

令和5年度
無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業

令和6年3月

1. はじめに	4
i. 本報告書の背景	4
ii. 本報告書の目的	5
iii. 用語の定義・略称	5
2. 本事業の概要	6
i. 実証内容の振り返り	6
(1) 沖縄県久米島町におけるレベル4でのドローン配送実証実験	
(2) 霞ヶ浦を活用したキャンプ場利用者などへのラストワンマイル配送	
(3) ドローンおよび地上ロボット連携による都市部高層マンションへの無人配送の社会実装に向けた実証試験	
(4) 中津川市を舞台とした編隊飛行によるドローンと自動配送ロボットを連携したラストワンマイル配送の実証実験	
(5) 和歌山県日高川町における長距離医薬品配送の実証事業	
(6) 地方都市における物流課題解決に向けたドローン・自動配送ロボット連携活用事業	
(7) 越佐海峡ドローン物流実用化実証事業	
(8) 愛知県幸田町におけるドローン・自動運転車連携による農産物・買い物支援輸送	
(9) 平時および災害時における移動式ドローンポートを活用した車両とドローンのラストワンマイル配送の実証事業	
3. 本実証結果に対するアプローチ	16
i. 本実証結果の取りまとめ方針	16
ii. 本実証結果の各分析における考え方・手法	16
(1) コスト分析の考え方	
(2) CO2 排出量削減効果の考え方	
(3) 4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）における論点および調査スコープ	
4. 本実証結果の取りまとめ	20
i. 各実証事業の結果と分析	20
(1) 沖縄県久米島町におけるレベル4でのドローン配送実証実験（※以下の事業も同様の項目について記載）	
① 実証結果概要	
②-1 コストおよび利益の比較	
②-2 事業の継続性確保が可能なビジネスモデルとサービス提供方法	
③ CO2 排出量削減効果	
④ 4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）の観点における課題と想定解決策	
(2) 霞ヶ浦を活用したキャンプ場利用者などへのラストワンマイル配送	
(3) ドローンおよび地上ロボット連携による都市部高層マンションへの無人配送の社会実装に向けた実証試験	
(4) 中津川市を舞台とした編隊飛行によるドローンと自動配送ロボットを連携したラストワンマイル配送の実証実験	

(5)	和歌山県日高川町における長距離医薬品配送の実証事業	
(6)	地方都市における物流課題解決に向けた ドローン・自動配送ロボット連携活用事業	
(7)	越佐海峡ドローン物流実用化実証事業	
(8)	愛知県幸田町におけるドローン・自動運転車連携による農産物・買い物支援輸送	
(9)	平時および災害時における移動式ドローンポートを活用した車両とドローンのラストワンマイル配送の実証事業	
ii.	本実証結果の全体像	67
5.	今後の無人航空機等を活用したラストワンマイル配送の実用化プロセスおよびアプローチの方向性	73
i.	実用化までのロードマップおよび計画	73
(1)	沖縄県久米島町におけるレベル4でのドローン配送実証実験	
(2)	霞ヶ浦を活用したキャンプ場利用者などへのラストワンマイル配送	
(3)	ドローンおよび地上ロボット連携による 都市部高層マンションへの無人配送の社会実装に向けた実証試験	
(4)	中津川市を舞台とした編隊飛行による ドローンと自動配送ロボットを連携したラストワンマイル配送の実証実験	
(5)	和歌山県日高川町における長距離医薬品配送の実証事業	
(6)	地方都市における物流課題解決に向けた ドローン・自動配送ロボット連携活用事業	
(7)	越佐海峡ドローン物流実用化実証事業	
(8)	愛知県幸田町におけるドローン・自動運転車連携による農産物・買い物支援輸送	
(9)	平時および災害時における移動式ドローンポートを活用した車両とドローンのラストワンマイル配送の実証事業	
ii.	実用化に向けた課題および想定される解決策	81
6.	調査業務	84
7.	事例集ヒアリング結果	109
8.	各種会議の運営支援	115
9.	参考資料	118
10.	おわりに	119

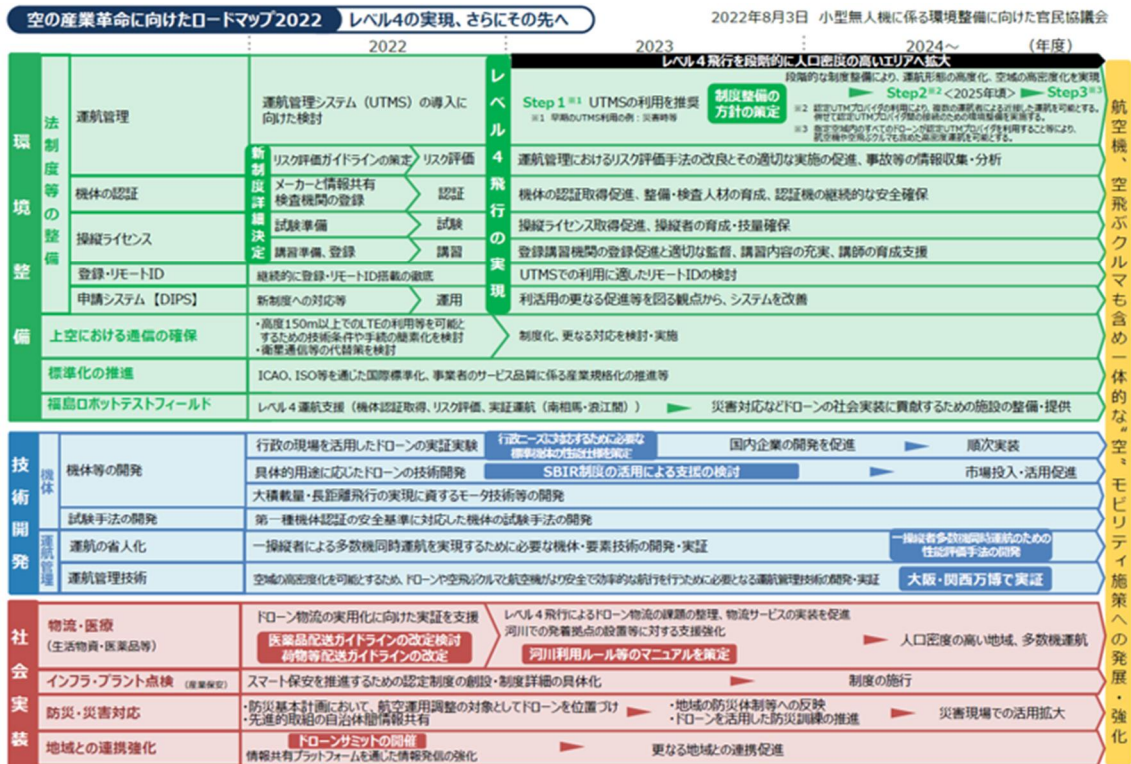
1. はじめに

i. 本報告書の背景

2015年に設置されたドローン、空飛ぶクルマ等の新たな航空機に関する技術開発や制度整備等を議論する「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」によって定められた、「空の産業革命に向けたロードマップ 2022」（図1）では、レベル4飛行（有人地帯での補助者なし目視外飛行）の実現およびその先を見据え、ドローンがより効果的に社会に貢献する未来を実現するために「環境整備」「技術開発」「社会実装」の3つの観点から必要なアクションが整理されている。環境整備面では運航管理システム（UTM）の制度・技術の確立、技術開発面では行政のニーズを想定した機体性能の向上、社会実装面では地域との連携強化に基づく物流・災害対応などの具体的な用途を想定した実装の加速化等が論点として挙げられている。

2022年12月の航空法改正にとともに、レベル4飛行が可能となり、機体認証、無人航空機操縦者技能照明、運航に係るルールが整備され、無人航空機のさらなる活用促進が期待されている。

図1：空の産業革命に向けたロードマップ 2022



物流分野においては、無人航空機の活用による物流網の維持・効率化により、昨今のトラックドライバー不足、カーボンニュートラルといった課題への貢献が期待されており、2023年3月には「ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン Ver. 4.0」や「ドローンによる医薬品配送に関するガイドライン」が策定され、社会実装に向けた実証等が国・自治体をはじめ、企業等においても進められている。

「無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業」は、過疎地域等における課題を解決するため、レベル4飛行に対応したドローン物流やドローンの離発着前後の配送を担う自動配送ロボット等と連携した物流等を社会実装する際に必要となる

事項を検証することを目的として、9事業を採択した。各事業においては、無人航空機等を用いた配送プロセスの確立・運航体制の構築、ビジネスモデルの検証等を行い、将来的なラストワンマイル配送の実現に向けた課題の検討を行った。

ii. 本報告書の目的

本報告書は、各事業において得られた成果を共有し、無人航空機等を活用したラストワンマイル配送の実用化に向けた課題を整理することによって、無人航空機等に関わる事業者や行政、サービス利用者による主体的なアクションを促し、ラストワンマイル配送の社会実装を促すことを目指している。

iii. 用語の定義・略称

「ドローン」は、遠隔操作や自動制御が可能な上空を飛行する無人航空機を指す。回転翼機と固定翼機の二種類があるが、本報告書では特別な記載がない限りは回転翼機を意味する。

2. 本事業の概要

i. 実証内容の振り返り

本事業は、過疎地域等における課題を解決するため、レベル4飛行に対応したドローン物流やドローンの離発着前後の配送を担う自動配送ロボット等と連携した物流等を社会実装する際に必要となる事項を検証することを目的とした先導的な実証事業として、計9事業を実施した(表1)。

各事業において、実証内容に合わせて適切なドローンを選定し、航空法や現地の環境に基づき飛行経路を定めた上で、それぞれの実証を行った。

表1 無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業 事業一覧

No.	事業名称	代表事業	実証地域	事業分類
1	沖縄県久米島町におけるレベル4でのドローン配送実証実験	ANAホールディングス株式会社	沖縄県久米島町	レベル4飛行
2	霞ヶ浦を活用したキャンプ場利用者などへのラストワンマイル配送	AZ-COM丸和ホールディングス株式会社	茨城県かすみがうら市、美浦村、行方市	自動配送ロボットとの連携
3	ドローンおよび地上ロボット連携による都市部高層マンションへの無人配送の社会実装に向けた実証試験	株式会社ダイヤサービス	千葉県千葉市	自動配送ロボットとの連携
4	中津川市を舞台とした編隊飛行によるドローンと自動配送ロボットを連携したラストワンマイル配送の実証実験	花王株式会社	岐阜県中津川市	自動配送ロボットとの連携
5	和歌山県日高川町における長距離医薬品配送の実証事業	株式会社ケーエスケ	和歌山県日高川町	自動配送ロボットとの連携
6	地方都市における物流課題解決に向けたドローン・自動配送ロボット連携活用事業	株式会社ノーベル	大分県別府市	自動配送ロボットとの連携
7	越佐海峡ドローン物流実用化実証事業	AIR WINGS合同会社	新潟県新潟市、佐渡市	ドローンボートとの連携
8	愛知県幸田町におけるドローン・自動運転車連携による農産物・買い物支援輸送	名古屋鉄道株式会社	愛知県幸田町	新たなモビリティとの連携
9	平時および災害時における移動式ドローンボートを活用した車両とドローンのラストワンマイル配送の実証事業	佐川急便株式会社	島根県美郷町	新たなモビリティとの連携

※令和5年4月28日付申請「ドローンフレンドリーな街多久市のレベル4挑戦事業」については、申請時に想定していた機体レンタル費用の資金調達が困難となり、事業の計画変更等による事業の継続を検討したものの、目処が立たない状況から、事業期間内に事業が完了出来ないと判断したため令和5年10月9日付辞退。


(1) 沖縄県久米島町におけるレベル4でのドローン配送実証実験

【代表事業者】ANA ホールディングス株式会社

【共同事業者】久米島町役場、株式会社 ACSL、JA おきなわ A コープ、A コープ久米島店

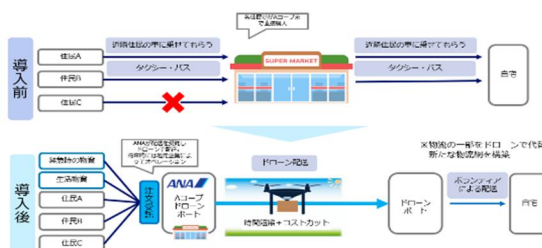
【実証実施日】11月6日～9日

【実施場所概要】
 沖縄県久米島
 人口：7,280人（令和5年3月時点）
 高齢化率：31.9%（令和5年3月時点）
 主要産業：農業/飲食店・宿泊業
 輸送手段：島内輸送については自動車



【実証概要】

- 久米島町の中心エリアに位置し、住民の生活品の調達拠点となる A コープ久米島店から真謝地区の美崎小学校横旧仲里間切まで無人航空機を用いて、レベル4 運航でのスーパーの商品を届ける配送サービスの有効性を確認する。
- ドローンの着陸場所である美崎小学校横旧仲里間切は近隣に住宅が隣接する立地であるが、集落内でも自宅から距離がある住民の利用も想定されることから、アプリによる注文者への配送状況通知、地域ボランティアによる住宅までのラストワンマイル配送等について実施し、社会実装した段階での活用の可能性について評価する。



【使用する機体・飛行ルート】



機体名称	ACSL式PF2-CAT3型
機体重量	9.8kg
最大積載量	1.0kg
飛行時間	20分
最高速度	36km/h



(2) 霞ヶ浦を活用したキャンプ場利用者などへのラストワンマイル配送

【代表事業者】AZ-COM 丸和ホールディングス株式会社

【共同事業者】株式会社アズコムデータセキュリティ、株式会社eロボティクス茨城、イームズロボティクス株式会社、株式会社IT Technology design、かすみがうら市、美浦村、行方市、公益財団法人福島イノベーション・コースト構想推進機構、福島ロボットテストフィールド

【実証実施日】11月21日～26日

【実施場所概要】

かすみがうら市
 人口：39,370人（2023年2月時点）
 高齢化率：32.9%（2023年2月時点）
 主要産業：第3次産業
 輸送手段：トラック

美浦村
 人口：14,534人（2023年4月時点）
 高齢化率：32.1%（2020年時点）
 主要産業：第3次産業
 輸送手段：トラック

行方市
 人口：30,830人（2023年1月時点）
 高齢化率：37.8%（2023年1月時点）
 主要産業：第3次産業
 輸送手段：トラック



【実証概要】

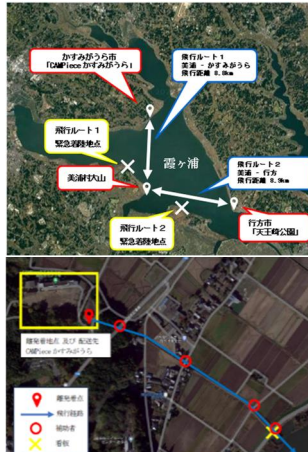
- 霞ヶ浦周辺のキャンパーやサイクリストなどのアウトドアレジャー客を対象に、大型産業用ドローンと自動配送用ロボットを組み合わせた、先進的なラストワンマイル配送の実証を行った。



【使用する機体・飛行ルート】



機体名称	UAV-E6150 ALTA X(気象観測用)
最大積載量	10.7kg(E6150) 15.9kg(ALTAX)
飛行(走行)時間	20分(E6150) 50分(ALTAX)



(上) 全体
 (左下) かすみがうら市
 (黄枠内 UGV 配達区域)
 (右下) 美浦村



(3) ドローンおよび地上ロボット連携による都市部高層マンションへの無人配送の社会実装に向けた実証試験

【代表事業者】株式会社ダイヤサービス


【共同事業者】SBS 即配サポート株式会社、三井不動産レジデンシャルサービス株式会社、千葉市

【実証実施日】12月18日～20日、1月22日

【実施場所概要】

千葉市

人口：978,064人（令和5年4月時点）
 高齢化率：26.8%（令和4年2月時点）
 主要産業：製造業（24.6%）、サービス業（24.3%）
 輸送手段：トラック

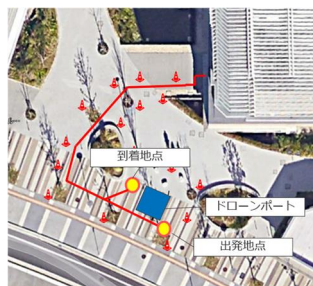


【実証概要】

- ・都市型マンションの荷物配送におけるドライバー不足・人による非効率なラストワンマイル配達・道路の慢性的な渋滞・カーボンニュートラル等の課題を解決する。
- ・自律飛行ドローンで荷物をマンションまで配送し、自動で地上ロボットへ連携後、地上ロボットが自律走行でマンション個宅玄関前まで配送することで、人の手を介さずに最後まで荷物配送を可能とする。



【使用する機体・飛行ルート】



(上)
地上配送ロボット走行ルート
(下)
ドローン飛行ルート

機体名称	ACSL PF2-Delivery
機体重量	8.3kg
最大積載量	1.5kg
飛行時間	18分(最大積載時)
最高速度	36km/h



(4) 中津川市を舞台とした編隊飛行によるドローンと自動配送ロボットを連携したラストワンマイル配送の実証実験

【代表事業者】花王株式会社

【共同事業者】岐阜県中津川市役所、イームズロボティクス株式会社、NTT コミュニケーションズ株式会社、ブルーイノベーション株式会社

【実証実施日】11月9日

<p>【実施場所概要】</p> <p><u>中津川市</u></p> <p>人口：74,904人（令和5年4月時点）</p> <p>高齢化率：33.3%（令和4年4月時点）</p> <p>主要産業：製造業</p> <p>輸送手段：トラック</p>	
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

【実証概要】

- 花王は、全国の小売店へ配送を行う物流子会社である花王ロジスティクスを擁しており、短納期に対応するための物流倉庫を日本各地に保有している。しかし、過疎地域や山間部では採算確保や輸送それ自体の難しさから供給が不十分となり、物流網維持のための効率化が求められている。
- 本実証では、陸上輸送に困難性のある山間部へ商品を一括して供給し、その先は自動配送ロボットによって各住戸やダークストアなどの拠点へ荷物を受け渡すことで効率的な配送の実装を検証する。

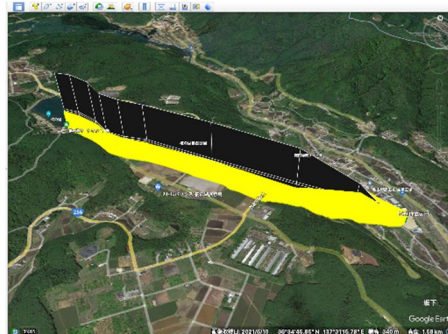


技術 × 制度 × 推進力
Technology x System x Leadership

【使用する機体・飛行ルート】



機体名称	UAV-E6106FLMP2
機体重量	9kg(バッテリー含む)
最大積載量	5kg
飛行時間	約40分(離陸重量9kg)
最高速度	約80km/h




(5) 和歌山県日高川町における長距離医薬品配送の実証事業

【代表事業者】株式会社ケーエスケー

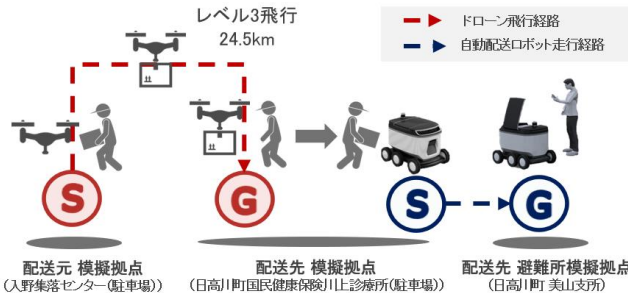
【共同事業者】NTT コミュニケーションズ株式会社、公立大学法人和歌山県立医科大学、和歌山県、日高川町

【実証実施日】10月24日

<p>【実施場所概要】 日高川町 人口：9,219人（令和2年国勢調査） 高齢化率：36.8%（令和2年国勢調査） 主要産業：農林業、建設業、製造業 輸送手段：車両</p>	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

【実証概要】


- 日高川町は、過疎市町村と定義されており、「地域医療の省人化」、「へき地医療への迅速な支援拡充」、「在宅医療の環境整備と患者宅への医薬品配送」が課題となっている。また災害時においては、洪水浸水想定区域に該当しており、陸路での移動経路が限られているため陸路以外での物資輸送手段の構築が必要となっている。
- ドローン・自動配送ロボットの活用により、配送を担う人材の負担軽減、地域医療の維持を図ることができる。また、平時でのドローンを活用した医薬品配送が実装できれば、災害時における物流網の維持、緊急搬送にも適用できる。



レベル3飛行 24.5km

配送元 模擬拠点 (入野集落センター(駐車場)) 配送先 模擬拠点 (日高川町国民健康保険川上診療所(駐車場)) 配送先 避難所 模擬拠点 (日高川町 美山支所)

【使用する機体・飛行ルート】



機体名称	エアロボウイング (AS-VT01)
機体重量	9.45kg
最大積載量	1kg
飛行時間	40分
最高速度	100km/h



(左) ドローン (右) 自動配送ロボット


(6) 地方都市における物流課題解決に向けたドローン・自動配送ロボット連携活用事業

【代表事業者】株式会社ノーベル

【共同事業者】有限会社大分合同新聞社、株式会社 Suzak、大分県

【実証実施日】11月21日～11月24日

【実施場所概要】
別府市
 人口：112,991人（2023年時点）
 高齢化率：33.80%（2020年時点）
 主要産業：観光業、医療・福祉などのサービス業
 輸送手段：トラック、軽自動車、バイク




【実証概要】

- ・大分県は過疎や高齢化の進展に伴い、新聞を家庭に届ける配達員不足が生じ、山間部では配達中止となった地域が出てきている。
- ・新聞配達においては配達員の確保が難しくなっている現状があり、実際に配送が中止になっている地域もある。本実証実験は上記課題を解決するため、実用化を見据えてドローン及びUGVを用いて新聞を配達する。人力での配送の代替を行い、配達員不足を補うことで地域課題の解消につながると考えている。

ドローン及びUGV導入前

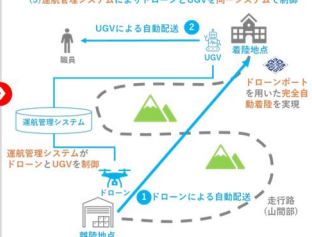
(1) 急峻かつ標高差のある山間部の道路を走行するため非効率
 (2) 大量のCO2を排出
 (3) ドライバーが必要



職員が到着地点へピックアップ
 到着地点
 配達地点
 バイク/車による配達
 走行路（山間部）
 出発地点

ドローン及びUGV導入後

(1) ドローンを用いた上空飛行による配達時間の削減
 (2) 電気駆動によるCO2削減
 (3) 自動運転による人手不足解消
 (4) UGV活用によるラストワンマイルの完全自動配達の実現
 (5) 運航管理システムによりドローンとUGVを同一システムで制御



UGVによる自動配達
 配達地点
 ドローンポートを用いた完全自動着陸を実現
 ドローンによる自動配達
 走行路（山間部）
 離陸地点
 運航管理システムがドローンとUGVを制御

【使用する機体・飛行ルート】



機体名称	PF2 Delivery
最大離陸重量	9.82kg
最大積載量	2.75kg
飛行時間	18分
最高速度	3.6km/h




(上) ドローン (下) 自動配送ロボット



(7) 越佐海峡ドローン物流実用化実証事業

【代表事業者】 AIR WINGS 合同会社

【共同事業者】 JR 東日本新潟シティクリエイイト株式会社、新潟市経済部成長産業・イノベーション推進課、佐渡市地域振興部産業振興課

【実証実施日】 11月13日～22日、1月15～16日、19日、1月30日～2月2日

<p>【実施場所概要】</p> <p><u>佐渡市</u></p> <p>人口：51,492人（令和2年時点）</p> <p>高齢化率：42.6%（令和2年時点）</p> <p>主要産業：観光・宿泊・卸売・小売、運輸、 稲作、果樹栽培、漁業など</p> <p>輸送手段：トラック、船舶</p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

<p>【実証概要】</p> <ul style="list-style-type: none"> 船舶に限定され物流が不安定となっている、新潟港から佐渡島への輸送に、医療や物流の拠点を直接結ぶことのできる物流ドローンを導入し、オンデマンド輸送を実現することを目的として、血液製剤輸送および特産品超速輸送の検証を行った。 《シナリオ①》 血液製剤輸送 新潟市内の血液センターから佐渡総合病院への血液製剤輸送モデルを検討する。着陸地点にはドローンポートを設置し、荷物の自動格納および受け取り方法を検証する。佐渡島内の飛行については、レベル4運航を見据えた飛行実証も合わせて実施する。 《シナリオ②》 特産品超速輸送 新幹線の貨客混載サービスと連携し、佐渡の特産品を首都圏の小売店等へ半日以内で配送する。無冷凍かつ高鮮度な輸送を実現することで、付加価値向上、販路拡大につなげる。 	 
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【使用する機体・飛行ルート】



機体名称	Wingcopter 198 POC	QUKAI Fusion3.5
機体重量	20kg	12kg
最大積載量	5kg	10kg
飛行時間	70分	120分
最高速度	37m/s	50m/s

シナリオ①血液製剤輸送：Wingcopter で下記ルート飛行
(左) 佐渡島から新潟市 (右) あいぽーと佐渡芝生広場



シナリオ②特産品輸送：QUKAI で下記ルート飛行
(左) ドローンポート接続 (右) JA 佐渡付近



(8) 愛知県幸田町におけるドローン・自動運転車連携による農産物・買い物支援輸送

【代表事業者】名古屋鉄道株式会社

【共同事業者】愛知県、株式会社プロドローン、アイサンテクノロジー株式会社
幸田町、大同大学

【実証実施日】9月22日

【実施場所概要】

幸田町

人口：42,191人（2023年4月1日時点）

高齢化率：21.3%（2020年時点）

主要産業：工業、農業（筆柿など）

輸送手段：トラック等



【実証概要】

・山間地域ー市街地における農産物・買い物支援の輸送をドローンと自動運転巡回バスを活用して自動化を目指す。

・<往路>

全国シェア8割の特産品「筆柿」を農家から集荷センターへ輸送

・山地から地域拠点までドローンで輸送

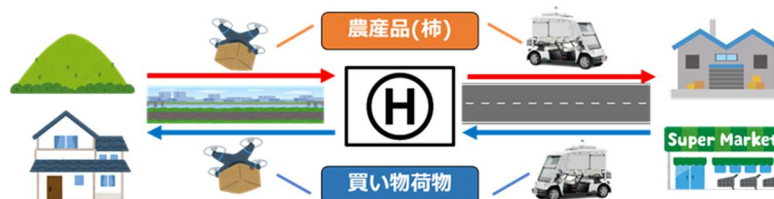
・地域拠点から集荷センターまで自動運転巡回バスにて輸送（貨客混載）

<復路>

市街地から山間地域へ買い物支援物資を輸送（ラストワンマイル）

・注文された食料品・日用品等を自動運転巡回バスで地域拠点まで輸送

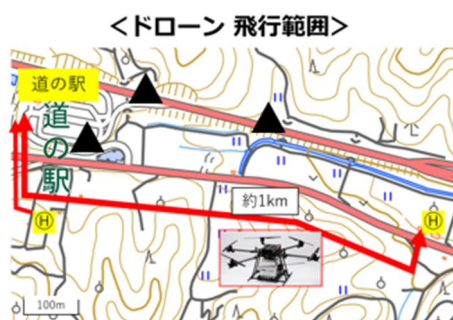
・地域拠点から自宅へドローンが輸送



【使用する機体・飛行ルート】



機体名称	PD6B-Type3
機体重量	20.0kg
最大積載量	30.0kg
飛行時間	30分
最高速度	60km/h



(▲：補助者)


(9) 平時および災害時における移動式ドローンポートを活用した車両とドローンのラストワンマイル配送の実証事業

【代表事業者】佐川急便株式会社

【共同事業者】島根県邑智郡美郷町、イームズロボティクス株式会社


【実証実施日】11月21～22日

【実施場所概要】
美郷町
 人口：4,208人（2023年4月1日時点）
 高齢化率：47.24%（2023年時点）
 主要産業：建設業、医療・福祉
 輸送手段：トラック



【実証概要】

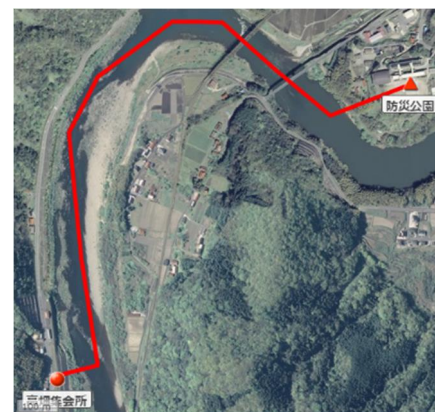
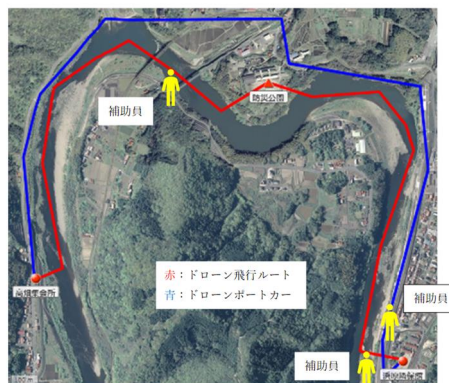
- 平常時の宅配業務効率化実証**
 現状1件ずつ回り配達を行っているが、トラックで1件宅配している間に、トラックに搭載しているドローンが別の配達先に荷物を届ける事を想定した実証実験を実施した。
- 災害時の緊急物資輸送実証**
 災害時に洪水などで孤立した集落へ緊急物資を届ける事を目的として、観察用ドローンで被災状況やドローンの着陸場所を確認した後、大型の物流用ドローンで緊急物資を届ける実証実験を実施した。



【使用する機体・飛行ルート】



機体名称	LAB470	E6150MP
機体重量	9.8kg	9kg
最大積載量	2.5kg	10kg
飛行時間	40分	17分
最高速度	80km/h	80km/h



(左) 平常時 (右) 災害時

(赤：ドローン、青：ドローンポートカー、補助員の配置は共通)

3. 本実証結果に対するアプローチ

i. 本実証結果の取りまとめ方針

本実証結果の取りまとめにおいては、まず、ドローンによるラストワンマイル配送の社会実装を進めるにあたって、既存の配送方法とのコスト比較、社会実装を想定したビジネスモデルなどを用いて、分析を行った（次項 ii. (1) 参照）。

また、物流分野におけるカーボンニュートラルが求められる中、ドローンを利用するラストワンマイル配送のメリットとして挙げられる CO2 排出量削減効果についても、本事業で検証した配送方法の活用により見込める CO2 排出量削減効果や既存の配送方法との代替可能性、課題等について分析を行った（次項 ii. (2) 参照）。

さらに、各事業の社会実装に向けて解決すべき課題や想定される解決策、期待される効果を網羅的に把握するために、コスト分析や事業継続性等の「事業面」、機体やシステムの実用性等の「技術面」、制度面や運用ルール等の「制度面」並びに他地域での展開可能性等の「社会受容性」の 4 つの観点から、各事業実証の成果・課題の整理を行った（次項 ii. (3) 参照）。

上記の「コスト分析」、「CO2 排出量削減効果」、「4 つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）」における成果・課題の整理および分析結果については、4 章 i において事業毎に述べ、さらに 4 章 ii においては横断的分析をした上で全体像としてまとめて述べる。

上記の分析結果を踏まえて、ドローンによるラストワンマイル配送の社会実装の実現に向けた具体的な道筋を示すため、5 章においては、各事業の実用化までの計画およびロードマップ、実用化に向けた課題および想定される解決策について述べる。

ii. 本実証結果の各分析における考え方・手法

(1) コスト分析の考え方

本実証結果の分析においては、事業面、特にコスト試算および分析、ビジネスモデルの検討にフォーカスして検証を行った。

コストについては、実証時に発生したコストの整理、事業者から受領した情報に基づく実運用コストの試算に加えて、規制緩和により、レベル 3.5 飛行あるいはレベル 4 飛行を適用した場合（補助者がいない場合）の試算、さらに、ドローンの運航に際してコスト面でのボトルネックとなっている人件費削減、配送効率向上のための方策として、1 対多運航を実施した場合の試算も行い、比較検証した。1 対多運航については、「無人航空機の型式認証等の取得のためのガイドライン」（2022 年 12 月、国土交通省）においては「操縦者：機体比率が 1:20 以下の機体」について型式認証で規定するとされており、今回は機体数を n として、 $n=10, 20$ の場合について想定される配送コスト（年間）を算出し、比較を行った（表 2）。さらに、各配送方法において想定される 1 回（1 往復）あたりの配送コストを算出し、比較を行った（図 2）

ビジネスモデルについては、実証後に事業化に向けたアクションを進めるためには、実証時もしくは完了後に顧客、協業パートナー、周辺関係者が具体化され、事業者目線での顧客等との関係性の初期仮説が立てられていることが望ましい。従って、各事業の事業報告書から入手した情報をもとに、各事業の実証時及び実運用時の想定ビジネスモデルを整理し、既存の配送方法を含めて 3 フェーズの遷移を比較検証した（図 4）。

表 2 : 年間配送コスト比較イメージ-1 (千円/年)
(既存の配送方法、実証時、実運用時、多運航)

費目		配送方法				
		既存 車両	ドローン			
			実証	実運用	多運航	
				n=10	n=20	
初期費用	車両/機体	240	1,600	800	4,000	8,000
	ドローンポート		600	600	3,000	6,000
	地上配送ロボット		600	300	300	300
ランニング コスト	燃料費/電気代	3	1	72	360	720
	システム利用料		1,800	913	913	913
	車両/機体保守費	100	800	800	4,000	8,000
	積荷保険料	18	18	548	2,740	5,480
人件費	ドライバー/操縦者	730	852	19,163	9,582	9,582
	補助員、監視員等		5,535			
合計		1,091	11,806	23,196	24,895	38,995
売上		1,825	0	22,995	114,975	229,950
利益		734	△ 11,806	△ 201	90,081	190,956

※配送にかかるコストを初期費用、ランニングコスト、人件費の3つの区分で整理

※年間配送回数や機体価格、人件費等は事業者の報告に基づき設定

※既存の配送方法：ユーザーとしての運賃、配送料等を使用する場合は合計額のみ記載

※多運航：操縦者1名と設定

※多運航のドローン初期費用、電気代、機体保守費、機体保険料、積荷保険料、売上、配送回数（黄色ハイライト箇所）は機体数に依存するとして算出

※多運航の人件費は機体数にも配送回数にも依存しないものとして算出

※多運航の場合の自動配送ロボットの数は、ペイロードの比較により算出

（自動配送ロボットのペイロード10kg、ドローンのペイロード2kgの場合、自動配送ロボット1台あたりドローン5機分の荷物を配送できると仮定）

図 2 : コスト比較イメージ-2
(既存の配送方法、実証時、実運用時、多運航)

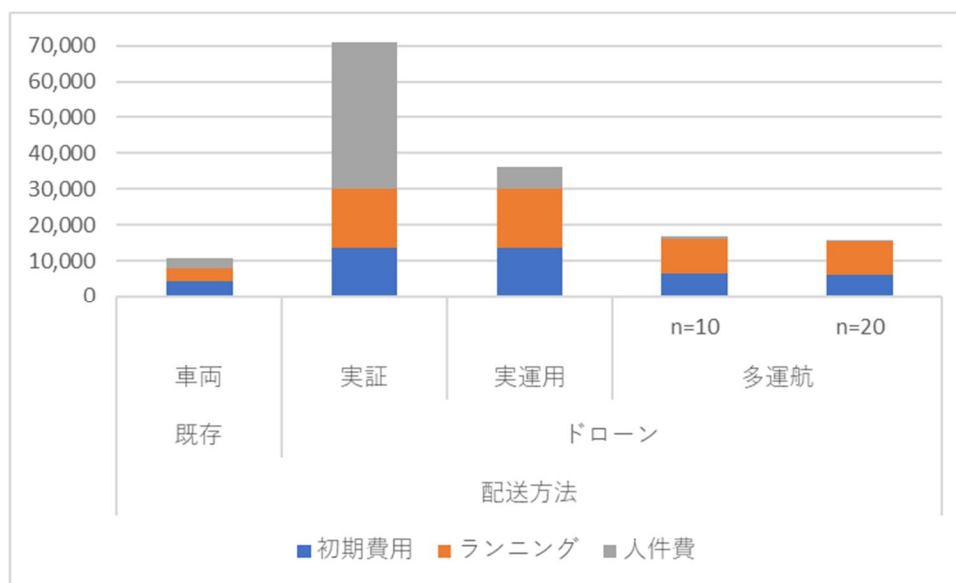
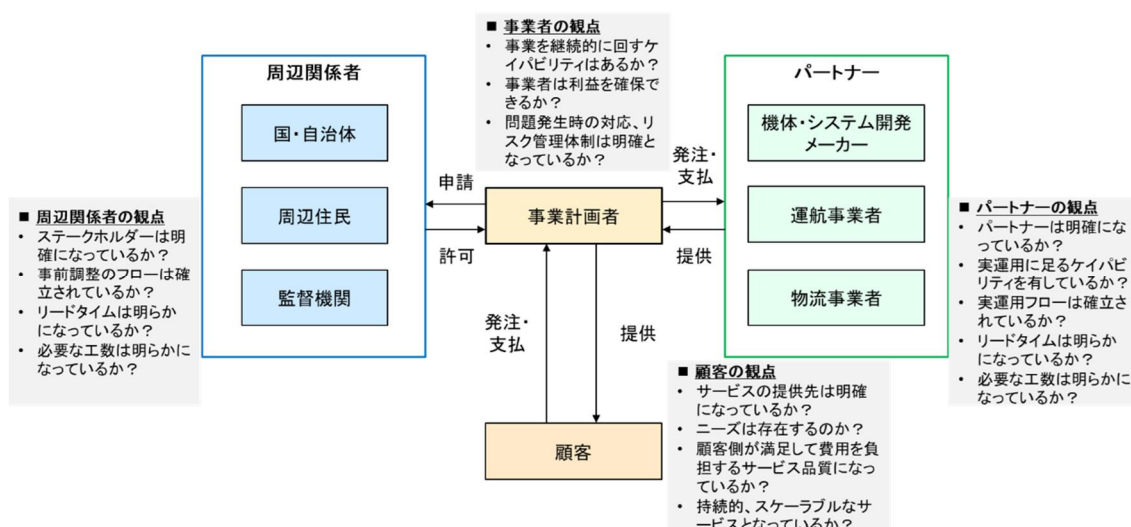


図3：ビジネスモデル整理イメージ
(既存の配送方法、実証時、実運用時の3フェーズを作成)



(2) CO2 排出量削減効果の考え方

CO2 排出量削減効果の分析においては、原則として以下に記載する方法を参照し、事業実施前後の CO2 排出量を算出した。算出した結果について、事業実施前後での比較を行い、CO2 排出量削減効果を算出し、ドローンによる配送方法の既存の配送方法との代替可能性や課題等について分析を行った。

- ① 算定方法は燃料法を推奨し、燃料使用量の直接把握が難しい場合は「燃費法」。
- ② 「物流分野の CO2 排出量に関する算定方法ガイドライン（経済産業省・国土交通省）」（URL：http://www.greenpartnership.jp/CO2brochure.pdf）に従い算出し、算定根拠を示すこと。
- ③ 燃費法にて使用する燃費の値は、実燃費等極力精度の高い値を使用すること。また、その値を使用する根拠も合わせて示す。燃費の算出が不可能な場合は、ガイドラインの定める「自動車の燃費表」の値を使用。

(3) 4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）における論点および調査スコープ

各事業の社会実装に向けて解決すべき課題や期待効果を網羅的に把握するために、「事業面」、「技術面」、「制度面」、「社会受容性」の4つの分類それぞれに対して重要論点、調査スコープを複数設定した（図5）。

図 4：各事業において精査した 4 つの観点

観点	論点	主な調査スコープ
事業面	収益性が確保でき、持続可能なビジネスモデルは確立可能か、その障壁となる要素は何か	<ul style="list-style-type: none"> 安全性、業務効率性 事業モデル コスト(人員、ドローン)
技術面	ドローンまたは関連する技術(ドローンボート、自動配送ロボット、運航管理システム等)は社会実装に十分なレベルに達しているか	<ul style="list-style-type: none"> 運搬可能な重量、大きさ システム、電波・インフラ技術の精度
制度面	ラストワンマイル配送の事業化に向け、障壁となっているルールや手続き、今後法整備が必要となる論点があるか	<ul style="list-style-type: none"> 規制改革・規則・ガイドライン 飛行制限(目視範囲、電波到達距離) ドローン飛行のための手続き、申請
社会受容性	対象事業の普及にあたり人々の受容性は高いか、他地域への事業展開の可能性はあるか	<ul style="list-style-type: none"> 地域住民の受容性 リテラシー 事業の横展開の可能性

1

4. 本実証結果の取りまとめ

i. 各実証事業の結果

(1) 沖縄県久米島町におけるレベル4でのドローン配送実証実験

①実証結果概要

レベル4飛行の活用による、持続可能な過疎地域におけるラストワンマイル配送の構築を目的として、自社内で運航体制を構築し、スーパーの商品を住民に配送するサービスの検証を行った。結果として、国内2例目となるレベル4飛行を完遂し、規程及び業務実施体制の妥当性や過疎地域の物流網としての活用可能性について確認することができた。また、運航に要するリソースの確保や人件費の削減、ビジネスモデルの確立など、継続的な事業運営に必要な課題が見出された。

②コスト分析

ドローンを用いた新規配送方法による配送コストは、事業者より受領した情報に基づくと、実運用時は約17,000円/回となり、既存の配送コスト約280~1,600円/回（バス、タクシーを使用する場合の運賃）を大幅に上回る想定となった（表3、図5）。事業者の想定通り、機体価格が3分の1になったと仮定すると、1対多運航を導入する場合に、n=10の配送コストは約1,200円/回となり、既存の配送コスト（タクシーを利用する場合）を約23%削減できるという試算結果となった。

しかしながら、ユーザーの希望価格である600円にはまだ届いていない。需要は一定程度あるものの、現時点ではドローンのペイロードに上限があるため、配送料金が配送物の合計金額を上回ってしまっている。ユーザーが重くて持って帰れない商品（米、油等）を扱う等の付加価値を考慮する必要がある。

②-1 コストおよび利益の比較

表3 各配送方法におけるコスト比較（千円/年）

費目		配送方法			
		既存 タクシー	実証 (レベル4)	ドローン 多運航	
				n=10	n=20
初期費用	車両/機体		5,000	10,000	20,000
	バッテリー		22,400	9,000	18,000
ランニング コスト	燃料費/電気代		24	240	480
	車両/機体保守費		1,000	10,000	20,000
	機体保険料		300	3,000	6,000
人件費	ドライバー/操縦者		19,491	19,491	19,491
合計		4,480	48,215	51,731	83,971
売上			2,640	51,600	103,200
利益			△45,575	△131	19,229

※多運航の算出は事務局にて独自に実施

※機体価格は、各機体メーカーヒヤリングによる参考価格：1,500万円

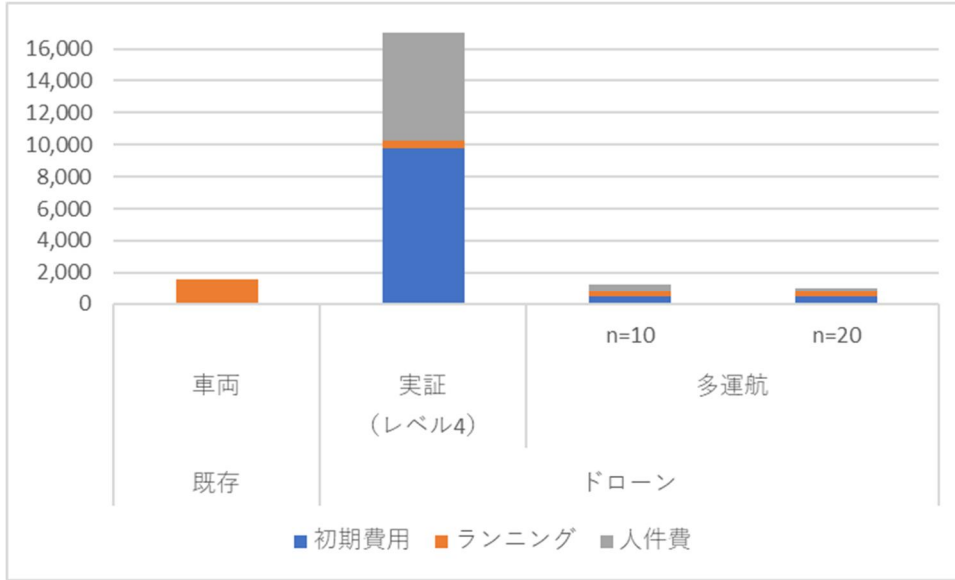
※実運用想定レベル4（補助者なし）で実証を実施

※既存の配送方法はバス、車、タクシーのうち、最も高額なタクシーの利用料金を記載し、下の1回あたりのコスト算出においてはランニングコストとして扱う

※実証（レベル4）は、事業者の報告に準じて操縦者1名、ドローン1機、配送回数2,800回/年を適用、既存の配送方法も同じ回数と仮定

※多運航は事業者の報告に準じて、機体価格は3分の1、バッテリー価格4分の1、機材が大型化した想定でバッテリー4本、配送回数4,200回/年・機と仮定

図5 各配送方法の配送回数1回あたりのコスト比較 (円/回)

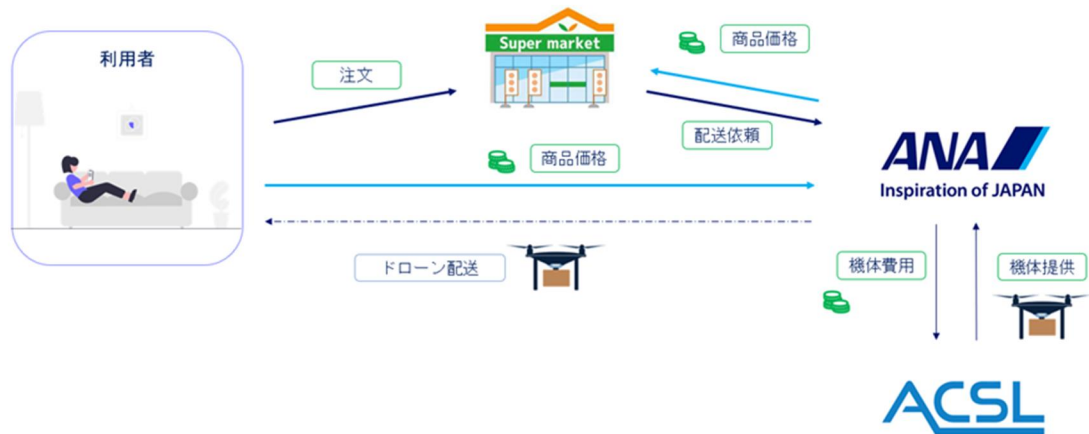


②-2 事業の継続性確保が可能なビジネスモデルとサービス提供方法

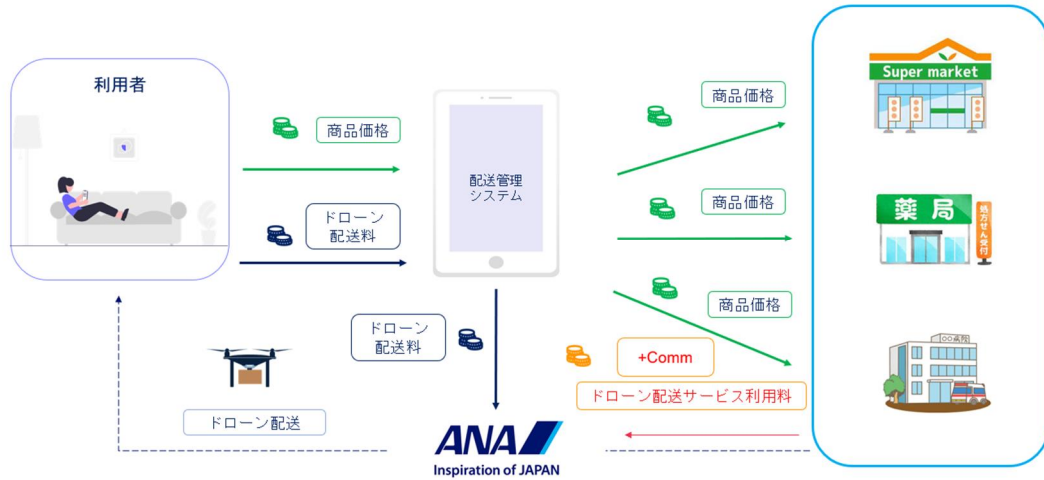
■既存方法



■実証時



■実運用時



③CO2 排出量削減効果

事業実施前においては、地区全体 200 世帯のうち、自動車を利用する世帯は 150 と仮定して、自動車による地区全体の年間 CO2 排出量を算出した。事業実施後は当該移動がドローンに代替されるが、利便性の向上により買い物が高頻度になると想定した上で、所要時間や就航率による制約も考慮し CO2 排出量を算出した。

計算上は大幅に CO2 排出量の削減が見込まれるという結果になったが、コストメリットや利便性に対する価値を見出せない限り、自動車等の輸送と完全に代替することは難しいと考えられる。

事業実施前の CO2 排出量	21	t-CO2 / 年
事業実施後の CO2 排出量	0.71	t-CO2 / 年
CO2 削減量	20.29	t-CO2 / 年
CO2 削減率	96.61	%

④4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）の観点における課題と想定解決策

レベル 4 飛行は、レベル 3 飛行と比較すると離着陸地の操縦者を 7~9 割程度削減できるため、人件費の削減に大きく寄与するものの、人件費のコストに占める割合は依然として大きく、オペレーションの簡易化や多運航により、人件費を削減する必要がある。また、ドローン着陸地からの配送方法の確立や機体・バッテリー性能の向上、LTE 通信の確認方法の確立等、検討すべき課題は残っている。

➤ 事業面

実証での検証項目	配送コストにおける人件費の削減
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> レベル 3 飛行では補助者や看板の設置人員等、最低 10 名程度必要であったと想定される場所、本レベル 4 飛行では、グランドコントロールステーション (GCS) の特性から離着陸地の操縦者を削減でき、また立入管理措置が不要となることから、道路横断時の補助者の配置、看板の設置要員を削減し、結果的に RP (リモートパイロット) 1 名での運航を行うことができた。 運航に関わる人件費は、レベル 3 時の平均値の 90%程度 (実証)

	実験からの平均の補助者数などから算出) から 69%まで削減することができた。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・オペレーションの簡易化 ・多運航に対応した GCS の開発 ・商品受け渡しのボランティアの安定的な確保 ・商品梱包にかかる工数の削減

➤ 技術面

実証での検証項目	LTE 通信の確保
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンに搭載した端末を使用して LTE 通信強度の事前確認を行い、LTE 通信が弱い可能性あるエリアは事前に確認できたものの、機体の映像伝送に影響があるほどの不通エリアは確認できなかった。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・飛行ルートが多様化した場合の事前計測対応 ・LTE 回線以外の通信方法の利用

➤ 制度面

実証での検証項目	離陸後の道路横断時における人口密度の算出
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・現地で交通量調査を行い、当該道路の人口密度が 100 人/km²であることを確認した。ドローンの落下想定範囲を通過する人と車両の通行量を調査し、ドローンの落下想定範囲内に人が存在する割合（期待値）を計算することで、1km²当たりの人口密度に換算を行った。 ・本実証地は島であるため、島内の人口や車両数の変化量は大きくなく（極端に通行量が増えることがない）通行量を平均化して考えることができた。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・道路の交通量に応じた人口密度の算出方法 ・人口密度算出方法の明確化

➤ 社会受容性

実証での検証項目	飛行区域の住民からの不安や不満などのご意見
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・注文いただいた住民からアンケートを実施した。 4 つのアンケート項目のうち、①個人のプライバシー、②機体の安全性、③騒音については、8 割（10 人中 8 人）が不安を感じないと回答したが、④事故などのトラブルへの対応については 4 割が不安と回答した。 ・飛行する経路や地域においては飛行前に十分な説明が必要であることが示されたため、実証前に住民説明会の実施、区長を通じての案内文の配布、久米島公式 SNS を活用しての周知などを行い、住民への理解を求めた。その結果、住民からの特段のご意見はなかった。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・自治体の理解、協力を得るための関係性構築 ・インフラとしての必要性を説明するためのサービス向上

(2) 霞ヶ浦を活用したキャンプ場利用者などへのラストワンマイル配送

①実証結果概要

霞ヶ浦周辺のキャンパーやサイクリストなどのアウトドアレジャー客を対象に、大型産業用ドローンと自動配送用 UGV を組み合わせた、先進的なラストワンマイル配送の実証を行った。レベル 4 を想定したレベル 3 における実証により、想定されるビジネスモデルの実現可能性については確認できた。

また、飛行ルート上の風況観測の実施による運航可否判断、UTM 導入によるリアルタイムでの監視を行い、安全面の向上について確認し一定の成果が得られたものの、事業面においては、機材の運用コストや工数増にともなう人件費の削減が課題である。

②コスト分析

ドローンを用いた新規配送方法による配送コストは、事業者より受領した情報に基づくと、実運用時において1対多運航を想定し、操縦者2名体制で6機運航する場合には、黒字化が見込める試算となった(表4)。また、既存の配送方法と比較して、1回あたりの配送コストは約95%削減するという試算となった(図6)。

ただし、事業者の想定では実運用時に1日8往復×6機×月20日×12ヶ月=11,520回としているが、本条件は今後の事業対象者の拡張と物量の確保を前提に算出されたものである。また、本事業は連続稼働を前提としたものではないため、1日8回の毎時運航の実現性については検証の余地がある。

②-1 コストおよび利益の比較

表4 各配送方法におけるコスト比較(千円/年)

費目		配送方法				
		既存 車両	ドローン			
			実証	実運用	多運航	
n=10	n=20					
初期費用	車両/機体	12,000	19,200	3,122	5,203	10,407
	UGV		30,000	4,878	9,756	19,512
ランニング コスト	燃料費/電気代	979	72	1,145	1,908	3,817
	システム利用費		1,000	1,000	1,000	1,000
	機体保守費		167	1,000	1,667	3,333
	機体保険料		50	300	500	1,000
	積荷保険料		13	200	333	667
人件費	ドライバー/操縦者	7,200	14,400	5,000	2,500	2,500
	補助員、監視員等		28,800			
合計		20,179	93,701	16,645	22,868	42,236
売上		320	5,120	17,280	28,800	57,600
利益		△ 19,859	△ 88,581	635	5,932	15,364

※既存および実証の年間配送回数は、事業者の報告に準じて3回/日×20日×12ヵ月=720回と仮定

※実運用の年間配送回数は事業者の報告に準じて6機×8往復×20日×12ヵ月=11,520回/年を適用

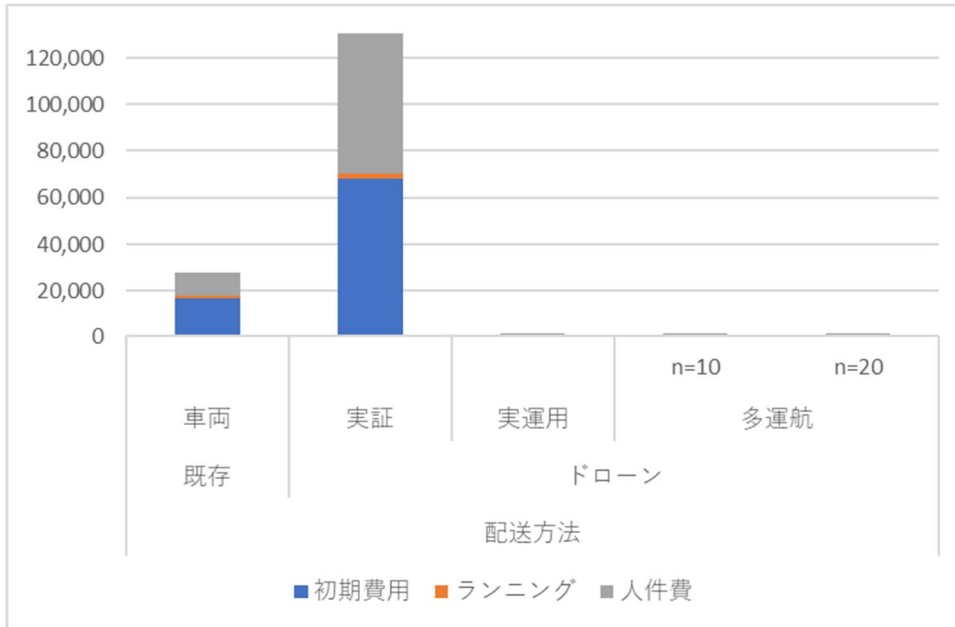
※実証の機体保守費、システム利用費、機体および積荷の保険料は事業者の実運用想定金額を適用

※実運用は事業者の報告に準じて操縦者2名で6機を運航するとして算出

※実運用、多運航時の機体とUGVは、事業者の報告書にはまとめて記載してあるため、実証時の両者の費用按分を適用

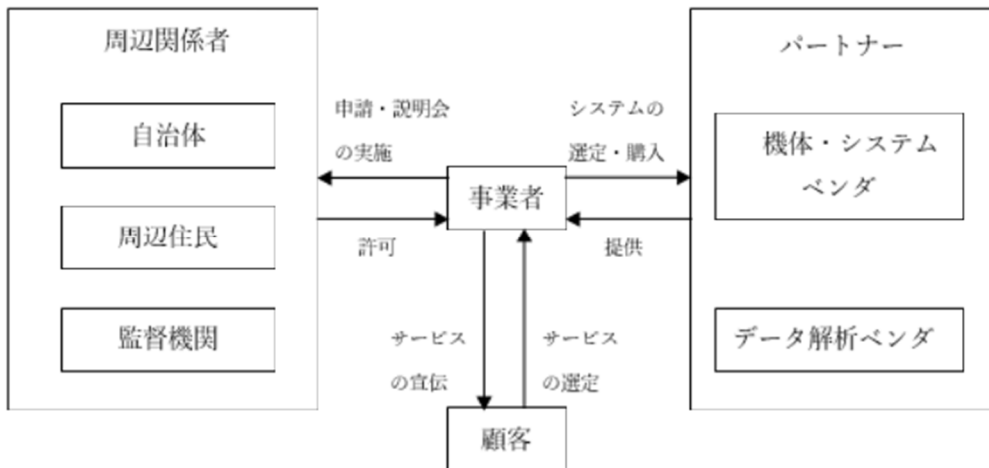
※UGV の数は、最大ペイロード（約 60kg）とドローンのペイロード（約 10.7kg）を用いて、UGV1 台あたりドローン 6 機分の荷物を配送できると仮定

図 6 各配送方法の年間配送回数 1 回あたりのコスト比較（円/回）

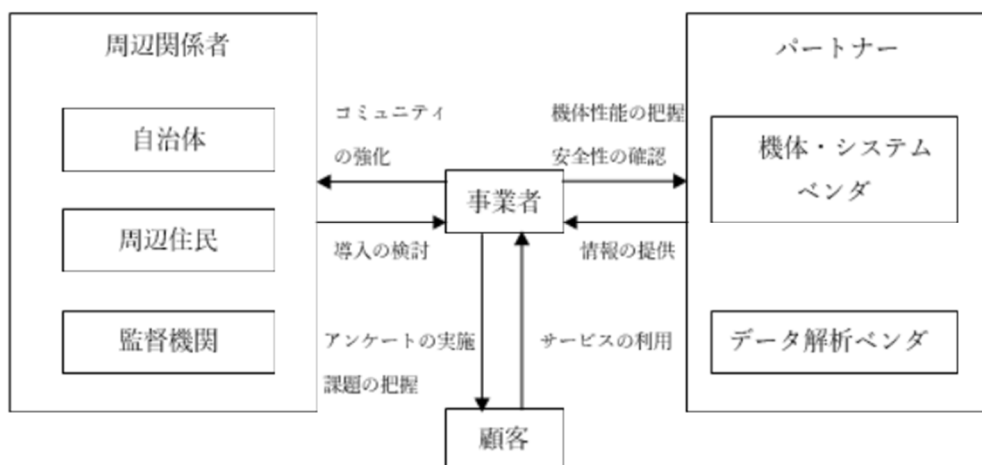


②-2 事業の継続性確保が可能なビジネスモデルとサービス提供方法

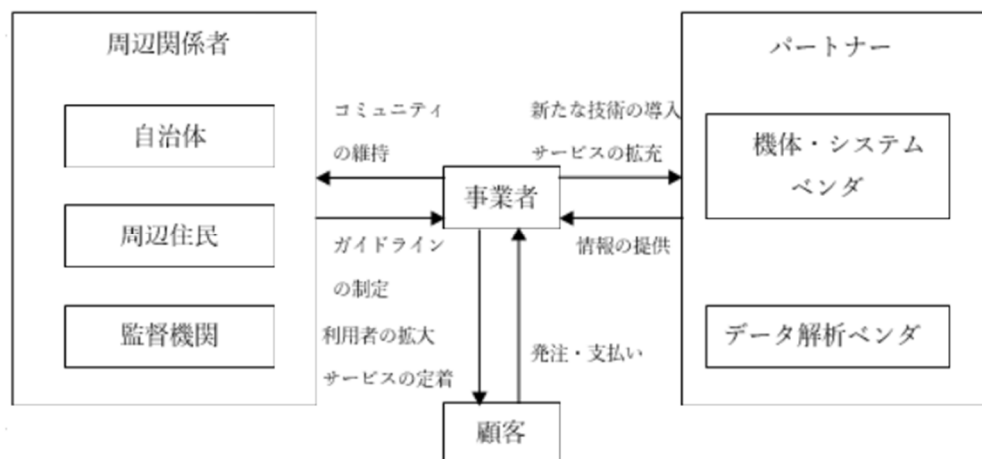
■既存方法



■実証時



■実運用時



③CO2 排出量削減効果

トラックによる配送、ドローン・UGV による配送における、年間 CO2 排出量を算出した。配送回数はトラックとドローン・UGV では同等として算出されているが、積載量を考慮し、ドローン・UGV による配送の使用回数を多く見積もる必要があると考えられる。また、気象条件によってはドローン・UGV による配送を実施出来ない場合があるため、トラックによる配送と併用する必要があることも考慮すべきである。

事業実施前の CO2 排出量	13	t-CO2 / 年
事業実施後の CO2 排出量	0.8	t-CO2 / 年
CO2 削減量	12.2	t-CO2 / 年
CO2 削減率	93.93	%

④4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）の観点における課題と想定解決策

運航コストや飛行申請の煩雑さに課題があるものの、レベル4への規制緩和やドローン情報基盤システムの改修、申請手続きの簡略化等により解消できる可能性がある。また、天候による運航への影響については、飛行直前の気象観測の実施により回

避できるものの、機体の防水・防風性能の向上や荷物の搭載・取り出しにかかる作業の効率化等、コスト削減の方策が必要である。

➤ 事業面

実証での検証項目	実運用時の収益化
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・レベル4を想定したレベル3飛行を行い、コスト削減効果を検証した。 ・自動配送ロボットの活用により、ドローンが着陸不可能な場所において、人手を用いずに荷物の受け渡しが可能であることを確認した。 ・レベル4が実現する場合、補助者分のコスト削減が見込めることを確認した。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンから自動配送ロボットへの積み替えの工数削減 ・自動配送ロボットのレンタル料の削減

➤ 技術面

実証での検証項目	雨天・強風時のドローン運用
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・飛行ルート上空の風向風速などの情報を飛行直前に知ることによって、より正確な飛行の可否判断や、バッテリーの消耗具合などを予測可能か検証し、安全性が向上できる可能性、追加でかかる工数について確認した。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・気象予測にかかる工数の削減、計測の簡易化 ・積載量、航続距離の確保

➤ 制度面

実証での検証項目	飛行申請の煩雑さ
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・2つの飛行ルートの許可申請に必要な窓口、許可承認にかかる期間を確認した。ルート別に飛行申請を行う必要があり、許可承認まで1ヵ月を要した。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・レベル4飛行における申請方法や期間の確認

➤ 社会受容性

実証での検証項目	カメラ映像によるプライバシーの侵害や騒音による地域住民とのトラブル回避
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・自治体の協力を得ながら広報誌などで飛行の周知を行った。また、看板等の設置による周知も行い、一部通行人には口頭で説明した。 ・本実証においては地域住民とのトラブルはなく、自治体との連携による効果を確認した。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・地域住民を対象にした説明会の実施等、さらなる理解促進に向けた取組み

(3) ドローンおよび地上ロボット連携による 都市部高層マンションへの無人配送の社会実装に向けた実証試験

①実証結果概要

ドローン、ドローンポート、地上配送ロボットの連携による医薬品配送について、地域住民を巻き込み遠隔診療を想定した実証を行った。実際に配送の一連の流れを地域住民に見せることができたものの、予算減額・開始時期の遅れにより、線路横断の断念・飛行距離の大幅短縮・システム開発を伴う内容は見送りとなっており、実装に向けた課題として残っている。

②コスト分析

ドローンを用いた新規配送方法による配送コストは、事業者より受領した情報に基づくと、実運用において1対多運航を想定し、操縦者1名体制で2機の全ての運航を行う場合には年間約23,000千円という試算となった(表5)。この場合、既存の配送方法と比較して、1回あたりの配送コストは約7倍という試算となった(図7)。

ただし、事業者の想定では実運用時にドローンと自動配送ロボットの初期費用、システム利用料は半額、地上配送ロボット完全無人化という条件を設定しているが、この条件が成立するためには機体の普及や量産化が必要不可欠である。また、サービスとして普及するためには、オンライン服薬指導の一般化のみならず、配送中の医薬品の品質保証や医療品配送ガイドラインへの完全な準拠を可視化する等、ユーザーの安心感を醸成することも今後の課題と考えられる。

②-1 コストおよび利益の比較

表5 各配送方法におけるコスト比較(千円/年)

費目		配送方法		
		既存	ドローン	
		車両	実証	実運用
初期費用	車両/機体	240	1,600	800
	ドローンポート		600	600
	地上配送ロボット		600	300
ランニングコスト	燃料費/電気代	3	1	72
	システム利用料		1,800	913
	車両/機体保守費	100	800	800
	積荷保険料	18	18	548
人件費	ドライバー/操縦者	730	852	19,163
	補助員、監視員等		5,535	
合計		1,091	11,806	23,196
売上		1,825	0	22,995
利益		734	△11,806	△201

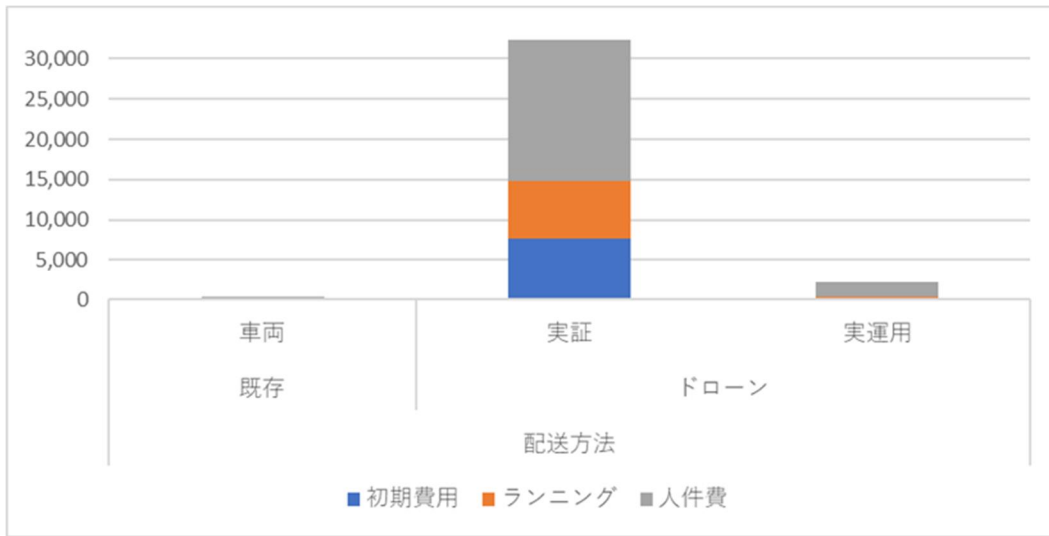
※配送回数、既存は10回/日(365日稼働、3,650回/年)で計算

※配送回数、実証は1回/日(365日稼働、365回/年)で計算

※実運用は、事業者の報告に準じて操縦者1名、2機、30回/日（365日稼働、10,950回/年）を適用

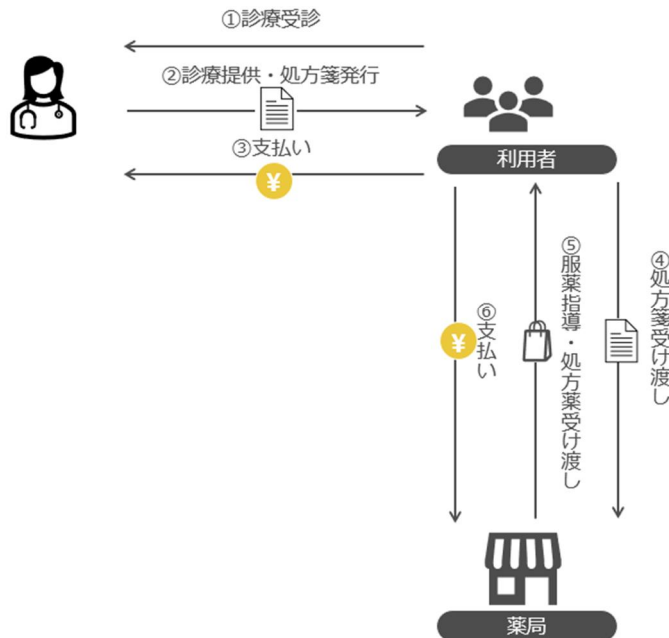
※実運用は、事業者の報告に準じて初期費用、システム利用料は半額、地上配送ロボット完全無人化と仮定

図7 各配送方法の年間配送回数1回あたりのコスト比較（円/回）

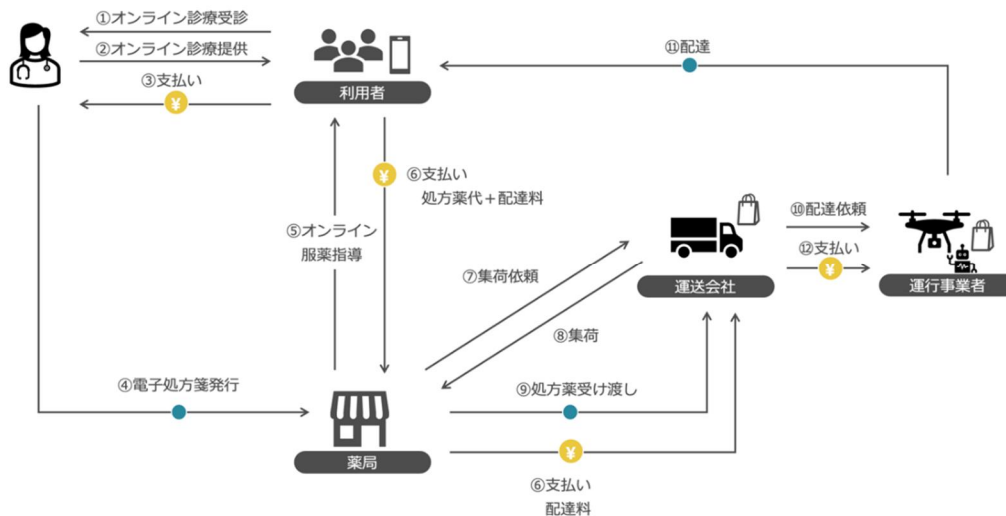


②-2 事業の継続性確保が可能なビジネスモデルとサービス提供方法

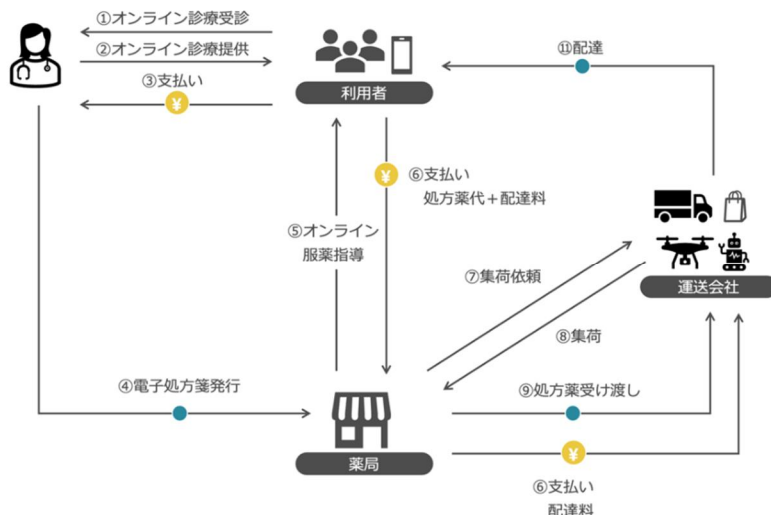
■既存方法



■実証時



■実運用時



③CO2 排出量削減効果

トラックによる配送において積載する重量の25%をドローンによる配送に代替したと仮定し、年間CO2排出量を算出したところ、配送方法の代替によって、CO2排出量は約半分となる結果となった。

事業実施前のCO2排出量	11.82	t-CO2 / 年
事業実施後のCO2排出量	5.27	t-CO2 / 年
CO2削減量	6.55	t-CO2 / 年
CO2削減率	55.4	%

④4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）の観点における課題と想定解決策

制度面においては規制緩和により改善の余地があるものの、今回の実証では、レベル3飛行の許可承認設定のハードルが上がっていることに加えて当初予定の実証を実施する十分な期間がないこと、レベル4飛行の基準を満たすために多額のコストを要することが要因となり、手続きの内容や工数について検証ができなかった。また、

将来的に遠隔操縦を行う場合、プライバシーへの配慮を含め、安全面・技術面において課題が生じる可能性が検出された。

➤ 事業面

実証での検証項目	採算性の確保
実証での取組と結果	・モニター参加者へのヒアリングおよびアンケートを行い、医薬品の無人配送サービスのニーズ、負担可能な配送料について確認した。医薬品の無人配送サービスのニーズは一定程度あることを確認できたが、負担可能な配送料については500円までを希望する意見が多かった。
今後の課題	・ドローン機体の普及・量産化による初期費用の削減 ・オンライン服薬指導との組み合わせによる付加価値の向上

➤ 技術面

実証での検証項目	LTE電波健全度の把握
実証での取組と結果	・事前に電波調査を実施し、問題ないことを確認した。 実証実験の2日目までは問題なかったが、実証実験当日のみLTE電波健全度が原因で自律飛行のプログラム送信およびテレメトリーのモニター監視が不可となった。離陸予定時刻がお昼の時間帯であり、LTE携帯電波基地局の余裕度が低下したためと予想される。 単純にドローンを飛行させてLTE通信に問題がないかどうかの事前検証だけでは不足していることが判明した。
今後の課題	・調査する時間帯や頻度の拡大（例：1時間毎） ・ドローン飛行以外の電波調査方法の検討 ・専用周波数帯導入の検討

実証での検証項目	自動着陸精度
実証での取組と結果	・実証時に使用するドローンポートサイズ(2m×2m)よりも小さい1m×1mサイズのマーカーで事前検証を行い、問題ないことを確認した。 ・より難易度の高い条件で事前検証を行っていたため、実証期間中は安心して自動着陸を実行できた。
今後の課題	-

実証での検証項目	地上配送ロボットの走行ルート作成・メモリ機能の精度（マンションでの動作実績の取得）
実証での取組と結果	・事前現場検証を2回実施、問題なくルートの記憶および自動走行ができることを確認した。 ・実証実験期間中も問題なくレーザーキャナーによる周辺画像記録により、自動走行を実施できた。
今後の課題	-

➤ 制度面

実証での検証項目	レベル4飛行にかかる費用、レベル3の許可承認申請のハードル
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> レベル4飛行にかかる費用は、見積書の限り3日間で1,500万円以上かかるため、容易に取り組める状況にない。 また、レベル3の飛行について、機体認証なし・一等無人航空機操縦士資格なしの場合、以前と比較して許可承認申請のハードルが上がってしまっている現状の中、当初予定の実証を実施する十分な期間がなく、手続きの内容や工数についての検証ができなかった。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> レベル3、4における規制緩和、申請の簡易化 実証事業等による検証費用の補助 鉄道横断の手続きに必要とされる内容や必要工数の確認

実証での検証項目	地上配送ロボットの屋外走行に必要な許可承認
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> 警察への確認により、民地であっても歩道との境界線がなく、かつ第三者が容易に侵入できる場所については歩道と見なされる可能性があり、道路性を排除する必要があることが判明した。 社会実装には遠いが、物理的に道路性を排除したことで手続きや審査が不要となり、時間節約に繋がった。 万が一のための手動介入のできる操縦者の他に、先導者と後方監視者の2名を補助者として配置せざるを得ず、コスト増となってしまった。
今後の課題	地上配送ロボットの屋外走行のためのガイドラインの策定

➤ 社会受容性

実証での検証項目	住民からのドローンの騒音・プライバシー等苦情や安全性に対する不安意見の可能性
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> マンション理事会にて事前の実証実験概要の説明および協力要請を実施した。また、マンション内電子掲示板に実証実験の日付・時間・場所等の注意喚起を実施した。結果、クレーム等一切なく終えることができた。
今後の課題	-

実証での検証項目	飛行経路下の公園の第三者立入管理
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> 千葉西警察署と協議の結果、飛行経路下の公園300mの両端に三角コーン設置、補助者は肉声の届く距離内で配置の要請を受けた。 要請に従い実施した結果、公園敷地に三角コーン120個・補助者4名の配置が必要となり、想定以上に経費が発生した。
今後の課題	補助者を削減するための、警察や自治体等の協力

(4) 中津川市を舞台とした編隊飛行によるドローンと自動配送ロボットを連携したラストワンマイル配送の実証実験

①実証結果概要

陸上輸送が困難な山間部への商品配送の実装を目的として、複数機のドローンを用いた編隊飛行を行い、編隊飛行による輸送能力向上について検証を行った。3機の中型ドローンを用いた編隊飛行、ドローンポートと一体化した自動配送ロボットへの直接着陸と自律走行、自治体とコンソーシアム各社との連携による共同推進体制の構築といった成果が得られた。「ラストワンマイル」の省人化・無人化について、ドローンの自動配送ロボットへの自動着陸の検証は、安全面を優先したため今回は実施できなかった。

②コスト分析

ドローンを用いた新規配送方法による配送コストは、事業者より受領した情報に基づく、実運用時において1対多運航を想定し、操縦者2名体制で3機運航する場合において、年間コストは約13,610千円、1回あたりの配送コストは既存の配送方法の3倍以上かかる試算となった(表6、図8)。1対多運航のn=20においても1回あたりの配送コストは既存方法の約1.3倍かかる試算となった。

ビジネスとして成立するためには、既存の車両による配送が困難な地域への適応や、他の業者との共同配送、往路の荷物の運搬に加えて、復路においても回収等を行うといったサービスを検討する必要がある。

②-1 コストおよび利益の比較

表6 各配送方法におけるコスト比較(千円/年)

費目		配送方法				
		既存 車両	ドローン			
			実証	実運用	多運航	
n=10	n=20					
初期費用	車両/機体		1,800	1,800	6,000	12,000
	地上配送ロボット		660	660	660	660
ランニング コスト	燃料費/電気代		500	500	1,667	3,333
	システム利用料		3,000	3,000	3,000	3,000
	通信費		1,790	1,790	1,790	1,790
	車両/機体保守費		540	540	1,800	3,600
	機体保険料		720	720	2,400	4,800
	地上配送ロボット保守費		100	100	100	100
	地上配送ロボット保険料		260	260	260	260
人件費	ドライバー/操縦者		19,080	2,120	2,120	2,120
	補助員、監視員等		254,400	2,120		
合計		1,850	282,850	13,610	19,797	31,663

※サプライチェーンにおける配送コストのため、売上は発生しないものとして計算

※既存の配送方法は、事業者は民間輸送会社が行う場合を想定しているため、合計額のみ使用し、下の1回あたりのコスト算出においてはランニングコストとして扱う

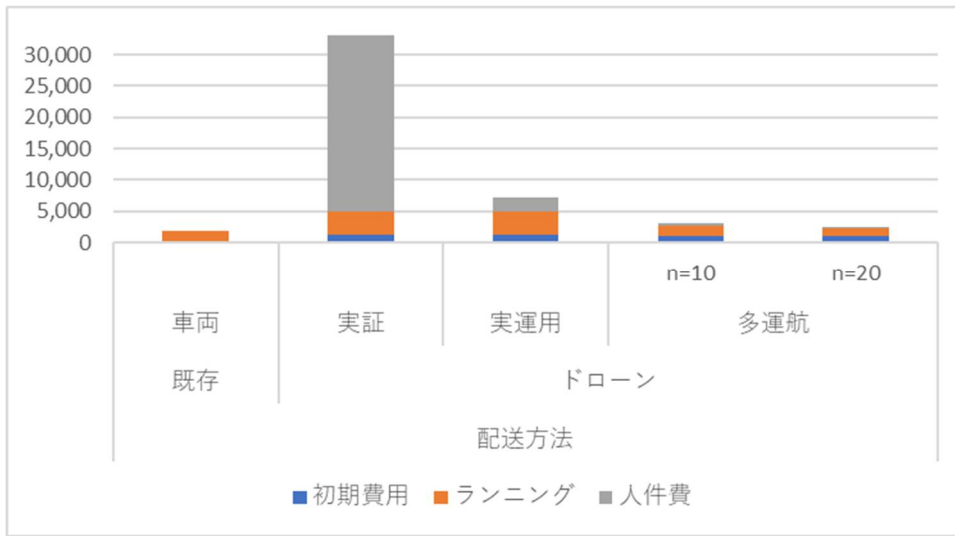
※配送回数は、既存は1,000回、実証は3機、3回/日(212日稼働、1,908回/年)で計算

※実運用は、事業者の報告に準じて操縦者2名、3機、3回/日(212日稼働、1,908回/年)を適用

※多運航は、初期費用、システム利用料、地上配送ロボットについては実運用と同条件を適用し、操縦者1名として算出

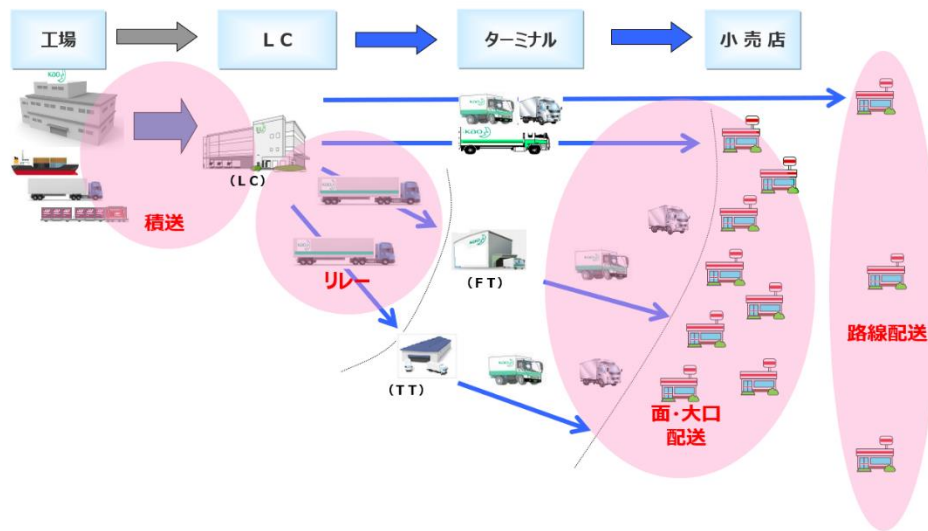
※地上配送ロボットの数は、最大ペイロード（約 120kg）とドローンのペイロード（約 5kg）を用いて、地上配送ロボット 1 台あたりドローン 24 機分の荷物を配送できると仮定

図 8 各配送方法の年間配送回数 1 回あたりのコスト比較 (円/回)

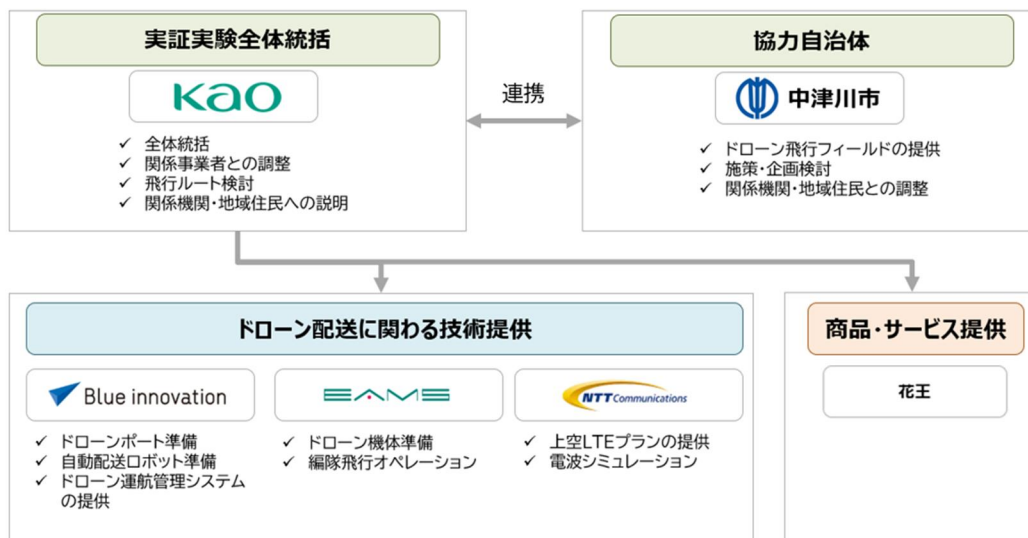


②-2 事業の継続性確保が可能なビジネスモデルとサービス提供方法

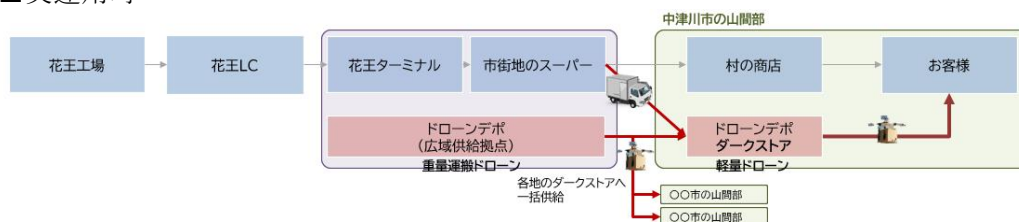
■ 既存方法



■実証時



■実運用時



③CO2 排出量削減効果

既存の陸上輸送（3tトラック）と同等の、往復80kmの距離を3tの荷物の一部をドローンで配送する場合、約70.8%のCO2排出量が削減できるという結果になった。既存の陸上輸送と同等の配送量をドローンで配送する場合、現在のペイロードでは完全代替は困難である点に留意する必要がある。

事業実施前のCO2排出量	6.5	t-CO2 / 年
事業実施後のCO2排出量	1.9	t-CO2 / 年
CO2削減量	4.6	t-CO2 / 年
CO2削減率	70.8	%

④4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）の観点における課題と想定解決策

制度面を遵守するために生じるコスト増については、レベル4への規制緩和や、本実証において確立した編隊飛行技術、自動配送ロボットへの直接着陸の実現により輸送効率向上が見込まれるため、緩和できる余地がある。また、初期投資の抑制という点においては、機体やバッテリーの性能向上によるコスト削減も必須である。

➤ 事業面

実証での検証項目	ラストワンマイルの省人化・無人化
実証での取組と結果	・ドローンの自動配送ロボットへの自動着陸を検討したが、安全性を優先し、本実証においては検証することができなかった。
今後の課題	・編隊飛行における自動配送ロボットへの自動着陸の検証

	・QR コード読み取りの機材や自動ウインチなど着陸時のオペレーションを簡略化する仕組みの検討
--	------------------------------------------------

➤ 技術面

実証での検証項目	複数機の自動飛行技術
実証での取組と結果	・編隊飛行により、群制御による複数機での一括輸送が可能であることが分かったが、着陸時はマニュアルでの操縦が必要であった。
今後の課題	・複数機の自動飛行を制御するシステム開発 ・ドローン同士の接触リスク回避

➤ 制度面

実証での検証項目	飛行高度や有人地帯での自律飛行
実証での取組と結果	・レベル4対応の機体認証取得済ドローンの機種が限定的であること、社内においてライセンス取得者を十分に確保することができず、社会実装までに時間を要することが分かったため、経験のあるレベル2、3飛行を優先して実施した。
今後の課題	・申請手続きの短縮化、簡略化

➤ 社会受容性

実証での検証項目	周辺住民のドローンの墜落に対する不安、盗撮の疑い、騒音などの懸念
実証での取組と結果	・周辺住民に対して実証実験の目的や内容の説明会を複数回実施して理解を求め、必要に応じて飛行ルートの変更を行った。 ・ドローンをより身近に感じていただけるよう離発着地点の関係者に対してドローンを利用したワークショップを行った。 ・実証後、ドローンに対して好意的な意見が多数あった。
今後の課題	・自治体や周辺住民との関係維持、継続的な広報活動

(5) 和歌山県日高川町における長距離医薬品配送の実証事業

①実証結果概要

過疎市町村と定義されている日高川町において、災害時における物流網の維持、緊急搬送にも適用することを見据え、ドローンを活用した医薬品の長距離配送と配送ロボットを活用したラストワンマイル配送の実証実験を通じた有効性の検証を行い、輸送物の品質担保や顔認証による受領者の本人確認の有効性、ドローンと配送ロボットの位置情報把握の有効性等について確認した。また、機体の選定やサービス提供者目線を考慮したオペレーションの簡易化など、継続的な事業運営に必要な課題が見出された。

②コスト分析

ドローンを用いた新規配送方法による配送コストは、事業者より受領した情報に基づく、実運用においてレベル4を想定し、操縦者1名体制で1機運航する場合に年間約10,000千円となり、既存の配送方法と比較して大幅にコストがかかる試算となった(表7)。1対多運航を導入した場合、n=10において1回あたりの配送コストは、既存方法と同程度まで下げられる試算となった(図9)。

コスト増の要因として、本実証で取り扱う配送物が医薬品であるため、配送中の温度管理やセキュリティ向上のためのAI顔認証ソフトウェアの使用が挙げられる。配送コストの削減においては、ドローン機体の普及等による低コスト化と同時に、配送物の管理に必要なコストを下げる取組みも必要である。

また、配送料に関しては、本実証では780円/回と設定されていたが、配送物、配送時間、サービス等の付加価値により配送料を値上げできる可能性はあると考えられる。

②-1 コストおよび利益の比較

表7 各配送方法におけるコスト比較 (千円/年)

費目		配送方法				
		既存 車両	ドローン			
			実証	実運用	多運航	
n=10	n=20					
初期費用	車両/機体	312	1,600	1,600	16,000	32,000
	自動配送ロボット		1,300	1,300	1,300	1,300
	走行地図		820	820	820	820
ランニング コスト	燃料費/電気代	240	15	15	150	300
	システム利用料		2,144	2,144	2,340	2,558
	車両/機体保守費		920	920	3,800	7,000
	機体保険料		1,480	1,480	2,760	4,520
	積荷保険料		20	20	200	400
人件費	ドライバー/操縦者	213		1,656	1,656	1,656
	補助員、監視員等		11,261			
合計		765	19,560	9,955	29,026	50,554
売上		0	215	215	2,150	4,300
利益		△ 765	△ 19,345	△ 9,740	△ 26,876	△ 46,254

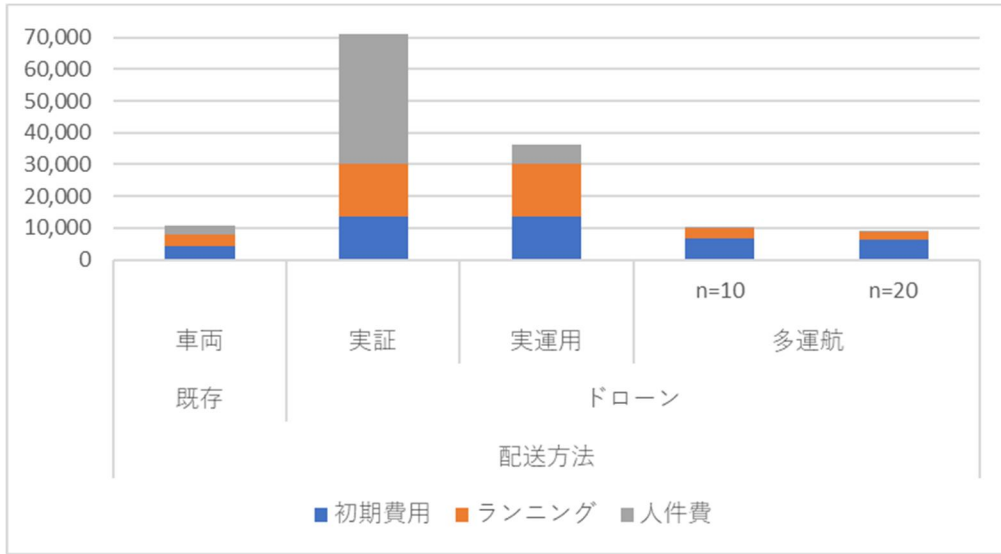
※配送回数、事業者の報告に準じて既存方法は71回/年で計算

※実証と実運用は、事業者の報告に準じて操縦者1名、1機、276回/年を適用

※多運航は、初期費用、システム利用料、自動配送ロボットについては実運用と同条件を適用し、操縦者1名として算出

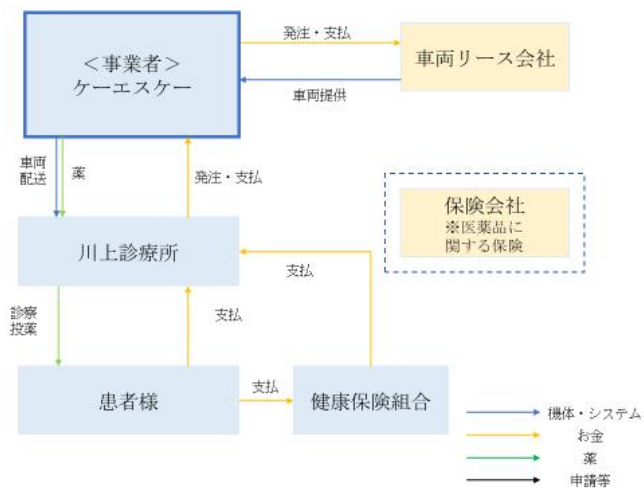
※自動配送ロボットの数は、最大ペイロード(約50kg)とドローンのペイロード(約1kg)を用いて、地上配送ロボット1台あたりドローン50機分の荷物を配送できると仮定

図9 各配送方法の年間配送回数1回あたりのコスト比較（円/回）

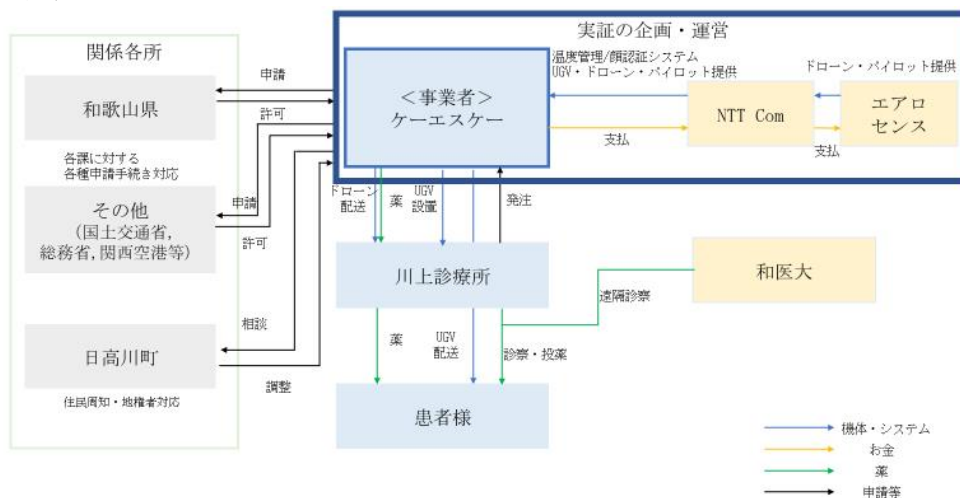


②-2 事業の継続性確保が可能なビジネスモデルとサービス提供方法

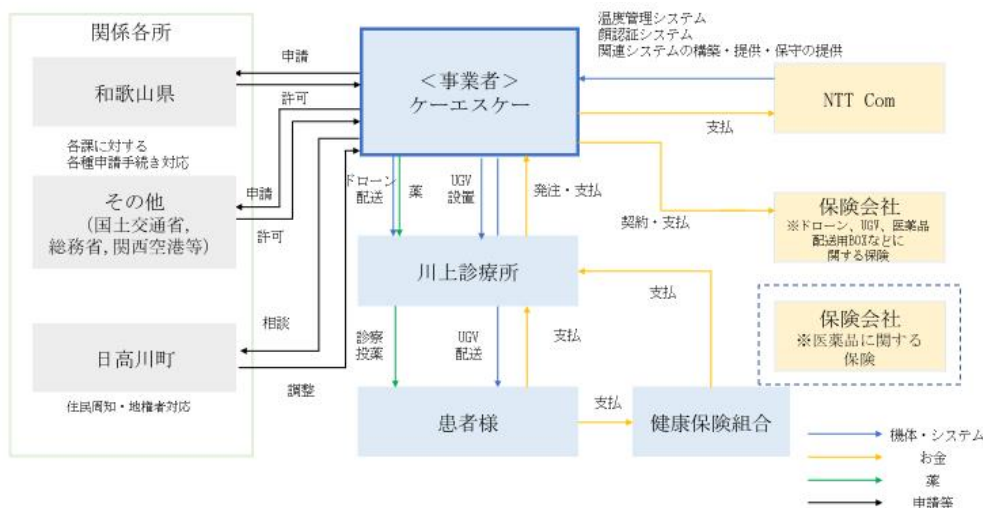
■既存方法



■実証時



■実運用時



③CO2 排出量削減効果

事業実施前においては、自動車による医療品配送回数の年間実績を用いて CO2 排出量を算出、事業実施後においては、年間実績の重量をドローン・配送ロボットによる配送によって配送可能な重量で割ることにより年間配送回数を算出し、CO2 排出量を算出した。自動車による配送をドローン・配送ロボットによる配送に置換することにより、CO2 の削減に寄与するという結果が得られたが、時間的なメリット以外に、重量・容積や配送料といったコストメリットが見出されない限り、完全な代替は難しいと考えられる。

事業実施前の CO2 排出量	0.44	t-CO2 / 年
事業実施後の CO2 排出量	0.06	t-CO2 / 年
CO2 削減量	0.38	t-CO2 / 年
CO2 削減率	86.36	%

④4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）の観点における課題と想定解決策

ドローンによる配送では、平時における継続的な事業運営という面では、収益性に課題があり、人件費の削減や機体性能の向上、関係機関との調整や飛行申請等の簡略化によるコスト削減は必須である。また、ドローン配送による付加価値を向上させるためには、配送時間短縮のメリットを生かしつつ、医薬品を安全に安定した品質で配送できる方法を確立する必要がある。

➤ 事業面

実証での検証項目	平時において継続的な事業運営をするための収益性の維持
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配送料について、住民へのアンケートの平均値では780円となったが、今回利用したドローンでは医薬品1箱が限界であり、配送料780円には見合っていない。 ・ ドローンは自動車の約半分の時間で医薬品を届けられることを確認した。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 収益性の維持に必要な配送料の設定 ・ 積載可能重量/容積などドローン機体の性能向上による効率化 ・ 配送時間短縮等の付加価値の創出

➤ 技術面

実証での検証項目	医薬品配送中の品質担保を確実にした上での安全な配送
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事前の現地調査及び机上での電波シミュレーション結果を考慮して、安全に飛行ができると判断した。医薬品の品質担保については、前回の実証実験での経験も踏まえてセンサーを選定し、輸送ボックスに収まる設計を遵守した。 ・ 温度や加速度など医薬品の品質確認に関わるデータをシステム上でリアルタイムに可視化することができた。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ シミュレーションの簡易化 ・ 品質保持にかかるセンサーや梱包等の簡易化

実証での検証項目	受取者本人のプライバシー保護を考慮した個人認証の有効性
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 個人認証については、顔認証ソフトウェアを使って、有効性を確認した結果、顔認証で医療従事者を識別することができた。 ・ ドローンで運ばれた医薬品は配送ロボットに積み替え、約150メートル離れた患者役の元に運搬し、音声通話およびQRコードによる本人確認を経て無事届けられることを確認した。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 個人認証にかかるコスト削減

➤ 制度面

実証での検証項目	航空局・総務省・地権者調整など実施する飛行環境に応じた許認可の取得にかかる工数
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本実証実験における必要な手続きを漏れなく実施し、今回の実証エリアで必要となる手続きの調整先と工数を可視化した。

今後の課題	実証実験を行ったエリア以外における事業の横展開を想定した、必要な手続きや工数の洗い出し
-------	---------------------------------------------

➤ 社会受容性

実証での検証項目	ドローンが発する騒音や墜落による事件・事故などについて周辺住民が苦情や不満を訴える可能性
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・実証実験当日と後日に地域住民へアンケートを実施した。回答者のうち、約 60%からは「不安がない」という回答が得られ、新たな配送方法の導入に期待する声もあったが、約 15%からは「不安に思う」という回答があり、墜落や配達の実証性について懸念が示された。 ・不安の原因として、ドローンの落下、配達の実証性に対する懸念の他、「ガラケーを使うことが困難な高齢者も多いため、本当に使うべき層の高齢者は事業を利用できない」といった意見があった。 ・騒音レベルを測定し、日常生活に影響のない環境音であることを確認した。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・医薬品以外の配送物についての検討 ・高齢者等、スマートフォンの使用が困難な住民を対象とした手段の検討

(6) 地方都市における物流課題解決に向けたドローン・自動配送ロボット連携活用事業

①実証結果概要

レベル4 飛行を想定したルートでレベル2 及び3 飛行を行い、DID 地区外において新聞配達が可能であることが実証された。今回は費用面、飛行許可・申請に要する時間の関係で、本来想定していた DID 地区でのレベル4 飛行の実証はかなわなかったが、電波状況については DID 地区に近い環境で実証を行うことができた。DID 地区におけるレベル4 飛行の実現に向けた、制度面や事業面における課題が見出された。

②コスト分析

ドローンを用いた新規配送方法による配送コストは、事業者より受領した情報に基づく、実運用において1 対多運航を想定し、操縦者1 名体制で10 機運航する場合に年間約 852 千円となり、黒字化が見込める試算となった(表 8)。既存の配送方法と比較すると、1 回あたりの配送コストは約3 倍になる(図 10)が、150 円/回以下であり、新聞以外の日用品等との共同配送を行うため、ユーザーにとっては新聞配達のみよりも利用価値があるといえる。さらに、1 対多運航の n=20 の場合、1 回あたりの配送コストは既存方法の約2 倍に抑えることが可能と考えられる。

ただし、事業者の想定ではドローンを他の用途でも利用することを想定して機体占有率15 分の2 を設定しコストを算出しているが、配送に要する時間や運航日数に基づき、設定した機体占有率が妥当かどうか考慮すべきである。また、将来的には、新聞配達自体が減少することも見据えて、医薬品等、他の付加価値を有する配送物の取り扱い、配送時間の短縮等により配送料に上乗せすることについても検討する必要がある。ユーザー観点では、先に述べた通り、他の日用品等も同時に配送されるモデルでは利用価値があるといえるが、新聞配達自体の利便性については既存の配送方法と同等かやや劣るため、利用方法の簡易化についても検討が必要である。

②-1 コストおよび利益の比較

表 8 各配送方法におけるコスト比較 (千円/年)

費目		配送方法			
		既存 バイク	ドローン		
			実証	実運用 (n=10)	多運航 n=20
初期費用	車両/機体		800	89	178
	自動配送ロボット		1,200	133	133
	ドローンポート				
ランニング コスト	燃料費/電気代		2	5	10
	システム利用料		1,400	187	187
	車両/機体保守費		300	40	80
	機体保険料		373	43	86
	積荷保険料		390	52	104
	自動配送ロボット保険料		610	75	75
	人件費	ドライバー/操縦者		464	107
補助員、監視員等			464		
自動配送ロボット			580	116	116
その他	既存方法の新聞配達費	16	5	5	5
合計		16	6,588	852	1,081
売上		420	420	896	1,792
利益		404	△ 6,168	44	711

※既存の配送方法は、事業者が大分合同新聞社にヒアリングした新聞配達コストより算出した合計額を使用し、下の配送1回あたりのコスト算出においてはランニングコストとして扱う

※配送回数は、既存、実証は232回/年で計算

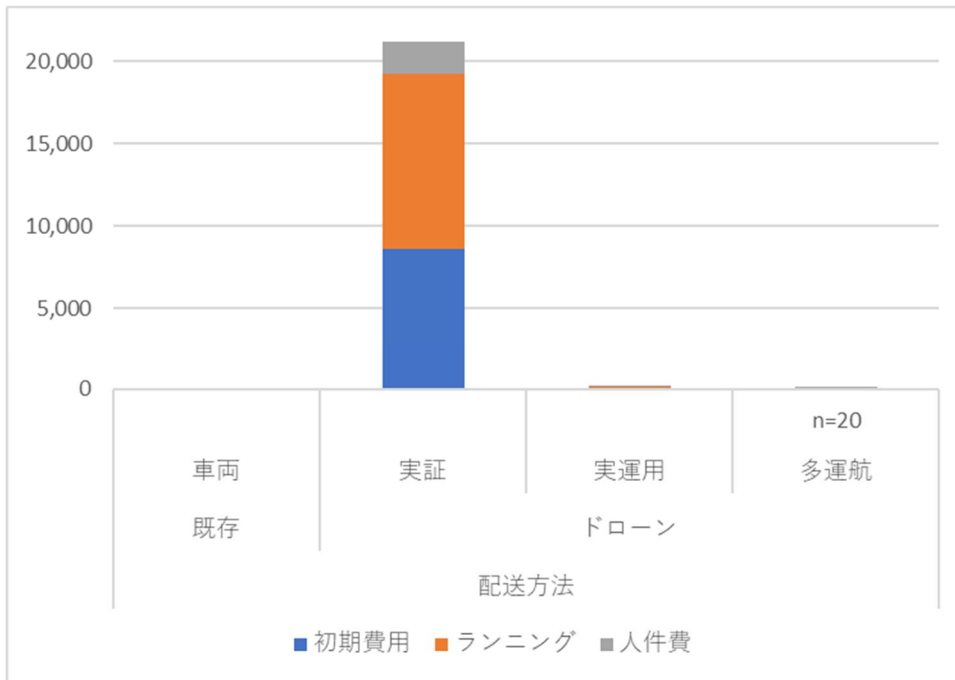
※実証は、事業者の記載に準じて操縦者1名、1機、1回/日×232日=232回/年を適用

※実運用は、事業者の記載に準じて操縦者1名、10機、2回/日×232日×10機=4,640回/年を適用

※実運用は、事業者の記載に準じて、機体を他の目的に使用することも考慮し、機体占有率を30分の4に設定

※自動配送ロボットの数は、最大ペイロード(約50kg)とドローンのペイロード(約1kg)を用いて、地上配送ロボット1台あたりドローン50機分の荷物を配送できると仮定

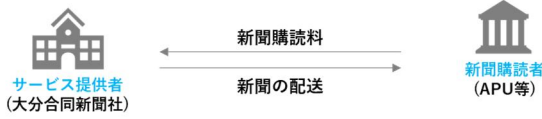
図 10 各配送方法の年間配送回数 1 回あたりのコスト比較 (円/回)



②-2 事業の継続性確保が可能なビジネスモデルとサービス提供方法

■既存方法

○既存の新聞配達配送サービス



- 事業者（サービス提供者）の観点
 - ・ 大分県では過疎・高齢化が進んでおり、新聞配達員不足という課題に直面
- 顧客（新聞購読者）の観点
 - ・ 顧客ニーズはサービス提供者の配送ケイパビリティにかかわらず存在
- 周辺関係者の観点
 - ・ なし
- パートナーの観点
 - ・ なし

○ステークホルダーごとの役割

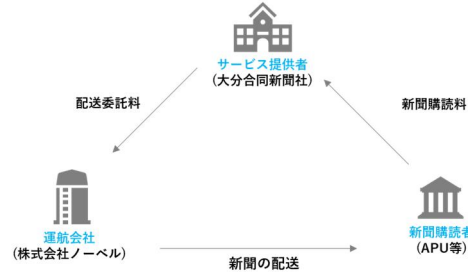
サービス提供者	・ 新聞の配達サービスを提供（自動車・バイク）
新聞購読者	・ サービス提供者へ新聞購読を申し込む

■実証時

パターン1（平時）

パターン1

○平時における新聞配達配送サービス



- 事業者（サービス提供者）の観点
 - ・ 大分県では過疎・高齢化が進んでおり、新聞配達員不足という課題に直面しているが、運航会社に配送を依頼することでリソース不足を解消させる
 - ・ 一方で、ドローン・AGVによる配送は既存の配送方法と比較してコストが高いため、利益の確保は困難
- 顧客（新聞購読者）の観点
 - ・ 顧客ニーズはサービス提供者の配送ケイパビリティにかかわらず存在
 - ・ 顧客によるドローン・AGVによる配送の受入れ体制は構築済み
- パートナー（運航会社）の観点
 - ・ ドローン・AGVの配送ケイパビリティを有する事業者であり、継続的にサービスを提供することが可能
 - ・ パイロット・補助者に係る人件費および機体等の設備投資費のコストが大きい

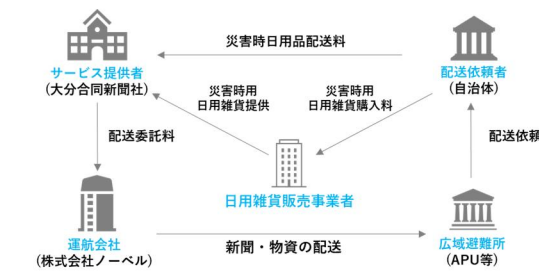
○ステークホルダーごとの役割

サービス提供者	・ 配送サービス、共同運航サービスを行う ・ 配送は運航会社に委託する
運航会社	・ サービス提供者の依頼に応じてドローンの運航を行う
新聞購読者	・ サービス提供者へ新聞購読を申し込む

パターン2（災害時）

パターン2

○災害時における新聞および日用雑貨配送サービス



- 事業者（サービス提供者）の観点
 - ・ ドローン・AGVによる配送は利益を確保できない可能性が高いが、一方で、災害時に利用できるサービスを提供する事は社会的にも意義があり、企業イメージ向上につながる可能性がある
- 顧客（配送依頼者）の観点
 - ・ 災害時に孤立した場所に物資配送する必要がある
 - ・ 自治体として孤立した住民に対して物資を提供するため費用を負担する必要がある
- 顧客（広域避難所）の観点
 - ・ 顧客ニーズはサービス提供者の配送ケイパビリティにかかわらず存在
 - ・ 顧客によるドローン・AGVによる配送の受入れ体制は構築済み
- 周辺関係者（日用雑貨販売事業者）の観点
 - ・ 災害発生時に自治体から要請し、要請があった場合にはサービス事業者へ物資を輸送する（サービス提供者のプレセンター近くの事業者を想定）。
- パートナー（運航会社）の観点
 - ・ ドローン・AGVの配送ケイパビリティを有する事業者であり、継続的にサービスを提供することが可能
 - ・ パイロット・補助者に係る人件費および機体等の設備投資費のコストが大きいですが、一方で、災害時に利用できるサービスを提供する事は社会的にも意義があり、企業イメージ向上につながる可能性がある

○ステークホルダーごとの役割

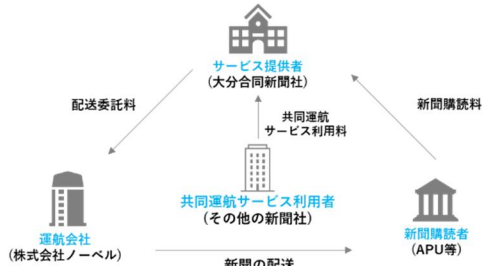
サービス提供者	・ 配送サービス、共同運航サービスを行う ・ 配送は運航会社に委託する
運航会社	・ サービス提供者の依頼に応じてドローンの運航を行う
配送依頼者	・ サービス提供者へ配送依頼を行う
広域避難所	・ 災害時に配送依頼者(自治体)へ配送依頼を行う
日用雑貨販売事業者	・ 配送依頼者(自治体)のニーズに応じて日用雑貨を販売する

■実運用時

パターン1 (平時)

パターン1

○平時における新聞配達配送サービス



※共同運航サービスとは大分合同新聞社以外の新聞社や物流事業者がドローン配達サービスを利用して物品を配送するサービスのことである

○ステークホルダーごとの役割

サービス提供者	<ul style="list-style-type: none"> 配送サービス、共同運航サービスを行う 配送は運航会社に委託する
運航会社	<ul style="list-style-type: none"> サービス提供者の依頼に応じてドローンの運航を行う
新聞購読者	<ul style="list-style-type: none"> サービス提供者へ新聞購読を申し込む
共同運航サービス利用者	<ul style="list-style-type: none"> ドローン配達サービスを利用したい場合にサービス提供者へ発注する

■事業者（サービス提供者）の観点

- 大分県では過疎・高齢化が進んでおり、新聞配達員不足という課題に直面しているが、運航会社に配送を依頼することでリソース不足を解消させる
- 実証時で想定していたビジネスモデルではコスト面の課題が生じていたが、以下の3点がコスト面の課題に寄与すると思料

- ドローン・AGVの利活用が進み配送回数が増加することによる配送あたりコストの低減
- ドローン飛行条件の緩和に起因する補助者人員の省人化による人件費の削減
- 実証実験の施行回数が増加し、ナレッジ蓄積および開発技術が進歩することで、機体の量産化、機体単価が低価格化が進む

■顧客（新聞購読者）の観点

- 顧客ニーズはサービス提供者の配送ケイパビリティにかかわらず存在
- 顧客によるドローン・AGVによる配送の受入れ体制は構築済み

■周辺関係者（共同運航サービス利用者）の観点

- ドローンの余剰ペイロードを活用し、共同運航を行う（サービス提供者以外の新聞社を想定）
- Ph2と比較して様々なパートを開拓し、配送物資の種類が充実する（日用品等）

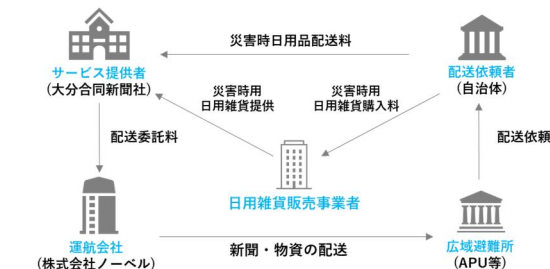
■パートナー（運航会社）の観点

- ドローン・AGVの配送ケイパビリティを有する事業者であり、継続的にサービスを提供することが可能
- パイロット・補助者に係る人件費および機体等の設備投資費のコストが大きい

パターン2 (災害時)

パターン2

○災害時における新聞および日用雑貨配送サービス



○ステークホルダーごとの役割

サービス提供者	<ul style="list-style-type: none"> 配送サービス、共同運航サービスを行う 配送は運航会社に委託する
運航会社	<ul style="list-style-type: none"> サービス提供者の依頼に応じてドローンの運航を行う
配送依頼者	<ul style="list-style-type: none"> サービス提供者へ配送依頼を行う
広域避難所	<ul style="list-style-type: none"> 災害時に配送依頼者(自治体)へ配送依頼を行う
日用雑貨販売事業者	<ul style="list-style-type: none"> 配送依頼者(自治体)のニーズに応じて日用雑貨を販売する

■事業者（サービス提供者）の観点

- ドローン・AGVによる配送は利益を確保できない可能性が高いが、一方で、災害時に利用できるサービスを提供する事は社会的にも意義があり、企業イメージ向上につながる可能性がある

■顧客（配送依頼者）の観点

- 災害時に孤立した場所に物資配送する必要がある
- 自治体として孤立した住民に対して物資を提供するため費用を負担する必要がある

■顧客（広域避難所）の観点

- 顧客ニーズはサービス提供者の配送ケイパビリティにかかわらず存在
- 顧客によるドローン・AGVによる配送の受入れ体制は構築済み

■周辺関係者（日用雑貨販売事業者）の観点

- 災害発生時に自治体から要請し、要請があった場合にはサービス事業者へ物資を輸送する（サービス提供者のプレスセンター近くの事業者を想定）。

■パートナー（運航会社）の観点

- ドローン・AGVの配送ケイパビリティを有する事業者であり、継続的にサービスを提供することが可能
- パイロット・補助者に係る人件費および機体等の設備投資費のコストが大きい、一方で、災害時に利用できるサービスを提供する事は社会的にも意義があり、企業イメージ向上につながる可能性がある

③CO2 排出量削減効果

事業実施前においては、原付バイクおよび軽自動車による配送を夏季と冬季に分けて算出、事業実施後においては、ドローンと AGV による CO2 排出量を算出した。事業実施後の数値には、荒天時に既存の方法により配送する場合（年間 232 回のうち、122 回）の CO2 排出量も含まれている。

事業実施前の CO2 排出量	0.38	t-CO2 / 年
事業実施後の CO2 排出量	0.20	t-CO2 / 年
CO2 削減量	0.18	t-CO2 / 年
CO2 削減率	48.3	%

④4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）の観点における課題と想定解決策

主な課題として、飛行許可・承認にかかる時間的コスト（レベル 3.5 の解禁により短縮されたが、本実証では検証できなかった）や一等無人航空機操縦資格では実運用に対応するための教育が不十分であるといった、制度面・技術面に関するものが挙げられた。事業面においては AGV を含むコストについて課題は認識されているが、今回の実証では検証できなかったため、引き続き検討が必要である。

➤ 事業面

実証での検証項目	ドローン、AGV の価格
実証での取組と結果	・コストに関して、シミュレーション上では、量産化による価格の低下や、最大積載容量の増加による効率化等の解決策が考えられるが、本実証では検証できなかった。
今後の課題	・機材コストについて、技術や世間の需要を見ながら検証を継続する必要がある。

➤ 技術面

実証での検証項目	霧により視界が悪い場合や雨天時、強風時
実証での取組と結果	・荒天時についてはドローン・AGV とともに運航出来ない事が分かった。
今後の課題	・ドローン・AGV の耐風・耐水性能向上

実証での検証項目	飛行航路上の高圧電線や障害物等への追突による墜落時の火災、停電リスク
実証での取組と結果	・飛行ルート作成前に事前に飛行場所を確認し、実際の鉄塔及び高圧電線の高さを確認し、それらを避けるルートを策定することができた。 ・実際に飛行させる際にも 1 回目の飛行時に周辺に人員を配置し、目視で問題ない事を確認し、安全に飛行させることができた。
今後の課題	・飛行前確認プロセスの簡略化 ・自動で障害物を回避するシステムのドローンへの搭載

実証での検証項目	運航者に求められる技術、必要な教育（運航者は操縦技術だけでなく、リスクアセスメントや緊急時の対応技術等）
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・実運用にあたっては、一等無人航空機操縦資格の内容では、GCS（Grand Control System）の扱い方や、ELS（緊急着陸地点）の設定の仕方等、飛行の際に重視しなくてはならない事項について必要な教育が網羅されていない事が分かった。 ・本実証実験の運航者は物流ケースを想定した目視外飛行の教育を受けており、レベル3飛行を複数回実施していたため、適切にリスクアセスメントを事前に行う事が出来、安全に飛行させることができた。
今後の課題	・ドローン物流の観点における、リスクアセスメントや緊急時の対応技術等、一等無人航空機操縦資格取得に必要な教育内容の見直し

実証での検証項目	電波状況の安定化
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・電波の状況が悪く、飛行計画の転送に時間を要することが分かった。 ・事前に離着陸地点上空でドローンを飛行させることにより電波調査を実施した。その際には複数キャリアの複数端末を使用した。その結果、西念寺及び APU では電波が安全上問題なく使用出来、その際に使用した Wi-Fi の中ではドコモ社の Wi-Fi が最も通信速度が早かった
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・USB を用いるなど、シームレスに PC から機体にデータ転送できるようなドローンの開発 ・通信事業者による基地局の増設等の検討

➤ 制度面

実証での検証項目	飛行許可・承認申請に要する時間コスト
実証での取組と結果	・飛行許可・承認の取得は約2ヵ月要した。
今後の課題	・レベル3.5の解禁による飛行許可・承認申請の期間短縮

➤ 社会受容性

実証での検証項目	飛行時の騒音により近隣住民から苦情が出る可能性
実証での取組と結果	・飛行時の騒音は70~75dbであり、飛行時は静かであったとはいえないが、事前に近隣住民に対して案内文を配る等、理解を求めよう働きかけていたことから苦情は出なかった。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ガイドライン等による具体的な基準値の設定 ・ドローン配送についての理解促進

実証での検証項目	プライバシーの保護（飛行中に第三者が映りこむ可能性）
実証での取組と結果	・映り込みの無いよう、慎重に検討を行い、飛行ルートを選定した。その際には飛行ルート近隣の施設や住民と密に連携し、理解

	を得ることができた。映り込みについて、近隣住民からの苦情はなく、好意的に受け入れられた。 ・映り込みが懸念されたため、一部の場所では飛行させることができなかった。
今後の課題	・画像データのマスクング技術 ・ドローン配送についての理解促進

(7) 越佐海峡ドローン物流実用化実証事業

①実証結果概要

船舶に限定され物流が不安定となっている、新潟港から佐渡島への輸送に、医療や物流の拠点を直接結ぶことのできる物流ドローンを導入し、オンデマンド輸送を実現することを目的として、血液製剤輸送および特産品超速輸送の検証を行った。運航体制や安全対策を構築し、飛行機型 VTOL 機によるレベル3 飛行を実現し、さらに、実装に向けた継続的な連携につながる、上越新幹線や都内高級飲食店との協力関係を構築することができた。

②コスト分析

ドローンを用いた新規配送方法による配送コストは、事業者より受領した情報に基づくと、既存の配送コストと比較して、特産品輸送では約 5 倍、血液製剤輸送では約 38 倍と、新規配送方法による配送コストが既存の配送コストを大幅に上回る結果となった(表 9、10)。特産品輸送の場合は、実運用において 1 対多運航を想定し、操縦者1名体制で5機運航する場合には、1 回あたりのコストは既存方法のコストと同等まで抑えられる(図 11、12)。レベル4 や1 対多運航の導入により、人件費が下がった場合においても、特産品輸送の場合は、新幹線輸送のコストが大きな割合を占めており、トラック輸送等、別の輸送手段を検討する必要がある。特産品輸送、血液製剤輸送のいずれも未だユーザーの観点で現実的な価格設定には届いていないが、血液製剤輸送に関しては、緊急時に短時間で配送できる、といった付加価値により、単価を上げて受け入れられる可能性はある。

②-1 コストおよび利益の比較

<特産品輸送>

表 9 各配送方法におけるコスト比較 (千円/年)

費目		配送方法				
		既存 車両	ドローン			
			実証	実運用	多運航	
n=10	n=20					
初期費用	車両/機体		2,000	2,000	4,000	8,000
ランニング コスト	燃料費/電気代		120	600	1,200	2,400
	システム利用料		840	168	168	168
	車両/機体保守費		400	1,000	2,000	4,000
	機体保険料		400	400	800	1,600
	積荷保険料		100	500	1,000	2,000
人件費	ドライバー/操縦者		26,400	3,000	3,000	3,000
	補助員、監視員等		52,800			
合計		1,440	83,060	7,668	12,168	21,168

※既存の配送方法は、事業者の報告に準じて、大手物流事業者クール便を使用する場合の運賃を使用（下の1回あたりのコスト算出においては、ランニングコストとして使用）

※配送回数は、既存、実証は3回/日（240日稼働、720回/年）で計算

※実証は、事業者の報告に準じて操縦者1名、補助員1名、監視員1名、1機を適用

※人件費には交通宿泊費も含まれる

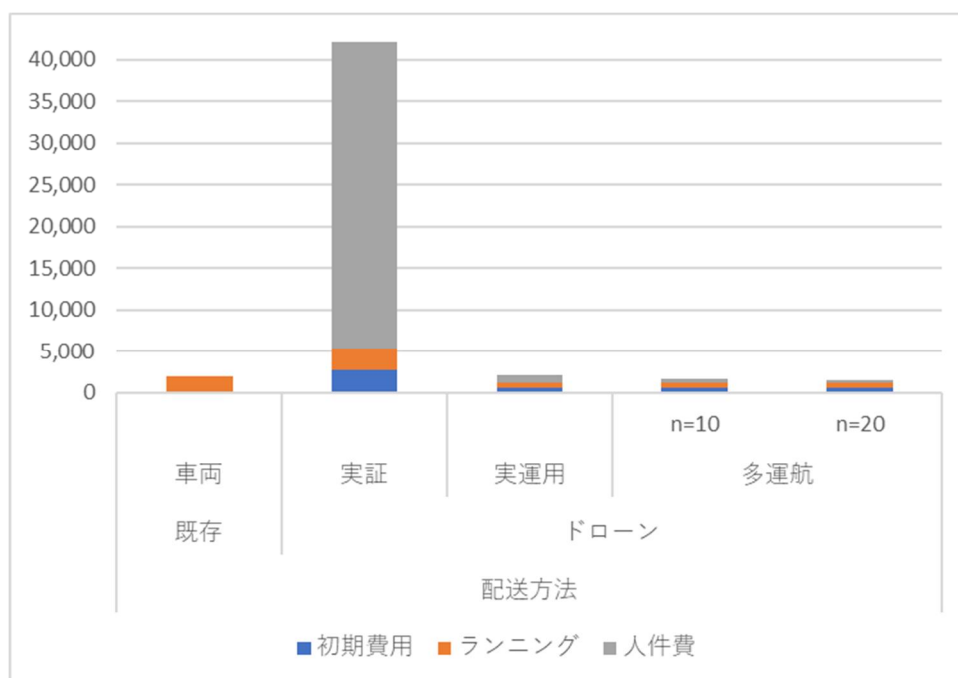
※システム利用料に通信費も含まれる

※多運航は、初期費用、システム利用料については実運用と同条件を適用し、操縦者1名として算出

※実運用は、事業者の記載に準じて、機体価格、システム利用料、機体保険料は5分の1、人件費は10分の1、機体保守費は2分の1、5機を適用

※上記とは別に新幹線12,420千円がかかる点に留意

図11 各配送方法の年間配送回数1回あたりのコスト比較（円/回）



<血液製剤輸送>

表 10 各配送方法におけるコスト比較 (千円/年)

費目		配送方法				
		既存	ドローン			
		車両	実証	実運用	多運航	
					n=10	n=20
初期費用	車両/機体		5,000	5,000	10,000	20,000
	ドローンポート		3,000	3,000	6,000	12,000
ランニングコスト	燃料費/電気代		120	600	1,200	2,400
	システム利用料		840	168	168	168
	車両/機体保守費		1,000	2,500	5,000	10,000
	機体保険料		1,000	1,000	2,000	4,000
	積荷保険料		100	500	1,000	2,000
人件費	ドライバー/操縦者		7,200	3,000	3,000	3,000
	補助員、監視員等		14,400			
合計		420	32,660	15,768	28,368	53,568

※既存の配送方法は、事業者の報告に準じて、大手物流事業者クール便を使用する場合の運賃を使用し、下の1回あたりのコスト算出においては、ランニングコストとして扱う

※配送回数は、既存、実証は1回/日(240日稼働、240回/年)で計算

※実証は、事業者の記載に準じて操縦者1名、補助員1名、監視員1名、1機を適用

※人件費には交通宿泊費も含まれる

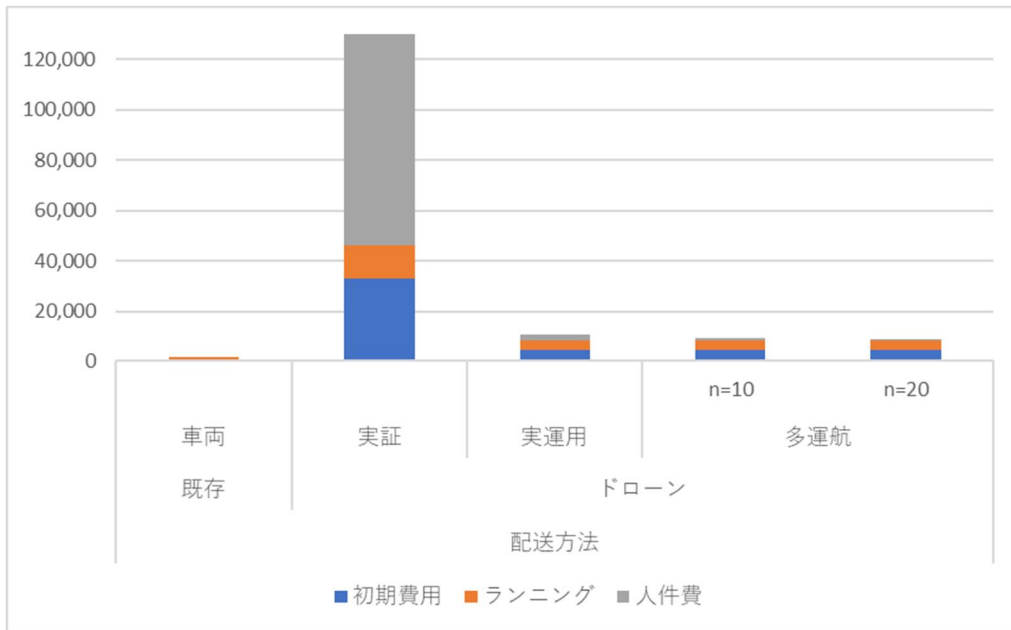
※システム利用料に通信費も含まれる

※多運航は、初期費用、システム利用料、地上配送ロボットについては実運用と同条件を適用し、操縦者1名として算出

※実運用は、事業者の記載に準じて、機体・ドローンポートの価格、システム利用料、機体保険料は5分の1、人件費は10分の1、機体保守費は2分の1、5機を適用

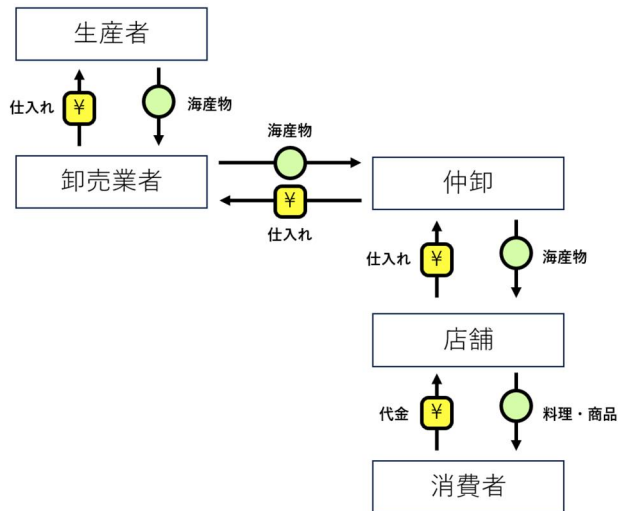
※上記とは別に車両輸送関連に420千円がかかる点に留意

図 12 各配送方法の年間配送回数 1 回あたりのコスト比較 (円/回)

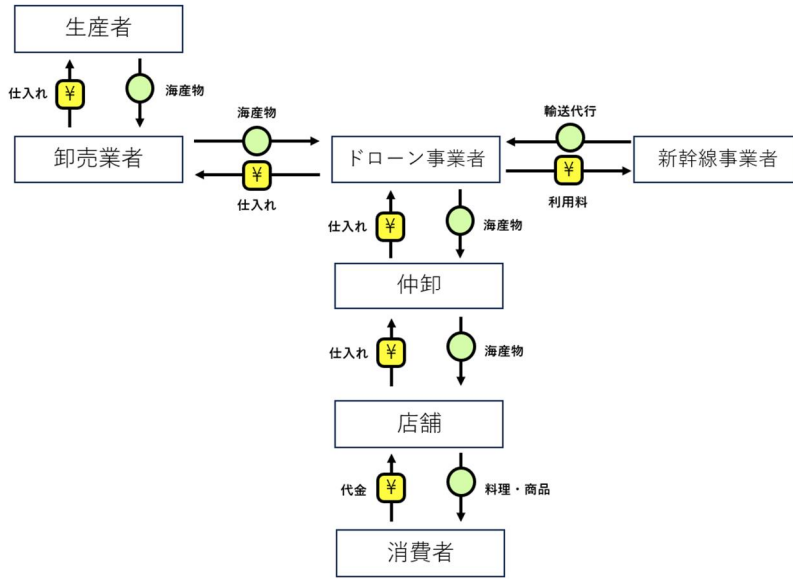


②-2 事業の継続性確保が可能なビジネスモデルとサービス提供方法
 < 特産品輸送 >

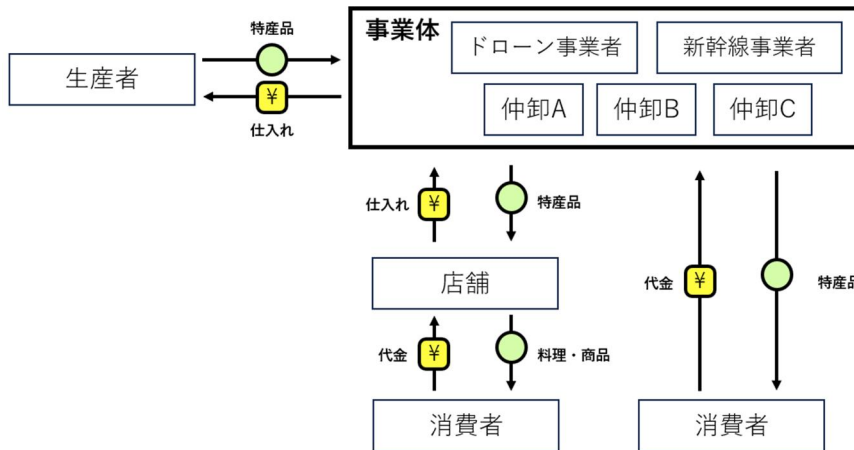
■ 既存方法



■実証時

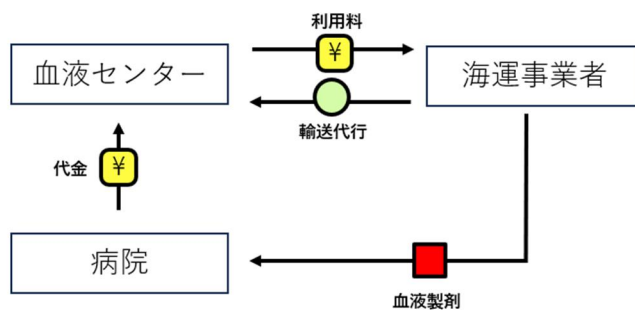


■実運用時

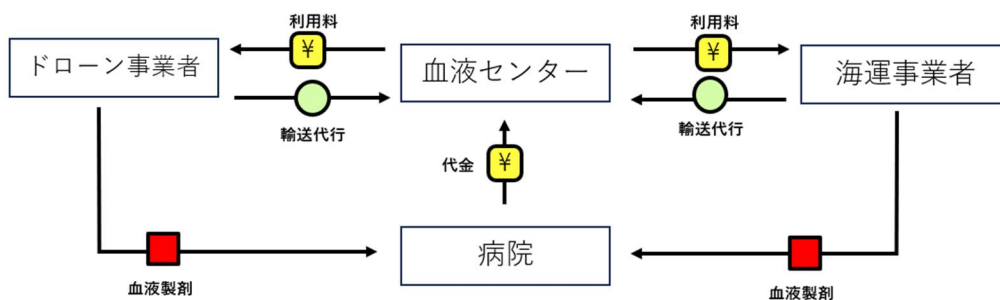


<血液製剤輸送>

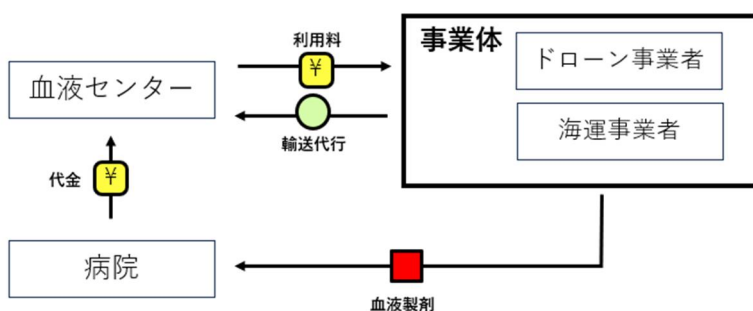
■既存方法



■実証時



■実運用時



③CO2 排出量削減効果

特産品輸送、血液製剤輸送いずれの場合においても、既存の配送方法（主にジェットfoil）の一部をドローンによる配送に置換した場合、以下の通り CO2 の削減に寄与するという結果が得られた。いずれも、既存の配送方法で用いるジェットfoilの輸送総重量に対して 0.1%以下であるため、完全な代替手段にはならず、ジェットfoilでの輸送は継続する点に留意する必要がある。

< 特産品輸送 >

事業実施前の CO2 排出量	2.4	t-CO2 / 年
事業実施後の CO2 排出量	0.37	t-CO2 / 年
CO2 削減量	2.03	t-CO2 / 年
CO2 削減率	84.6	%

< 血液製剤輸送 >

事業実施前の CO2 排出量	6.3	t-CO2 / 年
事業実施後の CO2 排出量	1.4	t-CO2 / 年
CO2 削減量	4.9	t-CO2 / 年
CO2 削減率	77.0	%

④4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）の観点における課題と想定解決策

事業面では、特産品（生鮮品）や血液製剤という、単価の高い輸送品を扱うことで収益性の確保は見込めるものの、機材費や人件費が高額であること、さらに2種の輸送において離発着地点が異なる場合に運用効率が低下するといった課題がある。高収

益化のため、利用客を多く見込める地域を対象とするには、安全基準の緩和や人口密度の特定の精緻化等が有効と考えられる。

➤ 事業面

実証での検証項目	VTOL機を使用した長距離、長時間飛行による効率性の低下
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・新潟⇄佐渡間（約 60 km）の距離に対し VTOL 機を活用したことで、マルチコプターでは到達不可能な飛行距離を飛ばすことができ、サービス提供可能範囲の拡大につながった。 ・1日10時間（日中帯）で3往復の運航が可能ということが分かった。 ・特産品輸送、血液製剤の品質保持に必要な容器等を含めた、100サイズ以上の大型容器が搭載可能であることを確認し、輸送可能な商品の選択肢が増えた。 ・複数の機体を選定したことにより、用途（体積の大きいものを運ぶ、自動切り離し機能を有するなど）に応じた運用を検証することができた。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・高単価な売り上げの確保 ・配送物の多様化、サービス提供範囲の拡大を想定したビジネスモデルの検証

➤ 技術面

実証での検証項目	機体と遠隔操縦者間の通信の常時確保
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・通信品質を測定するスマートフォンアプリを複数利用し、計測と分析の作業効率が高く、利便性の高いアプリを選定した。 ・通信事業者が提供する通信エリアマップでは表示されない、上空の通信状況を直接計測することで、C2 LINK Loss による飛行の中断を未然に防ぐことができ、また飛行の安全性向上にもつながった。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機に搭載可能な小型・軽量の衛星通信モジュールの開発 ・時間帯や気象条件による通信品質の比較

➤ 制度面

実証での検証項目	利用対象となる顧客が多い地域を飛行させる際の機体認証取得のための安全基準
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・人口統計データ検索ツールを使用し、飛行させたいエリアにおいて1kmメッシュの人口密度を特定できたので、機体開発に向けての目標値が明確になった。 ・飛行させたいエリアの人口密度の位置関係が特定できたので、レベル4飛行に向けたルート設計やリスク評価など、ConOps 策定を進める一助となった。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・道路横断場所の通行量の実測 ・鉄道、新幹線の線路横断飛行に関するリスク分析 ・試験飛行 7200 時間の具体的な実施方法と重要部品の調達または開発方法の方針策定 ・新潟駅周辺での飛行をレベル4で実現する場合と、レベル4以

	外で実現する場合のコスト比較
--	----------------

➤ 社会受容性

実証での検証項目	ドローン物流の安全性への懸念の解消
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・2.5m 四方のスペースに設置したドローンポートの中心に、翼幅約2mの機体を正確に着陸させることができた。 ・機体に搭載された、画像認識技術を用いた精密着陸機能により、GPS 誤差やウェイポイントの座標設定の誤差が発生したとしても、自動かつ正確にドローンポート上への位置修正がなされたため、事業者・利用者双方の安心感につながった。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・飛行経路下および周辺住民への機体落下リスク、騒音問題 ・漁場、定置網、農産地への機体落下リスク ・夜間運航時の騒音、照明問題 ・朱鷺など野生動物の生態系への影響

実証での検証項目	運航者と受取人との間の到着時刻や遅延発生時の情報共有手段
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンポートの設置により、着陸地点に荷物の受け渡しのための補助者を配置せずに済むことが確認できた。 ・今回使用したドローンポートは、道路交通法で輸送可能な最大の大きさのため、特殊車両の手配が必要だった。 ・ドローンポート本体と輸送費の合計が約2,500万円となるため、実運用時の採算性確保に向けては人件費の方が安くなる結果となった。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンポートを組み立て式にする等、運搬作業の簡便化 ・ドローンポート本体と輸送費の採算性確保

(8) 愛知県幸田町におけるドローン・自動運転車連携による農産物・買い物支援輸送

①実証結果概要

ドローンと自動運転車の連携によるラストワンマイル配送の効率化に関する検証を行った。将来的な輸送の無人化に向けて、ビジネスモデルとしては道筋を示すことができた他、レベル3.5、レベル4を適用する前提においては費用対効果の優位性を見出すことができ、費用面以外においても地域農家の課題解決に寄与できることを確認した。輸送量の向上や横展開に関して、機体性能の向上や通信インフラ整備、担い手の育成といった課題が見出された。

②コスト分析

ドローンを用いた新規配送方法による配送コストは、事業者より受領した情報に基づくと、実運用においてレベル3.5、レベル4を想定し、操縦者1名体制で1機運航する場合に年間約5,413千円、既存方法の約1.8倍となる(表11)。1対多運航を導入した場合、n=5以上であれば、1回あたりの配送コストは既存方法よりも抑えられ、n=10で約10%、n=20で約15%削減できる試算となった(図13)。

売上・利益について、農家や荷主が自らドローンを利用して運航を行う想定のため、配送料は想定されていないが、ドローンの共同所有や第三者によるサービス提供により配送料をとる等、ビジネスモデルとして成立するようなシステムを構築する必要がある。

②-1 コストおよび利益の比較

表 11 各配送方法におけるコスト比較 (千円/年)

費目		配送方法				
		既存 車両	実証	実運用	多運航	
					n=10	n=20
初期費用	車両/機体		1,600	1,600	16,000	32,000
	自動運転車		500	500	500	1,000
ランニング コスト	燃料費/電気代	243	19	19	190	380
	システム利用料		600	600	600	600
	車両/機体保守費		780	780	7,800	15,600
	機体保険料		42	42	420	840
人件費	ドライバー/操縦者	2,808	3,744	1,872	1,872	1,872
	補助員、監視員等		3,744			
合計		3,051	11,029	5,413	27,382	52,292

※既存と実証は、実運用の1,872回/年を適用

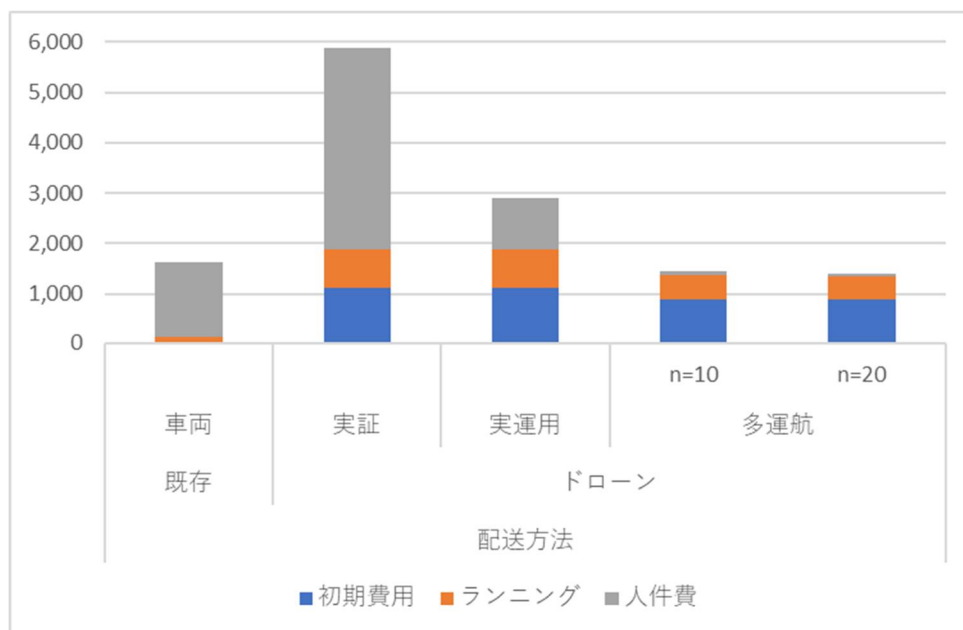
※実運用は、事業者の報告のうち、操縦者1名の場合を適用

※実証は、事業者の報告に準じて、操縦者2名、補助者2名として算出

※多運航は、初期費用、システム利用料については実運用と同条件を適用し、操縦者1名として算出

※多運航時の自動運転車の数は、最大ペイロード(定員4名:1名60kgとして、240kg)とドローンのペイロード(推奨20kg)を用いて、自動運転車1台あたりドローン12機分の荷物を配送できると仮定

図 13 各配送方法の年間配送回数1回あたりのコスト比較 (円/回)



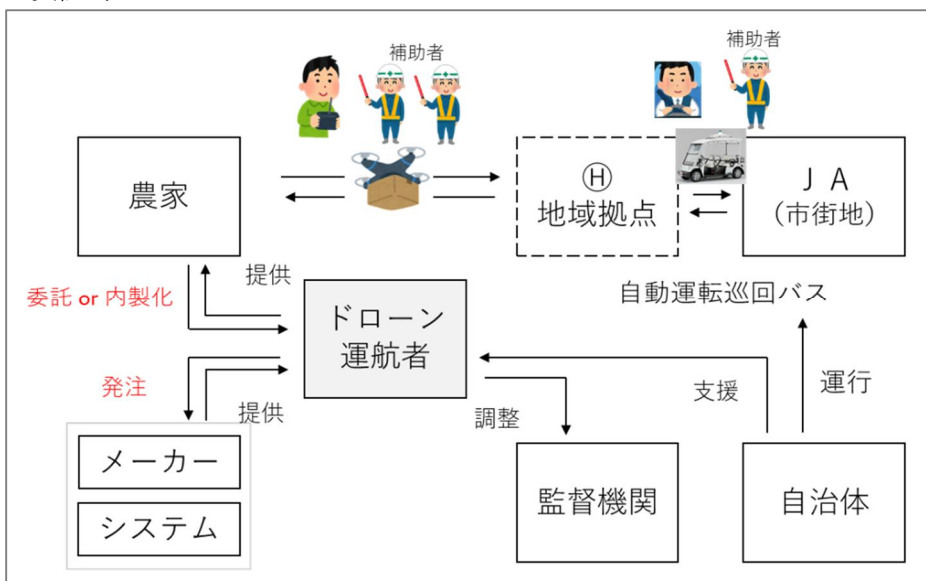
※配送1機1回あたりのコストを算出

②-2 事業の継続性確保が可能なビジネスモデルとサービス提供方法

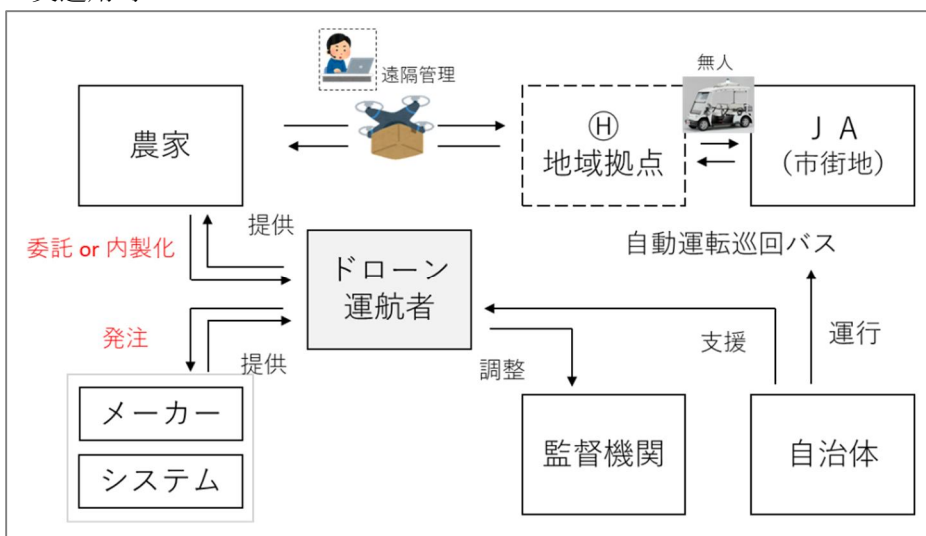
■既存方法



■実証時



■実運用時



③CO2 排出量削減効果

事業実施前においては、軽トラックによる配送、事業実施後においてはドローン・自動運転巡回バス（電動）による配送の CO2 排出量を算出した。年間あたりの回数は同等として算出されているが、輸送効率に差があるため、軽トラックによる配送 1 回を、ドローン・自動運転巡回バスによる配送回数から数十回で換算する必要がある。

ドローン・自動運転巡回バスによる配送 5 回程度で軽トラックによる配送 1 回分の CO2 排出量に相当するため、CO2 排出量削減効果を見出すためには、配送回数の増大は 5 倍程度に抑える必要がある。

事業実施前の CO2 排出量	1.78	t-CO2 / 年
事業実施後の CO2 排出量	0.43	t-CO2 / 年
CO2 削減量	1.35	t-CO2 / 年
CO2 削減率	76	%

④4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）の観点における課題と想定解決策

制度面において、飛行申請や関係者調整にかかる負担、時間的コストに課題はあるが、レベル 3.5 への規制緩和や、自治体との連携により手続きが省略される可能性はある。事業面においては、実証時の飛行方法・飛行体制のままではコスト削減は難しいが、レベル 3.5 やレベル 4 の適用により無人化が実現できれば、人件費を削減できると考えられる。

➤ 事業面

実証での検証項目	運航コストと採算性
実証での取組と結果	・元々の輸送コスト（農家が軽トラで輸送）が大きくないこともあるが、想定より目視外飛行の補助員や道路横断時の補助員の人数が多くなり、人件費は削減できなかった。
今後の課題	・レベル 3.5 やレベル 4 における実施体制の検証 ・ドローンの共同所有や第三者によるサービス提供により配送料を取れるようなビジネスモデルの検討 ・ドローンポートや自動配送ロボット等、新たなモビリティとの連携の検討

➤ 技術面

実証での検証項目	機体性能の向上による輸送対象・範囲の拡大
実証での取組と結果	・中大型機（PD6B）を活用したため、今回の重量（6kg 程度）で 1km 程度の距離は問題無く輸送できた。 ・多少の風（風速 1～3m）は問題無く輸送できた。 ・自動運転車は輸送重量に大幅に余裕があった。
今後の課題	・重量 20kg 以上、距離 2km 以上の飛行の検証 ・雨天や強風といった環境下での飛行の検証

➤ 制度面

実証での検証項目	飛行申請や関係者調整の負担
----------	---------------

実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・自治体の協力を得ながら申請・調整を行ったが、想定より準備期間が短くなったこともあり、レベル3は断念し、補助者を置くレベル2を実施した。 ・土地所有者、道路管理者、警察等から詳細な説明と届出書の提出を求められ、想定より調整に日数を要した。 ・自動運転は県ワンストップセンターを活用し、調整窓口をすぐに紹介してもらえたが、調整自体は上記同様に想定より日数を要した。
今後の課題	・申請手続きの簡易化・省略化

➤ 社会受容性

実証での検証項目	地域住民のドローンへの理解促進
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・農家の方に農産物を提供してもらっただけでなく、ドローン飛行の見学や自動運転車に登場体験を通じて、実証に参加してもらった。各分野を体感してもらえたことで、想定より詳細に感想や課題をフィードバックしてもらえた。 ・その他の地域住民に対しては区長への説明や回覧板等で丁寧に周知し、理解を得た。想定通りのスケジュールで進められた。
今後の課題	・ユーザーとしての興味喚起、需要向上

(9) 平時および災害時における移動式ドローンポートを活用した車両とドローンのラストワンマイル配送の実証事業

①実証結果概要

宅配業務の効率化を目的として、ドローンとドローンポートカーの連携による荷物配送の実証を行い、トラックと並行してドローンが別の配達先に荷物を届けることができるか検証した。システムの活用による安全な飛行とドローンポートカーとの連携方法について確認し、ドローン輸送をトラック輸送の代替として災害時の緊急物資輸送等にも活用できる可能性を見出すことができた。

②コスト分析

ドローンを用いた新規配送方法による配送コストは、事業者より受領した情報に基づくと、実運用において1対多運航を想定し、操縦者1名体制で10機運航する場合に年間約18,000千円となる(表12)が、黒字化するには宅配単価を約700円値上げする必要があるという試算になり、これは現在の単価の約2倍となる。1対多運航において、n=20の場合では、1回あたりの配送コストは現在の約1.2倍に抑えられる(図14)。

全国で宅配便を展開する事業者においては、離島、過疎地、中山間地域への荷物の配送コスト、時間の削減が課題になっており、ドローンの利用により、これらの課題を解決し、配送効率を向上できる可能性はある。さらに、ユーザーにとっても、配送時間の短縮化・柔軟化によりサービスの利便性が向上すると考えられる。また、事業者が想定しているように、災害時の緊急物資輸送の手段としてドローンを利用することは有益であるといえる。

②-1 コストおよび利益の比較

表 12 各配送方法におけるコスト比較 (千円/年)

費目		配送方法			
		既存 車両	ドローン		
			実証	実運用 (n=10)	多運航 n=20
初期費用	車両/機体		548	2,750	5,500
	自動配送ロボット		500	500	500
	ドローンポート				
ランニング コスト	燃料費/電気代		13	130	260
	システム利用料		200	200	200
	車両/機体保守費		25	250	500
	機体保険料		11	108	216
	積荷保険料		2	17	34
人件費	ドライバー/操縦者		7,850	14,039	14,039
	補助員、監視員等		7,850		
その他	ドローン配送以外の配送費		300	300	300
合計		385	17,299	18,294	21,249
売上		452	452	6,508	13,016
利益		67	△ 16,847	△ 11,786	△ 8,233

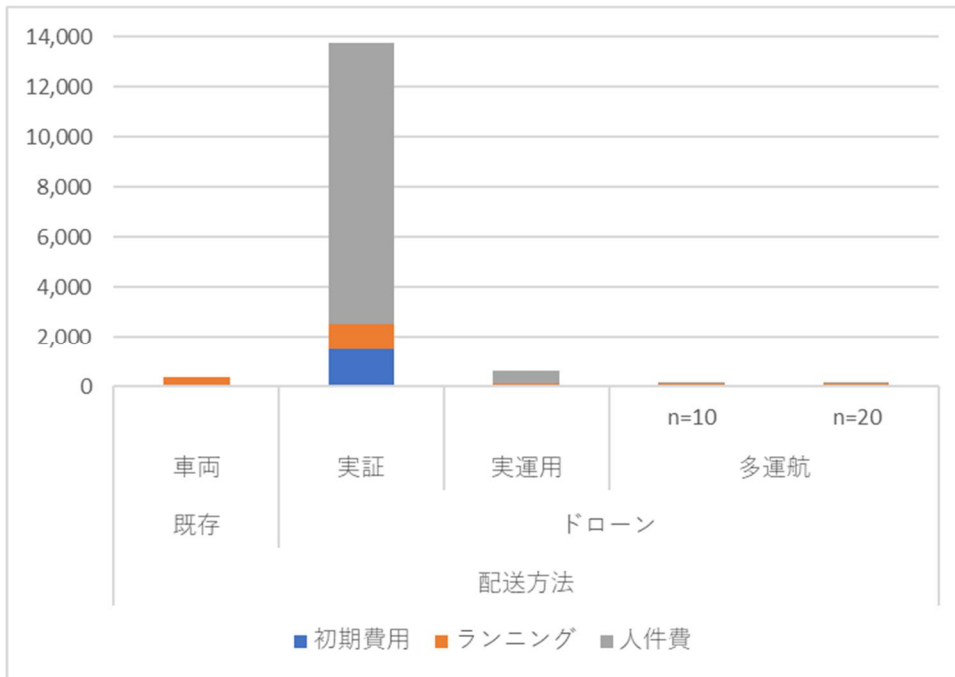
※既存方法の配送回数は、実証の配送回数と同じ 698 回/年と仮定

※実証の機体と人件費以外は、実運用のコストを適用

※実運用は、事業者の報告に準じて操縦者 1 名、10 機、配送回数 (698 個【自社宅配】)+(325 個【他社宅配】)+(100 個【地域内その他配送】)×12 カ月=13,476 回/年を適用

※自動配送ロボット、ドローンポートは多運航の際も同数と仮定

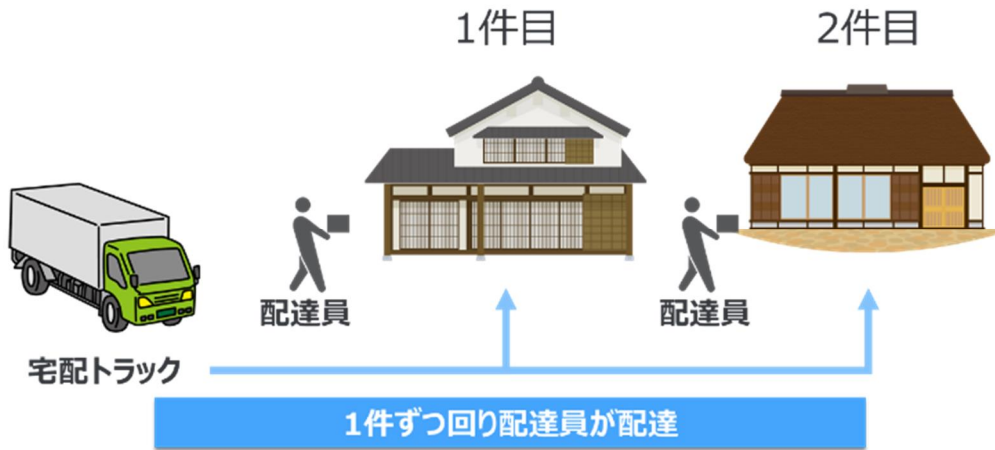
図 14 各配送方法の年間配送回数 1 回あたりのコスト比較 (円/回)



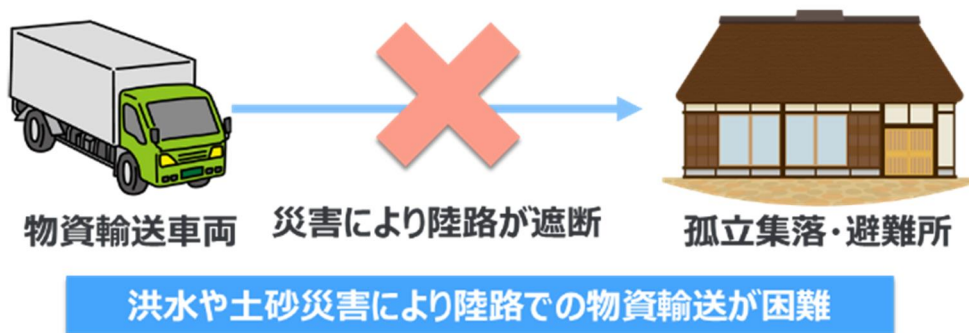
②-2 事業の継続性確保が可能なビジネスモデルとサービス提供方法

■既存方法

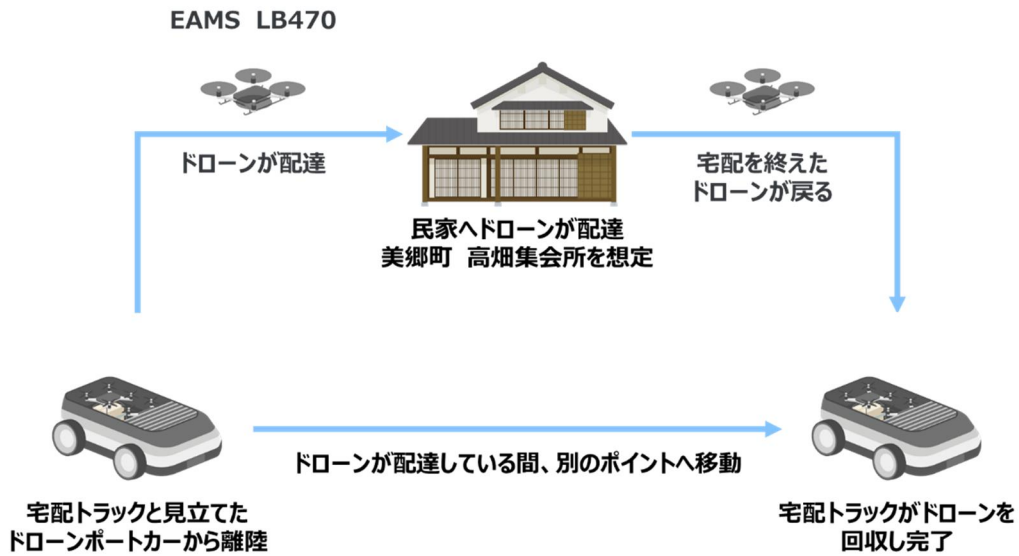
配達先が隣り合わず、山を越えた先、別の尾根といった場合には相当な時間が掛かる事もある。



陸路が遮断された状況の他、離島など現状でも陸路で辿り着けない場所も想定される。

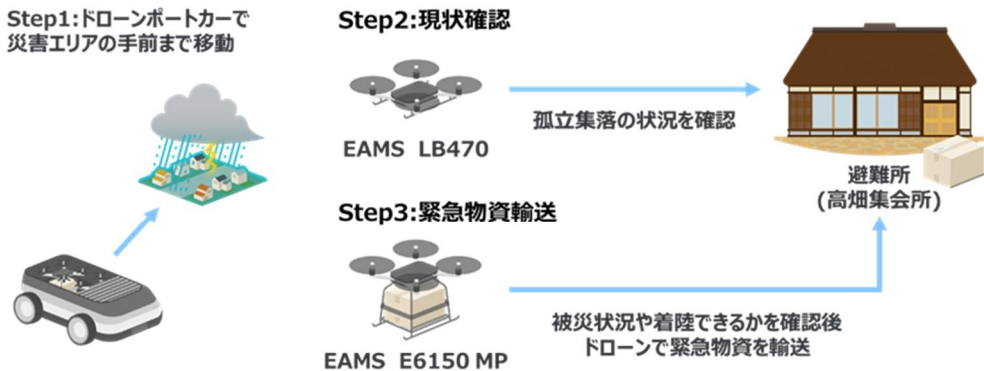


■実証時



ドローンが宅配をしている間に、別のポイントに移動したトラックに帰還出来るかを検証

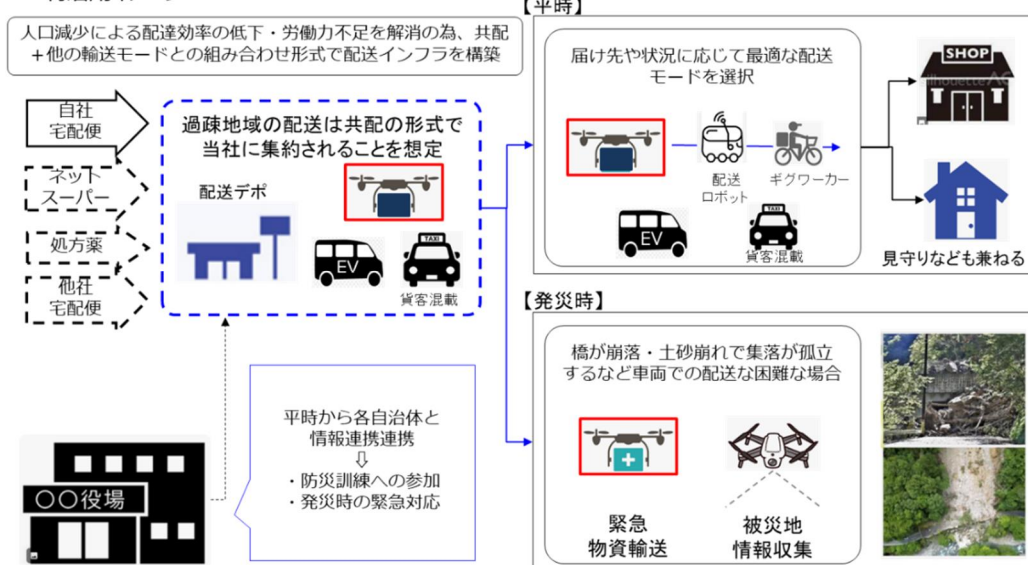
- < 平常時の宅配業務効率化を想定した実証 >
 - 特に山の上への配達など、陸路での時間が掛かるポイントへの配達が見たいが、今回は実証のため、広い敷地面積の取れる場所を選定。
- < 災害時の緊急物資輸送を想定した実証 >



災害エリア付近から観察用ドローンで迅速に確認後、物流用ドローンで緊急物資を輸送

■実運用時

■利活用イメージ



③CO2 排出量削減効果

事業実施前においては車両による配送、事業実施後においても車両による配送とドローンによる配送を組み合わせるため、CO2 排出量の削減率は、完全に代替する場合と比較して低くなった。現在、ドローンによって配送可能な荷物の重量は 2kg 以下と設定されており、配送重量・容積効率の向上が望まれる。

事業実施前の CO2 排出量	32.67	t-CO2 / 年
事業実施後の CO2 排出量	20.92	t-CO2 / 年
CO2 削減量	11.75	t-CO2 / 年
CO2 削減率	35.96	%

④4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）における課題と想定解決策

運航コストに課題があるが、今後のレベル3.5、レベル4の適用によって、補助者、操縦者を削減し、人件費を削減できる可能性はある。また、道路が寸断されていると仮定した場合は、トラックが進入できず宅配便としては集配不能エリアである箇所において、ドローンを活用することで事業の継続が図れる可能性を見出した。事業化にあたっては、規約や約款といった面の制約により今回は模擬運航しかできなかったため、今後実際の運航において検証する必要がある。

➤ 事業面

実証での検証項目	ドローンを活用した低コスト・高効率の物流サービスの採算性
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ドローンポートカーとドローンを活用し、将来的なトラックにあるポート等からドローンが離発着できる想定を検証することができた。 型式認証を備えた機体での発着ができず、さらにドローンポートカーにも専用の人員が必要になることから、人件費はドローンポートカーの人員分費用が追加で発生した。 実証時の運行率は 50%であったが、宅配便は雨が続く中でもイ

	ンフラサービスとして配達を継続する必要がある。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・実際の宅配便として検証するための規約や約款への対応 ・ドローンが就航できない場合の代替手段としての人員確保 ・QRコードを活用したドローンポートカーへの自動着陸の検討 ・レベル 3.5 飛行における人員体制の検討

➤ 技術面

実証での検証項目	雨天、強風、降雪等による就航率低下
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・日本気象協会様提供の気象レーダーを活用した風速確認を行った。 ・今回の実証では 1 回目の実証が延期したため欠航率は 50%となった。 ・気象センサーによって明確な飛行基準の下で運用できるため、今後耐風性能が上がった機体を運用する上でも安全に配慮した基準を設定し運用できることを確認した。
今後の課題	耐風性能や防水性能が向上した機体の運用

➤ 制度面

実証での検証項目	通常宅配の利用を考えた場合のドローン飛行経路の規制や関係各所(個人、企業含む)との調整
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・公的機関に対する申請・調整についてはイームズロボティクス株式会社と美郷町役場の協力により、管理者等への情報提供、申請を実施した。 ・民間団体や個人に対してもイームズロボティクス株式会社と美郷町役場に協力いただき申請や調整、承認を実施した。
今後の課題	・ドローンの商用航路の設置検討

実証での検証項目	災害発生時の自衛隊、警察、消防等のヘリコプターの飛行との調整
実証での取組と結果	・災害時の実証の際には仮作成した時間単位のガンチャートを作成した。災害対策本部が置かれていると仮定した美郷町役場にも共有し、他機体との重複を避けた。
今後の課題	・実際にヘリコプターが飛行している環境における実証

➤ 社会受容性

実証での検証項目	カメラ映像によるプライバシーの侵害や騒音について地域住民から苦情がある可能性
実証での取組と結果	<ul style="list-style-type: none"> ・自治体(美郷町)より役場や離発着場の自治会長、離発着地点にて飛行ルートが土地上を飛行する個人の方への説明を実施した。 ・人家の上空において離発着および飛行を行わないような飛行ルートを設定した。
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・離発着スペースの隣に人家がある等、人家の近辺や個人宅の庭などでの検証 ・騒音・プライバシーに関する定量的なガイドラインの策定

ii. 本実証結果の全体像

各事業の実証結果に基づき、無人航空機等を活用したラストワンマイル配送を社会実装する際に検証が必要となる事項について、取り組むべき主体を明確にした上で、本実証によりどの程度実現性の確認ができたか、本実証では検証できなかった事項や本実証によって見出された課題について、4つの観点（事業面、技術面、制度面、社会受容性）で整理した。

(1) 事業面

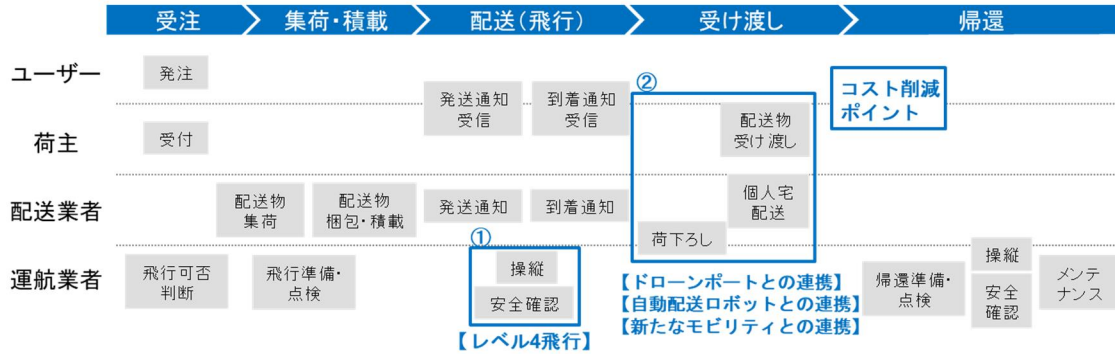
社会実装する際に検証が必要となる事項		取り組むべき主体
コスト	人件費	
	・ 運航（操縦、補助、監視）	事業計画者/運航事業者
	・ 配送物の積み下ろし	事業計画者/運航事業者/物流事業者
	・ ユーザーへの受け渡し	事業計画者/運航事業者/物流事業者
	初期費用	
	・ 機体、関連システム購入費	機体メーカー/システム開発メーカー
	・ 飛行申請等にかかる経費	事業計画者/国・自治体等
	・ 実証にかかる経費	事業計画者/国・自治体等
	・ 社会受容性醸成にかかる経費	事業計画者/国・自治体等
	ランニングコスト	
	・ 機体の点検、整備費	機体メーカー、運航事業者
	・ 運航システム利用料	システム開発メーカー、運航事業者
	・ 保険料（機体、荷物）	保険会社
	・ 電気代	機体メーカー
・ 通信費	通信事業者等	
人材の確保・育成	配送サービスにかかる体制	事業計画者/運航事業者/物流事業者
	操縦に必要なスキル	運航事業者
ビジネスモデル	実現性、採算性	事業計画者
	継続性、横展開の可能性	事業計画者
安全性	リスク評価	事業計画者/運航事業者/機体メーカー/システム開発メーカー
	保険	保険会社

■ コスト

人件費関連として、運航要員数や配置、単価設定について、人件費以外の経費として、初期費用とランニングコストについて、本実証事業の結果に基づく机上検証を行った。

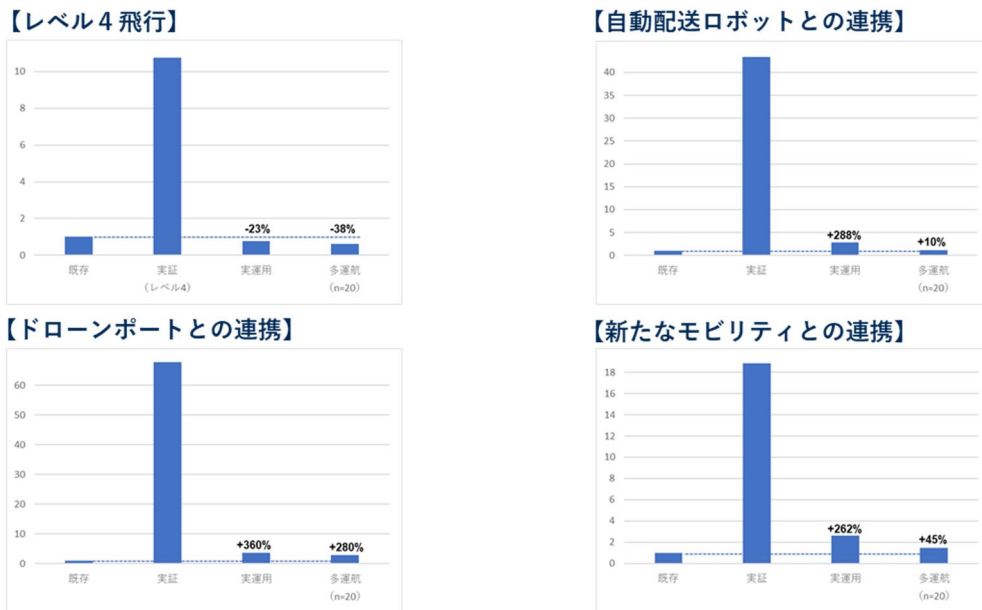
コスト削減の可能性について、①規制緩和による補助者や操縦者の人件費削減、②自動配送ロボットやドローンポート、自動運転車等との連携による、積み下ろしやユーザーへの受け渡しにかかる人件費削減の2つのパターンを想定した検証を行った（図 15 参照）。

図 15 配送サービス提供のプロセス（一例）



事業分類別に配送1回あたりのコストを算出したところ、レベル4飛行では実運用想定において既存方法の配送コストを下回る可能性が見出された（図 16）。レベル4飛行以外の3分類においては、人件費の削減効果よりも初期費用の影響が大きく出ているが、連携する自動配送ロボット等のモビリティも含めた多運航や、宅配車両との共同利用、貨客混載といった他サービスとの組み合わせによるコスト削減が期待できると考える。

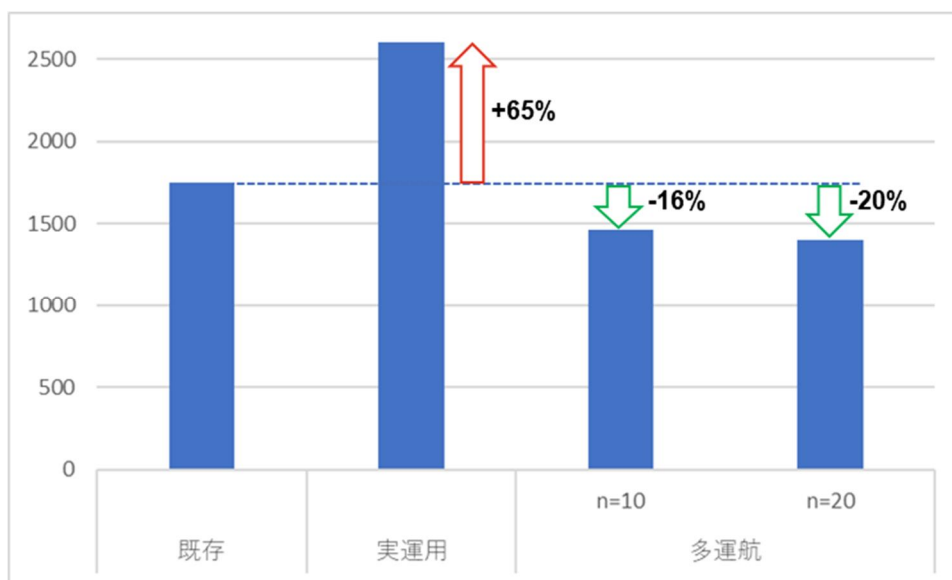
図 16 配送1回あたりのコスト増減の割合比較（事業分類別）



- ※既存方法のコストを1とした場合の、各配送方法のコストの割合を算出
- ※グラフ作成においては中央値を使用
- ※多運航のコストは事業者へのヒアリングをもとに事務局にて試算

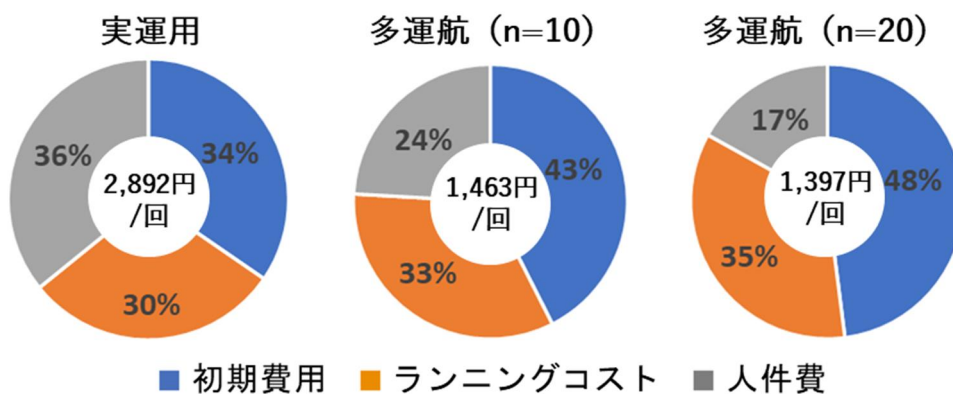
配送1回あたりのコストの中央値を比較すると、実運用想定では既存の配送方法を約65%上回る試算となったが、1対多運航の導入によって既存の配送方法よりもコスト削減できる可能性が見出された(図17)。

図17 配送1回あたりのコスト比較(円/回、8事業)



1対多運航の導入によって、コスト全体に占める人件費の割合は、実運用想定と比較して約20%減少する(図18)。ただし、機体数に比例して、初期費用およびランニングコストが増大する点に留意する必要がある。初期費用については、機体の購入費用が最も大きな割合を占めており、削減にあたっては、ドローンの利用普及による量産化の促進、レンタル・リース制度やシェアリングサービス等の充実が効果的と考えられる。また、国・自治体等の補助金等の有効活用によって事業の新規参入のハードルを下げることも、事業検証の加速に貢献すると考える。ランニングコストについては、システム利用料や機体のメンテナンス費用を削減するための、技術およびサービスの開発が求められる。いずれにおいても、実証段階においては国・自治体等の行政からの支援が必要不可欠であると考えられる。

図18 配送方法による、コスト全体に占める各費目の割合の比較



■人材の確保・育成

運航（操縦、監視、補助）人員のみならず、機体のメンテナンスや配送物の梱包、受け渡し等、配送サービス全体に必要な体制を構築し、各プロセスにおいて求められるスキルを習得する必要がある。本実証事業においては、レベル4の適用や、ロボット等による代替により、補助者等の人材を削減できる可能性が見出された。

■ビジネスモデル

配送サービスとしての実現性や採算性について、ユーザーのニーズは確認できているものの、コストの項目で述べた通り、採算性を考慮した配送料金の設定では、現時点では事業として成立しない可能性が高い。

また、飛行時間についても、飛行時間に対して配送物の梱包や飛行準備等にかかる時間が倍以上かかっており、時間的なコストが嵩むだけではなく、連続運航ができず効率性が下がってしまうといった問題もある。実証段階においては、需要の見込めそうな地域（人口密度が高くラストワンマイルにおける配送物流量が多い地域、山間部等の陸上輸送を用いた物流網の維持が困難な地域等）における配送、医薬品等の比較的単価の高い製品の配送、災害時等の緊急事態における利用等、様々なユースケースを想定しながら、採算性のみならず、各ステークホルダーとの連携体制や機体・システムの要件等について検証を重ねる必要がある。また、実証事業において得られたノウハウについて共有・蓄積する取り組みも有効である。

事業としての継続性や横展開の可能性については、先に述べる社会受容性を向上させる取り組みや、将来的なドローン操縦の自動化を視野に入れた技術開発を推進することも重要である。

■安全性

安全性向上のため、リスク評価を適切に行い、事故等の緊急事態が起きた際の対応に関するノウハウの共有および蓄積が必要である。また、ドローン配送利用者の安全・安心を担保するため、機体自体の損傷等や落下時等の第三者への損害への補償を含む、ドローン配送に特化した保険サービスの普及も必要である。

(2) 技術面

社会実装する際に検証が必要となる事項		取り組むべき主体
機体	ペイロード	機体メーカー
	耐風・耐水性	機体メーカー
	精度（位置、高度）	機体メーカー
システム	多運航	システム開発メーカー
通信	安定性	通信業者等
気象観測	精度	気象観測サービス提供者等

■機体

配送サービスの内容に適した機体を選定する上で、ペイロード重量・容積の制約により効率性に影響が生じる結果となった。機体自体のペイロードを増加させるとともに、配送物の梱包容器の軽量化・縮小についても検討する必要がある。また、現在の耐風・耐水性では気象条件次第で運航可能な日数が制限されてしまうため、従来の車両等を用いる配送と同条件で利用することができないため、既存方法等の代替手段との併用が必要である。

コスト削減の観点からは、機体の性能向上と同時に量産化が求められる。

■システム

各社の運航管理システム UTM の導入により、遠隔・目視外の操作中においてもリアルタイムで飛行状況の確認をすることができた。将来的には、1 対多運航を想定した運航システムについても、実装に向けた開発・実証が望まれる。

■通信

飛行前に通信状況の調査を行い、安定した環境での実証を試みたが、一部の事業において、LTE サービスエリア内であっても、接続先基地局の余裕度によって回線速度が変化する、電波状況によって飛行計画の転送に時間を要することがある、といった問題が確認された。通信環境の改善策として、業務利用の無人航空機運航に対する専用周波数帯の割り当てや、ドローン用の小型基地局の増設等が考えられるが、いずれも通信業者、総務省との連携が必須である。

■気象観測

飛行直前に気象観測を実施し、飛行の可否判断やバッテリー消費の予測を行うことで、安全な飛行に寄与したが、追加で工数を要するため、観測方法の簡便化や精度向上が望まれる。

(3) 制度面

社会実装する際に検証が必要となる事項		取り組むべき主体
規制緩和	機体型式認証	国、機体メーカー
	操縦者、補助者等	国、機体メーカー
	運航ルール	国、自治体、機体メーカー
申請手続き	窓口の一本化	国、自治体、警察等
	申請日数	国、自治体、警察等

■規制緩和

レベル 3.5 やレベル 4 への規制緩和による補助員の不要化や飛行対象空域・時間の拡大は、主にコスト面でラストワンマイル配送の社会実装を後押しするが、安全と効率化のバランスを常に考慮する必要がある。また、次項で述べる申請手続きの簡略化、時間短縮も併せて検討すべきと考える。運航ルールの策定においては、「ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン Ver. 4.0（国土交通省、2023 年 3 月）」に準拠すべきである。

■申請手続き

一部の事業においては、警察署等との調整に 2 ヶ月程度要する場合もあり、実証スケジュール全体に大きな影響を及ぼした。警察署に限らず、河川や道路等、複数の窓口への飛行許可申請によるコスト・工数の増加は事業者の円滑な実証の妨げになっており、社会実装を促進する上で、申請窓口の一本化やシステム化が必要と考える。

(4) 社会受容性

社会実装する際に検証が必要となる事項		取り組むべき主体
地域住民	理解促進	事業計画者、国・自治体等
社会課題解決	CO2 排出量削減効果	事業者、機体メーカー、国土交通省、環境省

■地域住民

本実証事業においては、事業者と自治体との連携による説明会の開催や広報活動によって、騒音に関しては地域住民の理解を概ね得ることができた。しかしながら、落下等の事故に対する不安や、プライバシー保護への対応はまだ不十分である可能性もある。騒音も含め、飛行区域周辺の住民や利用者の不安を解消するよう、配慮を欠かさないことも必要と考える。

また、配送料の調整や、受け渡し操作の簡便性向上により、利用者目線でのサービス利用のハードルを下げる取り組みも重要である。

■CO2 排出量削減効果

従来の車両等を用いる配送を全てドローンで代替した場合のCO2削減率は76.5%（全事業の中央値）となったが、先に述べた通り、技術面や採算性の面で課題があり、完全に代替することは現時点では不可能である。

国土交通白書 2022 において、交通・物流（運輸部門）は、2030 年度において二酸化炭素排出量対 2013 年度比 35%削減が目標とされているところ、ドローンを用いる配送の容量・重量の拡大による代替率の向上が期待される。

5. 今後の無人航空機等を活用したラストワンマイル配送の実用化プロセスおよびアプローチの方向性

i. 実用化までのロードマップおよび計画

本実証事業によって得られた成果を踏まえて、ラストワンマイル配送の社会実装に向けたロードマップおよび計画を策定し、次年度以降の取組みについて具体的な検討を行った。各項目の検討においては、補助金の獲得や人材育成、インフラ整備等の観点も考慮した。

(1) 沖縄県久米島町におけるレベル4でのドローン配送実証実験

今後想定される制度面の動向や技術開発も踏まえ、以下のような取り組みを想定することができる。しかしながら、当該地域で進展を図るためには、本実証を通じて地元自治体等関係者の理解と協力体制が進むとともに、事業採算性について一定の見通しが立つことが前提となると考えられる。また、UTMや1対N運航を支える技術開発が順調に進み、実装されることも必要となる。

2023年度 (Phase 1)	当地域におけるレベル4運航の実現 社会的受容性の確認
2024～2025年度 (Phase2)	レベル4での1対1運航 レベル4での運航実績の蓄積
2026～2027年度 (Phase3)	回転翼・固定翼機での1対N運航 (N=1～2) 固定翼機でのレベル4運航 回転翼・固定翼機での運航実績の蓄積 複数機運航体制の構築
2027年度以降 (Phase4)	固定翼機を用いた島内・離島間物流 固定翼機での1対N運航 (N=2以上)

(2) 霞ヶ浦を活用したキャンプ場利用者などへのラストワンマイル配送

今回の実証結果を踏まえて、将来的にレベル3.5飛行を適用し、霞ヶ浦広域湖上においてドローン配送事業を実装化することを考えた場合、以下のようなロードマップを想定することができる。霞ヶ浦広域湖上ラインの形成においては、まず新たに航路を開拓する必要がある。また、事業性の確立のため、販売対象地域を拡大し増便するには、機体の積載量の増加や航続距離の確保、防水・耐風性能の向上といった技術開発も必要である。

ロードマップ及び計画

2023年度 フェーズ①	2024年度 フェーズ②	2025年度 フェーズ③	2026年度 フェーズ④
レベル3飛行でのドローン配送	レベル3.5飛行でのドローン配送 (二種型式認証原型機体使用)+UGV 霞ヶ浦広域湖上ラインの形成	レベル3.5飛行でのドローン配送 (二種型式認証原型機体使用)+UGV 霞ヶ浦広域湖上ラインの拡張	霞ヶ浦広域湖上ラインの拡張

取組み

2023年度	かすみがうら市 ⇄ 美浦村 ⇄ 行方市
2024年度	かすみがうら市 ⇄ 美浦村 ⇄ 行方市 + 土浦市
2025年度	かすみがうら市 ⇄ 美浦村 ⇄ 行方市 + 土浦市 + 石岡市
2026年度	かすみがうら市 ⇄ 美浦村 ⇄ 行方市 + 土浦市 + 石岡市 + 潮来市

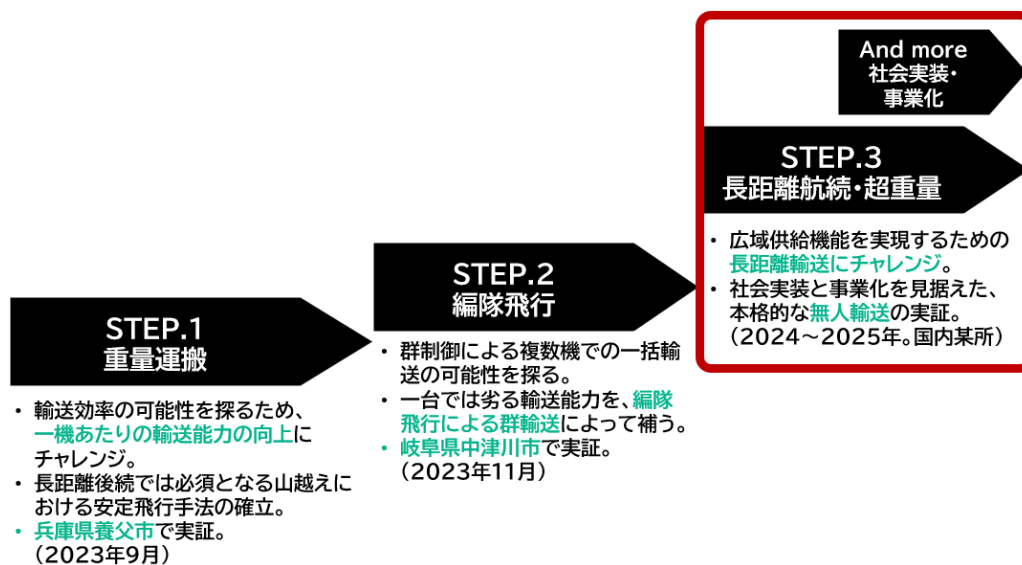
(3) ドローンおよび地上ロボット連携による 都市部高層マンションへの無人配送の社会実装に向けた実証試験

今回の実証において検証されなかった、線路横断、約 3.2km の飛行距離をはじめ、システム開発をとまなう内容等についても検証を行うことを想定している。ドローンのみならず、ドローンポートや地上配送ロボット、関連するシステムにおいても、本ユースケースに適用するための技術開発が求められる。

	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
ドローン	反復実施	課題解決	レベル 3/3.5/4 実施	水平展開(順次)
	これまでに実施したレベルの内容で反復実施し問題点の抽出と課題立案	立案した課題に対しての取り組みを繰り返し実施し、リスクをできる限り削減	より高難易度な飛行を実施し、問題・課題の洗い出しおよびキヤッチアップを実施	実証で得られたノウハウを他エリアで実施
ドローンポート	ユースケース洗い出し	最適解の検証	設置に向けた準備	社会実装
	想定されるユースケースの洗い出し	ユースケース別に理想的な機体・荷物格納方法の検証	設置に向けた土地所有者との交渉	社会実装
地上配送ロボット	反復実施	システム連携検証	完全自動に向けた取組	社会実装
	これまでに実施したレベルの内容で反復実施し問題点の抽出と課題立案	セキュリティ・エレベータ・運航管理システム等とのシステム連携の検証	人の手を介さずに実装実現するためのハード・ソフトの開発	社会実装

(4) 中津川市を舞台とした編隊飛行による ドローンと自動配送ロボットを連携したラストワンマイル配送の実証実験

2023年に行った兵庫県養父市ならびに岐阜県中津川市での実証実験で得られた知見を活かし、2024～2025年は長距離航続・超重量を実現する活動を行う。社会実装に向けて、技術的な検証と並行して、収益化計画策定にも取り組む。



(5) 和歌山県日高川町における長距離医薬品配送の実証事業

今回の実証を踏まえて、レベル4飛行での社会実装を目指し、ドローンポートや品質管理システム等の周辺サービスの開発・調達を実施する。また、将来的には自社内でドローン飛行を担う人材を調達することを見据え、育成スケジュールや育成方法の検討を行う。実装後は、他地域への横展開を目指す等、継続的な事業運営に取り組む。

ロードマップ及び計画

2023年度 フェーズ①	2024年度 フェーズ②	2025年度 フェーズ③	2026年度 フェーズ④
<p>【事業性の検討】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2023/3と今回実施した実証実験の結果の振り返りと今後に向けた検討 	<p>【レベル4飛行での実証実験】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 周辺サービスの開発・調達（ドローンポート、認証/開錠機能、品質管理システム、発注システム、運航管理システム連携など） ・ 事業計画者内でのドローン人材育成 	<p>【レベル4飛行での実証実験を受けて事業化の検討】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 周辺サービスの開発・調達（ドローンポート、認証/開錠機能、品質管理システム、発注システム、運航管理システム連携など） ・ 事業計画者内でのドローン人材育成 ・ 事業計画者内でのオペレーション方法の確立 ・ 事業運営デモンストレーション 	<p>【社会実装】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実装後の課題改善 ・ 定期的に社会受容性を確認 ・ 他地域への横展開

取組み

2023年度	<p>和医大、NTT Com、ケーエスケーの3者は、2023年3月30日にも和歌山市内で、“レベル2飛行によるドローン活用に向けた実用性確認”および“レベル4飛行での検証に向けた課題抽出”を目的に実証実験を実施した。</p> <p><参考：株式会社ケーエスケー 実証リリース内容 https://www.web-ksk.co.jp/upload/cmn_editor/files/93babce4663caf98be86428d5f0088ec1681789402.pdf></p> <p>加えて、今回の実証実験では、“ドローンによる医薬品の長距離配送および配送ロボットによるラストワンマイル配送の運用を検証”することを目的に実証実験を実施した。</p> <p>これらの結果を踏まえて、抽出された課題に対する解決策の検討と事業運営の実用化に向けたビジネスモデルやオペレーション、提供体制の在り方を検討する。</p>
2024年度	<p>これまでの実証実験の実績をもとに検討した課題解決策やビジネスモデル、オペレーション、提供体制の在り方などを活かして、レベル4飛行（またはレベル4飛行に近い状態）での実装を見据えた、複数の飛行ルートを選定及び実拠点からの輸送にかかる実証実験を行い、課題を抽出する。</p> <p>また、レベル4飛行での実証実験に際して、周辺サービス（ドローンポート、認証/開錠機能、品質管理システム、発注システム、運航管理システム連携など）の開発・調達も並行して検討を進める。また、将来的には事業計画者がドローン飛行のオペレーションを担うことも想定しているため、ドローンに関する人材育成も進めていく。そのための育成スケジュールや育成方法を模索する。</p>
2025年度	<p>周辺サービス（ドローンポート、認証/開錠機能、品質管理システム、発注システム、運航管理システム連携など）の開発・調達を行い、実用化に向けた導入を行う。事業運営を行うにあたり事業計画者が担うことを想定しているドローン飛行のオペレーションにおけるパイロット育成状況の確認とオペレーション・運営方法を確立する。上記の状況を鑑みて、事業実施エリアにおいて実際の事業運営方法に基づいたデモンストレーションを行い、事業実施前の最終確認を行う。</p>
2026年度	<p>事業運営スタート。実装後は、日々の運営記録を取得し、改善活動を行う。また、和歌山県内・ひいては関西圏における同様の課題を抱える市町村への横展開を推し進め、継続的な事業運営に資する収支構造を拡大していく。</p>

(6) 地方都市における物流課題解決に向けたドローン・自動配送ロボット連携活用事業

今回の実証を踏まえて、本来想定していたDID地区でのレベル4飛行の実証に向けて、補助金等も活用しながら事業面の課題解決に資する検証を重ねる。また、社会実装に向けて、今回共同事業者として参画した大分合同新聞社等の協力を得ながら、実証実験の広報活動にも取り組む。

ロードマップ及び計画

2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度以降
フェーズ①	フェーズ②	フェーズ③	フェーズ④
<ul style="list-style-type: none"> 安全性の検証 事業の PR ビジネスモデルの検討 	<ul style="list-style-type: none"> 運航事業者の選定（教育）（レベル 2, 3 飛行） レベル 4 飛行の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 現地導入、実用化（レベル 2, 3 飛行） レベル 4 飛行の検討 	<ul style="list-style-type: none"> レベル 4 飛行を前提とした飛行ルートの再検討

取組み

2023 年度	<p>実証実験の結果から、今回飛行させたルートについては安全に運航出来ることが確かめられた。今後ドローンの社会実装をより加速させるためには本実証実験の PR が重要であると考えたため、大分合同新聞等の媒体で社会に本実証実験について周知した。</p> <p>一方で、コストが大きく、赤字になってしまう等の課題があり、現実的には社会実装が難しい事が分かった。そのためビジネスモデルの検討を行ったところ、ドローンや AGV を新聞配達以外にも使い、補助者の人員を減らす事でコストを削減できる可能性が出てきた。しかし、それでもコストが莫大にかかるため、ドローン・AGV の複数機運航が必要である事が分かった。</p> <p>直近の技術では直ちに収益化することは難しく、当面は補助金等を活用する必要がある。特に、レベル 4 飛行に対応した機体は現状一機種のみであり、レベル 4 飛行の検証には補助金の獲得が必須のため、自治体と調整を行う。</p>
2024 年度	<p>社会実装に向けて、今回の実証実験で検証したルートでの実証実験を繰り返していく必要がある。運航事業者を選定し、教育を行い、そのうえで実証実験を複数実施する。また、並行して補助金の獲得を行い、レベル 4 飛行の実証実験の実施を目指す。</p>
2025 年度	<p>2024 年中に教育が完了している前提で、運航事業者において自走できる状態になっている事から今回の実証実験で検証したルートでの本格運用開始を目指す。但し、上述のとおり、複数機運航が技術的に実現できていない可能性も高く、収益化が難しい可能性がある。レベル 4 飛行については補助金の獲得を目指し、平行して検討を進める。</p>
2026 年度	<p>今回の実証実験で検証したルートについて、レベル 4 飛行での検討が進み、かつ規制緩和により上空を飛行できる場所の人口密度の上限が引き上げられた場合は、現状の飛行ルートから短縮できると考える。飛行ルート短縮を行い、オペレーションが効率的に行えるようにする。</p>

(7) 越佐海峡ドローン物流実用化実証事業

今回の実証を通じて構築した、関連企業や自治体等との協力関係を維持しつつ、事業面の課題となっている、機材費や人件費の削減に取り組む。実装においては、地上リスクと上空リスクを考慮し、夜間配送や密漁監視から実運用化し、他地域への横展開を段階的に進める。

ロードマップ及び計画

2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
フェーズ①	フェーズ②	フェーズ③	フェーズ④
越佐海峡横断飛行実証	佐渡島内のドローン配送サービス実証	VTOL レベル 3.5 運航での配送実証、夜間配送や密漁監視における実運用化	VTOL レベル 4 運航での配送実証、ドローンのみを用いる配送サービスの実装
<ul style="list-style-type: none"> ・新潟－佐渡間の飛行が可能か、各種調査・調整を行った。 ・企業連携や自治体の協力など、事業推進に重要な関係性構築を行った。 ・ラストワンマイル配送実証事業補助金を活用した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・佐渡外周道路沿いに立地している宿泊施設、飲食店、診療所、公民館、漁協、警察等と連携し、配送サービスと巡回監視サービスを提供する。 ・新潟－佐渡間の往復飛行や、佐渡島沿岸部の周回飛行など、離陸拠点を中心とした運用（目的地側の無人運用）が可能な機体を調達し、体制を構築する。 ・創業助成金やものづくり補助金を活用し、機体の購入や運転資金を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・佐渡総合病院－血液センター間の直行飛行を実施する。（新潟側は一部補助者を配置する） ・上越・下越地域から新潟市内への特産品輸送や、三条市や長岡市など他地域での配送サービスの実証を行う。 ・夜間レベル 3 運航による配送実証を行う。 ・衛星通信を活用し、越佐海峡の任意の地点間に飛行経路を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・佐渡総合病院－血液センター間の直行飛行を、補助者なしで実施する。 ・佐渡の漁港－新潟駅の直行飛行を、補助者なしで実施する。

取組み

2023 年度	今回の実証の成果から、新潟⇄佐渡間の越佐海峡をドローンで飛行させることが可能であることが分かった。これにより、既存の船舶輸送に加えて、新たな輸送手段を確保できる可能性が出てきた。また新幹線物流との連携により、集荷から6時間以内に都内の配達先へ到着することができた。これにより、飲食店向けについては高鮮度な素材の提供が可能になり、高単価・高付加価値なサービスを提供できる可能性が出てきた。
2024 年度	使用する機体の飛行性能をさらに向上させ、新潟⇄佐渡間を往復飛行させることや、佐渡島を1周飛行させる検証を進めていく。この実現により、配送先でのバッテリー交換の人員を削減することができ、運航コストの削減につなげる。また、佐渡島内での配送サービスの提供や、密漁監視など他のユースケースの需要を喚起することで売り上げの増加と機材の稼働率を向上させ、収益性を高める取り組みにつなげる。
2025 年度	VTOL についての法制度の拡充や運用実績の積上げにより、都市部での VTOL 運航を進めていく。まずは、信濃川沿いにある血液センターから、線路と橋梁を越え海上に出るルートを開設する。また地上リスクと上空リスクが低くなる夜間帯にレベル3ないし3.5運航を実現し、夜間配送や密漁監視を実運用化する。さらには、新潟市や佐渡市以外の地域の需要を喚起するべく、他地域への展開を進めていく。まずは血液センターがある長岡市、上越新幹線の停車駅がある燕市・三条市を対象に検討していく。
2026 年度	型式認証の安全基準をクリアし、ドローン配送のみによる Point to Point のサービスを実装する。

(8) 愛知県幸田町におけるドローン・自動運転車連携による農産物・買い物支援輸送
 今回の実証により見出された、輸送量の向上や横展開に関する課題に対して取り組みつつ、レベル3.5やレベル4の適用による補助員の削減を目指した実証を継続する。自動運転に関しても、社会実装に向けて走行実績を蓄積し、将来的には貨客混載によるサービスの提供を目指す。

ロードマップ及び計画

2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
フェーズ①	フェーズ②	フェーズ③	フェーズ④
・実証結果の分析	● → レベル 3.5 飛行	● → レベル 4 飛行 接続部分の開発・ 検証 ● → 担い手発掘・育成	● → 補助金等で導入支援 → 社会実装
	● → 自動運転性能向上		

取組み

	ドローン	自動運転
2023 年度	・実証結果の分析	・実証結果の分析
2024 年度	・レベル 3.5 飛行で補助者を 0 人とし、運航に関わる人件費を低減する。 ・輸送手段の接続部分をスムーズに行える仕組みを開発・検証する。(ドローンポート等)	・走行実績を積み、補助員 0 人とする。 ・走行方法(補助員が搭乗するレベル 3)は実証時と同様。
2025 年度	・レベル 4 飛行で、柔軟に飛行経路を組めるようにする。 ・担い手の発掘・育成を進める。	・走行実績の蓄積と技術進化、法規制緩和により、レベル 4 以上での自動運転を実現する。
2026 年度	・補助金等の活用により初期費用を抑えながら社会実装を目指す。	・地域の巡回バスでの運用をスタートし、貨客混載による荷物輸送の社会実装を目指す。

(9) 平時および災害時における移動式ドローンポートを活用した、車両とドローンのラストワンマイル配送の実証事業

今回の実証を踏まえて、他地域においても実証を重ね、災害時利用においては 2025 年度、宅配便としての利用においては 2026 年度の実装を目指す。宅配便のドローン配送においては、従来のトラックによる配送との併用を前提とした検討を行う。

ロードマップ及び計画の記載例

2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度
フェーズ①	フェーズ②	フェーズ③	フェーズ④
レベル 3.5 運行でのドローン配送 ・運搬物：宅配便	レベル 4 運行でのドローン配送、実証を通じた運行の安定化 人材育成による内製化 ・運搬物：宅配便	レベル 4 運行でのドローン配送とドローン配送の商品化 内製化の進展とドローンサービスの商品化	レベル 4 運行を活用した宅配便のドローン配送恒常化、トラック一体化したドローンポートカーの導入検討 宅配便のドローン配送検討

取組み

2023 年度	<p>今回の実証の成果から、現地調査や人件費については削減できる可能性を見出した。また 2023 年 12 月において提示されたレベル 3.5 飛行の要件においても補助者や運行人員の削減が期待できる事が分かった。</p> <p>ドローンの機体、人件費、システム等ドローンを実行するにあたっての費用を可視化することができているので、今後宅配便の荷物をドローンで輸送することを検討するにあたり、現状との費用の比較、費用対効果を確認した上でのドローンの利用可能性地域の特定が可能となってくる。</p> <p>一方で採算性の面ではすぐに宅配便の採算が合うとは考えておらず、今後レベル 4 の常態化による人員の削減、パイロット 1 人あたりの運航可能数の向上、機体の就航率の向上など技術面の改良が望まれる。</p>
2024 年度	<p>佐川急便では、現状ドローンの機体を保有しているものの、運行を内製化しておらず、外部の委託に頼っているため内製化を進め、他民間企業や地方自治体等の補助金を活用しながらレベル 3.5、レベル 4 の運航、運用の知見を集めていく必要があると考えている。</p> <p>東京都青梅市においてはレベル 4 運用を 1 ヶ月間続ける実証も予定しているため、当社の操縦者と機体も併せて活用した運用を行い宅配便やドローンによるサービス化の検討を重ねる。</p>
2025 年度	<p>2024 年度に重ねた知見と運行の安定化を基にドローン配送のサービス化を検討する。1 案件ごとのドローン配送案件に対しては十分対応できると考えられ、災害におけるドローン配送の他、薬や嗜好品といった高単価の案件の輸送案件を獲得し、ドローン配送のみでの売上を獲得する。</p>
2026 年度	<p>宅配便のドローン配送を検討する。全国でサービスを展開する当社において、過疎地、離島、山間地域といったエリアごとに費用対効果を確認して、自社配送では非効率な地域を中心にトラックとドローンを用いた配送を検討する。その際にはドローンポーターカーのコンセプトから発案を得て、トラックに離発着場を設けるといった事も考えられる。</p> <p>ドライバーの資格取得も必要となるが先進地域の例として資格取得を推進し、地域内のトラック輸送とドローン輸送を地域の営業所・支店で対応できる体制を作る為の道筋を作成する。</p>

ii. 実用化に向けた課題および想定される解決策

ラストワンマイル配送の社会実装に向けて、本実証事業において検証されなかった課題の解決を含めたシナリオに沿って、関連するステークホルダーの取り組むべき事項について検討した（図 19、20）。

図 19 ラストワンマイル配送の社会実装に向けたシナリオ

観点	現状	2024-2026年	2026年以降
事業面	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ビジネスモデル検証 ✓ 自動配送ロボット等との連携の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ レベル4飛行の普及 ✓ 自動配送ロボット等の活用を含むビジネスモデルの確立 ✓ 災害時の輸送 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 都心部での日常的な輸送
技術面	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 雨天・強風時は飛行中止 ✓ 運航システム (UTM) の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 雨天・強風時の条件付き運航 ✓ UTMの実用化、多運航に対応するUTMの検証 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 雨天・強風時の通常運航 ✓ 多運航に対応するUTMの実用化 ✓ 機体の量産化
制度面	<ul style="list-style-type: none"> ✓ レベル4飛行の解禁 ✓ ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン策定 (Ver.4.0) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ レベル4の条件緩和 ✓ 申請窓口の一本化 ✓ 多運航に対応した環境整備 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 他地域・他業種への展開
社会受容性	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 地域住民の一部の理解 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 地域全体からのニーズ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 他地域からのニーズ ✓ 全国展開

図 20 ラストワンマイル配送の社会実装に向けた各ステークホルダーの取組み

実施主体	必要な取組み	
	現状	今後
事業計画者	<ul style="list-style-type: none"> ・ビジネスモデルの検証、ノウハウの蓄積 ・自動配送ロボット等との連携の検討 ・関連するステークホルダーとの関係構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・自動配送ロボット等との連携を含めたビジネスモデルの確立、収益化 ・事業の継続、横展開の可能性検証
物流事業者	<ul style="list-style-type: none"> ・配送受注システムの構築、アプリ開発 ・倉庫や小売店との連携体制構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・配送受注システムの効率化、収益化
運航事業者	<ul style="list-style-type: none"> ・運航体制の構築・検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・多様なユースケースへの対応
機体メーカー	<ul style="list-style-type: none"> ・機体のペイロード、耐風・耐水性向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・機体量産化体制の検討
システム開発メーカー	<ul style="list-style-type: none"> ・UTMの開発・実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・自動配送ロボット等との連携や多運航に対応するUTMの開発・実証
通信事業者	<ul style="list-style-type: none"> ・LTE対象エリアの拡大 (山間部等) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローン専用基地局の設置等検討
国土交通省	<ul style="list-style-type: none"> ・ガイドラインの策定 ・実証事業の推進 ・社会受容性向上の取組み 	<ul style="list-style-type: none"> ・自動配送ロボット等との連携や多運航に対応する環境整備、実証事業の推進 ・他業種、全国への展開・普及

将来的にドローンを活用したラストワンマイル配送を社会実装し全国展開することを目指し、事業計画者においては、ビジネスモデルの蓋然性や収益性について、本実証事業で見出された課題に対応するための継続的な検証を行う必要がある。検証実施においては、下記のような観点を考慮することが望ましいと考える。

- ① レベル 3.5 やレベル 4 飛行等に伴う省人化
 - 補助員の合理化、自動配送ロボット等への置き換えによる人件費の削減
 - 将来的な一対多運航による配送の効率化
- ② 新たな技術との連携によるラストワンマイル配送
 - ドローンポート、ドローンポートカー等との連携による受け渡しの効率化
 - トラックによる配送等との併用、貨客混載による効率化

③社会受容性の醸成

- 利用者の不安解消のための騒音・プライバシー等への配慮
- 配送料の調整や、受け渡し操作の簡便性向上により、利用者目線でのハードルを下げる
- 遠隔医療、過疎地域の物流網維持、カーボンニュートラルといった社会課題への貢献

また、本実証事業の結果から想定されるユースケースが社会実装された際には、以下のような効果が期待される。

事業分類	想定されるユースケース	期待される効果
レベル4飛行	<ul style="list-style-type: none"> ・過疎地域における日用品等の配送 ・市街地等、人口の多い地域における近距離の食料品配達 	<ul style="list-style-type: none"> ・過疎地域における物流網の維持 ・飲食店等との連携による相互利益のあるサービス展開、利便性向上
ドローンポートとの連携	<ul style="list-style-type: none"> ・医薬品等、高い安全性を要する配送物の取り扱い ・食料品等、品質保持を要する配送物の取り扱い 	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔医療の普及 ・地方名産品、生鮮品等の配送地域拡大
自動配送ロボットとの連携	<ul style="list-style-type: none"> ・マンションを含む個人宅への配送 ・過疎地域における医薬品等の配送 	<ul style="list-style-type: none"> ・一気通貫、完全無人配送による効率化 ・人件費削減、物流業界の人手不足解消
新たなモビリティとの連携	<ul style="list-style-type: none"> ・トラックによる配送との併用 ・貨客混載 	<ul style="list-style-type: none"> ・配送効率（配送量、配送距離）の飛躍的な向上 ・人件費削減、物流業界の人手不足解消

ドローンを活用したラストワンマイル配送の社会実装および全国展開

6. 人口密度データ精緻化による飛行経路の設定に係る実現可能性の調査

【背景】

ドローンのレベル4飛行に必要な第1種型式認証・機体認証の取得に際しては、機体メーカーは想定される地上リスク(飛行するエリアの人口密度等)に応じて飛行試験等を実施しており、機体の性能に応じて、国勢調査の人口密度のデータ(1km²あたり)に基づく機体の使用の条件が指定されているところ。

また、飛行の許可・承認の取得に際しては、飛行経路を決定するにあたり、地上リスクの把握の観点で、静的データとして国勢調査の人口密度のデータ(1km²あたり)を参照しつつ、必要に応じ、動的データとして飛行経路下の交通量調査を行う等でより実態に即した飛行経路における人との衝突リスク(地上リスク)の把握を行い、リスク評価の結果に基づくリスク軽減策の検討を行っているが、現地における交通量調査等は過大な負担となることから、より実態に即した動的かつ精緻なデータを活用することで、レベル4飛行での飛行経路の決定の時間短縮を含め、その自由度を向上させることができる可能性がある。

【調査概要】

レベル4飛行での飛行経路を決定する際に参照する人口密度データについて、現状想定している1kmメッシュよりもより細かなメッシュの精緻なデータ(精緻化データ)を用いることを念頭に、当該データの正確さを検証するとともに、当該手法の実現可能性について調査する。

【実証アプローチ】

本調査においては、①机上調査を通じて想定される精緻化手法を洗い出し、各々のメリット/デメリットを抽出したうえで比較検討可能な形式で一覧化し、②洗い出した精緻化手法のうち特に有効と考えられるものを選定し、その手法に対する正確性の検証を行う。

【精緻化手法洗い出し結果】

まずは人口密度データ精緻化手法の種別整理を行い、以下の4種別を調査対象とした。

種別	説明
統計的データ収集手法	国勢調査や住民基本台帳など、住民の情報を統計的に調査、収集する手法。
直接観測手法	人手による交通量調査や監視カメラ、航空/衛星画像などを用いて、特定の地域内に滞在する人数を直接的に計測する手法。
デジタルデータ分析手法	個人の所有する通信端末情報や、公共交通・監視システムなどのデジタルデータを収集することによって滞在人口を推定する手法。
その他のデータソース	商業施設への入場者数など、民間企業が独自の手法で収集する各種人流に関するデータや、ソーシャルメディア等に投稿されたジオタグ付きのデータによる分析など、人流予測に活用できる可能性のある各種データソース。

上記の種別に則り、人口密度データ精緻化手法の洗い出しを行った。

① 国勢調査(地域メッシュ統計)

種別	統計的データ収集手法
説明	総務省統計局によって5年に一度実施される、国内の人口や世帯の実態を明らかにするための統計調査。 結果を集計した地域メッシュ毎の人口密度データを「地域メッシュ統計」として公開している。
評価サマリ	全量調査のため信頼性は非常に高いものの、主に居住地を集計した情報の為、実態としての人流とは異なる可能性が高い。 ※本事業においては、国勢調査のメッシュ統計をより精緻化する手法の調査を目的としている。総務省統計局からは、500m、250mメッシュでの情報公開も行われている。

② 住民基本台帳

種別	統計的データ収集手法
説明	主に各自治体が管理する、住民の氏名、生年月日、性別、住所などを世帯別または個人別に記載した「住民票」をまとめた情報。
評価サマリ	全量調査のため信頼性は非常に高いものの、国勢調査と同様、主に居住地を集計した情報の為、実態としての人流とは異なる可能性が高い。

③ パーソントリップ調査

種別	統計的データ収集手法
説明	都市における人の移動に着目した調査。世帯や個人属性に関する情報と1日の移動をセットで尋ねることで、「どのような人が、どのような目的で、どこからどこへ、どのような時間帯に、どのような交通手段で」移動しているかを把握する手法。
評価サマリ	人流に関する統計情報を集約する手法ではあるが、パーソントリップ調査単体でメッシュレベルでの滞在人口を把握できる粒度ではない。 他の手法と組み合わせた補助データとしての活用となる。

④ 交通量調査

種別	直接観測手法
説明	人力による交通量調査であり、主に車両や歩行者の断面交通量、交差点交通量等を計測する手法。
評価サマリ	直接集計を行うため、実態に基づく正確なデータ取得が可能であるが、人員の配置が必要なため、大規模にデータの取得を行うには多大なコストと時間を要する。

⑤ 監視カメラ、CCTV

種別	直接観測手法
説明	監視カメラ等の映像を元に対象地域の滞在人口を推定する手法。
評価サマリ	直接集計を行うため、実態に基づく正確なデータ取得が可能であるが、カメラの配置や既存カメラからのデータ収集が必要なため、大規模にデータの取得を行うには多大なコストと時間を要する。

⑥ LiDAR センサー等

種別	直接観測手法
説明	カメラ映像による集計の際に、RGB カメラを用いないことで個人の特性をせずにプライバシーに配慮した集計を行う手法。
評価サマリ	直接集計を行うため、実態に基づく正確なデータ取得が可能であるが、カメラの配置や既存カメラからのデータ収集が必要なため、大規模にデータの取得を行うには多大なコストと時間を要する。

⑦ 航空写真/衛星画像

種別	直接観測手法
説明	衛星や航空機で撮影した画像を元に対象地域の滞在人口を推定する手法。
評価サマリ	将来的には情報の正確性、網羅性という観点で有効な施策と思われるが、現状では技術面、コスト面で課題が大きい。

⑧ モバイルデータ

種別	デジタルデータ分析手法
説明	通信キャリア基地局の保有する携帯端末の位置情報データを元にして人流データの分析を行う手法。 基地局以外にも、GPS プローブ、WiFi 等の情報も存在する。
評価サマリ	屋内外に分けた集計ができないことと、大手通信キャリアより購入が必要であることは懸念点として存在するものの、基本的な要件に関しては本調査における目的に合致しているものと評価する。 屋内外の評価については、将来的に都市データや航空データなどの補足情報を使って屋内外の情報を補うことが可能と考えられる。

⑨ 車両センサー

種別	デジタルデータ分析手法
説明	公共交通車両や民間の車両に搭載された GPS の情報を元に区画毎の混雑状況を集計する手法。
評価サマリ	交通渋滞等の集計のために一部で実用化が進められているものの、あくまで公道上のデータに限定されるため、包括的なデータ取得ソースとしては不十分である。

⑩ 交通管理システム

種別	デジタルデータ分析手法
説明	Tシステム、Nシステム、LHシステムなどの交通管理システムを用いた人流データの分析を行う手法。
評価サマリ	断面交通量の統計情報は既に一部が公に公開されているが、特定の地点に特化した情報であるため、大規模なデータ取得が困難である。

⑪ ソーシャルメディア

種別	その他のデータソース
説明	ソーシャルメディアのジオタグ付き投稿の集計による滞在人口の推定手法。
評価サマリ	ジオタグ付き投稿自体が限定的な情報ソースとなるため、あくまで他の手法に対する補助データとしての位置付けとなり、この手法単体での人流把握は困難である。

⑫ 商業データ

種別	その他のデータソース
説明	商業施設や娯楽施設における一日の来場者数を集計し公表されたもの。
評価サマリ	特定の施設や区域に関する滞在人口は正確に収集できる可能性がある。大規模に人流データを取得することは困難である。

【手法の選定方法及び選定結果】

選定した各手法それぞれについて、集計範囲、時間情報の管理、属性情報の管理、屋内外情報の取り扱い、完全性/可用性、実現可能性の6軸で詳細な評価を行い、総合的に最も調査の目的に即した手法を選定するものとした。結果として、本事業において正確性検証を行う人口密度データ精緻化手法には⑧モバイルデータを活用した手法を選定した。選定理由を以下に示す。

モバイルデータ活用手法の人口密度精緻化に際する評価

選定軸	説明
集計範囲	<p>大手キャリアの通信基地局は 100%に近い人口カバー率を有しており、また GPS 等のデータについても地球上のどの地点においても基本的に収集が可能であることから、集計範囲としては日本全国をカバー可能である。</p> <p>また、メッシュ粒度もサービスにより 500m～最小 50m まで存在する。</p>
時間情報の管理	<p>モバイルデータの収集は 24 時間行うことが可能なため、任意の時間軸に区切って人流情報の集計を行うことが可能である。実際に提供されているサービスでは 1 時間単位での人流統計を公開しているものも存在する。</p> <p>また、一部のサービスではリアルタイムデータの提供も行われている。</p>
属性情報の管理	<p>主にスマートフォン端末の情報を収集したデータを元にしていないため、人や車両などの区別は無い。</p> <p>一方でサービスによっては性別や年齢などいくつかの属性項目毎の集計が可能となる。</p> <p>※本実証の人口密度データの精緻化検証においてはデータとして十分であると想定。</p>
屋内外情報の取り扱い	<p>集計対象データが屋内のものであるか、屋外のものであるかは基本的には属性として取得できない。</p> <p>将来的な運航空域のリスク評価に当たっては、対象空域が建物や施設の上空であるか、道路等の歩行可能な場所の上空であるかといった追加の情報を活用することで精緻化が可能であると想定し、今回の正確性検証においては本ポイントは度外視する方針。</p>
完全性・可用性	<p>【分析データ】 過去の一定の期間(1年、1カ月など)を集計したデータに関しては、一度取得を行えばリスク評価への活用は安定的に行うことができる。 ※定期的な情報アップデートは必要となる。</p> <p>【リアルタイムデータ】 一部のリアルタイムデータを活用する場合は、サービス事業者の運用状況によっては利用できない可能性も存在する。</p>
実現可能性	<p>既に複数の通信キャリアや位置情報サービス事業者から人流分析サービスとして提供されている。</p> <p>ただし詳細なメッシュ統計情報は購入する必要あり。</p> <p>※</p>

※販売価格はサービスや情報の粒度により幅が存在するものの、おおむね集計データの CSV ファイルの購入に市区町村当たり数十万～百万円程度、全国版で一千万～四千万程度の価格が設定されている。またブラウザ上のみで閲覧可能なオンライン版が月額十～三十万円程度と設定されている。

【正確性検証手法】

モバイルデータを活用した人口密度の精緻化手法の実用性を検証するため、具体的な活用サービスの選定を行った。複数の事業者が展開するそれぞれのサービスの中から、今回の調査における実証候補地及びメッシュサイズに適して2つサービスについて検証を行うものとした。

モバイルデータ活用手法の正確性検証に活用する具体サービス

サービス名	説明	今回対象
サービス A	大手キャリアの基地局データを元にした端末の位置情報を用いて生成した人流データ。 メッシュサイズは 500m, 250m 検証用データあり。	○ メッシュサイズが調査の対象として適切であること。調査期間内にトライアル検証が可能であることから対象とした。
サービス B	大手キャリアの基地局データを元にした端末の位置情報を用いて生成した人流データ。 メッシュサイズは 500m, 250m, 125m 検証用データあり。	○ メッシュサイズが調査の対象として適切であること。調査期間内にトライアル検証が可能であることから対象とした。
サービス C	大手キャリアの保有する基地局データ及び都市計画や交通計画情報を掛け合わせて生成した人流データ。 メッシュサイズは 500m, 250m	× 250m メッシュの対象地域が極端に限られている事、検証用のトライアル利用が困難であることから対象外とした。
サービス D	スマホアプリから取得した GPS などの位置情報を秘匿化・統計加工した位置情報ビッグデータ メッシュサイズは 500m, 50m	× 50m メッシュの対象地域が極端に限られている事、検証用のトライアル利用が困難であることから対象外とした。

検証方針として、モバイルデータ活用手法により取得・提供された人流データに関して、別の手法によって測定された既知の人口密度データ(基準データセット)との整合性を確認することで、手法の正確性を検証する。

今回基準データセットに用いる国勢調査結果に基づく地域メッシュ統計データは、居住地を元にした人口密度を示しているため、モバイルデータ活用手法により取得された人流データとは差異が生じることが予想される。そのため、基準データセットと検証データの差異に関しては、日中、夜間帯の在宅率等の調査結果を公表している NHK「2020 年 国民生活時間調査」の結果を加味して妥当性の評価を行うものとする。具体的には、日中帯の在宅率 30%、夜間帯の在宅率 90%という基準を加味した上で、各検証地の地域特性を考慮して評価を行うものとする。

以下に基本的な基準を示す。

- ・日中帯：地域メッシュ統計に対して 30～300%

日中帯とは、主に 10:00-16:00 の平均を示す。

下限（30%）の根拠：

NHK「2020年 国民生活時間調査」による日中の在宅率 30%を設定。

上限（300%）の根拠：

オフィスや商業施設への人流の集中を考慮すると優に数倍から数十倍に増加する可能性がある。総務省統計局の公表する「昼間人口」情報によると、東京 23 区、大阪市、名古屋市での人口比率が特に高い一部の地域（東京都 千代田区、中央区、港区、大阪市 中央区、北区、名古屋市 中区など）では 500～3,000%近い市区町村も存在するが、その他の全ての区においては 70～300%程度の水準となっている。そのため今回の日中帯の上限基準として 300%を設定するものとした。（地域によっては 300%を超える可能性も十分に存在することに留意して検証）

- ・夜間帯：地域メッシュ統計に対して 50%～150%

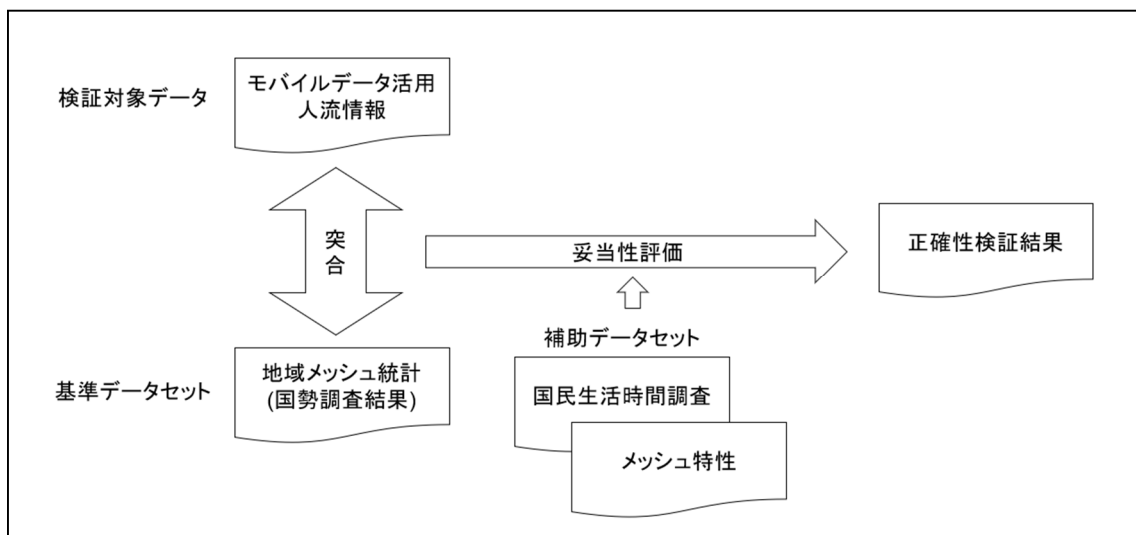
夜間帯とは、主に 20:00-26:00 の平均を示す。

下限（50%）の根拠：

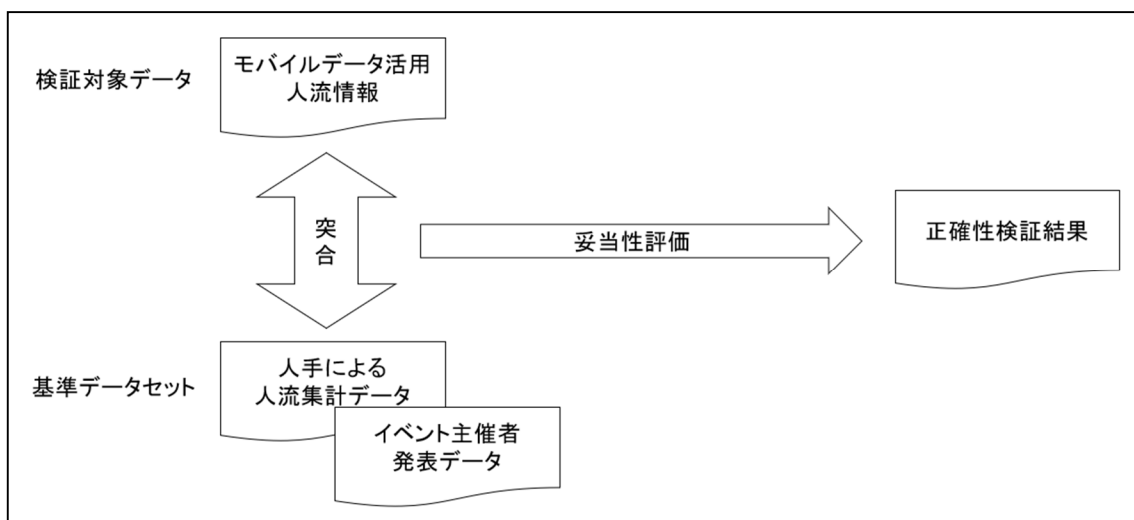
NHK「2020年 国民生活時間調査」による就寝時の在宅率 90%であるが、今回の集計時間帯においては娯楽施設や食事、夜勤などによる外出が想定されることから、日中の 30%の在宅率に近い 50%を設定。

上限（150%）の根拠：

夜間帯においても娯楽施設や宿泊施設、夜勤などにより一定数の人口増加が見込まれると想定する。日中帯の上限値における 200%の滞在人口（昼間人口－居住者数）の 1/4 が夜間にも滞在していると想定し、150%を設定。



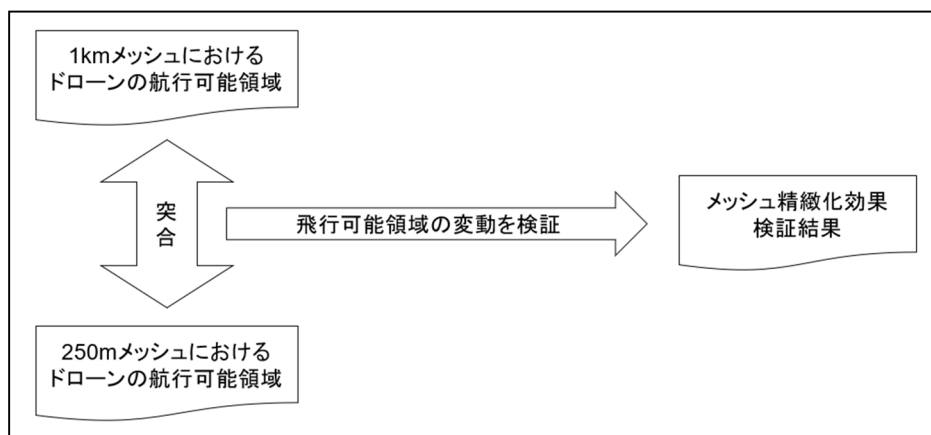
特定の検証地においては、基準データセットとして国勢調査結果に基づく地域メッシュ統計データではなく、人手による人流集計データを用いることとする。これは居住者のいない、あるいは極めて少ない一方で人の出入りが激しい場所（イベント会場、商業施設など）については、居住地をもとにした国勢調査結果を基準データセットとして用いることが不適であると想定されるためである。また、実測日には対象地域にて多数の来場者が参加するイベントが開催されていたため、イベント主催者の公表する来場者数の情報についても基準データセットに用いる。詳細については後述の④代々木公園の検証結果において記載する。



【精緻化によるドローン航行可能領域の検証手法】

本調査の目的として、動的な人流情報の把握によるより実態に即したグランドリスクの把握を行う一方で、人流情報の把握粒度をより細かいメッシュに精緻化することにより、特定の型式認証、例えば1キロ四方当たり390人以下の基準で飛行試験を行い認証を受けたドローンが、飛行できる領域を広げることのできる可能性を模索することが見込まれている。

それぞれの正確性検証地において、1kmメッシュで評価したドローンの航行可能領域と250mメッシュで評価したドローンの航行可能領域を照らし合わせその変動率を算出し、メッシュ精緻化による効果の検証を行う。

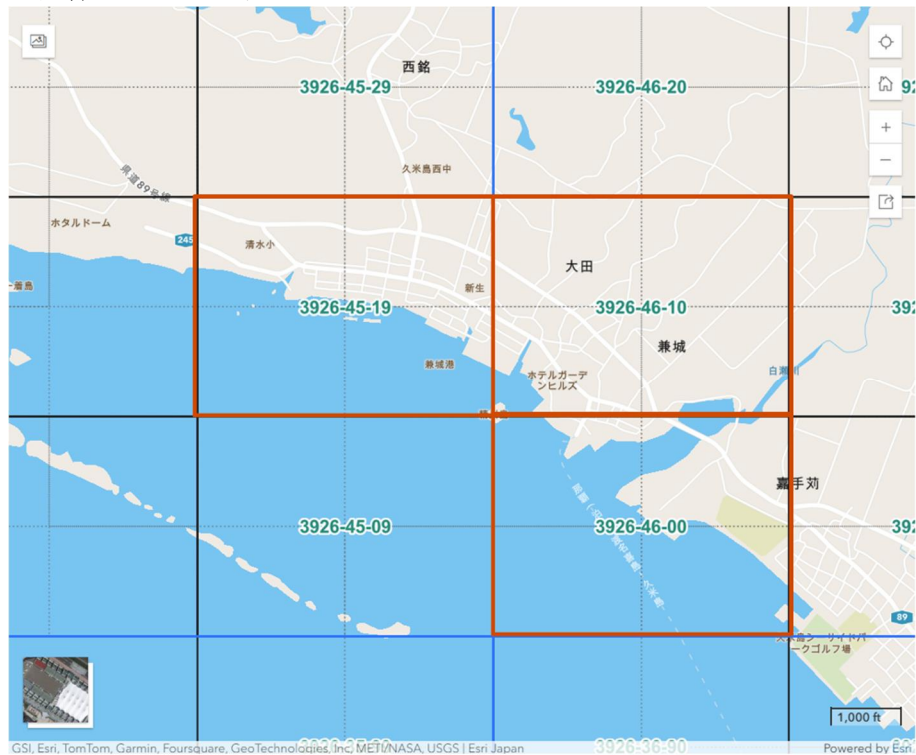


※評価の詳細については以降の「検証結果」を参照。

【検証結果】

① 久米島(沖縄県島尻郡久米島町仲泊周辺)

※赤枠=1km 四方メッシュ



出展 : Esri ジャパン 標準地域メッシュ検索アプリ (以下同様)

1点目の検証地として、「無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業」でレベル4飛行の実証を実施した沖縄県久米島の仲泊周辺を選定した。検証対象としたのは赤枠で囲われた3メッシュ(1kmメッシュ)とした。メッシュ選定の根拠として、今回計測を行う500mメッシュ、250mメッシュ内の人口密度が数人～数百人と幅広く分布しており、人流規模に応じた検証が行えること、また、港(兼城港)や病院、郵便局などの物流拠点を有しており、ドローンの有効性検証として目的に合致していると考えられるためである。

(モバイルデータ活用手法の正確性検証)

本検証地については、モバイルデータ活用手法サービスの、プライバシーの観点から一定の閾値を下回る地域の250mメッシュ統計を公開しない、という特性上、500mメッシュでの集計を行った。

対象地域は住宅街と商業地区が明確に分離していないことから、日中帯と夜間帯の人口動態について、国勢調査を元にした地域メッシュ統計の値に対しては設定した割合の範囲内に収まることを基準として評価を行った。

日中帯：地域メッシュ統計に対して30～300%

夜間帯：地域メッシュ統計に対して50%～150%

評価結果を表に示す。

サービス	サービス A		サービス B	
	日中帯	夜間帯	日中帯	夜間帯
基準内のメッシュ割合	66.7%	44.4%	100%	77.8%

※地域メッシュ統計における人口が0もしくは2桁前半などの極端に少ない数値であったメッシュは除いて集計。

久米島町仲泊周辺地域においては、サービス B の正確性が高いことが分かった。一方で、サービス A は基準値内に収まるメッシュ割合が特に夜間帯については50%を切っており、正確性の観点で課題を有する結果となった。

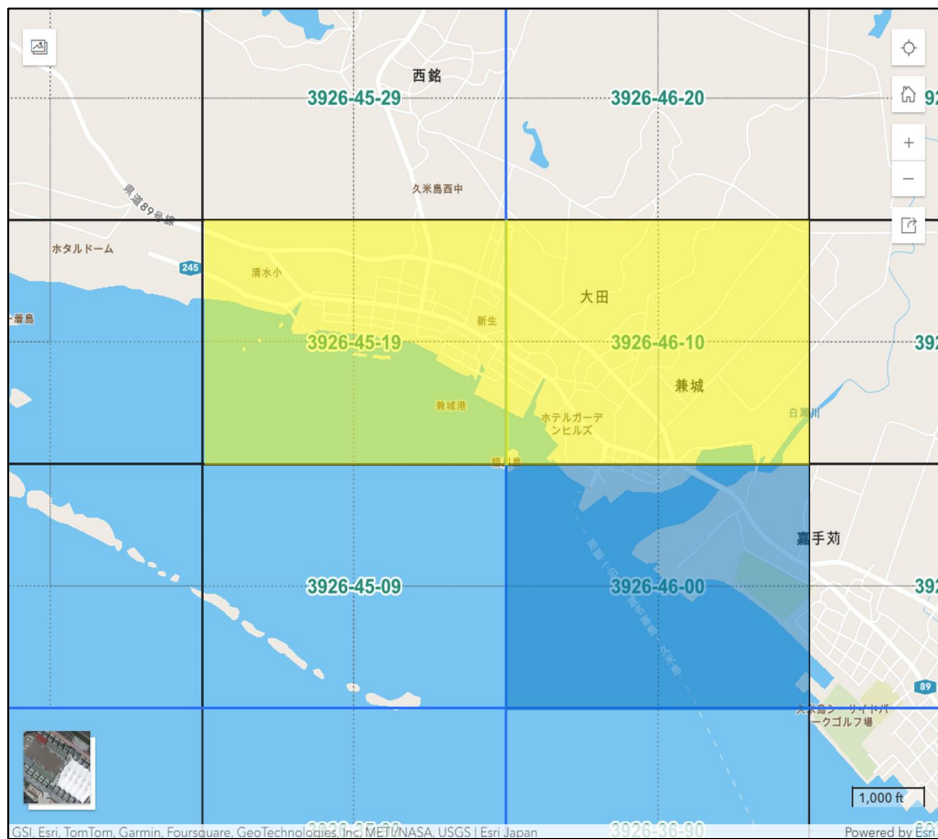
(精緻化によるドローン航行可能領域の変化)

メッシュの大きさを変更することによりドローンの飛行可能領域がどのように変化するかを示す。以下の図においては、第一種型式認証の関連で例示されている人口密度を表している。

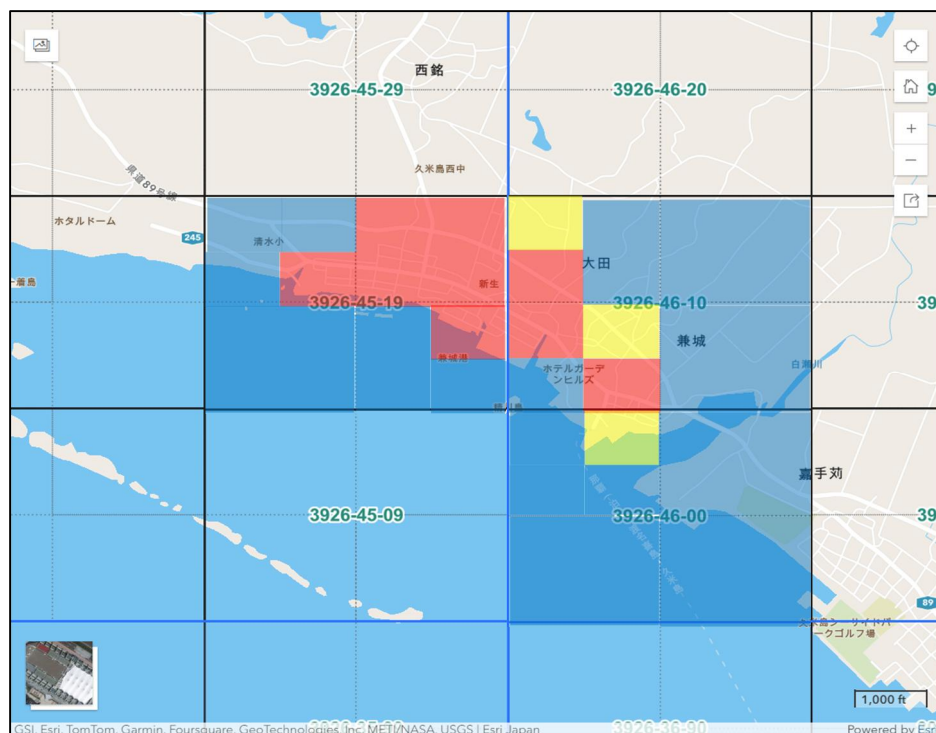
青枠： 390 人/km²以下

黄枠： 391 人/km²以上、1159 人/km²以下

赤枠： 1160 人/km²以上



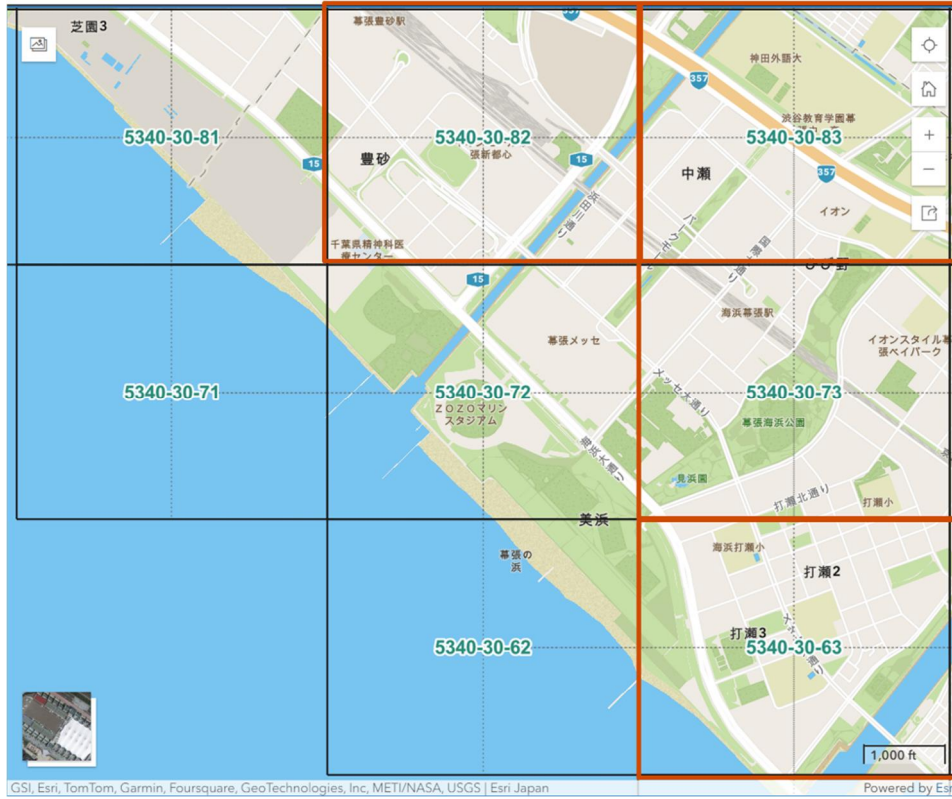
以下に、同地域の 250m メッシュの人口密度をプロットしたデータを示す。なお、このデータは総務省統計局の公開する「地域メッシュ統計」を元としている。



対象メッシュ数(250m)		48 メッシュ
1km メッシュに対して人口密度が減少	メッシュ数	21 メッシュ
	割合	43.8%
1km メッシュに対して人口密度が増加	メッシュ数	10 メッシュ
	割合	20.8%

1km メッシュにおける人口密度に対して、250m メッシュで算出した人口密度を用いることによって 43.8%の航行可能範囲の拡大が見込めることが分かった。一方で、1km メッシュに対して人口密度の評価が増加し、航行可能範囲が狭まること予想される地域が 20.8%存在した。

② 千葉県海浜幕張駅周辺
 ※赤枠=1km 四方メッシュ



2点目の検証地として、「無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業」でドローンと自動配送ロボット連携実証を実施した千葉県の海浜幕張駅周辺を選定した。検証対象としたのは赤枠で囲われた4メッシュ(1kmメッシュ)とした。メッシュ選定の根拠として、全体的な人口密度が比較的高く、また周辺には夜間帯と日中帯で大きく人口動態が変動すると予想される駅や大型の商業施設などが密集しており、精緻化手法に関する検証バリエーションとして有効であると考えられるためである。

(モバイルデータ活用手法の正確性検証)

対象地域は特に商業施設が密集している事から、日中帯及び夜間帯における人流情報は国勢調査を元にした地域メッシュ統計と大幅な相違が見られると予想される。特に日中帯については大幅な人流が見込まれる地域であるため、参考の位置付けとし、特に夜間帯の人口動態についての集計を元に評価を実施する。また夜間帯においても一定の人流が想定される地域であることから、地域メッシュ統計に対する基準値を50%~200%とした。

日中帯：地域メッシュ統計に対して30~300%

夜間帯：地域メッシュ統計に対して50%~200%

評価結果を表に示す。

サービス	サービス A		サービス B	
	日中帯	夜間帯	日中帯	夜間帯
基準内のメッシュ割合	76.0%	80.0%	44.0%	20.0%

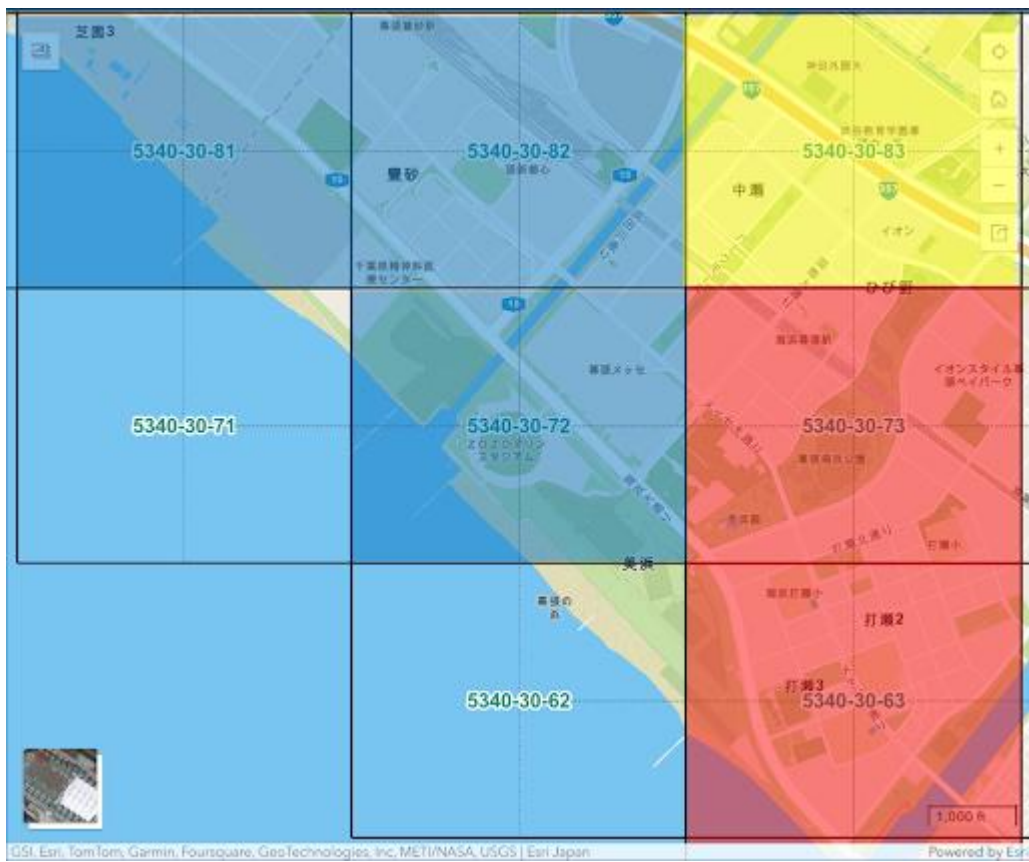
※地域メッシュ統計における人口が0もしくは2桁前半などの極端に少ない数値であったメッシュは除いて集計。

該当地域においては、サービス A は基準内に合致するメッシュが日中、夜間帯共に約80%の比較的高い割合で集計された。一方でサービス B は特に夜間帯が20%と低い水準となった。両者共に、基準内に収まらなかったメッシュの大部分が基準値を下回る水準となっていた。1kmメッシュ当たりの人口が10,000人を超えるような比較的人口密度の高い地域においては、モバイルデータ活用手法による人流統計の値が地域メッシュ統計にもとづく基準値よりも少なく換算される可能性があることが分かった。

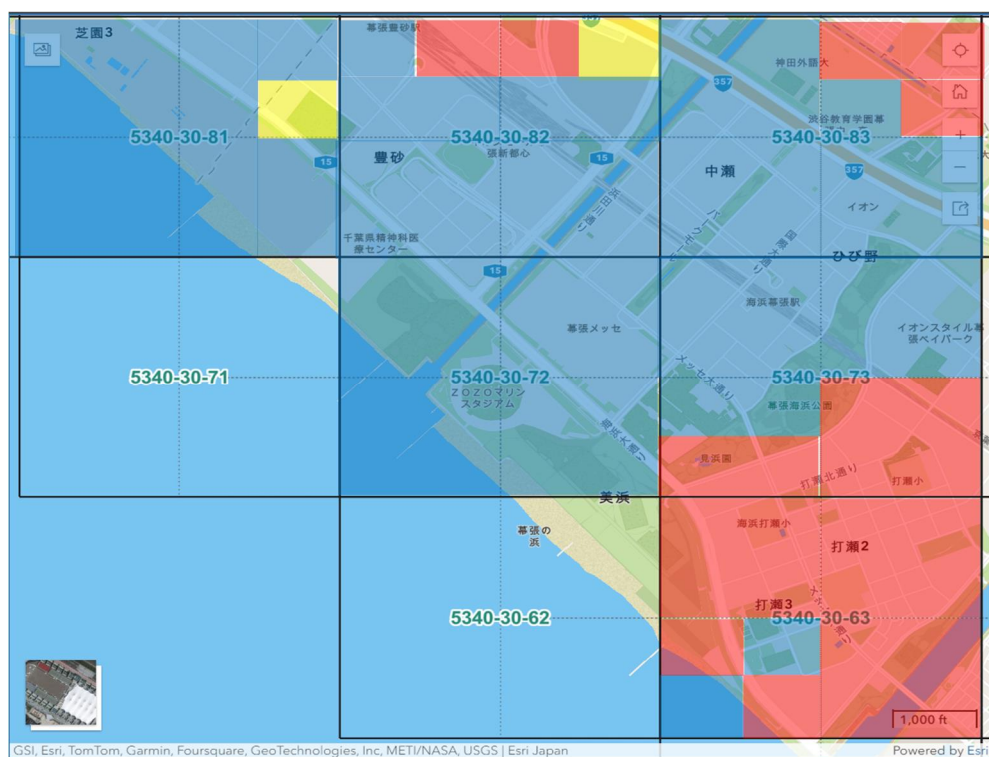
(精緻化によるドローン航行可能領域の変化)

メッシュの大きさを変更することによりドローンの飛行可能領域がどのように変化するかを示す。本調査対象地域については正確性検証の対象とした4メッシュ(1kmメッシュ)よりも拡大した6メッシュ(250m四方メッシュ換算で96メッシュ)を対象としているが、理由としてはドローンの飛行経路設計の観点から踏まえると人口密度の検証としては不十分な2メッシュを加えた方が連続性をもって検証できるためである。以下の図においては、第一種型式認証における人口密度の目安を表している。

- 青枠： 390 人/km²以下
- 黄枠： 391 人/km²以上、1159 人/km²以下
- 赤枠： 1160 人/km²以上



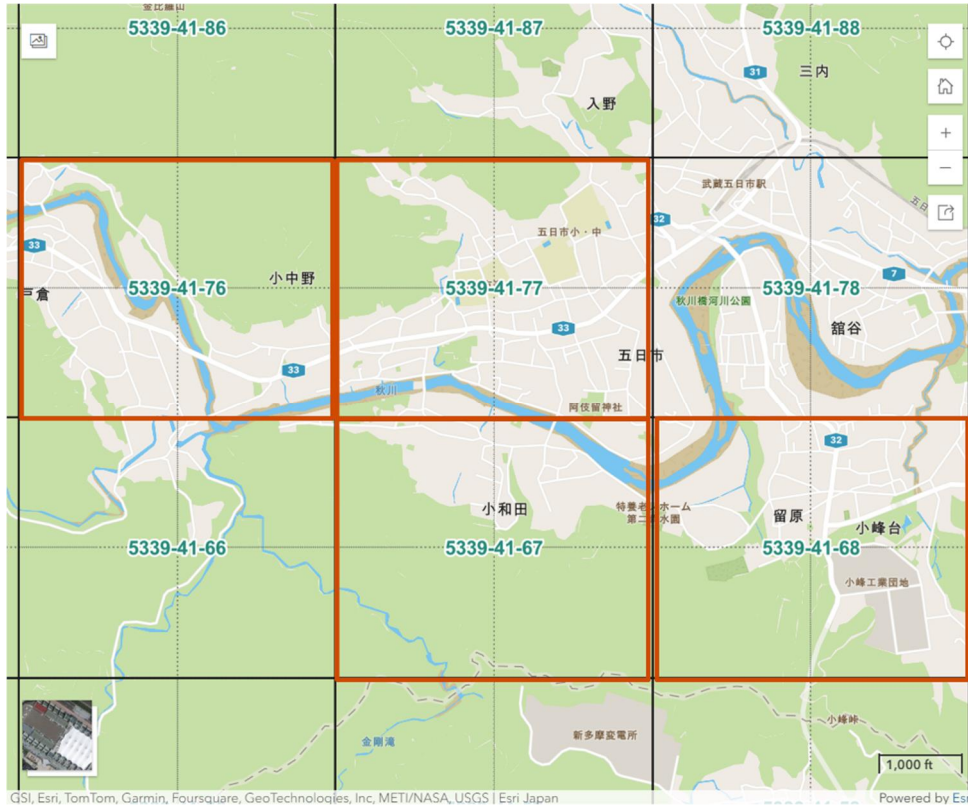
以下に、同地域の 250m メッシュの人口密度をプロットしたデータを示す。なお、このデータは総務省統計局の公開する「地域メッシュ統計」を元としている。



対象メッシュ数(250m)		96 メッシュ
1km メッシュに対して人口密度が減少	メッシュ数	25 メッシュ
	割合	26.0%
1km メッシュに対して人口密度が増加	メッシュ数	7 メッシュ
	割合	7.3%

1km メッシュにおける人口密度に対して、250m メッシュで算出した人口密度を用いることによって 26% の航行可能範囲の拡大が見込めることが分かった。一方で、1km メッシュに対して人口密度の評価が増加し、航行可能範囲が狭まることが予想される地域が 7.3% 存在した。

③ あきる野市周辺
 ※赤枠=1km 四方メッシュ



3点目の検証地として、JALやKDDI等により東京においてもっともドローンの実証が進んでいる地域の一つであるあきる野市の五日市周辺を選定した。検証対象としたのは赤枠で囲われた4メッシュ(1kmメッシュ)とした。メッシュ選定の根拠として、今回計測を行う500mメッシュ、250mメッシュ内の人口密度が数人～数百人と幅広く分布しており、人流規模に応じた検証が行えること、また、鉄道や郵便局などの物流拠点、河川、公園、山などの自然環境の多い地域を有しており、ドローンの有効性検証として目的に合致していると考えられるためである。

(モバイルデータ活用手法の正確性検証)

本検証地については、モバイルデータ活用手法サービスの、プライバシーの観点から一定の閾値を下回る地域の 250m メッシュ統計を公開しない、という特性上、500m メッシュでの集計を行った。

対象地域は住宅街と商業地区が明確に分離していないことから、日中帯と夜間帯の人口動態について、国勢調査を元にした地域メッシュ統計の値に対して以下の割合の範囲内に収まることを基準として評価を行った。日中帯：地域メッシュ統計に対して 30～300%夜間帯：地域メッシュ統計に対して 50%～150%

評価結果を表に示す。

サービス	サービス A		サービス B	
	日中帯	夜間帯	日中帯	夜間帯
基準内のメッシュ割合	92.3%	69.2%	92.3%	69.2%

※地域メッシュ統計における人口が 0 もしくは 2 桁前半などの極端に少ない数値であったメッシュは除いて集計。

あきる野市周辺においては、サービス A、サービス B 共に比較的高い正確性を有することが判明した。基準内に収まらなかったメッシュに関しても、地域メッシュ統計においてメッシュ内の人口が数十人規模の地域であったために誤差が大きくなった可能性があるため、本地域におけるモバイルデータ活用手法の人流データの正確性はある程度高いと言える。

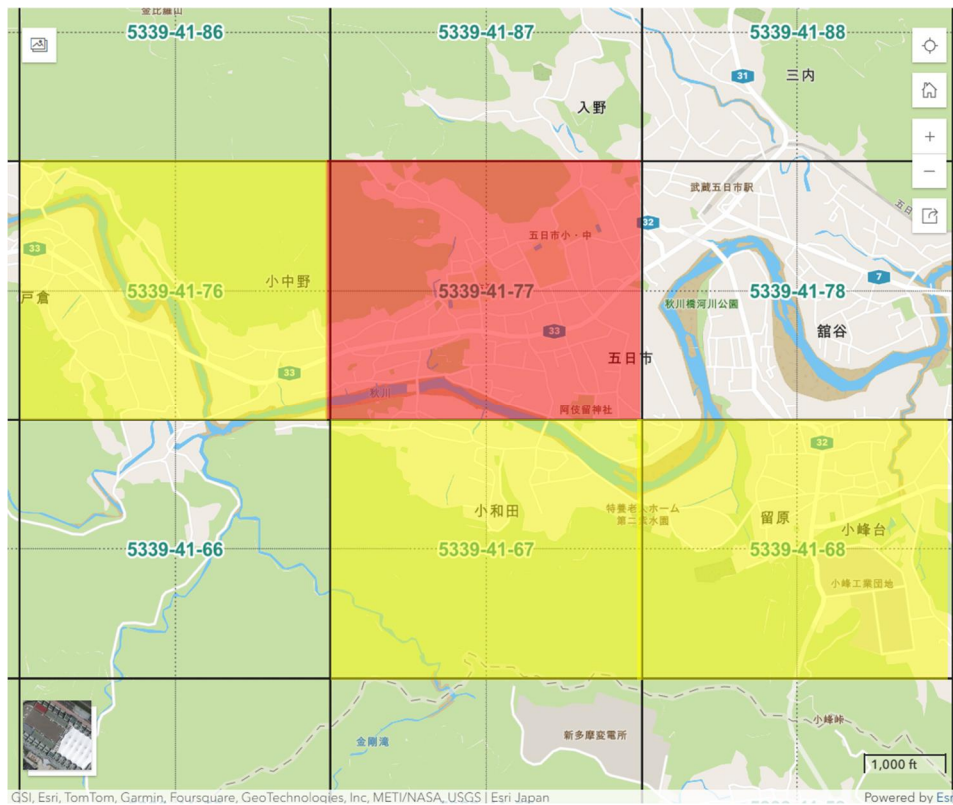
(精緻化によるドローン航行可能領域の変化)

メッシュの大きさを変更することによりドローンの飛行可能領域がどのように変化するかを示す。以下の図においては、第一種型式認証における人口密度の目安を表している。

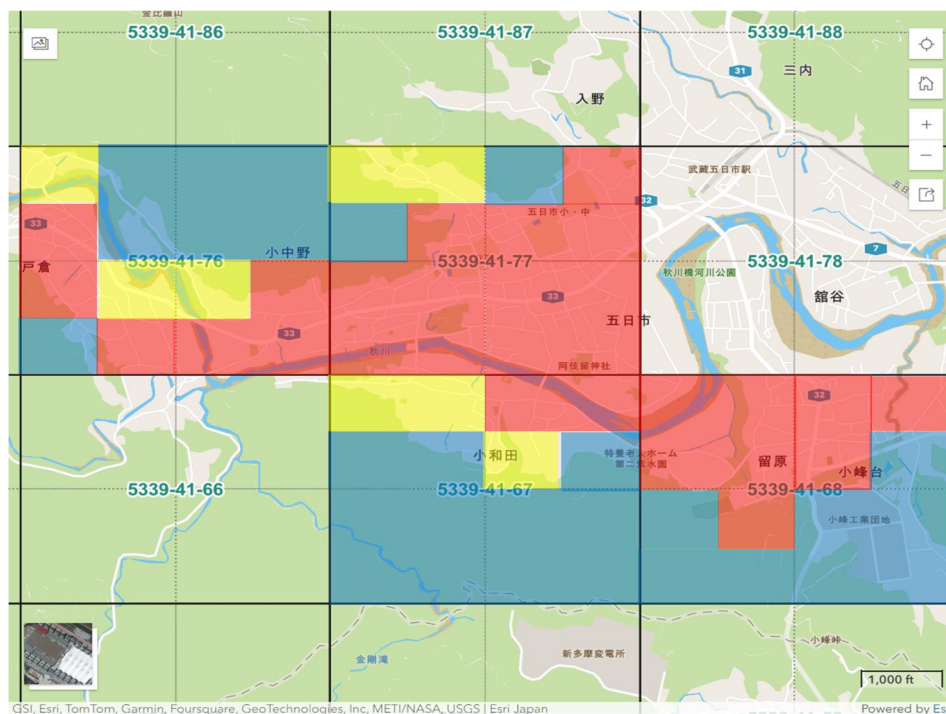
青枠： 390 人/km²以下

黄枠： 391 人/km²以上、1159 人/km²以下

赤枠： 1160 人/km²以上



以下に、同地域の 250m メッシュの人口密度をプロットしたデータを示す。なお、このデータは総務省統計局の公開する「地域メッシュ統計」を元としている。

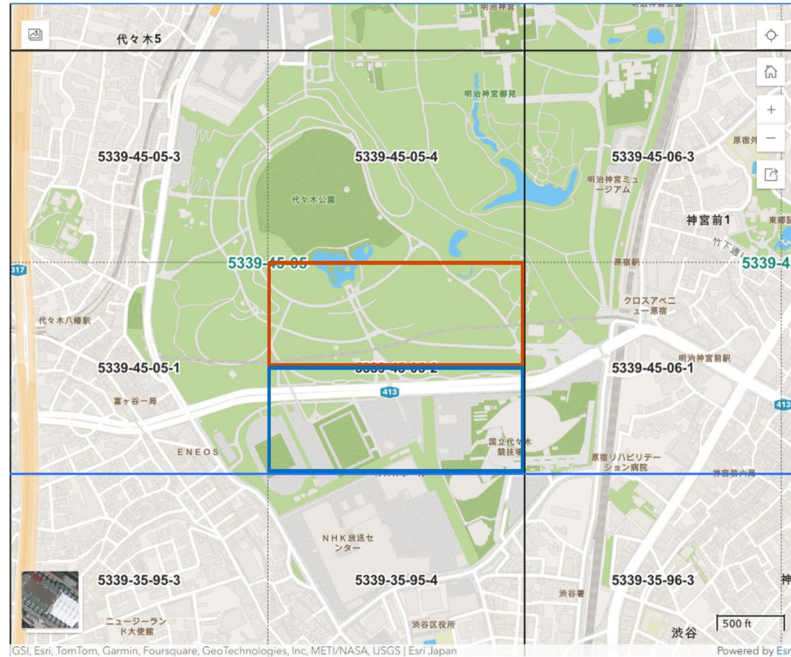


対象メッシュ数(250m)		64 メッシュ
1km メッシュに対して人口密度が減少	メッシュ数	30 メッシュ
	割合	46.9%
1km メッシュに対して人口密度が増加	メッシュ数	16 メッシュ
	割合	25%

1km メッシュにおける人口密度に対して、250m メッシュで算出した人口密度を用いることによって 46.9%の航行可能範囲の拡大が見込めることが分かった。一方で、1km メッシュに対して人口密度の評価が増加し、航行可能範囲が狭まること予想される地域が 25%存在した。

④ 代々木公園

※赤枠+青枠=500m 四方メッシュ



4点目の検証地として、都市部でのドローンの活用を見据えて上で、イベント主催者の公表する来場者数の情報についても基準データセットに用いることが可能な東京都渋谷区の代々木公園を選定した。検証対象としたのは赤枠及び青枠で囲われた地域(500m、1メッシュ)とした。本地域は他検証地と異なり、計測者が実際に現地赶赴して、対象メッシュの範囲を歩行しながら目視でメッシュ内に滞在している人数の集計を行い、その集計情報を基準データとして取り扱うものとした。赤枠の地域については公園内の人流の集計を行い、青枠の地域については当日開催されていたイベントの来場者数について集計を行うものとした。またイベントの主催者発表の来場者数についても同様に基準データとして取り扱った。本検証地は、居住者をベースとした地域メッシュ統計だけでなく、夜間の立ち入りはほとんど無く、日中帯のみ人口密度が増加する地点の検証バリエーションとして検証の対象とした。

(モバイルデータ活用手法の正確性検証)

2024/3/3(日)の正午に実測データの集計を行った。イベント会場周辺とその他の区域で大きく人流特性が異なるため、それぞれにおいて評価結果を集計する。

【代々木公園内部(赤枠範囲)】

代々木公園内部の人流データの基準データセットとして、2024/3/3(日)に人手により集計を行ったデータを活用する。対象とした250mメッシュは2カ所であり、それぞれメッシュ当たり約320人、約490人という集計結果となった。各サービスにおける結果を以下の表に示す。

対象メッシュ	実測値	サービス A	サービス B
①	320	360 (誤差約 13%)	70 (誤差約 77%)
②	490	530 (誤差約 8%)	120 (誤差約 76%)

サービス A に関しては、実測値と比較して概ね誤差 10%程度に収まっており、非常に高い正確性を示している。一方でサービス B に関しては実測値に対して 70%以上の誤差が存在しており、特定のタイミングにおけるリアルタイム集計に関しては正確性が担保されないという結果となった。

【イベント会場周辺(青枠範囲)】

基準データセットとして、人手により集計した実測データと、イベント主催者の公表する参加人数の集計情報を用いる。まず実測データとして、2024/3/3(日)正午にイベント会場周辺に滞在する人口を集計した結果、約 1,100 人であった。また、イベントの主催者発表によると、イベントの総来場者数は 11,000 人であった。

総来場者数を開催時間で割ると平均値は 916 人であり、またイベントスタッフや来場者以外の人流も含まれていることから、実際の対象地域の滞在者数は 1,000 人を超える程度が目安となる。

モバイルデータ活用手法により計測された人流データの評価を行った結果を以下の表に示す。

時間帯	サービス A		サービス B	
	3/2(土)	3/3(日)	3/2(土)	3/3(日)
10:00	800	900	800	1,200
11:00	800	1,200	800	1,100
12:00	900	1,200	800	1,300
13:00	1,000	1,500	1,100	2,100
14:00	1,100	1,600	800	1,800
15:00	1,100	1,200	700	1,600
16:00	800	1,000	400	1,600
時間当たり平均	1,078 人		1,150 人	

※プライバシー等の保護の観点から、上記の数字は 100 人単位で四捨五入を行った数値を記載。

サービス A、サービス B 共に二日間の該当地域の人流データを時間あたりに平均すると、基準データセットより割り出された 1,000 人超という基準にほぼ合致している。また、3/3(日)の正午における人流データはそれぞれ 1,200 人、1,300 人と、実測データである 1,100 人という数字に概ね合致していると考えられる。

これらの結果から、イベント会場におけるモバイルデータ活用手法によって割り出された人流データの正確性は高いと判断した。

(精緻化によるドローン航行可能領域の変化)

※代々木公園は実地検証を伴う正確性検証を主眼とするため、精緻化によるドローン航行可能領域の分析対象外とする。

【検証結果サマリ】

(モバイルデータ活用手法の正確性検証)

- サービス毎の特性を理解した上での活用が求められる
正確性評価の結果と対象地域毎の人口密度水準を以下の表に示す。

地域	サービス A	サービス B	調査対象メッシュの人口密度(1km)
久米島町	約 50%	約 80%	100~1,000 人
幕張	約 80%	約 30%	8,000~14,000 人
あきる野市	約 80%	約 80%	400~3,000 人
代々木公園	約 90%	約 30%	5,000~8,000 人 ※250m メッシュの人口密度を 1km メッシュに換算した値 ※代々木公園におけるモバイルデータの正確性は、基準内に収まるメッシュの割合ではなく、実測値との誤差で検証

1km メッシュ当たりの人口密度が 400~3,000 人規模の、本調査においては中規模の人口密度地域であるあきる野市においては、サービス A、サービス B 共に 90% 台と高い正確性を示す結果となった。人口密度が 100~1,000 人と比較的低い地域である久米島町においては、サービス A の正確性が低く、サービス B の正確性が高い結果となった。また、メッシュ当たりの人口密度が 5,000 人以上と高い幕張及び代々木公園といった地域に関してはサービス A が 90% と高い水準の一方で、サービス B は 30% という低い水準となった。サービス毎に得意とする人口密度水準が存在すると考えられるため、実運用の検討の際にはサービス特性を加味した上で複合的に活用することが求められる可能性がある。

- 地域メッシュ統計との差異の原因と対策について

今回の調査においては、日中帯、夜間帯それぞれで地域メッシュ統計を元にした基準を設け、モバイルデータ活用手法による集計の内、基準内に収まる人流を示したメッシュの割合を集計した。一方で基準内に収まらなかったメッシュを確認すると、かろうじて基準内に収まらなかったメッシュも存在する一方で、数倍～数十倍の高い数値を示したメッシュも存在した。原因についてサービス事業者への問い合わせを含めて確認を実施したものの、現時点で明確な原因は判明しなかった。考えられる原因として以下のようなものがある。

- ▶ 地域メッシュ統計とモバイルデータ活用手法の集計方法の差異

地域メッシュ統計においては、国勢調査により得られた住民の住所を元にメッシュ毎の人口密度を算出している。一方でモバイルデータ活用手法においては、主に基地局で得られたモバイル情報を元に人口密度データをメッシュに割り当てているため、厳密にメッシュ間の境界線で人流データを区分することが困難である可能性がある。モバイルデータの活用に関しては、地域メッシュ単位での集計だけでなく自由に領域を策定してその範囲内の人流を集計するサービスも存在するため、それぞれの活用手法に適した集計区分を設定することが正確性の向上に繋がる可能性がある。

- ▶ 地域メッシュ統計と人口実態との差異

地域メッシュ統計においては、国勢調査により得られた住民の住所を元にメッシュ毎の人口密度を算出している。国勢調査は全数調査の為、高い正確性を担保している一方で、5年に一回の調査であり最新の実態を示しているわけではない(今回の調査は2020年の国勢調査結果に対して2023～2024年の集計データを使用)こと、アンケート調査の性質上、100%の確実性を担保できるものではないことから、実態の人口動態との差異が影響している可能性が考えられる。

- ▶ モバイルデータ活用手法の集計方法の特性

モバイルデータ集計手法においては、基本的に各キャリアがそれぞれのユーザーの使用状況を基地局データなどから収集し、地域における自社のシェア率や情報開示端末の割合などを掛け合わせて人口密度を集計している。そのため、地域によってシェア率や情報開示端末に偏りがある場合、それに伴い人口密度情報が実態と異なる可能性が存在する。モバイルデータを活用する場合は、複数のキャリアやサービス事業者が展開する集計サービスを複合的に取り扱うことが精度向上に寄与する可能性がある。

(精緻化によるドローン航行可能領域の変化)

- より細かいメッシュ粒度活用により、20～40%程度の航路の拡大可能性がある

検証を行った3カ所については、1kmメッシュから250mメッシュに粒度を変更することで、26～40%程度のドローン飛行可能領域が増加する可能性があるという結果となった。一方でドローン飛行可能領域が減少する可能性がある割合が6～14%程度存在した。総合的には減少する可能性のある範囲よりも増加する可能性のある範囲の方が占める領域が大きいため、メッシュ粒度を精緻化することにより今後のドローンのレベル4飛行の実用性を向上させる期待が存在することが判明した。

また今回の調査対象地域においては、あきる野市など比較的まんべんなく人口密度が分布している場合と比較して、久米島町や幕張など沿岸部や大型の商業施設により空白地帯が存在するエリア特性においてはより多くの飛行可能範囲の拡大が見込まれる結果となった。

(ドローン物流に資する効果)

本調査の結果を元に、ドローンを用いた物流においてサービス事業者、ドローン運航事業者、サービス利用者それぞれにどのようなメリットがもたらされる可能性があるかを以下に示す。

- サービス事業者（店舗・卸等）
 - サービス範囲の拡大
精緻な飛行計画により安全にアクセスできる地域が増えることで、新たな市場領域への進出が可能となる。
 - コスト削減
効率的な飛行経路の設定により、配送にかかる時間及び燃料などのエネルギーが削減され、運用コストの低減が見込まれる。
 - 競争力強化
より精緻な安全管理と効率的なサービス提供により、物流市場での競争力の強化が見込まれる。

- ドローン運航事業者
 - 安全性の向上・事故リスクの低減
より詳細な地上リスクの把握、管理を行うことで、飛行計画の安全性を向上させるとともに、事故やトラブルの発生リスクを低減することができる。
 - 運航効率の向上
詳細なデータに基づいて計画することにより、全体の運航効率が上がりより多くの物流タスクをこなすことができるようになる。

- サービス利用者（消費者等）
 - サービス利用可能領域の拡大
精緻化データを用いることにより、従来よりも多くの地域でドローンの配送サービスが利用可能となる。
 - 配送速度などサービスの質の向上
飛行経路の効率化により、配送にかかる時間の短縮など、サービス（品数、品質等）の質が向上する可能性がある。
 - サービスの利用価格低減
配送経路の効率化に伴い燃料などのサービス事業者の経費が削減されることにより、サービスの利用価格の低減に繋がる可能性がある。

7. 事例集ヒアリング結果

i. ヒアリング結果

本事業において、ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン Ver. 4.0(2)に掲載している事例を更新するため、全事業者に事業を継続して実施しているかヒアリングを実施した。そのうえで、継続的に実証結果を得られている事業者が更新した最新事例を収集した。また、本事業で実証を行った 9 事業についても事例集に加えるため、取りまとめを行った。以下に取りまとめた全 66 事例の概要を示す。

表 13 ヒアリング結果

今年度の事例更新の有無	件数
更新情報あり	10
更新情報なし	38
新規情報	18
合計 66	

全事例を地域タイプおよび配送品目で分類した。

表 14 地域タイプおよび配送品目別件数

地域タイプおよび配送品目	件数	地域タイプおよび配送品目	件数
大都市	4	過疎地(中山間部・平地)	46
①日用品・食品	1	①日用品・食品	20
②農水産品	0	②農水産品	4
③飲食サービス	1	③飲食サービス	5
④医薬品	2	④医薬品	14
⑤その他	0	⑤その他	3
都市郊外	4	過疎地(離島)	10
①日用品・食品	0	①日用品・食品	4
②農水産品	0	②農水産品	1
③飲食サービス	2	③飲食サービス	0
④医薬品	1	④医薬品	4
⑤その他	1	⑤その他	1
地方都市	2	合計 66	
①日用品・食品	1		
②農水産品	0		
③飲食サービス	0		
④医薬品	1		
⑤その他	0		

<地域タイプの定義>

大都市	人口密度	高	(約 10,000 人/km ² 以上)
都市郊外	人口密度	中	(約 3,000 人/km ² 以上)
地方都市	人口密度	低	(約 1,000 人/km ² 以上)
過疎地	人口密度	低	(約 1,000 人/km ² 未満)

※ 実証地域を含む市区町村全体（人口規模）よりも飛行区域周辺の地理的特徴を考慮

全事例を都道府県別で分類した。

表 15 都道府県別件数

都道府県	件数	都道府県	件数	都道府県	件数
北海道	3	石川県	0	岡山県	1
青森県	1	福井県	2	広島県	1
岩手県	0	山梨県	1	山口県	0
宮城県	2	長野県	2	徳島県	0
秋田県	1	岐阜県	1	香川県	0
山形県	0	静岡県	1	愛媛県	2
福島県	2	愛知県	2	高知県	1
茨城県	2	三重県	0	福岡県	1
栃木県	0	滋賀県	0	佐賀県	1
群馬県	1	京都府	0	長崎県	3
埼玉県	1	大阪府	0	熊本県	1
千葉県	3	兵庫県	4	大分県	7
東京都	9	奈良県	0	宮崎県	0
神奈川県	1	和歌山県	3	鹿児島県	2
新潟県	1	鳥取県	0	沖縄県	1
富山県	1	島根県	1	合計	66

ii. 事例集目次

事例集のトップページは以下のとおり、66 件の事例を取りまとめた目次を掲載する。

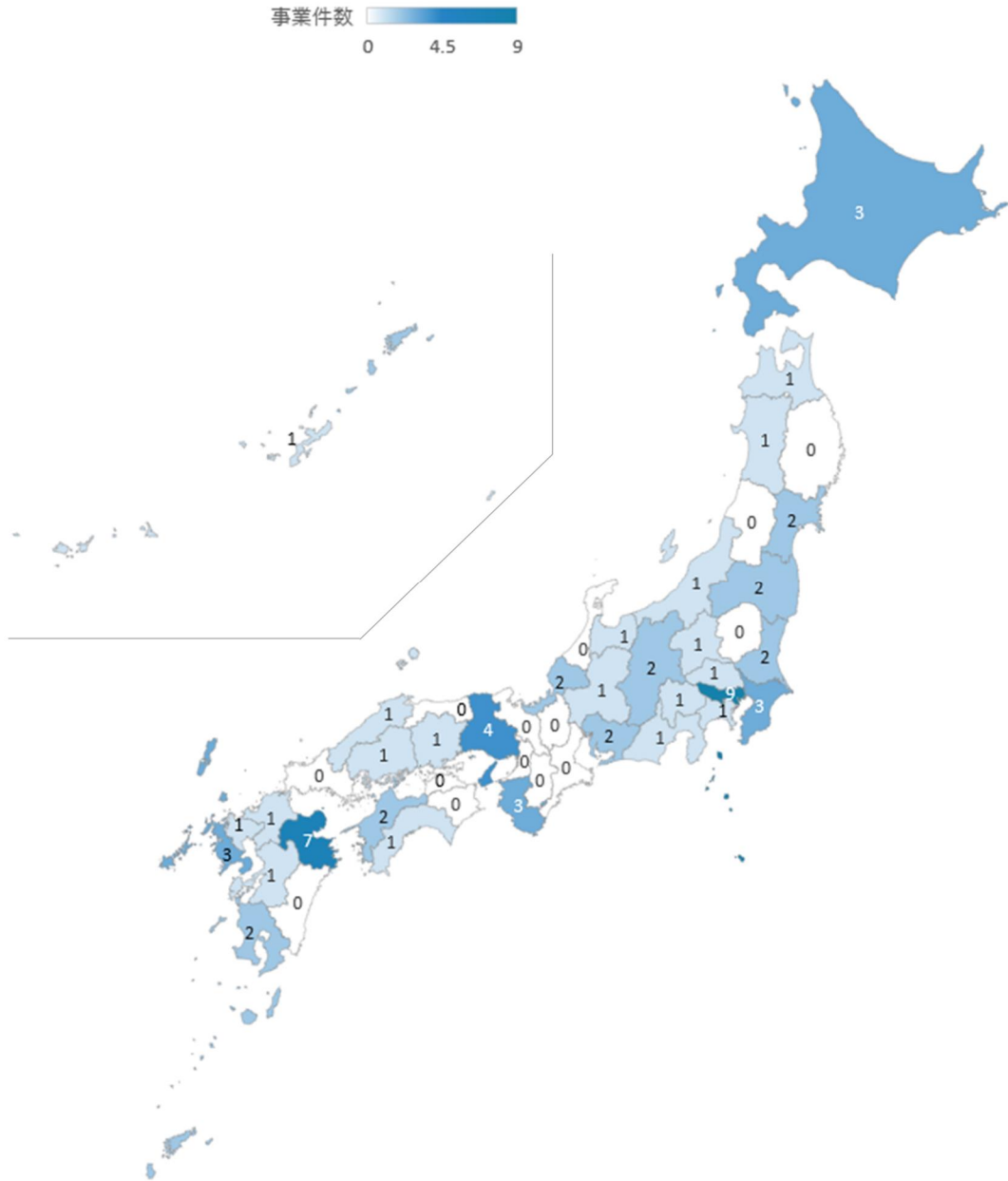
図 21 事例集目次

ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドラインVer.4.0 事例集			
大都市	日用品・食品	№1 東京都江東区における災害用ドローンポートシステムを活用した支援物資輸送	
	飲食サービス	№2 東京都港区における住民・子連れファミリー向けランチフードデリバリー	
	医薬品	№3 東京都墨田区における大橋横断での医薬品のオンデマンド配送	
		№4 東京都江東区におけるドローンポートを用いた医薬品授受管理実証	
都市郊外	飲食サービス	№5 兵庫県神戸市垂水区におけるDID地区の採算性確保検証	
		№6 都市型ドローン配送の社会実装を目指した複数事業者・複数拠点プラットフォームの構築	
	医薬品	№7 ドローンおよび地上配送ロボット連携による都市部高層マンションへの無人配送の社会実装に向けた実証試験	
	その他	№8 千葉県千葉市・神奈川県横浜市における渋滞を回避したオンデマンド配送サービス	
地方都市	日用品・食品	№9 地方都市における物流課題解決に向けたドローン・自動配送ロボット連携活用事業	
	医薬品	№10 災害時におけるドローン物流の活用を通じた地域実装モデルの構築	
過疎地（中山間部・平地）	日用品・食品	№11 茨城県かすみがうら市における過疎地域のまちおこし支援	
		№12 山梨県北都留郡小菅村における新スマート物流実装を通じた持続的物流網の再構築	
		№13 長野県北安曇郡白馬村における、山小屋への物資輸送の効率化による山小屋滞在環境の向上、登山の快適化	
		№14 東京都西多摩郡日の出町における住民の買物支援	
		№15 富山県南砺市における住民の買物支援	
		№16 福島県南相馬市における住民の買物支援	
		№17 宮城県黒川郡大郷町における住民のための買物支援	
		№18 熊本県阿蘇郡南小国町における住民の買い物支援及び災害時に備えた物流網の確保	
		№19 福井県吉田郡永平寺町における災害時に備えた物流網の確保	
		№20 岡山県和気郡和気町における住民の買い物支援	
		№21 大分県国東市における住民のための救援物資配送	
		№22 愛知県新城市における住民への定期宅配便の支援	
		№23 福井県敦賀市における市街地・過疎地連結型ドローン物流実証	
		№24 秋田県横手市における住民の買い物支援	
		№25 長野県伊那市におけるドローンによる新たな住民生活創造	
		№26 山間地域の生活利便性向上に向けた持続可能なドローン輸送スキームの検討	
		№27 中津川市を舞台とした編隊飛行ドローンと自動配送車連携の実証実験	
		№28 平時および災害時における移動式ドローンポートを活用した、車両とドローンのラストワンマイル配送の実証事業	
		№29 大分県由布市における大規模土砂災害発生直後の実働事例	
		№30 愛知県幸田町におけるドローン・自動運転車連携による農産物・買い物支援輸送	
		農水産品	№31 千葉県千葉市における農業従事者の負担軽減及び地域物流網の確保
			№32 和歌山県西牟婁郡さみ町における新鮮なケンケン鯉の出荷支援
			№33 神奈川県小田原市における農作物の物流網確保

ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドラインVer.4.0
事例集

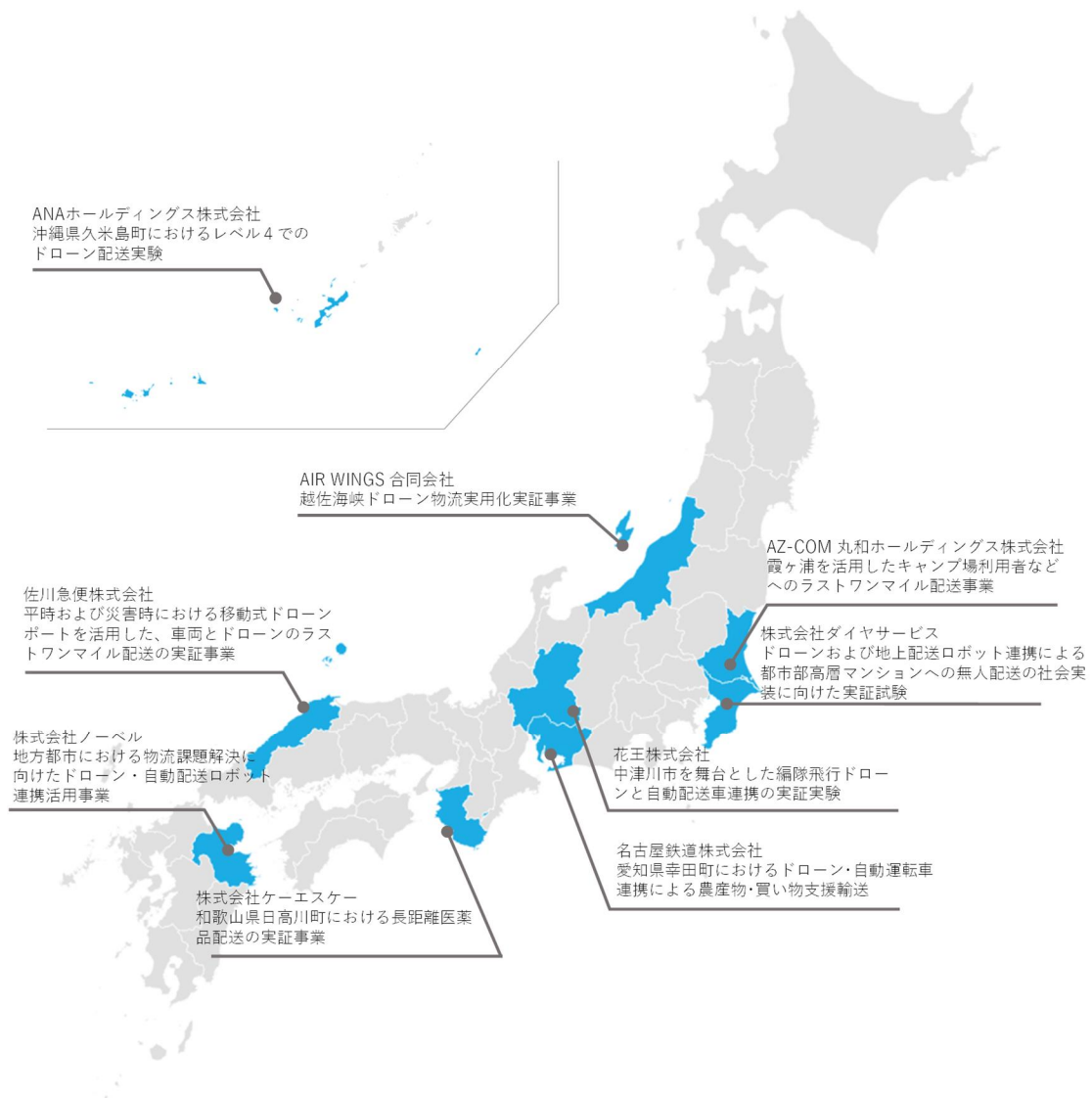
過疎地(中山間部・平地)	農水産品	№34北海道石狩郡当別町における農家からの農作物直送サービス
	飲食サービス	№35和歌山県有田市における配送利便性の向上支援
		№36愛媛県新居浜市における森林の新たな活用価値の創造
		№37佐賀県多久市における「空のまちづくり」住民の買い物支援を通じた地域活性化
		№38福島県南相馬市における新たな長距離配送手段の確立
	医薬品	№39霞ヶ浦を活用したキャンプ場利用者などへのラストワンマイル配送事業
		№40宮城県黒川郡大郷町における住民のための物流網確保
		№41青森県三戸郡五戸町における住民のための物流網確保
		№42広島県江田島市における住民のための医療ネットワーク拡充
		№43兵庫県洲本市における住民のための医療ネットワーク拡充
		№44北海道稚内市における医薬品配送ネットワークの拡充
		№45埼玉県秩父市における災害時に備えた物流網の確保
		№46兵庫県川辺郡猪名川町における住民の買い物支援及び災害時に備えた物流網の確保
		№47静岡県浜松市天竜区における過疎地住民の買物代行サービス
		№48高知県高岡郡四万十町における住民のライフラインとしての物資配送
		№49群馬県安中市における民家上空飛行・空荷なし飛行による効率的な物流網構築
		№50和歌山県日高川町における長距離医薬品配送の実証事業
		№51東京都西多摩郡檜原村における医薬品配送サービス
		№52東京都あきる野市におけるドローン物流の長期運用実証
№53大分県日田市における災害時のドローン運用訓練		
その他	№54北海道十勝総合振興局上士幌町における上士幌ヒト・モノ・Maas推進事業	
	№55東京都西多摩郡奥多摩町におけるラストワンマイル配送の試行	
	№56ドローンによる孤立避難所への物資輸送訓練	
日用品・食品	№57福岡県福岡市における住民の買物支援	
	№58長崎県五島市における住民のお買物支援	
	№59大分県津久見市における住民の買物支援	
	№60沖縄県久米島町におけるレベル4でのドローン配送実験	
農水産品	№61越佐海峡ドローン物流実用化実証事業	
医薬品	№62愛媛県今治市における住民のための医療ネットワーク拡充	
	№63長崎県五島市(福江島、桜島、久賀島)における住民のための医療ネットワーク拡充	
	№64長崎県五島市・新上五島町における医薬品配送ネットワークの拡充	
	№65鹿児島県飫島列島における複数機体同時長距離物流実証	
その他	№66奄美瀬戸内町におけるドローン運航会社の設立および事業開始	

図 22 地図でみる事業件数



本事業で実施した9事業も最新事例として追加する。

図 23 令和5年度無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業



8. 各種会議の運営支援

各種会議体において、円滑な運営を行うため会議室の機材設営や資料準備などサポートを行った。以下に、会議体の概要および運営支援の役割、納品物を記す。

① 第3回「官民物流標準化懇談会」

日時	令和5年9月6日(水) 13時～15時30分
場所	中央合同庁舎第3号館4階幹部会議室 ※オンライン(Teams)を併用
議事	(1)パレット標準化の取組状況について (2)モーダルシフト推進・標準化の取組状況について (3)その他の物流標準化の取組状況について ①加工食品、菓子、紙加工品のフォローアップ進捗状況 ②物流情報標準ガイドラインについて ③農産物等の物流標準化の取組について ④フィジカルインターネットの実現に向けた取組について (4)意見交換
概要	令和5年9月6日に実施した「第3回 官民物流標準化懇談会」の運営支援を実施した。 具体的には、担当者との協議の上 ①円滑なサポートを実現するための事前打ち合わせ ②当日の資料の印刷や会場設営 ③当日の運営補助 を実施した。
役割	・事前準備の各種調整 ・資料印刷、飲料(ペットボトル)、機材の手配(ICレコーダー) ・機材設営、事前リハーサル ・資料送り、Teams投影等 ・Teams操作の入退室管理等 ・360度WEBカメラ操作および投影
対応人数	5名
納品物	・飲料(ペットボトル)

② 第11回過疎地域等におけるドローン物流ビジネスモデル検討会

日時	令和5年12月26日(火) 10時～12時
場所	中央合同庁舎3号館8階850会議室 ※オンライン(Teams)を併用
議事	(1)無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業について ・ANAホールディングス株式会社 ・AZ-COM丸和ホールディングス株式会社 ・花王株式会社 ・株式会社ノーベル ・名古屋鉄道株式会社 ・佐川急便株式会社 <意見交換(質疑応答等)> (2)その他 ・レベル3.5飛行の新設について
概要	本事業において、各コンソーシアムが実施した実証結果をもとに、費用対

	効果や事業継続性等の「事業面」、機体やシステムの実用性等の「技術面」、法制度や運用ルール等の「法制度」並びに他地域での展開可能性等の「社会受容性」の4つの観点を軸に成果を報告した。 とりわけ、事業面での費用対効果や採算性における課題が各事業者から多く挙がっており、今後の社会実装を見据えて「機体の価格低減」や、「省人化」「一対多運航」など、市場規模の拡大を期待することに併せて飛行条件の緩和推進を希望する意見がみられた。
役割	<ul style="list-style-type: none"> ・事前準備の各種調整 ・資料印刷、飲料（ペットボトル）、機材の手配（ICレコーダー） ・機材設営、事前リハーサル ・資料送り、Teams 投影等 ・Teams 操作の入退室管理等 ・議事録作成および納品
対応人数	4名
納品物	<ul style="list-style-type: none"> ・議事録 ・飲料（ペットボトル）

③ 官民物流標準化懇談会 第「11回パレット標準化推進分科会」

日時	令和6年2月6日（火）15時～17時
場所	中央合同庁舎第2号館共用会議室6 ※オンライン（Teams）を併用
議事	<ol style="list-style-type: none"> (1)最終とりまとめ（案）について (2)意見交換
概要	第11回パレット標準化分科会は会議の2営業日前に書面開催となったが、現地に来られる予定だった委員においては別途希望者を募り、説明会が実施された。その際に資料送り等の運営補助を実施した。
役割	<ul style="list-style-type: none"> ・事前準備の各種調整 ・資料印刷、飲料（ペットボトル）の手配 ・機材設営、事前リハーサル ・資料送り、Teams およびスクリーン投影
対応人数	4名
納品物	<ul style="list-style-type: none"> ・飲料（ペットボトル）

④ 第12回過疎地域等におけるドローン物流ビジネスモデル検討会

日時	令和6年3月13日（水）13時～15時
場所	中央合同庁舎3号館3階局議室 ※オンライン（Teams）を併用
議事	<ol style="list-style-type: none"> (1)無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業について <ul style="list-style-type: none"> ・花王株式会社 ・株式会社ダイヤサービス ・株式会社ケーエスケー ・AIR WINGS 合同会社 (2)「無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業」に関する横断的分析について (3)災害時におけるドローンを活用した物資輸送事例について <ul style="list-style-type: none"> ・大分県 ・株式会社NEXT DELIVERY

	<p><意見交換（質疑応答等）> (4)その他 ・ドローン物流における河川上空の活用円滑化に向けた基本的考え方（標準案）（Ver1.0）について</p>
概要	<p>前回のビジネスモデル検討会に続き各事業者より4つの実証事業結果の報告がなされ、事務局より全実証事業結果を横断的に分析した中で重点的にコスト比較について報告した。ビジネスモデルを検討する上で採算性、オペレーション時の通信環境の整備、飛行ルートの確立など様々な面での課題が挙げられた。</p> <p>今後、事業化を進めるためにはコスト面での機体の市場拡大と一対多運航を行うための管理システムの開発、オペレーション面では通信環境の整備、申請手続きの簡略化など、そして人件費低減に向けた飛行条件の緩和に関して意見交換がなされた。トピックとしては、有事にドローンを活用するためには平時から運航できるルートを冗長化することが望ましいとの事例が共有された。</p>
役割	<ul style="list-style-type: none"> ・事前準備の各種調整 ・登壇 ・資料印刷、飲料（ペットボトル）、機材の手配（ICレコーダー） ・機材設営、事前リハーサル ・各社メディアへの案内、誘導 ・資料送り、Teams 投影 ・Teams 操作の入退室管理等 ・議事録作成および納品
対応人数	5名
納品物	<ul style="list-style-type: none"> ・資料 ・議事録 ・飲料（ペットボトル）

9. 参考資料

- 1 「空の産業革命に向けたロードマップ 2022」：
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou26.pdf>
- 2 「ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン Ver.4.0」：
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001601194.pdf>
- 3 各事業者の作成した9事業の実施内容報告書および補足資料

10. おわりに

本報告書では、令和 5 年度無人航空機等を活用したラストワンマイル配送実証事業の各事業において得られた成果を共有し、無人航空機等を活用したラストワンマイル配送の実用化に向けた課題を整理した。レベル 4 飛行の解禁を契機に、官民を含むあらゆるステークホルダーがドローンの物流分野における社会実装を促すために密に連携し、社会課題の解決に向けて取組みを推進されることが望まれる。