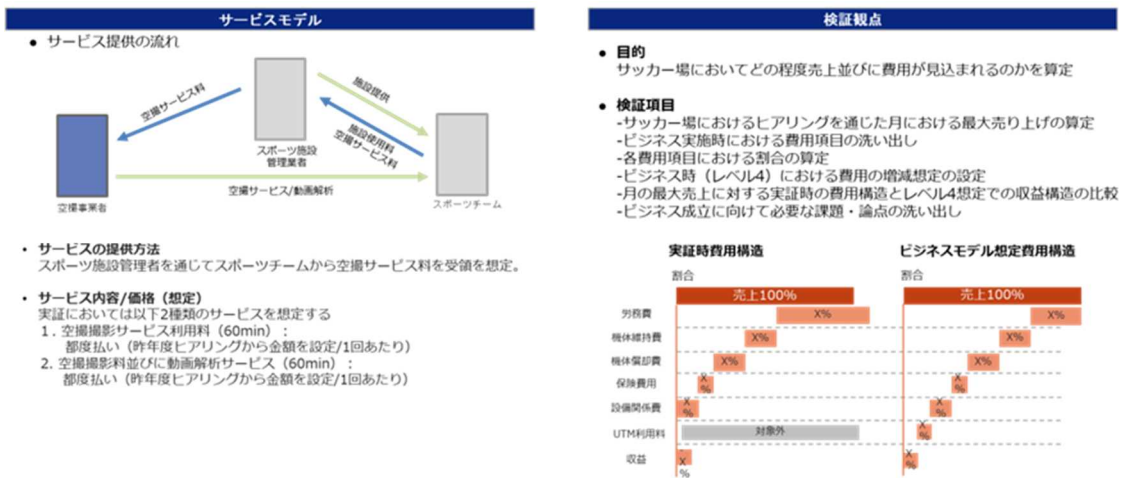


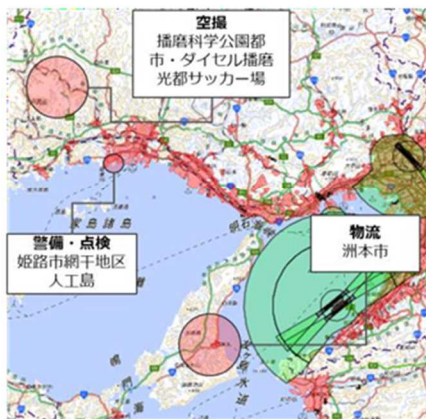
図 2.2.1.14-65 空撮領域における費用構造の検証

(3) 実行計画

① 実行計画全体概要

2021 年度実証では、播磨科学公園都市ダイセル播磨光都サッカー場、姫路市 (網干人工島)、洲本市の3か所にて実証を行った。計画時点の実施場所、日程、ユースケースの整理は図 2.2.1.14-66 のとおり。

実証場所



実施日

- 事前検証
  - 9月末または10月初旬
- 先行実証本番
  - 10月27日
  - (27日が全体同時実証、28日は個別にて実施。29日予備)

ユースケース一覧

領域	実施者	ユースケース	飛行ルート
物流	日本航空 KADO	医薬品卸企業から病院への医薬品配送	メディセオ淡路支店～県立淡路医療センター
警備	セコム	人工島におけるポートパーク並びに公園 (DID地区) の警備	網干ポートパーク～網干なぎさ公園
点検	旭テクノロジー	人力での点検が困難な構造物を対象としたドローン点検	エコパークあほし～スラッジセンター
空撮	RedDotDrone Japan (RDD)	ドローンを使用し、空からの視点でサッカーの戦術分析	ダイセル播磨光都サッカー場 周辺

図 2.2.1.14-66 2021 年度実証計画概要

本実証におけるシステム全体構成は図 2. 2. 1. 14-67 のとおり。

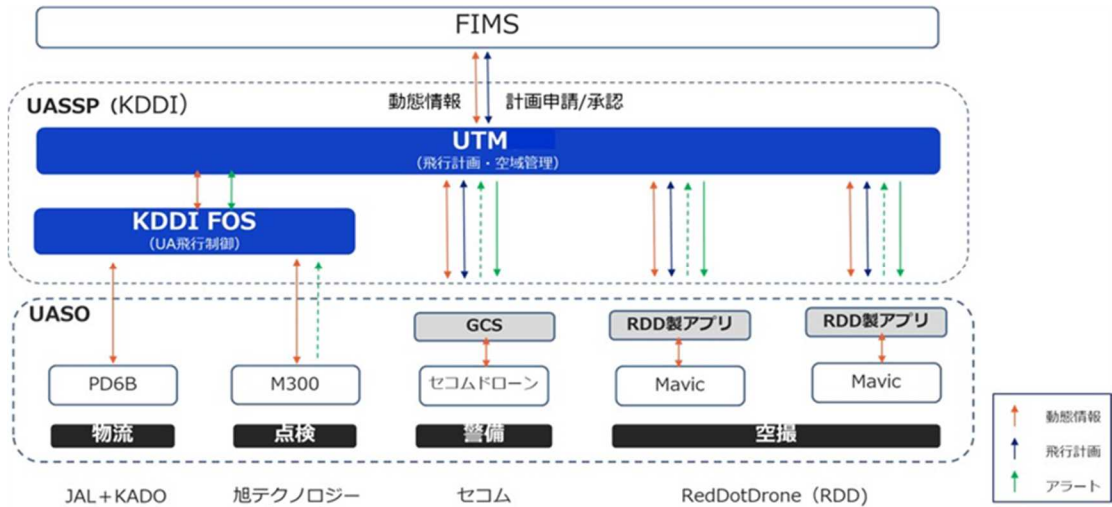


図 2. 2. 1. 14-67 システム全体構成

②各領域実行計画

物流領域は洲本市における医薬品配送を想定した物資輸送を実施。

物流飛行ルート概要



緊急着陸地点



<b>ユースケース概要</b>	医薬品卸企業から病院への医薬品配送
<b>飛行ルート</b>	メディセオ淡路支店～県立淡路医療センター
<b>飛行要件</b>	目視外補助者あり・DID地区・人もの30m・道路の横断時には補助者を設置
<b>飛行距離/時間</b>	約2400m/約8分
<b>機体</b>	ProDrone社PD6B

図 2. 2. 1. 14-68 物流領域実行計画

出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

表 2. 2. 1. 14-18 に示す 6 シナリオについて体制の比較並びに緊急時の対応の実証を実施した。

表 2. 2. 1. 14-18 物流領域の実証シナリオ

	操縦士のみ運航	運航管理者と操縦士運航	緊急時対応運航			
	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3-1	シナリオ3-2	シナリオ3-3	シナリオ3-4
概要	操縦士単独の運航確認	操縦士-運航管理者（情報提供）体制の通常運航	操縦士単独の緊急運航-ホバリング	操縦士単独の緊急運航-緊急着陸	操縦士単独の緊急運航-環境センター引き返し	操縦士単独の緊急運航-メディセオ引き返し
目的	操縦士単独運航時運用手順の確認	運航管理（情報提供）と操縦士での運航確認	操縦士単独運航時ホバリング手順の確認	操縦士単独運航時緊急着陸手順の確認	操縦士単独運航時引き返し手順の確認	操縦士単独運航時引き返し手順の確認
実施シナリオ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 病院から配送依頼を受領</li> <li>2. メディセオ担当者/日本航空担当者にて貨物の積み込み</li> <li>3. ドローンにて配達</li> <li>4. 病院側に到着。貨物の授受</li> <li>5. 貨物の授受後、メディセオ側拠点に帰還</li> </ol>	左記シナリオ1の手順を情報提供を実施する運航管理者と操縦士にて役割を分けて実施	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 貨物の配達中、橋梁上の歩行者・別有人機の到来</li> <li>2. ホバリングを実施</li> <li>3. 安全確認後、再度飛行再開</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 貨物の配達を実施中、バッテリー電圧の低下を確認</li> <li>2. 周囲の安全確認上、事前に設定した緊急着陸地点へ着陸</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 環境センターからの運航時に船舶の接近を核知</li> <li>2. 周囲の安全確認上、環境センターに引き返しを実施</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. メディセオからの運航時に船舶の接近を核知</li> <li>2. 周囲の安全確認上、メディセオに引き返しを実施</li> </ol>

実証では株式会社 KADO からドローン運搬用 BOX の提供・実証支援の上実施。BOX は軽量かつ高強度材である、カーボン FRP を代表とする先端複合材料を使用して重量を軽減。形状についても、空気抵抗を軽減する形状を採用することで、コンピューターシミュレーション上 BOX 単体で約 55%の空気抵抗を削減。バッテリーの減少を抑える事につながり、運航距離が延びることが期待される。



図 2. 2. 1. 14-69 運搬用 BOX

警備領域と点検領域は姫路市網干人工島における公園警備及び施設点検を実施した。

**警備飛行ルート概要**

①管制室から飛行指示  
 ②ドローン離陸  
 ③1周目:ポート側の巡回、公園砂浜の巡回  
 ④2周目:駐車場側(事務所)の巡回、不法投棄多発エリアの定点監視  
 ⑤不審者を発見、不審者が車両に乗り逃走  
 ⑥ドローンは車両を追跡飛行  
 ⑦飛行計画時に申請した飛行エリアの端まで飛行  
 ⑧ホバリングし逃走経路の確認  
 ⑨バッテリーニアエンドとなり離発着ポイントに帰還・着陸

  警備ドローン巡回飛行ルート  
  警備ドローン追跡飛行ルート  
  警備ドローン帰還飛行ルート  
★ 離発着地点  
  不法投棄多発エリア(定点監視ポイント)

<b>ユースケース概要</b>	人工島におけるポートパーク並びに公園(DID地区)の警備
<b>飛行ルート</b>	網干ポートパーク～網干なぎさ公園(逸脱時：兵庫西スラッジセンター周辺)
<b>飛行要件</b>	目視外補助者あり・DID地区・人もの30m・道路の横断時には補助者を設置
<b>飛行距離/時間</b>	約3200m/15分
<b>機体</b>	セコム社所有機

図 2. 2. 1. 14-70 警備領域実行計画  
 出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成





図 2. 2. 1. 14-71 点検領域実行計画  
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

警備・点検機体の輻輳ルートの位置関係は図 2. 2. 1. 14-72 のとおり。点検機体が最も接近する場合でも道路横断はしないものとした。

輻輳シナリオ位置関係図



図 2. 2. 1. 14-72 警備・点検機体の輻輳ルート  
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

警備領域と点検領域では各事業者が回避する表 2. 2. 1. 14-19 に示す 4 パターンのシナリオによる実証を実施した。

表 2.2.1.14-19 警備・点検領域の実証シナリオ

概要	点検側回避検証			
	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	シナリオ4
点検ドローン緊急着陸	点検ドローン上昇回避	点検ドローン水平移動回避	点検ドローン緊急着陸	
目的	ドローン逸脱時に他事業者のドローンが緊急着陸回避しその運用手順を確認	ドローン逸脱時に他事業者のドローンが上昇し離隔を確保しその運用手順を確認	ドローン逸脱時に他事業者のドローンが水平移動により離隔を確保し運用手順を確認	点検ドローン逸脱時に他事業者のドローンが緊急着陸回避し運用手順を確認
実施シナリオ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.スラッグ置き場点検時に警備ドローンが不審者を発見し逸脱</li> <li>2.点検ドローンは逸脱アラートを受領し手動介入</li> <li>3.接近アラートの発報</li> <li>4.点検ドローンは緊急着陸地点へ着陸</li> <li>5.警備ドローンが30秒程度ホバリング</li> <li>6.警備ドローンが帰還</li> <li>7.接近アラート停止後、点検ドローンが点検に復帰</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.スラッグ置き場点検時に警備ドローンが不審者を発見し逸脱</li> <li>2.点検ドローンは逸脱アラートを受領し手動介入</li> <li>3.接近アラートの発報</li> <li>4.点検ドローンは高度を上昇離隔を確保</li> <li>5.警備ドローンが30秒程度ホバリング</li> <li>6.警備ドローンが帰還</li> <li>7.接近アラート停止後、点検ドローンが点検に復帰またはバッテリー残量に応じて着陸</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.シナリオ1の3.まで同様の手順にて実施または省略</li> <li>2.点検ドローンは水平移動し離隔を確保</li> <li>3.警備ドローンがホバリングその後帰還</li> <li>4.点検ドローンは警備ドローンが帰還したことを確認し、再度水平移動業務に復帰</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.警備ドローンが公園上空を飛行時に点検ドローンが逸脱を開始</li> <li>2.警備ドローンが逸脱アラートを検知しホバリングを開始</li> <li>3.点検ドローンがさらに接近</li> <li>4.警備ドローンは接近アラートを受領</li> <li>5.警備ドローンは接近アラートの情報を確認し、緊急着陸地点へ移動</li> <li>6.点検ドローンは移動を停止し元のルートを辿り、帰還</li> <li>7.警備ドローンは接近アラート停止を確認し業務復帰</li> </ol>
シナリオ想定結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレフライト/インフライトにおけるアラート機能の実現</li> <li>・優先度に応じた運用の実現</li> <li>・アラート機能利用による回避行動の実現</li> </ul>			
確認観点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アラート機能の情報の充足性の確認</li> <li>・回避行動における運用手順の確認</li> <li>・回避行動におけるメリット/デメリットの確認</li> </ul>			

空撮領域は播磨科学公園都市に位置するダイセル播磨光都サッカー場にてサッカー空撮を実施。

空撮飛行ルート概要



ユースケース概要	ドローンを使用し、空からの視点でサッカーの戦術分析
飛行ルート	ダイセル播磨光都サッカー場
飛行要件	目視外飛行(補助者あり)・DID地区外・人もの30m・施設内に補助者を設置
飛行距離/時間	約100m-200m/実稼働20分
機体	DJI Mavic2 Zoom (2機体実証)

図 2.2.1.14-73 空撮領域実行計画  
出典：国土地理院の地理院地図を加工して作成

表 2.2.1.14-20 に示す 3 シナリオにより実証を実施。

表 2.2.1.14-20 空撮領域の実証シナリオ

	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
概要	1機体単独運航	2機交代運航	2機同時連続運航
目的	1機単独飛行を実施し、UTM連携に問題がないことを確認	2機交代での運航確認並びに2機体のUTM連携を実施	2機体利用にてバッテリー交換等による影響なく空撮を実施
実施シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・任意の1機体にて飛行計画を公開</li> <li>・公開した飛行計画に則り遠隔にて飛行開始</li> <li>・コート上空撮を実施</li> <li>・バッテリー減に伴い帰還</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・任意の2機体にて飛行計画を公開</li> <li>・1機の機体にて空撮を実施</li> <li>・機体のバッテリー残が少なくなった際にもう1機の準備を開始</li> <li>・空撮を実施している機体を帰還</li> <li>・準備を行っていた機体を交代の機体として飛行開始</li> <li>・上記運用を複数回実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・任意の2機体にて飛行計画を公開</li> <li>・片方の機体が運航を開始</li> <li>・機体のバッテリー残が少なくなった際に別の1機を飛行開始</li> <li>・後から飛行した機体は先に飛行した機体の5m程度上空を飛行し待機、その際に接近アラートの発生を検知し、十分な離隔を確保</li> <li>・先に飛行を行った機体は着陸しもう一方が継続して空撮を実施</li> </ul>
シナリオ想定結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1機体のUTM連携の実現</li> <li>・1機遠隔空撮の実現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遠隔を含めた2機体による交代運航の実現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2機体のUTM連携の実現</li> <li>・2機体を利用したバッテリー交換なしによる長時間空撮の実現</li> <li>・接近アラート機能の実現</li> </ul>
確認観点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・範囲による飛行領域設定</li> <li>・遠隔による機体制御の実施</li> <li>・UTMへの機体情報の連携</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2機交代での運航手順の確認</li> <li>・2機体のUTM機体情報の連携</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機体交代手順の確認</li> <li>・接近アラートの連携確認</li> </ul>

③ 対外調整概要

本実証においては施設利用にあたり関係各社との調整を実施。

表 2.2.1.14-21 調整先並びに調整概要一覧

調整領域	調整先	調整事項
航空局申請	大阪航空局	飛行ルートや機体情報等の申請
洲本市 物流実証	洲本市用地課・淡路県民局洲本土木事務所	明兆通り補助者配置・看板設置、洲浜橋補助者配置・看板設置
	淡路県民局洲本土木事務所	県道（新加茂橋、下加茂橋、洲本橋）補助者配置・看板設置、洲浜橋上流河川、洲浜橋下流港湾
	洲本炬口漁協共同組合	炬口(々々)漁港連絡
	洲本市下水道課/水 ing AM 株式会社	洲本環境センター離着陸場所使用
	洲本警察署	道路補助者配置・看板設置
	洲本高校、洲本実業高校、蒼開高校	ボート部への事前連絡
	近畿地方整備局兵庫国道事務所洲本維持出張所	国道補助者配置・看板設置
	関西電力送配電株式会社 兵庫支社	メディセオ付近高圧電線確認
	町内会	メディセオ～川間の田んぼの所有者の確認
	県立淡路医療センター	実証協力、離着陸場所の提供
洲本市消防防災課	緊急着陸地点の使用	
播磨科学公園都市空撮 実証	企業庁播磨科学公園都市まちづくり事務所	遠隔監視室の利用依頼
	播磨高原広域事務組合	空撮におけるサッカー場の利用協力依頼
	西播磨サッカー協会（ダイセル播磨光都サッカー場）	
	たつの市企画課	播磨科学公園における実証の周知並びにご理解
	上郡町企画政策課	
	佐用町企画防災課	
	西播磨県民局総務企画室	
	相生警察署	
西播磨消防組合 たつの消防署光都分署	ドクターヘリ飛来時の対応協議	
県内サッカースポーツチーム	空撮における実証協力のご依頼	
姫路市網干 警備・ 点検実証	中播磨県民センター姫路港管理事務所	網干人工島における実証の周知、パーク利用許可、事務所施設使用、実施協力
	株式会社ヤマハ藤田	
	公益財団法人兵庫県まちづくり技術センター	網干人工島における実証の周知、敷地使用
	揖保川流域下水道管理事務所 揖保川浄化センター	
	公益財団法人兵庫県まちづくり技術センター	兵庫西スラッジセンター施設内の点検実施、駐車場並びに敷地利用、実施協力
	揖保川流域下水道管理事務所 兵庫西スラッジセンター	
	県土整備部土木局下水道課	網干人工島における実証の周知、兵庫西スラッジセンター施設内の点検実証のご理解
	中播磨県民センター姫路土木事務所	網干人工島における実証の周知、兵庫西スラッジセンター施設内の点検実証のご理解、駐車場並びに敷地の利用許可
	エコパークあぼし施設内の利用許可、点	



姫路市環境局美化部 エコパークあぼし	検実施協力、駐車場並びに敷地・会議室・備品利用
姫路市公園部公園緑地課	なぎさ公園内ドローンの緊急着陸地点の設置ご理解、補助者配置、利用許可、実施協力
株式会社ダイセル姫路製造所網干工場	網干人工島における実証の周知、並びにご理解
姫路市漁業協同組合網干支所	
網干警察署	
姫路市消防局網干消防署	ドクターヘリ飛来時の対応

#### (4) 実証結果

##### ① 実証結果全体概要

2021年10月27日における本番実証においては全国他コンソーシアムと同時に飛行を完遂し、全国単位での運航管理システムによる運航管理が可能であることを確認した。また、翌28日については西日本コンソーシアム内にて再度同時に実証を実施し、西日本コンソーシアム内複数地域の運航管理が可能であることを確認した。



図 2.2.1.14-74 UTM 画面

##### ② 各領域実証結果

###### ● 洲本市物流実証

洲本市中心部において 7 本の橋梁通過の上、医薬品配送を完遂した。



図 2.2.1.14-75 物流領域の実証の様子と UTM 画面

###### ● 姫路市網干人工島警備/点検実証

姫路市網干実証としては警備並びに点検のケースの実証を実施。また想定した輻輳のケースについても完遂した。



図 2.2.1.14-76 警備・点検領域の実証の様子と FOS・UTM 画面

● 播磨科学公園都市空撮実証

運航管理システムと RDD 社システムを接続し実証を実施。RDD システムからスポーツ空撮を実施すると同時に運航管理システムとの技術検証を完遂した。



図 2.2.1.14-77 空撮領域における RDD 社システム画面と UTM 画面

(5) 実証評価

① 西日本コンソーシアム目標評価

本年度実証においては昨年度実証が未達成であった項目を目標として実証を実施。課題②「同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証」については警備、点検ドローンにて逸脱から接近、回避の検証を完遂した。ただし、接近回避等については今後も社会実装を見据えて継続して検証が必要と想定。また課題④「ドローンの地域実装検証」については各領域において現状の課題や解決方法の整理、ビジネスモデルの設定を実施。また物流、点検、空撮領域については個別に地域実装の観点から検証項目の設定を行った上で実証を完遂した。

西日本コンソ課題		先行実証到達状況	
		定義	到達度
発展要素 レベル感調整  基本要素 優先度中  基本要素 優先度高  基本要素 優先度高	<b>課題④ドローンの地域実装検証</b> ● 地域に対するドローン事業の継続性の観点は未検証	地域に対してヒアリングや実証内容の検証を行い、ビジネスモデルとしての継続性を確認	○ 今年度に関してはビジネスモデルを設定の上、検証項目を設定し実証を実施済
	<b>課題③広域での複数接続状態での運航検証</b> ● 単体のドローンが運航管理システムへの接続実証は実施済。多様な目的を持つドローンが広域で複数接続した際の検証が未実施	複数用途のドローンが同時に運航管理システムに接続し、広域にて同時に運航が可能であることを検証する	○ 昨年度達成済。
	<b>課題②同一空域かつ複雑な複数機体の運航検証</b> ● 単機のドローンに対する障害物等への回避行動は検証済みであるが、同一空域かつ飛行ルートの一時的な交差等が実施した場合は未実施	同一空域にて様々な用途を持った機体が同時にかつ飛行ルートの交差等が発生する状況の検証を実施する	○ 警備・点検領域にて転換を検証を実施済。ただし、今後もUTMの機能開発等に合わせ継続した検証が必要。
	<b>課題①同一空域における複数機体による運航検証</b> ● 単機のドローンに対する障害物等への回避行動は検証済みであるが、多様な目的を持った同一空域での運用が未実施	同一空域にて様々な用途を持った機体が同時に運航が可能であることを検証する。	○ 昨年度達成済

図 2. 2. 1. 14-78 西日本コンソーシアム目標評価

② UTM 機能検証

UTM 機能検証では他社飛行制御システムとの接続、小型機体による検証、アラート機能検証、接近回避検証を実施。上記検証結果並びに確認された課題を以下に示す。

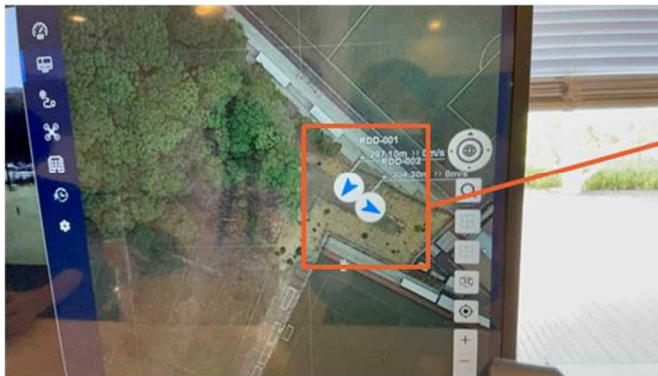
● 他社飛行制御システムの接続

運航管理システムと他社飛行システムを接続し、機体の動態管理が確認可能であることを実証。また近接アラートについても運航管理システムから連携される情報が他社飛行制御システム側に表示されることを確認。実証の様子は図 2. 2. 1. 14-79 のとおり。



## 実証の様子

### ● UTM上への機体情報の連携



UTM上にRDD社の機体  
が表示されることを確認

### ● 接近アラートの連携



UTMからの接近アラートを  
うけてRDD社アプリ上  
にアラートが表示される  
事を確認

図 2.2.1.14-79 他社飛行制御システムの接続

一方で、今後特定目的に特化した運航管理システムが乱立する可能性がある為、機体管理の階層化のコンセプトの明確化やソフトウェアと運航管理システムの接続方式については一定の標準規格が必要である等の問題点並びに課題があげられた。実証を通じて事業者から挙げた問題点並びに課題の一覧は以下のとおり。

表 2.2.1.14-22 運航管理システムに関する事業者から挙げた問題点と課題

問題点	今後の課題
空撮は機体速度が時速 60km 以上となる事が想定される。高速移動する機体に対して UTM の活用可能性について検証が未実施。	高速移動する機体に対して運航管理システムがどの程度活用可能かレスポンス等の観点から検証を行う。
空撮に沿った形での運航管理システムまたは機能が必要だと感じるが、様々な機能に特化した運航管理システムの乱立を招く可能性有。	機体管理の階層化のコンセプトを明確に提示する。それに沿った形で tree 状の管理を実施。
運航管理システム提供者毎に仕様が異なると開発コストが掛かる。	運航管理システムとソフトウェアが接続する際の規格統一が必要。

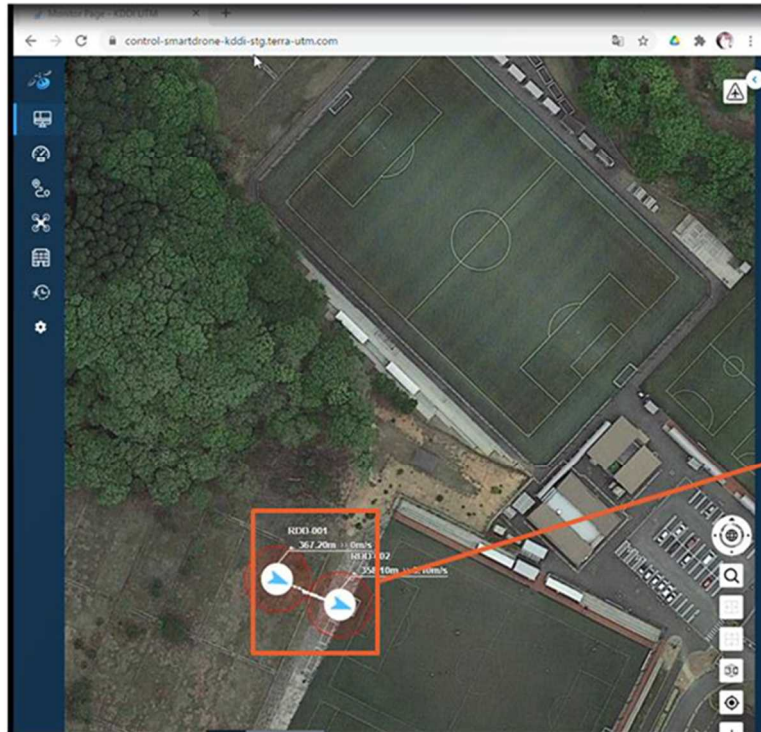
### ● 小型機体による実証

小型機体 2 機を運航管理システムと接続し、2 機体を用いた連続運用を実証。離着陸を伴う 2 機体の入れ替えに加え、空中での撮影機体入れ替えのケースも実施。実証の様子は図 2.2.1.14-80 のとおり。



## 実証の様子

### ● 同時運航時の様子



同時に運航する  
2機体の機影

図 2. 2. 1. 14-80 小型機体による実証

複数機体の入れ替えに当たっての手順の精緻化や、小型機体同士の接近等に対する安全管理方法について課題が挙げられた。特に、小型機体に関しては機材側での調整余地がないため、機体の利用方法・利用手順を一般化しておくことが重要であるという課題認識が抽出された。実証を通じて事業者から挙げられた問題点並びに課題の一覧は以下のとおり。

表 2. 2. 1. 14-23 小型機体・複数機体の利用に関する事業者から挙げられた問題点並びに課題

問題点	今後の課題
連続撮影の為に機体の入れ替えは現状パイロット間でやり取りが発生。調整コストがかかる。	ビジネス時は撮影要件がよりシビアになる為、入れ替わり等の手順について運航手順の精緻化が必要。
小型機は機体が接近するシチュエーションが多い為、元々自社機体内で接近が予想されている場合にはどのように安全運航を管理するのか現時点で不明。	元々接近が想定されている場合、UTM に対応するのか、運航を管理している会社で管理して上位の UTM で他社ドローンとのコンフリクトを判定して通知、エスカレーションするのかという仕組み決めが必要。

### ● アラート機能検証

アラート機能検証は警備、点検領域において 2 事業者の機体を輻輳させることにより実証。逸脱アラートは飛行申請を実施した空域外に機体が飛行することにより逸脱アラートが発報されることを確認。また、近接アラートについても各事業者間の機体を接近させた際に発報されることを確認。また近接アラートを受けた事業者が緊急着陸・回避行動を行うことで回避行動をとることができることを確認。

## 逸脱/接近アラート発報の様子

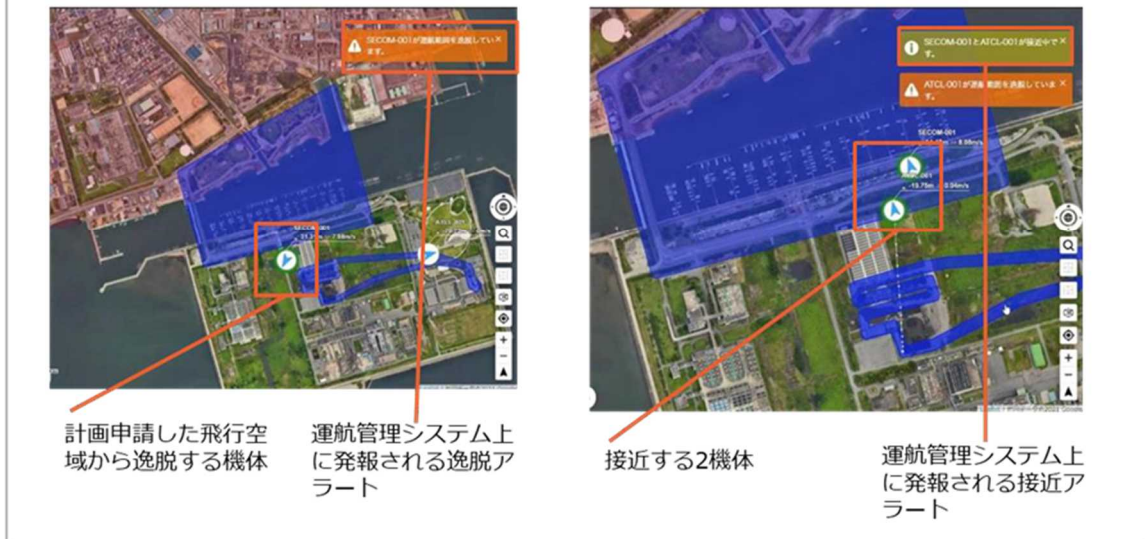
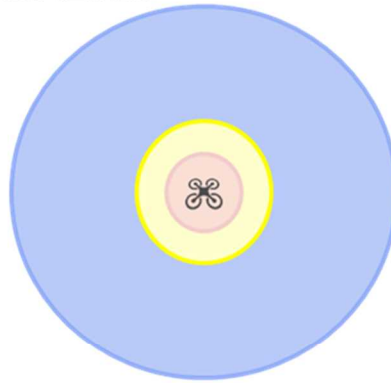


図 2. 2. 1. 14-81 逸脱アラート・近接アラートの UTM 画面表示

上記実証を通じてアラート機能に関してあるべき姿を事業者内にて議論を実施。アラート全体に関して挙げた意見としてアラートの発報周期が機体依存である事の指摘があった。その為、あるべき姿としてテレメトリ周期の固定周期化または頻度が遅い機体に関しては、その事実を可視化する等の対応が必要と意見あり。逸脱アラート機能に関しては現在自社に向けた通知は備えているが、他社へ通知する機能が具備されていない為、近接アラートの情報の中に逸脱状態である等の機体情報の付加が必要と想定される。また、近接アラート機能に関して実証時には閾値 200m からアラートが発報される仕様となっていたが、十分な回避判断時間が設定されていないとの意見があがった。各社議論の上、以下近接アラートの通知目的並びに距離による実装が望ましいと想定される。

### ● アラートレベルと位置関係



	通知目的	衝突時間	閾値(距離)※
INFO	他機体が周辺に存在することを通知(情報提供)	2分	1800m
WARNING	衝突可能性を通知(回避の検討・開始)	30秒	450m
CRITICAL	衝突直前である事を通知(回避の実施)	10秒	150m

※向かい合う方向に2機体が7.5m/sで移動しているものとして計算

図 2. 2. 1. 14-82 近接アラートレベル

図 2.2.1.14-82 に示すように近接アラートについては INFO、WARNING、CRITICAL とレベルを設け、INFO に関しては情報提供目的として広めの距離を設定するのが望ましいと想定される。また、実際の回避行動については WARNING または CRITICAL を受けてから実施する事を想定する。ただし、上記閾値を設定した場合、機体の位置等が周辺に通知されることが望ましくない事業者の機体位置が提示されることになる。その為、機体情報の通知に関しては位置のみ等最低限とする並びにエリアとして表示する等の対応が必要と想定。空撮のように計画時点から機体同士が接近するケースが想定される為、その場合はクライアント側でアラートを非表示にする、または対象外にする等の対応が必要と想定される。各社アラート機能に関しての問題点並びに今後の課題をまとめると以下のとおり。

表 2.2.1.14-24 アラート機能に関しての問題点と課題

問題点	今後の課題
アラート発報周期が自機体のテレメトリ送信間隔依存であり、アラートとしてのライフタイムが定義されていない。	テレメトリ発報周期にも同程度の通信頻度を要求、またテレメトリは発報周期が遅い機体はその事実を可視化する等の対応が必要。
逸脱アラートは自社機体の逸脱検知はできるものの、周辺(他社)機体の逸脱は検知できず、異常動作機体に備えることができない。	近接アラートに対して相手の機体情報として逸脱有無等を付加する等の対応が必要。
適切な閾値は機体の飛行速度に依存するため、現状の仕組みでは対応が困難。	衝突予測時間(TTC)を閾値に組み入れる。
警備用途など、機体位置が周辺他社へ通知されることを望まない事業者の取り扱いについて要検討。	機体情報は必要最低限とし、用途 - 社名などを含めない。また近接アラートの INFO レベルでは、接近する機体の絶対位置は表示せず、相対位置や接近する機体の方向のみを表示する等の処理を検討する。あるいは、計画された飛行ルート・エリアから脱していない機体であれば、飛行ルート・エリアを示し、ルート・エリアからの対比を促す等の処理により、機体の絶対位置を秘匿化する等の対応を検討する。
高度の取り扱いについて検証が不十分であり、検討が必要。高度は RTK 非対応機体であると情報信頼性が低い場合がある。	システム対応としてアラート機能は RTK 搭載機体同士かそうでないかで判定ロジックを分ける。または原則水平離隔をとる前提とし、水平距離で判定する。 RTK 非搭載機体の場合、離陸時に離陸地点の地表からの高度を登録する。
意図的に近距離を飛行する機体に対するアラートの取り扱いについて検討が必要。	自社機体であることが想定されるため、クライアント側でアラートを非表示にする。また空域対機体の近接アラートを追加することで、他社向けには空域での接近を通知し自社機体同士の接近については自社システムにて対応とし運航管理システムの管理外とする。

● 接近回避検証

接近回避検証として警備機体逸脱時に点検機体は上昇、緊急着陸地点への着陸並びに水平移動の 3 種類を回避方法として実施。回避については状況に応じた判断が必要であることを前提に、各回避方法についてメリット、デメリットの整理を実施。結果については表 2.2.1.14-25 接近回避方法別のメリットとデメリットに示す。



表 2.2.1.14-25 接近回避方法別のメリットとデメリット

	緊急着陸地点への着陸	水平移動	上昇
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>着陸後は空中での機体衝突可能性がなくなる為、安全性に関しては最も高いと想定。</li> <li>他バッテリーと違いバッテリー残量の影響を受けにくい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>接近機体に対して反対の方向に退避できる為、安全性は高いと想定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>他退避方法と比較し優位点はなし。</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前に第三者が立ち入らない場所等の着陸地点の十分な検討、設定が必要。</li> <li>河川や海上周辺で運航を実施する場合、着陸場所の精査が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バッテリー残量によっては退避した先での着陸が必要。</li> <li>周囲に構造物が多い環境では選択ができない。</li> <li>相手機体の方向が事前に把握できない為、退避方向の予測、設定が事前に困難。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>退避時間が長くなる場合は着陸に切り替える必要がある。</li> <li>バッテリー残が少ない状況では上昇は安全上不可。</li> <li>建物や橋梁下の場合実施が不可。</li> <li>高度が正確に取得できておらず、表示上の高度と実際の高度が異なっている可能性がある。</li> </ul>

回避検証を実施した事業者からの意見としては、どの回避方法を実施するののかについては運航状況次第で変わる部分が多く、ルールベースで回避方法を設定するのは難しいとの意見が挙げられた。ただし、機体によっては高度が正しく取得できていないケースがある為、回避方法を実施する場合、水平距離の離隔は必須であると想定されるとの意見が挙げられた。また、事前の複数の回避方法を検討、設定するのが望ましいとの意見も挙げられた。

### ③ UTM 運用検証

UTM 運用検証では統合運航方法の検証、運航体制の比較検証、優先度設定検証、緊急時の対応検証を実施。上記検証結果並びに確認された課題を以下に示す。

#### ● 統合運航方法の検証

統合運航方法の検証では計画時点にて運航に際して必要な情報整理を事前に実施。また実証と合わせて今後運航管理システム並びに運航制御を行うシステムにて情報提供の拡充が必要な要素並びに情報制限が必要と想定される項目について洗い出しを行った。

挙げられた意見については以下のとおり。

表 2.2.1.14-26 情報提供の拡充が必要な要素と情報制限が必要と想定される項目

方針	提供システム(案)	項目	内容
情報提供拡充	運航管理システム	気象情報	現時点では乱気流・視程・雲底・着氷情報は運航管理システム、飛行制御システム上双方で情報連携されない為、提供が必要。また、現時点で運航管理システムには上記含む気象情報が連携されない為、拡充が必要。
		制限区域	対地 150m 並びに小型無人航空機禁止法該当箇所が運航管理システム並びに飛行制御システムの双方で連携されない為、提供が必要。
		障害物情報	NOTAM 等にて有人機では提供されている物件情報を受け取る事ができない為、拡充が必要。また、地形情報は飛行制御システムのみで確認が可能な為、

			運航管理システム側でも情報連携が必要。
		他航空機	無人航空機の場合、該当の運航管理システムに接続しているドローン以外も情報連携が必要。また、有人機情報も連携が必要。 ヘリコプターについては目的地の提示が今後必要。
		第三者	現状システムとしては離着陸地点並びに飛行経路上の第三者について検知する方法がない。離着陸地点は基準に則った安全管理の上、状態連携が必要。
		ポート	ポートの健全性並びに状況についても確認が必要。
	飛行制御システム	フライトプラン	自社機体の飛行目的については確認が必要。
		障害物情報	飛行制御システム側においても NOTAM 等にて有人機では提供されている物件情報を受け取る事ができない為、取得が必要。
		機体システム	機体状況（コンパス等）が不正な場合のアラート発報が必要。事前の整備点検状況も確認可能となる方が良い。
情報提供制限	運航管理システム	他航空機	他社機体情報が運航管理システム上にて確認可能な場合に社名、目的、飛行ルート、機体等の情報は管理者等の適切な権限者以外は提供不可等の制限が必要。

● 運航体制の比較検証

物流

領域においては運航体制として操縦士のみ、または操縦士と運航管理者の 2 つの体制にて実証を実施。各体制におけるメリット並びにデメリットの整理を実施。


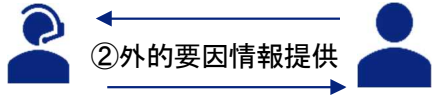
	操縦士のみ	操縦士と運航管理者
運航体制	<p>①運航判断・操作</p>  <p>操縦士</p>	<p>①内的要因情報提供</p>  <p>②外的要因情報提供</p> <p>③運航判断・操作</p> <p>運航管理者                      操縦士</p>
概要	・ 操縦士単体でシステム等を確認の上、操縦士自身が判断し操作を実施。	・ 操縦士は内的要因（フライトプラン、機体情報）に関する情報提供。それを受け、運航管理者は外的要因の情報を連携。操縦士にて運航判断・操作。
メリット	・ 操縦士単体で飛行を実施する為、人員並びにコミュニケーションコストが少ない。	・ 空域の安全担保の観点から運航管理者は見るため、有人機接近時等については認知の早期化を図る事が可能。 ・ 緊急着陸地点への誘導等、緊急度が高い状況において、外部状況の提示が素早く実施する事が可能
デメリット	・ 操縦士のみで運航を実施する場合、操縦士は自機体の運航に集中する為、有人機等の接近に対して認知が遅れる等の可能性がある。	・ 操縦士 1 に対して運航管理者 1 の体制の場合、運航管理者と操縦士間でのやり取りは負荷となる。または有用性が低い。 ①運航管理者分の人員コストが発生。

図 2.2.1.14-83 運航体制の比較

今回実証を行った物流事業者から、運航管理者については主に緊急時等において存在は有用と意見が

挙げた。ただし、本実証にて実施した機体 1 に対して運航管理者 1 人の体制では人員コスト等観点から問題がある。ビジネスモデルを含めた成立の為には次のステップとして図 2.2.1.14-84 のような体制にて検証が有用であると想定される。

		パターン 1	パターン 2
運航体制概念図			
運航体制		<ul style="list-style-type: none"> <li>・運航管理者 1 人は 1 人の操縦者の運航状況の管理を行う。</li> <li>・操縦士 1 人は複数の機体に対して運航判断並びに操作を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運航管理者 1 人にて複数の操縦者の運航状況の管理を行う。</li> <li>・操縦者 1 人に対して機体は 1 機にて実証を実施。</li> </ul>
役割	運航管理者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運航管理者は自身の担当する操縦士からの要望に応じて受動的に必要な情報の提供を実施。ただし、運航の安全に支障が発生しうる場合、例えば他機体との接近時や機体のバッテリー残量低下時等発生した場合は能動的に連絡、情報提供を実施。</li> </ul>	
	操縦士	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操縦士は複数台のドローンの運航判断並びに操作を実施。</li> <li>・操縦士は自身にて判断の上、操縦を実施。必要に応じて運航管理者側へ周囲の天候等情報提供を依頼。</li> </ul>	

図 2.2.1.14-84

物流領域における人員コストを考慮した体制のパターン

● 優先度設定検証

平時における警備、点検領域にて接近時の回避対象機体決定の為、事前の優先度設定を実施した上で輻輳検証を実施。実証結果から、民間が運用する無人航空機同士の運航調整において、飛行前に何らかのルールに基づいて優先度を設定することが、有用であるとの結論となった。

ただし、同一優先度の機体が接近した場合や、バッテリー残量低下等の緊急事態が発生した場合、飛行中に優先度が変わる場合など、様々なシナリオを基にルールの整理が必要である。優先設定検証に関する問題点並びに今後の課題をまとめると以下のとおり。

表 2.2.1.14-27 優先設定検証に関する問題点と課題

問題点	課題
同一優先度の機体接近における飛行優先度決定の方法。	有人機と同様、承認者への申請先勝ちのルールを適用。近接アラート発報時、運航管理システムへ優先飛行申請を先に実施した機体を優先。
警備巡回から犯人追跡への切り替えの際、優先度変更を運航管理システムに通知する方法。	優先度・飛行経路の変化する機体は、事前に複数の飛行計画を申請し、飛行計画の切り替え申請を行う仕組みを設ける。優先度は飛行計画に紐づける。
機体緊急時における優先度の設定が必要。	左記優先度設定の中に用途に加え、緊急事態が発生した機体（バッテリー残量低下等）の優先度を追加する。

● 緊急時の対応検証

物流領域において飛行中の有事発生を想定し、緊急着陸地点への着陸を完遂した。シミュレータを活

用し、有人機接近を想定した、無人航空機の引き返しについても実施を行い完遂した。



図 2. 2. 1. 14-85 緊急時の対応検証における UTM 画面

一方で、ドローン機体が GPS やコンパスを喪失した際のフェールセーフ機能について現状考慮されていない事、また上記の喪失状態においても飛行制御を行うシステムからアラート等が発報されるべきである等の意見が挙げられた。また本実証では緊急着陸を実施したが、都市部を想定する場合そのような緊急着陸地点の確保が難しく、ヘリポート等の活用等制度措置が必要であると想定される。また現状有人ヘリコプターの機体に関してはそもそも目的地が明示されていない。その為、進行方向が予測困難である為、ヘリコプター側から目的地提示の上、運航管理システムとの連携が必要である等の意見が挙げられた。緊急時の対応検証に関する問題点並びに今後の課題をまとめると表 2. 2. 1. 14-28 のとおり。

表 2. 2. 1. 14-28 緊急時の対応検証に関する問題点と課題

問題点	今後の課題
ドローン機体の GPS/コンパスを喪失した際に、フェールセーフとなる機能がない。	GPS に依存しない位置推定技術（画像認識・5G）の検討。複数 GPS アンテナにより、磁気干渉に影響を受けない方位推定技術の検討が必要。
ドローン機体の GPS/コンパスを喪失した際に、フェールセーフとなる機能がない。 有人ヘリコプターが接近した際の回避基準を半径 9km（3 分）圏内到達時と仮定。範囲が広く実運用時に同様の基準を設けるとドローンの回避操作が頻発する懸念あり。	ヘリコプターの動態監視装置に目的地を明示する機能の追加検討が必要。
都市部にて運航を行う場合、緊急着陸地点の設定が困難と想定される。	ビル屋上のヘリポートを緊急着陸地点に設定可能とするなどの法的対応が必要。
機体の状況（コンパス、RTK 等）が離陸前に不正な状態であった場合でもエラー等が発生しない。	運用等で事前確認事項を設定する、飛行制御システムとして警告を発報する等対応が必要。



#### ④ 地域実証検証

地域実証検証では医薬品配送方法の検証、授受管理検証、費用見積と既存交通との比較、遠隔による制御飛行、費用構造の検証を実施。上記検証結果並びに確認された課題を以下に示す。

##### ● 医薬品配送の検証

物流領域にて実施した医薬品配送の検証についての結果を示す。医薬品配送として配送時間、配送重量、配送品質の 3 点から要件を設定し検証を実施。配送時間については、求められる要件であった出発から到着までの既存の配送時間 15 分に対してドローン配送時の配送時間が約 9 分と配送時間の短縮可能であることを確認。上記を通じてドローン配送の場合、緊急時等を想定した迅速な配送に関して有用性が見られることを確認した。実証を行った各回における配送時間は表 2.2.1.14-29 のとおり。

表 2.2.1.14-29 物流領域実証における配送時間

実施日	配送出発時間	配送到着時間	配送時間
10月27日	14:40:31	14:49:30	8分59秒
	15:40:42	15:49:48	9分06秒
10月28日	10:35:08	10:44:29	9分21秒
	13:35:16	13:44:25	9分09秒
	14:35:22	14:44:30	9分08秒

配送重量に関して本実証において平時での医薬品卸企業では最小 2kg からの輸送を実施。本実証においては安全等を考慮し上限 5kg までの配送を実施し、問題なく輸送可能であることを確認した。上記を通じて、医薬品卸企業の最低限度求められる重量の輸送が問題なく可能であることを確認した。配送品質に関して本実証においては、医薬品を模擬したアンプル（内容量水）の輸送を紙のケースに梱包の上配送を実施。また内部には温度計を設置し、温度管理に関しても問題ないか確認を行った。

#### 配送物ならびに梱包の様子

##### ● 医薬品配送対象



##### ● 梱包の様子



図 2.2.1.14-86 物流領域実証で使用した配送物及び梱包の様子  
 上記方法にて梱包・配送の結果、破損等無く輸送可能である事を確認。配送品質については十分に要件を満たしていることを確認。

一方で機体の飛行状況についてエンドユーザ側に還元する方法の検討を必要とする課題があげられた。医薬品配送の検証に関する問題点並びに今後の課題をまとめると表 2.2.1.14-30 のとおり。

表 2.2.1.14-30 医薬品配送の検証に関する問題点と課題

問題点	今後の課題
機体の飛行状況について運航者サイドは把握できるが、エンドユーザ側でどのように確認すればよいか。	運航者側の運航管理システムとは別に顧客向けに配送状況を確認できるシステムを開発する必要。

● 医薬品授受管理

事前に計画実施した方法にて実証を実施した。

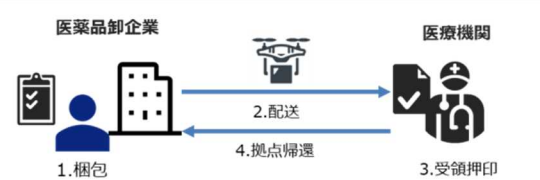
授受方法 (イメージ)	授受要件	要件達成方法
 <p>1. 梱包 2. 配送 3. 受領押印 4. 拠点帰還</p> <p>1. 医薬品卸業者が受注伝票に基づき、品物および員数を確認。厳封梱包。 2. ドローンにより配送を実施 3. 医療機関にて荷物の取り外し、内容の確認および受領印を押印。 4. ドローンにて認印が押された納品書を返送。 ※ドローン配送が緊急配送の場合は定期配送時にまとめて回収することも一案であるが、現状は原則不可。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●受取人の確認 受取人が病院関係者である事を確認できる事</li> <li>●授受記録の作成 授受を行った品目並びに日付が記録可能である事</li> <li>●配送品の確認 配送品が依頼のあったものと齟齬がないことを確認する事</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●受取人の確認 医薬品配送担当者が鍵を保有し、ドローンボックスの開錠を行う</li> <li>●授受記録の作成 現状と同様に配送担当者が日付並びに品目をシステム上に記録を実施</li> <li>●配送品の確認 医療関係者が授受時点にて内容を確認。押印を行い、認印を押す事で確認。押印された納品書はドローンにて返送</li> </ul>

図 2.2.1.14-87 医薬品授受管理方法

実際の授受の様子については図 2.2.1.14-88 のとおり。



図 2.2.1.14-88 医薬品授受の様子

上記の授受管理方法を実際に行う事により現状の医薬品配送の要件である受取人の確認、授受記録の作成並びに配送品の確認の要件を充足し、現状の配送における授受要件を達成する事が可能と確認した。

一方でドローンの医薬品配送を実施する際にガイドラインに則した形にて配送を行う必要があるが、現状のガイドラインではドローンの医薬品配送に当たり満たすべき要件が具体的に示されていない為、ガイドライン側にて規約の策定が必要等の意見が挙げられた。  
授受管理の検証に関する問題点並びに今後の課題は表 2. 2. 1. 14-31 のとおり。

表 2. 2. 1. 14-31 医薬品授受管理の検証に関する問題点と課題

問題点	今後の課題
ドローンにて医薬品輸送を行う際に「ドローンによる医薬品輸送に関するガイドライン」に即した対応が必要であるが、具体的な要件として何を充足すること（現状の配達方法の要件を満たすドローン独自の要件の設定）が求められるのか不明確。	実物の医薬品を医療関係者等へ輸送する際、ガイドラインにて規約の策定が必要。

● 費用見積と既存交通との比較

本実証から算出した本実証における実証時、レベル 4 想定時、軽貨物事業者それぞれの医薬品配送 1 回当たりの費用を記載する。なお、レベル 4 想定時の医薬品配送コストについては実証にて配置を行った飛行ルート上の補助者を配置不要とした際の費用と想定。

表 2. 2. 1. 14-32 費用見積と既存交通との比較

輸送方法	1 回あたりの輸送費用 (1~20km 間)	軽貨物事業者との差額
実証時ドローン医薬品配送 (補助員あり)	約 200,000 円	約 195,000 円
レベル 4 想定ドローン医薬品配送 (補助員なし)	約 50,000~5,000 円	約 45,000~110 円
軽貨物事業者医薬品配送	4,890 円	-

表 2. 2. 1. 14-32 のとおり、現時点の医薬品配送にかかる 1 回当たりのコスト差は軽貨物事業者に対し約 200,000 円もあり、相当規模の乖離が見られるため継続的なビジネスの実現は不可能であると想定される。市街地でのドローン配送の継続的なビジネス化を目指す場合は橋梁上等に配置する補助者の削減は必須である。

レベル 4 を想定し補助者を配置不要とした場合においても、軽貨物事業者に対し最大約 45,000 円から最小 110 円のコストの乖離が想定される。この場合の 1 回当たりの輸送費用は表 2. 2. 1. 14-33 に記載した項目を変動要因として想定している。

表 2. 2. 1. 14-33 輸送費用の変動要因

変動要因	変動要因内容
運航頻度	機体性能向上による就航率向上、配送需要の精緻化による配送頻度の明確化
運用機数	同時運用可能な機数の拡大

その為、上記の運航頻度、運用機数といった変動要素に対して、機体性能向上による悪天候時の就航率向上と、配送需要の精緻化による配送頻度の明確化、そして運航管理システム及び手順を確立させることにより同時運用可能な機数を拡大させる事が今後必要と想定される。

上記のとおり、ドローン配送において他既存の配送方法に対してコスト観点にて同等程度または優位性を目指すにはレベル 4 が可能になる事のみではなく、機体性能の向上や運航上の改善例えば 1 操縦士による複数機体の運航等が必要であると想定される。その為、上記を実現するにあたり、政策上においては 1 対多数機運航のガイドライン作成や自動操縦に限定したライセンス制度の解禁、制度化が必要と想定される。



- 遠隔制御による飛行

遠隔制御による飛行については、空撮領域にて実証を実施。播磨科学公園都市遠隔操縦室より実際に空撮事業者開発のアプリケーションを利用して遠隔操縦を実施。



図 2. 2. 1. 14-89 遠隔制御による飛行の様子

記載の体制にてサッカースタジアム現地操縦士と連携の上、遠隔操縦を完遂した。

一方で遠隔操縦を実施する際には遠隔地から周囲の状況把握が必須である為、離発着地点への措置やその基準が必要であると意見が挙がった。また、遠隔操縦は、一般的な操作方法と一部異なる為、遠隔操縦に特化した訓練等が必要ではとの意見があった。

また LTE 断絶時等の対応方法についても代替手段の検討や運航ルールの設定が必要であると想定される。遠隔操縦の検証に関する問題点並びに今後の課題は表 2. 2. 1. 14-34 のとおり。

表 2. 2. 1. 14-34 遠隔操縦の検証に関する問題点と課題

問題点	今後の課題
遠隔操縦の場合、遠隔地からの周囲の状況把握（安全確保）が必要。	離着陸地点の基準（ポート有無、離隔基準）が必要。また今後はドローンポートと合わせた実証を実施。
遠隔操縦の場合、目視内での操縦士と操作等が一部異なる。	遠隔操縦に特化した操縦士の訓練の実施が必要。
LTE が断絶または電波状況が悪くなった場合、操縦が不可となる。	LTE 断絶時の代替手順の検討や運航ルールの整備が必要。
現時点の運航体制ではビジネスの成立が難しい。	ビジネスを成立させるためには今回、リモートパイロット 1 と現地ドローンが 1:1 であった体制を将来はリモートパイロット 1 名が複数のドローン进行操作する形が必要。

(6) 実証課題

本実証にて確認した問題点並びに課題についての詳細を記載する。

表 2.2.1.14-35 実証で確認した問題点と課題

領域	問題点	詳細	解決に向けた課題
社会 実装	運航管理者：操縦士：機体が1：1：1となることを前提とした現時点の運航体制ではコストが大きい。	1機体に対して操縦士1人、操縦士1人に対して運航管理者が1人という前提では、1機体の飛行に必ず2人以上の人員が必要となる為、コストが大きくビジネスの成立が難しい。	【操縦士一人当たりの操作機体数の拡大】 遠隔操縦士1名に対して複数のドローン操作を可能にする。
	空撮領域における連続撮影にて機体の入れ替えは現状パイロット間でやり取りが発生し、調整コストが大きい。	複数機体を用いた連続撮影を行う場合には、パイロットの間での情報伝達が細かに必要で、都度調整が必要となっている。ビジネス時は撮影要件がよりシビアになることから、調整コストが大きくなることで操縦が難しくなることが懸念される。	【入れ替わり手順の整備】 入れ替わり等の手順について運航手順の精緻化を行う。
	ドローンにて医薬品輸送を行う際に「ドローンによる医薬品輸送に関するガイドライン」に即した対応が必要。	ドローンにて医薬品輸送を行う際に「ドローンによる医薬品輸送に関するガイドライン」に即した対応が必要となるが、現時点で規約等が制定されていない。	【医薬品配送ガイドラインの整備】 実物の医薬品を医療関係者等へ輸送する際、ガイドラインにて規約を策定する。
	警備領域にてドローンが十分に活用可能となるような空域の利用方法検討が必要。	レベル4の飛行において警備中に元々の飛行エリア（敷地）外に逸脱する際、どこに逃走するか分からない侵入者を追いかける飛行が現状難しい。  レベル3に関しては24時間占有的な利用ができない。	【緊急時の飛行エリア設定の整備】 警備の追跡といった緊急時には、民間機の利用においても特定範囲内であればルートなしで飛行可能となるような措置が必要。  【飛行領域の占有】 事業内容によっては飛行領域の占有が必要になる為、他事業者からの調整要望等がない限り24時間占有を認める。
技術 開発	高速移動する機体に対するUTMの活用可能性について検証が未実施。	例えば空撮は機体速度が時速60km/h以上となる事が想定される為、UTMの近接アラートの閾値やレスポンス要求などが現行の想定と合致せず、適切に機能しない可能性がある。	【高速移動体向けレスポンス検証】 高速移動する機体に対してUTMがどの程度活用可能かレスポンス等の観点からの検証を行う。

	<p>近接アラートの適切な閾値は機体の飛行速度に依存する為、現状の仕組みでは対応が困難。</p>	<p>現在の近接アラートは距離を閾値としている為、例えば 150m の閾値に対し接近する2 機体の相対速度が5m/sであれば衝突までの猶予時間は 30 秒となるが、相対速度が 30m/s となると 5 秒となる。両者の危険度は明らかに異なる為、速度に応じた管理が必要。</p>	<p>【近接アラートへの TTC 組み入れ】 衝突予測時間(TTC)を閾値に組み入れる。</p>
	<p>優先度変更を UTMに通知する方法が必要。</p>	<p>本検証では、警備巡回から犯人追跡への切り替えの際等、飛行中に動的に飛行目的を変更し、優先度を変化させる設計を実施した。本実証では通話によってその変化を管理したが、現実的には UTM へと優先度変化を申請するような仕組みが必要である。</p>	<p>【優先度変更申請の実施】 優先度・飛行経路の変化する機体は、事前に複数の飛行計画を申請し、飛行計画の切り替え申請を行う仕組みを設ける。優先度は飛行計画に紐づける。</p>
	<p>ドローン機体のGPS/コンパスを喪失した際に、フェールセーフとなる機能がない。</p>	<p>離陸時及び飛行中に GPS/コンパスの喪失が起こった場合、異常な飛行を行う可能性があり、安全上の問題がある。</p>	<p>【GPS/コンパス以外の自己位置推定技術の開発】 GPS に依存しない位置推定技術（画像認識・5G）を検討する。また、複数GPS アンテナによる磁気干渉に影響を受けない方位推定技術も検討する。</p>
	<p>LTE が断絶または電波状況が悪くなった場合の対応検討が必要。</p>	<p>LTE が断絶または電波状況が悪くなった場合には、状況把握ができなくなったうえで操縦が不可となり、安全上の問題が発生する。</p>	<p>【LTE 断絶時の代替策の検討】 代替手順の検討を行う。</p>
環境整備	<p>特定領域の要件に沿った形での UTMまたは機能が必要。</p>	<p>空撮の場合、機体同士が接近しやすいことや移動速度が高速になりやすいなどの特徴があり、他領域とは UTM に要求する機能が異なる。一方、各領域に合わせた UTM 開発を行うと様々な UTM が乱立する恐れがある。</p>	<p>【UTM のシステムツリーの検討】 機体管理の階層化のコンセプトを明確に提示し、それに沿った形でtree 状の管理を実施できるようにする。</p>
	<p>UTM 提供者毎に仕様が異なると開発コストが掛かる。</p>	<p>現在、複数の UTM 提供者が存在しており、接続仕様がそれぞれの UTM 間で異なる為、個別の UTM ごとにクライアントソフトウェアは異なる実装を加える必要があり、コストがかかっている。</p>	<p>【UTM の規格化】 UTM に対する接続インターフェースを規格化する。</p>
	<p>自社機体内で接近が予想されている場合にはどのように安全運航を管理するのか現時点で不明。</p>	<p>小型機は機体が接近するシチュエーションが多い為、飛行計画時点で機体接近を前提とするケースが存在する。現行のUTM 設計では飛行中常時複数の近接アラートが発報され、アラートとしての情報価値が低くなっている。</p>	<p>【意図的な接近を前提とした安全管理方法・アラートの整備】 元々接近が想定されている場合、UTM に対応するのか、運航を管理している会社で管理して上位の UTM で他社ドローンとのコンフリクトを判定して通知、</p>

	る。一方で、UTM クライアント側でアラート表示を抑止した場合、安全管理上の問題が残ることになる。	エスカレーションするののかという仕組み決めが必要。
複数機体での空撮用途等、意図的に近距離を飛行する機体に対するアラートの検討が不足している。	小型機は機体が接近するシチュエーションが多い為、飛行計画時点で機体接近を前提とするケースが存在する。現行のUTM 設計では飛行中常時複数の近接アラートが発報され、アラートとしての情報価値が低くなっている。	【UTM アラートの抑止】 UTM としてはアラートを発報し、UTM クライアントで非表示とする。
警備用途など、機体位置が周辺他社へ通知されることを望まない事業者が存在する可能性がある。	警備業者が巡回警備を行っている場合に、巡回ルートやルート上の監視時刻情報などが他社に開示されることを避けたい場合がある。そのような場合に、近接アラートを利用して広く他社に位置情報を通知することは望ましくない。	【周辺機体情報の匿名化】 ・機体情報は必要最低限とし、用途・社名などを含めない形で情報を送付する。 ・衝突に対する緊急度が高くない段階では他機体の相対方向のみを提示する。 ・逸脱等、異常行動を起こした機体でない場合は、機体位置ではなく、空域を示す。
高度情報は、RTK 非対応の機体の場合は信頼性が極めて低い。	RTK 対応機体であれば高度情報は誤差数 cm 程度のオーダーであるが、RTK 非対応機体の場合の高度情報の誤差は数 m～数十 m というオーダーになる場合もある。これにより、高度情報の信頼性にばらつきがあり、全体としての動態情報としての信頼性が低下する可能性がある。また近接アラートの判定の信頼性が低下することで安全管理上の懸念が発生する。	【低信頼な高度情報への対応検討】 ・RTK 非搭載機体の場合、離陸時に離陸地点の地表からの高度を登録する。 ・高度情報を正確に取得できる仕組みを整備する。 【近接アラートの信頼性情報の追加】 ・RTK 搭載機体同士かそうでないかで判定ロジックを分ける。 ・原則水平離隔をとる前提とし、水平距離で判定する。
複数機体での飛行を行う場合に、周辺他社機体の接近に対し領域内の複数機体すべてからアラートが出るのは情報として過剰である。	空撮では比較的狭い範囲内で複数機体の飛行を行うケースが存在する。そのような場合に、周辺他社機体の接近に対し領域内の個別機体すべてからアラートが出るのは情報として過剰である。	【空域単位での近接アラート開発】 空域 vs 機体の近接アラートを追加することで、他社向けには空域での接近を通知する。
同一優先度の機体接近における飛行方法が検討できていない。	飛行計画時点で用途に応じた優先度設定をした場合にも、同一優先度に設定した機体の接近が発生することは考えられる。その場合にいずれの機体の飛行を優先するのか、またはどの機体が回避行動をとるべきなのかについて検討ができていない。	【UTM による動的な優先度決定方法の整備】 有人機と同様、承認者への申請先勝ちのルールを適用する。近接アラート発報時に UTM へ優先飛行申請を先に実施した機体を優先する方式を導入する。



優先度設定に、非常時などのインフライトでの優先度変化の仕組みが検討されていない。	バッテリー低下や機体故障など、インフライト中に何らかのトラブルが発生した機体が優先する仕組みが必要。例えば有人機の場合は、燃料残が少なくなった機体を優先して飛行させる仕組みが存在する。	【非常時向けの優先度設計】左記優先度設定の中に用途に加え、緊急事態が発生した機体（バッテリー低下等）の優先度を追加する。
有人ヘリコプターが接近した際の回避基準を猶予時間3分圏内到達時と仮定した場合、ドローンの回避操作が頻発する懸念がある。	本実証では、有人ヘリコプターが接近した際の回避基準を半径9km（3分）圏内到達時と仮定したが、範囲が広く実運用時に同様の基準を設けるとドローンの回避操作が頻発する懸念がある。	【有人機の到着地点情報共有】ヘリコプターの動態監視装置に目的地を明示することで、回避対象範囲を制限する。
都市部にて運航を行う場合、緊急着陸地点の設定が困難と想定される。	都市部では自由に着陸できる場所を飛行毎に確保するのが難しい。しかし、緊急着陸地点は安全管理上必要。	【緊急着陸地点の整備】ビル屋上のヘリポートを緊急着陸地点に設定可能とするなどの法的対応が必要。
機体の状況（コンパス、RTK等）が離陸前に不正な状態であった場合でもエラー等が発生しない。	離陸時及び飛行中にコンパスや位置情報に異常が発生した場合、異常な飛行を行う可能性があり、安全上の問題がある。	【機体の正常性確認手順・手法の整備】 ・運用等で事前確認事項を設定する。 ・FOSシステムとして警告を発報する仕組みを導入する。
機体の飛行状況を運航者サイドは把握できるが、UTMを見ていないエンドユーザ側では把握できない。	機体の飛行状況を運航者サイドは把握できるが、UTMを見ていないエンドユーザ側では把握できない為、物流領域での配送管理等エンドユーザ目線での位置情報管理ができない。	【エンドユーザ向け位置情報共有システムの開発】 UTMとは別に顧客向けに配送状況を確認できるシステムを開発する。

### 5.2.1.3 結論

#### (1) 実証総括

本研究開発項目の成果および意義は、実運用を想定したユースケース検証により、運航管理システムの社会実装に向けた課題を明らかにしたことにある。本項目では運航管理システム並びに物流、警備、点検、空撮のそれぞれの領域毎に実証の結果と評価、およびそれらを踏まえた提言内容を示す。

#### ● 運航管理システム

本実証では、運航管理システムの機能や運用方法について検証を完遂した。結論として運航管理システムは、レベル 4 並びに複数の無人航空機が運航する場合の運航調整等に有効である。現状、各事業者は運航時、自機体の安全な飛行に対し十分な体制を取っているが、例えば他の事業者が運航する無人航空機や周辺を飛行する有人航空機の情報などは、運航管理システムに接続されていない既存のシステムでは事前に把握する事が難しい。これらの情報を共有する手段として運航管理システムが実装され、運航調整のシステム化が実現することによって、将来的にドローンの運航密度が増えたとしても、空域の安全性の向上と運航調整の効率化の両立することが可能である。

一方で、機能面や運用面では課題も見られた。機能面では現時点で運航監視システムは、UASO 側に提供可能な情報が現行有人機の運航に用いられる情報と比較して劣っている部分が存在する。例えば、現状有人機の NOTAM に提供されている物件情報や、雲底等の視界に関わる情報等も不足しており、今後情報の拡充が必要である。またアラート機能に関しても本実証では接近、逸脱の双方の検証を実施したが、双方接近の閾値等に改善の余地が見られる。

また、運用面では運航管理システムの責任範囲や、全体コンセプトの提示が UASO 側に示されるべきであるとの意見も挙がった。また、今後運航管理システムを誰に対して開示を想定し、どのように運用するかといった運航管理の体制検討が必要である。

#### ● 物流領域

本実証では医薬品配送のケースを想定。実証では医薬品卸企業から病院への配送を想定し、実証を完遂した。配送の迅速性や災害時の代替手段としてドローン配送の有効性を確認した。一方で、物流領域においては運航体制整備に課題が見られる。需要が見込まれる市街地等を対象にドローン物流を行う場合、現行法上では飛行ルートが限られる事や、補助者の設置が必要になる。本実証でも橋梁の通過に際しては、橋梁 1 本に対して 2 名から 4 名の補助者を配置した。その為、現状では人件費によりビジネス成立が困難である。

一方で今後レベル 4 運航が可能になった場合でも、現状の操縦士 1 人が 1 機の機体を扱う体制では、同様に人件費面で継続的なビジネスモデルの成立が困難と想定される。その為、今後は運航管理システムの活用を前提とし、1 人の操縦士が複数機のドローンを運航する等の効率的な運航体制の構築が必要である。

#### ● 警備領域

本実証では地域の施設警備を実施。ドローンを定期的に巡回させ敷地全体、上空からの監視が可能となり、警備レベルの向上を実現する事が可能であると確認した。また、有事にはドローンが空から直接急行し、早期現状把握並びに抑止力の向上が実現可能である。また、警備領域においては不審者等を発見し、侵入監視・急行を行う際に通常想定している飛行ルートから逸脱し、追跡を行う対応が必要である。その為、本実証では運航管理システムを利用した他事業者機体と輻輳検証を完遂した。

一方で、課題としては機体逸脱時の他事業者ドローンとの運航調整に関して、民間機同士の優先度の設定が必要であると想定される。例えば、緊急時に不審者を追跡する機体と点検を行っている機体の空域が重複した場合、より緊急性の高い警備機体に空域の優先的な利用が認められる等の優先度の枠組み並びにその運用が必要である。また、警備といった秘匿性の高い業務については、運航管理システムにて飛行ルートや機体の開示が制限される等の措置が必要である。ビジネスモデル面としては 1 台のドローンが複数の役割を行う、例えば通常時は点検を行い、不審者等を発見した場合、警備ミッションを行うというマルチユースの検討が必要である。

#### ● 点検領域

本実証では地域点検や遠隔点検を想定したケースを実施。太陽光パネル点検等の広大な施設については、自動航行によるドローン点検が有用であることを確認。また、煙突等の複数施設にて地域点検を想定した実証を実施。高所等の人立ち入り困難な場所や、広大な施設の安全で効率的な点検が可能な事を確認した。現状、既に一部点検にてドローンが活用されているケースについても一部の自治体関係者から意見が挙げられた。

一方で、ドローンにて点検可能なコア人材が不足している事が更なるドローンによる点検の活用の一つの課題となっている。その為、遠隔操縦を活用し、操縦士 1 人当たりの点検数を拡大させるなどの対応が必要となる。また、遠隔点検の課題として施設からの電波干渉、非 GPS 環境並びに LTE の通信ができないケースが多く存在する。上記影響の技術的な対応や、LTE の通信ができない場合の対処法等の継続的な検討が必要である。

- 空撮領域

本実証ではスポーツ場における空撮を完遂し、ドローンにおいてスポーツ解析の有用性を確認した。スポーツ施設にて空撮サービスを継続して提供する場合、運航管理システムを利用した遠隔操縦にて、人件費等のコスト削減が有用であることを確認した。また、自社製ソフトウェアと運航管理システムの接続を実施し、連携が可能であることを確認した。

一方で、空撮領域においても物流領域と同様、現状の操縦士 1 人が 1 機体を運航する体制の場合、コスト上継続的なビジネスモデルの成立が難しいと想定される。その為、今後は操縦士 1 人が複数機体を同時に運航する体制の検討がビジネスモデル拡大の為には必要である。また、空撮領域の運航特性上、自社の複数運航機体が特定領域内で意図的に接近する状況が多く発生する。その場合、運航管理システム側がどこまで運航に対してアラートを発報するべきかといった運航管理システムと、他社システムとの機能的な役割分担の検討が今後必要である。

## (2) ドローンの社会実装に向けた提言

本項目においてはドローンの社会実装に向けて、本実証の目的である運航管理システムの技術開発並びに持続可能な運用体制それぞれに対して提言事項をまとめる。

### ① 運航管理システムの技術開発に関する提言事項

本項目では、本実証にて実証事業者から挙げた運航管理システムに関する技術的な提言事項について記載を行う。なお、運航管理システムを利用した運航体制の観点は、次項の持続可能な運用体制に関する提言事項にて記載を行う。

- UASO 側にて満たすべき責任/機能を明示したコンセプトの提示が必要。  
運航管理システムがどこまでの責任・役割を担うのか、またどこまでの機能を持つ事を想定しているのかといった全体アーキテクチャが示されていない。その為 UASO 側が運航管理システムを利用する場合、自社としてどこまで責任並びに機能を持つべきなのかというスコープが不明である。その為、特定の領域に特化した運航体制システムの乱立を招く恐れもある。
- UASO システムと運航管理システムの接続方法については統一的な規格が必要。  
運航管理システムの提供者が海外、国内において複数存在する事が想定される場合、提供者毎に接続方法が存在する場合では、UASO の対応コストが大きくなる。その為、運航管理システムとの接続方法については統一的な規格が必要である。
- 運航管理システムからの提供情報の拡充が必要。  
現状運航管理システムから提供される情報は有人機航空機の運航管制にて利用されている情報と比較し、十分な情報が提供されていない。具体的には、物流領域の統合運航方法の検証にて整理した気象情報や障害物情報、第三者の情報が不足している。その為、上記情報を保有する企業、機関の情報開示の促進並びに運航管理システムとの情報連携や、必要な情報の取得方法の検討などを通じ、運航管理システムからの提供情報の拡充が必要である。
- 運航管理システムのアラート機能について改善/拡充が必要。  
本実証においては逸脱並びに近接アラートについて検証を実施した。アラート検証でも記載したとおり、アラート機能については接近の閾値や機体の状況等の通知内容の拡充が必要である。
- 運航管理システムの利用用途、運航状況に応じた開示可能な情報の制限が必要。  
運航者の特性上、例えば警備上の観点から飛行ルートを知られたくない警備事業者や飛行そのものを秘匿したい警察・自衛隊が運営する機体が存在する。その為、運航管理システムに表示/通知されるは利用者の利用用途毎に管理されるべきである。また一方で接近時等運航安全上の観点から、運航者同士で機体の位置情報の共有が必要となる場合においても情報開示を抽象化して表示する等の対応が必要である。
- 運航管理システムから提示される運航情報の信頼性の向上が必要。  
現状運航管理システムから提供される情報は、機体から提示される情報に依存している。その場合、仮に機体から送信されるテレメトリ情報の間隔が遅い場合や RTK 非搭載の機体は、運航管理システム上に表示される情報と実際の機体状況にずれが発生する可能性が高い。その場合は、運航管理システムを活用したとしても正しい運航状況が把握できず、安全上問題がある。その為、運航管理システムに接続する機体に仕様制限を求める、または情報の信頼性が低い事を運航管理システムが明示する等の措置が必要である。

### ② 持続可能な運用体制に関する提言事項

本項では持続可能な運航体制各社から挙げた提言事項を記載する。

- 機体の健全性を担保する指標並びに異常検知の仕組みが必要。  
ドローンが周辺環境例えば磁場等から影響を受ける場合、どこまで運航上許容することが可能なのかについて指標の設定が必要である。また、現状機体の異常時（コンパスのずれ等）を検知発

報する機能が機体並びに飛行制御システムに搭載されていないケースが存在する。リスクの高い空域を運航する機体は、上記通知機能等の具備を求める、または運航にあたる確認事項を設定する等の対応が必要である。

- 緊急着陸地点の利用緩和措置が必要。  
本実証では事前に緊急事態発生時の緊急着陸地点を設定の上実証を実施。一方、市街地においては緊急着陸地点の確保が難しい場合等が考えられる。その為、ビル屋上のヘリポートや公共施設の屋上等を緊急着陸地点として設定が可能となるように法的、または制度的な支援措置が必要である。
- 運航前の周辺関係者との調整について法的規定並びに効率化が必要。  
レベル 4 がビジネスの前提である物流、警備については運航を行うにあたり、飛行周辺の関係者等が多岐にわたる。現行では上記関係者への運航許可並びに周知が明確に定義されていない為、事業者はより調整に工数が必要となっている。その為、上記の調整は法的義務なのか努力義務なのか不要なのか明確化が必要。また、現状上記関係者の洗い出しは事業者独自に調査確認しているケースが多くを占め、漏れが発生する等の可能性もある。その為、自治体関係者等の申請はシステム化による明確化、短期化が必要である。
- 複数機体を 1 人で操縦する運航体制、方法の制度化、検討が必要。  
現状の運航体制は、操縦士：機体の割合が 1：1 を前提としており、複数機体を 1 人で操縦する運航方法に関するルールは整備されていない。1：1 を前提とした運航体制は、人件費の負荷が大きく、持続可能なビジネスモデルの構築が困難な事業領域が存在する。その為、ビジネスとして社会実装を行う為には、1 人の操縦士にて 2 機以上の運航を可能とする運航体制の検討、1 対多数機運航のガイドライン作成や自動操縦に限定したライセンス制度の解禁、制度化が必要である。
- 運航における無人航空機同士の優先度の詳細化・検討が必要。  
現状運航管理においては、無人航空機同士の運航における優先度の枠組み設定が示されていない。今後、同一地域にて災害時並びに平時それぞれにおいて複数事業者のドローンが運航する場合、事業者の業務用途や機体状況に応じた複数段階による優先度の枠組み設定が必要。また、同一優先度における優先権の設定方法例えば有人機と同様、承認者への申請先勝ちのルールといった内容の設定が必要である。
- ヘリコプターの動態監視装置に目的地を明示する機能の追加検討が必要。  
現状ドローンと空域が重複する可能性が高いヘリコプターは、FOSTER からの情報提供を通じて運航管理システムにて位置情報の取得を行っている。ただし、現状ヘリコプターから目的並びに進行予定ルートは示されていない為、ドローンがどちらに回避するべきなのかといった点で安全上の懸念がある。また、目的地が明示されていない状況で安全措置の為に回避基準を広めに設定した場合、回避行動が頻発し、ドローン運航者の事業が成り立たないことが想定される。その為、ヘリコプターの動態監視装置に目的地や想定運航ルートを明示する機能の追加が必要である。
- 離着陸地点のリスクに応じた基準設定の明確化が必要。  
離着陸地点に関して立ち入り禁止の措置を行う場合の明確な基準設定が必要。また、目視外補助者等を設置しない例えばドローンポート等における離着陸地点設定の場合には、電波状況や磁場の状況等の確認手順や方法に関して基準が必要である。
- 電波健全性の確認方法、基準の設定が必要。  
LTE を利用した飛行の際には、飛行ルートにおける電波状況の健全性の確認が必要。現状事業者が LTE の健全性を確認する為の方法が存在しない。その為、事業者が想定する飛行ルートの電波健全性を確認する方法や、健全性の基準等が必要である。また、電波干渉等により電波が断絶される可能性もある為、断絶時の対応策の検討も必要である。

● 飛行計画（エリア・ルート）の設定についてより柔軟な対応が必要

現状システムの把握する事が難しいケースが存在する現行制度では、民間事業者による飛行制限空域の設定ができず、特定のエリアを占有するような飛行計画の通報も認められていない。また、目視外飛行の許可・承認申請ではルート特定が必要がある。警備領域等の特定の事業のビジネス成立のためには、他の事業者が運航するドローンの侵入を制限したり、不審者追従等で計画されたルートから逸脱し、計画外のルートを目視外で飛行する等の自由度が求められる。その為、運航管理システム等を活用することにより、上記の飛行計画の設定に関する制限の緩和が必要である。

(10) 5.2.2. 研究開発項目③東日本ユースケース検証（パーソルプロセス&テクノロジー株式会社）

5.2.2.1 事業概要

2020年度及び2021年度に宮城県仙台市にて、物流、警備、鳥獣害調査、点検の領域でドローンの地域実装を想定し、運航管理システムの技術検証とユースケースにおける各種検証を通じてビジネスモデル検証を目的とした。2021年度は主にレベル3、レベル4環境下に近い実ユースケース上でのUTM検証を実施した。UTM環境下にて実施した物流・警備・点検の3領域におけるユースケース概要については以下のとおりである。

(1) 物流

物流業界では、持続可能な社会の実現に向けて「環境理念・環境方針」を掲げ、事業を通じたCO2排出量削減に取り組んでいることから、ドローンに代替することでCO2排出量削減が見込まれている。また、労働力不足への対策や、激甚化、頻発化する災害に強い物流ネットワークの構築にも、ドローンの輸送が期待されている。仙台市の物流事業者では、中山間地域の温泉街から、手荷物、お土産配送や、リネン等を定期便として物資輸送する際、コースとして1.5時間程度時間を要することから、中間の区域でドローンが代替して物資を配送することで、集配の効率化や、温泉街のPRにも繋がり自治体にもメリットがある。これらのことから、物流配送のユースケースを設定した。ユースケースの概要を表2.2.1.14-36物流領域ユースケース概要に示す。

表 2.2.1.14-36 物流領域ユースケース概要

項目	概要
無人航空機を用いたサービスの提供先 (ターゲットユーザ)	物流事業者 (顧客イメージ: 個人・法人)
サービスの提供先が抱える課題・需要 (現状の課題)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 道路状況に左右される配送手段</li> <li>・ 災害時に、道路等が使用不可となった場合の代替手段の整備</li> <li>・ 環境問題への対応 (CO2 削減等)</li> <li>・ 小規模配送時のコスト削減</li> <li>・ 労働人口の減少に伴う人材不足への対応</li> <li>・ 遠距離の配送先 (n 時間)</li> <li>・ 現状の問題) 事業者の配送拠点から離れたエリアで、集荷・配送に要する時間が長く、コストも高い</li> </ul>
従来の取り組み 既存のサービス形態他	車 (トラック等) を活用した配送

<p>上記を踏まえて設定した今年度のユースケース</p>	<p>作並温泉街と街の中間拠点（熊ヶ根想定）における物資輸送の実証実験を行う。 観光客の手回り品を想定し、各種重量における衝撃テスト等を行い物資への影響（損傷など）を調査。 ドローンの上空配送による輸送の迅速化、環境問題の改善、災害時の物資輸送手段として貢献することも視野に実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ UTM 観点の検証 テレメトリ情報（飛行情報）を基に、無人航空機との接近及び衝突リスクの検証。</li> <li>・ 通知（アラート）確認 アラートを受けた各事業者は、飛行管理システムや飛行制御システム等の機能を通じて、自律飛行中の複数機体や他領域の機体の監視を行う。</li> </ul>
------------------------------	---

(2) 警備（イベント施設）

警備分野において、既にドローンは活用されているが、今年度は東京 2020 オリンピックの開催年度でもあり、仙台市で実際に開催された、東京 2020 オリンピック聖火リレーセレブレーションイベントを想定したユースケースを設定した。ユースケースの概要を表 2.2.1.14-37 警備（イベント施設警備）領域ユースケース概要に示す。

表 2.2.1.14-37 警備（イベント施設警備）領域ユースケース概要

項目	概要
無人航空機を用いたサービスの提供先（ターゲットユーザ）	警備会社（顧客イメージ：イベント運営企業/自治体ほか）
サービスの提供先が抱える課題・需要（現状の課題）	<p>事前の調査から当日の実施まで次のような様々な対応を要するためコストが高い。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事前打ち合わせによるヒアリング</li> <li>・ 会場や道路状況、周辺地理等の情報収集</li> <li>・ 収集した情報を基に警備計画や警備指令書の構築</li> <li>・ イベント会場に、監視カメラ等の設備や警備員を配置</li> <li>・ 現地での警備を実施</li> </ul> <p>・ 現状の課題）当日の警備準備に伴う事前の情報収集が警備品質にも影響する。そのため入念な確認を行う必要があるため一定の時間を要する。その結果、コスト増につながっている。また、警備中の課題としては、防犯カメラでは不審者の逃走経路の把握が難しいことが挙げられる。</p>
従来の取り組み 既存のサービス形態他	警備員（有人）による対応を行っている。
上記を踏まえて設定した今年度のユースケース	<p>大規模イベント「東京 2020 オリンピック聖火リレーのセレブレーションイベント」を想定して実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 不審者、不審車両の画像検証及びドローン警備の各種検証を行う</li> <li>・ UTM 観点の検証 テレメトリ情報（飛行情報）を基に、無人航空機との接近及び衝突リスクの検証。</li> <li>・ 通知（アラート）確認 アラートを受けた各事業者は、飛行管理システムや飛行制御システム等の機能を通じて、自律飛行中の複数機体や他領域の機体の監視を行う。</li> </ul>



(3) 警備（鳥獣害）

イノシシの個体数増加に伴う被害の増加に伴い自治体・猟友会・地域住民や警備会社の協力のもと被害発生後には罠を設置し対応している。ドローンにおいて、狩猟時期に合わせて生態エリアの調査を行う事で効率的な罠設置が期待されており、ドローンで取得した空撮後の画像データを、将来的にAI解析する事で、効率的に生息域を割り出せることも同じく期待されている。これらのことから、鳥獣害の警備をユースケースとして設定した。ユースケースの概要を表 2.2.1.14-38 警備（鳥獣害警備）領域ユースケース概要に示す。

表 2.2.1.14-38 警備（鳥獣害警備）領域ユースケース概要

項目	概要
無人航空機を用いたサービスの提供先（ターゲットユーザ）	認定鳥獣捕獲等事業者（顧客イメージ：自治体）
サービスの提供先が抱える課題・需要（現状の課題）	<p>増加傾向にある有害鳥獣に対して、実務者の労働負荷が重くコストが高い</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・年々個体数が増加傾向にあるイノシシへの対応</li> <li>・季節によっては個体重量も 100kg 近くであるため、捕獲から駆除作業が重労働となることへの対応</li> <li>・経験豊富な猟友会の方々の将来的な人材不足への対応</li> </ul> <p>現状の課題として、国からの駆除要請もあり駆除しなければ個体増加の一途をたどる獣害被害に対する自治体・捕獲者の負荷軽減が課題。また、現状の鳥獣対応は地域周辺から被害報告を受けて対応を開始しているため、被害が発生する前に鳥獣を駆除できると農作物被害額を減少させることが図られる。</p>
従来の取り組み 既存のサービス形態他	住民からの被害情報を得て、自治体が地元の猟友会等へ依頼し、わな等を設置。わなにかかった鳥獣を捕獲し、殺処分または各種加工を実施。
上記を踏まえて設定した今年度のユースケース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・獣害被害が発生する前に、ドローン空撮によるイノシシの生息エリアを調査し、予防措置が可能か検証を行う。</li> <li>・UTM 観点の検証</li> <li>・テレメトリ情報（飛行情報）の確認を行う。</li> </ul>

(4) 点検

橋梁点検ビジネスにおいては、人材不足が深刻化しており、各種点検業務において 2030 年には労働人口の減少が加速化すると予測され（出所：パースル総合研究所-中央大学「労働市場の未来推計 2030」）、人材減によるコスト増加の懸念がある。定期点検における打音診断をドローンが担うことはできないが、災害等のスクリーニング調査においては状況を把握できることから、事故や災害の一斉点検では一次調査に適している。特に陸路の寸断や広範囲の状況の把握等に強いドローンはスクリーニング調査に最適である。また、1回の点検業務全行程に占める事務処理業務が 60-70% を占めておりドローン×AIによる業務効率化が期待されている。これらのことから、橋梁点検のユースケースを設定した。ユースケースの概要を表 2.2.1.14-39 点検領域ユースケース概要に示す。

表 2. 2. 1. 14-39 点検領域ユースケース概要

項目	概要
無人航空機を用いたサービスの提供先 (ターゲットユーザ)	点検事業者 (顧客イメージ: 施設管理者)
サービスの提供先が抱える課題・需要 (現状の課題)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・労働人口の減少による専門人材の不足への対応</li> <li>・危険を伴う作業による事故リスク削減</li> <li>・足場の設置や特殊車両の使用によるコスト増への対応</li> <li>・図面作成から対応が必要時の対応</li> <li>・ドローンを活用できるか判断する際の条件やルールの整備</li> <li>・道路橋の老朽化 (2023 年 全体の 39%、2033 年 全体の 63%が建設後 50 年以上経過)</li> <li>・稼働の季節変動 (厳冬・酷暑の実施を避ける傾向)</li> <li>・(現状の問題) 専門性が求められ、高所等、事故リスクを伴う作業が多く、コストが高い。</li> </ul>
従来の取り組み 既存のサービス形態他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・5 年に一度は実施が必要な定期点検</li> <li>・近接目視目検や打音による点検 <ul style="list-style-type: none"> <li>・足場や特殊車両等を用いた点検</li> <li>・ロープアクセスを用いた点検</li> </ul> </li> </ul>
上記を踏まえて設定した今年度のユースケース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・UTM 観点の検証</li> <li>・テレメトリ情報 (飛行情報) の確認を行う。</li> </ul>

### 5. 2. 2. 2 実証計画

#### (1) スケジュール

実証実験実施前の準備から全工程終了までのスケジュールを図 2. 2. 1. 14-90 実証全体スケジュールに示す。

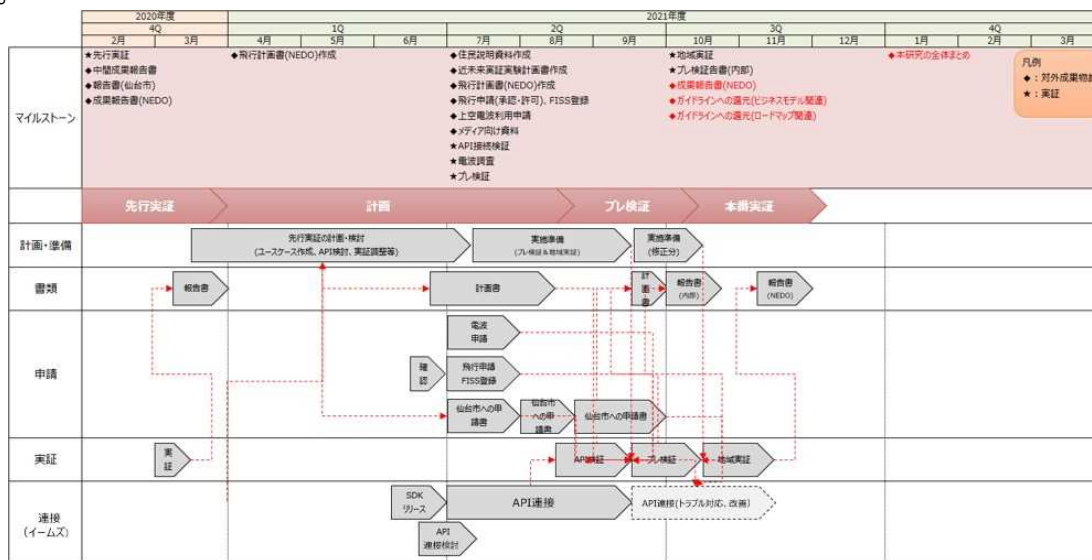


図 2. 2. 1. 14-90 実証全体スケジュール

#### (2) 飛行ルート

##### ・物流

運航管理システム (UTM) にて 2 機体同時に飛行し、それぞれの機体を運航管理システムにて動態管理できることを検証する。また、機体のコンテナ内に温度計、衝撃計を積載し、コンテナ内の温度及び、急発進、急停止、急旋回など実施し、コンテナ内にどの程度衝撃が加わるか計測する。セイコウ大橋付近で点検作業をしている機体と、物流機体とを接近させ運航管理システムにて近接アラート

が発生することを確認する。物流の飛行ルートは、図 2. 2. 1. 14-91 物流に示す。

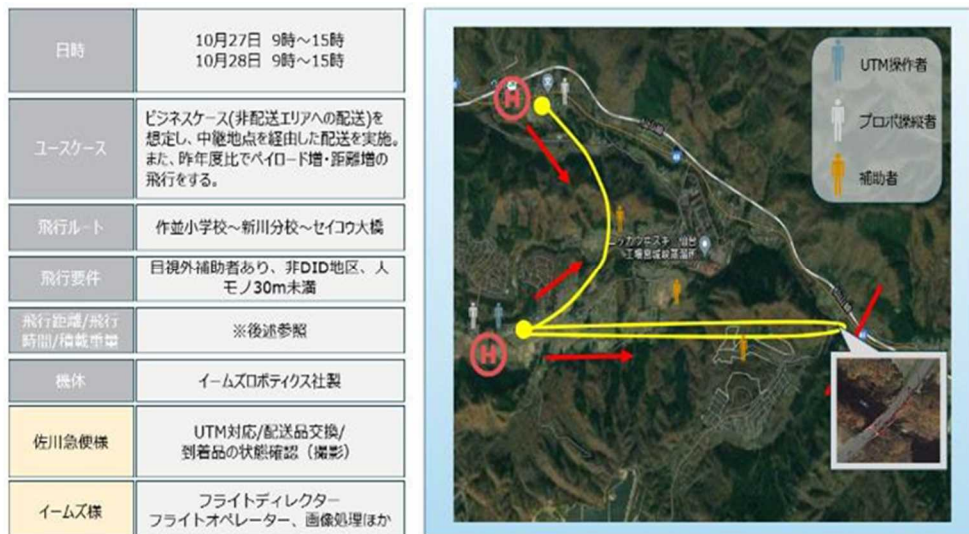


図 2. 2. 1. 14-91 物流

・ イベント施設警備

不審車両のナンバープレートや人物の容姿が識別できる限界距離・角度の検証や、不審者の立ち入り認識と追跡検証を実施した。飛行ルートを図 2. 2. 1. 14-92 イベント施設警備に示す。



図 2. 2. 1. 14-92 イベント施設警備



会場内に潜む不審者の検知を想定した飛行ルートを図 2. 2. 1. 14-93 不審者の検知に示す。

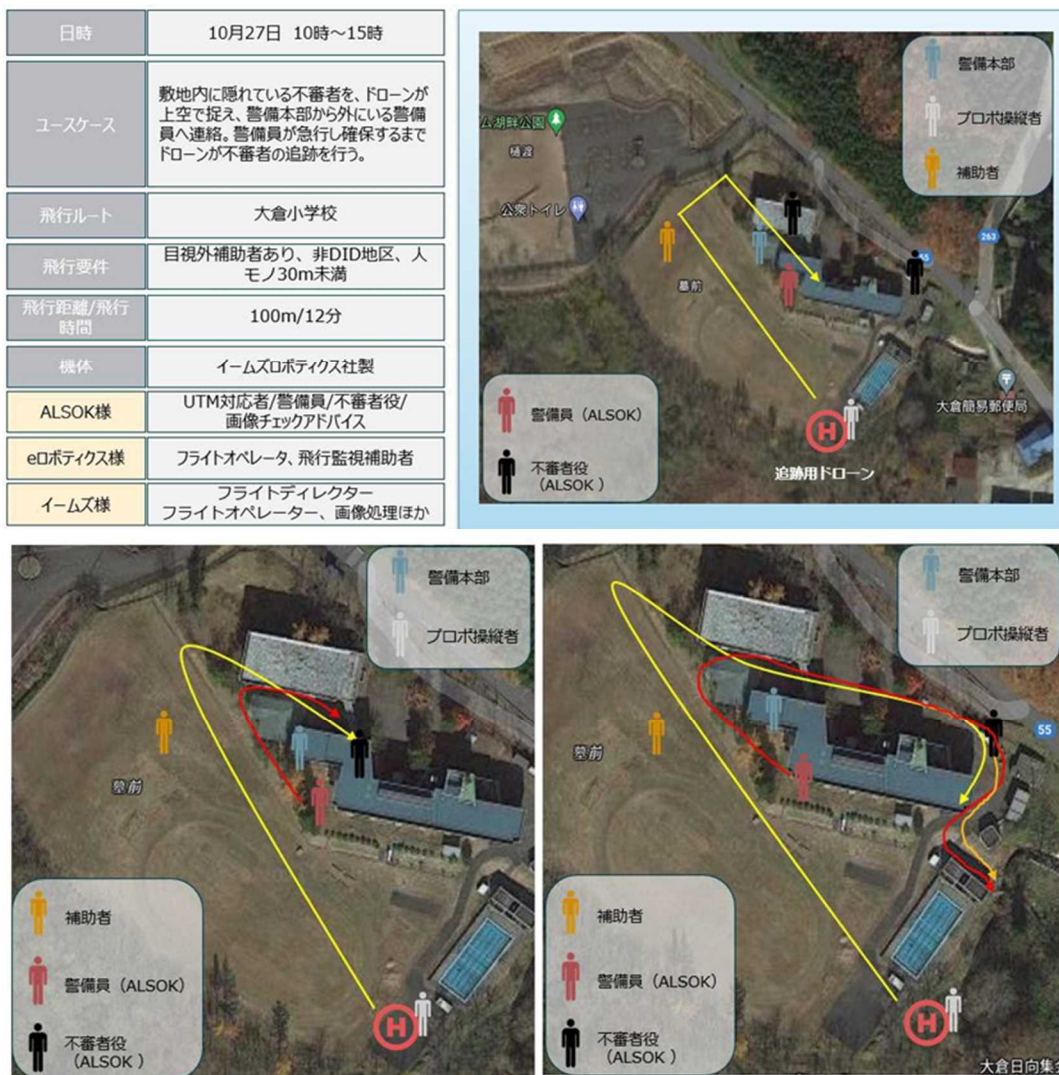


図 2. 2. 1. 14-93 不審者の検知

・鳥獣害警備

可視光カメラ、赤外線カメラの両方を撮影できるカメラを搭載し、それぞれの映像をもとに有害鳥獣を探索。深夜帯、早朝帯と時間を変えて有害鳥獣の撮影を実施する。深夜帯、早朝帯それぞれの時間帯で飛行させたときの騒音を計測する。鳥獣害警備の飛行ルートを図 2. 2. 1. 14-94 鳥獣害警備に示す。

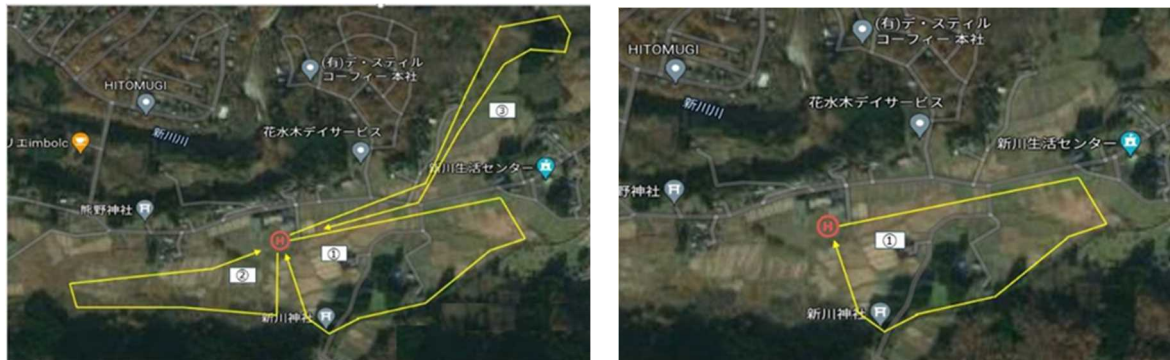


図 2. 2. 1. 14-94 鳥獣害警備

・点検（セイコウ大橋）

橋梁の撮影を行い、上空からの取り付け部段差、鋼材変形・破断の有無がどの程度確認ができるかを

検証する。可視光カメラと赤外線カメラの両方で撮影し、見え方の差異を検証し、新川方面からセイコウ大橋付近まで飛行してくる物流機体と、点検機体を接近させ、運航管理システムにて近接アラートが発生することを確認する。飛行ルートを図 2. 2. 1. 14-95 点検（セイコウ大橋）に示す。

日時	10月28日 9時～15時
ユースケース	災害時を想定したスクリーニング点検をドローンにて実施し精度検証を行う。また、ヒューマンオペレーションと生産性・安全性等の比較を行う
飛行ルート	セイコウ大橋
飛行要件	目視外補助者あり、非DID地区、人モノ30m未満
機体	イームズロボティクス社製
長大様	映像確認/操縦者への指示 (点検箇所指示を含む)
HISYS様	フライトオペレーター、画像処理ほか
イームズ様	フライトディレクター フライトオペレーター、画像処理ほか

飛行区間	セイコウ大橋
	
備考	

図 2. 2. 1. 14-95 点検（セイコウ大橋）

・点検（新鳴合橋）

橋梁のひびわれ、剥離・鉄筋露出等がどの程度確認ができるかを検証する。また、橋梁との離隔によってどのような画像の見え方の誤差が生まれるかを検証する。飛行ルートは図 2. 2. 1. 14-96 点検（新鳴合橋）に示す。

日時	10月5日 9時～15時
ユースケース	橋梁の定期点検を想定し、ドローンにて橋梁の撮影、および構造物の後処理を検討し、ドローン点検の精度検証を行う。また、ヒューマンオペレーションと生産性・安全性等の比較を行う
飛行ルート	新鳴合橋
飛行要件	目視外補助者あり、非DID地区、人モノ30m未満
機体	イームズロボティクス社製
長大様	映像確認/操縦者への指示 (点検箇所指示を含む)
HISYS様	フライトオペレーター、画像処理ほか
イームズ様	フライトディレクター フライトオペレーター、画像処理ほか

飛行区間	新鳴合橋
	
備考	

図 2. 2. 1. 14-96 点検（新鳴合橋）

・点検（渡幸大橋）

橋梁のひびわれ、剥離・鉄筋露出等がどの程度確認ができるかを検証し、橋梁との離隔によってどのような画像の見え方の誤差が生まれるかを検証する。飛行ルートは図 2. 2. 1. 14-97 点検（渡幸大橋）に示す。

日時	10月6日 9時～15時
ユースケース	橋梁の定期点検を想定し、ドローンにて橋梁の撮影、および構造物の後処理を検討し、ドローン点検の精度検証を行う。また、ヒューマンオペレーションと生産性・安全性等の比較を行う
飛行ルート	渡幸大橋
飛行要件	目視外補助者あり、非DID地区、人モノ30m未満
機体	イームズロボティクス社製
長大様	映像確認/操縦者への指示 (点検箇所指示を含む)
HISYS様	フライトオペレーター、画像処理ほか
イームズ様	フライトディレクター フライトオペレーター、画像処理ほか

飛行区間 渡幸大橋

プロオペレーター  
補助者

図 2. 2. 1. 14-97 点検（渡幸大橋）

(3) 運航管理システム接続

実証実験における運航管理システムへの接続を図 2. 2. 1. 14-98 のとおり示す。

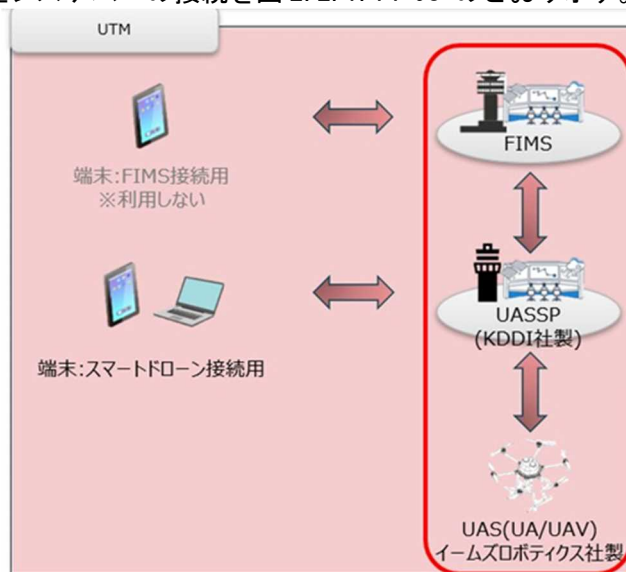


図 2. 2. 1. 14-98 運航管理システム図



### 5.2.2.3 2020 年度実証実験の詳細

#### (1) 実証の概要

2020 年度は、仙台市青葉区において、ドローンの地域実証を実施した。運航管理システムの検証では、UAS0⇔UASSP⇔FIMS の実証準備プロセスにおける課題を洗い出し、同一地域にて同時に3機体の運航が可能であることを目標とした。ユースケースは、物流・警備・点検の領域で仙台市の地域特性など勘案して設定し、ドローンビジネスの確立を目的として実証を実施した。

#### (2) 実証の計画

##### ① 実証場所



図 2.2.1.14-99 2020 年度実証概要

##### ② 実施体制

###### ・実施体制図

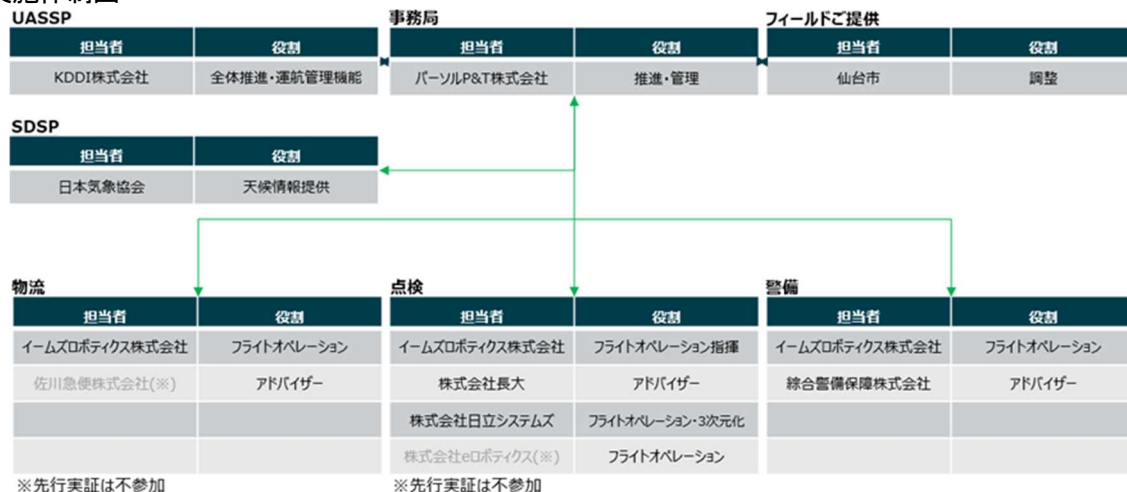


図 2.2.1.14-100 2020 年度実証体制



(3) ユースケースの概要

表 2.2.1.14-40 ユースケースの一覧

領域	飛行エリア	ユースケース概要	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法
物流	作並～新川	新川分校⇔作並小学校間においてドローン(自律飛行)による日用品・医薬品輸送を実証した。 山間部(山超え)でのユースケースを実施し、電波等が問題無いことを確認し、ルートの実装が可能なことを実証した。	LAB6106	1	接続方法は、5.2.2.2(3) 運航管理システム接続を参照  通信回線はLTE
警備	新川エリア	日中帯に有害鳥獣の生態調査(赤外線映像・可視光映像を人によるチェック)実施。またドローンポート利用による離発着を実施し、実運用時の自動離発着の姿を地域に周知した。	LAB6106	1	
点検	新川分校 渡幸大橋	橋梁、構造物(渡幸大橋、新川分校)の点検にて、ドローンを活用し、三次元台帳化等を実証した。	LAB470 LAB470	1 1	

(4) 実証結果及び課題

表 2.2.1.14-41 2020 年度の実証実験を通じた課題

実証領域	令和2年度実証目標	達成状況	令和3年度に向けた取り組み課題
運航管理システム	・物流および警備のユースケースにおいて、同一空域の複数機体での飛行を行うこと。	・運航管理画面(UASSP)にて、同一地域で同時飛行する3機体の一元管理(3コンソーシアムにて9機同時フライト)ができることを実証した。 ・SDSP(日本気象協会)による天候等の情報提供により、円滑な実施判断を行えた。	・安全な自律飛行を実現させるために、機体の動態管理や、フライトコース上に他機体の侵入を検知したときなど、運行管理者に知らせるアラート機能の実装が課題。 各領域のユースケースに沿ったUA～運航管理システムとの接続強化(機体制御等)を行い、アラート機能など強化されたシステムを検証する。
物流	・特定の2拠点間において自律飛行を行うドローンにより物資輸送することが可能であること。本ルートでは中山間地域特性である、山を超えての飛行を実施する。通常時に加え災害時での道の断絶の可能性等も含めた利用用途の検証を実施する。	・特定の2拠点間(新川分校⇔作並小学校)においてドローン(自律飛行)による日用品・医薬品輸送を実証した。 ・山間部(山超え)でのユースケースを実施し、電波等が問題無いことを確認し、ルートの実装が可能なことを実証した。	・より地域課題やビジネスニーズを想定した特定の2拠点、または複数拠点間にて、ペイロードを増強した荷物の配送か、令和2年度と同等の重さで長距離配送の実装が可能であることが課題。 そのため、令和3年度は飛行距離とペイロードを伸ばし、複数機を用いた複数拠点間での配送を検証する。
警備	・特定の地域にて有害鳥獣の生態調査の精度を確認すること ・ドローンポートの利用による自動離発着が行うこと	・特定地域(新川分校)にて有害鳥獣の生態調査を実証した。 ・ドローンポート利用による離発着を実施し、実運用時の自動離発着の姿を地域に周知した。	・日中帯にてイノシシ等の有害鳥獣を発見できなかったため、調査時間を変更して再検証する必要がある。 そのため、早朝や夜間での実施。または、ビジネスケースを想定した施設内警備が可能であることを検証する。
点検	・橋梁、構造物の点検にドローンを活用する事による生産性・安全性の比較を行うこと。 ・検証結果を受けて、自治体・事業者の役割検討を行うこと。 ・撮影写真の画像処理(三次元化等)を行い、精度の検証を行うこと。	・橋梁、構造物(渡幸大橋、新川分校)の点検にて、ドローンを活用し、三次元台帳化等を実証した。 ・上記情報を基に、精度の検証を実施。	・より地域課題やビジネスニーズを想定した建造物の点検を実施していく必要がある。 現状、図面のない橋や、災害で橋が壊れた時の対策といった地域課題があるため、様々な形状の橋梁を点検する検証を行う。

5.2.2.4 2021 年度 第 1 回実証実験の詳細

(1) 実証の概要

2021 年度は主にレベル 3、レベル 4 環境下に近い実ユースケース上での UTM 検証を実施した。運航管理システムの検証では、複数の地域にて同時に飛行する 2 機体以上の運航管理が可能であることを目標とした。物流は、ビジネスケースを想定した 2 拠点または複数拠点間にてペイロード増もしくは

長距離の飛行を目標とした。警備については、2020 年度の鳥獣害対策に加え、イベント施設警備を追加した。ここでは、イベント会場施設の巡回及び有事を想定したドローンの活用、イベント中の自治体連携を検証した。点検では特定の施設に対し、自律飛行と人間の操縦を組み合わせたドローン点検の実施を目標として 2020 年度同様に仙台市で実証を実施した。

(2) 実証の計画

① 実証場所

表 2. 1. 1. 14-42 2021 年度第 1 回実証実施場所

項目名	詳細
都道府県名	宮城県
市町村名	仙台市
離発着場所	大倉小学校
	作並小学校、新川分校
	新鳴合橋、渡幸大橋
運航管理を行う拠点	大倉小学校（イベント施設警備）、新川分校（鳥獣害警備、物流）、新鳴合橋（点検）、渡幸大橋（点検）

② 実施体制

●実施体制図

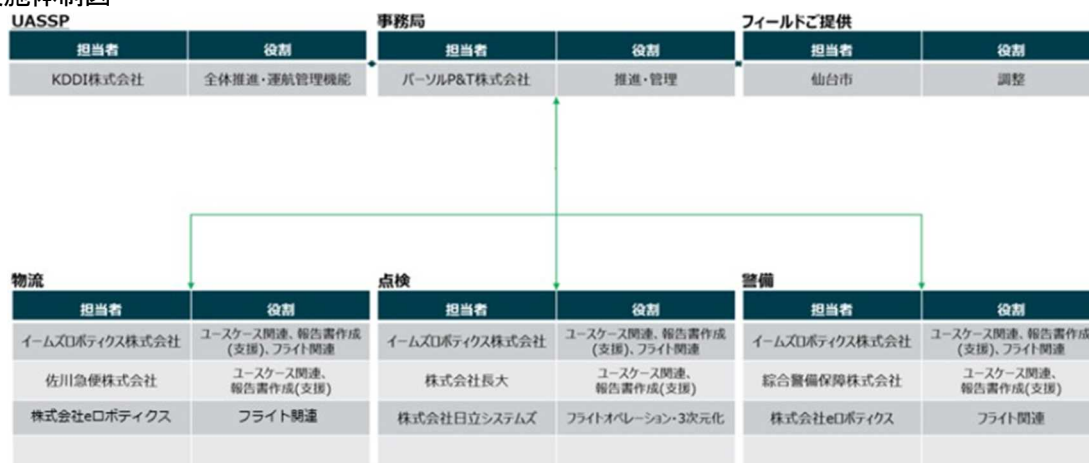


図 2. 2. 1. 14-101 2021 年度実証体制

③ 申請・調整

●官公庁を含む公的機関に対して行った申請・調整

表 2. 2. 1. 14-43 公的機関に対する申請・調整一覧

申請先	申請内容	許可の取得にかかった時間	許可に当たり付された条件
東京航空局	飛行承認申請（目視外飛行、夜間飛行、人や物との距離が 30m 未満での近距離飛行）	10 日	特になし
仙台北警察署	管轄エリア内での飛行説明	2 日	特になし
仙台市	大倉小学校での飛行	2 日	補助者を付ける事
仙台市	ダム湖畔公園付近での飛行	2 日	利用客の上空飛行禁止
仙台市	作並小学校、新川分校での飛行	2 日	特になし
仙台市	新川地区の深夜帯の飛行	5 日	特になし
仙台市	新鳴合橋での飛行及び離発着	5 日	ヘルメット着用必須

仙台市	渡幸大橋での飛行及び離発着	2日	ヘルメット着用必須
仙台市	新鳴合橋付近の駐車場所	5日	特になし
仙台市	渡幸大橋付近の駐車場所	3日	特になし
仙台市	飛行に関する住民への説明	5日	特になし
仙台市	新川エリア内にある佐手山地区の住民へ夜間飛行に関する説明と、集会所の使用許可	4日	特になし

●施設管理者等の民間団体や個人に対して行った申請・調整

表 2.2.1.14-44 民間団体や個人に対する申請・調整一覧

申請先	申請内容	許可の取得にかかった時間	許可に当たり付された条件
宮城広瀬総合運動場	お手洗いの使用	1日	特になし
宮城広瀬総合運動場	運動場を使用した飛行及び離発着	1日	事前使用者情報の登録、事前予約必須、予約日が他者と重なった場合は抽選
東北電力	送電鉄塔及び高圧電線上空の飛行に関する説明	5日	電線との離隔を十分に取る事
熊ヶ根地区町長	熊ヶ根グラウンドを使用した飛行及び離発着	1日	事前予約必須

(1) ユースケースの概要

● ユースケースの一覧

表 2.2.1.14-45 ユースケース一覧

領域	飛行エリア	ユースケース概要	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法
物流	作並～新川	ビジネスケース(非配送エリアへの配送)を想定し、中継地点を経由した配送を実施。また、昨年度比でペイロード増・距離増の飛行をする。	LAB6150	1	・接続方法は、5.2.2.2(3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE
イベント施設警備	大倉小学校	不審者(立入禁止エリアの侵入者)を捉え、ドローンにより、不審者の顔や、逃走車のナンバープレート情報を取得する。	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2(3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE
鳥獣害警備	新川エリア	夜間に有害鳥獣の生態調査(赤外線映像・可視光映像を人によるチェック)を実施。捕獲スキームの効率化を目指す。	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2(3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE
点検	新鳴合橋	橋梁に対し、ドローンにて施設の点検、及び構造物の後処理を検討し、ドローン点検の精度検証を行う。また、ヒューマンオペレーションと生産	LAB470	1	・接続方法は、5.2.2.2(3)運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE

	渡幸大橋	性・安全性等の比較を行う。	LAB470	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、5.2.2.2(3)運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>
	新川～セイコウ大橋		LAB6106	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、5.2.2.2(3)運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>

①物流

表 2.2.1.14-46 物流領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
物流	作並小学校から新川分校、新川分校からセイコウ大橋付近を往復する物資輸送を実施する。 更に新川分校から作並小学校及びセイコウ大橋付近へ飛行する2機体を同時に飛行させ、動態管理が可能なことを検証する。	LAB6150	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、5.2.2.2(3)運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>	5.2.2.2(2)飛行ルート参照
		LAB6106	1		

②警備（イベント施設）

表 2.2.1.14-47 警備（イベント警備）領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
----	------------	------	-----	------------------	------

イベント 施設 警備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・不審者警備 不審者役が敷地内を逃走すると同時にドローンが離陸し、不審者役の追跡を開始。ドローンと同時にスタートした警備員役が不審者役を確保するまでの時間と、ドローンの映像からが不審者役の容姿を確認するまでの時間を比較する。</li> <li>・車両ナンバープレート/人物撮影 車両と人物の判別が出来る限界距離を調べるため 水平距離 30m、50m、100m、 高度 20m、40m、60m、80m、 100m に分けて車両と人物の空撮を行う。</li> <li>・近接アラート検証 警備機体の飛行ルートに無許可で飛行する機体が飛行しているシナリオを想定し、ホバリングしている機体に警備機体を近接させ、UTM 上でアラートが出ることを確認する。</li> </ul>	LAB6106	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、 5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>	5.2.2.2(2) 飛行ルート参照
------------------	--	---------	---	--	--------------------

③警備（鳥獣害）

表 2.2.1.14-48 警備(鳥獣害警備)領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
鳥獣害警備	イノシシの目撃情報のあった地区において、夜間に赤外線カメラを装備した機体を飛行させ、イノシシの撮影を試みる	LAB6106	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、 5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>	5.2.2.2(2) 飛行ルート参照

④点検

表 2.2.1.14-49 点検領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
点検	新鳴合橋、渡幸大橋にて橋梁の撮影を行い、橋梁のひびわれ、剥離・鉄筋露出等がどの程度確認ができるかを検証する。また橋梁との離隔によってどのような画像の見え方の誤差が生まれるかを検証する。	LAB470	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、 5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>	5.2.2.2(2) 飛行ルート参照

### 5.2.2.5 2021年度第2回実証実験の詳細

#### (1) 実証の概要

2021年度の2回目の実証では、前回の実証で出た課題を踏まえ、更に進化した実証を行った。物流においては、不測時におけるコンテナ内の荷物がどの程度衝撃を受けるか、機体を急発進、急停止、急旋回などを行う等を検証した。イベント施設警備においては、不審者の捜索で可視光カメラだけでなく、赤外線映像の有用性等を検証した。鳥獣害警備では、撮影時間をずらすなどの対応を行い、赤外線カメラの有用性等を検証した。点検においては、定期点検ではなく、スクリーニング点検の検証等を行った。

#### (2) 実証場所

表 2.2.1.14-50 2021年度第2回実証実施場所

項目名	詳細
都道府県名	宮城県
市町村名	仙台市
離発着場所	大倉小学校
	作並小学校、新川分校
	セイコウ大橋
運航管理を行う拠点	大倉小学校（警備）、新川分校（鳥獣害警備、物流）、セイコウ大橋（点検）

#### (3) 実施体制

##### ● 実施体制図

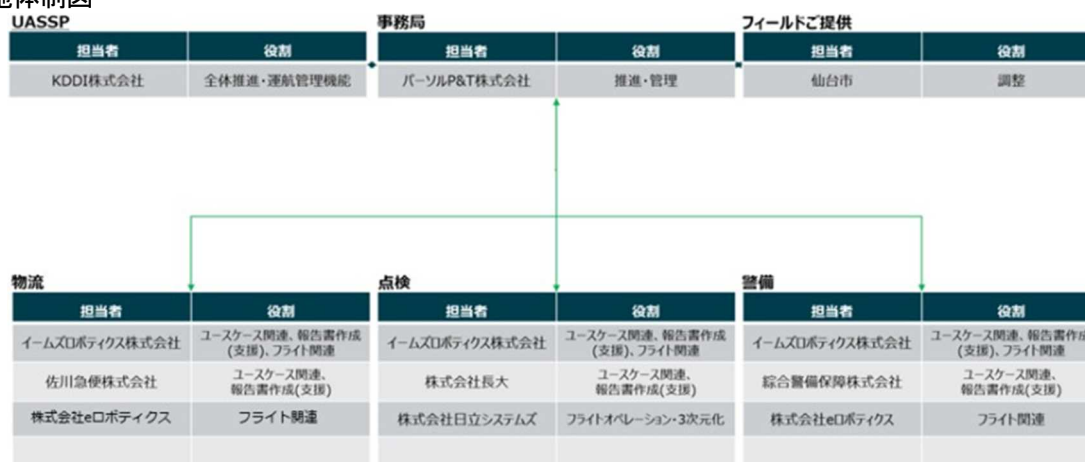


図 2.2.1.14-102 実施体制図

#### (4) 申請・調整

##### ● 官公庁を含む公的機関に対して行った申請・調整

表 2.2.1.14-51 公的機関に対する申請・調整一覧

申請先	申請内容	許可の取得にかかった時間	許可に当たり付けられた条件
東京航空局	飛行承認申請（目視外飛行、夜間飛行、人や物との距離が 30m 未満での近距離飛行）	10 日	特になし
仙台北警察署	管轄エリア内での飛行説明	2 日	特になし
仙台市	大倉小学校での飛行	2 日	補助者を付ける事
仙台市	ダム湖畔公園付近での飛行	2 日	利用客の上空飛行禁止
仙台市	作並小学校、新川分校での飛行	2 日	特になし
仙台市	新川地区の早朝帯の飛行	5 日	特になし

仙台市	セイコウ大橋での飛行及び離発着	5日	ヘルメット着用必須
仙台市	セイコウ大橋付近の駐車場所	2日	特になし
仙台市	新鳴合橋での飛行及び離発着	5日	特になし
仙台市	新鳴合橋付近の駐車場所	3日	特になし
仙台市	飛行に関する住民への説明	5日	特になし
仙台市	新川エリア内にある佐手山地区の住民へ早朝飛行に関する説明と、集会所の使用許可	4日	特になし

● 施設管理者等の民間団体や個人に対して行った申請・調整

表 2.2.1.14-52 民間団体や個人に対する申請・調整一覧

申請先	申請内容	許可の取得にかかった時間	許可に当たり付された条件
宮城広瀬総合運動場	お手洗いの使用	1日	特になし
宮城広瀬総合運動場	運動場を使用した飛行及び離発着	1日	事前使用者情報の登録、事前予約必須、予約日が他者と重なった場合は抽選
東北電力	送電鉄塔及び高圧電線上空の飛行に関する説明	5日	電線との離隔を十分に取る事
熊ヶ根地区町長	熊ヶ根グラウンドを使用した飛行及び離発着	1日	事前予約必須

(5) ユースケースの概要

● ユースケースの一覧表

表 2.2.1.14-53 ユースケース一覧

領域	飛行エリア	ユースケース概要	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法
物流	作並～新川	ビジネスケース(非配送エリアへの配送)を想定し、中継地点を経由した配送を実施。また、昨年度比でペイロード増・距離増の飛行をする。点検機体と物流機体とを接近させ UTM 上で近接アラートが発生することを確認する。急発進、急停止、急旋回などを実施し荷物にどの程度衝撃が加わるかを計測する。	LAB6150	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE
イベント施設警備	新川～セイコウ大橋	施設内に隠れている不審者を巡回するドローンにて発見し、警備本部から最寄りの警備員へ連携。警備員が現場に急行し、不審者を確保するまで追跡を行う。 第1回実証実験で使用したカメラより高性能なカメラを搭載しドローンにより、不審者	LAB6106	1	・接続方法は、5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照 ・通信回線はLTE



		の顔や、車両ナンバープレート情報を取得する。 ホバリングしている機体にもう一方の機体を接近させ、UTM上でアラートが発生することを確認する。			
鳥獣害警備	新川エリア	早朝に有害鳥獣の生態調査(赤外線映像・可視光映像を人によるチェック)を実施。捕獲スキームの効率化を目指す。	LAB6106	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>
点検	セイコウ大橋	災害時を想定したスクリーニング点検をドローンにて実施し精度検証を行う。また、ヒューマンオペレーションと生産性・安全性等の比較を行う。 点検機体と物流機体とを接近させUTM上で近接アラートが発生することを確認する。	LAB6106	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>

①物流

表 2.2.1.14-54 物流領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
物流	作並小学校から新川分校、新川分校からセイコウ大橋付近を往復する物資輸送を実施する。 更にマニュアル飛行で急発進、急停止、急旋回を行い、荷物にどの程度衝撃が加わるかを計測する。	LAB6150	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>	5.2.2.2(2) 飛行ルート参照

②警備 (イベント施設)

表 2.2.1.14-55 警備(イベント施設警備)領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路

イベント 施設 警備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・不審者警備 敷地内に不審者役が隠れ、上空を巡回するドローンにて不審者を発見する。施設内に設置した警備本部にて不審者の映像を確認し、最寄りの警備員に連絡し、警備員が現場へ急行する。警備員が到着し不審者を確保するまで、ドローンで不審者を監視及び追跡を行う。</li> <li>・車両ナンバープレート/人物撮影車両と人物の判別が出来る限界距離を調べるため水平距離 30m、50m、100m、高度 20m、40m、60m、80m、100mに分けて空撮を行う。</li> <li>・近接アラート検証 警備機体の飛行ルートに無許可で飛行する機体が飛行しているシナリオを想定し、ホバリングしている機体に警備機体を近接させ、UTM 上でアラートが出ることを確認する。</li> </ul>	LAB6106	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>	5.2.2.2(2) 飛行ルート参照
------------------	--	---------	---	---	--------------------

③警備（鳥獣害）

表 2.2.1.14-56 警備（鳥獣害警備）領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
鳥獣害警備	イノシシの目撃情報のあった地区において、早朝に赤外線カメラを装備した機体を飛行させ、可視光カメラと赤外線カメラの両方でイノシシの撮影を試みる。	LAB6106	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>	5.2.2.2(2) 飛行ルート参照

④点検

表 2.2.1.14-57 点検領域ユースケース詳細

領域	無人航空機が行う作業	使用機体	機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	飛行経路
点検	セイコウ大橋にて橋梁の撮影を行い、上空からの取り付け部段差、鋼材変形・破断の有無がどの程度確認ができるかを検証する。更に橋梁に負傷している印を付けて、ドローンからどの程度確認ができるかを検証する。	LAB6106	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続方法は、5.2.2.2 (3) 運航管理システム接続を参照</li> <li>・通信回線はLTE</li> </ul>	5.2.2.2(2) 飛行ルート参照

	また物流機体と点検機体を接近させ、UTM 上に近接アラートが発生することを確認する。				
--	--	--	--	--	--

### 5.2.2.6. 実施結果

#### (1) 各領域のユースケースに対する実施結果

##### ①物流

表 2.2.1. 14-58 物流領域検証項目及び結果

仮説検証項目	計測結果
輸送時間の削減の検証車 VS ドローンの検証	【所要配送時間】 飛行距離 7.4km ドローン：2.2km ルート：7 分（速度 7m/s） 5.2km ルート：13 分（速度 8m/s）計 20 分 ※ルートは図 5.2.2.2-5 物流 参照 車：18 分～30 分 ※国道 48 号線ルート 渋滞時も考慮 Google map による道路移動試算約 9km /30km で試算
輸送品の状態の確認破損等の有無	輸送品の破損や目立った損傷はない ①衝撃計 飛行中の最大の衝撃は 2.5G という結果となった。佐川急便の既存のインフラ（営業所間のトラック輸送）における衝撃と比較しても低い数字となっており、輸送品質上の問題は無し。 ②温度計 荷物室の温度は最高で 44.5℃（気象庁発表の気温よりも 16.3℃高い結果）となったため、冷蔵・冷凍の荷物を輸送する場合の運用については検討が必要となる可能性有り。
最大輸送量	5kg
最大輸送距離	約 8km（中継地折り返し）
検証結果から得られた実運用の工数	【所要配送時間】 配送時間 2.2km ルート：7 分（速度 7m/s） 5.2km ルート：13 分（速度 8m/s） 機体準備時間（平均）：25 分 1 個口あたり配送時間：45 分

##### ②警備（イベント施設警備）

ドローン警備において空撮による不審者・不審車両を捉える最適な距離の計測と角度について検証した。

#### ◆不審車両のナンバープレート読み取り検証

ドローンと不審車両の距離・高度を変化させ、ドローンが撮影したナンバープレートの認識可否を検証した。

高度が高い状態で不審車両に近接しすぎると角度がつきすぎてナンバープレートを読み取ることができなかった（距離 30m、高度 100m参照）。距離 100m、高度 100mで撮影したナンバープレートは不鮮明ではあったが、4桁及び識別がわかる画像であれば捜査情報として十分に価値はあると考えられる。そのため、本実証の条件下ではターゲットと十分な距離を保つことができる距離 100m、高度 100mにおいても不審車両のナンバープレートを認識できることが実証できた。

仮説検証項目	計測結果				
高度100m 距離30m 					
高度100m 距離50m 					
高度100m 距離100m 					

図 2.2.1.14-103 距離・高度ごとのナンバープレート計測結果

◆人物の特徴確認の検証

ドローンと不審者の距離・高度を変化させ、ドローンが撮影した映像から不審者の容貌を判別できるか検証した。

不審車両と同様に高度が高い状態で不審者に近接しすぎると角度がつきすぎて顔までは判別できなかった（距離 30m、高度 100m参照）。また、服装などの人物特長は認識できるが、帽子やヘルメットを着用している場合は、さらに顔の判別が難しくなることがわかった。本実証の条件下では不審者の顔を判別できる限界距離は距離 100m、高度 60mであった。ターゲットと十分な距離を保ちつつドローンを用いた警備活用が可能であることが実証された。

仮説検証項目	計測結果				
高度100m 距離30m 					
高度100m 距離50m 					
高度100m 距離100m 					

図 2.2.1.14-104 人物の特徴確認の検証結果

◆潜伏者の上空からの警備

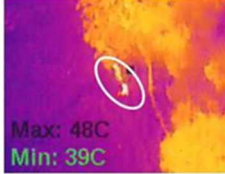

敷地内に潜伏している不審者を上空ドローンからの映像をもとに警備本部から警備員に連絡するとともに、警備員が不審者を確保するまで不審者の動向を監視することが可能か検証した。



図 2. 2. 1. 14-105 上空からの警備検証

③警備（鳥獣害）


表 2. 2. 1. 14-59 鳥獣害警備領域検証項目及び結果

仮説検証項目	計測結果
陸上からは発見しにくい新たな生態エリアの調査 	夜間の目視内飛行を実施したが電線などの障害物を避けるため安全面への配慮から高度を保って飛行した。そのため対象物との距離が生じ多数の発見には至らなかった。プレ実証でイノシシと思われる画像を捉える事ができた。本番実証と併せて発見地点の地図へのマッピングを行い参考資料として自治体に共有する。
日中・夜間の騒音計測 ※携帯アプリにて計測 <地域住民への配慮>	日中は26db-30dbb 夜間は47.9db 目安 30dbb：深夜の郊外、鉛筆での執筆音 小さなささやき声 50dbb：家庭用のエアコンの室外機の直近 静かな事務所の中 小さな声 ただイノシシにとっては警戒されてしまった。音に対する警戒を軽減させるうえで定期的なドローン飛行を行い音に慣れようという側面も重要である。
1フライトで調査できる面積 	今回の実証実験で使用した機体は秒速10mで15分間飛行できる。直線にして9kmの飛行が可能に。今後さらに広範囲での調査が必要な場合はイノシシが出ると思われる川沿を中心に飛行すれば右図（黒いライン）に沿う形で調査可能である。 ※安全面を考慮しバッテリー残量を一定数残り7キロで帰還させると仮定 ※ターゲットとなる河川を狙って調査
1フライトで飛行できる時間の計測	夜間飛行を実現する上でも電線対策として（障害物センサーなど）の機能向上も期待される。 機体名： バッテリ：15分程度（気温にもよる）

④点検

表 2. 2. 1. 14-60 点検検証項目及び結果

	仮説検証項目	結果
事前作業	<ul style="list-style-type: none"> <li>過去点検のデジタルデータが整備されていれば、工数は下がるか？</li> <li>ドローン無シート有り、効率化する項目はあるか？</li> </ul> 例：どの程度の人員削減等が可能になるか？など	<ul style="list-style-type: none"> <li>人員削減についてはドローン活用に応じ道路規制の手間を省力化できる。</li> <li>加えて誘導人員の省力化も見込める。4名→0名</li> </ul>

現地作業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実際の点検でドローンが代替できるプロセスとは？</li> <li>・内業に利用するにあたっての、撮影精度は確保できるか？</li> <li>・ドローン点検の向き不向きの橋はあるか？（ドローン点検可能な橋の検討）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・今回の実証では、スクリーニング検証項目（73 項目）に対し19項目について検証できた。（※検証項目全体の約30%に相当）カメラのズーム機能や機体性能が今後さらに改善され、かつドローン点検がしやすい外部環境（橋脚周辺の木等）の整備が進めばスクリーニング検証項目の殆どをカバーできるといえる。</li> <li>・撮影した画像データは事後判定には十分対応できるクオリティであった。しかし現在のタブレット画像/映像伝送ではリアルタイム判定は画質的に厳しい。パイロットが使用しているモニタの画面と同等またはより大画面/高精細のモニタがあればリアルタイム判定の可能性はある。</li> <li>・ドローン点検では桁橋/トラス橋が比較的適しているといえるが実際の現地の状況に応じて判断すべきである（周辺の木々の状況などに起因する）</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・撮影作業工数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1フライト 12 分で安全確認を含めても計 13 分で完了できる点は早い。特に真横、斜め下などの撮影は人の作業よりも早いといえる。</li> </ul>
内業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・データ整理に費やしている時間がどの程度短縮されるのか？</li> <li>・必要な処理を行うためのソフトウェアの利用金額についての要望があれば。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3次元管理台帳システムの効果を定量的に表現するのは難しい。しかし、後処理の作業プロセスの「損傷図」作成に約1日程度要する作業が3次元管理台帳システムを使用する事で1時間程度に短縮できる可能性がある。</li> </ul>  <p>約1日→1Hに短縮</p>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遠隔指示の検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現場を見ずにリアルタイム映像だけで判断するのは画質精度が悪く厳しい。今後の画質精度の向上に期待する。</li> </ul>

### 5.2.2.7 持続可能な無人航空機サービスの提供方法

運航管理システムを利用して無人航空機を使ったサービスを安全かつ持続的に提供できる理想的な状態を想定し、サービスの提供方法を記載する。

#### (1) 各領域の費用比較について

各領域ユースケースのコスト構造の比較について記載する。全領域ともに以下の3つの状況で整理を行った。

現状 : 既存の形態でサービス提供の費用

実証実験 : 無人航空機を使用した今年度実証実験の費用

レベル4達成時 : レベル4が実現した環境で無人航空機を活用した費用

上記費用には、運航管理システムを用いた運航管理統合機能、運航管理機能、個別機能費用も含む（※FIMSの接続費用は未定義のため含めず）費用削減が見込まれる項目については、色付きで示した。



①物流

年間コストイメージ ※レベル 4達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル4 達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		1.4%	8.5%
		設備関係費		0.5%	3.3%
		パイロット育成費		0.0%	6.3%
		保険費用(年間契約)		0.7%	4.1%
		撮影用カメラ使用料一式		0.04%	0.23%
ランニング	PreFlight	設備維持費		0.5%	3.1%
		機体・設備維持費(使用費)		1.3%	7.9%
		飛行申請費		0.03%	0.0%
		交通費(レンタカー・ガソリン他)		0.02%	0.0%
		自社配送費	29%	0%	0.0%
	Inflight	諸経費(内経費)	71%	6.2%	38.6%
		ドローン関連労務費		89.2%	22.1%
		UTM使用料		0.0%	6.0%
	その他	報告書作成		0.1%	0.0%
				100%	100%

図 2.2.1.14-106 年間コストイメージ①



図 2.2.1.14-107 年間コストイメージ②

物流領域ではレベル 4 達成時にわずかながら利益を見込む試算ができた。他の領域同様にビジネスとして安定した利益を確保する上においては数々の課題をクリアする必要がある。



②イベント施設警備

1 警備あたりの費用イメージ ※レベル 4 達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル4達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		6.2%	9.3%
		設備関係費		1.5%	2.3%
		パイロット育成費		0.0%	4.3%
		保険費用(年間契約)		0.2%	2.8%
		撮影用カメラ使用料一式		16.55%	2.1%
		機体加工費(機体改造費)		1%	1.3%
ランニング	PreFlight	機体・設備維持費(使用費)		3.6%	5.4%
		飛行申請費		4.1%	0.0%
		交通費(レンタカー・ガソリン他)		2%	0.0%
		諸経費	11%	4.1%	6.2%
		警備員配置労務費	89%	10.6%	52.2%
	Inflight	ドローン関連労務費		33.1%	9.9%
		UTM使用料		0.0%	4.1%
	その他	報告書作成(委託先)		16.6%	0.0%
			100%	100%	100%

図 2.2.1.14-108 1 警備あたりの費用イメージ①

本領域では色付項目についてコスト抑制を見込めるも今年度の実証実験時において利益が出る試算には至っていない。しかし将来的に不審者の自動感知機能や対象人物(物)を指定し容易に追跡できる機能など機体性能改善や飛行計画にはない急遽警備が必要なケースなど緊急時など、状況に応じた UTM 制度面の改定がなされれば大規模イベントの警備にドローンが参入できる余地は十分ある。

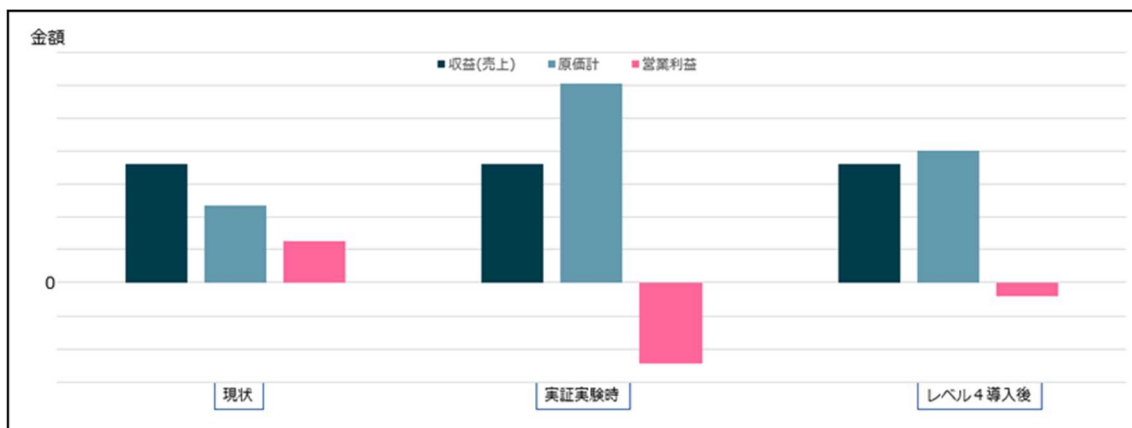


図 2.2.1.14-109 1 警備あたりの費用イメージ②

③鳥獣害警備

生息調査1回あたりの費用イメージ ※レベル4達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル4達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		6.5%	18.2%
		設備関係費		1.0%	2.7%
		ドローン関連労務費		34.8%	19.5%
		パイロット育成費		0.0%	5.2%
		保険費用(年間契約)		0.3%	3.3%
		撮影用カメラ使用料一式		17.42%	2.5%
		機体加工費(機体改造費)		1%	1.6%
ランニング	PreFlight	機体・設備維持費(使用費)		2%	6%
		飛行申請費		4.4%	0.0%
		交通費(レンタカー・ガソリン他)		3%	0.0%
		諸経費		4.4%	12.2%
		震監視装置設置(親機・子機)	20%	1.6%	4.6%
		震監視装置 親機通信費	0.320%	0.027%	0.075%
	Inflight	震設置・捕獲・止め刺し	80%	7%	19%
		UTM使用料		0.0%	4.9%
その他	報告書作成(委託先)		17.4%	0.0%	
			100%	100%	100%

図 2.2.1.14-110 生息調査1回あたりの費用イメージ①

鳥獣害警備に関しても同様で現時点においては利益が出る試算には至っていない。しかしながら本警備は自治体が目指すイノシシ駆除の年間 900 頭を効率的に駆除する上でも上空からの生息調査は急務であり潜在的な社会的ニーズは高いといえる。

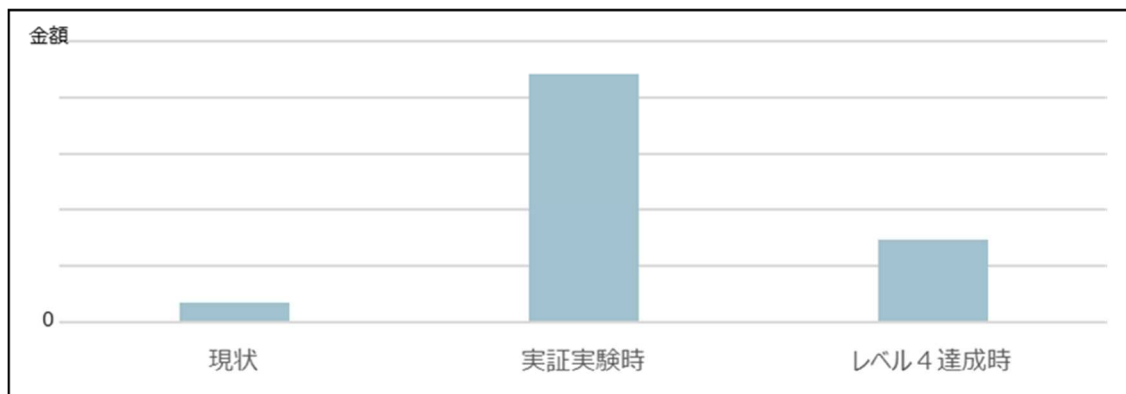


図 2.2.1.14-111 生息調査1回あたりの費用イメージ②

#### ④点検

##### 1 橋梁あたりの点検コストイメージ

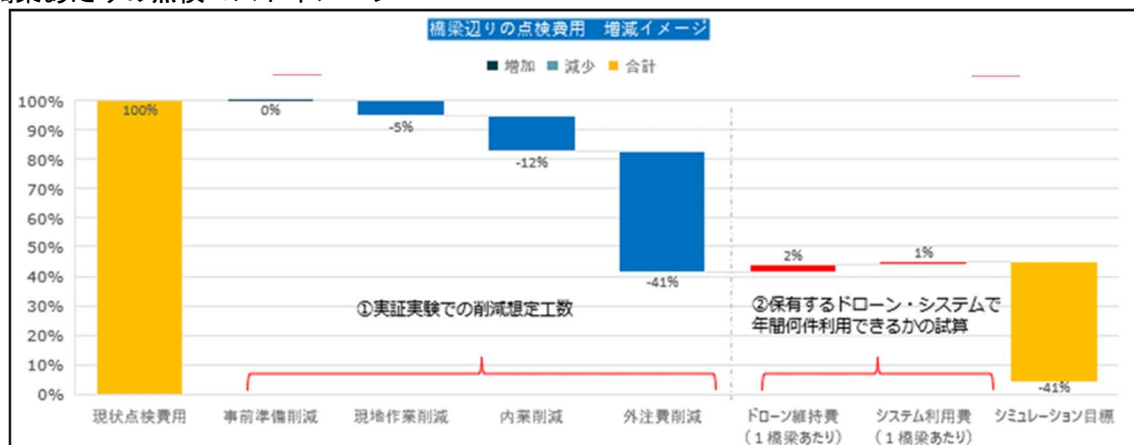


図 2. 2. 1. 14-112 1 橋梁あたりの点検コストイメージ

橋梁点検においても利益が出る試算には至っていない。理由は国が定める橋梁の定期点検の法規にある「近接目視」のすべてをドローンが担保できないため、定期点検にはそぐわないという点にある。ぜひ今後の制度・機体の性能向上に期待している。

(2) 各領域におけるオペレーション シナリオ及び所要時間

①物流

表 2.2.1.14-61 物流所要時間

サービスの 受け手お客様	サービスの提供者 リモートパイロット兼配送業者	所要時間
<事前申請>	無人航空機飛行申請（国交省） ※レベル 3 の包括申請	数日～数か月 （差戻ありの場合） 承認まで 10 営業日
スマホで注文 （配達日の確認・決済）		10分
	商品梱包	10分
	上空電波利用申請（キャリア）	10分（1機5分、 予備機を含む計2機）
	UASSP（スマートドローン）飛行予約を登録→FIMS への飛行計画が登録される※今回は FIMS 接続なし	10分 （1 ルートあたり）
	商品の荷積	3分
離陸前準備	無人航空機の機体準備・離陸準備・気象状況確認	10分
	無人航空機の離陸	3分
	無人航空機の運航管理	10分
機体着陸 （お客様宅・集会所他）		3分
荷下ろし		3分
スマホによる受領通知		5分
無人航空機の再離陸	無人航空機の運航管理	10分
	無人航空機の着陸（帰還）	3分
	無人航空機の整備	10分
合計所要時間		100分

②イベント施設警備

すべて今回の実証で計測した実測値である。

表 2.2.1.14-62 イベント施設警備所要時間

オペレーション	備考	所要時間
<事前申請>	無人航空機飛行申請（国交省） ※レベル 3 の包括申請	数日～数か月 （差戻ありの場合） 承認まで 10 営業日
機体準備	無人航空機の点検、機体準備、バッテリーチェック	10分
	上空電波利用申請（キャリア）	10分（1機5分、予備機を含む計2機）
	UASSP（スマートドローン）飛行予約を登録 →FIMS への飛行計画が登録される	10分 （1 ルートあたり）
離陸前準備	無人航空機の機体準備・離陸準備・気象状況確認	10分 （1 ルートあたり）
離陸	警備フライト：警備対象によってフライト時間は変化する。 今回の実証では平均 12-15 分のフライトであった。 （追跡フライト：12分、検証フライト：15分） ・運航管理チェック	12分
着陸準備	着陸地点の安全確認（人・車の確認）	1分
着陸	着陸	2分
	無人航空機の整備	10分
合計所要時間		65分

③鳥獣害警備

表 2.2.1.14-63 鳥獣害警備所要時間

オペレーション	備考	所要時間
<事前申請>	無人航空機飛行申請（国交省） ※レベル 3 の包括申請	数日～数か月 （差戻ありの場合） 承認まで 10 営業日
機体準備	無人航空機の点検、機体準備、バッテリーチェック	10分
	上空電波利用申請（キャリア）	10分（1機5分、予備機を含む計2機）
	UASSP（スマートドローン）飛行予約を登録 →FIMS への飛行計画が登録される	10分 （1 ルートあたり）
離陸前準備	無人航空機の機体準備・離陸準備・気象状況確認	10分
離陸	・モニタチェック：個体の動きを確認、小動物発見時に位置情報などを記録 ・運航管理チェック	1フライト 12分
着陸準備	着陸地点の安全確認（人・車の確認）	1分
着陸	着陸	2分
	無人航空機の整備	10分
合計所要時間		65分

#### ④点検

表 2.2.1.14-64 点検所要時間

オペレーション	備考	所要時間
<事前申請>	無人航空機飛行申請（国交省） ※レベル 3 の包括申請	数日～数か月 （差戻ありの場合） 承認まで 10 営業日
機体準備	無人航空機の点検、機体準備、バッテリーチェック	10分
	上空電波利用申請（キャリア）	10分（1機5分、予備機を含む計2機）
	UASSP（スマートドローン）飛行予約を登録 →FIMS への飛行計画が登録される ※今回は FIMS 接続なし	10分 （1 ルートあたり）
離陸前準備	無人航空機の機体準備・離陸準備・気象状況確認	10分
離陸	点検作業運航管理	12分（最長12分） 平均1フライト7 分で実施
着陸準備	着陸地点の安全確認（人・車の確認）	1分
着陸	着陸	2分
	無人航空機の整備	10分
合計所要時間		65分

#### (3) 持続可能な無人航空機ビジネスの実現に向けた課題・解決方法の検証方法

持続可能な無人航空機運航ビジネスの実現のために解決すべき課題と、その解決方法の検証方法を記す。

表 2.2.1.14-65 ビジネスの実現のために解決すべき課題と解決方法の検証方法

実証領域	課題と検証方法
運航管理システム	・技術的課題として、安全な自律飛行を実現させるために、機体の動態管理や、フライトコース上に他機体の侵入を検知したときなど、運航管理者に知らせるアラート機能の実装が課題。 そのため、各領域のユースケースに沿った UA～運航管理システムとの接続強化（機体制御等）を行い、機体同士が近接した時のアラート機能などを検証する。
物流	・より地域課題やビジネスニーズを想定した特定の 2 拠点、または複数拠点間にて、ペイロードを増強した荷物の配送か、2020 年度と同等の重さで長距離配送の実施が可能であることが課題。 そのため、2021 年度は飛行距離とペイロードを伸ばし、複数機を用いた複数拠点間での配送を検証する。
警備	・日中帯にてイノシシ等の有害鳥獣を発見できなかった為、調査時間を変更して再検証する必要がある。 そのため、早朝や夜間での実施。または、ビジネスケースを想定した施設内警備が可能であることを検証する。
点検	・より地域課題やビジネスニーズを想定した建造物の点検を実施していく必要がある。 現状、図面のない橋や、災害で橋が壊れた時の対策といった地域課題があるため、様々な形状の橋梁を点検する検証を行う。

#### 5.2.2.8 結論

##### (1) 実証実験の実施結果とその評価

本項目では、本実証にてコンソーシアムから挙げた実施結果と評価について記載を行う。運航管理システムにおける各領域のビジネスモデル観点では共通して以下の事が言える。今後も物流・警備・点

検などの主要領域においてドローンのニーズは高まると予想される。しかし想定される複数機体運航など社会実装に至るまでには様々な課題をクリアしなければならない。今回検証した物流、警備、鳥獣害調査、点検のどの領域においても人手不足解消や現業務の作業効率化のために、ドローン導入を検討しているが、イニシャル・ランニングともかなりのコスト負担を事業者は担うことになる。そのため実際にはビジネスで利益を得られるまでの期間を耐えられる経営的体力のある事業者でなければ参入できないのが現状であろう。しかし、労働人口が確実に減少する国内において安全な運航管理システムのもとでドローンが持つ機動力や高精細な画像伝送など人間には対応できない領域へのタスクを担えるような仕組みや制度設計、ひいては都市デザインの改良が急務であるといえる。

#### 【クリアすべき課題】

- ・ UASSP/FIMS 接続費用のコスト低減（年間コストが高額である）
- ・ 警備に特化した UTM プランの検討
- ・ UASSP の映像伝送の安定性
- ・ 中山間部エリアにおける LTE など電波の改善
- ・ 機体の性能向上（長時間バッテリー、障害物センサーの向上、ペイロードの強化、防水仕様（多少の雨天でも飛行可能に））
- ・ ドローンが飛行しやすい都市計画（電線の地中化、ドローン点検しやすい橋梁設計）
- ・ 緊急性の高い飛行（警備など）スクランブル飛行の許可・承認の簡略化

#### (2) 運航管理システムの社会実装に向けた提言

本項目では、本実証にてコンソーシアムから挙げた運航管理システムに関する技術的な提言事項について記載を行う。

物流において、宅配事業の実用化のためには、コスト低減に向けて複数機体の一元管理の実現や、最大離陸重量や最大飛行時間の性能のある大型の機体の開発が望まれる。同時に荷物の品質管理を保つ上で緩衝材を配する必要があるが、コンテナ内が高温になるため温度管理ができるコンテナの開発も急務である。荷物によってはクール便対応もあるため保温性能を備えたコンテナも必要である。

また、山間部では特に高圧電線や鉄塔などの建造物が存在するため、そういった障害物を避けるために場合によっては高度 150m 以上を飛行する必要がある。国土交通省では山間部を飛行する際、谷間などの高低差のある場所において一時的に高度 150m を超える飛行は許容されているが、総務省の 4G/LTE の電波使用に関しては高度 150m 未満と定められているため、電波使用に関する法制度も同時に整備してもらう必要がある。

更に現状の標準運送約款にドローン輸送を想定した規定が無く、実運用する場合は特約的な形で荷主にドローンで輸送される旨を約定しなければならないため、ドローン輸送に関する標準運送約款等を行政側で整備していただき、それを基に企業側の約款の策定・見直しを実施する必要がある。ドローン配送ビジネスを正式に承認いただき、国の方針を早期に明示願いたい。

通常の流れ業務だけでなく、緊急・災害時の物資配送を担うことも想定される。こうした人道的支援に課金されてしまうとコスト増となり事業を維持するのが厳しくなるため、運航管理システムや FIMS 接続について、年間システム利用料ではなく使用頻度や用途に応じた柔軟な料金体系（従量課金制など）が必要である。

警備において、飛行開始までの準備や操作に時間がかかってしまうと緊急性の高い用務へ活用することが困難であるため、容易に扱うことのできる機体や飛行システムの構築や操縦者の育成が必要である。リモートパイロットによる判断にかかる時間、無人航空機の飛行速度を考慮すると、機体同士の速度や進行方向などから計算される衝突予測時間を、誤報にならずかつ、余裕を持って判断できる時間になるように最適な値にすることで、リモートパイロットによる対応が確実にできる時間を確保できるアラートの発生仕様の調節が必要である。



橋梁点検は、橋梁の周囲に木が茂っていたり、電線があったり、風の問題もあり、ドローンが橋梁に近づくのを阻害する障害物の回避、見えにくい部分をいかに多角撮影で補うかなどの技術課題に加えて、今後の無人航空機を使用した維持管理に向け、点検しやすい構造への環境作り（橋梁の周囲に樹木や電線を設置しない等）が必要である。運航管理システムにおいて、UTM 上で発生する近接アラートについて、警察や消防などが緊急で無人航空機を飛行する際、どの機体の飛行を優先するかルール整備が必要である。運航管理システムからアラート表示が出た場合、緊急着陸が必要なケースやクリティカルなアラートの際に瞬時に対応し判断できるような分かりやすい警告表示や、対処法を促すガイダンスが必要である。

物流の観点から、荷物を配送する際にフライヤーNo や荷物 No が運航管理システム上に表示されると尚良い。荷物照会が運航管理上で分かればよりビジネスがスムーズになる。

設定済のルートに対し、気候条件や突発的事象に対する飛行可否の判断を今後の予測も踏まえて自動表示する機能の実装が期待される。実運用の際には飛行の目安となる「運航可否」を事前に通知する機能は必須である。また 1 週間先の気象予報など様々な観点から飛行可否についてシステムから事前に情報提供される機能が必要である。こうした機能は輸送計画を検討する上でも大変有効である。

#### (11). 5.2.3 災害時ユースケース検証（KDD I 株式会社）

##### 5.2.3.1 事業概要

###### (1) 実施概要

###### ① 実証実験の概要

2020 年度及び 2021 年度に三重県志摩市において、災害時を想定したドローンの複数ユースケースに関する UTM 接続・運航管理実証を実施した。具体的な内容は以下のとおりである。なお実証に際してはドローンのほか、有人機としてヘリコプターを想定したシミュレーションデータを複数用意し、有人機情報システムを介して UTM に接続した。

###### ● 2020 年度実証試験

1. 対象地域
  - ◇ 三重県志摩市 阿児町国府地区（国府白浜）
2. UTM 接続範囲
  - ◇ UASSP、UASO、有人機情報システム、FIMS
3. 実証期間
  - ◇ プレ実証：2020 年 2 月 22 日
  - ◇ 本実証：2021 年 3 月 6 日～7 日
4. 対象ユースケース
  - ◇ 広域被害状況把握（市街地確認、避難者確認、火災確認等）
  - ◇ インフラ点検（堤防、排水機場点検）

###### ● 2021 年度実証試験

1. 対象地域
  - ◇ 三重県志摩市 志摩町和具地区（和具漁港）、布施田地区（志摩総合スポーツ公園、和具広の浜）
2. UTM 接続範囲
  - ◇ UASSP、UASO、有人機情報システム、FIMS、災害時情報共有システム
3. 実証期間
  - ◇ プレ実証：2021 年 10 月 26 日、27 日
  - ◇ 本実証：2021 年 11 月 24 日～26 日
4. 対象ユースケース
  - ◇ 広域被害状況把握（市街地確認等）
  - ◇ インフラ点検（防災拠点、堤防、漁港等）
  - ◇ 物資輸送（緊急医療物資等）

② 志摩市における実証意義

志摩市は、三重県志摩半島に位置し、海岸が複雑に入り組んだリアス海岸が特徴になっている。中央に英虞湾（賢島、間崎島）、北東に矢湾（渡鹿野島）がある。市内全域が、伊勢志摩国立公園に指定されている。2016 年には、伊勢志摩サミット（第 42 回先進国首脳会議）が賢島で開催された。

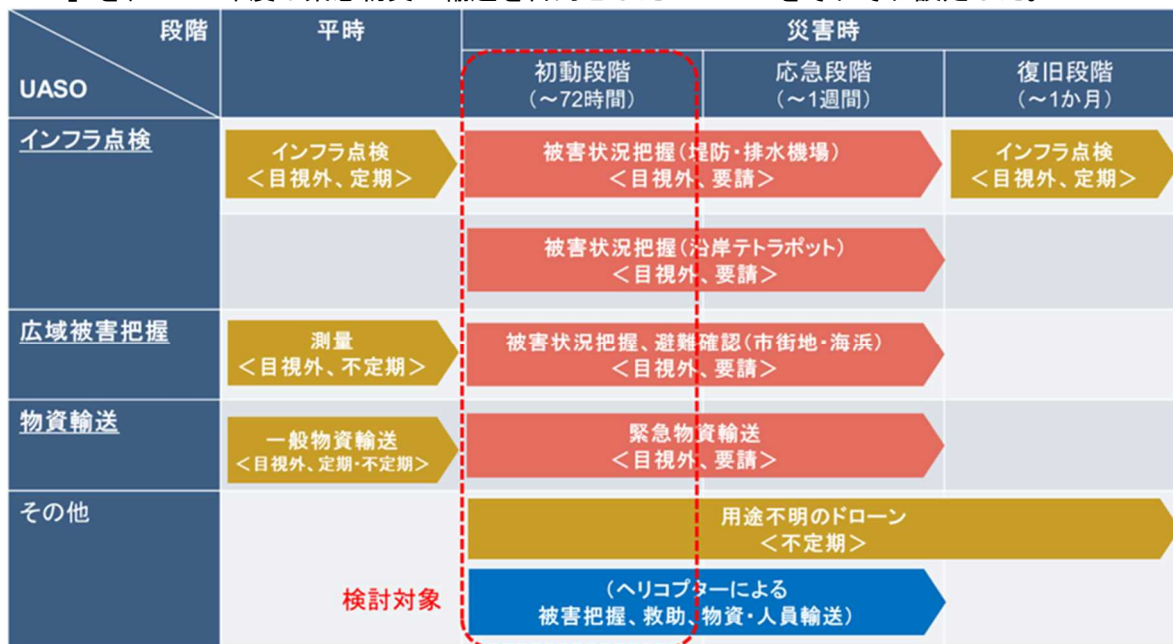
志摩市の地形は、観光や水産業を中心に大きな恩恵をもたらしている。古代から御食国として、食文化の発展に重要な役割も担ってきた歴史もある。しかし、その地理的環境は、台風や地震・津波などの脅威ももたらしてきた。志摩市津波避難計画（2017 年 3 月）によると、市全体の世帯数の 33.01%が、津波対象地域に住居をおいている。

こうした課題は、日本全国の自治体に存在している。豊かな自然環境は日本の強みであり、文化や産業形成の基盤になってきた。しかし、同時に、様々な自然災害の要因にもなってきた。岸田政権がデジタル田園都市国家構想を推進するのであれば、こうした課題に正面から取り組む必要がある。日本は人口減少や気候変動、インフラ老朽化、新型コロナウイルスなどのリスクに直面している。これらのリスクに対して、テクノロジーの実装を通じて、解決を進めるのであれば、社会的な基盤を整備していく必要がある。

以上のような背景を踏まえ、志摩市において災害ユースケースに関する実証実験を行うことで、日本全国の課題解決につながる成果が得られると共に、国際的な PR の観点からも有意義と言える。

③ 対象とするユースケースの考え方

図 2.2.1.14-113 ユースケースの考え方に、本研究開発で対象とするユースケースの考え方を示す。実証では複数の異なる用途の UASO について、平時～災害時の各対応段階を意識し、2020 年度及び 2021 年度はいずれも発災直後の初動段階におけるユースケースを対象に、発災直後及び発災後数時間後を想定した段階的な運航管理を検証した。なお 2020 年度の実証では用途不明のドローンとして「野良ドローン」を、2021 年度は緊急物資の輸送を目的としたドローンをそれぞれ設定した。



※実機とシミュレータを活用し各種ユースケースを運航

図 2.2.1.14-113 ユースケースの考え方

④ 検証項目の概要

本実証試験で使用した UTM の機能項目と検証対象項目を表 2.2.1.14-66 本研究開発で検討対象とした UTM 機能項目に示す。今回使用した UTM には、大きく分類すると「登録・認証機能」「計画・飛行承認機能」「追跡・運航実施機能」「監視・検知機能」「緊急対応機能」「分析・報告機能」がある。その中で災害ユースケース検証の観点から、2020 年度、2021 年度の実証で検証対象とした UTM 機能項目を、それぞれ R2、R3 欄に「○」を示した。

2020 年度は、主にプリフライトの調整に使用される「計画・飛行承認機能」、インフライトの監視に使用される「監視・検知機能」を中心とする、UTM の基本的な管理機能について検証した。一方、2021 年

度は、災害時のミッションや想定される運航状況への対応の観点から、「登録・認証機能」（災害時のドローンユーザや運用優先度の管理等）、「追跡・運航実施機能」（様々な用途・運用者のドローンに対するインフライトの運航管理等）、「緊急対応機能」（災害時特有の突発的なミッションや空域制限等への対応等）を中心に検証を行った。また、災害時を想定した地方自治体における運航調整の方法や、JAXAで研究開発が行われ、その成果の民間への転用が進められつつある災害救援航空機情報共有ネットワーク（D-NET）との連携についても検証を行った。

表 2.2.1.14-66 本研究開発で検討対象とした UTM 機能項目

機能区分	業務概要	機能名	概要	検証対象	
				R2	R3
登録・認証機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>機体認証制度への対応</li> <li>操縦者・運航管理者資格制度への対応</li> <li>機体およびその所有者情報の登録義務化</li> </ul>	認証	UTMシステムへのログイン、UTM機能利用のための認証	-	○
		組織管理	UTM利用単位としての組織。システム管理者にて登録	-	○
		ユーザー管理	組織内ユーザー。運航時には操縦者として実施主体となる	-	○
		機体管理	組織内無人航空機の機体登録情報。遠隔識別番号付与の対象	-	○
		機体マスタ情報管理	機体型式、諸元等の静的データの管理	-	○
計画・飛行承認機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>携帯電波等の上空利用申請のUTM連携(実用局)</li> <li>飛行許可のための電子申請サービスの連携(DIPS・FISS)</li> <li>低高度を飛行する有人航空機と無人航空機との時間的・空間的セパレーションの確保</li> <li>異なる事業者間での運航調整環境の整備(InterUSS)</li> </ul>	運航計画管理	運航計画は運航範囲、飛行経路等の情報を含む	○	-
		飛行申請状況管理	運航者の個々の飛行申請に対する承認状況を管理	○	-
		空域管理	システム管理者および一部組織による飛行制限空域の管理	○	-
		干渉回避	運航計画間での干渉発生時に回避案の提示等により解消を図る	○	-
追跡・運航実施機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔識別番号の発信義務化への対応(Remote ID連携)</li> <li>操縦者が利用する運航アプリケーションとUTMとの連携(FOS連携)</li> <li>リルーティング・ダイバート等の衝突回避システムの実現(Detect And Avoid)</li> <li>地上局を前提とした人為的運用の自動化(脱GCS)</li> <li>第三者上空飛行時の運航者義務の履行徹底</li> </ul>	運航計画公開	飛行許可承認済み運航計画を関係者に対して周知	-	○
		衝突回避	飛行中機体の軌道上の衝突危険性予測およびその回避	-	○
監視・検知機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>運航中の状況認識支援(Situational Awareness)</li> <li>法令遵守および公共安全への配慮の意識付け(Conformance Monitoring)</li> <li>異常検知時の速やかな原因特定と周囲への注意喚起(Anomaly Detection)</li> <li>非協調的な飛行体検知および対策(カウンタードローン)</li> <li>外乱環境の急激な変化の検知(非ノミナル運航)</li> </ul>	運航監視	注目範囲の運航の監視、異常検知	○	-
		空域監視	空域内の運航に関する様々な状況変化の監視	○	-
緊急対応機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>災害発生時等の無人・有人機連携の可能性</li> <li>空中衝突発生時の副次的災害の抑止(NMAC)</li> <li>墜落時の落下分散を考慮した運航制限</li> <li>悪意のある第三者による乗っ取りへの対策(サイバーセキュリティ)</li> </ul>	緊急回避指示	例としてヘリコプター接近時のRQコマンド受信時の対応が該当	-	○
分析・報告機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>運航ログの分析によるリスク評価および保険料率設定</li> <li>操縦者および機体の傾向分析および運航者へのフィードバック</li> <li>干渉判定、衝突検知のための最適な閾値の探索</li> <li>通常運航および事故発生時の当局への報告義務の徹底</li> </ul>	ログ保存	運航ログの蓄積および将来的な分析供与のための可視化	-	-
		飛行実績報告	飛行申請内容に則した運航を実施したことを当局に報告	-	-

## 5.2.3.2 2020 年度実証

### (1) 検証内容・方法

#### ① 検証項目の設定

2020 年度は、災害時のドローン運用において課題となる空域管理に関する基本機能の検証を行った。災害時は、被災現場周辺の限られたエリアに、異なるミッションを有するドローンが飛行すると共に、様々な機関の情報収集や救助等を目的としたヘリコプターが飛来することが想定され、これらの運航管理が重要な課題となる。

そこで、ドローンの実機 2 機に加えて、シミュレータによる 2 機の仮想機ドローンと 2 機の仮想機ヘリコプターが被災現場周辺を飛行する状況を模擬し、プリフライトの飛行計画の調整やインフライトの空域監視、UTM からオペレータへの注意喚起等の検証を行った。特に、オペレータが不明で飛行計画が共有されず、挙動の予測が困難なドローン（リモート ID 情報等により飛行位置情報のみ把握できるドローン）を模擬し、インフライトの注意喚起の方法について検証した。

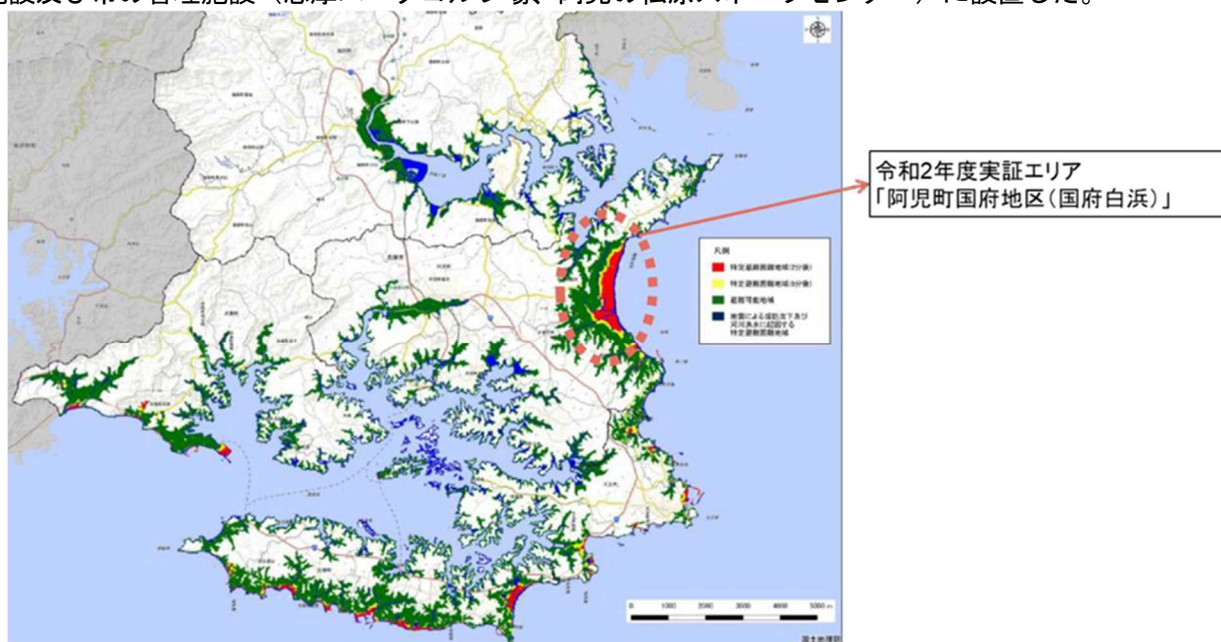
なお、UTM 機能の具体的な検証項目は、表 2.2.1.14-66 本研究開発で検討対象とした UTM 機能項目に示したとおりである。

#### ② 実証実験地域

実証実験の地域については、図 2.2.1.14-114 2020 年度における実証エリアに示す。志摩市の中でも南海トラフ地震の際に大規模な被害が懸念される阿児町国府地区（国府白浜）を実証エリアに設定した。拠点として UTM の運航管理室を国府白浜北部の宿泊施設（地元宿泊施設の「ローズガーデン



志摩」の協力の下、当該施設の一部を使用)に設置、ドローンが離着陸を行うミッションの拠点を宿泊施設及び市の管理施設(志摩パークゴルフ場、阿児の松原スポーツセンター)に設置した。



特定避難困難地域図

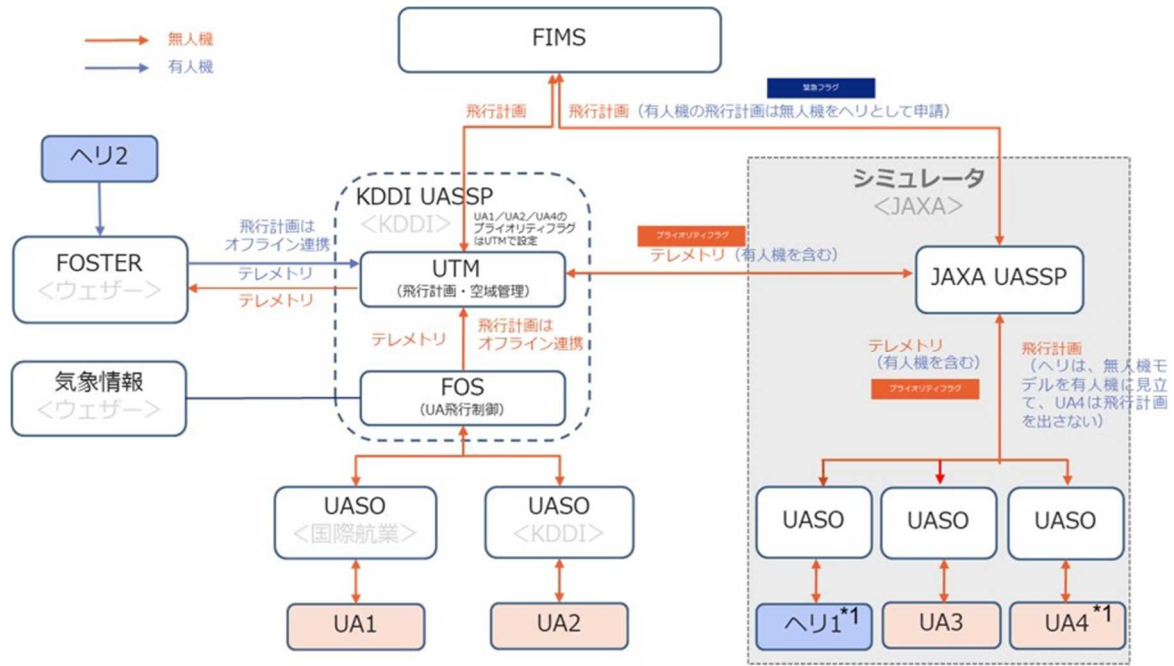
図 2.2.1.14-114 2020 年度における実証エリア  
出所) 志摩市特定非難困難地域図をもとに MRI 作成

### ③ システムアーキテクチャ

2020 年度の実証におけるシステムアーキテクチャ概念図を図 2.2.1.14-115 に示す。KDDI が開発する UASSP「スマートドローン」と JAXA が開発するシミュレータ上の UASSP を FIMS に接続した。加えて、各 UASSP に接続されるドローンの動態情報については UASSP 間で直接接続することで、分散型アーキテクチャを考慮した情報連携についても検証対象とした。

ドローンについては、KDDI/UASSP が管理する実機 2 機に加え、JAXA シミュレータ上で 2 機の運航を模擬した。内 1 機は JAXA/UASSP が管理する機体を模擬、残りの 1 機は、UASSP に接続されないがリモート ID 情報等により飛行位置のみ把握できる機体(野良ドローン)として模擬した。なお、KDDI UASSP に接続する UASO のドローンは、UASSP 内に用意されたドローン飛行制御システム FOS を介して制御される。

有人機であるヘリコプターについては、KDDI/UASSP に接続された WNI の有人機情報システムである FOSTER-CoPilot (以下、FOSTER) を介して動態情報(模擬データ)を連携すると共に、JAXA シミュレータでもヘリコプターの運航を模擬した。



\*1 ヘリ1およびUA4については上記の構成を用いながら見かけ上はJAXA UASSPに属さない機体として模擬  
 図 2. 2. 1. 14-115 2020 年度実証におけるシステムアーキテクチャ概念図

#### ④ 実証シナリオ

本実証では、発災後の対応に紐づけたミッションを付与したドローンの飛行経路のシナリオを図 2. 2. 1. 14-116 のように設定した。これらの飛行経路に対する飛行計画のシナリオを図 2. 2. 1. 14-117 に示す。具体的には、飛行経路が事前に調整された「事前調整済み」のヘリコプターが飛来するシナリオ A (UA の飛行①に該当) と、緊急医療搬送目的の事前に飛行経路が調整されていないヘリコプターが飛来するシナリオ B (UA の飛行②に該当) の 2 種類を設定した。

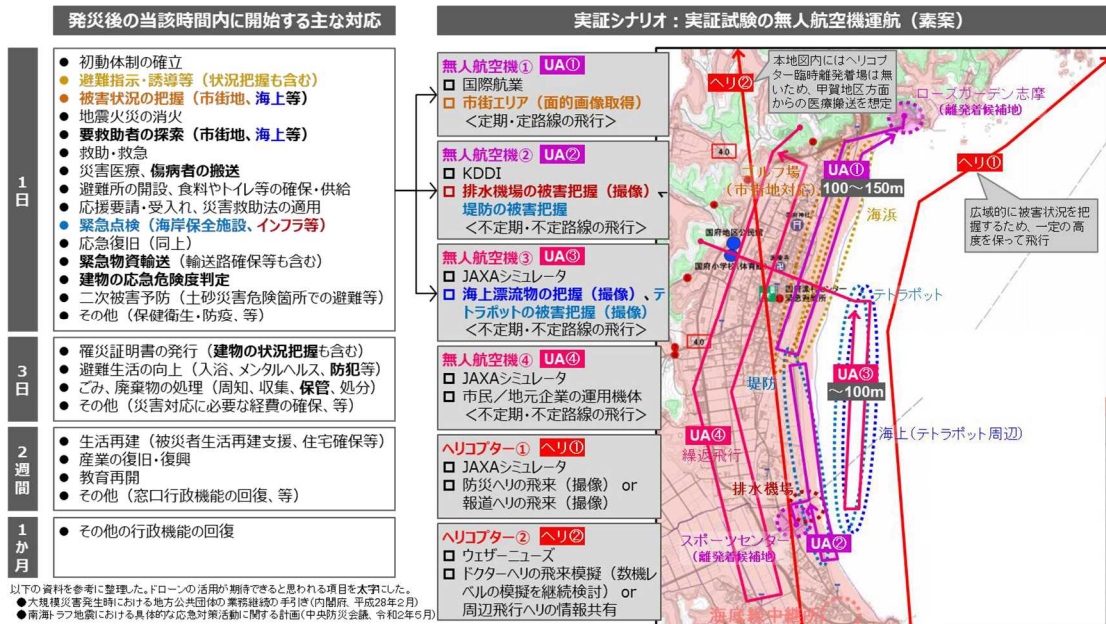


図 2. 2. 1. 14-116 飛行経路の設定

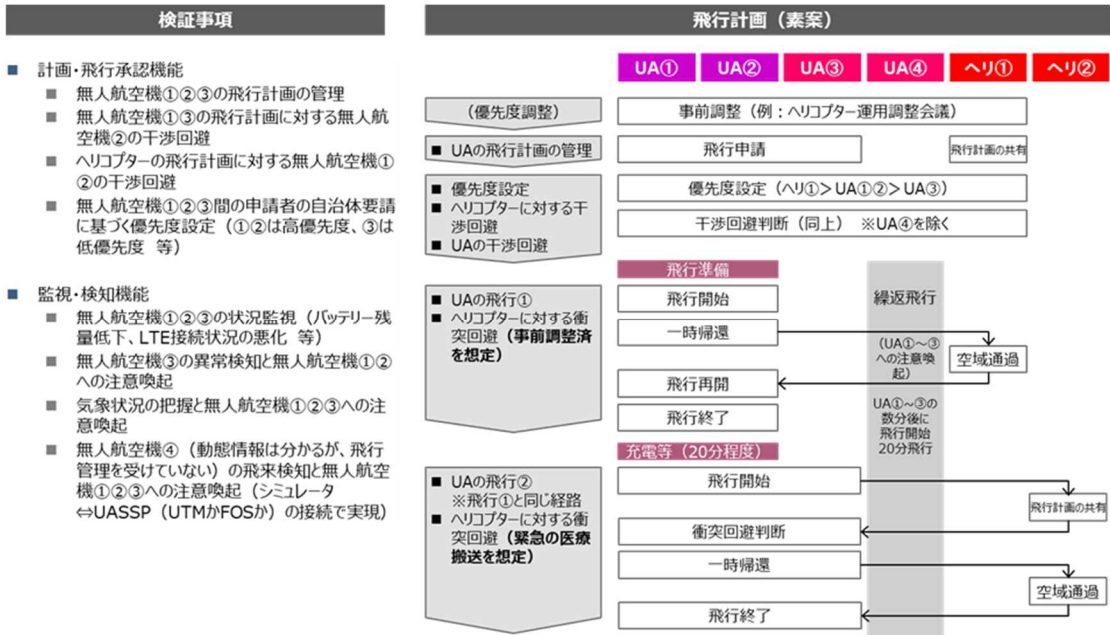


図 2. 2. 1. 14-117 飛行計画の設定

(A) シナリオ A

図 2. 2. 1. 14-118 にシナリオ A のミッション内容を示す。シナリオ A は FIMS に申請された飛行経路に従い事前に各オペレータの運航を調整・管理するシナリオである。機体はドローンとして UA①と②を実機で飛行させ、UA④をシミュレータで運航した。またヘリコプターとしてヘリ①をシミュレータで運航した。UA①は市街地エリアの監視、UA②は排水機場と堤防の被害状況を把握するミッションを実施し、UA④は野良ドローンとして運航した。ヘリ①は防災ヘリ又は報道ヘリと設定した。なお UTM 上の優先度設定としてはヘリ①>UA①②>UA④とした。

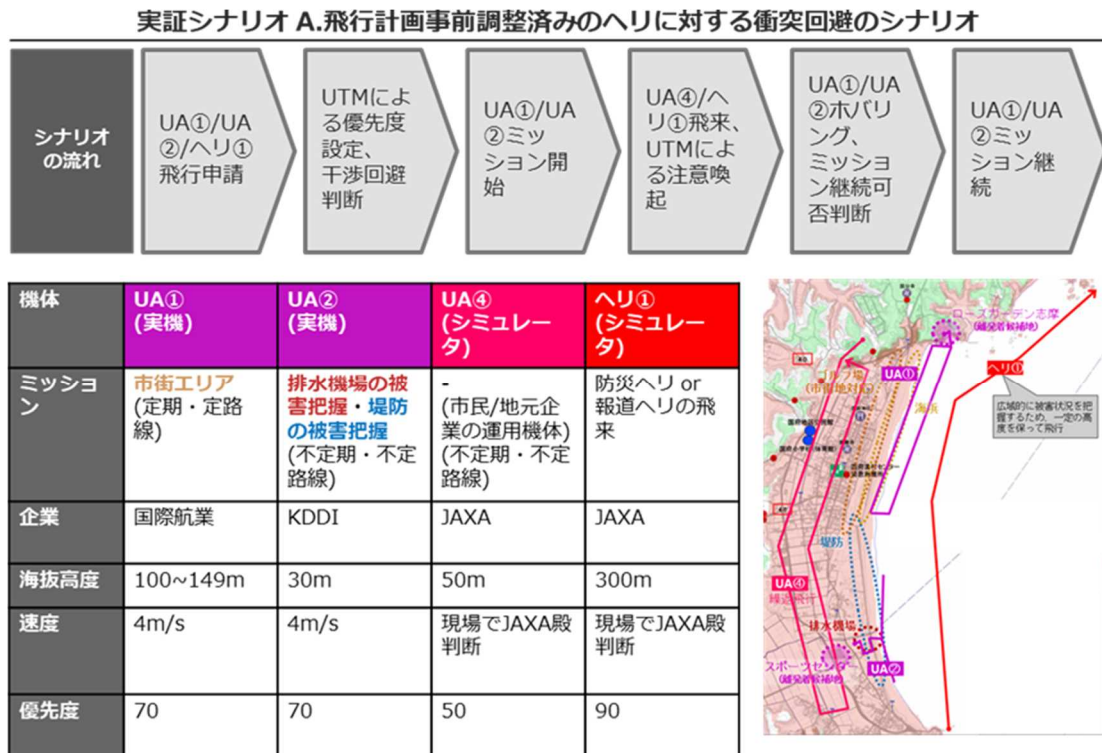


図 2. 2. 1. 14-118 シナリオ A のミッション内容

(B) シナリオ B



シナリオ A をベースに緊急医療搬送を目的としたヘリ②や野良ドローンである UA④を追加したシナリオ B を作成した。シナリオ B ではドローンとして UA①と②を実機で飛行させ、UA③及び④をシミュレータで運航した。またヘリコプターとしてヘリ①及び②をシミュレータで運航した。UA①は市街地エリアの監視、UA②は排水機場と堤防の被害状況を把握するミッションを実施し、UA③は調整済みの民間ドローン、UA④は野良ドローンとして運航した。ヘリ①は防災ヘリ又は報道ヘリと設定し、ヘリ②はドクターヘリ等の緊急医療搬送ミッションを設定した。

実証シナリオ B.緊急医療配送ヘリに対する衝突回避のシナリオ

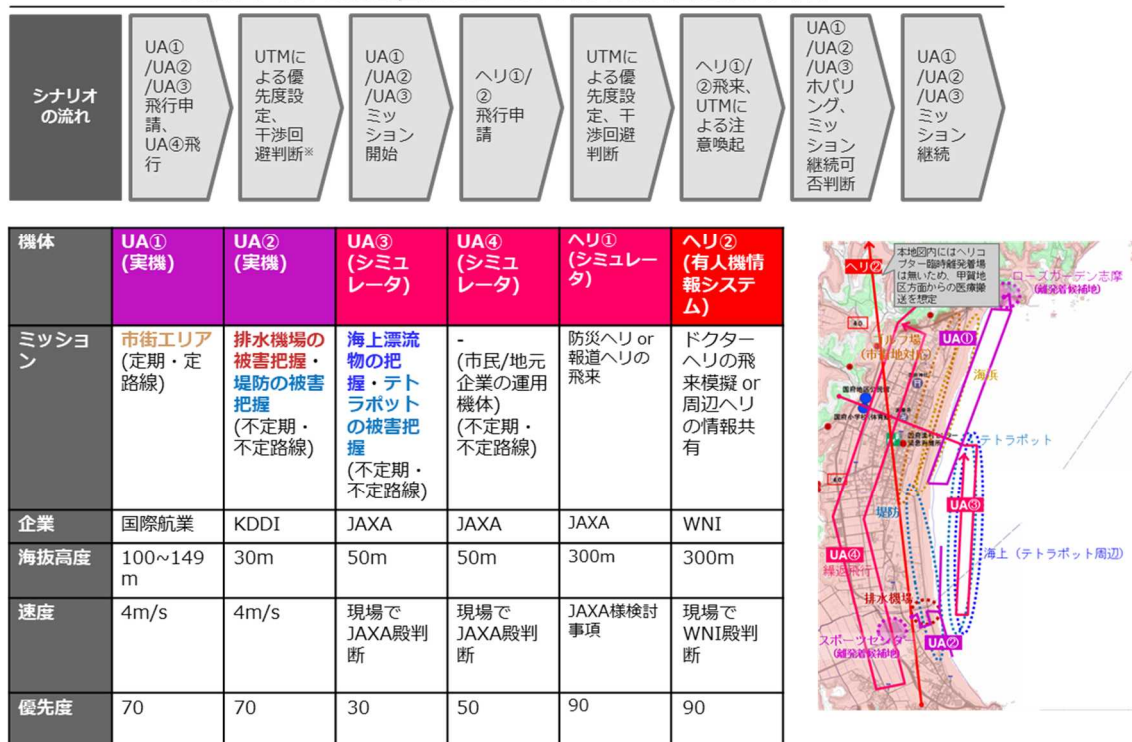


図 2. 2. 1. 14. 119 シナリオ B のミッション内容

⑤ ユースケースと使用機体

(A) ユースケース

南海トラフ巨大地震を想定した地震発生前と発生後のドローンの主なユースケースを図 2. 2. 1. 14-120 と図 2. 2. 1. 14-121 にそれぞれ示す。ユースケースは 2 次元でのリアルタイム把握や画像解析、音声・輸送等に大別されるとし、発災前は事前の避難に係る調査、発災後は被害状況把握や医療物資の輸送等が想定される。

	2次元での把握等 (リアルタイム)	画像解析 (事後)	音声、輸送等
広域的	<ul style="list-style-type: none"> <li>●事前避難対象地域の監視</li> <li>●その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●事前避難対象地域の測量</li> <li>●その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●観測サンプルの収集</li> <li>●その他</li> </ul>
局所的	<ul style="list-style-type: none"> <li>●事前避難対象地域のインフラ点検</li> <li>●その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●左の一部</li> <li>●その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●迷子や不審者等との会話</li> <li>●その他</li> </ul>

図 2. 2. 1. 14-120 地震発生前のユースケース



	2次元での把握等（リアルタイム）	画像解析（事後）	輸送、音声等
広域的	<ul style="list-style-type: none"> <li>●市街地等の状況把握 (津波浸水範囲、市街地の被害、津波避難の状況、等)</li> <li>●海岸保全施設の状況把握 (堤防や離岸堤等の被害)</li> <li>●海上の状況把握 (漂流物、船舶の被害、油等の海上流出、等)</li> <li>●その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●建物の被害（災害廃棄物の発生量推計等で利用）</li> <li>●左の一部</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●物資等の輸送 (医薬品、応援物資、等)</li> <li>●音声探索 (要救助者・生存者、等)</li> <li>●その他</li> </ul>
局所的	<ul style="list-style-type: none"> <li>●施設等の点検 (防災施設、インフラ施設、危険物施設、土砂災害等の危険個所、等)</li> <li>●その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●左の一部</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●物資等の輸送 (救出用ロープ、等)</li> <li>●音声会話 (要救助者・生存者、等)</li> <li>●その他</li> </ul>

図 2. 2. 1. 14-121 地震発生後のユースケース

(B) 使用機体

2020 年度実証で利用した機体を図 2. 2. 1. 14-122 に示す。左が国際航業運用機体、右が KDDI 運用機体であり、それぞれ主に観測ミッションを目的とした機体である。



名称	MATRICE 300 RTK(DJI製)
飛行時間	55分
重量	最大離陸重量9kg
飛行速度	最大23km/h
耐風性	風速15m/s以下で飛行可能

名称	PD4-XA1(プロドローン製)
飛行時間	21分
重量	最大離陸重量11kg
飛行速度	最大60km/h
耐風性	風速12m/s以下で飛行可能

図 2. 2. 1. 14-122 2020 年度実証における使用機体

(2) 検証結果

① 実証結果の概要

図 2. 2. 1. 14-123 に実証実験時の体制を示す。各拠点に人員を配置し、現場の UASO とは Teams 会議を介してコミュニケーションを実施した。運航管理卓の様子及び各拠点の様子を図 2. 2. 1. 14-124 から図 2. 2. 1. 14-126 に示す。運航管理卓では FOSTER の気象情報を投影するモニタを併設し、Teams による音声コミュニケーションを実施した。国際航業の機体である UA①は宿泊施設内に設置した拠点より運用し、国府白浜地区北部の監視ミッションを実施した。KDDI の機体である UA②は阿児の松原スポーツセンター内に設置された拠点より運用を実施し、国府白浜地区南部の観測ミッションを実施した。

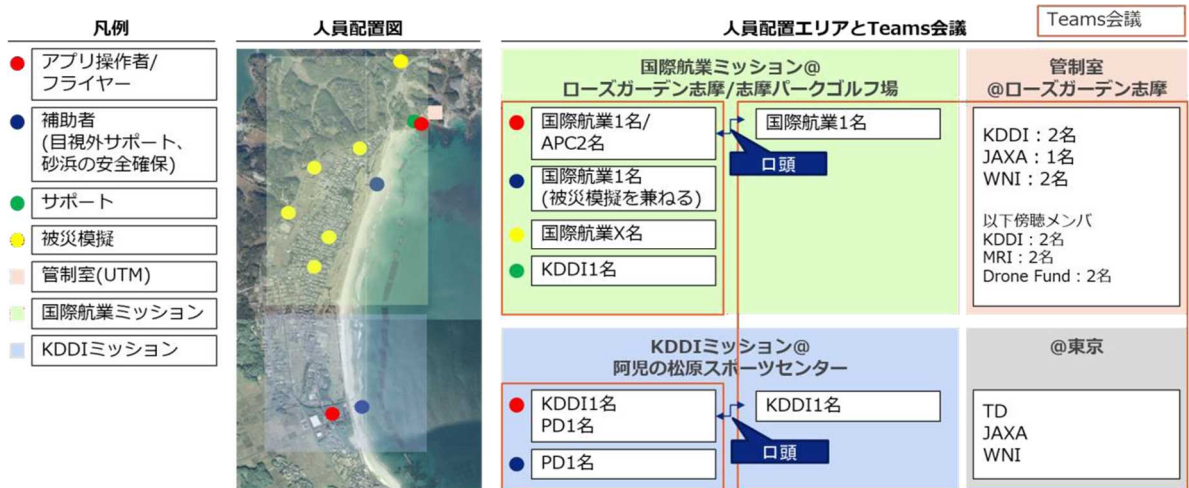


図 2. 2. 1. 14-123 実証時の運用体制出所) Google Maps



図 2. 2. 1. 14-124 運航管理卓の様子 (ローズガーデン志摩)



図 2. 2. 1. 14-125 国際航業側の離着陸拠点 (ローズガーデン志摩)



図 2. 2. 1. 14. 126 KDDI 側の離着陸拠点 (阿児の松原スポーツセンター)

以下に本実証での主な達成事項を示す。

- UTM システム検証
  - ✓ 計画したシナリオ飛行を行い、当初想定した UTM の計画・承認機能や監視・検知機能の検証を実施（プレ実証時に生じた課題も改修）
- UTM オペレーション検証
  - ✓ 事前計画有り／計画無し、の双方のヘリコプターに対するドローン向け運航管理を検証
  - ✓ 事前計画済みのドローン運航、事前計画にないドローンに対応した運航管理を検証
  - ✓ ドローン最大 4 機（実機 2 機、シミュレータ 2 機）、ヘリコプター同時 2 機に対応した運航管理を実施し、災害時に必要な運航管理の検証を実施
- 災害アプリケーション検証
  - ✓ 災害時のアプリケーションとして、広域被害把握、避難状況把握、インフラ点検等のミッションを確認
  - ✓ 可視カメラ、IR カメラの撮像及び 3D 化、オルソ化処理をリアルタイムで実施し、Google ドライブを介した共有を実現

## ② UTM システム検証

### (A) FIMS/UASSP/UASO 間の接続検証

FIMS、UASSP、UASO 間については、飛行計画の申請・承認を検証した。実証実験では、KDDI/UASSP 及び JAXA/UASSP に接続された UASO より入力された飛行計画について、各 UASSP から FIMS に申請し、FIMS 側で受理及び許可を出した。

### (B) UASSP 間の接続検証

KDDI/UASSP 及び JAXA/UASSP 間では、JAXA/UASSP に接続された機体のテレメトリを KDDI/UASSP に共有する実証を行った。UASSP 間で各 UASO が運用するドローンの動態情報を共有したことで、図 2.2.1.14-127 に示すように KDDI/UASSP の画面上で JAXA/UASSP に接続された機体の情報が反映されると共に、近接等のアラートを表示することで、干渉回避等の指示を出すことができた。



図 2.2.1.14-127 KDDI ドローン(実機)と JAXA ドローン(シミュレータ)の近接時アラート

### (C) UASSP/有人機情報システム間の接続検証

ヘリコプターに搭載した端末から、衛星通信回線を経由してヘリコプターの動態を把握する有人機情報システム FOSTER と UASSP の連携を模擬するため、有人機動態情報シミュレータからシナリオに応じたヘリコプターの動態情報シミュレーションデータを UASSP に連携した。当該情報を用いて、UASSP 上でヘリコプターの近接時アラートの表示を検証した。図 2.2.1.14-128 にヘリコプター近接時のアラート表示を示す。

具体的なヘリコプター情報連携の仕様については、5.2.3.2.(2)③にて後述する。



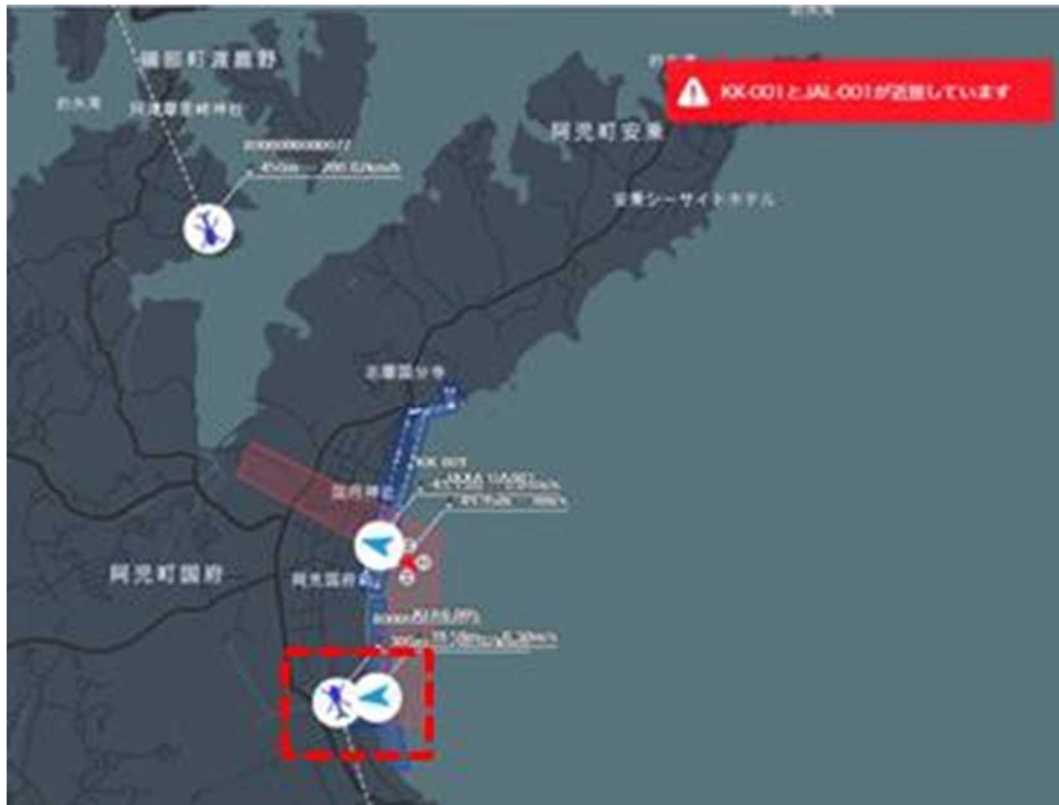


図 2. 2. 1. 14-128 ヘリコプターとドローンの近接時アラート

### ③ UTM 機能検証

#### (A) 計画・飛行承認機能の検証

計画・飛行承認機能としては、「運航計画管理」「飛行申請状況管理」「空域管理」「干渉回避」について検証した。実証時の運用としては KDDI/UASSP に接続された UASO から FOS を介して事前に準備した飛行計画を申請し、FIMS より承認を得ることで飛行許可を出した。また飛行計画については事前に調整している機体とそうでない機体を設定し、プリフライトでの干渉回避とインフライトでの干渉回避をそれぞれ実証した。

#### (B) 監視・検知機能の検証

監視・検知機能としては「運航監視」と「空域監視」について検証した。実証に際し、UA 同士や UA-ヘリ間の衝突を防止するために目視にて状況を UTM 画面上にて監視・確認し、音声コミュニケーションを介して各 UASO に対し回避行動を促した。また UTM 画面上には機体の動態情報のほか、UA 同士及び UA-ヘリ間の近接時にアラートが表示され、空域管理をより円滑に実施した。

KDDI/UASSP では、管理者が UA-ヘリの近接や UA 同士の近接について、画面を見ながら管理した。UA-ヘリの近接ではアラートの表示を確認し、退避勧告等を実施したが、動態情報の共有頻度や遅延を考慮すると余裕を持った対応が必要であることが判明した。UA 同士の近接では、近接時のアラートの表示を確認し、野良ドローン等に対しても回避を実証した。一方で UA②と③など、優先度が不明確な場合は判断が難しい状況が生じた。

#### (C) ドローン同士の衝突回避検証

JAXA シミュレータ上で取得されたログを用いて、本実証におけるシミュレータ機に対する実機の衝突回避行動時の接近状況を分析した。本実証でのフライト毎のシナリオを表 2. 2. 1. 14-67 に示す。

表 2.2.1.14-67 衝突回避行動の分析対象のシナリオ

実施日	フライト No.	シナリオ	UA④ 経路パターン
3/6	A 1	A	基本ルート
	A 2	A	基本ルート
	B 1	B	別ルート 4
	B 2	B	基本ルート
3/7	A 3	A	別ルート 3
	B 3	B	別ルート 4
	A 4	A	別ルート 5
	B 4	B	別ルート 4

シナリオ A における UA 間及びUA-ヘリ間の最接近距離を表 2.2.1.14-68 に示す。

表 2.2.1.14-68 シナリオ A における UA 間及びUA-ヘリ間の最接近距離 (単位 : m)

シミュレータ機	フライト No.		UA① (高度 100~149m)	UA② (高度 30m)
	UA④ (高度 50m)	基本ルート	A1	473.6
基本ルート		A2	540.8	159.4
別ルート 3		A3	—※1	938.4
別ルート 5		A4	94.0※2	689.4

※1 テレメトリ途絶のため第 1 回のシナリオから除外

※2 ホバリングではなく、北側へ回避し UA④とすれ違い

シナリオ A において最接近が見られた UA①と UA④の事例について、回避状況を図 2.2.1.14-129 に示す。実証時は、他機接近時にはホバリングしてやり過ごすことを原則的な運用方針としていたが、その場合、相手機の経路上で静止してしまうリスクがあることが確認できる。状況に応じた回避方法の指示等が必要である。

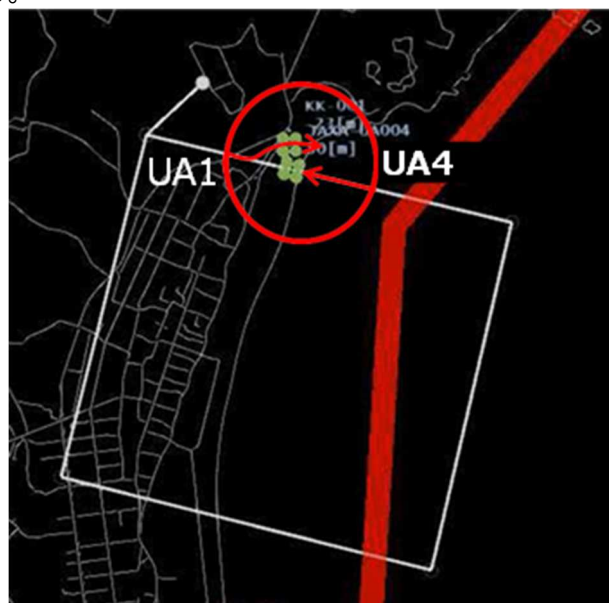


図 2.2.1.14-129 フライト A4 (03/07 12:02:23) における回避状況  
UA1 が UA4 を北側へ回避して通過 (94m)

シナリオ B における UA 間及び UA-ヘリ間の最接近距離を表 2.2.1.14-69 に示す。

表 2.2.1.14-69 シナリオ B における UA 間及び UA-ヘリ間の最接近距離 (単位 : m)

シミュレータ機	フライト No.		UA① (高度 100~149m)	UA② (高度 30m)
UA③ (高度 50m)	-	B2	444.7	300.0
	-	B1	204.6	183.3
	-	B3	232.1	124.9
	-	B4	621.4	261.5
UA④ (高度 50m)	基本ルート	B2	362.8	159.9
	別ルート 4	B1	282.4	14.0
	別ルート 4	B3	265.5	47.8
	別ルート 4	B4	639.1	132.0

シナリオ B では、14m というかなり接近した状況が観察できる。このような接近状況を現実の衝突リスクを避けて再現できることが、相手機をシミュレータで模擬することのメリットと言える。シナリオ B において最接近が見られた UA②と UA④の 2 例について、回避状況を図 2.2.1.14-130 に示す。これらの場合は、いずれもホバリングにより相手機の通過を待つことで回避を行っているが、UA②の場合、UA④との高度差が 20m と UA①よりかなり小さく、より早く回避指示を行うことが必要と考えられる。



図 2.2.1.14-130 フライト B1 (03/06 11:22:59)  
UA2 が野良ドローンを回避してホバリング (14m)

#### ④ 災害アプリケーション検証

災害アプリケーション検証では、津波災害発生時を想定した空撮ドローンの運用、及び空撮データの処理に関する検証を実施した。本項では、(1) 検証の概要において、実証全体における本検証の位置づけを整理しながら、検証の全体像を記述する。続く (2) 検証のフローでは、本検証の手順を述べ、(3) 検証結果では、空撮及びデータ処理得られた結果を記述し、そして (4) ではその成果と課題を整理した。

##### (A) 検証の概要

災害アプリケーション検証の実施にあたり、本ドローン運航管理実証における全体シナリオとは別に、災害アプリケーション検証用の個別シナリオを 5 つ策定し、検証を実施した。いずれのシナ



リオにおいても、全長約 2.5km にわたる国府白浜のうち、北端の高台から北側半分の海岸線上空を南北方向に往復して飛行させ、海岸の西部に位置する市街地方向の空撮を実施した。

機体は、運航管理システムに接続可能な専用モジュールを設置した DJI 製「Matrice 300 RTK」を使用し、運航管理システム接続下で運用した。機体高度は、シナリオに応じて 100m~149m の間で設定した。地上の人員体制としては、離着陸拠点に 3~4 名（プロポを持つフライヤー担当、記録担当、FOS アプリがインストールされたタブレットの操作を担当する統括担当など）、飛行ルート周辺に 4~6 名（保安担当、被災模擬担当など）の人員を配置した。

## (B) 検証のフロー

本検証は、実際の災害対応を想定し、以下(ア)~(オ)のフローで実施した。(ア)~(イ)は実証実験の事前準備として実施し、(ウ)~(オ)は実証実験当日に実施した。個別の実施項目について、以下に詳述する。

- (ア) 災害想定シナリオの策定
- (イ) 飛行計画・ルート策定
- (ウ) 実機でのドローンオペレーション
- (エ) 取得データに基づく 3 次元点群データの構築
- (オ) クラウドでのデータ共有

まず、先述のとおり 5 つのシナリオ（以下①~⑤）を策定した(ア)。③~⑤は、全体シナリオ下での実施を前提に「津波被災後」のドローン運用を想定し、一方①~②は、③~⑤との比較対象として「平常時」のドローン運用を想定した。それぞれ「広域的な情報収集」と「特定箇所の基礎情報収集」を実施し、「津波被災後」のシナリオ下でのみ、「熱源情報収集」を実施することとした。

「広域的な情報収集」のシナリオは、ドローンによる空撮画像・映像を通じて、被災現場の被害規模等を把握できるかどうかを検証する目的で設定した。「特定箇所の基礎情報収集」のシナリオは、実証エリアに位置する志摩市指定避難所や津波避難タワー等の津波避難施設に地域住民が避難している想定で、その避難状況を空撮によって把握できるかどうかを検証する目的で設定した。「広域的な熱源情報収集」のシナリオは、避難住民の有無や火災の様子など、光学カメラとは異なる情報をサーモカメラで収集可能かどうかを検証する目的で設定した。

- ①平常時の広域的な情報収集
- ②平常時の特定箇所の基礎情報収集
- ③津波被災後の広域的な情報収集
- ④津波被災後の特定箇所の基礎情報収集
- ⑤津波被災後の広域的な熱源情報収集

シナリオ策定に続き、(イ)飛行計画・ルートの策定を実施した。まず離着陸拠点の選定においては、シナリオとの整合性も考慮し、津波被災後も活用できる可能性の高い高台であることを重視した。事前の下見をふまえて、地元宿泊施設のローズガーデン志摩の敷地の一画（標高約 16m）を離着陸拠点として活用した。飛行ルートの検討においては、実証エリアは人口集中地区（DID）ではなかったが、志摩市との事前調整を経て国府白浜の砂浜及び海水面の上空を飛行するルートを採用した。そのため海岸線の西側に広がる市街地を斜め撮影できるよう、カメラのジンバルは俯角 40 度に設定した。

実証実験の当日は、(ウ)実機でのドローンオペレーション、(エ)取得データに基づく 3 次元点群データの構築、(オ)クラウドでの情報共有を実施した。

実機の運用にあたっては、既存の一般的なドローンオペレーションとは異なり、運航管理システム下における UASO の役割として、具体的には FOS アプリの操作と運航管理システム側からのアラートに基づく機体操作が求められた。現場では、フライト統括担当が FOS アプリ入りのタブレット操作を担当し、プロポ操作を行うフライヤーと連携することで、運航管理システム下でのフライトを実施した。また安全かつ円滑に被災模擬の検証を進める上で、保安担当者や避難施設等で待機する被災模擬の担当者はトランシーバーを携帯し、緊密なコミュニケーションを図った。特に津波被災後を想定したシナリオ③~⑤における災害アプリケーション検証においては、各担当者は避難者を模して、それぞれの持ち場である避難施設の屋上や広場で「手旗を振る」、また砂浜では「発煙筒を焚く」

「SOS を砂に書く」等の動作を行った。ドローンはその様子を上空から撮影した。

機体の着陸後、ドローンに搭載していた SD カードから空撮した写真画像をパソコンにコピーし、(エ)、(オ)の工程に移った。まずドローンの自動航行による連続撮影を行った①、③、⑤のフライトに関しては、オペレーションを担当した国際航業株式会社の 3 次元空間解析クラウドサービス「KKC-3D®」を活用し、国府白浜北部から国府地区の沿岸市街地にかけての 3 次元点群データを作成した。またそれと併せて、災害時における遠隔地の関係者への情報共有を想定し、模擬的に Google Drive への画像アップロードを行った。Wi-Fi 端末を通じてインターネット回線を確保し、画像アップロードを完了した上で、当該フォルダの URL を、志摩市の担当者を含む実証実験関係者内にメールで共有した。なお共有データは、全体の業務フロー、アップロードのためのネットワーク環境、Google Drive で閲覧することなどを考慮し、光学カメラ・サーモカメラで取得した画像データ (JPG 形式) のみを対象とした。3 次元点群データは、データ形式に対応するソフトウェアでの閲覧が必要のため、キャプチャで事後的に関係者に共有した。

### (C) 検証の結果

平常時想定シナリオ①②における空撮結果との比較を通じて、津波被災後を想定したシナリオ③④では広域での斜め撮影、及び特定箇所のズーム撮影による避難者探索模擬において、それぞれ一定の成果が得られた。

具体的には、志摩パークゴルフ場前の砂浜、国府白浜休憩舎前の砂浜に待機した模擬避難者が砂に描いた「SOS」等のサインが、ズーム撮影によって、プロポ操作時及び着陸後の画像チェック時において確認できた。また市街地内の特定箇所を対象とする空撮では、地上 2 階建 RC 造の国府漁村センター屋上に設定された緊急避難所 (津波避難ビル)、国府地区公民館 (市指定避難所) の前にそれぞれ配置した模擬避難者が手旗を振る様子が、ズーム撮影によって、プロポ操作時及び着陸後の画像チェック時に明確に確認できた。

一方、指定避難所や津波避難施設は、上空からの撮影や目視に対して視認性の高い作りをしていない。また周囲よりも高い建築物であったとしても、斜め撮影の場合はその高さの違いを認識しづらい。したがって、空撮実施時にフライヤー担当者が対象とする建物等の発見に時間を要し、想定よりも飛行時間が長くなる要因となった。



図 2.2.1.14-131 難者搜索のための空撮実施例  
(左：砂浜上の避難者と救助を求める文字、右：津波避難ビル屋上の避難者)

シナリオ⑤では、サーモカメラを活用し、砂浜に待機する補助者が焚いた発煙筒の熱源等から、要救助者の有無や、火災発生の有無の推定に応用可能かどうかを検証し、一定の成果を得ることができた。具体的には、「SOS」を描くことによって地上に露出した、低温の地中部分が文字として浮かび上がる様子や、発煙筒の熱源周囲が高温になっている様子が、ズーム撮影によって、プロポ操作時及び着陸後の画像チェック時において確認できた。

一方、発煙筒の規模の煙は、上空 100m~149m からのサーモ空撮、及び通常の光学カメラによる空撮では十分に視認することができなかった。

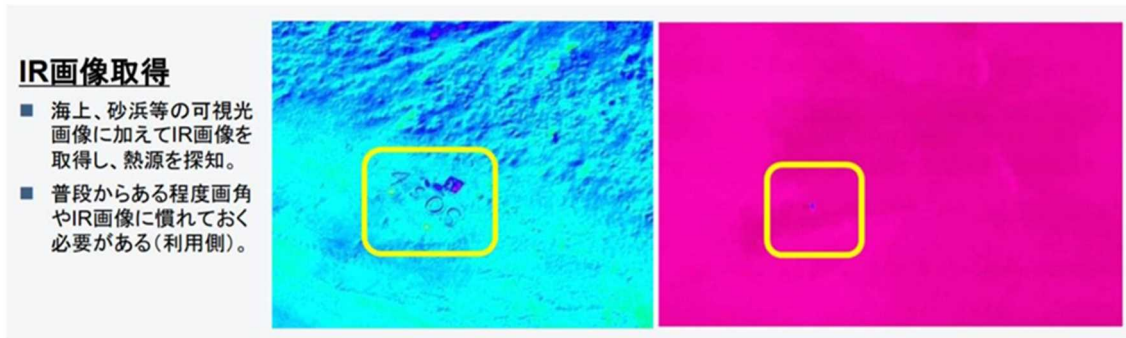


図 2. 2. 1. 14-132 IR 画像の取得例

(左：図 2. 2. 1. 14-131 左側写真と同時・同地点で取得、右：海上のサーファー)

1次元点群データ解析では、「KKC-3D®」の SfM (Structure from Motion) 解析技術により、国府白浜北部から国府地区の沿岸市街地にかけての 3次元点群モデルを、連続的に撮影した空撮画像をもとに生成した。南北方向に飛ぶ機体で、西側方向に俯角 40 度のカメラ設定で「斜め撮影」を行ったため、もともとの写真に映り込んでいない側（たとえば建物の西面など）の点群は生成されていないが、空撮画像を 1 点 1 点確認する手間を省くことができ、広域にわたる現地の概要を把握する上で有効である。また、平常時から定期的に同様のデータを取得しておくことにより、被災前後の差分解析を行うことが可能となり、非常時に被災状況を効率的に把握することができると思われる。

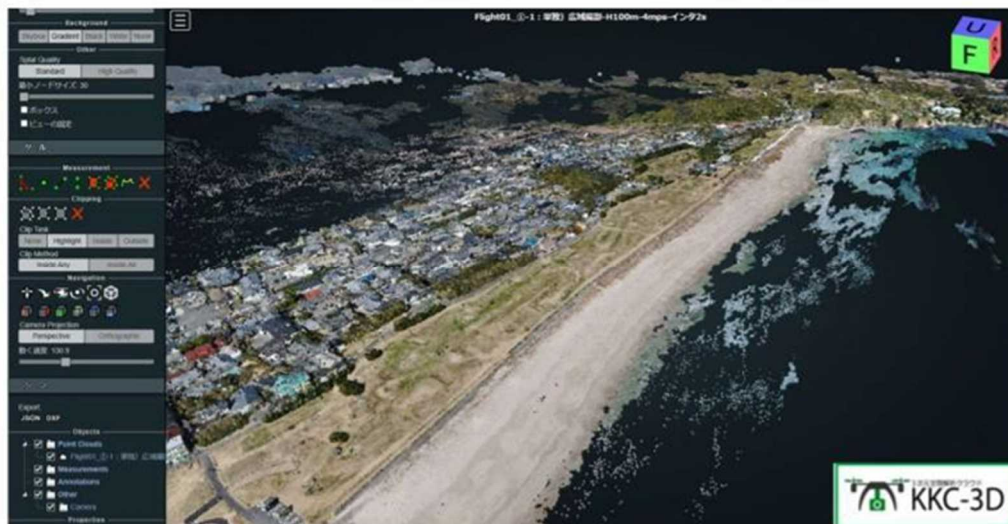


図 2. 2. 1. 14-133 KKC-3D®により生成した 3次元点群データの例

データ共有に関しては、特殊なソフトウェア等を活用せずに、Google Drive を活用し、一定の効果が認められた。参考として、フライト開始から画像データアップロード完了の関係者間周知までの所要時間を計測したところ、およそ 30 分間の総時間で実施することができた。以下の内訳は、1つのフライトを例にとり記載したものである。

表 2. 2. 1. 14-70 フライト開始から画像データアップロード、関係者周知までの所要時間の例

項目	所要時間
飛行時間（離陸～着陸）	約 12 分
着陸後の諸対応時間（SD カード抜き取りからアップロード準備まで）	約 3 分
撮影データのアップロード時間	約 10 分
アップロード後の諸対応時間（確認から周知メール送付まで）	約 5 分
所要時間合計	約 30 分



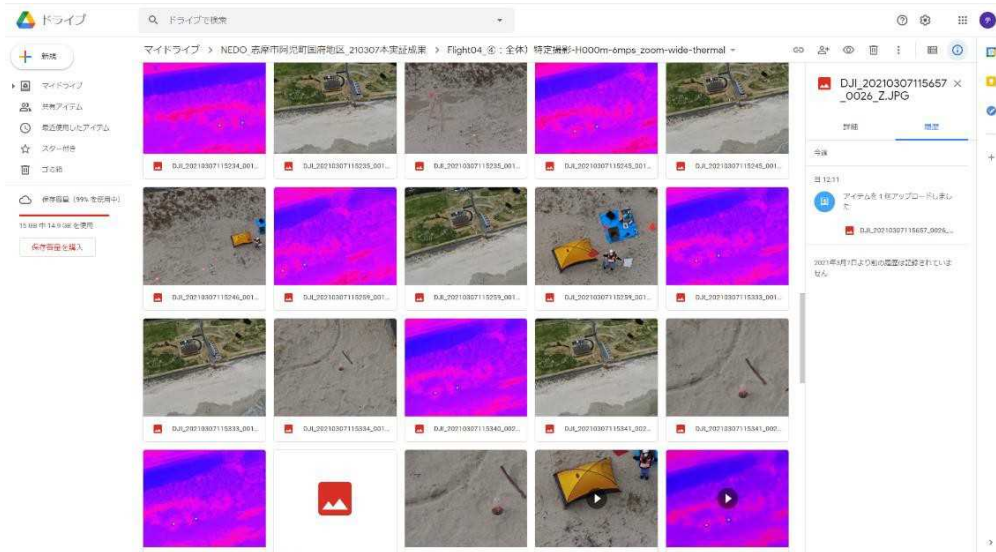


図 2.2.1.14-134 データ共有結果の例 (Google Drive による共有)



図 2.2.1.14-135 フライト B3 (2021/03/07 11:04:14)  
UA2 が野良ドローンを回避してホバリング (48m)

### (3) 課題の整理

本実証を受けた課題として、以下に UTM における課題と災害アプリケーションにおける課題を整理した。

#### ① UTM における課題

##### (A) 運航管理の運用課題

ヘリコプターとの事前調整と空域設計については、事前計画段階におけるヘリコプターとの情報共有が重要であり、そのプロセスの明確化と事前調整を踏まえた災害現場の空域設計の検討が必要であることが判明した。

運航管理の最適化に関する観点では、UTM 側の運航管理実施者の音声指示による人的処理と、UTM システムによる自動処理の範囲の最適化が必要である。また、音声通話による指示の有効性と限界の切り分けを整理すること、UTM による運航管理の対象スケールの検討が必要である。対応可能な災害現場レベル、市町村レベル、県レベルといった地理的スケールや管理対象のドローン機数、階層

管理についても同様に検討が必要である。さらに、ヘリコプターとのコンフリクト調整及びドローン同士のコンフリクト調整について、要求されるタイムスケールに応じた運航管理の最適化が必要である。なお実証実験では、ヘリコプターへの対応を早期に実施することで、ドローン同士のコンフリクト調整について余裕が発生した。以上に加えて UTM 側の運航管理実施者に求められる要件(知識、経験等)や教育プログラム等の検討が必要であることも判明した。

ドローンの優先度設定については、災害時のドローンの運航優先度を設定し、コンフリクト発生時の対応方を予め決めることが必要である。

#### (B) UASO への情報提供

提供情報の種類に関する課題として、UASO の運用に必要な情報の種類(高度、距離、動態情報、回避指示等)や伝達方法(音声指示、システム上の文字表示)の整理が必要である。またヘリコプター、ドローンの事業上の制約から、UASO に関与可能な情報の範囲や提供方法の整理が必要である。

情報提供のタイミングに関する課題としては、近接に至る時間に応じた情報提供のタイミングと、それに伴った提供情報の整理が必要である(事前の情報提供、接近時の注意喚起、衝突回避のための警告、等)。

### ② 災害アプリケーションにおける課題

#### (A) 情報収集

まず特定箇所を対象としたスポット撮影を行う場合には、撮影対象を事前に明確化しておく必要がある。マニュアル操縦で避難者等を検索する場合、避難者がいそうな場所に接近し、転送されてくる画像・動画から避難者の有無を判断する必要があるため、飛行時間や飛行範囲に大きな制約を受ける。そのため平常時から撮影対象(例:公共施設、避難場所、主要道路・交差点、重要インフラ、災害危険箇所など)を整理し、さらにその対象を撮影するのに適したルート、高度、及び撮影諸元(例:画角・ズームレベル)も整理しておくことにより、緊急時にもスムーズに情報収集が可能となると考える。

またサーモカメラによる撮影では一定の成果を得ることができたが、取得されたサーモ画像の表示閾値を調整し、確認したい温度帯を強調することにより、より明確な推定ができるようになると思われる。ただし夏季など浜や路面が高温になるような場合、あるいは津波で一帯が浸水して表面温度が低い場合など、サーモカメラが有効なシーンについては今後も整理・検討が必要と思われる。

そして斜め撮影による連続写真からでも一定の 3 次元点群データが作成できた点は、重要な成果であると考えられる。本技術を活用すれば、二時期のデータを比較して差分抽出を行うことができるため、災害前と災害後の変異計測にも有効と考えられる。

これらの事項を踏まえると、自治体を中心となって、①平常時から 3 次元点群データを作成しておくこと、そして、②平常時から調査対象、飛行ルート等を整理しておくことにより、津波被災後のドローン活用目的と使い方も明確になり、また迅速な災害復旧・復興にも寄与できると考えられる。

#### (B) 情報共有

Google Drive を利用した撮影成果の共有については、依然として課題も大きい。技術的な課題としては、1 フライトにおける撮影枚数が多いためサーバ容量に不安のないストレージが必要である点や、災害時にも安定した高速通信回線の確保を必要とする点が挙げられる。運用上の課題としては、Google Drive のようなクラウドサービスを、有償/無償を問わず基礎自治体、広域自治体側が活用できるような環境整備が必要となる点が挙げられる。すなわちドローンに限らず、平時も含め防災・災害対応を広く見据えた、自治体及び地域のデジタルトランスフォーメーションが不可欠であると言える。また、同時期に大量に取得される画像データ群から効率よく必要な情報を取り出す技術についても、処理の自動化・迅速化を推進する必要がある。

### 5.2.3.3. 2021 年度実証試験

#### (1) 検証内容・方法

##### ① 検証項目の設定

2021 年度は、2020 年度の課題を踏まえ、以下の事項について検証を行った。なお、UTM 機能に関する具体的な検証項目は、表 2.2.1.14-66 に示したとおりである。

##### ● 管理空域の広域化

- ✓ 2020 年度に対象とした現場レベルではなく、地域レベル/自治体レベルの空域を対象とした運航管理を実証
- ✓ 和具地区周辺（和具漁港、市街地、広の浜、志摩総合スポーツ公園、県立水産高校）、寸断地域（船越地区、深谷水道）、志摩地中海村等の複数地域を管理対象として設定

##### ● 災害時の運用に則した実証

- ✓ 有人機情報システム、D-NET との連携について実証
- ✓ 災害時のミッションや運用主体の特性等に応じたドローン運用の優先度の管理について実証
- ✓ 警察・消防の航空機等による救助活動を想定してドローンの飛行を原則禁止にする空域「緊急用務空域」の設定に対する対応を実証
- ✓ 災害時のドローン運用プロセスの検討した上で実証

##### ● 干渉回避

- ✓ 災害時に想定されるユースケースの洗い出しに基づく実証シナリオや飛行経路を検討することで、実運用上想定される干渉回避パターンについて実証
  - <プリフライトの干渉>
    - ◇ 事前調整会議で優先度を設定し、UTM 上で優先度に基づいた飛行計画を申請することで干渉回避を実証
    - ◇ ドローン同士の干渉について、マスコミ等の突発的な飛行申請や現場の要望に基づく緊急物資輸送など事前に経路を調整することが困難な状況における UTM による干渉回避を実証
  - <インフライトの干渉>
    - ◇ 離着陸を伴う緊急度の高いヘリコプターの運航に対し、UTM によるドローン側の干渉回避を実証

本実証を通じて目指す、災害対応における UTM 活用イメージを以下に示す。広域自治体、基礎自治体、災害現場のオペレータが、それぞれの役割の下で UTM を活用すると共に、UTM を介して、ドローンの運航のみならず、空域やヘリコプター、災害に関する情報の連携を実現する。具体的なシステム連携については、D-NET（ヘリ動態管理、災害情報）、FOSTER（ヘリ動態管理、気象情報）との連携を実証することとした。

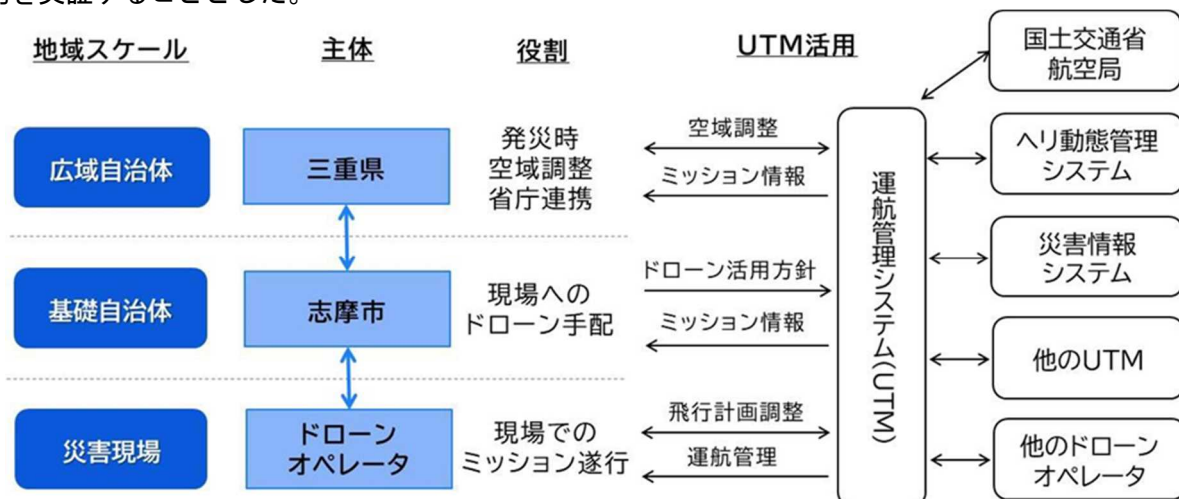


図 2.2.1.14-136 災害対応における UTM 活用のイメージ図



## ② 実証実験地域

実証実験の地域については、図 2.2.1.14-137 に示すように志摩市の中でも南海トラフ地震の際に主に津波をはじめとした大規模な被害が懸念される和具・布施田地区（和具漁港・和具広の浜・志摩総合スポーツ公園）を実証エリアに設定した。実機は和具地区の和具漁港及び布施田地区の志摩総合スポーツ公園を拠点（それぞれ赤字）に運航した。そのほかの地域として、津波被災時にさきしま半島を寸断すると考えられる船越地区及び深谷水道、民間ドローンの運用が想定される志摩地中海村、寸断後に物資輸送の拠点となる可能性のある県立水産高校（それぞれ青字）をシナリオに組み込んだ。

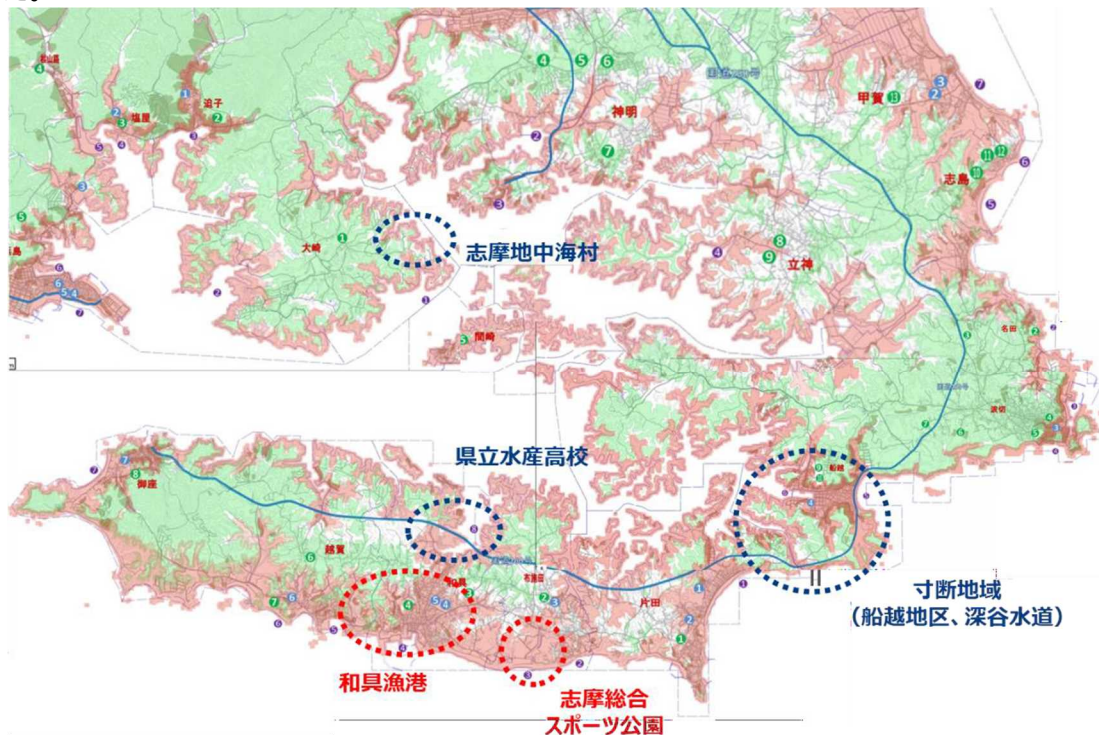


図 2.2.1.14-137 2021 年度における実証エリア  
出所) 志摩市防災ハザードマップより MRI 作成

## ③ システムアーキテクチャ

図 2.2.1.14-138 にシステムアーキテクチャ概念図を示す。2020 年度と同様、KDDI/UASSP と JAXA/UASSP (シミュレーション) の 2 つの UASSP を設定し、KDDI/UASSP には実機 2 機、JAXA/UASSP にはシミュレーションによる機体 2 機を接続した。

2020 年度との違いは、ヘリコプターの情報連携である。有人機情報システム (FOSTER) に接続されたヘリコプター動態情報・計画情報に加え、D-NET に接続されたヘリコプターの動態情報を、FOSTER 経由で UTM に連携するアーキテクチャとした。なお、FOSTER 及び D-NET のヘリコプター情報については、シミュレーションデータによる検証とした。D-NET には災害情報も含まれるが、災害情報については、市販製品化されている防災情報共有ツール DigMaps を用いて、実証試験時にはオフラインによる情報共有を行った。

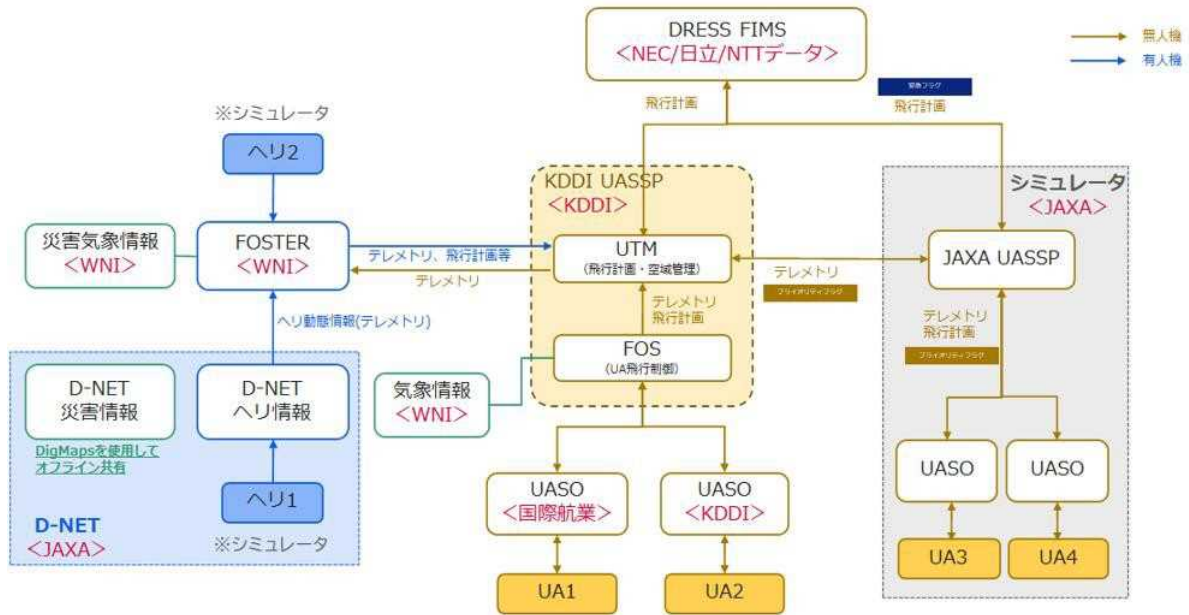


図 2. 2. 1. 14-138 2021 年度実証におけるシステムアーキテクチャ概念図

#### ④ 災害時のドローン利用プロセス

災害時におけるドローン活用については、ほとんどの自治体で災害対応の基本となる地域防災計画等に記載が無い状況と考えられる。また、災害対応は各自治体の実情に応じて実施することになるため、災害対応におけるドローンの活用においても、ドローンの運用に関わる職員数や管理するドローンの数等に応じて調整方法等が変わるものと考えられる。

2021 年度に実証試験を行った三重県志摩市においても災害時のドローン利用プロセスに関する事前の取り決めが無かったことから、志摩市の実情を考慮して災害時のドローン利用プロセスを検討し、実証実験で検討結果に沿った対応を行った。なお、今回の利用プロセスは実証実験のために仮に設定したものであり、今後に志摩市において災害時のドローン活用を具体化していく際には、必要に応じて見直しが求められる。

##### ● 利用プロセスの種類

災害対応にドローンを活用するプロセスには大きく分けて 2 パターンがある。事前に運用調整するパターン（パターン A と呼ぶ）と、災害時に運用調整するパターン（パターン B と呼ぶ）がある。

事前に運用調整するパターン A では、災害発生前にミッション・飛行経路等を決めておき、災害時は予め決められた手順に沿って飛行する。例えば、発災直後に予め決められたルートでドローンが飛行し、被害状況の把握等を行う場合が相当する。

一方、災害時に運用調整するパターン B では、ヘリコプターの飛行経路・運用に関する情報や災害対応全般の対応方針を踏まえてドローンの運用調整を行い、ミッション・飛行経路等を検討する。

2021 年度の実証試験は、プレ実証（10 月）及び本実証（11 月）の 2 回実施しており、プレ実証はパターン A に基づくシナリオ A で試験を行い、本実証はパターン B に基づくシナリオ B で試験を行った。

なお、パターン A 及びパターン B の各プロセス（ドローンに関する調整会議等）の詳細は、(2) を参照のこと。

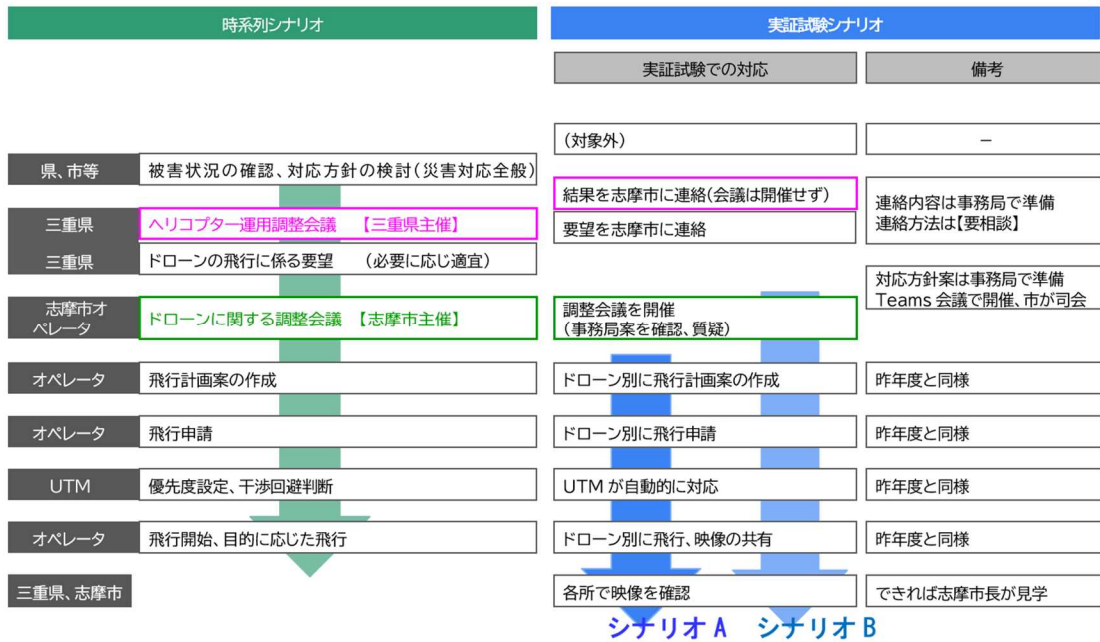


図 2.2.1.14-139 実証試験シナリオ  
(シナリオ A：プレ実証で実施、シナリオ B：本実証で実施)

● 利用プロセスにおける各プロセスの概要

災害時に運用調整するパターン B における、災害発生～ドローンの飛行開始に至る全体の手順例は以下のとおりである。なお、パターン A の場合は、以下の手順の(D)（飛行計画書の作成）以降に相当する。

(A) 災害対応全般の対応方針の検討

災害情報システムや現場における調査から、災害対策本部会議等において災害による被害状況の確認と災害対応全般に対する対応方針の検討を行う。災害発生直後には、被害発生箇所が分からないため、どこを撮影するためにフライトするかの判断が重要となる。

なお、以下の運用調整会議を待たずに人員・機器等の準備が整い次第、可及的速やかにドローンを飛行させ、災害直後の被害状況を把握することも考えられる。

(B) ヘリコプターに関する情報の把握（ヘリコプター運用調整会議等）

広域災害等においては、広域自治体主催で、広域自治体・防災機関等によるヘリコプター運用調整会議が開催される場合がある。会議が開催される場合には、ドローンの運用調整で必要となる情報（ヘリコプターの飛行経路等に関する事項等）をヘリコプター運用調整会議で把握する。また、ヘリコプターによる支援を受入れる場合等においてもヘリコプターの飛行経路等が把握できるため、それらの情報をドローンに関する運用調整で参考とする。

(C) ドローンに関する運用調整【5.2.3.3 (1) ⑤参照】

(B)ヘリコプターに関する情報や県等からの要望を踏まえ、活用可能な機体（自治体所有、協定を締結した民間企業等の所有）を把握した上で、ドローンの飛行に関する調整を行う。例えば、ドローンに特有な調整会議を開催することや、会議は開催せずに災害対策本部の中の特定の対応班が調整することも考えられる。

(D) 飛行計画書の作成

ドローンのオペレータ等からの助言等を踏まえ、災害対応に投入するドローンの機体ごとに飛行計画書を作成する。

(E) UTM による飛行の優先度設定と干渉回避判断【5.2.3.3 (1) ⑤参照】

作成された飛行計画書を飛行申請した後に UTM 等で飛行の優先度が設定され、干渉回避判断等

が行われる。

(F) 飛行開始

実際にドローンの飛行を開始する。その際、UTM からのアラートやヘリ動態情報を注視しながら飛行する。

⑤ ドローン運航調整

前項の災害時のドローン利用プロセスでは、ドローンの運航調整として、平時と同様に UTM を通じて調整する場合と、UTM に申請する以前に自治体で調整する場合を想定した。また、自治体で事前に調整する場合にはドローンのミッション別に優先度を設定して、優先度に応じて飛行申請することを想定した。優先度はドローン間で適用されるものであるが、空域制限が設定される場合には警察や消防等のヘリによる救助活動等を優先するため、全てのドローンが影響を受ける可能性がある。

このため、ここではドローンの運航調整に関する2種類のパターンとともに、関連する事項として優先度の設定及び空域制限について整理する。

(A) UTM による運航調整

災害時には狭い空域に多くのヘリやドローンが飛行することとなるため、【5.2.3.3 (1)④】で示したとおり、平時と同様に UTM を通じてドローンの運航調整・空域調整を実施する。各主体によって申請された飛行計画について、広域自治体等による UTM を通じ、空域調整が行われる。その際、各主体が実施する事項は以下のとおりである。

なお、UTM はヘリの動態情報を D-NET や FOSTER 等から収集する。

表 2.2.1. 14-71 UTM を通じた運航調整を行う際の実施事項

主体	実施事項
広域自治体	<ul style="list-style-type: none"><li>自治体内における空域管理・調整</li><li>各機体のミッション情報の取得</li></ul>
基礎自治体	<ul style="list-style-type: none"><li>災害対応の基本計画の共有</li><li>各機体のミッション情報の取得</li></ul>
災害現場	<ul style="list-style-type: none"><li>飛行計画の調整・運航管理</li></ul>

実証実験での UTM における空域調整の様子は以下のとおりである。



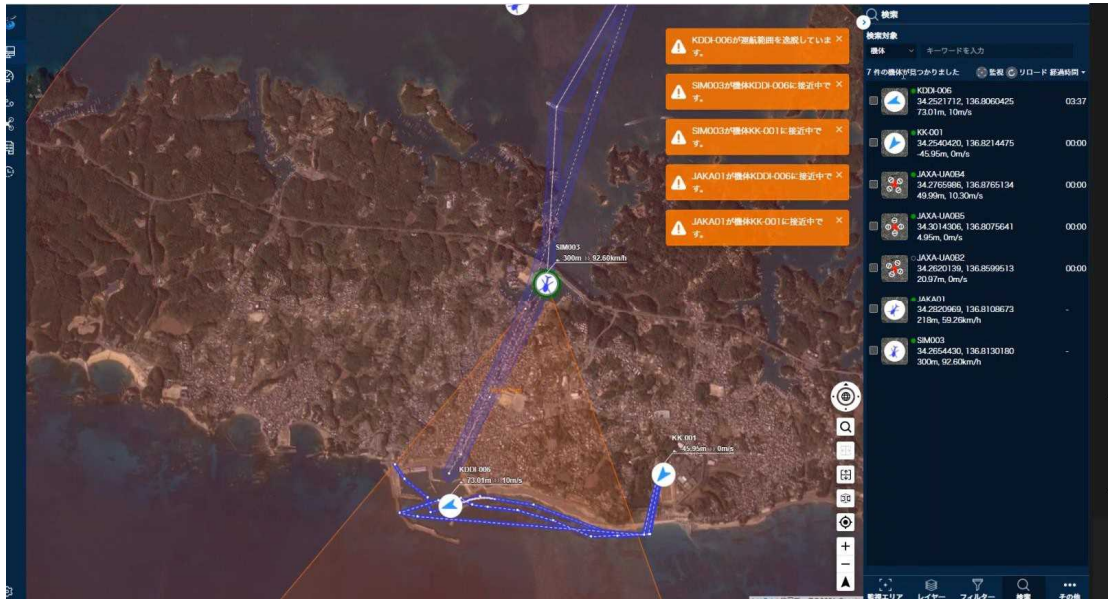


図 2. 2. 1. 14-140 UA-ヘリ の近接に対する対処状況

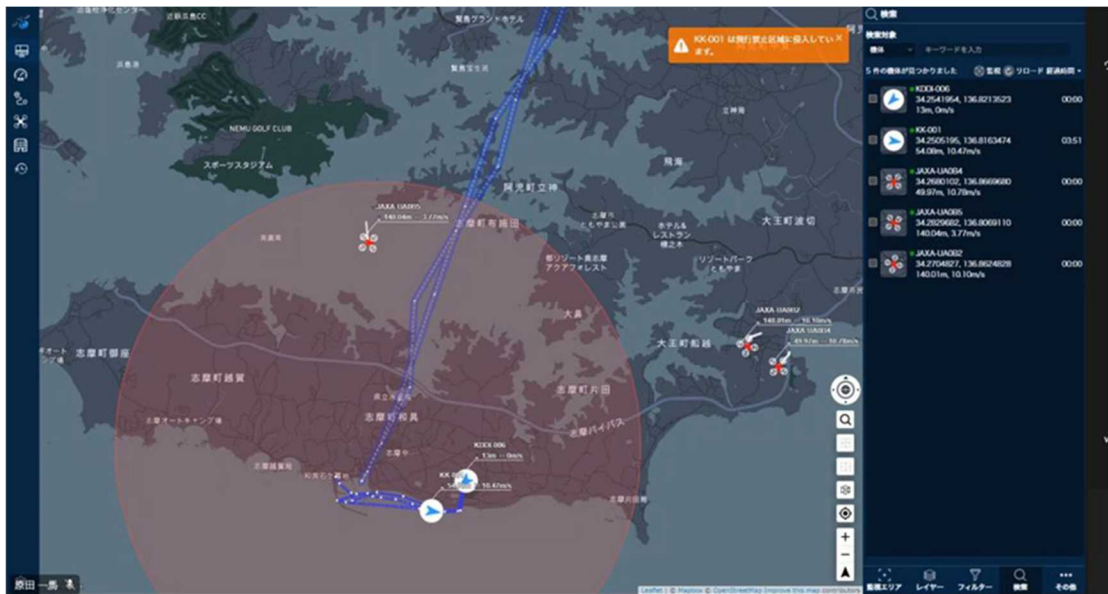


図 2. 2. 1. 14-141 緊急用務空域に侵入した UA に対するアラート

なお、UTM で運航調整を行うことで干渉は回避できるものの、現状では先に申請されたミッションから承認されるため、本来優先すべきミッションの飛行であっても承認順を優先することはできない。このため、UTM に申請する前にミッションの優先度を決めておき、優先度の高いものから先に申請することが必要となる。ミッションの優先度については、自治体における運用調整において決める必要がある。詳細については、【5. 2. 3. 3 (1)④】を参照のこと。

(B) 自治体における運用調整

(A) で記載したとおり、ドローンの干渉回避のためには、自治体における運用調整においてミッションの優先度を決めておく必要がある。自治体における運用調整の種類については、事前に運用調整しておくパターンと、災害時に運用調整するパターンがある。詳細については、【5. 2. 3. 3 (1)④】を参照のこと。

(C) 災害対応のためのドローン運用における優先度の設定

災害対応のためのドローン運用における優先度の設定は、ドローンの干渉回避のためだけでなく、ドローンという限られたリソースの有効活用の観点からも重要となる。膨大な災害対応業務に対

して投入できるリソース（職員、機材、車両、燃料等）が限定されるため、優先度の高いミッション（業務）からリソースを投入していくことが重要となり、そのために業務継続計画（BCP）を策定している自治体も多い。

このため、災害対応のためのドローン運用における優先度の設定にあたっては、地域防災計画や BCP 等において災害対応業務の優先度が決まっている場合は、それに応じて投入するドローンの優先度を検討することが考えられる。BCP 等で優先度が決まっていなかった場合には、基本的な BCP の思想を踏まえ、投入できるドローンの数等を考慮して、優先的にドローンを投入するミッションを発災後のフェーズ別に検討しておくことが望まれる。例えば、2021 年度に三重県志摩市で実施した実証実験においては、優先度フラグが二値で設定できたため、図 2.2.1.14-142 のとおり優先度を「高」「低」で設定している。

なお、ここでいう優先度は同じ時間フェーズに実施するミッション同士を比較するものであり、例えば、発災直後に実施する優先度「低」のミッションは、発災数時間後の優先度「高」のミッションよりも優先して実施する。

優先度	条件	ミッションの例
高	● 様々な災害対応の前提となるもの	広域的な被害状況の把握、孤立地域でのヘリポートの状況把握
	● 市民の安全に関するもの	避難誘導、避難状況の把握、遭難者の発見、医療物資の輸送
	● 2次被害の防止に関するもの	危険箇所の点検(がけ崩れ等)、延焼状況の把握
	● ドローンの運用に不可欠なもの	関連施設の被害状況の把握(離着陸場所等)
	● その他で以上の項目に準ずるもの	迂回路が少ない緊急輸送道路の点検(長大橋等)
低	● 「高」以外のミッション	重要度の低い施設の点検、食料等の物資輸送

図 2.2.1.14-142 災害対応のためのドローン活用における優先度例

(D) 災害時における空域制限（緊急用務空域と飛行自粛）

災害時には、警察や消防等のヘリによる救助活動等を優先するため、ドローンに対して「飛行自粛」「緊急用務空域」といった空域制限が設定される可能性がある。

「飛行自粛」の要請とは、すべての航空機に対して飛行自粛を求める NOTAM が発行されることを指す。実際に飛行自粛が要請された広島県他における 2018 年豪雨や 2021 年 7 月伊豆山土砂災害の事例では、災害発生数日後に、複数の地点を中心とした半径 4km 弱（2NM）の範囲が飛行自粛空域に設定されている。また、飛行自粛要請は航空局 HP や Twitter で公開される。

「緊急用務空域」の設定とは、捜索や救助を目的とする一部の無人航空機以外の無人航空機は飛行を原則不可とすることを指す。緊急用務空域は災害規模に応じて国土交通大臣がその都度設定し、航空局 HP や Twitter の公開を通じて周知する。また、実際に発行された実績はないため、詳細な運用方法は不明である。ただし、航空法第 132 条の 3(捜索、救助のための特例)により、警察等の機関や国土交通省令で定める主体が捜索や救助を目的とする場合は、無人航空機の飛行は可能となる。

表 2.2.1.14-72 飛行自粛と緊急用務空域の詳細（例）

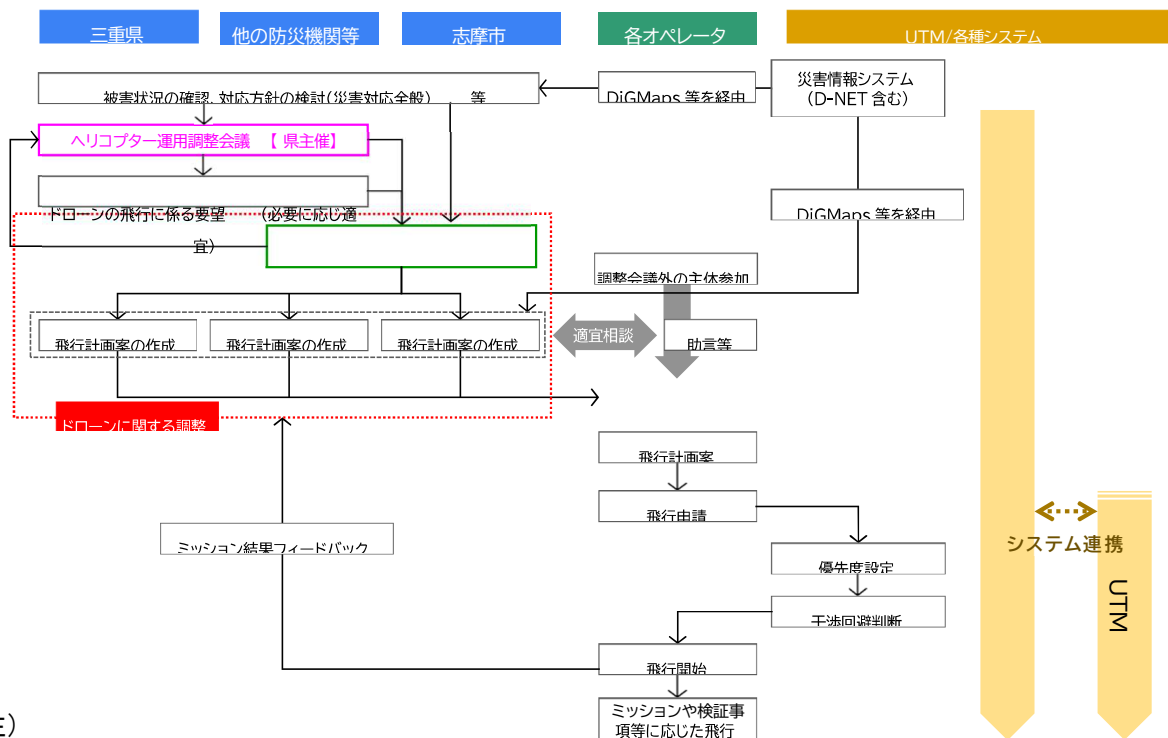
空域制限の種類	対象	範囲	タイミング	発出依頼者	
				要請空域が広域(2 都県)	政府災害対策本部
飛行自粛	全ての航空機	半径 2NM (4km 弱) の円内	発災後数日経過時点	要請空域が 1 都県	都県災害対策本部
緊急用務空域	無人航空機	不明	不明	現地災害対策本部	





図 2. 2. 1. 14-143 平成 30 年豪雨で設定された飛行自粛 NOTAM<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国土交通省 AIS Japan、 [https://www.japa.or.jp/wp-content/uploads/2018/07/cab\\_201807\\_02-2.pdf](https://www.japa.or.jp/wp-content/uploads/2018/07/cab_201807_02-2.pdf) (閲覧日: 2021 年 8 月 11 日)



(注) 調整会議（ヘリコプター、ドローン）が立ち上がっていない場合には、各会議を除いたフローとなる。例えば、発災直後に両方の会議が立ち上がっていない場合には、各ドローンで個別に飛行計画を検討し（一部で事前に相互調整）、飛行申請した際にシステム上で調整が実施される。

図 2. 2. 1. 14-144 災害時のドローン利用プロセス（2021 年度実証試験の場合）

## ⑥ 実証シナリオ

### (A) 実証シナリオの全体像

2021 年度の実証試験は、プレ実証（10 月）及び本実証（11 月）の 2 回実施しており、プレ実証はパターン A（事前に運用調整）に基づくシナリオ A で試験を行い、本実証はパターン B（災害時に運用調整）に基づくシナリオ B で試験を行った。パターン A 及びパターン B の詳細は、

5. 2. 3. 3(1)④を参照のこと。

なお、本実証ではドローンに関する調整会議を開催するため、事前にコンソーシアムメンバーで会議の議題や主な内容等について検討し、さらに机上演習で調整会議を模擬開催して精査し、その結果を踏まえて本実証で調整会議を開催した。

時系列シナリオ		実証試験シナリオ	
		実証試験での対応	備考
県、市等	被害状況の確認、対応方針の検討(災害対応全般)	(対象外)	-
三重県	ヘリコプター運用調整会議【三重県主催】	結果を志摩市に連絡(会議は開催せず) 要望を志摩市に連絡	連絡内容は事務局で準備 連絡方法は【要相談】
三重県	ドローンの飛行に係る要望 (必要に応じ適宜)		対応方針案は事務局で準備 Teams会議で開催、市が司会
志摩市オペレータ	ドローンに関する調整会議【志摩市主催】	調整会議を開催 (事務局案を確認、質疑)	
オペレータ	飛行計画書の作成	ドローン別に飛行計画書の作成	昨年度と同様
オペレータ	飛行申請	ドローン別に飛行申請	昨年度と同様
UTM	優先度設定、干渉回避判断	UTMが自動的に対応	昨年度と同様
オペレータ	飛行開始、目的に応じた飛行	ドローン別に飛行、映像の共有	昨年度と同様
三重県、志摩市		各所で映像を確認	できれば志摩市長が見学

シナリオ A シナリオ B

図 2. 2. 1. 14-145 実証試験シナリオ  
(シナリオ A：プレ実証で実施、シナリオ B：本実証で実施) 再掲



図 2. 2. 1. 14-146 本実証における調整会議の様子

**議題**

- 情報共有等
  - 情報共有・確認
  - ドローンのミッション(、場所)の確認、ドローンの割り当て
  - 安全管理の徹底
  - その他
- 質疑

**ヘリコプター運用調整会議【三重県主催】の結果**

- 三重県から共有された内容は、以下のとおり。
  - 原則として、ヘリコプターの運航をドローンより優先する。ドローンは標高150m以下を飛行するため、ヘリコプターが発着する(150m以下を飛行する)際には、ドローンは衝突を回避する。
  - ヘリコプターは、三重県地域防災計画における記載(ヘリコプターの活用等)に沿って運用する。  
※発生1時間以内に被害情報の収集、発生6時間以内に必要要員や機材の輸送、救急患者の医療搬送、被災者等の救出、緊急物資の輸送等を開始する。
  - 緊急用航空域が設定される場合には、航空法第132条の3(捜索、救助等のための特例)に該当する場合は除き、航空域内でのドローンの飛行を禁止する。
  - ドローンの運航は、市町村単位で調整する。複数の市町村を跨いで飛行する場合には、関係市町村に要望を提示し個別に調整する。
  - 飛行場外離着陸場のヘリコプターの搬着は事前に当該市町村に連絡するため、当該市町村でドローンの衝突回避を調整する。ドローンの飛行を優先したい場合には、運航の際に調整する。  
例)ヘリコプターによる食料等の輸送よりもドローンによる医療物資の輸送を優先したい場合
  - その他(サイレントタイムの確保、駐機場の運用方針、余震に注意した対応、等)

図 2. 2. 1. 14-147 ドローンに関する調整会議の資料イメージ

(B) 想定するミッション、優先度、飛行経路等

プレ実証（10月）及び本実証（11月）では、UTM機能の検証項目を念頭に、個別に異なる災害対応のミッションを有する複数のドローン及びヘリコプターの飛行を想定し、ミッションに応じた優先度の設定や、緊急用務空域の適用等を行った。なお、ヘリコプター及び一部のドローンは、実機ではなくシミュレーションにより飛行を模擬した。

表 2.2.1.14-73 UTM 機能の検証項目と飛行経路の対応

<p><b>管理空域の広域化</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 現場レベルではなく、地域レベル 自治体レベルの空域を対象とした運航管理を実証</li><li>・ 和具地区周辺（和具漁港、市街地、広の浜、志摩総合スポーツ公園、県立水産高校）、寸断地域（船越地区、深谷水道）、志摩地中海村等の複数地域を管理対象として設定</li></ul> <p><b>ミッションに対する優先度設定</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 調整会議において、各ミッションの目的に対して設定された優先度に基づく管理を実証</li></ul> <p><b>緊急用務空域の適用</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 調整会議において調整されていないミッション（民間企業による独自のミッション等）については、適用除外フラグを立てずに緊急用務空域の対象となるように設定（シナリオ B）</li></ul> <p><b>干渉回避</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ プリフライトの干渉<ul style="list-style-type: none"><li>- 事前調整会議で優先度を設定し、UTM 上で優先度に基づいた飛行計画を申請することで干渉回避を実証（シナリオ A）</li><li>- ドローン同士の干渉について、マスコミ等の突発的な飛行申請や現場の要望に基づく緊急物資輸送など事前に経路を調整することが困難な状況における UTM による干渉回避を実証（シナリオ B）</li></ul></li></ul>
--

● プレ実証（10月）

プレ実証は、パターン A（事前に運用調整）に基づくシナリオ A で試験を行った。プレ実証で想定するミッション、優先度、飛行経路等は、以下のとおりである。

[想定するミッション（目的）、優先度等]

- ✓ シナリオ A では全部で以下 6 ケースの飛行経路を設定し、A-1 から A-4 をドローン、A-5 及び A-6 をヘリコプターとして運航
- ✓ A-1 と A-2 は実機で運航し、それ以外はシミュレータで運航
- ✓ ミッションに対して優先度を設定し、重要地域を観測するミッションを行う A-2、A-3 は「高」と設定
- ✓ A-1 の実機は志摩総合スポーツ公園から和具漁港まで飛行し、その後志摩総合スポーツ公園に戻り着陸し、A-2 の実機は和具漁港公園を離着陸拠点とし、和具漁港周辺を飛行するように運航

表 2.2.1.14-74 シナリオ A における想定するミッション（目的）及び優先度等

経路	A-1 (実機候補)	A-2(実機候補)		A-3 (仮想)	A-4 (仮想)	A-5(仮想) 有人機	A-6(仮想) 有人機
		シナリオ上	実機運用				
経路作成	国際航業	—	国際航業	JAXA	JAXA	WNI	JAXA
主な飛行エリア	和具漁港/志摩総合スポーツ公園	和具市街地	和具漁港	深谷水道/船越地区	志摩地中海村	志摩市全域(波切・和具)	志摩市全域(大崎)
離陸/着陸拠点	志摩総合スポーツ公園	志摩文化会館	和具漁港公園	大王分署	志摩地中海村	明野駐屯地	津市伊勢湾ヘリポート
運用主体(依頼者)	志摩市消防本部	志摩市		志摩市消防本部	志摩地中海村(志摩市からの要請で飛行)	自衛隊ヘリ	防災ヘリ
目的	インフラ(防災拠点)点検	広域被害把握(避難状況+避難者確認)		インフラ点検	広域被害把握	広域被害把握	広域被害把握
概要	和具漁港・場外離着陸場が利用可能か確認/広の浜の状況確認	和具市街地の被害把握	和具漁港・場外離着陸場が利用可能か確認	国道260号の利用可否について浸水状況を確認	地中海村内の広域被害把握	伊勢・志摩地域の広域被害把握	伊勢・志摩地域の広域被害把握
優先度	低	高		高	低	—	—
適用除外フラグ	○	○	○	○	○	—	—
緊急フラグ	×	○	○	○	×	—	—
国際航業様番号	2-1	—	1-1~1-3	4-1	—	—	—

[実証時の飛行経路]

- ✓ 全部で 6 経路設定し、うち A-1 から A-4 の 4 経路を無人航空機であるドローン（青線）、A-5 及びA-6 の 2 経路を有人機であるヘリコプター（赤線）として運航
- ✓ このうちA-1 及び A-2 は実機（実線）で運航し、残りの経路はシミュレータ（点線）で運航
- ✓ ヘリコプターとのドローン干渉については高度差で干渉回避する運用を実証



図 2.2.1.14-148 シナリオ A における実証時の飛行経路

● 本実証（11 月）

本実証は、パターン B（災害時に運用調整）に基づくシナリオ B で試験を行った。本実証で想定するミッション、優先度、飛行経路等は、以下のとおりである。

[想定するミッション（目的）、優先度等]

- ✓ シナリオ B では全部で以下 7 ケースの飛行経路を設定し、B-1 から B-5 をドローン、B-6 及び B-7 をヘリコプターとして運航
- ✓ B-1 と B-3 は実機で運航し、それ以外はシミュレータで運航
- ✓ ミッションに対して優先度を設定し、緊急物資輸送を行う B-3 以外は「低」と設定
- ✓ B-1 と B-3 の実機は志摩総合スポーツ公園から飛行し、和具漁港まで飛行するように設定



表 2.2.1.14-75 シナリオ B における想定するミッション（目的）及び優先度等

経路	B-1	B-2 (仮想)	B-3		B-4 (仮想)	B-5 (仮想)	B-6(仮想)	B-7(仮想)
			シナリオ上	実機運用			有人機	有人機
経路作成	国際航業	JAXA	—	KDDI	JAXA	JAXA	JAXA	WNI
主な飛行エリア	広の浜	船越地区/和具地区	和具地区市街地	広の浜	深谷水道/船越地区	志摩地中海村/志摩小学校	志摩市全域(大崎)	志摩市全域(和具)
離陸/着陸拠点	志摩総合スポーツ公園	波切地区周辺の任意の地点	大王分署	志摩総合スポーツ公園	大王分署	志摩地中海村/志摩小学校	伊勢志摩防災拠点	伊勢赤十字病院/志摩小学校場外離発着
運用主体(依頼者)	志摩市消防本部	マスコミ(調整会議外の民間ドローン)	志摩市消防本部		志摩市消防本部	志摩地中海村(志摩市からの要請で飛行)	防災ヘリ	ドクターヘリ
目的	インフラ点検	広域被害把握	物資輸送		インフラ点検	物資輸送	広域被害把握	急患輸送
概要	和具広の浜における堤防等の状況確認	志摩市南部の被害把握	志摩市民病院の医薬品を志摩小学校に輸送	志摩分署から医薬品を(避難所に見立てた)和具漁港公園に輸送	船越地区堤防の被害状況確認	地中海村の物資を志摩小学校に輸送	伊勢・志摩地域の広域被害把握	伊勢赤十字病院への急患輸送
優先度	低	低	高		低	低	—	—
適用除外フラグ	○	×	○		○	○	—	—
緊急フラグ	×	×	○		×	×	—	—
国際航業様番号	2-2	—	—		4-1	—	—	—

[実証時の飛行経路]

- ✓ 全部で 7 経路設定し、うちB-1 から B-5 の 5 経路を無人航空機であるドローン（青線）、B-6 及び B-7 の 2 経路を有人機であるヘリコプター（赤線）として運航
- ✓ このうちB-1 及びB-3 は実機（実線）で運航し、残りの経路はシミュレータ（点線）で運航
- ✓ 飛行中に「緊急用務空域」を設定し、適用除外を受けていないドローンは全て着陸する運用を実証

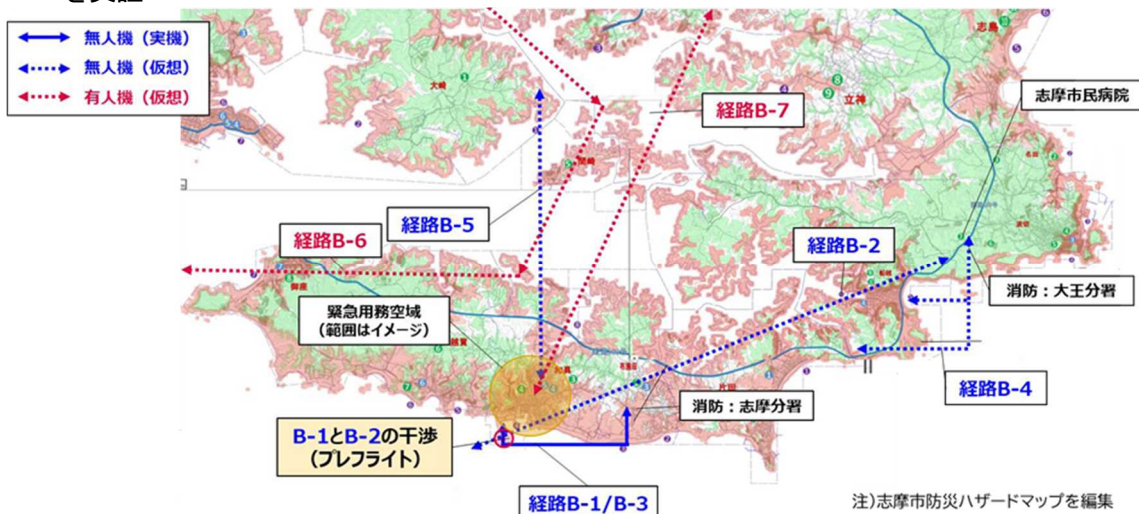


図 2.2.1.14-149 シナリオ B における実証時の飛行経路

⑦ ユースケースと使用機体

ユースケースは、5.2.3.2(1)⑤に記載している内容と同様である。

(2) 検証結果

① 実証結果の概要

図 2.2.1.14-150 に実証実験時の体制を示す。各拠点に人員を配置し、現場の UASO とは Teams 会議を介してコミュニケーションを実施した。UTM 運航管理卓は図 2.2.1.14-151 に示す志摩市役所内の災害対策本部又は隣接する県庁舎会議室に設置した。図 2.2.1.14-152 及び図 2.2.1.14-153 に国際航業及び KDDI がドローンの離着陸拠点として利用した志摩総合スポーツ公園及び和具漁港公園の様子をそれぞれ示す。シナリオ A では国際航業の機体 (A-1) が志摩総合スポーツ公園で、KDDI の機体 (A-2) が和具漁港公園で離着陸を行った。シナリオ B では国際航業の機体 (B-1) が

志摩総合スポーツ公園で離着陸を実施した。なお KDDI の機体 (B-3) については志摩総合スポーツ公園を離陸後、和具漁港公園に着陸しその後陸送して志摩総合スポーツ公園に戻す運用を行った。



<基本配置>

- 志摩市災害対策本部/県庁舎会議室 (管制卓)
  - KDDI(UTM)、MRI(、国際航業)
- 志摩総合スポーツ公園
  - 国際航業、KDDI(シナリオBのみ)、MRI
- 和具漁港
  - KDDI、国際航業(監視員)、MRI

図 2. 2. 1. 14-150 実証時の運用体制  
出所) 志摩市防災ハザードマップより MRI 作成



図 2. 2. 1. 14-151 志摩市災害対策本部





図 2. 2. 1. 14-152 国際航業側の離着陸拠点（志摩市総合スポーツ公園）  
シナリオ B では KDDI も拠点として利用

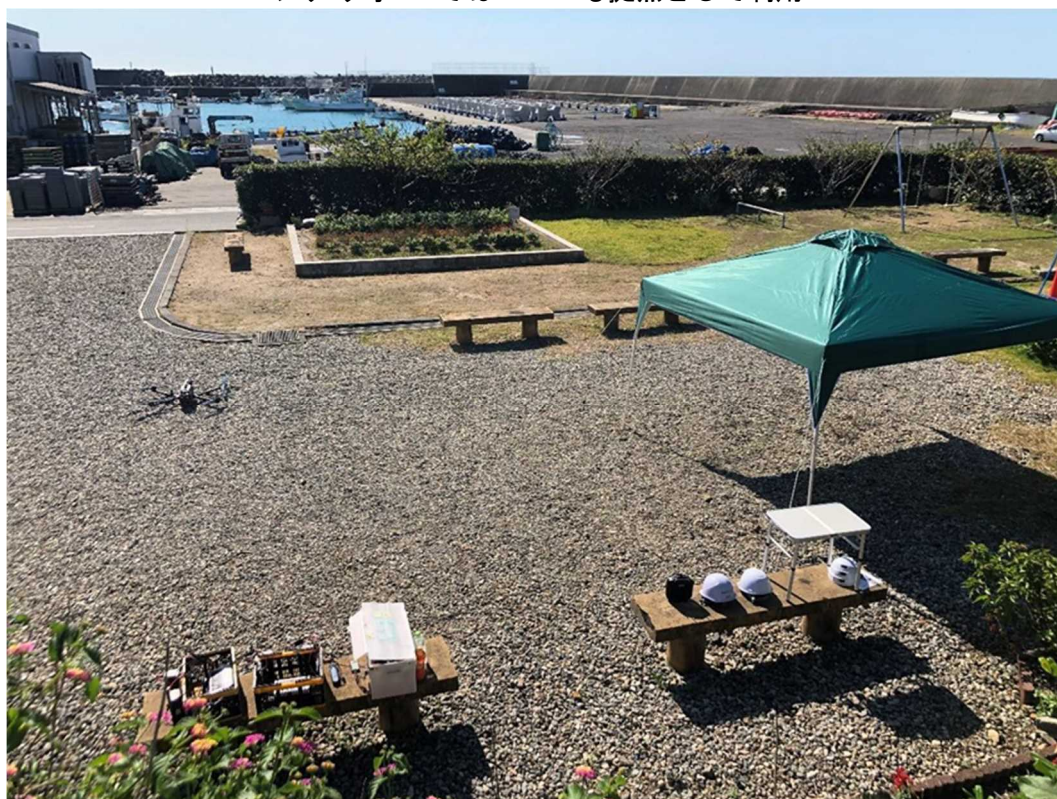


図 2. 2. 1. 14-153 KDDI 側の離着陸拠点

以下に本実証での主な達成事項を示す。

- 災害時のドローン/UTM の利用プロセスの整理・検証
    - ✓ 発災直後の利用方法（事前調整済の重点箇所を飛行）と、②発災後数時間後の利用方法（被害状況に応じた運航状況に基づく飛行）、のシーン別のプロセスを整理
    - ✓ ドローンの運航調整手順を整理
  - UTM システム検証
    - ✓ FIMS/UASSP/UASO 間の接続検証
    - ✓ UASSP 間の接続検証（FIMS を介した連携、UASSP 間接続）
    - ✓ UASSP/D-NET 間接続検証
  - UTM 機能検証
    - ✓ ミッション優先度に対する管理
      - ◇ ①ミッション自体の重要性に基づく優先度、②自治体要請の有無に基づく優先度、の 2 つの観点から災害時に管理すべき優先度を設定し、UTM による管理を検証
    - ✓ 自治体スケールの運航管理
      - ◇ 志摩市の 3 地域を中心とするドローン/ヘリコプターの運航管理を検証
      - ◇ 複数 UASSP 間の情報連携による広域の運航状況のモニタの実現や、コンフリクト等のアラート自動化の有効性を確認
    - ✓ プリフライト干渉回避
      - ◇ “優先度設定に基づく” プリフライトのドローン同士の干渉回避を検証
    - ✓ ヘリコプターとのインフライト干渉回避
      - ◇ ドローン同士、ドローン-ヘリコプター間のインフライトの干渉回避（注意喚起等）を検証
    - ✓ 緊急用務空域の設定に対する運航調整
      - ◇ 緊急用務空域の設定に対するインフライトの運航調整を検証
      - ◇ 優先度の違いによる運航中止・運航継続の管理を含めて検証
  - 災害アプリケーション検証
    - ✓ ドローン情報収集のプロセス・手法の構築
      - ◇ 斜め撮影を通じた被害状況の全容把握、指定しておいた施設等の空撮を実施し、次にそれらの情報から抽出された優先度の高いエリアの簡易オルソ化及び 3 次元点群データ化を前提とした垂直撮影を実施するプロセスを整理
      - ◇ 斜め撮影、垂直撮影データの有効性と課題を整理
    - ✓ データ共有時間の精査
      - ◇ 目的に応じた解析手法と所要時間、データアップロード時間等を考慮した、フライト開始から関係者共有までの所要時間を整理
- ② 災害時のドローン・UTM 利用プロセスの整理・検証
- 5.2.3.3(1)④で仮設定した利用プロセスに沿って試験実証を行い、その妥当性等を検証した。事前にコンソーシアムメンバーで利用プロセスや調整会議の内容等について検討し、さらに調整会議は机上演習で模擬開催して精査していたこともあり、プレ実証（10 月）及び本実証（11 月）ともに概ね問題なく対応できた。
- 災害時のドローン活用に向けて更に改善等が求められる点としては、以下の事項が挙げられる。
- 運航管理機能の自動化
    - 今回の実証試験では投入するドローンの数が限られたが、災害時にさらに多くのドローンを投入する場合には、運航管理実施者からの指示等に対する応答、及び指示に対する行動や結果を運航管理実施者に伝える部分を自動化しないとさばききれない可能性がある。
  - 各自治体の状況把握と運用プロセスの明確化



災害時におけるドローン活用については、ほとんどの自治体で災害対応の基本となる地域防災計画等に記載が無い状況であり、利用プロセス全体について各自治体の実情に合わせて精査・具体化しておく必要がある（特にドローンの運航調整の部分）。今回の利用プロセスをそのまま全ての自治体に適用できる訳ではないことに留意が必要である。

同様に、災害時にドローンを投入するミッションや優先度、機体の調達方法（自治体所有、民間企業との協定等）、指揮命令系統等も具体化しておく必要がある。なお、各自治体でドローンのミッションを検討する参考とするために、シーン別のドローンのユースケースに関する議論や実績の蓄積等を進めていくことが重要となる。

- 利用プロセスの周知と訓練の実施

災害時のドローン活用には自治体職員や防災関係機関とともに、ドローンを運用する民間企業等の協力が必要となることから、官民の関係者に利用プロセス等を周知し、訓練等を通して対応力の強化を図ることが求められる。

### ③ UTM システム検証

#### (A) FIMS/UASSP/UASO 間の接続検証

FIMS と UASSP 間では 2020 年度と同様に飛行計画に関する情報を共有した。実証では KDDI 及び JAXA の UASSP に接続された UASO より申請された飛行計画を各 UASSP より FIMS に申請し、FIMS 側で受理及び許可を出す実証を行った。なお KDDI の UASSP と UASO 間では FOS を介して飛行のテレメトリとカメラ画像の情報を共有した。なおシナリオ B では、図 2.2.1.14-149 に示したように、B-1 と B-2 の経路が被る形で飛行経路を作成した。図 2.2.1.14-154 に示すように、飛行計画を申請し、FIMS で否認される点についても実証した。

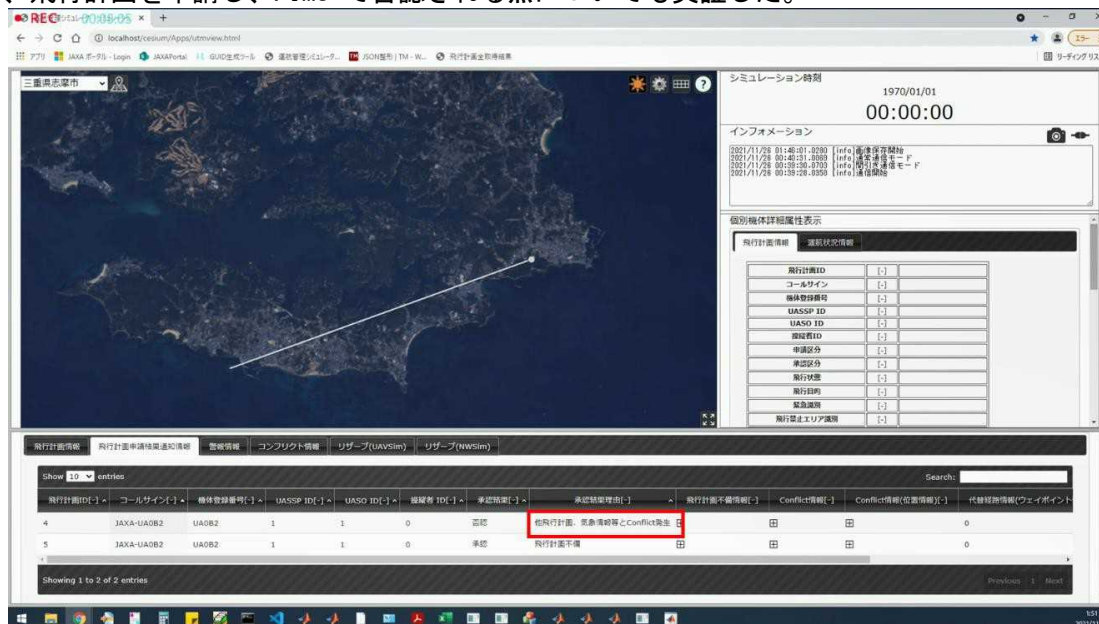


図 2.2.1.14-154 飛行経路干渉時の飛行計画否認

#### (B) UASSP 間の接続検証

2020 年度と同様に、KDDI/UASSP 及び JAXA/UASSP 間では JAXA/UASSP に接続された UASO のテレメトリを KDDI の UASSP に共有する実証を行った。UASSP 間で各 UASO の動態情報を共有したことで、図 2.2.1.14-155 に示すように KDDI/UASSP 画面でも JAXA/UASSP に接続された機体の情報が反映されており、緊急用務空域についても画面上に反映しアラートを表示した。また各 UASO のミッションに対して優先度を設定したほか、事前調整会議への参加可否を基に緊急用務空域の適用除外フラグを別途設定した。例えば図 2.2.1.14-156 に示すように B-3 は緊急用務空域の適用除外であるため、緊急用務空域を飛行していても B-1 のように「飛行禁止区域に侵入しています」というアラートが表示されないことが確認できた。

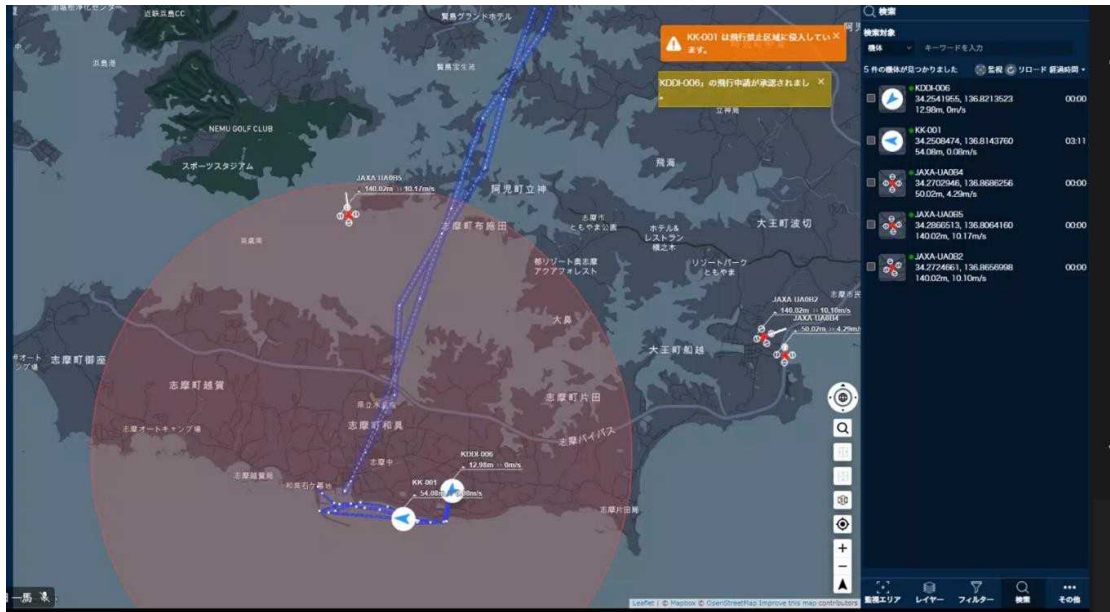


図 2. 2. 1. 14-155 KDDI/UASO (B-3) と JAXA/UASO (B-2、B-4、B-5) の動態情報と緊急用務空域

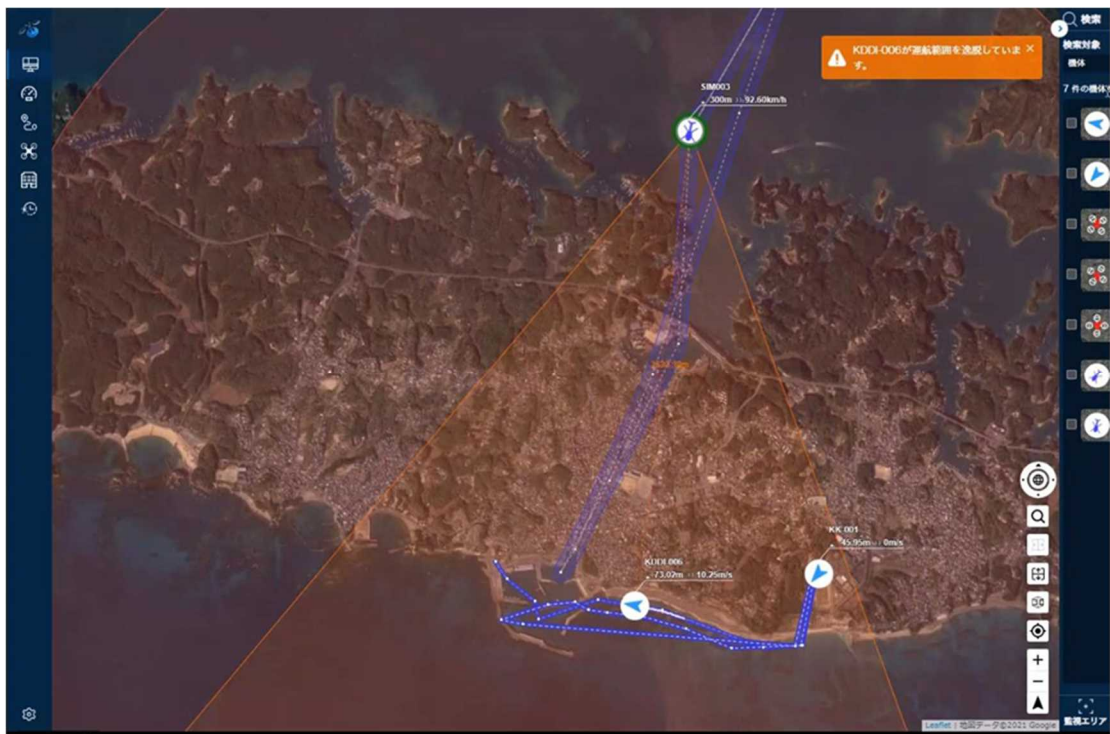


図 2. 2. 1. 14-156 緊急用務空域内を飛行する KDDI/UASO (B-3)

(C) UASSP/D-NET 間接続検証

ヘリコプターの情報については、2020 年度と同様、民間ヘリコプター情報管理システムとの連携の模擬として、「有人機動態情報シミュレータ」により、シナリオに応じたヘリコプターの動態情報シミュレーションデータを UTM に連携すると共に、以下の検証を実施した。

- ヘリコプター飛行計画情報の連携
- 消防・防災ヘリの有人機動態情報を保有する D-NET との連携

これにより、官民のヘリコプター動態情報を統合し、UTM と連携するシステムについて検証を行った。加えて、災害関連の気象情報の連携を実現した。

図 2. 2. 1. 14-157、図 2. 2. 1. 14-158 にシステム連携図を示す。また、表 2. 2. 1. 14-76 に API 仕様

を示す。インターネットを介した接続を前提とし、通信方式は RESTful API を採用した。

検証の結果、D-NET 及び民間ヘリコプター動態管理システムの双方のヘリコプター動態情報を一元的に UTM に連携し、前述のとおり、ドローンとの干渉回避や注意喚起に活用できることを確認した。

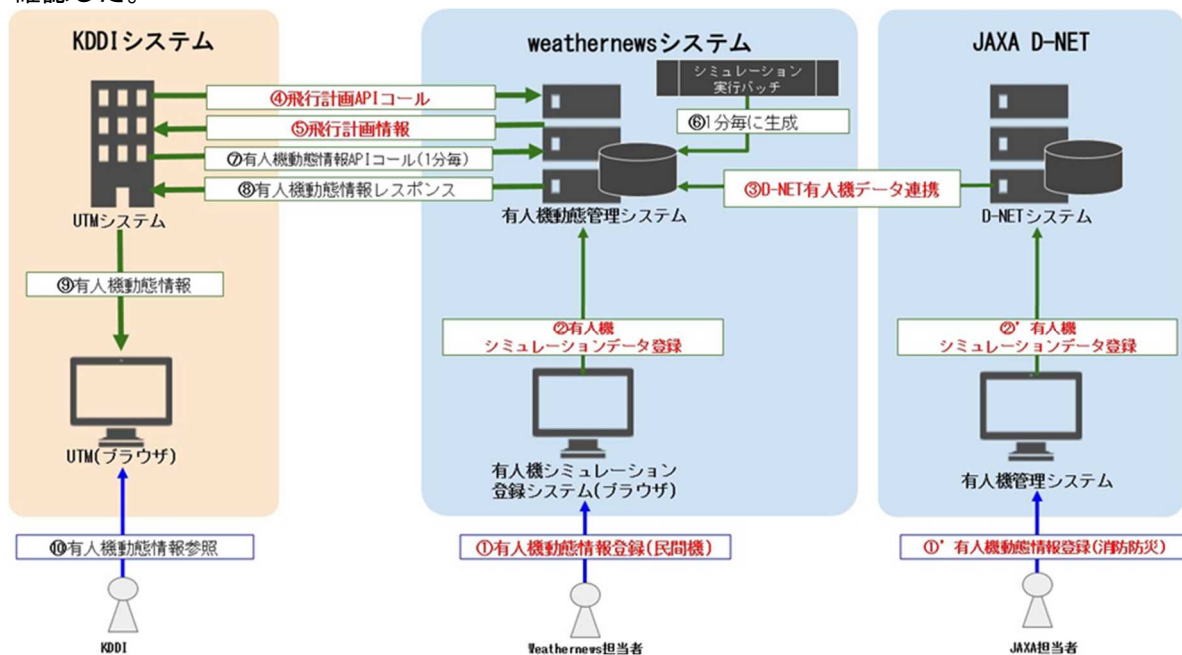


図 2.2.1.14-157 有人機フライトシミュレータ情報連携図

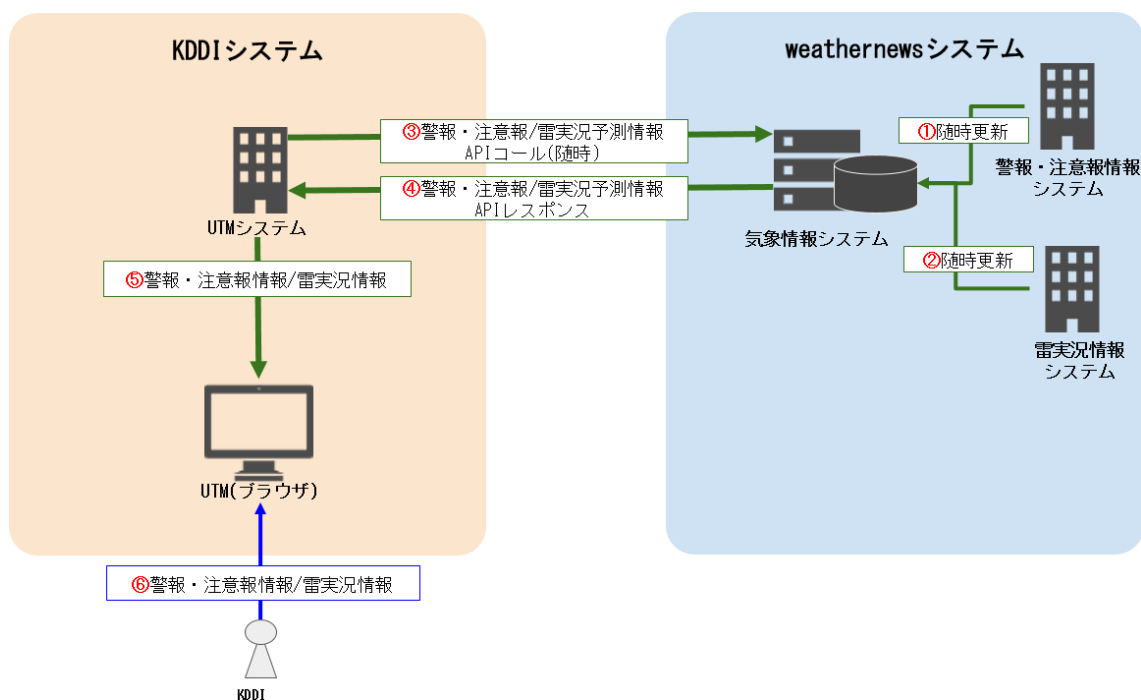


図 2.2.1.14-158 警報・注意報/雷実況情報連携図

表 2.2.1.14-76 有人機フライトシミュレータ API・気象情報 API 仕様

対象 API	機能名	機能説明
共通	認証機能	・すべての API は、本実証固有の API キー(URL の get パラメータ)による認証を行う。

有人機シミュレータ	飛行計画データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>機体番号毎での登録とする。</li> <li>Map 上に時刻 (UTC)、出発地点、WayRoute (中間地点)、到着地点、高度、速度、方角を登録する。</li> <li>同時に連携する機体数については制限がない。</li> <li>登録は実証実験シナリオに応じ、WNI 側で登録を実施する。なお、D-NET の飛行計画は連携対象外とする。</li> <li>データ形式：KML 形式</li> </ul>
有人機シミュレータ	有人機動態情報データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>D-NET から連携されるデータを統合し、KDDI-UTM との API 仕様に合わせて加工する。</li> <li>データ項目 有人機の位置情報に関する以下の情報を連携する。緯度、経度、高度、速度、方角、機体識別番号、時刻</li> <li>データ形式：JSON</li> <li>更新間隔：1分</li> </ul>
警報・注意報	連携データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>警報・注意報 API での連携データは以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> <li>-地震情報 (震源・震度に関する情報)</li> <li>-注意報警報 (市町村単位・特別警報・時系列予測)</li> <li>-台風情報 (位置、発生情報)、発達する熱帯低気圧に関する情報</li> <li>-津波警報・注意報・予報</li> </ul> </li> <li>更新間隔：随時 特段の理由が無い限り、発表後は即時に API でレスポンスを返却する。</li> </ul>
雷実況予測	連携データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>雷実況データ及び過去 60 分以内の落雷情報を連携する。</li> <li>データ形式：GeoJSON</li> <li>更新間隔：1分</li> </ul>

#### ④ UTM 機能検証

UTM 機能に係る検証結果は、以下のとおりである。

##### (A) ミッション優先度に対する管理

今回の実証試験では優先度フラグが二値で設定できたため、優先度を「高」「低」で設定した。優先度の情報も一緒に UTM に申請し、優先度の高い機体に対して優先度の低い機体が干渉回避する状況を実証した。なおミッションの優先度を災害時に一から検討する時間はないため、自治体の業務継続計画 (BCP) と連携して事前に優先度を検討しておく必要がある。特に、発災直後に予め決められたルートをドローンが飛行し、被害状況の把握等を行う場合等においては、優先度や飛行経路等を事前に検討しておくことが必須となる。また優先度を 3 区分以上で管理する場合のために、UTM の改良等に係る検討も求められる。

本項目は表 2.2.1.14-66 に示した UTM 機能検証項目における「登録・認証機能」の「優先度管理」に該当する。

##### (B) 自治体スケールの運航管理

災害対応では基礎自治体である市町村単位での対応が基本となることから、今回の実証試験では志摩市のスケールで運航管理することを想定したが、特段の問題は見当たらなかった。ただし、ドローンの数が多くなる場合には一元的な管理が難しくなる場合も考えられるため、例えば政令市等においては自治体内部で分割して運航管理することも考えられる。

##### (C) プリフライト干渉回避

プリフライト干渉回避として以下の実証を行ったが、特段の問題は見当たらなかった。

- 事前調整会議で優先度を設定し、UTM 上で優先度に基づいた飛行計画を申請することで干渉回避を実証 (シナリオ A)
- ドローン同士の干渉について、マスコミ等の突発的な飛行申請や現場の要望に基づく緊急



物資輸送など事前に経路を調整することが困難な状況における UTM による干渉回避を実証  
(シナリオ B)

今回の実証試験では投入するドローンの数が限られたが、災害時にさらに多くのドローンを投入する場合には、干渉回避の場面が増えるものと想定される。安全管理は必要なものの、頻繁な干渉回避でドローンによる各災害対応に支障が及ぶことの無いように、干渉回避を行う際の基準（水平距離、高度差等）を精査していくことが求められる。インフライトも同様である。

本項目は表 2.2.1.14-66 に示した UTM 機能検証項目における「計画・飛行承認機能」の「運航計画管理」「空域管理」「干渉回避」に該当する。

(D) ヘリコプターとのインフライト干渉回避

- インフライト干渉回避として以下の実証を行ったが、特段の問題は見当たらなかった。ヘリコプターとの干渉について、離着陸を伴うような緊急度の高いミッションに対しては UTM によるドローン側の干渉回避を実証

今回は干渉回避する場合の対応方法を予め検討していたが、各自治体においても対応方法を予め検討しておくことが重要である。例えば、出発地点に戻ることや目的地にそのまま移動すること、周辺の安全な場所に着陸すること等の選択肢が挙げられるが、衝突の緊急性やバッテリーの残量等によって対応が異なると考えられる。また、ヘリコプターの飛行計画から、ドローンの運航経路との高度差が予めわかっている場合には、ドローンの運航を継続することで、ドローンの運用制約を軽減（ミッションを継続）できることを確認した。

本項目は表 2.2.1.14-66 に示した UTM 機能検証項目における「計画・飛行承認機能」の「運航計画管理」「空域管理」「干渉回避」に該当する。なお A-5/B-6 は JAXA/D-NET から動態情報が共有された。この点については表 2.2.1.14-66 に示した UTM 機能検証項目における「緊急対応機能」に該当する。

(E) 緊急用務空域の設定に対する運航調整

緊急用務空域の設定に対する運航調整として以下の実証を行ったが、特段の問題は見当たらなかった。

- 調整会議において調整されていないミッション（民間企業による独自のミッション等）については、適用除外フラグを立てずに緊急用務空域の対象となるように設定（シナリオ B）

ただし、緊急用務空域は実災害で設定された実績が無く、詳細な運用方法は不明であるため、今後の運用実績を踏まえて緊急用務空域の設定に対する運航調整を適宜見直していくことが求められる。

本項目は表 2.2.1.14-66 に示した UTM 機能検証項目における「追跡・運航実施機能」の「衝突回避」及び「緊急対応機能」の「緊急退避指示」に該当する。

⑤ 災害アプリケーション検証

災害アプリケーション検証では、2020 年度に続き、津波災害発生時を想定した空撮ドローンの運用、及び空撮データの処理に関する検証を実施した。本項では、(A) 検証の概要において、実証全体における本検証の位置づけを整理しながら、検証の全体像を記述する。続く (B) 検証のフローでは、本検証の手順を述べ、(C) 検証結果では、空撮及びデータ処理得られた結果を記述した。

(A) 検証の概要

災害アプリケーション検証の実施にあたり、本ドローン運航管理実証における 2 つの全体シナリオのもと、設定した課題の検証を実施した。いずれのシナリオにおいても、志摩総合スポーツ公園（志摩市志摩町布施田地区）から和具漁港（同和具地区）にかけて、全長約 2km にわたる東西方向に延びる海岸線及び漁港上空を飛行させ、空撮を実施した。

機体は、運航管理システムに接続可能な専用モジュールを設置した DJI 製「Matrice 300 RTK」を使用し、運航管理システム接続下で運用した。機体高度は、シナリオごとに 100m と 140m に

設定した。

地上の人員体制としては、離着陸拠点に 3~4 名（プロポを持つフライヤー担当、記録員担当、FOS アプリがインストールされたタブレットの操作を担当する統括担当など）、飛行ルート周辺に 4~6 名（保安担当など）の人員を配置した。

## (B) 検証のフロー

本検証は、実際の災害対応を想定し、以下(ア)~(オ)のフローで実施した。(ア)~(イ)は実証実験の事前準備として実施し、(ウ)~(オ)は実証実験当日に実施した。個別の実施項目について、以下に詳述する。

- (ア) 志摩市・三重県におけるドローンの災害時利活用に向けた課題と解決策の検討・整理
- (イ) 災害対応のシナリオの策定支援、飛行計画の立案
- (ウ) 実機でのドローンオペレーション
- (エ) 空撮データの処理・解析（簡易オルソ化、3次元点群データ化）
- (オ) クラウドでのデータ共有

2021 年度は、(ア) 志摩市・三重県の担当者へのヒアリングや現地視察を通じて、(イ) 志摩市志摩町におけるドローンを活用した災害対応シナリオを提案・検討した。最終的なシナリオの全体像については別項にて記述されているため省略するが、実機によるドローンオペレーションに関しては、以下 2 つの詳細シナリオが設定された。

- (A-1) 津波被災後 1 時間以内の広域的な情報収集（海岸構造物等の垂直撮影）
- (B-1) 津波被災数時間後の広域的な情報収集（市街地の斜め撮影）

いずれも自治体（三重県・志摩市）の要請を受けて、「消防等の公共機関や民間企業が運用するドローン」を想定した。そのため飛行計画の立案にあたり、離着陸拠点は志摩広域消防組合志摩分署から 400m ほど離れた、志摩総合スポーツ公園内のゲートボール場（標高約 10m）に設定した。詳細シナリオの(A-1)では、空撮データの簡易オルソ化・3次元点群データ化を前提に、災害発生から 1 時間以内に海岸線及び漁港施設を垂直撮影する飛行計画を設定した。2020 年度は、砂浜及び海上ルートから各施設や市街地を斜め撮影するに留まったが、2021 年度は、志摩市を通じて漁協と調整の上、和具漁港の上空から建物や港湾施設を垂直撮影するルートを設定した。また、詳細シナリオの(B-1)では、災害発生から数時間経過後に、目視での画像確認を前提に、市街地を斜め撮影する飛行計画を設定した。海岸線から北側に広がる市街地を斜め撮影できるよう、カメラのジンバルは俯角 25 度に設定した。

実証実験の当日は、(ウ)実機でのドローンオペレーション、(エ)空撮データの処理・解析、(オ)クラウドでのデータ共有を実施した。

実機の運用にあたっては、2020 年度と同様、運航管理システムにおける UASO の役割として、具体的には FOS アプリの操作と運航管理システム側からのアラートに基づく機体操作が求められた。現場では、フライト統括担当が FOS アプリ入りのタブレット操作を担当し、プロポ操作を行うフライヤーと連携することで、運航管理システム下でのフライトを実施した。また安全かつ円滑に被災模擬の検証を進める上で、保安担当者はトランシーバーを携帯し、緊密なコミュニケーションを図った。特に詳細シナリオ(B-1)においては、全体シナリオの関係で、離陸後 1~2 分後に「緊急用務空域」が設定され、一度退避し、解除後に再飛行するオペレーションを実施した。

機体の着陸後、ドローンに搭載していた SD カードから空撮した写真画像をパソコンにコピーし、まず(エ)の工程に移行した。詳細シナリオ(A-1)のフライトで垂直撮影した画像を用いて、画像処理・解析を実施した。具体的には、オペレーションを担当した国際航業株式会社により複数の写真画像を 1 枚の画像に合成する簡易オルソ化と、3次元空間解析クラウドサービス「KKC-3D®」を活用した 3 次元点群データ化を実施した。

最後に(オ)クラウドでのデータ共有を実施した。2020 年度と同様、災害時における遠隔地の関係者への情報共有を想定し、模擬的に Google Drive への画像アップロードを行った。Wi-Fi 端末を通じてインターネット回線を確保し、画像アップロードを完了した上で、当該フォルダの URL を、

志摩市の担当者を含む実証実験関係者内にメールで共有した。なお共有データは、全体の業務フロー、アップロードのためのネットワーク環境、Google Drive で閲覧することなどを考慮し、光学カメラで取得した画像データ（JPG 形式）と簡易オルソ化した画像データ（JPG 形式）のみを対象とした。3次元点群データは、データ形式に対応するソフトウェアでの閲覧が必要なため、キャプチャで事後的に関係者内に共有した。

### (C) 検証の結果

まず詳細シナリオ(A-1)のもとで空撮した画像データの簡易オルソ化において、データ点数約300枚に対して、約20分間で画像処理が終了した点は、一定の成果であったと考えられる。

オルソ化・3次元化を前提に撮影した生データ(2D画像)は、ラップ率の高さなどを理由にデータ点数が多い。したがって全画像のアップロードを試みると、通信環境次第では膨大な時間を要する。また1枚ずつの撮影範囲は局所的で、撮影エリア全体の様子は把握しづらいという課題もあった。しかし簡易オルソ画像の作成は、「整理された情報共有を迅速に行う」という意味において非常に有効である可能性が高いことが確認できた。

また3次元点群データについては、簡易オルソ化に用いた元画像と同様のデータから生成することができたため、それぞれのメリット、デメリットを比較検証することができた点も成果である。2020年度は斜め撮影のみだったため、簡易オルソ化には適さなかった。簡易オルソ画像の有効性は、前述のとおり、比較的短時間で、撮影対象地区における平面的な状況を把握する場合に認められる。一方の3次元点群データは、簡易オルソ化よりも生成に時間がかかる(300枚あたり約4.5時間)ものの、過去の点群データ等との差分抽出により、時間的な変位を計測することに適している。

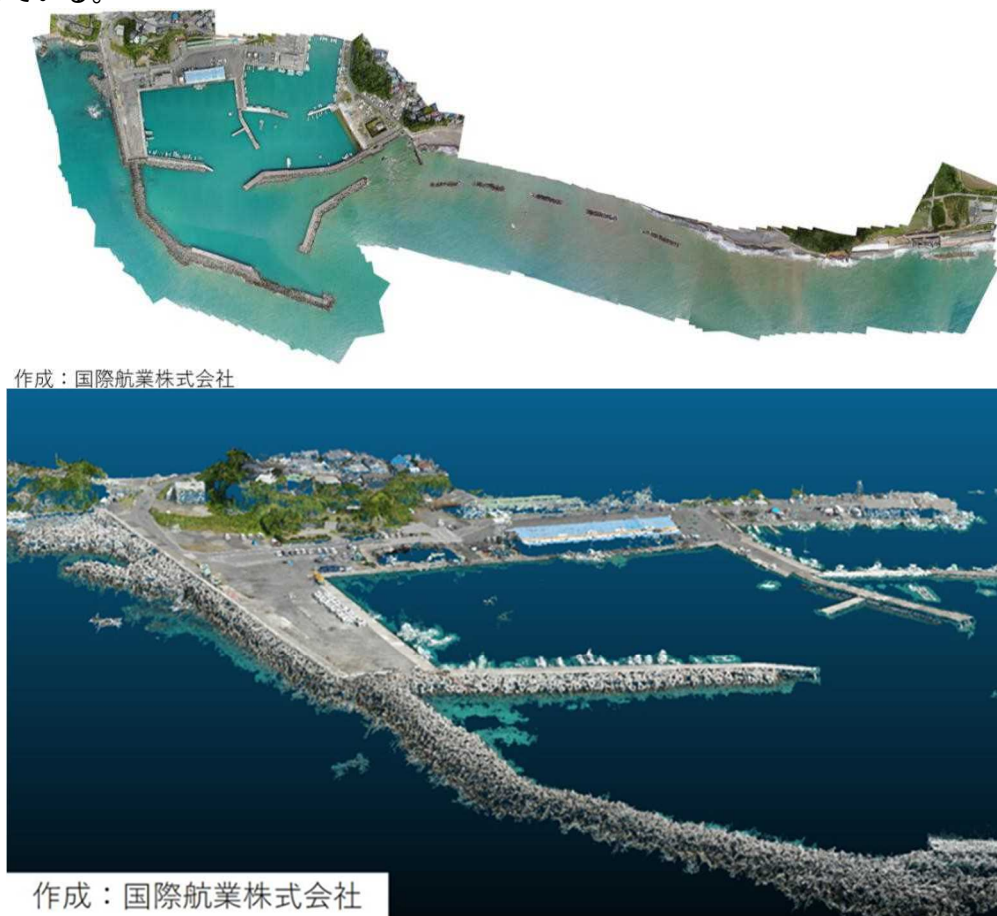


図2.2.1.14-159 和具漁港周辺の簡易オルソ（上）及び3次元点群データ（下）の生成例

次に、詳細シナリオ(B-1)のもとで斜め撮影した空撮画像のデータについて述べる。成果としては、2020年度の成果と併せて、斜め撮影の空撮手法の改善につながる知見を得ることができた点が挙げられる。たとえば、1枚の画像から、和具地区の南北を結ぶみたまとおりの様子が、手

前から奥までのおよそ 500m にわたって確認することができた。

また 2021 年度の実証実験では、度重なるアクシデントを通じて得ることができた知見もある。今回、ハードウェア側の異常や、トビ等鳥類の接近を検知した上空のドローンが、何度も自動航行を自動的に停止し、フェールセーフの一環である RTH (Return to Home) 機能を作動させ、計画どおりの空撮が十分に実施できない場面が多々発生した。

前段で述べたような簡易オルソ化・3次元点群データ化を前提に連続写真の垂直を自動航行で実施している過程で、機体に何らかの異常が発生し、自動航行及び空撮が中断・停止した場合においては、求められる範囲の簡易オルソ化や3次元点群データ化を行うことは難しい。また垂直撮影で取得した画像データも、1点ずつでは局所的で網羅性にかけるため、使いどころも限定されやすい。しかしフライトが一時中断した場合であっても、斜め撮影で途中まで取得したデータは、たとえ画像1点であっても、一定の範囲の被害状況を把握する上では垂直撮影の画像データよりも優れていることが確認できた。



図 2.2.1.14-160 ドローンにより取得した斜め撮影画像の例

データ共有にあたっては、2021 年度に使用した Wi-Fi 端末の回線速度・容量の関係で、特にアップロードに係る所要時間が、2020 年度のもの大きく上回る結果となった。以下の内訳は、1つのフライトを例にとり記載した。なお表 2.2.1.14-77 にて、アップロード及びオルソ化の対象としたデータ点数は、それぞれ 286 点であった。

表 2.2.1.14-77 フライト開始から画像データアップロード、関係者周知までの所要時間の例

項目	所要時間
飛行時間 (離陸～着陸)	約 17 分
着陸後の諸対応時間 (SD カード抜き取りからアップロード準備まで)	約 3 分
撮影データのアップロードにかかる所要時間	約 1 時間 26 分
撮影データの簡易オルソ化にかかる所要時間 (ローカル PC 上)	約 22 分
アップロード後の諸対応時間 (確認から周知メール送付まで)	約 5 分
所要時間合計	約 2 時間 13 分

### (3) 課題の整理

#### ① UTM 機能検証

当初計画していた UTM 機能の検証は概ね達成したが、以下の 2 点が課題として挙げられる。

##### (A) 緊急用務空域の設定について

緊急用務空域は、国土交通省航空局の設定情報等をもとに FIMS で設定され、FIMS から各 UASSP に対して当該情報が共有されるべきと考えられる。しかし、本実証に当たっては、FIMS 側の空域設定の対応が困難であったことから、UASSP 側で模擬的に緊急用務空域を設定した。

今後、FIMS における緊急用務空域の設定と UASSP への連携に基づく運航管理の検証を行うこと



が望ましい。

#### (B) D-NET ヘリの情報共有について

本実証では、D-NET におけるヘリの動態情報を KDDI/UASSP に共有したが、飛行計画については共有できなかった。今回のシナリオではヘリコプターの B-7 については事前に着陸することが判明していたため、ドローンの運用も問題なく実施できたが、実際の運用では飛行計画が共有されない場合はヘリの挙動が分からず、ドローンの運用が大幅に制限されると考えられる。

今後、D-NET を含めたヘリコプターの飛行計画情報の連携を実現した上で、運航管理の検証を行うことが望ましい。なお、本実証では、WNI/FOSTER のヘリコプターについては、動態情報のほか飛行計画情報の KDDI/UASSP への共有を実施した。

#### ② 災害アプリケーション

災害発生後のドローン運用に関しては、まず斜め撮影を通じた被害状況の全容把握、及び予め指定しておいた施設等の空撮を実施し、次にそれらの情報から抽出された優先度の高いエリアを対象に、簡易オルソ化及び 3 次元点群データ化を前提とした垂直撮影を実施するプロセスを辿ることで、ドローン及び画像処理・解析技術の有効活用を推進できるのではないかと考える。

特に斜め撮影について、今後は道路啓開の必要性の判断を上空から支援できるかどうか、新たに検証・検討を重ねる必要があるだろう。道路が寸断されているか否か、孤立している地区がないかどうか確認・推測・判断を支援できれば、その後の救助・復旧計画にも大いに貢献ができると考えられる。

また垂直撮影で取得した画像データを用いた簡易オルソ化・3 次元点群データ化については、今回の実証実験を通じて、ドローンの自動航行が機器トラブル等によって中断するリスクや、災害対応初期における緊急用務区域の指定等によって強制的に空撮を中止するリスクなどを加味すると、調査目的等の優先度が比較的に明確になる段階で実施する方が望ましいと考えることもできる。

具体的には、簡易オルソ化は、自動航行で連続撮影した 200~300 枚の画像が、1 枚の広域画像として合成されるため、比較的短時間で、撮影時点における平面的な状況を把握することに向いている。一方、3 次元点群データは、簡易オルソ化と比較すると生成に時間を要する(300 枚あたり約 4.5 時間)が、過去の点群データ等との差分抽出により、対象エリアの時系列的な変位を検知することに適している。たとえば、通信環境が不安定化かつ限定される恐れのある災害現場においては、ローカル環境でデータを素早く簡易オルソ化した上で、成果のみをクラウド環境にアップロードすることを優先すべきである。また、3 次元点群データについても、特殊なアプリケーションがなくても遠隔で関係者が閲覧できる仕組みを構築しておくなど、運用調整会議の建て付け等とセットで議論しておくことが望ましい。

### 5.2.3.3. 結論

#### (1) 成果のまとめ

本実証では、災害時のドローンのユースケースを対象に、UTM 活用の有効性について検証した。2 カ年を通じた成果は以下のとおりである。

- 災害時に想定されるドローンやヘリコプターの運航について、災害現場レベルの高密度な運航管理、自治体レベルの広域を対象とした運航管理に対し、動態把握や干渉回避、優先度に基づくユーザ管理等の観点で、UTM が有効に機能することを検証した。
- FIMS-UASSP-USA0-SDSP といった基本的な UTM アーキテクチャに加え、複数UASSP 間の連携、民間ヘリコプター情報システムや D-NET (ヘリ情報、災害情報を含む)との情報 1 連携を含めたアーキテクチャが、災害時のドローン運航に有効に機能することを検証した。
- 基礎自治体を念頭に、災害時におけるドローン運用のプロセス(運航調整、ミッション優先度設定、UTM 利用等を含む)を提案し、当該プロセスについて自治体の災害対応責任者を含めた実証を行い、有効に機能することを検証した。
- 災害時のドローンのアプリケーションの観点で、広域被害把握や要救助者の探索、インフラ点検等の観点から具体的な画像取得方法とデータ処理・解析手法の検討、データ共有方法について検証し、災害時の情報収集ツールとして有効に機能することを検証した。

## (2) 今後の課題と提言

本項目では、本実証にてコンソーシアムから挙げた提言事項について記載を行う。

### ① 成果の社会実装に向けた政策への提言

菅政権と岸田政権では、新型コロナウイルスの感染拡大を背景に、公共・産業セクターのデジタルトランスフォーメーションが重要な政策課題となっている。ドローンの運航管理システムの設計・開発・運用についても、この文脈に基づいて進めていく必要がある。ここでは、三つのステップを提言する。

最初のステップとして必要なのが、ユースケースを明確にすることである。防災基本計画では、災害予防・事前準備、災害応急対策、災害復旧・復興という時間順序が示されている。災害予防や、復旧・復興の段階では、インフラ整備・保安などの活動も重要になる。災害応急対策については、現在、ドローンの活用は調査活動が中心だが、緊急輸送活動への応用も想定することが求められる。

次のステップとして重要なことは、公共セクターと民間セクターの役割分担を示すことである。例えば、運航管理システムの場合、Public UTM と Private UTM と分類する方法も考えられる。Public UTM は公共セクターが中心となり整備・運用を行い、警察や消防、海上保安本部、TEC-FORCE、自衛隊などによる利用を想定する。Private UTM はインフラ事業者（通信・輸送など）が中心になって整備・運用を行い、民間での産業活動に活用する。Public UTM と Private UTM は FIMS（飛行情報管理システム）を通じて、情報連携を行い、災害発生時は航空局や災害対策本部などからの指示に基づいて運用する。

三つ目のステップは、アーキテクチャ設計に向けた体制を明確にすることである。行政のデジタルトランスフォーメーション視点の場合、デジタル庁に制度・システム設計の司令塔機能を担わせた方が望ましい。現在、公共セクターにおけるドローンの実装や、各省庁や自治体が、それぞれ独自の動きをしているが、運用システムについては共通の制度・システムを整備した方が望ましい。その上で、関連する省庁や自治体との連携体制の構築を進めていくことが求められる。

具体的な設計・研究開発については、IPA がアーキテクチャ設計の検討、NEDO が運航管理システムの開発についてリードする役割分担が考えられる。運航管理システムの実装については、初期の段階では、空域の対象は低高度が中心になるが、将来的には、大型固定翼型ドローンの実装のため、高高度も含めて、ドローンが航行する全空域の運航管理を行うシステムとして実装を進める流れを想定する。民間の事業者は、それぞれのユースケースに基づいて、運航管理システムの設計・開発・実装を進めていく。

### (1) UTM 高度利用に向けた提言

本実証成果を踏まえ、今後は UTM の具体的な実装を進めていく必要がある。以下に今後の具体的な検討事項を示す。

#### ● UTM アーキテクチャの検討

UTM アーキテクチャは、FIMS による集中管理型と、UASSP 同士による情報連携を主体とする分散型の 2 つが検討されている。本実証の中では双方を含めたシステムの検証を実施したところであり、FIMS との飛行計画申請・承認、UASSP 間の直接的な動態情報共有についてはいずれも機能することを確認した。しかしながら、ユースケースや運航規模、エリア等に対し、いずれが適切であるかについては、本実証の成果から結論付けることはできず、技術、コスト、運用制約等の観点から引き続き検討が必要である。

#### ● リモート ID との連携

本実証では、実機・シミュレータを組み合わせ、目視外飛行を想定した実証を行った。現状の課題として、飛行の許可・承認が不要なドローンについては、国土交通省の FISS への飛行計画の登録が不要であることから、その動態を把握することができない。そこで、本実証では、ネットワークに接続されたリモート ID 情報のみが取得でき、UTM 上でその動態を把握できる状況を模擬したところ、当該ドローンに関する注意喚起など、コンフリクトの解消に有効であることを確認した。

今後、目視外飛行、特に災害時のような高密度な運航環境において、安全な運航管理を実現する上では、100g 以上の全てのドローンへの搭載が義務化されるリモート ID をネットワークに接続し、その位置情報を UTM による運航管理に活用可能となることが期待される。



- ヘリコプターとの運航管理実証

本実証では、シミュレータによりドローンとヘリコプターの干渉回避について検証を行ったところ、ヘリコプターの飛行計画を把握することで、ヘリコプターの飛行空域を精緻に把握し、ドローンの運航制約を軽減（飛行範囲を拡大）可能であることを確認した。今後、本検討結果が実運用上問題ないかを確認するため、ヘリコプターの実機を用いた実証を行うことで、ヘリコプター操縦者、現場のドローンオペレータによる実感を含めた検証を行うことが期待される。

- (2) 災害時のドローン利用促進に向けた提言

災害時におけるドローン活用については、ほとんどの自治体で災害対応の基本となる地域防災計画等に記載が無い状況と考えられる。このため、従来の防災の仕組みの中にドローン活用を位置づけていく必要があるが、多くの自治体では防災に十分な予算や人員等を確保することが難しいため、災害時のドローン活用を積極的に推進してくれるとは限らない。このため、国や先進的な自治体等で以下の事項に関する実績や知見を蓄積して、他の自治体に社会実装の裾野を広げていくことが重要と考えられる。

- ユースケースの検討

災害時のドローン活用に対する理解を得るために、ヘリコプターに無いドローンの強みやヘリコプターとの連携等を考慮して、ドローン活用のユースケースを検討することが必要である。三重県志摩市の実証試験では、地震や津波を想定して主に発災直後や数日以内に実施する一部の災害対応でドローンを活用したが、同じ時期に実施する他の災害対応やその後の災害対応における活用も考えられる。また、水害や土砂災害等といった他の自然災害での活用のほか、コンビナート災害における危険な現場での活用等も考えられる。

- 自治体でのドローンの運用体制の検討

災害時に自治体がドローンを活用するためには、そのために必要な職員を割り当て、災害対策本部体制のもとでの運用の仕方を検討しておく必要がある。しかし、災害時には自治体職員は避難所運営等で手一杯であり、災害時のドローン活用に新たな要員を割り当てることは容易ではない。例えば、ドローンの運用調整に関しては、簡易的な調整会議を開催することや、災害対策本部の中の特定の対応班・担当が調整すること等の選択肢から、職員数や管理するドローンの数等に応じた体制・方法を検討することになる。要員不足や専門性不足等を補うために、外部の民間事業者等の協力を前提とした体制・方法を検討することも重要である。

- 民間事業者等の活用方法の検討

災害時におけるドローンの機体調達や操作等のほか、平時における機体の維持管理等を自治体が全て行うことは費用面や専門性等の面から容易ではないため、民間事業者等の活用方法を検討することが必要である。例えば、機体調達や操作等に限らず、専門性等の理由からドローンの運用調整への支援等も候補になると考えられる。

- 外部機関との災害協定の締結

災害時に民間事業者等の活用を円滑に進めるため、災害時及び平時の支援に関して災害協定（支援内容、費用負担等）を締結することが重要である。また、災害時には他の自治体や防災関係機関、ドローンに関する関連組織等から支援を受ける可能性があるため、それらの支援に関して災害協定を締結することも考えられる。

- 基本事項の周知、教育・訓練の実施

災害時におけるドローン活用については、ほとんどの自治体で災害対応の基本となる地域防災計画等に記載が無い状況であるため、上記で検討したユースケースや運用体制、災害時の利用プロセス、民間企業等との役割分担等の基本事項について、地域防災計画等に記載するとともに、関係者に周知することが求められる。

また、災害時に基本事項に沿って対応できるように、民間企業や関係機関も含めた教育・訓練が重要となる。できれば、ドローン単独だけではなく、他の防災に関する教育・訓練と連携が求めら

れる。

### 5.3. 研究開発項目③事務局運営（パーソルプロセス&テクノロジー株式会社）

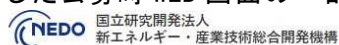
#### 5.3.1 事業の概要

##### 5.3.1.1 運航管理機能の接続支援

運航管理機能と接続する運航管理統合機能や情報提供機能、他の運航管理システムは、それぞれ並行して機能拡張を行っており、接続する際に運航管理機能の機能開発が必要になることが予想される。そのため、研究開発を行っている企業・団体と本研究の機能開発実施者の間に立ち、接続のための課題を洗い出し・解決状況の確認を行い機能開発における抜け漏れを防ぐ。特に、安全な運航に不可欠であり、機能拡張を図っている運航管理統合機能を開発する企業と接続方法の変更内容を共有した。

##### 5.3.1.2 公募事務局

今回行う運航管理システムの実証試験では、用途の異なる複数の無人航空機を同一空域で飛行させることになるため、応募する自治体・企業には相応の技術力や事業推進力、コストの妥当性が求められる。公募事務局は、第三者の外部有識者の視点も踏まえ、そうした能力の評価を実施した。公開した公募時 WEB 画面の一部を図 2.2.1.14-161 公募予告 Web サイトに示す。



日本語 English



HOME > ニュースリリース > (予告)「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」に係る公募について

#### (予告)「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」に係る公募について

ニュースリリース

2021/01/20

NEDO 新エネルギー・産業技術総合開発機構から、パーソルプロセス&テクノロジー株式会社が受託した事業「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト／無人航空機の運航管理システム及び衝突回避技術の開発／地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」（以下「地域実証」という。）に参加していただける事業者を募集いたします。

なお、この公募予告は、提案者が公募準備をスムーズに行えることを目的とし、公募開始に先立ち、公募内容の概要をここに掲載するものであり、実際の公募では新型コロナウイルス感染拡大の状況等により一部変更される可能性があることをご了承ください。

#### 募集事業について

##### 1. 事業名

地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業（地域実証）

図 2.2.1.14-161 公募予告 Web サイト  
(<https://nedo-dress.jp/news/2211.html>)

### 5.3.1.3 提案者向けのガイドライン整備

地域実証の公募に応募する自治体・企業は、必ずしも無人航空機の実証に習熟しているとは限らない。また、複数の無人航空機が運航管理システムを使用し、飛行する実証を行った経験を有する組織はさらに限られる。そのため、公募に先立って実施する西日本・東日本・災害のユースケース実証で行った各種申請、運航管理システムとの接続、実証実験の運営方法をガイドライン化し、各地域の自治体・企業が活用できる資料を、公募に関連する資料と共に公開した。

このガイドラインは、本公募における地域実証の考え方と、運航前プロセスの2章で構成されている。本公募における地域実証の考え方では、持続可能な無人航空機運航ビジネスの可能性を検討するために、無人航空機によって解決できる地域の課題、その課題を解決するためのユースケースの設定を行ったうえで、本公募に即した地域実証の可能性を検討するプロセスについて説明している。運航前のプロセスでは、地域実証を行うにあたり、安全な飛行をする上で必要な項目と、運航管理統合機能(FIMS)の概要、役割及び接続方法について説明している。このガイドラインは公募開始日に公開した。

(<https://nedo-dress.jp/wp-content/uploads/2021/02/地域実証計画策定ガイドライン.pdf>)

### 5.3.1.4 地域実証コンソーシアム運営

地域実証の運用は各コンソーシアムの代表である事業管理機関が行っており、そのプロセスは各コンソーシアムで異なることが想定される。各コンソーシアムが進める地域実証を安全に遅滞なく進めるためには、事務局が地域実証の運用状況を適切に把握し、管理する必要がある。

事務局が地域実証を適切に管理するために、進捗状況、課題管理、実証実験運用及び機体の安全管理等の把握を目的とした資料及びサンプルを作成、配布し、実証実験実施時期に応じた提出スケジュールを定め、それらを運用マニュアルと共に展開し運営した。

### 5.3.1.5 地域実証立ち会い

事務局は委託元の責任として、実証実験時は原則、ユースケースの現場に立ち会い、安全管理及び検証内容について確認した。やむを得ずリモートでの立ち会いとなってしまう場合は、現場のコミュニケーションツールなどを活用し、安全対策を実施した。

実証実験は、持続可能な無人航空機運航ビジネスの可能性を検討することを目的として実施した。実施にあたっては、公募提案時に設定した物流、警備、災害対策、空撮、測量、点検、農業などのユースケースをもとに事業を計画し、コンソーシアム参加自治体及び参加組織が事前の準備や地域における調整及び許可・申請作業等を行った。

### 5.3.1.6 地域実証コンソーシアム実証実験結果報告書作成支援

各コンソーシアムが実証を行った結果について、実証の結果をまとめた実証実験結果報告書の作成支援を行った。また、実証時のデータについても内容確認を行った。

### 5.3.1.7 実施者成果報告

本プロジェクトの成果として、関係者と協力し実施者としての成果報告書をまとめ、資料を作成した。また、実証実験の結果に基づき、運航管理システムによって実現されると考えられる、レベル4環境下のドローン利用によるビジネスモデルのあり方を示し、社会認知を広げることを目的として、「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」と題した資料を一般公開した。一般公開にあたっては、ドローンを用いた災害対応のあり方を示し、自治体・企業による災害対応へのドローン活用の拡大に繋げることを目的とした「災害時におけるドローン活用ガイドライン」も併せて一般公開を行った。このガイドラインは、先行実証・地域実証のうち、3地域で行った実証実験結果を踏まえ作成した。

## (12) 5.3.2 成果の詳細

### 5.3.2.1 実証実験支援概要

実証実験は、持続可能な無人航空機運航ビジネスの可能性を検討することを目的として実施した。実施にあたっては、公募提案時に設定した物流、警備、災害対策、空撮、測量、点検、農業などのユースケースをもとに事業を計画し、コンソーシアム参加自治体及び参加組織が事前の準備や地域における調整及び許可・申請作業等を行った。

各地域実証コンソーシアムは実証実験を2回以上実施しており、参加可能な地域実証コンソーシアムに

については、うち1回を全国で同時に飛行する全国実証として実施した。実証実験の実施スケジュールを以下表 2.2.1.14-78 地域実証コンソーシアム実証実験スケジュールに示す。

表 2.2.1.14-78 地域実証コンソーシアム実証実験スケジュール

No.	コンソーシアム	実施場所 (自治体)	実施スケジュール		
			1 回目	2 回目	3 回目
1	株式会社 イーシーセンター	静岡県富士市	UCa: 10月27日 UCb: 11月5日 UCc: 9月29日 UCd: 8月31日	UCa: 11月2日 UCb: 11月12日 UCc: 10月5日 UCd: 9月7日	—
2	株式会社 A. L. I. Technologies	高知県高岡郡四 万十町	10月25日～ 10月28日	11月1日～ 11月2日	—
3	株式会社 NTT ドコモ	石川県白山市	10月4日	11月1日～ 11月4日	—
4	株式会社オーイー シー	大分県	8月27日	10月27日	—
5	新明和工業株式会 社	長崎県対馬市	10月18日～ 10月19日	11月1日～ 11月4日	—
6	株式会社セレス	宮崎県東臼杵郡 美郷町	9月4日～ 9月10日	10月26日～ 10月29日	—
7	株式会社そらや	長崎県五島市	10月4日～ 10月8日	10月25日～ 10月29日	—
8	名古屋鉄道株式会 社	岐阜県美濃加茂 市	10月4日～ 10月8日	10月25日～ 10月29日	—
9	BIRD INITIATIVE 株式会社	北海道稚内市	9月7日～ 9月10日	9月13日～ 9月15日	10月27日 ～ 10月29日
10	福島県南相馬市	福島県南相馬市	9月27日～ 9月29日	10月26日～ 11月1日	—

※UC: ユースケース

### 5.3.2.2 全国実証

DRESS プロジェクトでは、レベル4の実現によって多数のドローンが一定のエリア内を同時に飛行する将来に備え、飛行計画と動態情報の両方を管理するために必要な運航管理システムが開発されてきた。本事業では、先行実証コンソーシアム及び地域実証コンソーシアムが複数のユースケースにおいて機体を同時に飛行させることにより、実ビジネスで必要な UASO の機能及び運航管理システムに必要なオペレーションを検証することを目的として全国実証を実施した。

全国実証には10コンソーシアムが参加した。全国実証参加コンソーシアムを以下表 2.2.1.14-79 全国実証参加コンソーシアムに示す。

表 2.2.1.14-79 全国実証参加コンソーシアム

No.	コンソーシアム		実施場所
1	先行実証	西日本コンソーシアム	兵庫県洲本市、姫路市、上郡町
2	先行実証	東日本コンソーシアム	仙台市
3	先行実証	災害コンソーシアム	三重県志摩市
4	地域実証	株式会社イーシーセンター	静岡県富士市
5	地域実証	株式会社 A. L. I. Technologies	高知県高岡郡四万十町
6	地域実証	株式会社オーイーシー	大分県
7	地域実証	株式会社セレス	宮崎県東臼杵郡美郷町
8	地域実証	株式会社そらや	長崎県五島市
9	地域実証	名古屋鉄道株式会社	岐阜県美濃加茂市
10	地域実証	福島県南相馬市	福島県南相馬市

### 5.3.2.3 実験結果

社会実装に必要な要素を整理したガイドライン策定に向けて、本事業での地域実証にて運航管理システムに接続した実証事業を離島・山間部を含む多様な環境で実施し、ユースケースにおける地域課題の解決方法、無人航空機導入のメリットや課題を評価・分析・整理し、報告書の提出を求めた。

また、報告書以外に、実証を実施・運用していくにあたり、都度作成される文書やデータを含め、実証実験実施の証跡の保管、実証実験から得られた資料やデータの譲渡を目的として、成果物を定義し、契約書に記載の元、各コンソーシアムに提出を求めた。成果物の種類を以下表 2.2.1.14-80 成果物の種類に示す。

表 2.2.1.14-80 成果物の種類

No.	書類名	
1	実施計画書	
2	計画表	
3	飛行計画書 概要版・完成版（1回目・2回目）	
4	各種チェックシート	機体管理シート
		機体点検シート
5	実証実験結果報告書	本紙
		要約
		電子データ 本紙と、実証データ（フライトログ・当日ドローンで撮影した写真及び動画）
6	議事録（コンソーシアム内で開催した会議の議事録）	
7	その他成果物	各ユースケースにおける飛行ルートデータ（ウェイポイント一覧・ルート画像）
		実証実験日程のスケジュール表、参加者一覧、許可承認書の写し
		・実証・実験で利用した以下のデータ -利用機体のフライトログ -実証実験当日にドローンで撮影した写真及び動画データ等



### 5.3.2.4 ガイドライン等の策定

10 コンソーシアムの成果物をもとにガイドライン等として資料を作成した。作成した資料について以下表 2.2.1.14-83 ガイドライン等として作成した資料に示す。

表 2.2.1.14-81 ガイドライン等として作成した資料

資料の種類	資料名
ガイドライン等の資料	「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」
	「災害時におけるドローン活用ガイドライン」
運航管理システムの提供方法検討資料	「運航管理システムの社会実装に関する提言」

#### 運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿

「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」は、運航管理システムを用いてレベル4を見据えて飛行するドローンによるサービスを持続的に提供するために必要となる情報を掲載した資料であり概要は以下表 2.2.1.14-84 運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿に示す。

表 2.2.1.14-82 運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿

項目	詳細
作成目的	運航管理システムを用いてレベル4を見据えて飛行するドローンによるサービスを持続的に提供するために必要となる情報を提供すること
対象者	<ul style="list-style-type: none"> <li>レベル4 飛行するドローンを用いたビジネスの提供を行おうとする事業者</li> <li>ビジネスの提供を受ける顧客となる個人及び事業者、自治体等</li> </ul>
主な内容	レベル4 解禁によって広がるドローン運航ビジネスの可能性の解説 運航管理システムの役割の解説 ビジネスモデル構築方法の具体例の紹介
公開先	DRESS プロジェクトポータルサイト ( <a href="https://nedo-dress.jp/topics/3032.html">https://nedo-dress.jp/topics/3032.html</a> )

詳細は、公開資料「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」を参照。

#### 災害時におけるドローン活用ガイドライン

「災害時におけるドローン活用ガイドライン」の概要は災害時にドローンを活用するために必要となる情報を掲載した資料でありその概要は以下表 2.2.1.14-83 災害時におけるドローン活用ガイドラインに示す。

表 2.2.1.14-83 災害時におけるドローン活用ガイドライン

項目	詳細
作成目的	災害発生時にドローンを活用するために必要となる情報を提供すること
対象者	災害対策を目的としてドローンの導入と運用を行うとするに自治体と事業者
主な内容	災害対応におけるドローンの主な活用シーンの紹介 災害対応におけるドローン活用の手順と注意点の解説 災害対応におけるドローンの運航調整と飛行制限の解説
公開先	DRESS プロジェクトポータルサイト ( <a href="https://nedo-dress.jp/topics/3032.html">https://nedo-dress.jp/topics/3032.html</a> )

詳細は、公開される資料「災害時におけるドローン活用ガイドライン」を参照。

#### 運航管理システムの提供方法検討資料

「運航管理システムの社会実装に関する提言」の概要は以下表 2.2.1.14-84 運航管理システムの社会実装に関する提言に示す。

表 2.2.1.14-84 運航管理システムの社会実装に関する提言

項目	詳細
作成目的	運航管理システムの社会実装を目指す政府が今後取り組むべき課題を整理すること
対象者	経済産業省次世代空モビリティ政策室 国土交通省航空局 内閣府小型無人機等対策推進室 NEDO（五十音順）
主な内容	運航管理システムの社会実装に向けたステップ 各ステップを実現するための課題 運航管理システムの地域別の段階的導入の是非に関する論点 運航管理システム提供の官民の役割分担とアーキテクチャの選択に関する論点
公開先	非公開（NEDO と内閣府及び関連省庁のみに提供）

本事業では、無人航空機の目視外飛行（レベル4）における運航管理システムの社会実装に向けて、実ビジネスを想定したユースケースで実証実験に取り組んだ。実証には、先行実証、地域実証のコンソーシアム合わせて全国13地域の自治体・企業が参加した。

各コンソーシアムは、運航管理システムを用いてレベル4を見据えて飛行するドローンによるサービスをビジネスとして、持続的に提供するための機能や運用方法の仮説を立てて検証項目を設定した。そして立案した実証計画及び飛行計画に沿って実証実験を行った。また本事業において、多数のドローンが一定のエリア内を同時に飛行する将来を見据え

た全国実証を実施した。実証結果を通じて、レベル4で飛行するドローンによるサービスを持続的に提供することの妨げとなる課題に対する解決策を導出した。また、今後のさらなる発展に向けて対応が必要とされる課題の洗い出しや、政府関連、運航事業者関係各位に向けた提言としてまとめた。

### 3.1 (6) 特許出願数、論文等の発表数

#### (13). 6.1 KDDI 株式会社

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	-	-	-	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	-	2	0	-	2
展示会出展	-	-	-	0	2	1	3
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	-	0	2	-	2
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	-	2	2	1	5
国内出願	-	-	-	0	0	-	0
外国出願	-	-	-	0	0	-	0

#### (14). 6.2 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	総計
論文	-	-	-	0	0	-	0
学会発表・シンポジウム講演等	-	-	-	0	0	5	5
展示会出展	-	-	-	0	2	-	2
学会誌・雑誌、新聞などへの掲載	-	-	-	0	2	-	2
ニュースリリース・プレスリリース	-	-	-	1	3	-	4
国内出願	-	-	-	0	0	-	0
外国出願	-	-	-	0	0	-	0

### (7) 実用化・事業化への道筋と課題

#### 3.2 1. 実用化・事業化に向けた戦略

##### 3.2.1 1.1 KDDI 株式会社

地上の無線通信の信頼性およびインフラ投資の観点からドローン運航における 4G LTE 携帯回線の活用が期待されており、今後も各ユースケースで市場の拡大が予測されている。また、今後本格普及していく 5G ネットワークと共に爆発的な市場拡大を目指し 3GPP 等の標準化団体を通じて日本のみならず各国で研究が加速している。

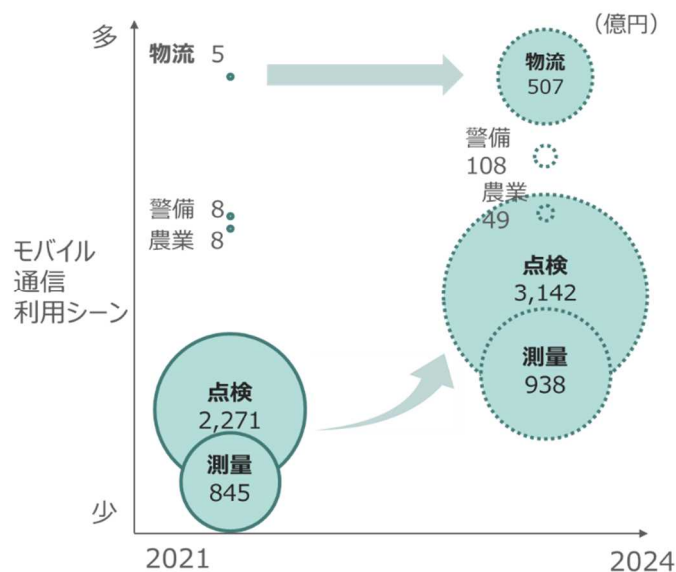


図 2.2.1.14-162 市場規模とモバイル通信利用シーン

「スマートドローンプラットフォーム」は、携帯回線を用いて無人航空機の遠隔飛行制御を行い、監視、警備、点検、物流等のドローン活用をトータルで提供するサービスである。

4G LTE/5G ネットワークに接続するドローン機体、運航管理システム、通信で構成され、モバイル通信ネットワークを利用するスマートドローン機体や、ドローン運航管理、ドローンが取得したデータの蓄積・分析などのクラウドサービスをまとめたトータルソリューションの提供を目指す「プラットフォーム（基盤）」である。

スマートドローンプラットフォームの展開に向けては、NEDO DRESS プロジェクトにおいて 2020 年度～2021 年度に委託事業として参画した「地域特性・拡張性を考慮した運航管理システムの実証事業」において得たドローンの運航管理に必要な機能やノウハウ等の成果も活用し、2022 年 3 月よりユーザーが自由に上空でのモバイル回線やそれを活用した運航管理、集約されるデータを管理するクラウドをセットで提供する、「スマートドローンツールズ」の提供を開始している。

ただし、実証結果から今後目視外飛行の本格的な社会実装を拡大させていくには、現行制度下ではプレフライトにおける法令の定める各種手続き・関係機関との調整や、インフライトにおける飛行ルート下の第三者の立ち入り管理措置等に多大なコストを要する等のドローンの社会実装に向けた様々な課題が明らかとなった。

また、持続的なビジネスモデルの構築に向けて、一対多運航をはじめとする高度な自動・自律飛行の実現による更なるコスト低減が求められており、一対多運航を前提としたドローンの離島間物流および広域警備の安全性評価手法の構築、技術開発、およびそれら

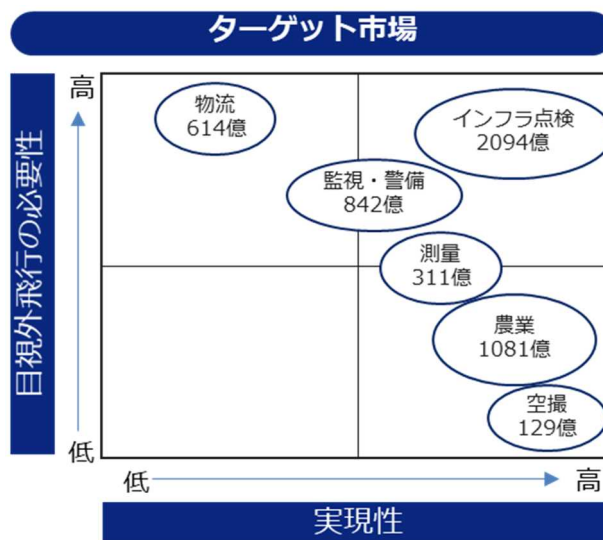
の検証を目的とした飛行実証が不可欠となっている。

ドローンがネットワークにつながり、各事業者が効率的に安全に多数のドローンの運航を実現することで、様々なエリアでドローンが飛び交い、活躍する社会を実現していくことを目標としている。



図 2. 2. 1. 14-163 KDDI スマートドローンツールズ

ドローンについては、これまで利活用できていない低空域が活用可能となるため、「空の産業革命」と言われており、自動車産業、航空産業のような新産業となる可能性がある。また当面は撮影、測量、検査、農業、輸送等のビジネス市場を中心に市場が拡大しているため、本研究開発の中間時点となる 2020 年度には国内で 1000 億円規模、プロジェクト終了後 2022 年度には 3000 億円規模、2024 年度には 4000~5000 億円規模へと拡大する見込みであり、将来的には数兆円規模の市場に拡大する可能性がある。



※インプレス総合研究所 ドローンビジネス調査報告書2019  
市場規模は2024年

図 2. 2. 2. 1. 14-164 ドローン国内市場規模予測と将来的なターゲット市場の予測

スマートドローンプラットフォームの展開に向けては、携帯回線の広域なカバー率を活かすためのシングルオペレータによる複数台運航（以下、一対多運航）の実現が極めて重要となる。

また、持続的なビジネスモデルの構築に向けて、一対多運航をはじめとする高度な自動・自律飛行の実現による更なるコスト低減が求められており、本研究開発で実施する一対多運航を前提としたドローンの離島間物流および広域警備の安全性評価手法の構築、技術開発、およびそれらの検証を目的とした飛行実証が不可欠となっている。ドローンがネットワークにつながり、各事業者が効率的に安全に多数のドローンの運航を実現することで、様々なエリアでドローンが飛び交い、活躍する社会を実現していくことを目標としている。

### 3.2.2 1.2 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社

#### 1.2.1 東日本ユースケース

##### 実証実験を行う背景

運航管理システムの技術検証とユースケースにおける各種検証を通じてビジネスモデル検証を目的とした。2021年度は主にレベル3、レベル4環境下に近い実ユースケース上でのUTM検証を実施した。UTM環境下にて実施した物流・点検・警備の3領域におけるユースケース概要については以下のとおりである。

##### (1) 物流

物流業界では、持続可能な社会の実現に向けて「環境理念・環境方針」を掲げ、事業を通じたCO2排出量削減に取り組んでいることから、ドローンに代替することでCO2排出量削減が見込まれている。また、労働力不足への対策や、激甚化、頻発化する災害に強い物流ネットワークの構築にも、ドローンの輸送が期待されている。仙台市の物流事業者では、中山間地域の温泉街から、手荷物、お土産配送や、リネン等の定期便として物資輸送する際、コースとして1.5時間程度時間を要することから、中間の区域でドローンが代替して物資を配送することで、集配の効率化や、温泉街のPRにも繋がり自治体にもメリットがある。

表 2.2.1.14-84 物流業界の課題

現状の課題	内容	ドローンで解決できること
地球温暖化対策	持続可能な社会の実現に向けて「環境理念・環境方針」を掲げ、事業を通じたCO2排出量削減に取り組んでいる	現状トラックにて行っている荷物の集配業務をドローンに代替することができれば、CO2排出量の削減が見込まれる。
人口減	離島 人口減 人口密度が下がる	-



	と毎日配送がコストに見合わない。サービス品質の維持が難しい	
人手不足 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経験豊富/優秀な人材確保の課題</li> <li>・ 高齢化、担い手の確保</li> </ul>	-
人手不足 2 外的要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 人手不足を補完する代替として ICT の利活用をしたい。</li> <li>・ 配送効率を UP させたい。</li> </ul>	中山間部、離島などにおいては都市部に先行してドローン物流の実用化に向けた検証が開始されている。
業務効率化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 配送効率を UP させたい。</li> </ul>	渋滞回避の手段として上空からのドローン輸送が期待されている。
災害時の配送	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地震や気象災害等で道路が使用できない場合がある。</li> </ul>	代替輸送として上空からのドローン輸送が期待されている。

## (2) 警備（イベント施設）

警備業は様々なリスクから人の生命、人体、財産を守り「安心」と「安全」を届け、公共の安全と秩序に寄与する重要な業務である。刑法犯認知件数は減少の傾向にあるものの、高齢者をターゲットとした特殊詐欺、女性や子どもが被害に遭う犯罪やサイバー犯罪などの「犯罪の多様化」、テロに対する脅威などへの「体感治安の悪化」は加速しており、国民の不安や安全安心へのニーズに応える警備業に対する社会的需要がますます高まってきている。

警備分野において、既にドローンは活用されているが、今年度は東京 2020 オリンピックの開催年度でもあり、仙台市で実際に開催された、東京 2020 オリンピック聖火リレーセレブレーションイベントを想定したユースケースを設定した。

表 2.2.1.14-85 警備分野（イベント施設）の課題

現状の課題	内容	ドローン・AI で解決できること
人手不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 経験豊富/優秀な人材確保の課題</li> <li>・ 高齢化、担い手の確保</li> </ul>	-
地図と現場の相違への対応 (下見/情報収集等)	地図や Google Map の更新が間に合わず地図と現場との相違が生じる。	地上からは見えない情報を空から確認できる。
警備員の負荷とリスクの軽減	警備員の酷暑/厳冬期における負荷軽減と安全性の確保への課題	酷暑や厳冬期の作業やリスクを伴う確認はドローンにて行

	(リスクの軽減) お客様とのトラブル（対応による均一化）	う。 AI などによる異常の判断なら対応の均一化が見込める。
労働環境の改善	人手不足により十分な休憩時間がとれない	目視確認など一部の業務をドローンが担う事ができれば、警備員の業務の内 2-3h 程度の勤務時間削減が見込める。

### (3) 警備（鳥獣害）

イノシシの個体数増加に伴う被害の増加に伴い自治体・猟友会・地域住民や警備会社の協力のもと被害発生後に罠を設置し対応している。ドローンにおいて、狩猟時期に合わせて生態エリアの調査を行う事で効率的な罠設置が期待されており、ドローンで取得した空撮後の画像データを、将来的に AI 解析する事で、効率的に生息域を割り出せることも同じく期待されている。これらのことから、鳥獣害の警備をユースケースとして設定した。

表 2.2.1.14-86 警備分野（鳥獣害）の課題

現状の課題	内容	ドローン・AI で解決できること
生息域・個体数の拡大	気候変動によりイノシシの生息域が北上している。効率的に駆除しなければ個体数は年々増加傾向にある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・狩猟時期に合わせて生態エリアの調査を行う事で効率的な罠設置が期待される。</li> <li>・空撮後の画像データを将来的に AI 解析する事で効率的に生息域を割り出せる。</li> </ul>
耕作放棄地の増加	人がいないことで容易に農地エリアに侵入し掘り起こしや農作物を食べてしまう。	
狩猟者の減少と高齢化 危険な駆除作業	経験豊富な狩猟者の減少 獰猛なイノシシは大きなもので体重 100kg に及び狩猟者にも危険が伴う	
限られた狩猟時期	狩猟時期は年間約半年	

### (4) 点検

橋梁点検ビジネスにおいては、人材不足が深刻化しており、各種点検業務において 2030 年には労働人口の減少が加速化すると予測され（出所：パーソル総合研究所・中央大学「労働市場の未来推計 2030」）、人材減によるコスト増加の懸念がある。定期点検における打音診断をドローンが担うことはできないが、災害等のスクリーニング調査においては状

況を把握できることから、事故や災害の一斉点検では一次調査に適している。特に陸路の寸断や広範囲の状況の把握等に強いドローンはスクリーニング調査に最適である。また、1回の点検業務全行程に占める事務処理業務が60-70%を占めておりドローン×AIによる業務効率化が期待されている。これらのことから、橋梁点検のユースケースを設定した。

表 2.2.1.14-87 点検分野の課題

現状の課題	内容	ドローン・AIで解決できること
実際にドローンでの検証を試みた結果 (過去の検証より)	①損傷部の見通しへの懸念 ②トラス格点部や桁下など込み入った橋にドローンが入れない ③打音判断しているコンクリート面浮き確認の懸念	法規の「近接目視」のすべてを担保できないため 定期点検にはそぐわない。 ⇒今後の制度・機体の性能向上に期待
慢性的な人手不足	経験豊富/優秀な人材確保の課題と高齢化の課題	-
稼働の季節変動	厳冬・酷暑期は点検を避ける傾向にある。	
稼働の季節変動	高所作業で重い腰道具を所持しながらの運搬時の肉体的負荷 安全性の確保への課題（リスクの軽減）	酷暑や厳冬期の作業や高所でのリスクを伴う作業はドローンにて行う。
作業員の負荷とリスクの軽減	高所作業で重い腰道具を所持しながらの運搬時の肉体的負荷 安全性の確保への課題（リスクの軽減）	
報告書業務の作業効率化	点検撮影後の後作業の効率化	画像解析はAIによる作業効率化が期待される

## 1.2.2 事務局運営

本研究開発では、2022年度無人航空機のレベル4実用化を見据え、2020年～2021年にかけて運航管理システムの実環境における実証を行う必要があり、無人航空機と運航管理システムを接続した実証事業を実施し、運用面と技術面の検証を行った。実証事業は、西日本（兵庫県内）、災害（三重県志摩市）、東日本（宮城県仙台市）の3地域による先行実証と、全国を対象とした公募により採択された10地域による地域実証を行った。

地域実証は、地域の特性を考慮した実証であり、かつ地域産業振興に資するユースケースを複数検証することを目的に、初年度に公募を実施し、全国の企業・自治体等からの提案を数多く受けた中、10件の事業者を採択した。事業者の選定には、外部有識者による

委員会を組成し、公平性のある審査を行った。また、これらの公募を提案する企業・自治体に対して、目的に沿った提案ができるよう仕様書やガイドラインを提供する事で、提案促進を行った。

先行実証と地域実証では、物流、警備、災害対策、空撮、測量、点検、農業等のユースケースを、日本国内の平野部、山間部、及び離島部で分けて想定し、継続的な運航管理システムの活用における課題や季節による実証環境の影響を検証するため、1週間×2回程の実証を行った。2回目の実証を行う際には初回に実証した際の課題を踏まえた実証を実施した。

加えて、地域実証より先に実施した先行実証での内容や課題を、地域実証事業者に共有する事で、地域実証内容や検証課題が逸れないよう管理を行うと共に、意見交換会を開催した。これらの取り組みでは、実証実験が安全に行われるよう、実施計画・飛行計画を策定する際に参考となる有益な情報の提供も行い、安全管理に努めた。

2021年度に実施した先行実証、及び、地域実証では、13地域での同時実証実験を行い、運航管理システムの全国規模への拡張性、多数地域における同時運用への堅牢性を確認した。

実証実験の結果に基づき、運航管理システムによって実現されると考えられる、レベル4環境下のドローン利用によるビジネスモデルのあり方を示し、社会認知を広げることを目的として、「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」と題した資料を一般公開した。一般公開にあたっては、ドローンを用いた災害対応のあり方を示し、自治体・企業による災害対応へのドローン活用の拡大に繋げることを目的とした「災害時におけるドローン活用ガイドライン」も併せて一般公開を行った。このガイドラインは、先行実証・地域実証のうち、3地域で行った実証実験結果を踏まえ作成した。

10 コンソーシアムの実証実験ユースケースを以下に示す。

表 2.1.1.14-88 ①株式会社イーシーセンター（静岡県富士市）

ユースケース a：災害時孤立が予想される室野地区での集落・道路状況確認・必要物資配送

ユースケース名	使用機体(各1台)	接続方法	情報提供機能	飛行エリア
A:必要物資配送	Matrice210	FIMS モジュール	ドローン気象 Web	富士川体育館～ つつみ電機製作所
B:孤立集落状況確認	Matrice300RTK (KDDI)	KDDI モジュール・FOS	ドローン気象 Web	つつみ電機製作所～室野集落

C:道路状況確認	Matrice210RTK	KDDI モジュール	ドローン気象 Web	室野道路
----------	---------------	------------	------------	------

ユースケース b : 富士川水管橋橋梁点検

ユースケースの説明	橋梁を真上から点検をする飛行経路と水管を下から点検する飛行経路、同時に飛行し橋梁の点検の時短縮とコスト面を確認する。FIMSに接続して上部、下部同時に点検を行い近接アラートの実験も行う。
使用機体・機体数	Matrice300RTK (KDDI 貸出) 1台 Matrice210 1台 KDDI タブレット (FOS) 1台
運航管理統合機能と機体の接続方法	FIMS モジュール・FOS
情報提供機能の利用方法	ドローン気象 Web
飛行エリア	富士市中之郷地先 ルート図(1.3.4.1.2-2)参照

ユースケース c : 浮島地区大規模災害時液状化が予想される地帯での状況確認

ユースケースの説明	浮島地区の液状化が予想される範囲全てを把握できる映像を録画する。 外ルートと内ルートで Matrice300RTK 機 (KDDI 貸出) (FOS 使用)・Matrice210RTK の 2 機を同時飛行させ周辺道路の状況を撮影する。 1-1 外ルート 高度 100m 速度 5m/s カメラの角度 90° 内ルート 高度 120m 速度 5m/s 電波干渉エリアのみ 7m/s カメラの角度 45° 1-2 外ルート 高度 100m 速度 5m/s カメラの角度 90° 内ルート 高度 120m 速度 5m/s カメラの角度 90° ~40° ※電波干渉エリア回避ルート (画角でフォロー)
使用機体・機体数	Matrice300RTK (KDDI) 1台 Matrice210RTK1台
運航管理統合機能と機体の接続方法	UASSP FIMS 未接続
情報提供機能の利用方法	ドローン気象 Web
飛行エリア	富士市浮島地区 ルート図(1.3.4.1.2-3)参照

ユースケース d : 伝法地区大規模災害時液状化が予想される地帯での状況確認

ユースケースの説明	伝法地区の液状化が予想される範囲全てを把握できる映像を録画する。
-----------	----------------------------------

	1台飛行させ周辺道路の状況を撮影する。
使用機体・機体数	Matrice300RTK (KDDI) 1台 KDDI タブレット(FOS) 1台
運航管理統合機能と機体の接続方法	UASSP FIMS 未接続
情報提供機能の利用方法	ドローン気象 Web
飛行エリア	富士市伝法地区 ルート図(1.3.4.1.2-4)参照

表 2.1.1.14-89 ②株式会社 A.L.I. Technologies (高知県高岡郡四万十町)  
ユースケース一覧

ユースケース	ユースケースの説明	使用機体・機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	情報提供機能の利用方法	飛行エリア	
物流	十和体育館から八木集会所を結ぶ、路線の中央に位置する十和隣保館を中継点として生活必要物資のドローン搬送を行う。	HIYOK020	HIYOK020	C.O.S.M.O.S 経由での FIMS 接続	日本気象協会 (web アプリ)	十和 - 八木
防災	二次避難所となっている四万十町 B&G 海洋センターを災害支援物資運搬の出発点として、山を超えて興津ヘリポートへ災害支援物資をドローンで運搬する。	HIYOK020	HIYOK020	C.O.S.M.O.S 経由での FIMS 接続	日本気象協会 (web アプリ)	窪川 - 興津



測量	四万十町立七里小学校の裏手に切り立った森林が広がる七里小学校グラウンドを離発着ポイントとし、近隣の森林をレーザ測量する。	DJI M600 Pro	NEC モジュールを使用した FIMS 直接接続	日本気象協会 (web アプリ)	七里
調査	四万十町大正中津川集落から国道へ繋がる唯一の道路に位置する”成川橋”を含む周辺区域に対して、測量前の事前調査としてレーザセンサーを用い地表データを集める。	DJI M600 Pro	NEC モジュールを使用した FIMS 直接接続	日本気象協会 (web アプリ)	大正

表 2.1.1.14-90 ③株式会社 NTT ドコモ（石川県白山市）

ユースケース一覧

	ユースケース① 鳥獣害調査	ユースケース② 物資輸送	ユースケース③ 空撮
運航者	ブルーイノベーション株式会社	ブルーイノベーション株式会社	株式会社ドローンショー
実証概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セルラー通信による制御を行い、目視内自動飛行(レベル2)を行う</li> <li>・赤外/可視光カメラにより熊を監視</li> <li>・映像は5.7GHz帯VTXにより地上へ伝送</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セルラー通信による制御を行い、目視外補助者無し飛行(レベル3)を行う</li> <li>・災害時の緊急物資輸送、平時の小口配送を想定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローンショー社開発の機体を使用し、敷地内にて目視内の空撮を実施</li> <li>・機体は2.4GHZ帯を用いて制御</li> </ul>
特徴	<p>5Gによる高画質のリアルタイム映像伝送</p> 	<p>ドローンボートからの拠点情報(位置や受入可否等)の自動発信 ※LTEの不感地域にも対応</p> 	<p>地元企業の開発機体(FIMS、UASSP等への接続経験無し)を使用</p> 
FIMSへの接続方法	UASSP(Blue Earth Platform)からのAPI接続	UASSP(Blue Earth Platform)からのAPI接続	位置情報装置および上空でLTE通信が可能な端末を搭載
機体	PF2-Survey [ACSL]	PF2-Delivery [ACSL]	ドローンショー社開発機体 ※開発中

表 2.1.1.14-91 ④株式会社オーイーシー（大分県）

ユースケース一覧

ユースケース	内容		これまでの取組み (無人航空機関連)
	平常時	災害時	
空撮①	農作物育成観察	人命捜索（湖周辺）	システム開発等
空撮②	獣害侵入確認	人命捜索（全体）	空撮等
点検	地域特産物の配送	災害救助用品の配送	点検・検査・測量等
測量	橋梁点検	ダムの破損調査	
農業	農薬散布	—	農薬散布等

表 2.1.1.14-92 ⑤新明和工業株式会社（長崎県対馬市）

ユースケース一覧



ユースケース	1. 漂着ごみ空撮調査	2. 漂流ごみ空撮調査
概要	<p>海岸を空撮し、空撮画像が漂着ごみの実態調査に有効か検証した。</p> 	<p>沿岸の海面を空撮し、空撮画像が漂流物の発見に有効か検証した。漂流物発見にはAIによる人・船舶の自動検出技術を応用可能か検証した。</p> 
使用機体	XU-S（1機）	XU-S（1機）
FIMSとの接続方法	GCSを經由し、事務局提供UASSP（KDDI UTM）を介して接続	GCSを經由し、事務局提供UASSP（KDDI UTM）を介して接続
SDSPの利用方法	JWA ドローン気象 Web 全国版にて飛行時間帯の風向・風速予測を確認	JWA ドローン気象 Web 全国版にて飛行時間帯の風向・風速予測を確認
飛行エリア	離島部	離島部

表 2.1.1.14-93 ⑥株式会社セレス（宮崎県東臼杵郡美郷町）

ユースケース一覧

ユースケース	実施担当	実施場所（飛行エリア）	実施概要
日程	使用機体・機体数	運航管理統合機能と機体の接続方法	情報提供機能の利用方法
①点検	セレス	南郷神門地区町有林	鳥獣害防護柵の点検
10/25 ～ 10/29	Matrice300RTK × 1 Phantom4Pro × 1	KDDI UASSP 経由で FIMS に接続（M300RTK のみ）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローン気象 Web</li> <li>・ドローン用気象観測データを飛行条件確認のため活用</li> </ul>
②測量	九州電力	上渡川地区町有林	森林資源のレーザ測量
10/25 ～ 10/29	Matrice600PRO × 1 Matrice210 × 1 Matrice210RTK × 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FIMS 直接接続（NEC）</li> <li>・KDDI UTM（UASSP）経由で FIMS に接続（KDDI、京セラ）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローン気象 Web</li> <li>・ドローン用気象観測データを飛行条件確認のため活用</li> </ul>
③物流	九州電力	南郷支所～又江地区	過疎地における物流

10/25 ～ 10/29	Matrice300RTK ×2 Matrice210 ×1	・ FIMS 直接接続 (NEC) ・ KDDI UTM (UASSP) 経由で FIMSに接続(KDDI、京セラ)	・ ドローン気象 Web ・ ドローン用気象観測データ を飛行条件確認のため 活用
④農業	九州電力	西郷和田地区、立石地区	中山間地における農薬散布
10/25 ～ 10/29	AG R-17 ×2 Matrice210 × 1	・ FIMS 直接接続 (NEC) ・ KDDI UTM (UASSP) 経由で FIMSに接続(KDDI、京セラ)	・ ドローン気象 Web ・ ドローン用気象観測データ を飛行条件確認のため 活用

表 2.1.1.14-94 ⑦株式会社そらや (長崎県五島市)

ユースケース一覧

ユースケース名	物流	海難捜索	海ごみ調査	農地確認
ユースケースの 説明	ドローンを用いた 物流事業。	固定翼ドローンを用いて 海難捜索を実施。	ドローンを用いて市内海岸 に漂着する海ごみの量を調 査する事業。	ドローンを飛行させ、農地 作付確認用の画像データを 取得する。
使用機体・機体 数	PD6B-Type3C・1 機	オプティムホーク V2 (AGDH2-P4600)	DJI Phantom4 Pro V2.0 1機 (予備 1 機)	DJI Phantom4 Pro V2.0
運航管理統合機能と 機体の接続方法	事務局 UASSP 経由	事務局提供 モジュール接続 airpalette 経由	airpalette 経由 SENSYN CORE	airpalette 経由 SENSYN CORE
情報提供機能の 利用方法	・ 気象情報 WEB ・ 有人機情報 (SDSP 経由)	・ 気象情報 WEB ・ 有人機情報 (SDSP 経由)	・ 気象情報 WEB ・ 有人機情報 (SDSP 経由)	・ 有人機情報 (SDSP 経由)
飛行エリア	五島市塩津地区～ 黄島地区間海上	五島市下大津 沖	五島市崎山地区	五島市崎山地区

表 2.1.1.14-95 ⑧名古屋鉄道株式会社 (岐阜県美濃加茂市)

ユースケース一覧

	ユースケース 1-①	ユースケース 1-②	ユースケース 2
ユースケースの説明	被災範囲の UAV 撮影	被災範囲のレーザ計測	支援物資の物流

<b>使用機体</b>	Matrice 300 RTK Matrice 210	Matrice 600 Pro Phantom 4 Pro Obsidian	Matrice 600 Pro
<b>運航管理統合機能と機体の接続方法</b>	KDDI の LTE 通信モジュールを使用して接続		
<b>情報提供機能の利用方法</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気象センサーを設置し、iPad から気象データ利用</li> <li>・ 気象Webにて iPad から詳細予報を利用</li> </ul>		
<b>飛行エリア</b>	中之島公園・木曽川沿い	木曽川緑地ライン公園・木曽川沿い	

表 2.1.1. 14-96 ㊟BIRD INITIATIVE 株式会社（北海道稚内市）

ユースケース一覧

<b>ユースケース</b>	<b>ドローンの利用方法</b>
医薬品配送	・ へき地などにおいて、薬局から患者への処方箋医薬品の迅速な配送
空港内離着陸	・ ドローン物流と航空物流の接続による地方から都市部への迅速かつ一貫した輸送
海獣監視	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 洋上のアザラシの頭数把握</li> <li>・ ドローン接近によるアザラシへの威嚇効果の確認</li> </ul>
密漁監視	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ドローンに搭載した赤外線カメラによる暗視下における密漁者の発見</li> <li>・ ドローンに搭載した拡声スピーカーによる密漁者への警告、抑止</li> <li>・ ドローンに搭載したスポットライトによる密漁者/不審車両の発見、識別</li> </ul>

表 2.1.1.14-97 ⑩福島県南相馬市

ユースケース一覧

名称	内容説明	使用機体(機体数)	情報提供機能	飛行エリア
ユースケース①	自然災害等の有事を想定し、被害箇所を撮影対象とした写真および動画情報の収集を実施する。また、収集した情報をGISに挿入し、Terra Cloudを用いて関係者等へ提供する。	Phantom4 PRO (1機) または Phantom4 PRO+(1機) または Inspire2 (1機) または DOLPHIN4300(1機) または HAMADORI(1機)	利用なし	南相馬市鹿島区 南右田・小島田地区 または 南相馬市原町区 泉・下洪佐地区 または 南相馬市小高区 市街地 または 南相馬市小高区 南鳩原地区 または 南相馬市 沿岸部
ユースケース②	自然災害等の有事を想定し、被害箇所を撮影対象とした垂直写真撮影を自動航行にて実施する。撮影した写真は解析を実施し、オルソ補正画像としてGISに挿入後、Terra Cloudを用いて関係者へ提供する。	Phantom4 PRO (1機) または Phantom4 PRO+(1機) または Inspire2 (1機)	利用なし	南相馬市鹿島区 南右田・小島田地区 または 南相馬市小高区 市街地 または 南相馬市小高区 南鳩原地区
ユースケース③	自然災害等の有事を想定し、被害箇所を対象としたLiDAR(光検出および測距)によるセンシングを実施する。取得したデータを解析し被害箇所の3次元モデルを生成、GISに挿入後、TerraCloudを用いて関係者へ提供する。	Matrice600 Pro(1機)	利用なし	南相馬市小高区 南鳩原地区
ユースケース④	避難指示等が発出された有事を想定し、拡声器搭載無人航空機による避難誘導を実施する。あわせて対地撮影を実施し、避難経路の安全確認および避難状況確認を実施する。	Mavic2 Enterprise Dual (1機) Phantom4 PRO+ (1機) Inspire2 (1機) ALTA X (1機)	利用なし	南相馬市小高区南鳩原地区 または 南相馬市原町区 泉・下洪佐地区
ユースケース⑤	自然災害等の有事を想定し、河川湛水等により陸路が寸断された場所への支援物資の空中輸送を実施する。	HAMADORI(1機)	利用なし	南相馬市 沿岸部

3.3 2. 実用化・事業化に向けた具体的取組

3.3.1 2.1 KDDI 株式会社

KDDI ではこれまでの上空でのモバイル通信活用の知見等の成果を活かし、上空でのモバイル通信が可能な「スマートドローンツールズ」の提供を開始したが、今後一対多運航の社会実装の本格展開に向けて様々な業種のソリューションや用途別機体と接続してサービス拡大をしていく必要がある。

各業種に必要なアプリケーションや用途別機体を全て自社開発することは不可能なためこれまで開発してきた通信や運航管理システムをベースにプラットフォームに各事業者が開発した機体・アプリケーションが接続可能なシステムを開発予定である。

本研究開発における実証を通じて対応機体やアプリケーションを研究協力企業と連携して機能拡張していく予定である。また業界や地域ごとのニーズ、必要機能をプラットフォームにフィードバックすることで運航管理システム利用ユーザの拡大が見込まれる。



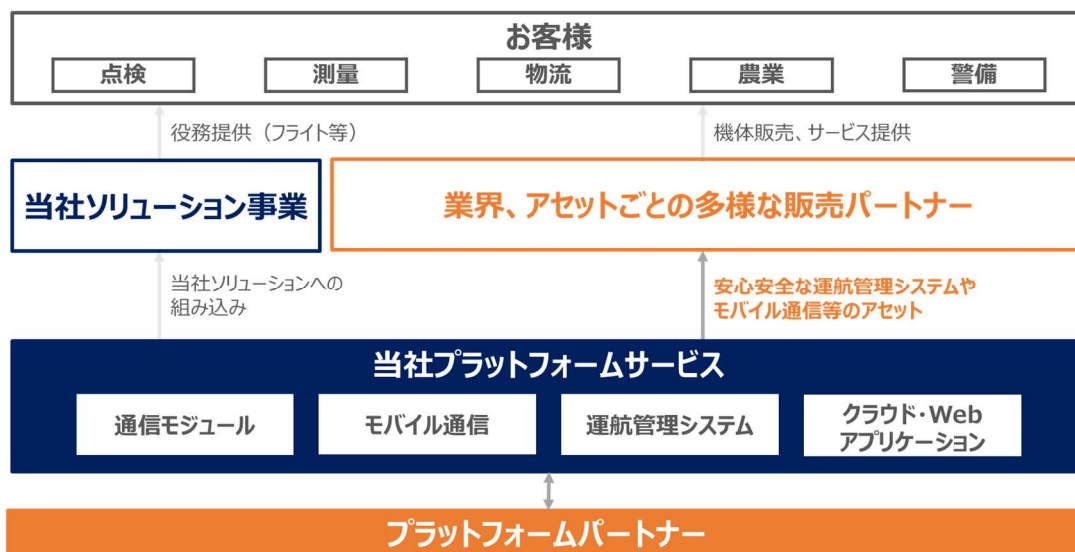


図 2. 2. 41. 14-165 スマートドローンプラットフォームの様々な業界への提供

(1) 用途 (販売予定先)

スマートドローンプラットフォームは様々な分野において活用可能なソリューションサービスである。

スマートドローンプラットフォームの活用用途例は以下のとおりである。それぞれの用途に対して最適な機体やシステムをパッケージで提供することを予定している。例えば、災害対応ではLTEを活用したドローンによる広域運航、遠隔監視が実施可能であり、販売予定先としては自治体や大規模なインフラを保有する鉄道会社等が想定され、災害時対応の効率化に寄与するものと考えられる。

2020年8月には長野県の伊那市でドローン物流の定期便の配備や2020年9月にはJPOWERと風力発電点検ドローンの配備実証を公表するなど社会実装を推し進めている。

また、将来的には下記ソリューション以外にも、このプラットフォームを活用し、多様な分野の市場開拓が可能となることが想定される。





<p style="text-align: center;"><b>点検</b></p>  <p>自律飛行やAIを活用して、幅広い点検ニーズに対応</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 風力/水力発電設備の点検</li> <li>・ 道路や線路の点検</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>物流</b></p>  <p>長距離自立飛行を実現し、地域課題に応じたモデルを提供</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 過疎地域での日用品配送</li> <li>・ 災害時の物資配送</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>測量</b></p>  <p>高精度な測量を手軽に実現</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地形データの取得</li> <li>・ 建設現場の進捗管理</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>監視</b></p>  <p>ポート付きドローン等を利用して自動・遠隔での監視を実現</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建設現場の監視</li> <li>・ 災害現場の監視</li> </ul>

図 2. 2. 1. 14-166 スマートドローンプラットフォームの活用用途例



図 2.2.1.14-167 長野県伊那市での定期ドローン物流配備や JPOWER との風力発電点検ドローン配備検証

以下 URL 参照

- ・国内初の自治体運営によるドローン配送事業、伊那市支え合い買物サービス「ゆうあいマーケット」の本格運用開始

<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2020/08/05/4601.html>

- ・Jパワーと KDDI、ドローンを用いた風力発電設備の自動点検の有効性を実証

<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2020/10/07/4714.html>

また、ドローンの適用領域が幅広くソリューション提供の際には専門的な知識が求められるため自社の販売チャネルを活用した直接販売のみでなくパートナーと協業してプラットフォームを展開する間接販売モデルを組み合わせるビジネスモデルを検討している。今後ドローンの社会実装が進むにつれ各領域に強みのある業者と協業して運航管理システムを活用するケースがより増えると見込んでいる。ドローンは法制的にも地方からの社会実装が進んでいくと予測されるが地方の小規模な会社は大規模な投資でドローンの提供環境を全て構築するのは難しい。そこでスマートドローンプラットフォーム上でニーズに即したアプリケーションを開発するだけでビジネスが可能な環境を構築する予定である。

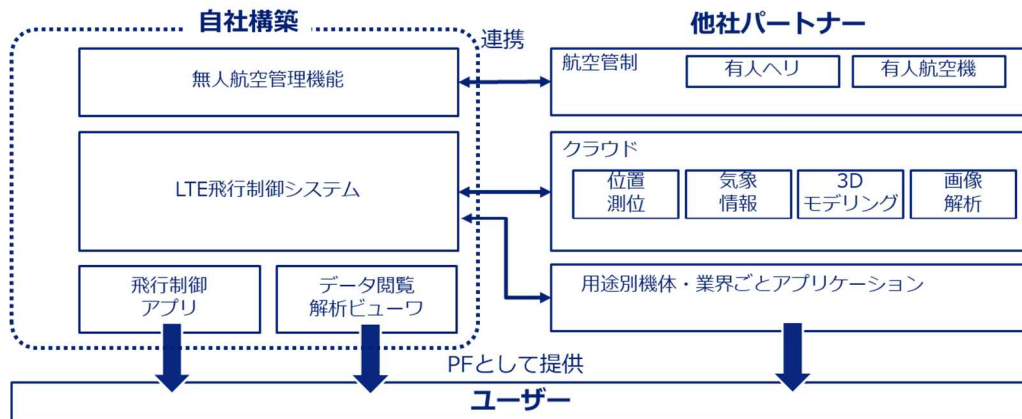


図 2.2.1.14-168 スマートドローンプラットフォームのビジネスモデル案

### 3.3.2 2.2 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社

#### 2.2.1 東日本ユースケース

##### 持続可能な無人航空機サービスの提供方法

運航管理システムを利用して無人航空機を使ったサービスを安全かつ持続的に提供できる理想的な状態を想定し、サービスの提供方法を記載する。

##### (1) 各領域の費用比較について

各領域ユースケース費用の比較について記載する。全領域ともに以下の3つの状況で整理を行った。

現状 : 既存の形態でサービス提供の費用

実証実験 : 無人航空機を使用した今年度実証実験の費用

レベル4達成時 : レベル4が実現した環境で無人航空機を活用した費用

上記費用には、運航管理システムを用いた運航管理統合機能、運航管理機能、個別機能費用も含む（※FIMSの接続費用は未定義のため含めず）。費用削減が見込まれる項目については、色付きで示した。

##### ①物流

年間コストイメージ ※レベル4達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル4達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		1.4%	8.5%
		設備関係費		0.5%	3.3%
		パイロット育成費		0.0%	6.3%
		保険費用(年間契約)		0.7%	4.1%
		撮影用カメラ使用料一式		0.04%	0.23%
ランニング	PreFlight	設備維持費		0.5%	3.1%
		機体・設備維持費(使用費)		1.3%	7.9%
		飛行申請費		0.03%	0.0%
		交通費(レンタカー・ガソリン他)		0.02%	0.0%
	Inflight	自社配送費	29%	0%	0.0%
		諸経費(内経費)	71%	6.2%	38.6%
		ドローン関連労務費		89.2%	22.1%
その他	UTM使用料		0.0%	6.0%	
	報告書作成		0.1%	0.0%	
			100%	100%	100%

図 2.2.1.14-169 年間コストイメージ①

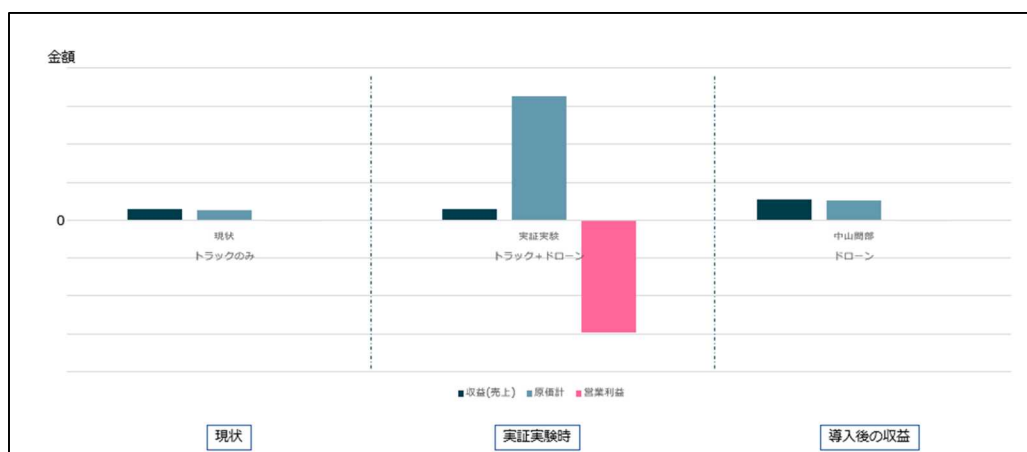


図 2.2.1.14-170 年間コストイメージ②

物流領域ではレベル 4 達成時にわずかながら利益を見込む試算ができた。他の領域同様にビジネスとして安定した利益を確保する上においては数々の課題をクリアする必要がある。

②イベント施設警備

1 警備あたりの費用イメージ ※レベル 4 達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル4 達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		6.2%	9.3%
		設備関係費		1.5%	2.3%
		パイロット育成費		0.0%	4.3%
		保険費用 (年間契約)		0.2%	2.8%
		撮影用カメラ使用料一式		16.55%	2.1%
		機体加工費 (機体改造費)		1%	1.3%
ランニング	PreFlight	機体・設備維持費 (使用費)		3.6%	5.4%
		飛行申請費		4.1%	0.0%
		交通費 (レンタカー・ガソリン他)		2%	0.0%
		諸経費	11%	4.1%	6.2%
		警備員配置労務費	89%	10.6%	52.2%
	Inflight	ドローン関連労務費		33.1%	9.9%
		UTM使用料		0.0%	4.1%
		その他 報告書作成 (委託先)		16.6%	0.0%
			100%	100%	100%

図 2.2.1.14-171 1 警備あたりの費用イメージ①

本領域では色付項目についてコスト抑制を見込めるも今年度の実証実験時において利益が出る試算には至っていない。しかし将来的に不審者の自動感知機能や対象人物 (物) を指定し容易に追跡できる機能や、機体性能改善や飛行計画にはない急遽警備が必要なケース、緊急時など状況に応じた UTM 制度面の改定がなされれば大規模イベントの警備にドローンが参入できる余地は十分ある。

### 1 警備あたりの費用イメージ

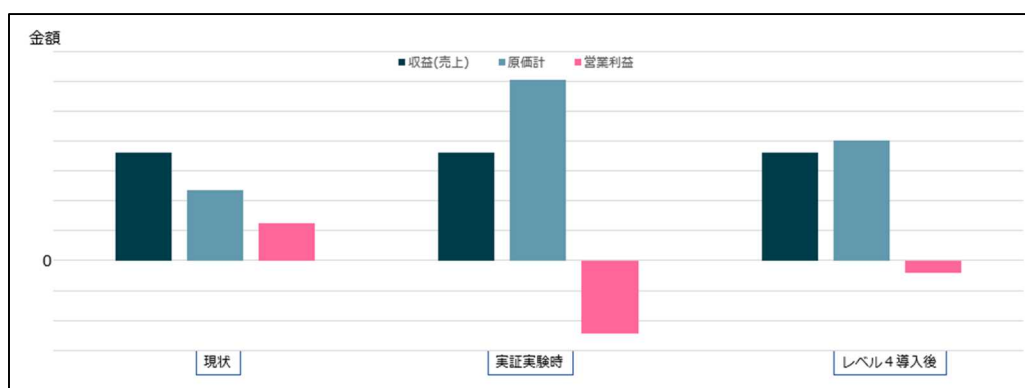


図 2.2.1.14-172 1 警備あたりの費用イメージ②

### ③鳥獣害警備

生息調査 1 回あたりの費用イメージ ※レベル 4 達成時に削減が見込める費目は色付

コスト内訳		コスト項目	現状	実証実験時	レベル4 達成時
イニシャル	PreFlight	機体償却費/機体使用料		6.5%	18.2%
		設備関係費		1.0%	2.7%
		ドローン関連労務費		34.8%	19.5%
		パイロット育成費		0.0%	5.2%
		保険費用 (年間契約)		0.3%	3.3%
		撮影用カメラ使用料一式		17.42%	2.5%
		機体加工費 (機体改造費)		1%	1.6%
ランニング	PreFlight	機体・設備維持費 (使用費)		2%	6%
		飛行申請費		4.4%	0.0%
		交通費 (レンタカー・ガソリン他)		3%	0.0%
		諸経費		4.4%	12.2%
		監視装置設置 (親機・子機)	20%	1.6%	4.6%
		監視装置 親機通信費	0.320%	0.027%	0.075%
		設置・捕獲・止め刺し	80%	7%	19%
	Inflight	UTM使用料		0.0%	4.9%
	その他	報告書作成 (委託先)		17.4%	0.0%
				100%	100%

図 2.2.1.14-173 生息調査 1 回あたりの費用イメージ①

鳥獣害警備に関しても同様で現時点においては利益が出る試算には至っていない。しかしながら本警備は自治体が目指すイノシシ駆除の年間 900 頭を効率的に駆除する上でも上空からの生息調査は急務であり潜在的な社会的ニーズは高いといえる。



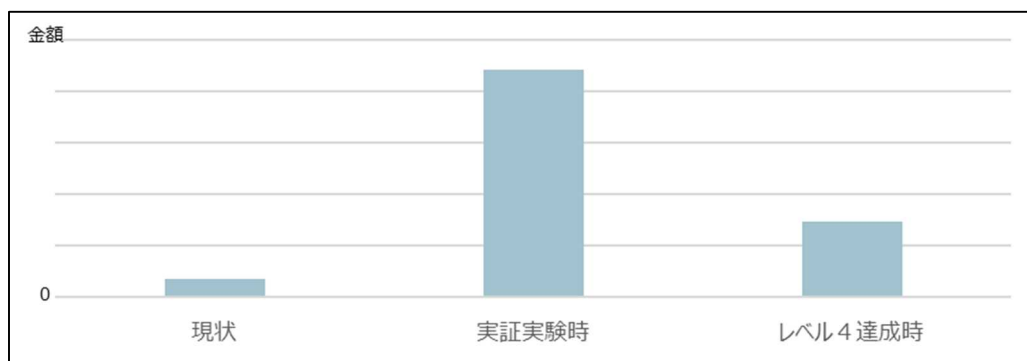


図 2. 2. 1. 14-174 生息調査 1 回あたりの費用イメージ②

④点検

1 橋梁あたりの点検コストイメージ

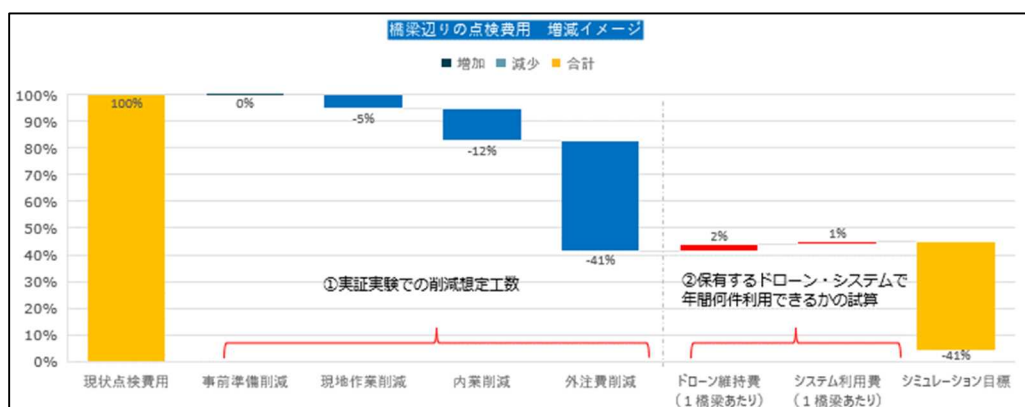


図 2. 2. 1. 14-175 1 橋梁あたりの点検コストイメージ

橋梁点検においても利益が出る試算には至っていない。理由は国が定める橋梁の定期点検の法規にある「近接目視」のすべてをドローンが担保できないため、定期点検にはそぐわないという点にある。ぜひ今後の制度・機体の性能向上に期待している。

2. 2. 2 事務局運営

運航管理システムを活用した持続可能なビジネスモデルのあり方を示し、社会認知を広げることを目的としたガイドライン等の資料を公開した。

表 2. 2. 1. 14-98 ガイドライン等として作成した資料

資料の種類	資料名
ガイドライン等の資料	「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」
	「災害時におけるドローン活用ガイドライン」

運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿

「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」は、運航管理システムを用いてレベル 4 を見据えて飛行するドローンによるサービスを持続的に提供するために



必要となる情報を掲載した資料である。

表 2.2.1.14-99 「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」の概要

項目	詳細
作成目的	運航管理システムを用いてレベル 4 を見据えて飛行するドローンによるサービスを持続的に提供するために必要となる情報を提供すること
対象者	<ul style="list-style-type: none"> <li>レベル 4 飛行するドローンを用いたビジネスの提供を行おうとする事業者</li> <li>ビジネスの提供を受ける顧客となる個人及び事業者、自治体等</li> </ul>
主な内容	レベル 4 解禁によって広がるドローン運航ビジネスの可能性の解説 運航管理システムの役割の解説 ビジネスモデル構築方法の具体例の紹介
公開先	DRESS プロジェクトポータルサイト ( <a href="https://nedo-dress.jp/topics/3032.html">https://nedo-dress.jp/topics/3032.html</a> )

詳細は、公開資料「運航管理システムを使ったドローン運航ビジネスの姿」を参照。

「災害時におけるドローン活用ガイドライン」は、災害時にドローンを活用するために必要となる情報を掲載した資料である。

表 2.2.1.14-100 「災害時におけるドローン活用ガイドライン」の概要

項目	詳細
作成目的	災害発生時にドローンを活用するために必要となる情報を提供すること
対象者	災害対策を目的としてドローンの導入と運用を行うとするに自治体と事業者
主な内容	災害対応におけるドローンの主な活用シーンの紹介 災害対応におけるドローン活用の手順と注意点の解説 災害対応におけるドローンの運航調整と飛行制限の解説
公開先	DRESS プロジェクトポータルサイト ( <a href="https://nedo-dress.jp/topics/3032.html">https://nedo-dress.jp/topics/3032.html</a> )

詳細は、公開資料「災害時におけるドローン活用ガイドライン」を参照。

### 3.4 3. 実用化・事業化の見通し

#### 3.4.1 3.1 KDDI 株式会社

スマートドローンプラットフォームの運航管理においては、従来のローカル通信網ではなく携帯通信網を活用することが大きな特長である。本研究開発の検証に用いる携帯通信網を活用して自律飛行するスマートドローンは、広域を運航する多数のドローンの運航状況を遠隔から常に把握できる必要がある一対多運航の実現において多く

の優位性を有する。

まず飛行エリアについて、遠隔からの長距離の自律飛行が可能となるため、一人のオペレータが1拠点で複数のドローン機体を遠隔監視することが可能となる。また、安全性についても飛行可能なエリアが広いため、ローカル通信網と比較してロストリスクが低く、遠隔操作による人件費の圧縮が可能となる。また、ネットワーク構築にあたっては、Wi-Fi 構築は不要のためモジュールの搭載のみであり、コストの低減を図ることが可能となる。

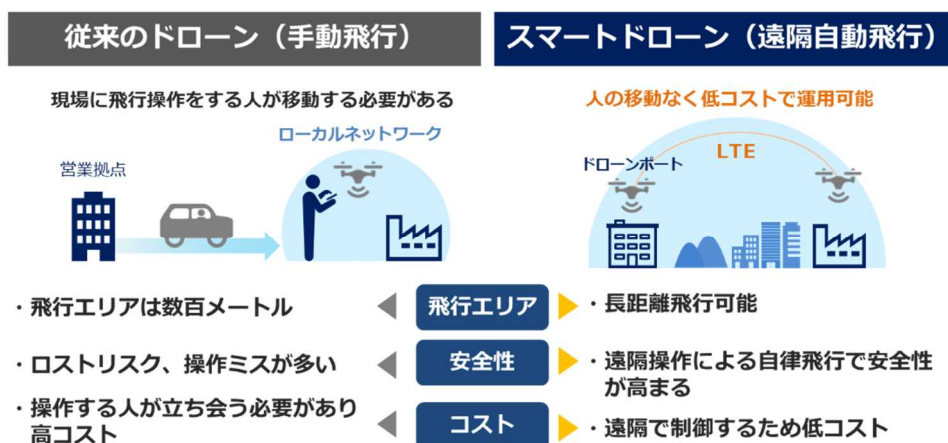


図2.2.1.14-176 ドローン運用における従来のローカル通信網活用と携帯通信網活用との特徴比較

また、携帯電波の上空利用は当初地上などの他システムとの干渉回避の観点から総務省へ通信事業者が実用化試験局免許申請して運用していたが、通信事業者が他システムとの電波干渉を回避する上空電波利用システムを導入することで申請手続きの簡素化を行う法改正が実施されており、より民間普及拡大が見込まれる。

なお、課題としては、多様な用途に応じたプラットフォームの継続的な開発や、規制等の競争環境により市場規模の不拡大や収益悪化のリスクが想定されるが、想定市場分野における徹底したリサーチを実施する。

<b>法改正に係る 携帯事業者への 要請事項</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上空での電波利用を行いたいユーザーに対して、Web等での申請受付窓口を整備すること</li> <li>・ 既存システムへの影響回避のため、上空電波利用端末は上り送信電力制御を行い、隣接基地局への干渉を抑制すること。</li> </ul>
------------------------------------	---

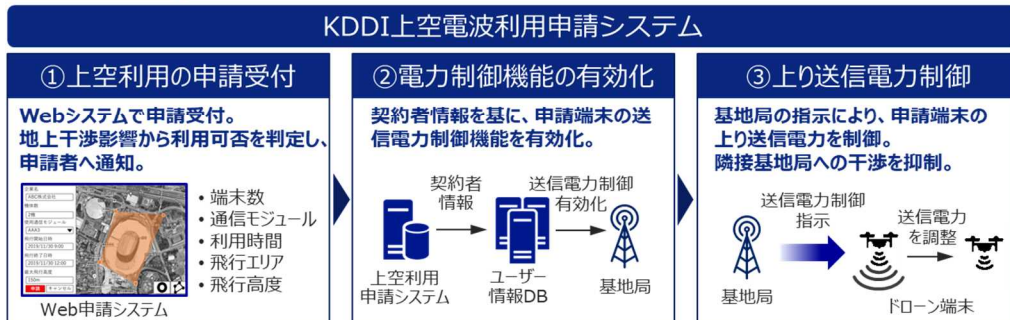


図 2. 2. 1. 14-177 上空電波利用システム概要

今後のビジョン実現に向けたマイルストーン及び、実用化・事業化のスケジュールを下図に示す。

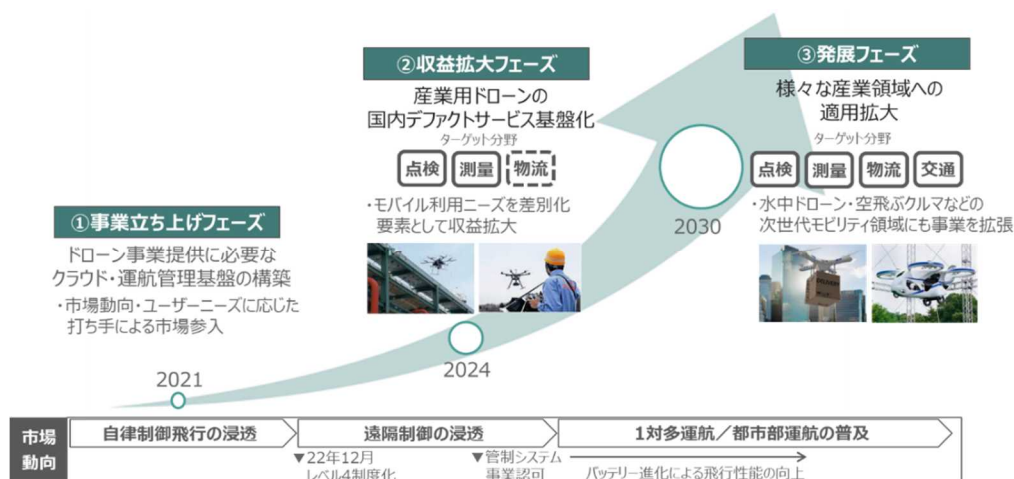


図 2. 2. 1. 14-178 ビジョン実現に向けたマイルストーン

2022年12月5日に予定されている航空法改正に伴い実現が可能となるレベル4運航を中心に今後、より多数のドローンが場所を選ばず自律的に運航する未来に向け、事業の拡大を図っていく。

### 3.4.2 3.2 パーソルプロセス&テクノロジー株式会社

#### (15). 3.2.1 東日本ユースケース

持続可能な無人航空機の運航を実現するための課題の解決方法

表 2. 2. 1. 14-101 運航管理システムの機能・性能に関する課題

課題	4G/LTE 電波が弱いエリアや圏外のエリアが存在するため、山間部等で無人航空機を飛行する際に、スマートドローンに接続することが困難な場所が存在する。
----	---

解決方法	電波の特性として、気象状況や時間帯による周囲からのノイズ、電波干渉など様々な要因で電波が入りにくい状況が起こりうる為、運航管理システムで風速や天候の情報と共に、フライトコース上の電波状況や電波強度が確認できる機能を追加する。
検証結果	昨年度、4G/LTE を使用した飛行が行えた場所と同じエリアでの飛行を今年度も行ったが、今年度はスマートドローンへの接続が困難であった。
検証結果の詳細	鳥獣害警備及び物流において昨年度と同じコースを今年度も飛行したが、スマートドローンとの接続が出来なかった。そのため、今年度の飛行はスマートドローンではなく Mission Planner を使用し、機体映像は VPN を使用した。

課題	遠隔地からの口頭指示のみで、操縦者がドローンをマニュアル操作して被写体を撮影するのは困難。
解決方法	遠隔地の指示者がドローンからの映像をもとに、UASSP 上で直接ドローンを操作する。
検証結果	UASSP に映る映像をもとに、機体の向きや進行方向を操作できるような機能があれば、イベント施設警備において不審者の逃走経路把握に活用できる。
検証結果の詳細	イベント施設警備において、室内にて警備ドローンからの映像をモニタしながら、操縦者に機体の停止や前進/後退などの指示を出して不審者の捜索を行った。UASSP の映像表示画面上で機体の操作が行えると警備しやすい。

課題	不審人物を発見後、警備本部から警備員に直行指示を出す際に、場所的確な位置を伝えるのが困難。
解決方法	直行警備員にも直行場所が視覚的に分かるような指示がだせるとよい。
検証結果	UTM のマップ上をタッチすると位置情報が直行警備員に直接伝わるような、外部システム（スマホ等）との連携ができると良い。
検証結果の詳細	警備において遠隔地の監視者が現場の警備員に急行場所を指示すると同時に、急行場所の位置情報も連携できるとよい。UTM と外部システム（スマホ等）とが連携しすばやく位置情報が把握できるようになると良い。

課題	高所から地上の不審者を撮影する際、飛行している高度によって、何倍のズームが最適なのか分からないので、細かく不審者を撮影できるようにしたい。
解決方法	高い所からの撮影ができる俯瞰モード、不審者の容貌を確認できる注視

	モードなど、システム上で操作できるようにする。
検証結果	UASSP からドローンの高度やズームの設定、カメラの種類などを決め打ちのものに切り替えられ、更に操作も簡易的なものだと良い。
検証結果の詳細	飛行している高度や不審者からの距離を UASSP が自動で検知し、俯瞰モードや注視モードなどワンタッチで操作が可能になると良い。

課題	警備活用の観点で、UTM、UASSP 上で、機体同士の接触などの事故発生ポイントを管理したい。
解決方法	UTM 使用者がフライトコース上に事故発生ポイントなどが書き込めるシステムにしていく。
検証結果	事故発生ポイントや危険ポイントなど UTM 使用者が注記したログを共有できる仕組みが欲しい。
検証結果の詳細	安全な飛行計画を策定するために、運航管理に関するナレッジについてもシステム上で管理できると良い。

課題	各種自動検知機能との連携（不審人物、不審車両等）。
解決方法	UASSP と AI を用いた不審者や不審車両などの自動検知システムとの連携
検証結果	ドローン映像から立ち入り禁止区域に侵入した不審者や不審車両を自動で検知
検証結果の詳細	人の目では気づきにくかったり、確認が漏れたりするため、システムで自動検知する機能と連携できると良い。

課題	運航管理システムのアラートの表示。
解決方法	瞬時に対応し判断できるような分かりやすい警告表示や対処法を促すガイダンスを表示させる。
検証結果	実際に運用中にアラートが発生した場合、どのような対応を行うか運用を整理する必要もあるが、アラート自体も分かりやすい事が重要。
検証結果の詳細	運航管理システムからアラート表示が出た場合、緊急着陸が必要なケースやクリティカルなアラートが発生した際、アラートに対する判断や対応を瞬時に行わなければならない。そのため分かりやすい警告表示や、対処法を促すガイダンスが表示されることが望ましい。

課題	飛行開始前の飛行可否の判断基準。
解決方法	設定済のルートに対し、気候条件や突発的事象に対する飛行可否を、自動で予測して表示する機能を実装する。

検証結果	現状、飛行可否については運航管理者の判断に委ねている。実運用の際には飛行の目安となる「運航可否」を事前に通知する機能は必須である。
検証結果の詳細	実際に運航可否判断を行うのは当日となる。1週間先の気象予報など様々な観点から飛行可否についてシステムから事前に情報提供してほしい。こうした機能は輸送計画を検討する上でも有効であるため。

表 2.2.1.14-102 運航管理システムの運用方法・運用体制に関する課題

課題	飛行計画になく急遽飛行しなければならないケースにおいて速やかな飛行承認が必要になる。
解決方法	通常飛行と緊急飛行とで FIMS 側で区別して、緊急飛行の場合であれば速やかな飛行承認もしくは飛行承認なしでも飛行できるようにしてほしい。
検証結果	警備会社ではあらかじめ承認済みの飛行の他に、もしもの事態が発生した際、緊急でドローンを飛行させるケースもありうるため、速やかな飛行承認もしくは飛行承認なしでも飛行できると良い。
検証結果の詳細	特定団体・法人（消防・警察・自治体・警備会社など）のみに割り当てられる緊急時コードを入力する等で即時フライトができる柔軟な施策が期待される。

課題	通信コストについて年間換算すると膨大になる。
解決方法	価格体系の改善が期待される。
検証結果	社会実装されていく上でも運航管理システムの重要性は理解しているが、クライアントや自治体も限られた予算の中で委託をしているため改善が期待される。
検証結果の詳細	一律の金額ではなくサービスの利用に応じた価格体系があってもよい。
課題	飛行させている無人航空機と他の無人航空機との接近を運航管理システムが検知した際、接近を警告する機能がないと安全な飛行を確保できない。
解決方法	運航管理システムにて他の無人航空機の接近を知らせる警報を発することで、飛行させている無人航空機と他の無人航空機との動態を管理し、リモートパイロットによる回避行動を実施する。
検証結果	運航管理システムによって現在地が把握されている無人航空機同士の場合、双方の距離が 20m 以下になった場合に運航管理システムが CRITICAL の警報を発することを確認できた。
検証結果	リモートパイロットによる判断にかかる時間、無人航空機の飛行速度を



の詳細	<p>考慮すると、機体同士の速度や進行方向などから計算される衝突予測時間を、誤報にならずかつ、余裕を持って判断できる時間になるように最適な値にすることで、リモートパイロットによる対応が確実にできる時間を確保できるアラートの発生仕様の調節が必要。</p> <p>有事に警察や消防などが無人航空機を飛行する際、緊急性の高い飛行となるため、どの機体の飛行を優先するかルール整備が必要。</p> <p>またアラートの種類も「A と B が接近しています」というアラートもあれば、「A と B が衝突しています」というアラートがあった。</p>
-----	---

課題	飛行させている無人航空機の情報、運航管理システムで他者にも見えてしまうため、警備ドローンの監視している位置情報も悪意をもったユーザにも見えてしまう。
解決方法	現状、上記課題についての解決策は無い。
検証結果	運航管理システムにて各地域実証で飛行している無人航空機の情報が表示されてしまっている。
検証結果の詳細	警備や警察、消防、自衛隊など特に機密性の高い無人航空機情報は、運航管理システム上では表示させないなど、システム側の整備が必要。

課題	柔軟な課金体系。
解決方法	重量課金制などの柔軟な課金体系に期待。
検証結果	物流事業は通常の物流業務だけでなく、緊急・災害時の物資配送を担うことも想定される。
検証結果の詳細	人道的支援に課金をされてしまうとコスト増となり事業を維持するのが厳しくなる。年間システム利用料ではなく使用頻度や用途に応じた柔軟な料金体系（従量課金制など）を期待している。

表 2.2.1.14-103 法制度が抱える課題

課題	<p>山間部では特に高圧電線や鉄塔などの高い建造物が存在するため、飛行ルート上にそういった障害物を避けるために場合によっては高度 150m 以上を飛行する必要がある。</p> <p>4G/LTE の電波使用は対地高度 150m 未満と定められているため、高度 150m を超えてしまうルートは飛行できない。またそういった箇所を迂回する際、今度は迂回ルートの電波が圏外である場合がある。</p>
解決方法	飛行ルート上に高圧電線や鉄塔などの高い建造物が存在する場合、障害物の高さや無人航空機との離隔を調べ、対地高度が 150m 以上必要と判断される場合は、その箇所は飛行しない。

検証結果	物流の飛行ルート上に高圧線が存在したため、電力会社へ送電線や鉄塔の高さを問い合わせたところ、対地高度が 150m 以上必要と判断したため、そのルートは飛行させなかった。
検証結果の詳細	国土交通省では山間部を飛行する際、谷間など一時的に高度 150m を超える飛行は許容されているが、総務省の 4G/LTE の電波使用に関しては高度 150m 未満と定められているため、法制度の改正が必要。

課題	現状の標準運送約款にドローン輸送を想定した規定が無い。
解決方法	実運用する場合は特約的な形で荷主にドローンで輸送される旨を約定しなければならない。
検証結果	ドローン輸送に関する標準運送約款等を行政側で整備していただき、それを基に企業側の約款の策定・見直しを実施する必要がある。
検証結果の詳細	ドローン配送ビジネスを正式に承認いただき、国の方針を早期に明示願いたい。

表 2.2.1.14-104 社会受容性の課題

課題	有害鳥獣によってはドローンの音を警戒してしまう。
解決方法	定期的に巡回飛行する事で音に対する耐性を持たせる。
検証結果	有害鳥獣の生態調査でドローンを飛行させた際、ドローンが発する音によって、動物が警戒して逃げてしまうケースが散見された。
検証結果の詳細	聞きなれない音が鳴ると動物は逃げてしまう為、ドローンで有害鳥獣の調査を行う際は定期的に地域一帯を巡回飛行して音に対する耐性を持たせることも重要。

課題	無人航空機が発する騒音に対して近隣住民が苦情を訴える可能性がある。
解決方法	無人航空機が発する音を計測し、どの程度の騒音を発しているかを確認する。
検証結果	対地高度 60m を飛行する機体の騒音を計測したところ、近隣住民へ迷惑がかかる騒音ではないことが確認できた。
検証結果の詳細	計測結果として日中帯は 26db~30db、夜間帯は 47.9db であった。 目安 30db : 深夜の郊外、鉛筆での執筆音、小さなささやき声 50db : 家庭用のエアコンの室外機の直近、静かな事務所の中、小さな声

課題	無人航空機を使用した点検において、樹木や電線などの障害物によって、点検できる範囲が限られてしまう。
解決方法	無人航空機で確認できる部分は無人航空機を使用し、それ以外は人の手を使用するしかない。
検証結果	樹木や電線などの障害物によって無人航空機では撮影が出来ない箇所が存在した。飛行する際に接触し墜落を引き起こす恐れもある。
検証結果の詳細	建設や設計の段階で無人航空機を使用した点検を見越して、周りに樹木や電線等の障害物を排除した環境作りが重要である。

表 2.2.1.14-105 機体性能に関する課題

課題	瞬時に飛行できる機体開発。
解決方法	飛行前の機体準備が簡易的にできる機体の開発。
検証結果	緊急で機体を飛行させるケースもある為、すぐに機体準備が完了して飛行できるような機体が理想。
検証結果の詳細	不審者発見時、追跡用の機体を飛行させる際、不審者発見から即時飛行させなければならない。そのため、機体の持ち運びから、飛行前点検、飛行開始までが短時間で可能な機体が必要。

課題	ドローンからの映像を監視している最中に何らかの危険を検知した際、それを知らせる機能。
解決方法	スピーカーなどを搭載して、上空から音声で警告する機能が望まれる。
検証結果	警備ドローンの映像を確認できるだけでなく、警備員が到着するまでに音声での警告ができる機能があると良い。
検証結果の詳細	ドローン警備中に運航管理室から何らかの危険が迫っている場合、警備員が現場へ急行するまで時間がかかる。もしもの時に備えてドローン側から出来る機能があると良い。

課題	天候に関係なくドローンを飛行させるための仕組み。(ドローンポート)
解決方法	機体の防水性能の向上。
検証結果	小雨等で濡れる可能性もあるため、多少水に濡れても飛行できる機体が望ましい。
検証結果の詳細	ドローンが飛行中に雨などで機体が濡れる可能性がある。その都度、飛行中断せずに多少水に濡れても飛行できる機体性能であると良い。

課題	最大積載量と飛行距離。
解決方法	機体の積載性能とバッテリー性能の向上。

検証結果	約 5kg の重量を積載し、2.2km の距離を飛行。物流事業としてドローンを導入するには、更なる積載量と飛行距離が必要。
検証結果の詳細	ペイロード：複数の荷物を積載できる機体 距離：約 30km (DID 地区の飛行も含む) ※途中でバッテリー交換の中継は可

課題	荷物を積載するコンテナの開発。
解決方法	温度管理ができるコンテナの開発。
検証結果	10 月初旬に検証を行った際、外気温が高く、直射日光の当たる状態であったためコンテナ内部も 40℃以上となった。
検証結果の詳細	荷物の品質管理を保つ上で緩衝材を配する必要があるが、コンテナ内が高温になるため温度管理ができるコンテナの開発も急務である。荷物によってはクール便対応もあるため。

#### 実証実験の実施結果とその評価

運航管理システムにおける各領域のビジネスモデル観点では共通して以下の事が言える。

今後も警備・物流・点検などの主要領域においてドローンのニーズは高まると予想される。しかし想定される複数機体運航など社会実装に至るまでには様々な課題をクリアしなければならない。今回検証した物流、警備、鳥獣害調査、点検のどの領域においても人手不足解消や現業務の作業効率化のために、ドローン導入を検討しているが、イニシャル・ランニングともかなりのコスト負担を事業者は担うことになる。そのため実際にはビジネスで利益を得られるまでの期間を耐えられる経営的体力のある事業者でなければ参入できないのが現状であろう。しかし、労働人口が確実に減少する国内において安全な運航管理システムのもとでドローンが持つ機動力や高精細な画像伝送など人間には対応できない領域へのタスクを担えるような仕組みや制度設計、ひいては都市デザインの改良が急務であるといえる。

#### 【クリアすべき課題】

- ・ UASSP/FIMS 接続費用のコスト低減（年間コストが高額である）
- ・ 警備に特化した UTM プランの検討
- ・ UASSP の映像伝送の安定性
- ・ 中山間部エリアにおける LTE など電波の改善
- ・ 機体の性能向上（長時間バッテリー、障害物センサーの向上、ペイロードの強化、防水仕様（多少の雨天でも飛行可能に））
- ・ ドローンが飛行しやすい都市計画（電線の地中化、ドローン点検しやすい橋梁設計）
- ・ 緊急性の高い飛行（警備など）スクランブル飛行の許可・承認の簡略化

#### 運航管理システムの社会実装に向けた提言、波及効果

本項目では、本実証にてコンソーシアムから挙げた運航管理システムに関する技術的な提言事項について記載を行う。

物流において、宅配事業の実用化のためには、コスト低減に向けて複数機体の一元管理の実現や、最大離陸重量や最大飛行時間の性能のある大型の機体の開発が望まれる。

同時に荷物の品質管理を保つ上で緩衝材を配する必要があるが、コンテナ内が高温になるため温度管理ができるコンテナの開発も急務である。荷物によってはクール便対応もあるため保温性能を備えたコンテナも必要である。

また、山間部では特に高圧電線や鉄塔などの建造物が存在するため、そういった障害物を避けるために場合によっては高度 150m 以上を飛行する必要がある。

国土交通省では山間部を飛行する際、谷間などの高低差のある場所において一時的に高度 150m を超える飛行は許容されているが、総務省の 4G/LTE の電波使用に関しては高度 150m 未満と定められているため、電波使用に関する法制度も同時に整備してもらう必要がある。

更に現状の標準運送約款にドローン輸送を想定した規定が無く、実運用する場合は特約的な形で荷主にドローンで輸送される旨を約定しなければならないため、ドローン輸送に関する標準運送約款等を行政側で整備していただき、それを基に企業側の約款の策定・見直しを実施する必要があるため、ドローン配送ビジネスを正式に承認いただき、国の方針を早期に明示願いたい。

通常物流業務だけでなく、緊急・災害時の物資配送を担うことも想定される。

こうした人道的支援に課金されてしまうとコスト増となり事業を維持するのが厳しくなるため、運航管理システムや FIMS 接続について、年間システム利用料ではなく使用頻度や用途に応じた柔軟な料金体系（従量課金制など）が必要である。

警備において、飛行開始までの準備や操作に時間がかかると緊急性の高い用務へ活用することが困難であるため、容易に扱うことのできる機体や飛行システムの構築や操縦者の育成が必要である。

リモートパイロットによる判断にかかる時間、無人航空機の飛行速度を考慮すると、機体同士の速度や進行方向などから計算される衝突予測時間を、誤報にならずかつ、余裕を持って判断できる時間になるように最適な値にすることで、リモートパイロットによる対応が確実に行える時間を確保できるアラートの発生仕様の調節が必要である。

橋梁点検は、橋梁の周囲に木が茂っていたり、電線があったり、風の問題もあり、ドローンが橋梁に近づくとを阻害する障害物の回避、見えにくい部分をいかに多角撮影で補うかなどの技術課題に加えて、今後の無人航空機を使用した維持管理に向け、点検しやすい構造への環境作り（橋梁の周囲に樹木や電線を設置しない等）が必要である。

運航管理システムにおいて、UTM 上で発生する近接アラートについて、警察や消防などが緊急で無人航空機を飛行する際、どの機体の飛行を優先するかルール整備が必要である。

運航管理システムからアラート表示が出た場合、緊急着陸が必要なケースやクリティカルなアラートの際に瞬時に対応し判断できるような分かりやすい警告表示や、対処法を促すガイダンスが必要である。

物流の観点から、荷物を配送する際にフライヤーNo や荷物 No が運航管理システム上に表示されると尚良い。荷物照会が運航管理上で分かればよりビジネスがスムーズになる。

設定済のルートに対し、気候条件や突発的事象に対する飛行可否の判断を今後の予測も踏まえて自動表示する機能の実装が期待される。実運用の際には飛行の目安となる「運航可否」を事前に通知する機能は必須である。また1週間先の気象予報など様々な観点から飛行可否についてシステムから事前に情報提供される機能が必要である。こうした機能は輸送計画を検討する上でも大変有効である。

(16). 3.2.2 事務局運営

運航管理システムを用いた持続可能なドローン事業を全国に普及させるために、政府や運航管理システム開発関連事業者等へ対応が求められる検討・対応事項について、実証実験を通して各コンソーシアムから挙げられた。

表 2.2.1.14-106 運航管理システムの技術検証の観点

主体	分類	検討・対応事項 ※順不同
政府に対応を期待するもの	UTM の開発関連	UTM アーキテクチャの検討
		・ UTM の全国一斉運用の導入
		・ 中央集権型、分散型を判断する上でのユースケース毎に UTM 要件の明確化
		・ FIMS 機能の DIPS、FISS 等との統合
		・ アーキテクチャ設計に向けた体制の明確化
		・ 公共セクターと民間セクターの役割分担
		運航管理システムの段階的且つ適時タイミングでの導入検討
		ドローン専用電波回線の導入検討
		UASSP/FIMS が基礎自治体と連携して且つ提供すべき情報の整理・検討
		UASO 側にて運航管理システム利用時に満たすべき責任/機能を明示したコンセプトの提供
有人機との連携	有人機との連携	UASO システムと運航管理システム接続方法の統一的規格の導入検討
		飛行制限空域（空港周辺空域及び DID）での飛行承認プロセスの確立
		有人機（実機）と運航管理システムを用いた実証実施検討
		有人機と無人航空機との運航を円滑に行うための ATC と UTM の統合に向けた検討
		有人機情報のうちドローン事業者に必要な飛行経路、到達時間、高度情報（特に高度情報）の連携対応
		全ての有人機情報の取得方法の確立
空港管理会社による空域の調整機能のシステム化		



<p>UTM 提供者に対応を期待するもの</p>	<p>UTM の機能面</p>	<p>運航管理システムの新規追加機能</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現状で有人機の NOTAM に提供されている物件情報や、雲底等の視界に関わる情報等の不足部分の UASO 側への提供として、物流領域の気象情報や障害物情報、第三者の情報</li> <li>・LTE 電波状況、GPS 受信状況等</li> <li>・地上建造物（塔など）、海上構造物（海上の風力発電設備）等の正確な高度情報</li> <li>・飛行ログ（軌跡）の表示</li> <li>・各種航空事業を行う組織等と連携した緊急運航機情報</li> <li>・リモート ID との連携による位置情報</li> <li>・気候条件や突発的事象に対する飛行可否の判断を今後の予測も踏まえて自動表示する機能</li> <li>・CSV 等、飛行ルート（ウェイポイント）のインポート機能</li> <li>・ユースケースの緊急度がわかる情報（例えば E1（人命救助）/E2（災害対応）などの情報）を登録できる機能</li> <li>・ヘリコプターの動態監視装置に目的地を明示する機能</li> <li>・ヘリコプターの事前飛行計画の周知</li> <li>・システム毎（FOS、UTM、気象システム等）の個別表示ではなく、運航管理システムの画面等で一括管理できる機能</li> <li>・GCS へ FIMS 機能を導入可能とする仕様</li> <li>・ドローン側での有人機の近接アラート発出時にシステム上で強制的にドローンが回避行動を行う仕様（有人機運航者目線）</li> </ul> <p>運航管理システムの各種機能に対する改善/拡充</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・プライバシー観点から飛行を制限・禁止すべき空域の情報把握・共有</li> <li>・緊急着陸が必要なケースや CRITICAL アラートの際に瞬時に対応し判断できるような分かりやすい警告表示</li> <li>・アラート通知方法（音声、振動による通知、GCS を介した自動通知）</li> <li>・UI 上の飛行エリア表示範囲の変更</li> <li>・システムへの接続方法の簡素化</li> <li>・FOS による複数ドローンを一括制御する際の画面 UI 上での操作性向上</li> <li>・飛行ルート変更機能の柔軟性向上</li> <li>・位置情報の測位精度向上</li> <li>・LTE 接続環境の改善・見える化</li> </ul>
--------------------------	-----------------	---

		・サーバダウン等しない可用性高い運航管理システム構築
	UTM の運用面	運航管理システムから提示される運航情報の信頼性向上 ・運航管理システムに接続する機体の仕様制限 (RTK 非搭載の機体等)
		運航時の風速制限の合理的な根拠づけの検討
		飛行時の電波途絶時への対策
その他		FIMS 接続に必要なモジュールの標準化 ・機体に合わせた防水仕様 ・通信モジュール埋め込んだ機体開発
		実証時多数要望があったもの ・各運航管理システムの高度表示の統一 (LTE モジュールの電源を ON にした時点を 0m とする相対高度表示や海拔表示など) ・手動回避を想定した適切な衝突予測時間 (TTC) の段階的な設定及びアラート通知方法の統一機体位置情報表示のタイムラグ改善

表 2.2.1.14-107 無人航空機の持続可能な運航方法の検証の観点

主体	分類	検討・対応事項 ※順不同
政府に対応を期待するもの	運用面	事業者の参入を円滑化するための自治体の受け入れ体制構築
		行政側での配送ビジネス利活用への方針策定
UTM 提供者、UASO に対応を期待するもの	UTM の運用面	複数機体を 1 人で操縦するための運航体制の構築
		運航管理システム利用料に関する柔軟な料金体系の確立
		UASO に向けた UTM の導入広報活動の推進
	その他	災害時におけるドローン活用に関する基本事項に対する各種事項 ・防災基本計画に沿ったドローン活用ユースケースの明確化 ・自治体で災害対応の基本となる地域防災計画等の整備 ・自治体での災害時におけるドローンの運用体制の検討 ・災害時における民間事業者等のドローン活用方法の検討 ・基本事項に沿った対応への民間企業や関係機関含めた教育・訓練

表 2.2.1.14-108 法規制の観点

主体	分類	検討・対応事項 ※順不同
政府に対	UTM にか	無人航空機の運航申請にかかる許可・承認のワンストップ化

応を期待するもの	かる法規制面	緊急着陸地点として、ビル屋上のヘリポートや公共施設の屋上等を設定可能となるよう法的、または制度的な利用緩和措置
		立ち入り禁止の措置等にかかる離着陸地点のリスクに応じた確認手順や方法などの基準の明確化
		LTE の通信環境構築支援及び事前電波調査シミュレーションにかかる補助制度の策定検討
		動態情報の管理や衝突回避に関する責任の所在明確化とルール整備
		運航前の準備にかかる運航調整時に必要な運航許可並びに周知等についての法的規定の整備
		UTM 利用時における飛行計画時から運航前～後までのルール整備
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運航時における無人航空機同士の飛行優先度の検討</li> <li>・ 運航時の運航者間の交渉について、決められた時間内で確定するなど、UTM 側でシステムの制限をかけるためのルール設定</li> <li>・ 特定事業者による空域の占有を防ぐためのルール（罰則規定や優先度）や交渉ルール設定</li> <li>・ 動態情報の標準化（基準高度、情報項目・フォーマット、通信間隔等）</li> <li>・ 目視内飛行やマニュアル操作者など、動態情報を発信する術を持たないオペレータに対する、運航管理システムの情報確認の義務化</li> <li>・ 警備業務用ドローンの位置情報等、秘匿性の観点から運航管理システム上で開示すべきでない情報の取り扱い方法検討</li> </ul>
		有人機管制側での無人航空機側の運航管理システムの確認必須化
		有人機と無人航空機の相互に動態情報及び飛行計画連携を行うための法制度の整備
	上空電波利用（150m 以上の高度）のさらなる規制緩和及び申請の簡略化	
その他	航空管制官、空港運営会社との調整方法のうち、空港を利用したドローン運航における貨物接続対応時の離着陸地点場所（空港内外）	
	他の自治体や防災関係機関、ドローンに関する関連組織等との災害協定（支援内容、費用負担等）の締結	

		運航時の周辺環境における運航上の許容範囲等、機体の健全性を担保するための指標の検討
		医薬品配送ガイドラインの改善の方向性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対象医薬品を劇薬まで拡大</li> <li>・ 医療費控除対象への配送費の追加</li> </ul>
		ドローンによる物品輸送の実運用に関する標準運送約款等への反映

無人航空機の目視外飛行（レベル4）における運航管理システムの社会実装を実現するにあたっては、ビジネス的に成り立つことが重要である。そのためには、今後さらなる運航管理システムの機能・性能の向上、無人航空機の持続可能な運航方法の確立並びに法規制の制定・緩和が必須となることから、これら3つの観点に焦点を当てて検討・対応事項を整理した。

まず運航管理システムの機能・性能については、安全性を担保しつつ、ビジネスとして成立させるためのコスト削減を実現できる環境整備や、効率的且つ効果的にアラートを受け取れる仕組みの構築、LTEの通信環境を安価に提供、把握できる仕組みの検討が必要とされている。現状、従来のドローン運航によって生じるオペレーション等にかかる人件費は、コスト構造上、オペレーションコスト全体に占める割合の半分以上にあたるのが本事業から判明している。運航管理システムの導入によって、各種申請・登録の簡略化や飛行中の補助者削減等の省人化が実現されることにより、人件費を中心とした費用削減効果が見込まれる。アラートについては、近接機体の状況等のアラート通知に関する仕様（基準高度、閾値）が、接続するシステムによらず規格統一されることが望まれている。緊急着陸が必要なケースやクリティカルアラートの際には、ユーザ側で瞬時に対応し判断できるような分かりやすい警告表示が求められる。また、ドローン運航上で必要なLTEの通信環境については、局所的な地域環境の違いや飛行中における地理的状況の変化に伴う電波の途絶等が生じたことにより、飛行ルートの変更を余儀なくされるケースが発生した。これについては、電波調査シミュレーションにかかる補助制度等により、安価に把握できる仕組みの検討が望まれる。

次に、無人航空機の持続可能な運航方法の確立については、スムーズな運航体制構築に向けた自治体のサポートや操縦者1人に対する複数機運航の実現が必要である。事業者の参入を円滑化するため、自治体によってバラつきのある受け入れ体制の構築が必要である。自治体と地域住民と併せた社会受容性を醸成していく観点からも、今後も密な連携が求められる。現状では、一つの機体をオペレータと複数の補助者で運用している。運航管理システムの実現によって、複数機体を1人のオペレータで運航可能とするための体制が構築されることで、目視外での自動・自律運航や高頻度・高密度運航が可能になり、ビジネスの拡大にも繋がる可能性がある。

尚、災害時には、運航管理の主体や方法が平常時と異なるため、災害対応にかかる運用体制、災害時の利用プロセス、民間企業等との役割分担等の基本事項について、災害対応の基本計画の整備等への対応が求められる。

法規制の制定・緩和については、安全且つ公平なドローン運航環境の整備が求められる。多数のドローンが安心安全に運航するためには、動態情報の管理や、衝突回避等のリスク低減、また責任所在の明確化やルール整備等への対応が求められる。無人航空機と有人機においては、相互に円滑な運航ができるような動態情報の連携方法の確立が求められている。そのほかプライバシーの観点から、飛行を制限・禁止すべき空域の情報把握、位置情報等の取得方法から、違反等に対する罰則などの法規制も必要となる。警備など秘匿性を保持した状態での運用が求められるユースケースの場合では、運航管理システム上で開示すべきでない情報の取り扱いに関する検討の必要性が挙げられた。運航時における特定事業者による空域の占有を防ぐための罰則規定や優先度、ならびに交渉のルール策定も今後整備されることが期待される。