ReAMoプロジェクト　シンポジウム

実施者名：KDDIコンソーシアム

研究開発項目①(４)

ドローンの1対多運航を実現する機体・システムの要素技術開発

複数ドローンの同時運航実現に向けた運用要件の策定および

運航管理システムの開発

実施体制：KDDI株式会社、日本航空株式会社

2025年5月16日

1.事業概要説明

1. 事業概要説明
1-(1). 研究開発の背景と目的

前提と研究対象

1対多運航

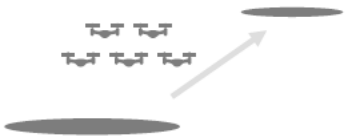
目視外飛行 ＋ 自動操縦

プロポ操縦（目視内）

※操縦者が１人で複数のドローンを安全に運航する方式

1対多運航のイメージ

1対多運航の形態

	群制御飛行	編隊飛行	複数ルート飛行
イメージ図			
説明	1か所での多数機同時飛行	1つのルート上での多数機同時飛行	複数のルートの多数機同時飛行
利用シーン	エンターテイメント・農業　ほか	物流　ほか	物流・警備　ほか
事業者例	Intel （オリンピック開会式）	NICT実証実験 （手動操縦機への他機体自動追従）	日本航空、KDDI、Zipline等 （m:Nオペレーション）

引用：PwCコンサルティング合同会社，「米国における事業者の多数機同時運航事例の共有」および「米国視察から鑑みる多数機同時運航のあるべき姿と今後のグランドデザイン」p9より（表題変更）,2025

1. 事業概要説明
1-(1). 研究開発の背景と目的

背景と目的

ドローン運用の更なる省力化・効率化を進めるためには、1人の操縦者が複数の機体を運用する1対多運航の実現が不可欠であり、ドローンの本格的な社会実装、ビジネス化を実現するためのキーファクタとなる。

課題	本助成事業の目的
1 対多運航を実現するための**技術・運用　方法**が明確化されていない。	● **技術開発（飛行制御、安全管理）** ● **運用方法の整備（ガイドライン化）**
1 対多運航に係る**リスクおよびリスク低減のための要件**が定められていない	● **リスクそのものを明確化** ● **リスク低減要件（技術要件、運用要件）の明確化**
様々なユースケース・エリア・運用条件において1対多運航を実現していく必要がある。	● **複数のユースケース**への対応 ● **「複数操縦者対複数機ドローン」**の対応 ● **1エリア～複数エリア**への対応
1 対多運航で**許可承認を取得した事例**が現状限られている。	実証試験を通じ、様々な1対多運航の**飛行事例（＝許可・承認事例）を積み重ねる**

1. 事業概要説明
1-(2). 研究開発の実施項目

事業内容

①1対多運航のシステム要件及びオペレーション要件の検討

諸外国制度を参考にConOps*1 策定を実施。また1対多運航を前提としたシステム/オペレーション要件並びに適合性証明手法を策定。

②1対多運航に対応した運航管理システム開発

KDDIが開発するスマートドローンプラットフォームをベースに、1対多運航に必要な運航管理システムを構築。

③飛行実証に向けた許可承認の取得

ドローンメーカーと連携し、カテゴリーⅡ*2 想定の機体認証/操縦者技能証明を取得。

④複数空域における複数機同時飛行を想定した飛行実証

物流/警備ユースケースにて複数機同時飛行実証を実施。

⑤1対多運航の事業性検証

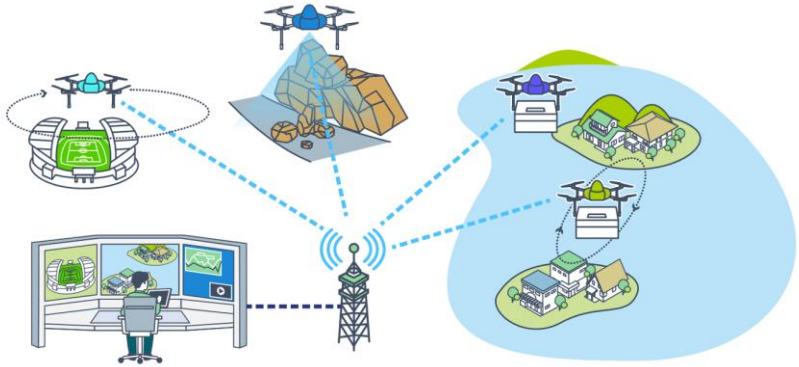
適合性証明手法導入・維持含めた1対多運航の事業性検証を実施

⑥成果取りまとめ

研究開発項目①（3）ドローンの1対多運航を実現する適合性証明手法の開発と連携した成果取り纏め

実施体制

KDDI株式会社、日本航空株式会社



達成目標

最終目標（2024年度）

・カテゴリーⅡ飛行での複数操縦者対複数機運航、
　複数空域の運航を実証。

*1 Concept Of Operationの略。運用概念を示すもの。
*2 飛行リスク別に区別したカテゴリーのうち、「特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じたうえで行う飛行」に該当するカテゴリー

1. 事業概要説明
1-(3). 研究開発の実施計画

実施計画

	2022年度	2023年度	2024年度
(1)1対多運航のシステム要件及びオペレーション要件の検討	要件検討	要件検討＆見直し	要件検討＆見直し
(2)1対多運航に対応した運航管理システム開発	システム開発	システム開発	システム開発
(3)飛行実証に向けた許可承認の取得	飛行実証の許可承認取得　関係者調整		
(4)複数空域における複数機同時飛行を想定した飛行実証	実証準備　実証	実証準備　実証	実証準備　実証
(5) 1 対多運航の事業性検証	事業性検証		
(6)成果とりまとめ		ReAMoへの報告・発表	

要件を反映

実証成果も反映

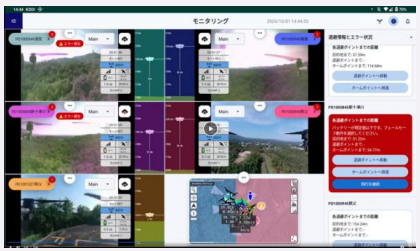
２.本事業を通じて得られた成果

2. 本事業を通じて得られた成果

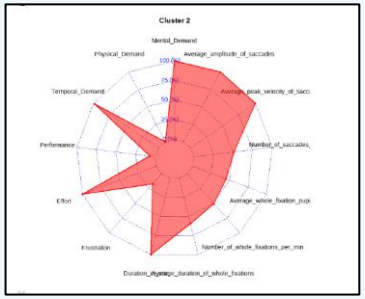
研究成果概要

操縦者の視線分析に基づく
定量的な検討

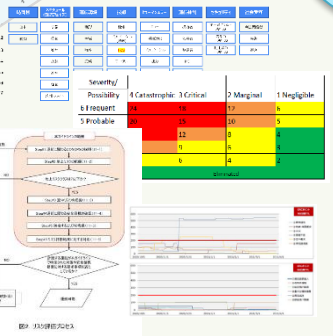
操縦環境・配置方法の検討



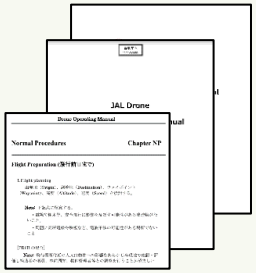
1対N運航に対応したFOSの開発
有効な アラート機能などの検討、開発



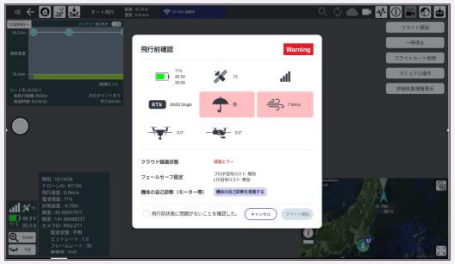
NASA-TLXを用いた
操縦者負荷の分析
（※トビーテクノロジー社作成）



リスクアセスメント手法の開発



オペレーションマニュアルの作成



モーター自己診断機能など
省人化に向けた機能検討、開発

操縦者

機体
システム

安全な
１対多運航

手順・方法

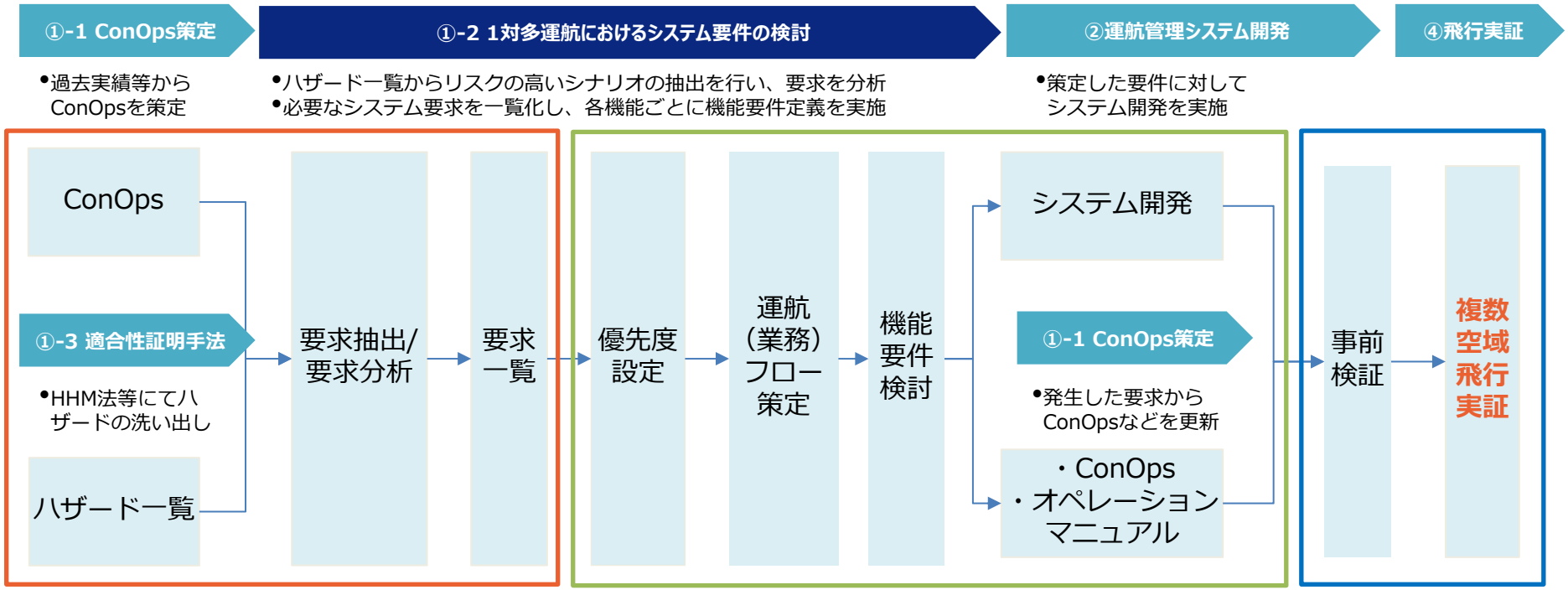
2. 本事業を通じて得られた成果

事業内容	取組内容	本研究開発で得られた成果
①1対多運航のシステム要件及びオペレーション要件の検討 【担当：KDDI/JAL】	複数空域における１対多運航に関する運航シナリオ及び拡充すべきシステム・オペレーション要件を策定する。	リスク評価を行ったうえで、複数空域運航のシステム・オペレーション要件を策定。
②1対多運航に対応した運航管理システム開発 【担当：KDDI】	複数空域における１対多運航に対応可能な運航管理システム開発・機能拡充を実施する。	システム要件検討結果に基づき、機能開発・改修を完了。
③飛行実証に向けた許可承認の取得 └ 実施内容：1対多運航実証に向けた航空局承認の取得 【担当：KDDI/JAL】	複数空域における１対多運航に必要な許可承認を航空局から取得する。	<u>物流実証</u> ・飛行許可承認を取得 カテゴリⅡ（レベル3.5） <u>警備実証</u> ・飛行許可承認を取得 カテゴリⅡ（レベル3）
④複数空域における複数機同時飛行を想定した飛行実証 └ 実施内容：1対多運航実証の実施 【担当：KDDI/JAL】	実証計画書の策定 実証計画を基に、複数空域における１対多運航を実証	<u>物流実証</u> └1回/年 実施（合計3回） <u>警備実証</u> └1回/年 実施（合計3回以上）
⑤1対多運航の事業性検証 【担当：KDDI/JAL】	実証結果に基づき、ビジネスモデル/業務フローの見直し・精緻化や課題洗い出しを行う。	実証を実施完了後、結果を事業性検証を反映済み
⑥成果取りまとめ 【担当：KDDI/JAL】	事業内容①～⑤に関する研究結果について取り纏めを行う。	成果を報告書として取りまとめ完了

2. 本事業を通じて得られた成果
2-①. 1対多運航のシステム要件及びオペレーション要件の検討

成果　安全な１対多運航を実現するための、システム要件及びオペレーション要件を策定した。

1対多運航実現に向けた検討フロー

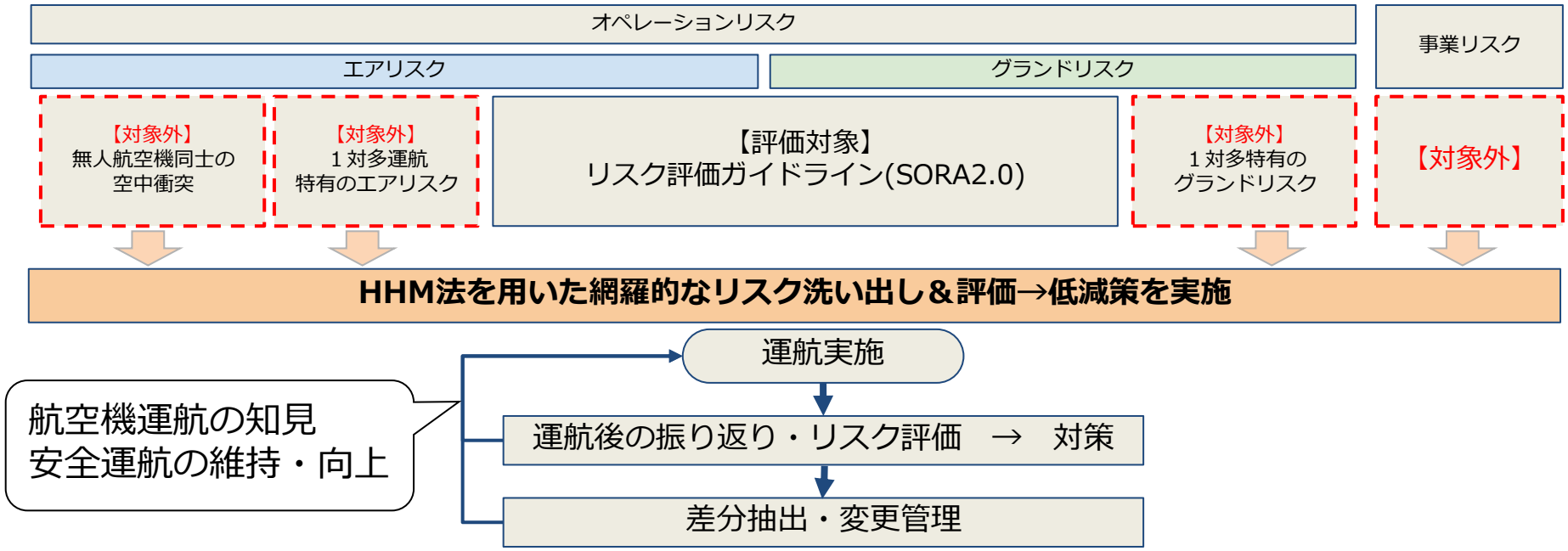


複数空域における１対多運航にあたってのリスク評価及び要求洗い出しを実施。(P10~11)

開発優先度を設定し開発を実施。開発したシステムに合わせてオペレーションマニュアルも適切に更新する。(P12~13)

有効性の確認 (P15~18)

システム・オペレーション要件検討に用いたリスク評価手法の概要



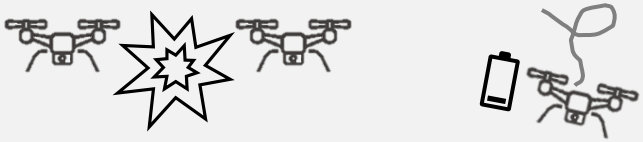
■ 従来の手法*1ではカバーしづらい部分に対して、新たな手法*2を開発

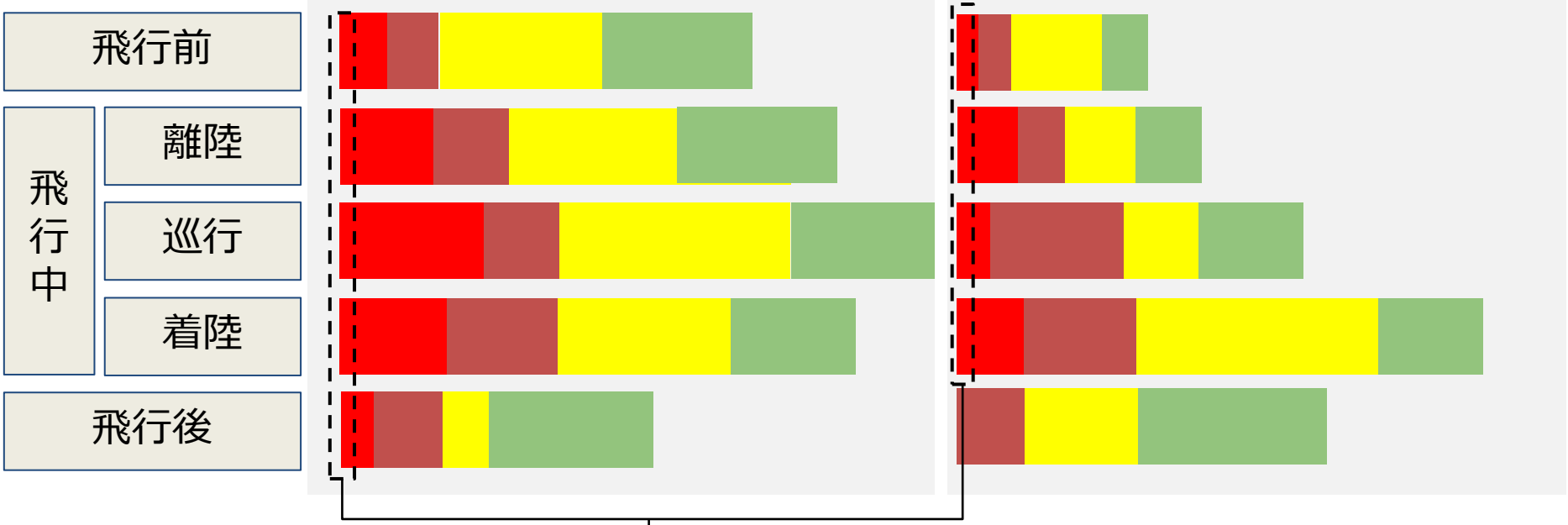
*1 「安全確保措置検討のための無人航空機の運航リスク評価ガイドライン」
ドローン運航の際に使用が推奨されるガイドライン。安全な飛行の促進に有効であるが、ガイドライン中にも記載の通り、一部対象外（図中 赤点線枠）の項目があり、１対多運航のためにはこれを補完する必要がある。

*2 HHM法（階層ホログラフィックモデリング法 | **H**ierarchical **H**olographic **M**odeling）
リスク特定をする手法の一つ。複数の要素からなるシナリオを網羅的に列挙しやすいという特徴がある。他の分野での活用事例はあるが、ドローンの１対多運航に適用した事例は初となる。

2. 本事業を通じて得られた成果
2-①. 1対多運航のシステム要件及びオペレーション要件の検討

作業負荷増加に比例して増えるリスク	複数機同時飛行固有のリスク
・バッテリー残量の低下に気付かない ・経路の逸脱に気付かない	・同一空域を飛ぶドローン同士の衝突 ・イレギュラーの同時発生





High
Serious
Middle
Low

米軍規格（MIL-STD-882E(2012)）で定義されるリスクマトリクスを使用。4段階に分類しランキング付けを実施。

特にリスクレベルが高いものは、2025年3月に航空局が策定した**「無人航空機の多数機同時運航を安全に行うためのガイドライン（第一版）」**に一部反映。
JAL、無人航空機の多数機同時運航ガイドライン策定に参画 |プレスリリース

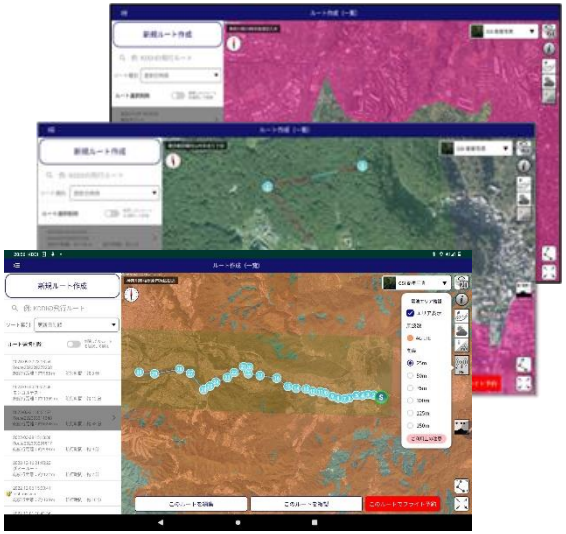
2. 本事業を通じて得られた成果
2-②. 1対多運航に対応した飛行制御システム開発

成果 **システム要件検討結果に基づき、ルート健全性確認機能、多数機対応画面改修、機体の健全性確認機能等を備えた運航管理システムを開発した。**

開発機能と画面イメージの一例

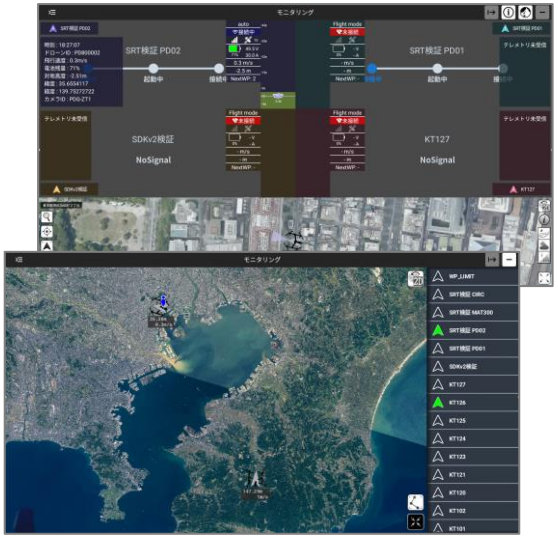
ルート健全性確認機能

■ルート設定時にルートの健全性確認を多角的に評価する機能を開発し、1対多運航に向けた安全性向上を図る



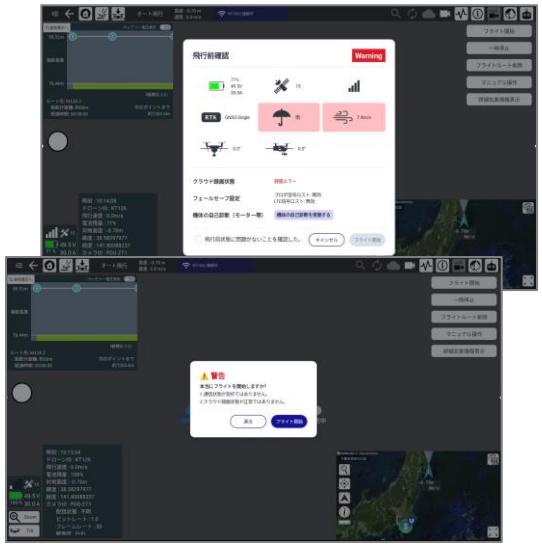
多数機対応画面改修

■1対多運航に向け4機以上の同時監視画面を開発し、多数機対応での安全性向上を図る



機体の健全性確認機能

■機体の健全性および周辺環境の確認機能を開発し、遠隔運航におけるリスクの低減を図る



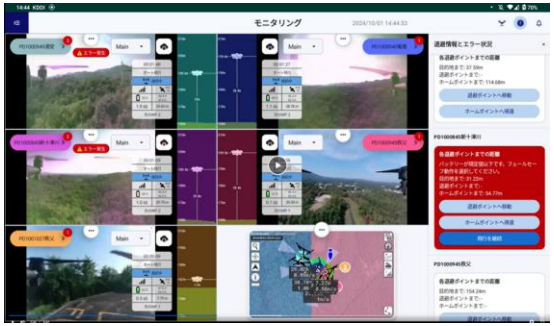
2. 本事業を通じて得られた成果
2-②. 1対多運航に対応した飛行制御システム開発

成果 **システム要件検討の結果に基づき、イレギュラー発生時の自動サポート機能、音声通知機能を開発。最大6機まで対応する多数機対応画面改修を実施。**

開発機能と画面イメージの一例

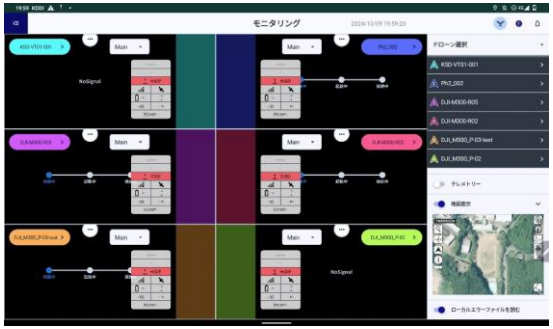
イレギュラー自動サポート機能

■イレギュラー発生時に自動でシステムより退避行動の提案を行う機能を開発し、RPICの負荷軽減および1対多運航に向けた安全性向上を図る



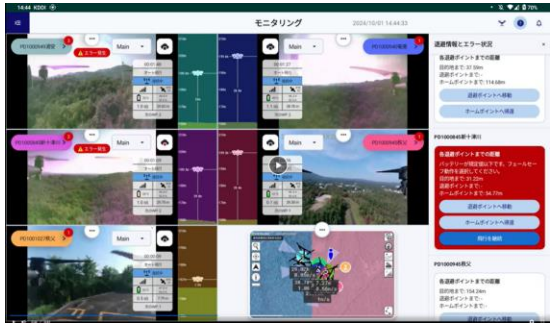
多数機対応画面改修

■1対多運航に向け6機以上の同時監視画面を開発し、多数機対応での安全性向上を図る



音声通知機能

■機体エラー発生時などの音声通知および読み上げ機能を開発し、緊急時対応の迅速化を行い、1対多運航に向けた安全性向上を図る

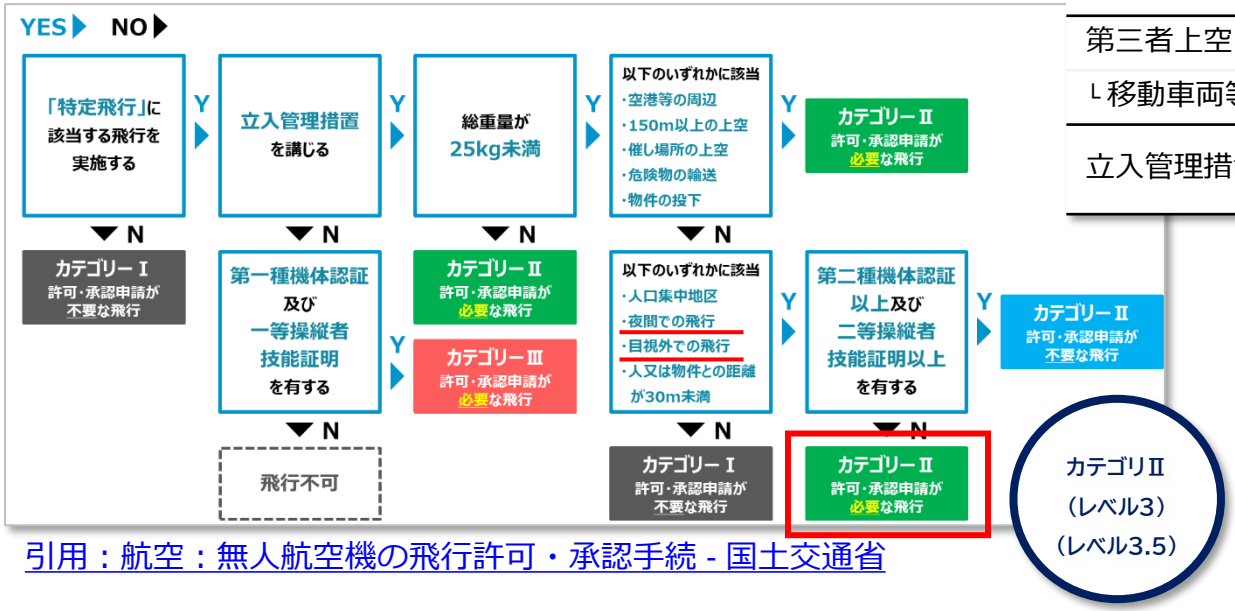


・機体XXX Battely Low
・機体XXX 他機体が接近

2. 本事業を通じて得られた成果
2-③. 飛行実証に向けた許可承認の取得

物流
警備
ReAMo

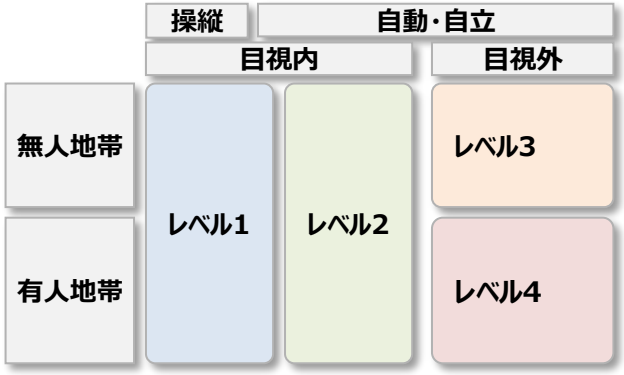
成果 カテゴリⅡでの飛行申請を複数件取得（目視外・30m未満、目視外・夜間 等）



引用：航空：無人航空機の飛行許可・承認手続 - 国土交通省

飛行レベル	カテゴリⅡ（レベル3）	レベル3.5
制度開始	2019年10月	2023年12月
第三者上空	飛行不可	飛行不可
└移動車両等上空	飛行不可	一時的に可
立入管理措置	看板での周知、補助者配置等	機体カメラでの立入管理措置

カテゴリⅡ（レベル3）（レベル3.5）



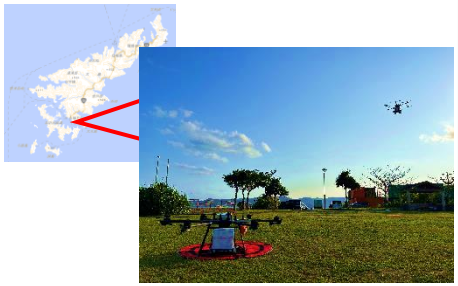
実証内容	実施主体	実証内容	飛行承認状況
物流ユースケース	日本航空	•物流のユースケースにおける1対多運航の実証を目的に、複数のドローン機体を同時運航することで日用品輸送、災害時救援物資輸送等の効率化等を検証	飛行申請（カテゴリⅡ）取得済み
警備ユースケース	KDDI	•警備のユースケースにおける1対多運航の実証を目的に、複数のドローン機体を同時運航することで広夜間監視等の警備の効率化	飛行申請（カテゴリⅡ）取得済み

2. 本事業を通じて得られた成果
2-④. 複数空域における複数機同時飛行を想定した飛行実証

物流

成果

物流実証：3か年にわたり機体数、空域数をレベルアップさせながら飛行を実施
最終年度は日本全国複数空域での１対５機の同時運航を成功

	2022年度	2023年度	2024年度
実施内容	奄美瀬戸内町×2機同時運航 	埼玉県秩父市×3機同時運航 	全国4か所×5機同時運航
機体数	2機	３機	５機
機体	大型物流向けマルチコプター　（プロドローン社製　PD6B-Type3）		
空域	1空域	1空域	４空域
実施エリア	大島郡瀬戸内町（奄美大島）	埼玉県秩父市吉田地区	新十津川･浦安･秩父･奄美
オペレーション手法	現地にスキルを有するフライヤーをバックアップとして配置	離着陸地点には作業者を配置、東京から遠隔操縦者が運航	離着陸地点には作業者を配置、東京から遠隔操縦者が運航
飛行申請	カテゴリーⅡ（目視外）	カテゴリーⅡ （レベル3.5飛行）	カテゴリーⅡ （レベル3.5飛行＋レベル2飛行）

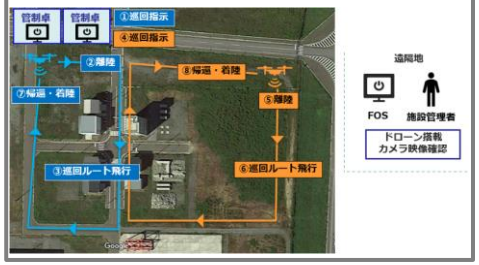
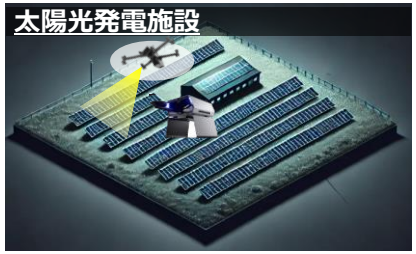
※KDDIとJAL、遠隔操縦者1名でドローン3機を同時運航することに成功, 2024/06/28

※遠隔操縦者1人が全国4地点のドローン5機体同時運航に成功, 2024/11/15

2. 本事業を通じて得られた成果
2-④. 複数空域における複数機同時飛行を想定した飛行実証

警備

成果　警備実証：3年度にわたり機体数、空域数、運航形態を変えながら飛行実証を実施

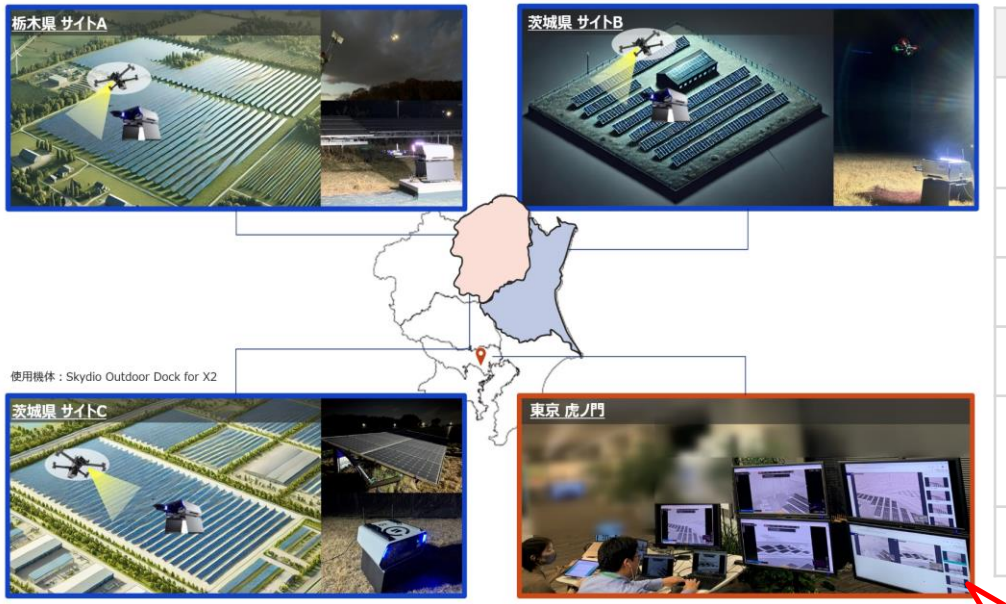
	2022年度	2023年度	2024年度
実施内容	テストフィールド×2機運航の運用性検証（1空域） 	実フィールド×ポート付きドローンでの運用性検証（1空域） 	実フィールド×ポート付きドローンでの運用性検証（3空域） 
機体数	2機	2機	3機
機体種別	機体のみ	1台ポート付きドローン	全てポート付きドローン
空域	1空域	1空域	3空域
実施エリア	テストフィールド	実フィールド	実フィールド
オペレーション手法	現地にスキル有するフライヤー、遠隔操縦者両方を配備して運用	現場に作業者を配置し、遠隔地から遠隔操縦者が運用	遠隔地から遠隔操縦者が運用
飛行申請	申請要件なし	補助者あり目視外	目視外×補助者なし×夜間

※遠隔操縦者1人が3空域における夜間のドローン3機同時運航実証に成功, 2025/01/30

2. 本事業を通じて得られた成果
2-④. 複数空域における複数機同時飛行を想定した飛行実証

警備

成果 異なる3つのエリアの空域で1:3運航の実証を行い、警備ユースケース特有のオペレーション手法の有効性確認を実施。



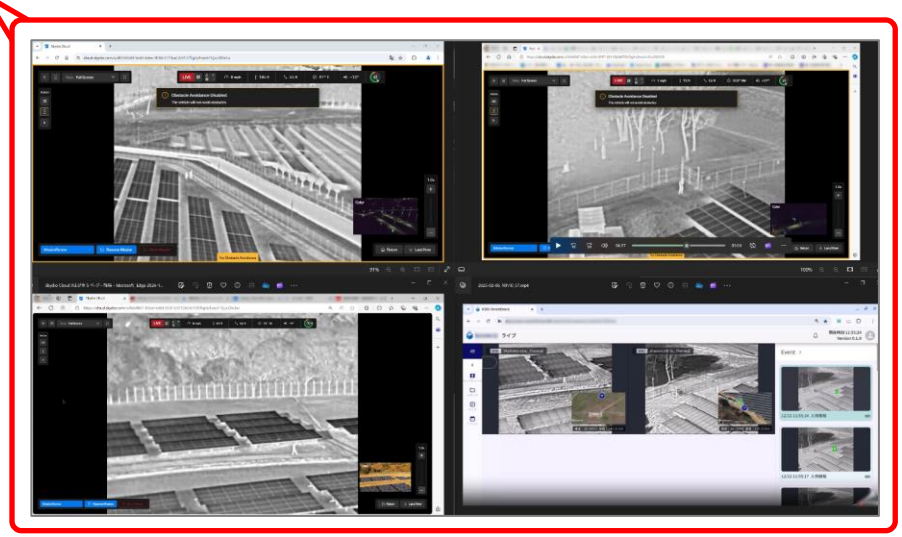
項目	概要
日時	リハーサル：2024年12月10日、11日 **本番：2024年12月12日(木)**
使用機体	Skydio X2 Skydio Outdoor Dock
飛行区分	カテゴリーⅡ（夜間・目視外・補助者なし）
操縦形態	1対3運航 （遠隔操縦室：東京 虎ノ門）
想定成果	• 国内における１対多機運航の先行実績 • 事業化を見据えた、オペレーション手法の確立
飛行申請	全拠点取得済み

【効率的な警備体制の構築】
ドローンによる巡回監視により、広範囲を短時間でカバーすることができ、
従来の人による巡回に比べて効率が大幅に向上する可能性があることを確認

【コスト削減】
1人の操縦者が複数のドローンを管理することで、警備にかかる人件費を削減することができる可能性があることを確認

【AI（人工知能）アシスト機能による迅速な対応能力の向上】
ドローンの高性能カメラを用いたリアルタイムのAI解析により、異常を即座に検知し、迅速な対応が可能となることを確認

【異常同時発生時の課題確認】
不審者の追跡や機体・システムの異常が同時に発生した場合の課題を確認
（3機同時追跡等は、オペレータ作業負荷が高くマニュアル対応するのが困難であり
自動化が必要）



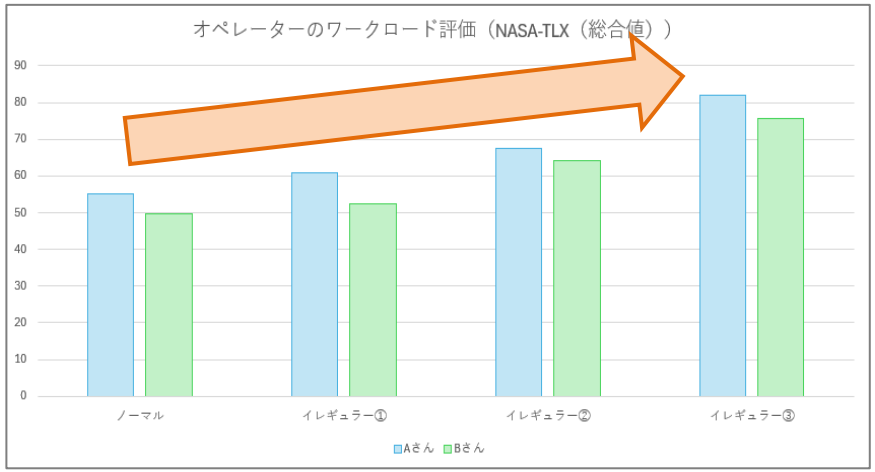
2. 本事業を通じて得られた成果
2-④. 複数空域における複数機同時飛行を想定した飛行実証

警備

● 本実証のシステム構成における、各シナリオでの作業負荷、ユーザビリティ評価を実施

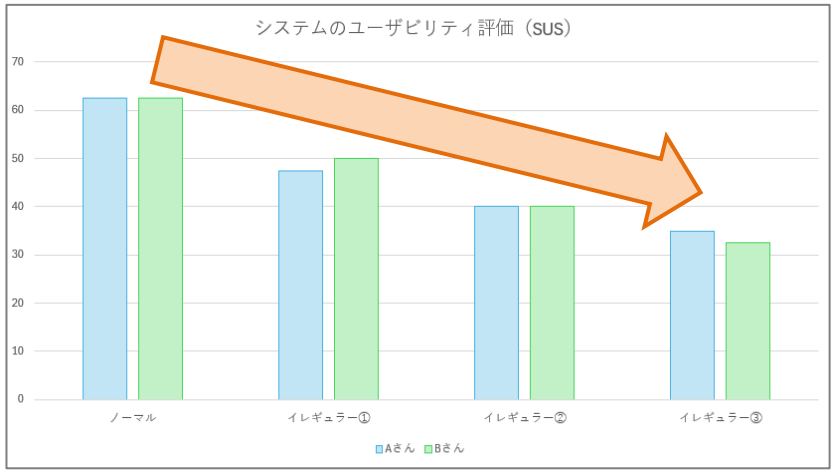
ノーマル	イレギュラー		
3機巡回	2機巡回、1機イレギュラー	1機巡回、2機イレギュラー	3機イレギュラー

ワークロード評価



既存構成だとイレギュラー状況になるとワークロードが状況に応じて上がる（作業増加）
➡ 作業を代替できるようなシステム検討

ユーザビリティ評価



既存システムは複数機同時飛行を想定したUIになっていないため、イレギュラー状況下でのユーザービリティ低下が顕著
➡複数機同時運航を想定している運航管理システムでの一対多運航が望ましい

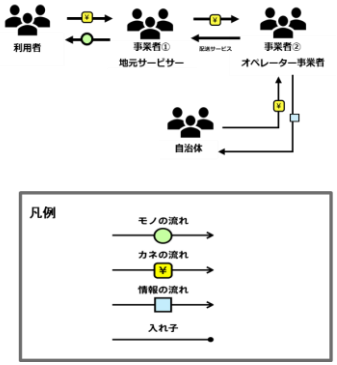
2. 本事業を通じて得られた成果
2-⑤. 1対多運航の事業性検証

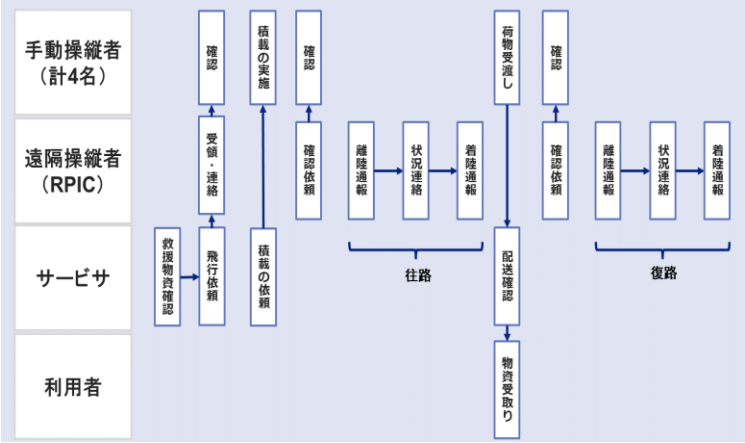
物流

成果

ビジネスモデル案と業務フロー案を作成。
ドローンを活用した物流事業におけるビジネス性の試算を実施。

分類	費益項目		項目内訳	金額
費用	機体費		機体購入費	100万円/年・機体
			機体維持管理費	70万円/年・機体
			PF利用料	72万円/年・機体
	拠点費		ポート購入費	30万円/年・拠点
			ポート維持管理費	12万円/年・拠点
	人件費		遠隔操縦者（RPIC） ※通常運航時の遠隔操縦や運航管理を担う役割を想定し、1名がN機のドローンを運航。	1,095万円/年・人 （＝3万円/日）
			拠点オペレーター ※拠点にてドローンへの荷物の積込等を担う役割を想定。	730万円/年・人 （＝2万円/日）
収益	サービス利用料		利用世帯当たり収益	6.5万円/年・世帯 （＝450円/回）





同時運航機数による収支分布（拠点オペレータなしの場合）

←１対多運航の高度な自動化が進むことに加えて、拠点の省人化や、貨物取扱いの自動化までを含む、業務フロー全体の最適化がされた場合の試算。
現時点ではこのレベルには達しておらず各種の技術課題解決に継続して取り組む必要がある。

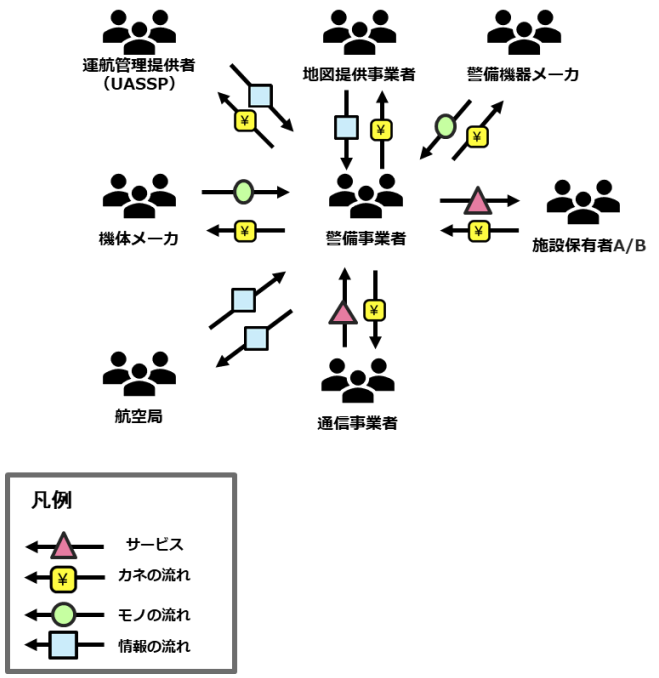
検証結果
- 同時運航機数の増加や機体の運航距離の拡大など、機体や運航管理システム等のさらなる機能向上が必要。
- 拠点にてドローンへの荷物の積込等を行う人員が不要となるような機体や運航管理システム等の機能向上が必要。
- 組織的な運航体制と、自動自律飛行によるM:N運航を将来的に実現するための技術の向上が必要。

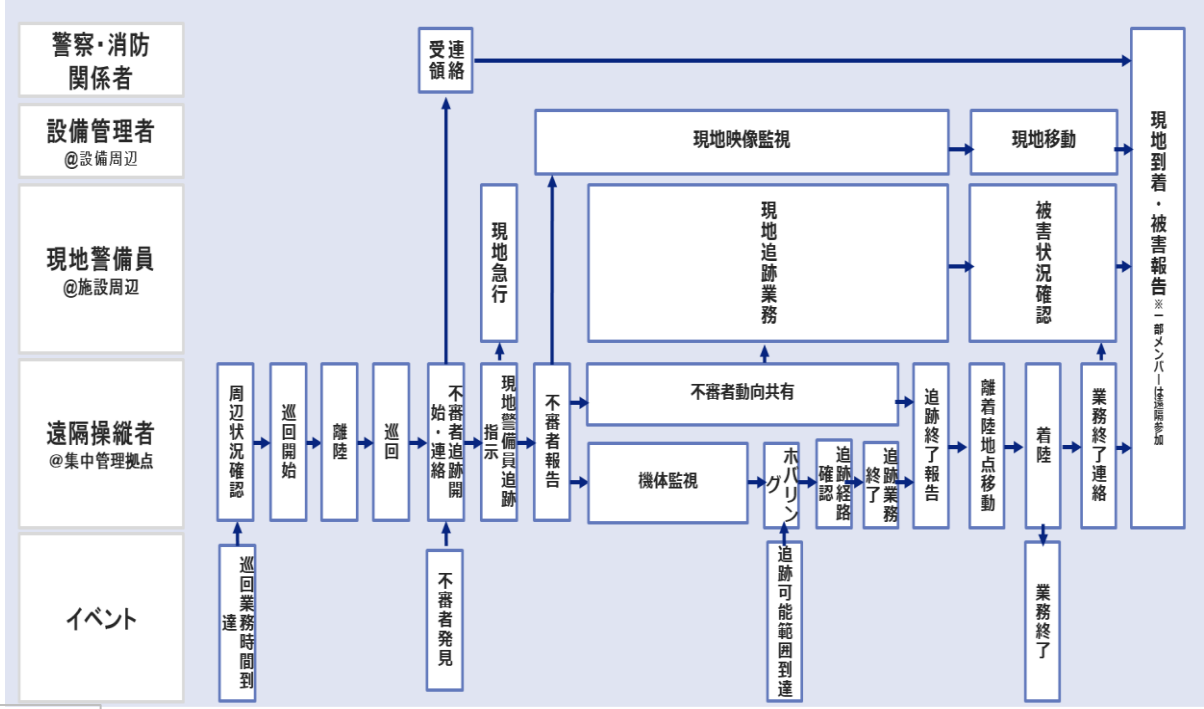
2. 本事業を通じて得られた成果
2-⑤. 1対多運航の事業性検証

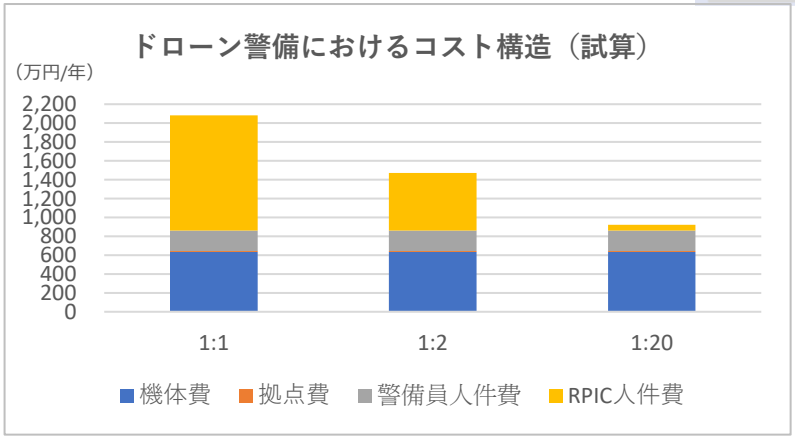
警備

成果

ビジネスモデル案と業務フロー案を作成。
ドローンを活用した警備における事業性の試算を実施。







- 現状の1：1運航におけるドローン適用時の警備業務においては、RPIC人件費が全体に対して大きい割合を占めており、1施設当たりのドローン導入費用が現状の人による警備よりも多くかかってしまっている。
- ドローンの同時運航機数を増やすことで全体のコスト削減が可能となり、ドローン適用による事業性効果を発揮することができるようになる。

➡ 事業性効果を発揮するには、複数機での運用が必要

３.今後の取組内容

3. 今後の取組内容

取り組み方針　3か年を通じて見えてきた課題（映像常時監視、自動化レベルを上げるシステム、オペレーション）解決に向けた取り組みを継続する予定。

技術開発	機体	機体の自動化（衝突回避等）の要件検討・検証
	システム	常時映像監視に依存しないシステム
		UTMシステムとの連携
	オペレーション	常時映像監視に依存しないオペレーション要件の策定
	操縦者	オペレーション要件をもとにした教育カリキュラム等の検討
事業展開	検証	事業化を見越したシステム・オペレーション検証

As-Is

- 操縦者はすべての飛行している機体の映像監視を実施
- 現状の機体・システムレベルでは、1人の操縦者による監視数の限界が見えてきた

To-Be

- 映像監視と非映像監視のハイブリットにより、操縦者の負荷を増加させることなく機体数増加に対応できるようにする