

令和6年度 地域デジタル基盤活用推進事業 (実証事業)

中山間地域のLTE不感エリアにおける Wi-Fi HaLowを活用したドローンサービス実証 成果報告書

2025年3月14日

EYストラテジー・アンド・コンサルティング株式会社

成果報告書 目次

I.	地域の現状と課題認識		
1.	地域の現状	…P2	
2.	地域の抱えている課題	…P3	
3.	これまでの取組状況	…P4	
II.	目指す姿		
1.	将来的な目指す姿	…P5	
2.	目指す姿に向けたステップと実証の位置づけ	…P6	
3.	成果 (アウトカム) 指標		
a.	ロジックツリー	…P7	
b.	成果 (アウトカム) 指標の設定	…P9	
III.	ソリューション		
1.	ソリューションの概要	… P14	
2.	ネットワーク・システム構成		
a.	ネットワーク・システム構成図	…P16	
b.	設置場所・基地局等	…P17	
c.	設備・機器等の概要	…P18	
d.	許認可等の状況	…P19	
3.	ソリューション等の採用理由		
a.	地域課題への有効性	…P20	
b.	ソリューションの先進性・新規性、 実装横展開のしやすさ	…P22	
c.	無線通信技術の優位性	…P24	
4.	費用対効果		
a.	ソリューションの費用対効果	…P25	
b.	導入・運用コスト引き下げの工夫	…P30	
IV.	実施計画		
1.	計画概要	… P31	
2.	検証項目・方法		
a.	効果検証	…P33	実証
b.	技術検証	…P34	
c.	運用検証	…P35	
3.	スケジュール	…P36	実証・実装・ 横展開
4.	リスクと対応策	…P37	
5.	PDCAの実施方法	…P39	
6.	実施体制	…P40	
V.	結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)		
1.	スケジュール (実積)	…P41	
2.	検証項目ごとの結果	…P42	
3.	実装・横展開に向けた準備状況	…P75	
4.	実装・横展開に向けた課題および対応策	…P76	
5.	(参考) 実証視察会		
a.	概要	…P79	
b.	質問事項と対応方針	…P80	
VI.	実装・横展開の計画		
1.	実装の計画		
a.	実装に向けた具体的計画	…P82	
b.	実装の体制	…P83	
c.	ソリューション(変更点)	…P84	
2.	横展開の計画		
a.	横展開に向けた具体的計画	…P91	
b.	横展開の体制	…P92	
c.	ビジネスモデル	…P93	
d.	投資の妥当性	…P94	
3.	資金計画	…P96	
VII.	指摘事項に対する反映状況		
1.	実証過程での指摘事項に対する反映状況	…P97	
2.	書面審査での指摘事項に対する反映状況	…P98	

1 地域の現状

広島県
神石高原町



特徴*1

広島県東部に位置、面積は381.98 km²である。高山地形の中に位置しており、標高は400～500mである。

人口

総数*2

7,918 (2024年6月)

構成*2

0～14歳: 611人
15～64歳: 3,334人
65歳～: 3,973人

主要産業*1

第1次産業就業人口割合 28.2%
第2次産業就業人口割合 22.6%
第3次産業就業人口割合 49.2%

地域の現状の詳細

内容

A 過疎化、高齢化の進行

- ・転入者と転出者の差である「社会増減」は2021年の時点で△81人であり、転出超過
- ・本町の人口減少において自然増減の影響度は103%、社会増減の影響度は114%であり、社会増減が影響している
- ・急速な人口減少（2060年には2015年の33.9%まで減少すると予測）（2023年12月時点での人口の約39%）

B 地域経済の停滞傾向

- ・小規模な商店街が形成されるが、福山市等への購買力の流出が著しく、衰退傾向
- ・工業は、経済不況の影響により、1997年から2017年の間に従業員数△171人、事業所数△36店と減少傾向
- ・良好な自然環境を生かした多様なリゾート・レクリエーション地が豊富にあるが、2002年から2019年までで入込観光客は△212千人と減少傾向

C 生活基盤の脆弱化

- ・主な交通手段は自動車だが、広い地域に住宅が点在しており、移動に時間を要する。また、多くの道路は離合困難箇所を複数有する細い道であり、移動のハードルが高い
- ・運転免許証の返納、公共交通機関の廃止等により、医療、保健・福祉、買い物等日常生活に欠かせない機能へのアクセス手段が不十分（路線バスの便数見直し、ふれあいバスは26→20コースへ変更、帰宅便を2便→1便に減便）

地域状況をイメージできるグラフ・図・表

■自然増減・社会増減の影響度（令和22（2040）年）■			
計画	分類	計算方法	影響度
第2期 (今回)	自然増減の影響度	シミュレーション1の平成52（2040）年推計人口=5,289人 パターン1の平成52（2040）年推計人口=5,153人 シミュレーション1 / パターン1 =5,289÷5,153=1.027⇒103%	2
	社会増減の影響度	シミュレーション2の平成52（2040）年推計人口=6,053人 シミュレーション1の平成52（2040）年推計人口=5,289人 シミュレーション2 / シミュレーション1 =6,053÷5,289=1.144⇒114%	3
第1期 (前回)	自然増減の影響度	シミュレーション1の平成52（2040）年推計人口=5,300人 パターン1の平成52（2040）年推計人口=5,085人 シミュレーション1 / パターン1 =5,300人 / 5,085人=1.042⇒104%	2
	社会増減の影響度	シミュレーション2の平成52（2040）年推計人口=6,300人 シミュレーション1の平成52（2040）年推計人口=5,300人 シミュレーション2 / シミュレーション1 =6,300人 / 5,300人=1.189⇒119%	3

図 自然増減と社会増減の影響度*3

区 分	平成9年	平成29年
事業所数(店)	66	30
従業者数(人)	764	593
製造品出荷額等(千円)	734	1,449

区 分	平成14年	令和元年
入込観光客数（千人）	861 (388)	649 (430)
総観光客数（千人）	912	702
観光消費額（百万円）	1,465	1,016
1人当たり観光消費額(円)	1,606	1,447

表 工業の推移（上） 入込観光客数の動向（下）*1

1 路線バス（中国バス）

- 路線バス（中国バス・ふれあいバス）は全ての運行系統を維持しますが、利用状況を踏まえて便数や運行時刻の見直しを行うとともに、老朽化している車両を更新します。
- 観光振興の観点から、路線バスによる観光交流施設へのアクセスの向上を図ります。

2 ふれあい号

- ふれあい号は利用実態を踏まえて運行の見直しを行い、運行コースを26コースから20コースに変更します。ふれあい号の運行を廃止した地区は、公共交通補完事業の区域とします。
- ふれあい号のサービスの向上を図るために、送迎地区及び目的地での乗降場所の充実、乗り継ぎ負担の軽減を行います。
- 帰宅便は、利用実態を踏まえて2便から1便としますが、運行時刻の見直しを行います。

図 神石高原町内の路線バス等の運航事業*4

*1 出典：神石高原町過疎地域持続的発展計画、神石高原町、https://www.jinsekigun.jp/user/filer_public/0e/4b/0e4bab04-8cf3-4fd0-858a-6eaa5f8bbaba/shen-shi-gao-yuan-ting-guo-shu-di-yu-chi-sok-de-fa-zhan-ji-hua.pdf

*2 出典 神石高原町人口集計表、神石高原町、<https://www.jinsekigun.jp/town/formation/jyumin/cyoumin/syuukei/R06/>

*3 出典：神石高原町第2期総合戦略、神石高原町、https://www.jinsekigun.jp/user/filer_public/ed/77/ed770dc1-974d-4b8a-bca1-31ebb6c04ec6/shen-shi-gao-yuan-ting-di-2qi-zong-he-zhan-lue-ben-bian-.pdf

*4 出典：神石高原町地域公共交通網形成計画 概要版、神石高原町、https://www.jinsekigun.jp/user/filer_public/83/df/83dff890-1c75-46be-abc6-566dee12bfa2/_2.pdf

2 地域の抱えている課題

課題	
対象者	内容
a 高齢者等の買い物に困難のある買い物難民	買い物の利便性が低く、多くの高齢者が買い物に困難を抱えている - 過疎化、高齢化の進行で、買い物客数自体が減少 - 隣接する福山市等への買物客の流出が継続していること、高齢化による後継者問題等により、商店数は減少傾向、町内で数少ないスーパーも利用者の減少に伴う経営悪化を理由に2022年1月に閉店。神石高原町の一人当たりの利用可能店舗割合は2007年の1.5%であったが、2014年には1.3%まで減少 - 高齢化に伴う免許返納、生活に必須である買い物等への外出時にバス等の公共交通が利用困難 - 買い物支援事業は実施中だが、支援対象者の点在化や商業者の高齢化などにより、支援事業継続のコストが増大 - 神石高原町第2期総合戦略の事業効果の検証および評価を令和4年度に実施、転出者の29.5%が「買い物が便利なこと」、12.1%が「公共交通の利便性がよいところ」を理由に転出していることが判明

イメージ

区 分	平成19年	平成26年
商店数(店)	174	127
従業者数(人)	472	393
年間商品販売額(百万円)	6,213	5,686

表 商店の推移*1

一人当たりの利用可能店舗割合
＝（商店数）／（人口）（使用データは2007年と2014年）

商店数	平成19年174店→平成26年127店
人口	平成19年11,671人→平成26年9,960人
一人当たりの利用可能店舗割合	平成19年1.5%→平成26年1.3%

転出者が「他の町に」魅力を感じるところ															
調査項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計	順位	
1 子育て支援が充実していること				1						1	1	2	5		
2 教育が充実していること			1		1					1		1	3	7	
3 医療が充実していること								1				4	5		
4 高齢者福祉施設が充実していること		1			1	1	1	3	1	3		3	1	15	
5 買物が便利なこと	1	5	2	2	2	2	3	2	2		3	5	16	44	
6 雇用の場があること		2	1			1	1	2	5		1	2	8	23	
7 住宅が確保できること(子との同居含む)		1							1	1	1		5		
8 農地が確保できること													0		
9 地域のコミュニティ活動が盛んなこと												1	1	2	
10 公共交通の利便性がよいこと		4			1	1	1		2		1	2	6	18	
11 情報基盤が充実していること				1										2	
12 町の支援施策があること							2	1			1			4	
13 転入出の相談に乗ってくれる窓口があること		1		1										2	
14 空き家バンク制度が充実していること														1	
15 その他(婚姻・介護等)						1				2	1		5	10	
16 回答無し		3	1								2			6	
合計	18	5	6	7	6	8	9	11	7	11	15	46			

表 転出者の転出理由（母数149表） *2

*1 出典：神石高原町過疎地域持続的発展計画、神石高原町、https://www.jinsekigun.jp/user/file_public/0e/4b/0e4bab04-8cf3-4fd0-858a-6eaa5f8bbaba/shen-shi-gao-yuan-ting-guo-shu-di-yu-chi-sok-de-fa-zhan-ji-hua.pdf
*2 出典：神石高原町第2期総合戦略 事業効果検証結果について 人口動態について、神石高原町、https://www.jinsekigun.jp/user/file_public/a6/9f/a69f9355-d43f-4f05-a4a4-8f326e93ef14/ren-kou-dong-tai-nitsuite.pdf

3 これまでの取組状況

	2012年度以降	2023年度
取組概要	民間企業との連携により、限界集落における買物困難者と高齢者に対する移動販売・注文配達サービスを実施^{*1} - 毎週月曜日～金曜日に神石高原町新坂地区を中心に町内全域へ実施（2012年） - 毎週木曜日に神石高原町草木地区130世帯を対象に実施（2012年）	主に高齢者の買い物の不便性が課題となり、ドローンによる弁当配達実証を実施^{*3}
成果	2012年より移動販売等を実施しているが、町唯一の道の駅「さんわ182ステーション」は、年間約50万人が利用している。^{*2} - また、利用者の約6割が2時間以内の移動距離圏内から訪れている。 - 道の駅は、神石高原町を中心とした国道182号のネットワーク上の狭域で利用されていると推察されている。	- 自治体や一部地域住民からドローン活用について利便性に関する理解を得た - 上空でのLTE不感エリアがボトルネックとなり、ドローン活用における飛行エリアの技術課題を検出できた
見えてきた課題	- 本取組を通じて食品等の物品の移動販売に需要があることは見出されたものの、利用者の多くが移動販売の拠点まで移動するのに車で2時間前後を要する等、使い勝手が悪い。 これを鑑みると、本質的には利用者の居住地の近くまで移動販売が来ることが望ましい。 - ただし、トラックなどの運転手が必要となる既存の輸送手段では、採算性などの問題から利用者の居住地の近くまで頻繁に往復することは現実的でない^{と推察され、ユーザーの視点で利便性の高いサービスになっていない。}	- 安全性に関する地域住民の理解が十分でない - 上空でのLTE不感エリアがボトルネックとなり、飛行エリアに大きな制約があった - 上記課題から、現在実用化には至っていない
事業名	過疎地域等自立活性化推進交付金（総務省）	令和4年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金交付対象事業（一般社団法人環境普及機構）

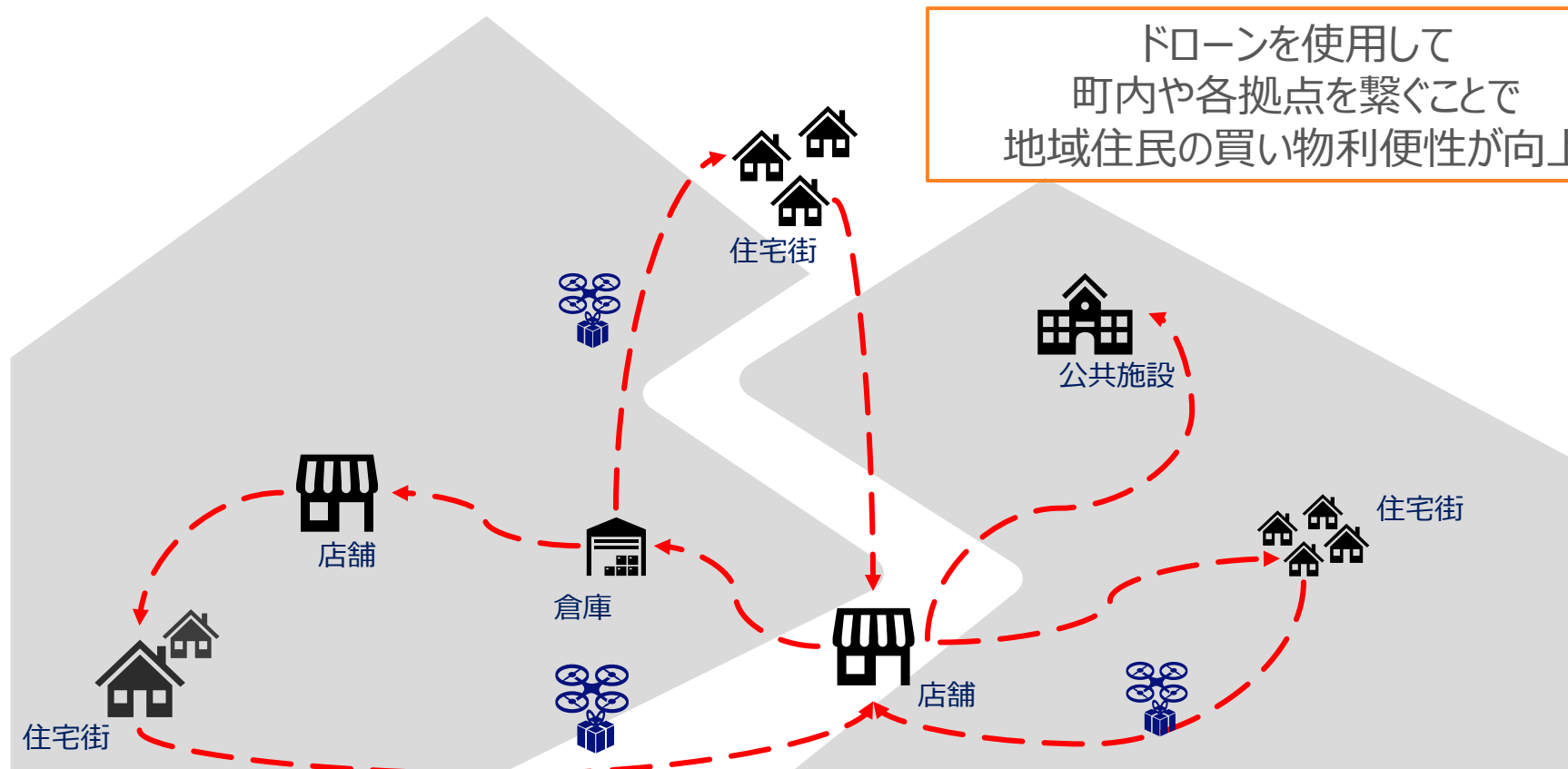
^{*1} 出典：スモールコンパクトシティによる限界集落支援、ローソン、<https://www.lawson.co.jp/company/news/year/041452/>

^{*2} 出典：広島県の「道の駅」の利用状況が分かった！、広島国道事務所、https://www.cgr.mlit.go.jp/hiroko/p_release/pdf/2014press/150325michinoeki_riyoujoukyou.pdf

^{*3} 出典：神石高原町で「中山間地域におけるドローン配送」の実証実験を実施、セイノーホールディングス、<https://www.seino.co.jp/seino/news/shd/2023/1120-01.htm>

① 将来的に目指す姿

高齢者が必要な物資を確実に入手し、安心して快適な日常生活を営める社会の実現



Ⅱ 目指す姿

② 目指す姿に向けたステップと実証の位置づけ

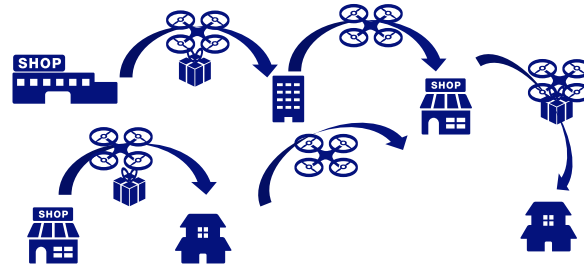
2024

実証



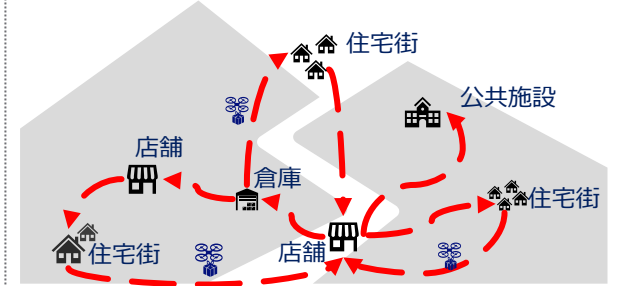
2025~2028

実装準備・実装



2029~

高齢者が必要な物資を確実に入手し、安心して快適な日常生活を営める社会の実現



実証ルート*1でのドローン物流サービス実証

- Wi-Fi HaLowによるドローン制御の技術検証
- 経済性検証
- 住民の安全への意識調査

実証ルート*1でのドローン物流サービス実装準備

- 実証で洗い出された技術課題解決に向けた検討
- 実証結果を踏まえた経済性検証

実証ルート*1でのドローン物流サービス導入

- 実証ルート*1において実運用を開始
- ドローン物流サービスの安定稼働を確認
- 将来的な国際展開の検討・実施

物流サービスの拡大

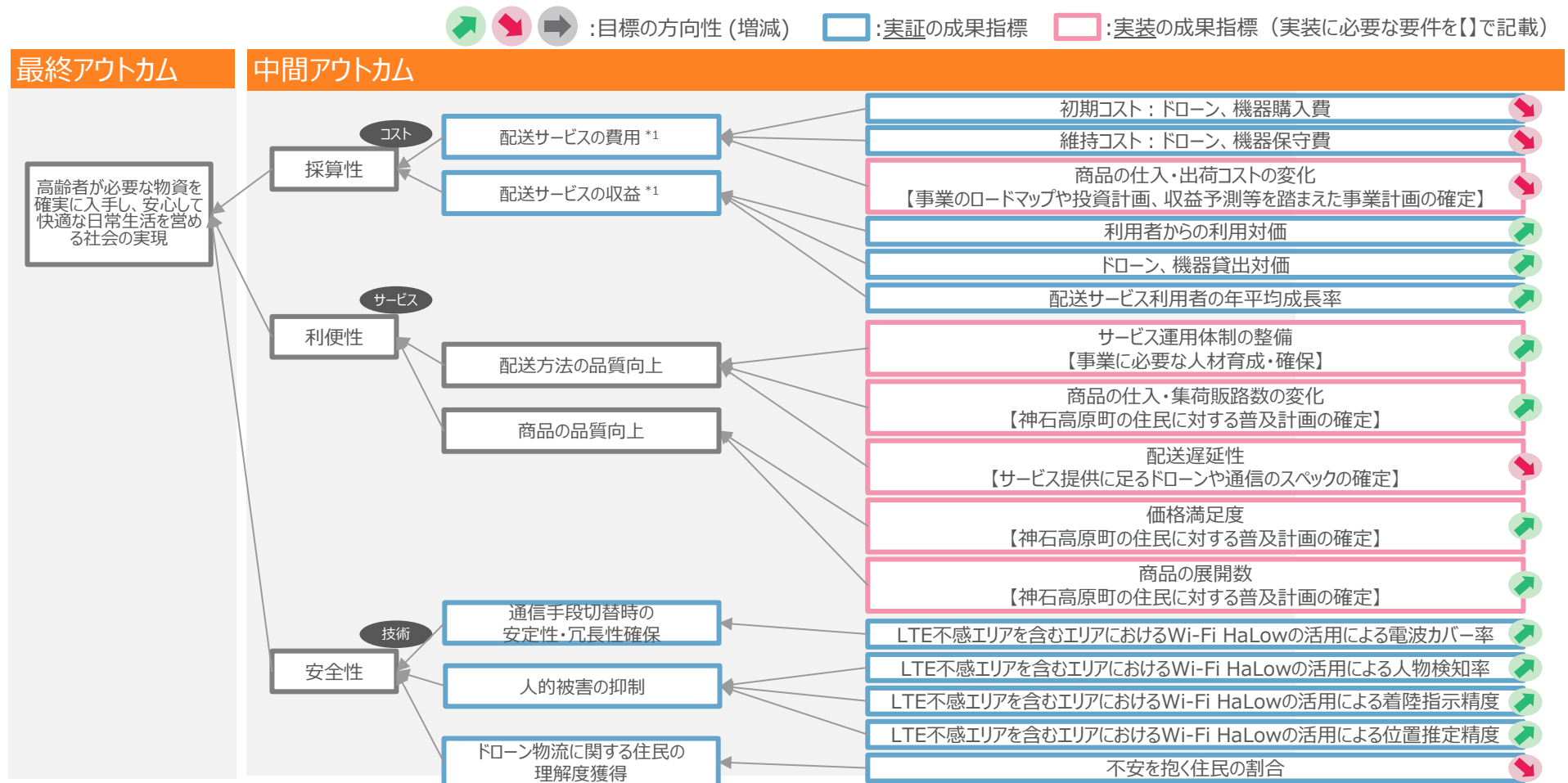
- ニーズのある他ルート（町内・町外含む拠点間）へサービスを拡大

*1 実証ルートは国道沿いの道の駅（さんわ182ステーション）⇄ ゴルフ場（神石高原リゾート）⇄ 時安社会教育施設の区間

Ⅱ 目指す姿

③ 成果（アウトカム）指標

a. ロジックツリー



*1 経済価値の算出は本実証において取り組む配送サービスのユースケースを対象としている。ただし、各観点からは今後詳細な経済価値分析が必要

appendix

- ・ 内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局は、社会実装に向けて必要不可欠な視点として、5つの視点で成熟度レベル（（XRL:X Readiness Level）を定義^{*1}^{*2}している。
- ・ 実証段階を経て、社会実装していく際に必要な各成熟度レベルの要件を整理する。
- ・ 定義されている成熟度レベルの要件を踏まえて、本事業における詳細要件を定義した。

定義されている成熟度レベル	必要な要件	本事業における詳細要件
BRL （Business Readiness Level） ビジネス成熟度レベル	事業モデルを基にした、事業ロードマップ、投資計画、収益予測等を含む事業計画が策定された状態	事業のロードマップや投資計画、収益予測等を踏まえた事業計画の確定
HRL （Human Resources Readiness Level） 人材成熟度レベル	当該領域において必要な人材のスキル要素群と必要量、教育方針と手段、マッチング手法が明らかになり、実施に向けた計画が策定された状態	事業に必要な人材育成・確保
GRL （Governance Readiness Level） ガバナンス成熟度レベル	実験結果を基に、省庁・自治体・民間企業等を含む関係機関が具体的な導入計画を策定できた状態	神石高原町でのドローン使用における制度、ルールが整備されていること
SRL （Social Readiness Level） 社会成熟度レベル	実証から得たフィードバックやデータを検証し、施策を改善しながら、より一般的にコミュニティの人々が創出財を許容するための普及計画が策定された状態	神石高原町の住民に対する普及計画の確定
TRL （Technology Readiness Level） 技術成熟度レベル	サービスや製品の供給に係る全ての詳細な技術情報が揃い、生産計画が策定された状態	サービス提供に足るドローンや通信のスペックの確定

*1 出典：次期戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の検討状況について、内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局、https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/taskforce/smartbousai_3/siry05.pdf

*2 出典：サークュラーエコノミーシステムの構築 2023 年度（令和 5 年度）公募要領、独立行政法人環境再生保全機構、https://www.erca.go.jp/erca/sip/pdf/public_offering_youryou.pdf

Ⅱ 目指す姿

③ 成果（アウトカム）指標

b. 成果（アウトカム）指標の設定：実装・横展開

成果（アウトカム）指標	現状値	目標値	目標値設定の考え方	測定方法
配送サービスへの満足度 （農家からの直接輸送による 販路数の変化）	なし	農家からの直接輸送による販路数の変化(2028年)	ドローン物流サービスにより、販路数の増減傾向を見る。（定量目標は要検討）	農家向けアンケート（詳細は要検討）
配送サービスへの満足度 （農家からの直接輸送による 搬送コストの変化）	なし	農家からの直接輸送による搬送コストの変化(2028年)	ドローン物流サービスにより、搬送コストの増減傾向を見る。（定量目標は要検討）	農家向けアンケート（詳細は要検討）
配送サービスへの満足度 （配送遅延性）	なし	現状と同一レベルでの配送の実現と回答した住民50% (2028年)	現状実施している買い物支援事業で配送できる所要時間とそんなレベル以上で配送できていると回答する高齢者が半数に到達するとする。	利用者向けアンケート（詳細は要検討）

*1 年度については有事の2024年度実施の本実証事業の成果指標として定義したものについて、目標値を設定し、測定方法を検討した結果を記載している

*2 2024年度実施の本実証事業終了段階の成果指標

Ⅱ 目指す姿

③ 成果（アウトカム）指標

b. 成果（アウトカム）指標の設定：実装・横展開

成果（アウトカム）指標	現状値	目標値	目標値設定の考え方	測定方法
配送サービスへの満足度 （価格満足度）	なし	現状と同一レベル での配送の実現と 回答した住民 50% (2028年)	現状実施している買い物支援事業で配送できる 物資の価格とそん色ないレベル以上で配送できて いると回答する高齢者が半数に到達するとする。	利用者向けアンケート（詳 細は要検討）
配送サービスへの満足度 （商品の展開数）	なし	現状と同一レベル での配送の実現と 回答した住民 50% (2028年)	現状実施している買い物支援事業で配送できる 物資の商品数とそん色ないレベル以上で配送でき ていると回答する高齢者が半数に到達するとする。	利用者向けアンケート（詳 細は要検討）
利便性に係る指標 「サービス運用体制の整備」	なし	サービスを運用する 組織の立ち上げ及 び役割が明確がさ れること (2028年)	SPCの設立に向けて、SPC法、会社法等の法令を 遵守し、手続きを行うとともに、資料を作成・提出 するとする。	SPC設立に必要な手続き の実施及び、書類の提出

*1 年度については有事の2024年度実施の本実証事業の成果指標として定義したものについて、目標値を設定し、測定方法を検討した結果を記載している

*2 2024年度実施の本実証事業終了段階の成果指標

Ⅱ 目指す姿

③ 成果（アウトカム）指標

b. 成果（アウトカム）指標の設定：本実証

成果（アウトカム）指標*1	現状値	目標値	目標値設定の考え方	測定方法
採算性に係る指標 「初期コスト・維持コスト」	なし	5年時点で収支の黒字化	初期コスト（ドローン、機器購入費）と維持コスト（ドローン・機器保守コスト、人件費）、各社から発生する利用対価を合算し、収支を計算。シミュレーションの結果、5年目以降収支黒字化となるため。	特別目的会社（SPC）が取りまとめたステークホルダーの費用
採算性に係る指標 「利用者からの利用対価、ドローン、機器貸出対価」	なし	5年時点で収支の黒字化	初期コスト（ドローン、機器購入費）と維持コスト（ドローン・機器保守コスト、人件費）、各社から発生する利用対価を合算し、収支を計算。シミュレーションの結果、5年目以降収支黒字化となるため。	特別目的会社（SPC）が取りまとめたステークホルダーの収益
利便性に係る指標 「配送サービス利用者の年平均成長率」	なし	配送サービス利用世帯数の年平均成長率CAGRが5年目（2024～2028年）に約50%	神石高原町全世帯数のうち、利用世帯は65歳以上単身世帯と高齢者のみの世帯が利用すると想定。（約2,000世帯で変動しないと仮定）初年度は1%（20世帯）が利用、利用割合が年1%ずつ上昇すると仮定し、年平均成長率CAGRを算出。	SPCにて管理する利用者数、65歳以上単身世帯及び高齢者のみの世帯数（町の統計）より算出

*1 2024年度実施の本実証事業の成果指標として定義したものについて、目標値を設定し、測定方法を検討した結果を記載しており、神石高原町と合意済み。

*2 2024年度実施の本実証事業終了段階の成果指標

Ⅱ 目指す姿

③ 成果（アウトカム）指標

b. 成果（アウトカム）指標の設定：本実証

成果（アウトカム）指標*1	現状値	目標値	目標値設定の考え方	測定方法
安全性に係る指標 「LTE不感エリアを含むエリアにおけるWi-Fi HaLowの活用による電波カバー率」	なし	実証エリアでLTEとWi-Fi HaLowでのカバー率100%	ドローンの制御用通信をLTE + Wi-Fi HaLowで問題なく実施できるエリアを確保する。	実証エリア内の複数箇所で電波状態を測定
安全性に係る指標 「LTE不感エリアを含むエリアにおけるWi-Fi HaLowの活用による人物検知率」	なし	上空で人物検知した情報が100%地上で確認できること	レベル3.5飛行がで立入管理措置が不要となる要件の1つとして機上カメラによる確認が求められており、AIで代替する場合にも適切に検出できることが求められる。	LTE不感エリア上に人を配置し、配送ドローンのカメラによる人物の自動解析結果の送信状況と精度を測定
安全性に係る指標 「LTE不感エリアを含むエリアにおけるWi-Fi HaLowの活用による着陸指示精度」	なし	LTE不感エリアでも地上から100%着陸指示ができること	レベル3.5飛行において危険を検知した場合にそれを回避する行動が必要であるため、経路上全ての場所において緊急着陸が可能であることが求められる。	LTE不感エリアの任意の場所で、地上からの指示で指定した安全地帯に緊急着陸させることが可能か検証を実施
安全性に係る指標 「LTE不感エリアを含むエリアにおけるWi-Fi HaLowの活用による位置推定精度」	なし	ドローン不時着地点を半径100m内で特定できること	不時着時の位置予測の精度が向上すれば、重要施設や人的被害の可能性のある空間への墜落の可能性を即時判断することが可能となる。	LTE不感エリアの地上にドローンを配置したうえで、ドローンから取得した位置情報の精度（誤差）を測定

*1 2024年度実施の本実証事業の成果指標として定義したものについて、目標値を設定し、測定方法を検討した結果を記載しており、神石高原町と合意済み。

*2 2024年度実施の本実証事業終了段階の成果指標

Ⅱ 目指す姿

③ 成果（アウトカム）指標

b. 成果（アウトカム）指標の設定：本実証

成果（アウトカム）指標*1	現状値	目標値	目標値設定の考え方	測定方法
安全性に係る指標 「不安を抱く住民の割合」*2	なし	実証開始前～実証開始後で、ドローンが町を飛行することに対し、不安を抱く住民の割合を50%減	社会実装に向けては地域住民の理解が不可欠のため、本実証によりドローン物流への理解度が高まることを確認する。	住民向けアンケート（実証前/実証後）

*1 2024年度実施の本実証事業の成果指標として定義したものについて、目標値を設定し、測定方法を検討した結果を記載しており、神石高原町と合意済み。

*2 2024年度実施の本実証事業終了段階の成果指標

Ⅲソリューション

①ソリューションの概要

ソリューションの概要

・ドローン物流

実証ルートは国道沿いの道の駅（さんわ182ステーション）⇔ゴルフ場（神石高原カントリークラブ）⇔時安社会教育施設の区間で実施する。実証ルートはLTE不感エリアが含まれるためLTEとWi-Fi HaLowを利用した通信でドローンが制御可能であることを確認する。



ドローン物流内容

出発地	目的地	用途
道の駅さんわ182ステーション	時安社会教育施設	日用品配送
時安社会教育施設	さんわ182ステーション	農作物の集荷
道の駅さんわ182ステーション	神石高原カントリークラブ	生鮮食品の配送

中間アウトカム（実証）

定量アウトカム

通信手段切替時の安定性

- 実証エリアでLTEとWi-Fi HaLowでのカバー率100%

配送サービスの費用、配送サービスの収益

- 5年時点で収支の黒字化

配送サービス利用者の年平均成長率

- 配送サービス利用世帯数の年平均成長率CAGRが5年目に約50%

中間アウトカムの実現に繋がるソリューションの価値

・アウトカム：通信手段切替時の安定性（カバー率）

ソリューションの価値：LTE不感エリアにおいても安定した通信環境下でのドローン飛行の実現

・アウトカム：買い物利便性

ソリューションの価値：高齢者を中心とした買い物難民への日用品配送による生活の利便性の向上

①ソリューションの概要

ソリューションの概要

・ドローンの安全性の強化

神石高原町の課題である、「買い物利便性の向上」を解決するために、ドローンによる物流実証実験が進んでいるが、「社会受容性の向上（ドローン物流の実装における住民不安の軽減）」という課題が明らかになっている。

そこで、LTE不感エリアでもWi-Fi HaLowで機体情報を地上に転送し、地上からドローンの制御を常時可能とすることを基本技術とし、以下の追加要素を備え、異常時のコントロールを実施することで安全なドローン飛行を実現する。

- ① 異常検知時に異常に応じたアクション（離陸地点への帰還、その場での不時着等）を地上から指示可能
- ② 着陸時に人物を検知し、アクション（一時停止や上昇）を地上から指示可能
- ③ 墜落時（不時着時）に基地局との通信状態（電波強度等）をもとに墜落位置の推定可能

中間アウトカム（実証）

定量アウトカム

Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示精度

- ・ LTE不感エリアでも地上から100%着陸指示が可能

Wi-Fi HaLowでの人物検知通報

- ・ 上空で人物検知した情報が100%地上で確認可能

不時着後の位置把握

- ・ ドローン不時着地点を半径100m内で特定

ドローン物流に関する住民の理解度（不安度の削減）

- ・ 不安を抱く住民の割合を50%減

中間アウトカムの実現に繋がるソリューションの価値

・ アウトカム：ドローンの安全性

ソリューションの価値

- 航路の柔軟性向上
- 着陸時の危険回避
- 墜落位置の推定

・ アウトカム：地域住民のドローン物流に関する理解度

ソリューションの価値

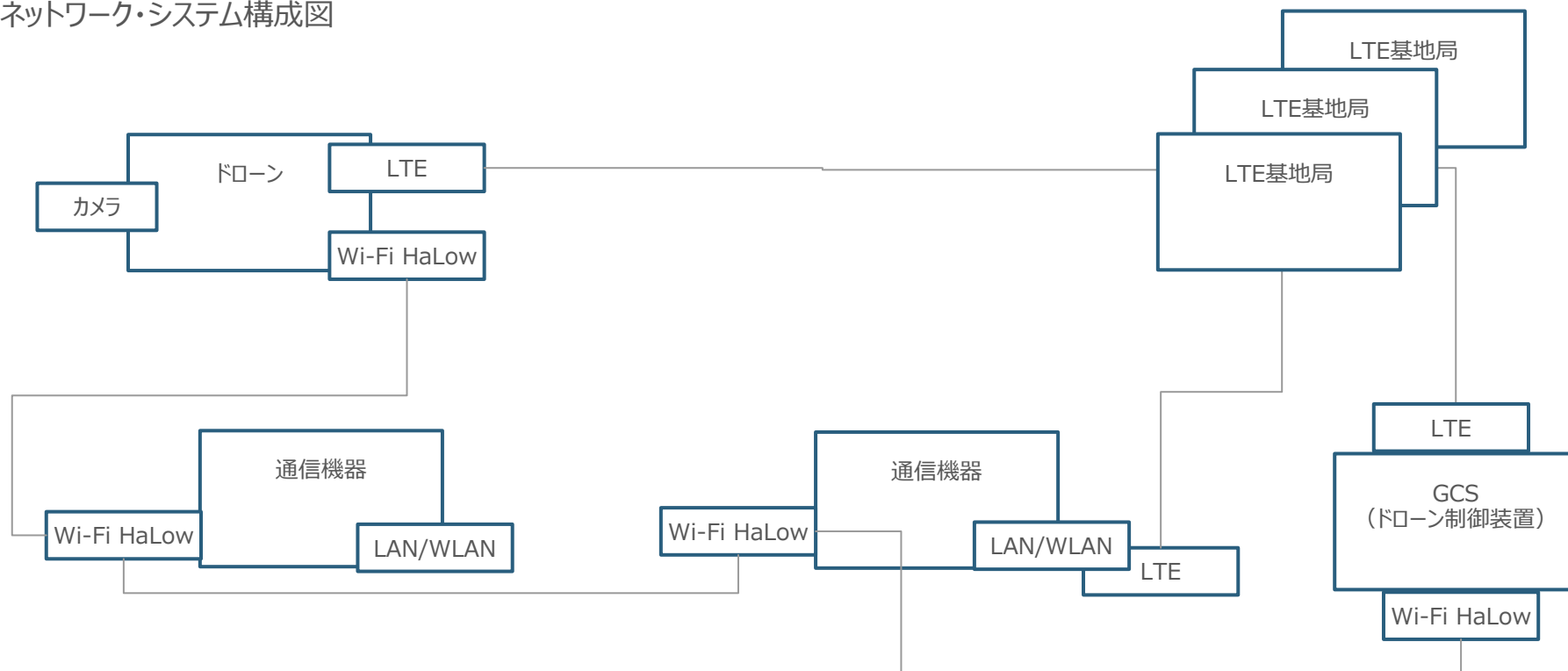
- 安全性に関する認識向上
- ドローン活用への期待度向上
- 社会実装への加速

② ネットワーク・システム構成

a. ネットワーク・システム構成図

ソリューションの概要

・ネットワーク・システム構成図

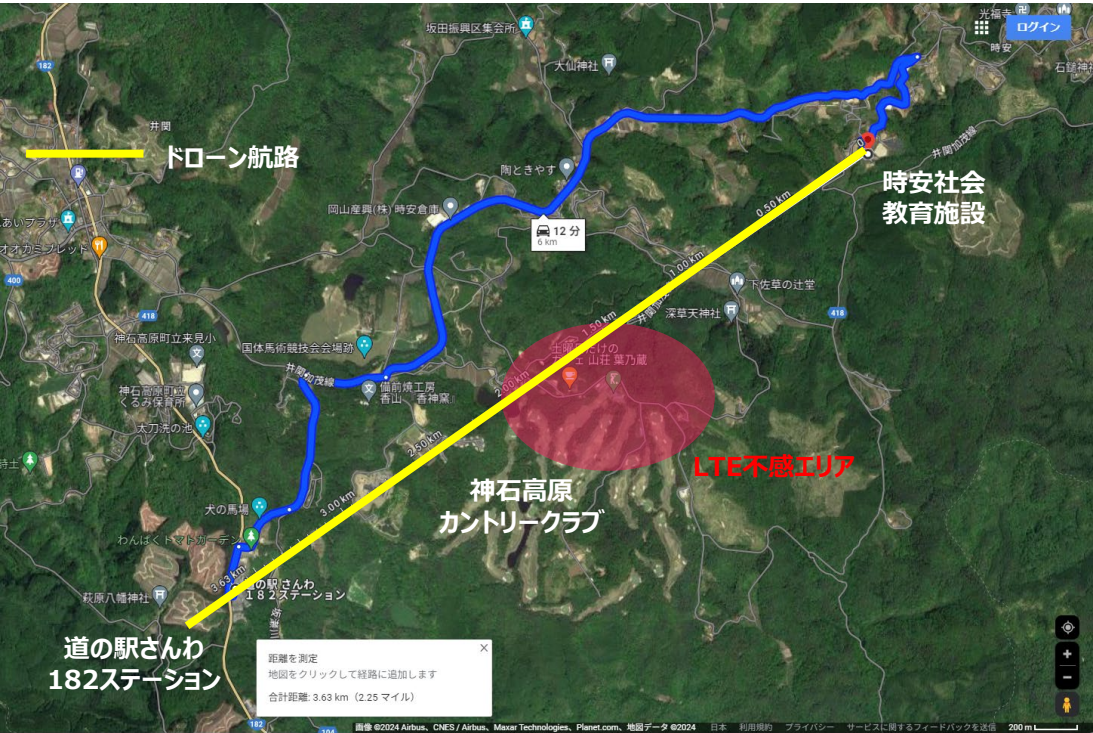


Ⅲソリューション

② ネットワーク・システム構成

b. 設置場所・基地局等

イメージ



用途別ドローン航路

出発地	目的地	用途
道の駅さんわ182ステーション	時安社会教育施設	日用品配送
時安社会教育施設	さんわ182ステーション	農作物の集荷
道の駅さんわ182ステーション	神石高原カントリークラブ	生鮮食品の配送

説明

- ドローン航路内のLTE不感エリアへ、Wi-Fi HaLowの受信装置を設置予定
- Wi-Fi HaLowの受信装置のカバー範囲：見通しが良い場所で約1-2km

② ネットワーク・システム構成

c. 設備・機器等の概要

機器リスト

別添資料 調達機器リストを参照

② ネットワーク・システム構成

d. 許認可等の状況

許認可の種類	現在の状況	今後の計画/スケジュール
Wi-Fi HaLow : 許認可不要	—	—

③ソリューション等の採用理由

a. 地域課題への有効性

対象の課題	課題解決への有効性
課題 買い物利便性の向上	多くの中山間地域を有し、高齢化の進行により買い物に苦勞する住民を抱える神石高原町において、中山間地域においても安定して飛行するドローン物流サービスを充実化させることにより、町の課題を解決する。 さらに中山間地域のLTE不感エリアをWi-Fi HaLowでカバーすることでよりよいドローン航路を構築し、物流サービスの向上が可能になる。

ソリューション ドローン物流	
他ソリューションに対する優位性	
名称	比較
移動販売車 個宅注文配送	移動販売車や個宅注文配送では山道を通るため、配送に時間がかかり、かつドライバーの負担がかかる。 ドローン物流であれば最短距離に近いルートを選択できるため、配送までの時間を短縮できるほか、配送にかかる人的コストを削減できる。

③ソリューション等の採用理由

a. 地域課題への有効性

対象の課題	課題解決への有効性
課題 買い物利便性の向上	神石高原町ではドローン活用への取組みが積極的に進められており、弁当配達等多くの実証実験が行われている。 しかし、中山間地域に該当する神石高原町においては、LTE不感地域が存在し、当該地域における通信の安定性確保が困難でサービスとしての提供が困難であることが課題になっている。 また、地域の上空をドローンが飛行すると墜落リスクが存在するため、ドローンの安全対策を講じない限り、実証実験から実運用への移行が困難（自治体が住民から理解を得るのが困難）である。また、2019年実施の中国地域におけるドローン活用方策検討調査によると、「信頼性が高くなく、落下が避けられないので危なくて使えない」の回答が約6割と、安全性への懸念は払しょくできていない。 このことから、買い物利便性向上を謳う前提として、このような通信環境を考慮したうえで安定性を確保することが求められる。 また、住民の不安を解消し、社会受容性を向上させることが不可欠であり、安全性の対策として、戸配での着陸時における危険回避等が期待されている。 本ソリューションは、LTE不感エリアにおいてWi-Fi HaLowを併用することにより、通信の安定性を確保しつつ機体情報および機体の健全性チェック情報を地上で認識可能とし、上空で人物検知した場合の上空停止、さらにドローン行方不明時の搜索技術により墜落位置の推定を実現することで求められる安全性対策を実行でき、課題解決が可能となる。

ソリューション ドローン物流

他ソリューションに対する優位性

名称	比較
物流に活用されている既存のドローン	物流に活用されている既存のドローンは各地域で実証実験が行われているが、LTE不感地域における通信の安定性確保が困難でサービスとしての提供が困難であることが課題になっており、それを解決できる新しい通信技術が適用されているモデルは少ない。 本ソリューションでは通信環境を冗長化し、かつ戸配を想定した人物検知制御、万一の墜落時の位置推定を兼ね備えたものであり、本事業におけるドローンのリスク軽減を図る複合機能を搭載している点が本取組の優位性と言える。

③ソリューション等の採用理由

b. ソリューションの先進性・新規性、実装横展開のしやすさ

対象の課題	先進性・新規性	実装・横展開のしやすさ
課題 買い物利便性の向上	ドローン物流の実証実験は数多く実施されているが、通信環境の改善・社会受容性の醸成が課題となり、社会実装時期が定まらない事例は多い。その状況下において、買い物利便性の向上に向けた社会実装を加速させるために、その課題に着目し、解消させるという点で先進性がある。 本実証で予定しているドローン物流の実装にむけてコスト効率性を高めるため、マルチパーパスの実証を行う。 - 道の駅直売所や併設するコンビニから生鮮食品等をドローンで配送 - 飛行経路上にあるゴルフ場のレストランへ生鮮食品等をドローンで配送 ドローン航路構築のために通信可能エリアを拡大する。 - LTEをバックホール回線としてWi-Fi HaLowを利用することによりドローン航路を構築することが不可能であったエリアでのドローン飛行を実現 - 通信可能エリアの拡大に伴い、よりよいドローン航路を構築し、配送時間やバッテリー消費の軽減を実現	ソリューション ドローン物流 適用可能地域の存在 - 日本は山間部が多いため、住民は少ないが面積が広く、集落が点在している類似の条件の自治体が多く存在している - 本実証は、このような過疎化が進む中山間地共通の課題を解決するものであり、適用可能地域は多数存在しているため、ニーズが重なるこれらの地域に横展開することが可能 ドローン物流の実現可能性の向上 - Wi-Fi HaLowを利用することにより、LTE回線の有無にかかわらず同様の課題を抱える地域に横展開することが可能

③ ソリューション等の採用理由

b. ソリューションの先進性・新規性、実装横展開のしやすさ

対象の課題	先進性・新規性	実装・横展開のしやすさ
課題 買い物利便性の向上	実証実験は「プロ集団によるできることの証明」である一方、実運用（実装）は「民間企業で100%の成功」が求められる。このような観点から、機体本体に対する安全性への懸念が強い。民間企業での安全安心な運用を想定し、以下の複合機能を装備することに新規性がある。 • 通信の冗長化（LTE不感エリアにおいても通信環境を維持可能） • 飛行状況の監視・地上への転送、異常時の制御 • 戸配時の人物検知と着陸制御（ホバリング等） • 墜落時の搜索（搜索容易性の確保）	ソリューション ドローン物流 適用ドローンの汎用性 • 使用する機体は、ファームウェアとしてArduPilot（OSS）を載せたフライトコントローラを搭載するものを対象とし、実装する制御プログラムはArduPilot専用の通信プロトコルを使ってフライトコントローラと連携する。 • ArduPilotは、本実証で使用するドローンの機体メーカー（イームズロボティクス社）に限らず、多くの国産機体メーカーに採用されており、海外においてもArduPilotを採用している機体メーカーは多く存在する。 • 以上により、技術面では国内・海外への展開が可能である

③ソリューション等の採用理由

c. 無線通信技術の優位性

通信技術	ソリューション実現の要件を満たす通信技術の特徴	他無線通信技術との比較	
Wi-Fi HaLow	- Wi-Fi HaLowは長距離通信が可能なWi-Fiの次世代規格 - 伝送距離が長く、スループットが高い利点を活用し、ドローンの操作に活用	名称	比較結果
		LoRa/Wi-SUN	ドローンの制御では、長距離通信とある程度のスループットの通信が必要。LoRa/Wi-SUNでは制御を行うためのスループットが不足するため、伝送距離が長く、スループットが高いWi-Fi HaLowが適している
		ローカル5G	ローカル5Gは設備導入コストが高くマネタイズが難しくなってしまうため、導入コストおよび整備コストが安価なWi-Fi HaLowが適している

④ 費用対効果

a. 費用対効果 (1/3)

		主体		SPC
		項目	スケジュール	
			2025年度	...
効果	定量 (収益)	• ドローン貸出対価 (SPC)	• 650万円	
	計 (定量 収益)		650万円	
	定量 (収益以外) + 定性	• -	• -	
費用	イニシャル	• -	• -	
	ランニング	• ドローン機体減価償却費 • 保守・運用費	• 350万円 • 450万円	
	計		800万円	

*1 2025～2028年度において、実証準備及び実装を行うことを想定しており、費用対効果は同程度となることを見込んでいる。但し、詳細については引き続き要検討。

④ 費用対効果

a. 費用対効果 (1/3)

		主体		さんわ182ステーション
		項目		スケジュール
				2025年度
効果	定量 (収益)	• ドローン利用対価 (さんわ182ステーション)	• 900万円	
	計 (定量 収益)		900万円	
	定量 (収益以外) + 定性	• -	• -	
費用	イニシャル	• -	• -	
	ランニング	• ドローン借用費	• 800万円	
	計		800万円	

*1 2025～2028年度において、実証準備及び実装を行うことを想定しており、費用対効果は同程度となることを見込んでいる。但し、詳細については引き続き要検討。

④ 費用対効果

a. 費用対効果 (1/3)

		主体		神石高原カントリークラブ
		項目	スケジュール	
			2025年度	...
効果	定量 (収益)	• ドローン利用による運送コストカット（神石高原カントリークラブ）	• 55万円	
	計 (定量 収益)		55万円	
	定量 (収益以外) + 定性	• -	• -	
費用	イニシャル	• -	• -	
	ランニング	• ドローン利用費	• 5万円	
	計		5万円	

*1 2025～2028年度において、実証準備及び実装を行うことを想定しており、費用対効果は同程度となることを見込んでいる。但し、詳細については引き続き要検討。

④ 費用対効果

a. 費用対効果 (2/3)

		項目	算定の根拠 ^{*1}
効果	定量 (収益)	- ドローン貸出対価 (SPC) - ドローン利用対価 (さんわ182ステーション) - ドローン利用による運送コストカット (神石高原カントリークラブ)	- 利用対価－利用対価×利益率 (30%) －人件費として算出 (約11,340,000円＋約55,000円) － (約11,340,000円＋約55,000円) ×30%－約1,550,000円 - 配送サービス総利用回数×一回当たり配送サービス利用料－人件費として算出 - 約12,600回×900円-約2,325,000円 - 総世帯に占める65歳以上単身世帯と高齢者のみ世帯のうち、1%が1回/日の利用すると仮定し算出 1回あたりの配送料金は500円、マージンは20%と想定 - 陸送のみの配送料(現状)－ドローン併用時の陸送配送料(今後)として算出 1,100,000円－550,000円 - ゴルフ場で使用する食材を配送するとし、年間のゴルフ場利用者数を基に配送量を仮定
	定量 (収益以外)	-	-
費用	イニシャル	-	-
	ランニング	- ドローン機体減価償却費 - 保守・運用費	- ドローン減価償却費 (前年度分) ＋ドローン減価償却費 (当年度追加分) として、定額法 (耐用年数10年) を用いて算出 - LPWA必要台数×LPWA機器保守費用＋ドローン必要台数×(ドローン機体保守費用＋LTE通信費)として算出

*1 各種物品費用等は主にデスクトップリサーチを基に仮設定している。

④ 費用対効果

a. 費用対効果 (3/3)

項目		スケジュール
		2025年度
効果 計 (定量)	—	● 800万円*1
定性	—	—
費用計	—	● 800万円*2

合理性・妥当性

- 機体購入等の初期投資や雇用創出分の人件費負担が重く、実証年度を含めた4年目までは累計収支が赤字となることが見込まれているが、5年目以降は収支黒字化が想定されている。
- 収支は補助金等に使用しなくても黒字化することを前提として算出しているが、今後応募可能と考えられる補助金も複数存在している。P7記載の通り、本実証に加え、さらなる町の地域課題を掘り起こし、本サービスとの親和性を検証する中で、より親和性の高い補助金を獲得し活用すれば、さらに安定した事業実施が可能と見込んでいる。
- 事業としては一定の持ち出しは発生するものの、地域住民の買い物その他利便性は向上するため、地域全体として費用対効果が十分に得られていると説明が可能。

*1 ビジネスモデル全体での効果額を記載しており、「ドローン貸出対価（SPC）+ドローン利用対価（さんわ182ステーション）+ドローン利用による運送コストカット（神石高原カントリークラブ）-ドローン利用費-ドローン利用費」として算出している。

*2 ビジネスモデル全体での費用額を記載しており、「ドローン機体減価償却費+保守・運用費」として算出している。

④ 費用対効果

b. 導入・運用コスト引き下げの工夫

		項目	引下げの工夫内容	コスト削減効果 (見込み額)	実行タイミング	実行主体/担当者
費用	イニシャル	ドローン購入	必要台数を購入する際に複数年度で契約することで、ディスカウントを受け費用を削減	市場動向や事業者との交渉等を踏まえ要検討	2025年	SPC
		ドローン購入	ドローン機体の低価格化が進むと想定され、費用を削減	市場動向や事業者との交渉等を踏まえ要検討	2025年	SPC
	ランニング	メンテナンス	LPWA、ドローンのメンテナンスサービスを長期間契約としてボリュームディスカウントを受け、費用を削減	総費用の10%をメンテナンス費用とし、更に長期間契約により10%削減見込み (約20万円)	2024年9月	SPC

① 計画概要

実証実施の前提

- 目的
- 本ソリューションの環境を構築し、ドローン物流の実装可否を検証する。
- LTE不感エリアでのWi-Fi HaLowの有効性の検証
 - ドローンに必要な通信システムに要するコスト低廉化に向け、持続可能な運用モデルの検証
 - 買い物の利便性向上の検証

- アウトカム
- ドローンの飛行エリアを拡大することにより、ドローン物流の利便性を向上させる
 - ドローン物流を活用することにより、買い物支援事業の負担の軽減を行う

ソリューション ドローン物流

検証ポイント

- 効果
- Wi-Fi HaLowによりドローン制御を行い、収支が黒字化するサービスが実施できることを検証

- 技術
- 都市部でのレベル4飛行実現を見据え、ドローン制御通信のLTE+Wi-Fi HaLowによる冗長化が可能なことを検証

- 運用
- NA

① 計画概要

実証実施の前提

目的

- ドローン+Wi-Fi HaLowによる機体情報把握の連続性を確認
安全対策の基盤技術であるため、本実証期間にて検証
- LTEエリアでLTE/ Wi-Fi HaLowの両経路で機体情報を同時に取得できること、地上から機体制御できることを検証
 - LTE不感エリアでWi-Fi HaLowでの機体情報が取得できること、地上から機体制御できることを検証
 - LTE不感エリアでも人物検知情報をWi-Fi HaLowで取得、地上からホバリング指示ができることを検証
 - LTE不感エリアに墜落した場合でもWi-Fi HaLowを活用し位置推定できることを検証

アウトカム

- ドローン物流に関する住民の理解度向上（不安度の削減）不安を抱く住民の割合の減少

ソリューション

ドローン物流

検証ポイント

効果

- LTE不感エリアにおいても、Wi-Fi HaLowを利用してLTE通信時と同様のドローン制御ができることを検証

技術

- Wi-Fi HaLowでの人物検知通報
- Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示
- 不時着後の位置把握

運用

- ドローン事業者が、飛行状況の地上監視・戸配・墜落したドローンの搜索等の運用が可能か検証

② 検証項目・検証方法

a. 効果検証

ソリューション	検証ポイント		検証方法	実装化の要件	
	項目	目標		要件	要件の妥当性の根拠
ドローン物流	I ドローンに必要な通信システムに要するコスト低廉化に向け、持続可能な運用モデルの検証	シミュレーション上で5年目時点で収支の黒字化	初期コスト（ドローン、機器購入費）と維持コスト（ドローン・機器保守コスト、人件費）、各社から発生する利用対価を合算し、収支を計算	シミュレーションの結果、5年目以降収支黒字化となる	機体購入等の初期投資の影響により当初は大幅な赤字となるが、事業開始5年目（実証年度を含む）に黒字化が見込まれる
	II 住民向けアンケート（実証前/実証後）	ドローンの上空飛行に対する不安を抱く住民の割合を半減	実証内容の詳細を認識していない住民に対して、ドローン飛行に関するアンケートを実施。実証実施後、実証内容を説明した上で、再度アンケートを実施	ドローン上空飛行に不安を抱く住民が10%以下	新しい仕組みの導入で不安を0にすることは難しいが、9割が不安を抱いていない状況は自治体が推進していく上で十分実装に踏み込める数字である

② 検証項目・検証方法

b. 技術検証

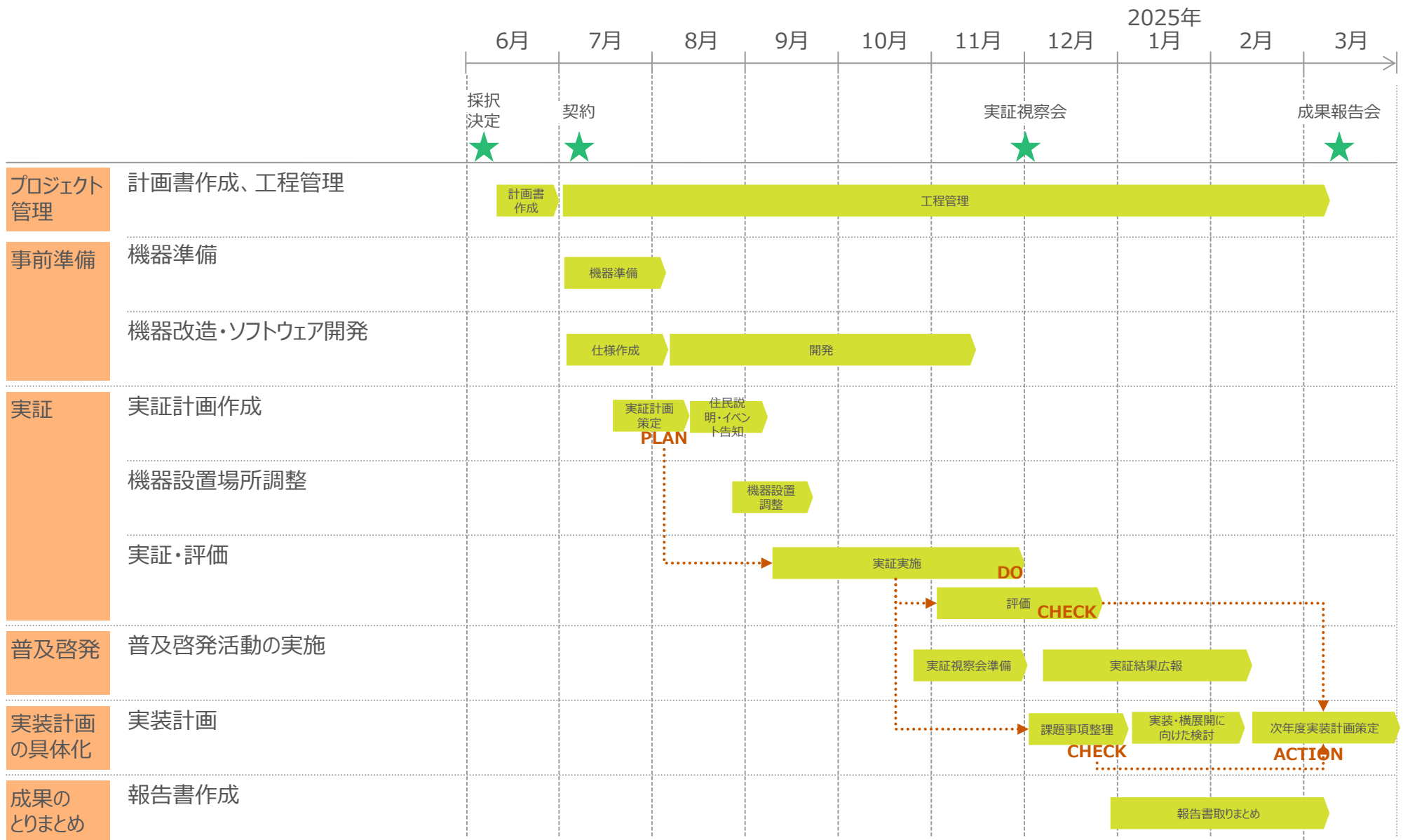
ソリューション	検証ポイント		検証方法	実装化の要件	
	項目	目標		要件	要件の妥当性の根拠
ドローン物流	I ドローン制御通信のLTE+Wi-Fi HaLowによる冗長化が可能なことを検証	- LTEエリアでLTE/Wi-Fi HaLowの両経路で機体情報を同時に取得でき、地上からも機体制御できること - LTE不感エリアにおいても通信環境が維持可能になっていること	ドローンにWi-Fi HaLowの通信機を搭載し、地上に設置したWi-Fi HaLow通信機との通信を実施しドローンの制御を行う	LTE不感エリアにおいても通信接続状態が90%以上維持出来ている	LTE+Wi-Fi HaLowの両方の通信実施できない割合を想定し、90%と仮定本状態であってもGPS/RTKなどを使用して安全に発着点に帰還できるため、実証による通信性能を検証
	II Wi-Fi HaLowでの人物検知通報	LTE不感エリアでも人物検知情報をWi-Fi HaLowで取得できること	配送ルートを設定し、ルート上に人を配置し、配送ドローンが備えたカメラで人物を捉えて自動解析し、その結果をWi-Fi HaLowで地上に送信する	30mの距離において経路上の人物を100%検出	レベル3.5飛行がで立入管理措置が不要となる要件の1つとして機上カメラによる確認が求められており、AIで代替する場合100%の検出が必要なため
	III Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示	LTE不感エリアでもWi-Fi HaLow経由で地上から着陸指示ができること	LTEが通じない状況下であることを確認した上で、地上に着陸できる安全地帯を設け、地上からの指示で着陸させる	経路上全ての場所において緊急着陸が可能であること	レベル3.5飛行において危険を検知した場合にそれを回避する行動が必要であるため
	IV 不時着後の位置把握	LTE不感エリアでもWi-Fi HaLowを活用し、位置推定できること	搜索者が知らない場所にドローンを不時着させた上でアクセスポイントでの通信状況等を基に搜索者がその場所を推測する	墜落地点を直径1Km以内に絞り込むことができる	直径1Km圏内に絞込みが行えると、重要施設や人的被害の可能性のある空間への墜落の可能性を即時判断できるため

② 検証項目・検証方法

c. 運用検証

ソリューション	検証ポイント		検証方法	実装化の要件	
	項目	目標		要件	要件の妥当性の根拠
ドローン物流	I ドローン物流に対するサービス満足度、導入意向を検証（調査）	配送サービス利用世帯数の年平均成長率CAGRが5年目に約50%に達すること	SPCにて管理する利用者数、65歳以上単身世帯及び高齢者のみの世帯数（町の統計）より算出	配送サービス利用世帯数の年平均成長率CAGRが5年目に約50%達成	神石高原町全世帯数のうち、利用世帯は65歳以上単身世帯と高齢者のみの世帯が利用すると想定（約2,000世帯で変動しないと仮定） 初年度は1%（20世帯）が利用、利用割合が年1%ずつ上昇すると仮定し、年平均成長率CAGRを算出
	II 飛行中ドローンのリアルタイムでの状況把握	LTE不感地域が存在しても100%状況把握できること	機体側から発信し続けるドローン機体の健全性に関する情報を地上側で受信できることを確認する	途切れることなく一定間隔で離陸から着陸まで機体健全性情報が地上で取得できること	機体の健全性状況を常時把握し、即時危険回避できることが住民不安の軽減に寄与するため、実装化の要件として妥当である。

③ スケジュール



④ リスクと対応策

	リスク		対応策
	項目	概要	
事前準備	機体改造の遅れ 安全性機能開発の遅れ	全体計画では開発期間が2か月弱のため、計画している検証に必要な実装が間に合わないリスク	検証項目の優先度付けや、検証項目ごとの実証計画を立案し、状況に応じたスケジュール調整を可能とすることで全体計画への影響を抑制する。
実証	天候不良	実証当日に中止を判断するリスク	予備日の設定や週間天気の確認により実証日程を調整する。
	ドローン機体・機器の故障 Wi-Fi HaLow不通	実証当日、機体異常や通信不良により評価ができないリスク	事前点検により、実証時に異常動作が生じることを防ぐ。
	墜落 (墜落後)紛失	機体異常や通信途絶等の影響で墜落し、実証が続行できなくなるリスク	事前点検により、実証時に異常動作が生じることを防ぐ。
	バードストライクの発生	バードストライクによる事故で評価ができなくなるリスク	その地域での猛禽類の動向調査を調査し、活動が活発な時間帯を避ける。
	住民の抗議・反対	実証実験の中止を求める声が出るリスク	住民に対して、実証実験の目的について周知徹底を図る。

④ リスクと対応策

	リスク		対応策
	項目	概要	
実装計画の具体化	運用コスト	現時点で認識できていないコストの発生によりビジネスプランやビジネスモデルが破綻するリスク	実証と並行してビジネスプランやビジネスモデルの設計を進め、自治体とともに課題を検討する。
他地域への展開に向けた準備	住民の理解 自治体の理解	ドローン飛行に対する安全面での不安や事業化を図る上での懸念事項により他地域への展開が進まないリスク	中山間地域でのドローン物流で懸念される観点について神石高原町ではどのように取り組んだかという観点で事例化し、参考にしてもらう。
成果のとりまとめ	NA	NA	NA

5 PDCAの実施方法

課題把握を実施する体制

通常時

週次進捗会議

- 開催時期：週次
- 方法：オンライン
- 体制：EYストラテジー・アンド・コンサルティング、日本電気、NECソリューションイノベータ
- アジェンダ
 - 進捗状況確認
 - 発生課題の確認と新規課題の洗い出し

月次進捗報告

- 開催時期：月次
- 方法：オンライン
- 体制：神石高原町、EYストラテジー・アンド・コンサルティング、日本電気、NECソリューションイノベータ、さんわ182ステーション、神石高原リゾート
- アジェンダ
 - 実証準備・実証の状況報告
 - 町や地元企業への協力依頼、相談事項等の議論
 - 実装・横展開の方向性について

緊急時

—

対策を立案・実行する体制

個別論点検討会議

- 開催時期：進捗の中で個別議論が発生したタイミング
- 方法：オンライン
- 体制：神石高原町、EYストラテジー・アンド・コンサルティング、日本電気、NECソリューションイノベータ、さんわ182ステーション、神石高原リゾート※内容に依存して決定
- アジェンダ
 - 個別議題の方向性議論（実装・横展開の方向性検討含む）

月次進捗報告

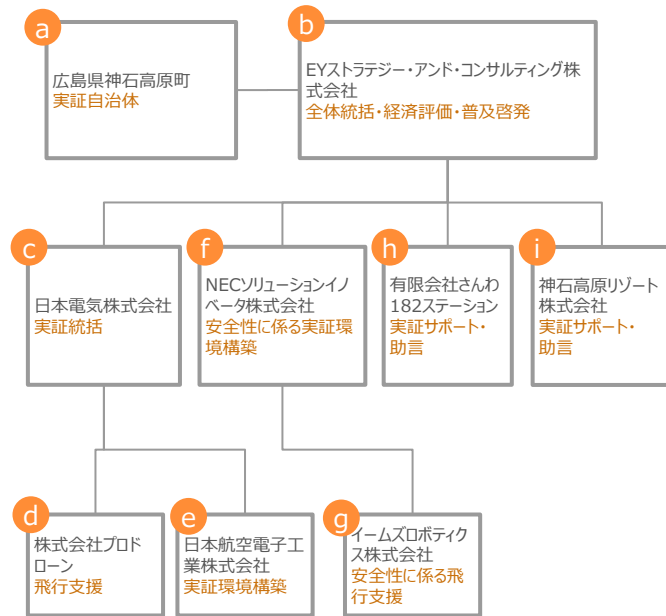
- 開催時期：月次
- 方法：オンライン
- 体制：神石高原町、EYストラテジー・アンド・コンサルティング、日本電気、NECソリューションイノベータ、さんわ182ステーション、神石高原リゾート
- アジェンダ
 - 実証準備・実証の状況報告
 - 町や地元企業への協力依頼、相談事項等の議論
 - 実装・横展開の方向性について

緊急課題検討会議

- 開催時期：進捗の中で緊急対応が発生した場合、発生から1週間以内
- 方法：オンライン
- 体制：神石高原町、EYストラテジー・アンド・コンサルティング、日本電気、NECソリューションイノベータ、さんわ182ステーション、神石高原リゾート※内容に依存して決定
- アジェンダ
 - 緊急課題の対応方針

6 実施体制

実施体制図



団体名	役割	リソース	担当部局/担当者
a 広島県神石高原町	実証自治体	3名	産業課 商工観光係
b EYストラテジー・アンド・コンサルティング株式会社 代表企業	全体統括・経済評価・普及啓発	5名 計787時間	RiskTransformation Public Agenda
c 日本電気株式会社	実証統括	2名 計340時間	クロスインダストリー事業開発部門
d 株式会社プロドローン スタートアップ企業	飛行支援	外注	営業部
e 日本航空電子工業株式会社	実証環境構築	外注	航空事業部
f NECソリューションイノベータ株式会社	安全性に係る実証環境構築	5名 計1850時間	ファウンデーションサポート事業部
g イームズロボティクス株式会社	安全性に係る飛行支援	外注	開発本部
h 有限会社さんわ182ステーション	実証場所の提供、実証サポート、助言	1名	道の駅さんわ182ステーション
i 神石高原リゾート株式会社	実証場所の提供、実証サポート、助言	1名	神石高原カントリークラブ

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

① スケジュール(実績)

赤字: 当初の計画から変更になった箇所



V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

a. 効果検証

課題の凡例

クリティカルな課題(解決しないと実装・横展開できない)

クリティカルではないが、解決が望まれる課題(解決しなくても実装・横展開可能だが、解決した方が効果は高まる/コストが下がる 等)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
ドローン物流	ドローンに必要な通信システムに要するコスト低廉化に向け、持続可能な運用モデルの検証	シミュレーション上で5年目時点で収支の黒字化	技術実証の過程で明らかとなったドローンの飛行時間、積載量等を踏まえてビジネスモデルを検証した結果、実装から5年目時点で単年度黒字化可能であることを確認した。 ただし、本実証で活用した飛行ルートの場合、1路線であるため、5年目以降は利用者の増加が見込みにくく、初期投資の回収が困難と見込まれる。	経済性の向上のためには、1路線でのドローン物流の運用だけではなく、機体性能等の向上と並行して、①神石高原町中心部への空路拡大、②物流以外の取り組みと本実証の連携を行い収益を獲得していく必要がある。
	住民向けアンケート (実証前/実証後)	ドローンの上空飛行に対する不安を抱く住民の割合を半減	実証前のアンケート結果で不安を抱く住民の割合は約25%であった。一方、実証後のアンケート結果では約20%であった。低減は見られたが回収件数が少なかったこと、並びに不安を抱いている人が多いという最初の仮定自体が想定よりも低い結果だったため、半減まではいかなかった。	神石高原町では2019年より「ドローンによる地産地防事業」に取り組んでいることから、地域住民においてもドローンが身近な存在になっていることが背景にあると考えられる。

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術検証

課題の凡例

クリティカルな課題(解決しないと実装・横展開できない)

クリティカルではないが、解決が望まれる課題(解決しなくても実装・横展開可能だが、解決した方が効果は高まる/コストが下がる 等)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
ドローン物流	ドローン制御通信のLTE+Wi-Fi HaLowによる冗長化が可能なことを検証	- LTEエリアでLTE/Wi-Fi HaLowの両経路で機体情報を同時に取得でき、地上からも機体制御できること - LTE不感エリアにおいても通信環境が維持可能になっていること	LTEおよびWi-Fi HaLowの両経路で機体情報を取得できるようなシステムおよび機体の開発を実施。開発後試験場内においてLTEおよびWi-Fi HaLow回線を入り切りしながらドローン飛行を実施し、地上側でそれぞれの回線経由での情報を取得し、制御できることを確認した。 実証を行う現場のLTE不感エリアを電波測定により特定後、特定したLTE不感エリアを含むルートにてドローン飛行を実施。その結果LTE不感エリア飛行中はWi-Fi HaLow回線によりテレメトリ情報が取得できていること、FPV映像が映ることが確認できた。	LTE回線を切断した際にはWi-Fi HaLow回線、Wi-Fi HaLow回線が切断した際にはLTE回線での情報取得および機体制御が可能であったため、両経路での情報取得、機体制御が可能であるといえる。 LTE不感エリアを含むルートにおいて問題なくドローン飛行が可能であったことからLTE不感エリアを含むルートにおいても通信環境が維持可能であると考えられる。
	Wi-Fi HaLowでの人物検知通報	LTE不感エリアでも人物検知情報をWi-Fi HaLowで取得できること	ドローンのカメラで人物を検知した時オペレータに、人物検知されているという情報をWi-Fi HaLow経由で通知することに成功した。なお、本実証はドローンからWi-Fi HaLow経由で情報取得できることの確認が主眼だったため、人物検知の精度は追求していない。	服装や背景の変化等により誤検知のリスクがあるため、実装に向けては人物検知システムの精度を高める必要がある。
	Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示	LTE不感エリアでもWi-Fi HaLow経由で地上から着陸指示ができること	Wi-Fi HaLow経由で接続した地上局からの指示でドローンを制御できることを確認した。さらに、人物を検知し、自律的にホバリングしているドローンに対して、事前に決めた緊急着陸地点に着陸することを指示し、指示通りに動作できることを確認した。	人物検知した後の制御に関して、ドローンの自律制御及び地上からの指示の運用設計を行い、運用設計に沿った技術強化方針の策定が必要である。
	不時着後の位置把握	LTE不感エリアでもWi-Fi HaLowを活用し、位置推定できること	Wi-Fi HaLow通信を用いて、各基地局の緯度経度とドローンまでの電波強度を入力することにより、ドローンの位置を推定するプログラムで実証した結果、実際の位置と推定位置の差が100m未満のケースがある一方、約1.5Kmのケースもあり、推定精度にばらつきがあった。	Wi-Fi HaLowデバイス間に樹木などの障害物があった場合、電波の影響を受けやすいということから、デバイス間の電波強度を利用した方式では中山間地に不時着したドローンの位置推定は難しいことが確認できた。

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

c. 運用検証

課題の凡例

クリティカルな課題(解決しないと実装・横展開できない)

クリティカルではないが、解決が望まれる課題(解決しなくても実装・横展開可能だが、解決した方が効果は高まる/コストが下がる 等)

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
ドローン物流	ドローン物流に対するサービス満足度、導入意向を検証（調査）	配送サービス利用世帯数の年平均成長率CAGRが5年目に約50%に達すること	本実証ルートにおける配送サービス利用世帯数の年平均成長率CAGRは5年目時点で約50%に達することを確認した。 一方で周辺の世帯数の関係から、配送サービス利用世帯数の年平均成長率CAGRの上昇は見込めない。	町民からのドローンへの不安感は比較的低く、また町としてもドローン事業に取り組んでいることから、ドローンへの不安感は将来的に減少傾向になると予想。今後利用者数の獲得が見込める神石高原町の中心部への配送ルートの検討が必要である。
	飛行中ドローンのリアルタイムでの状況把握	LTE不感地域が存在しても100%状況把握できること	状況把握が100%可能であることを確認した。 ただし、飛行環境やWi-Fi HaLowアンテナの指向性などの問題から、通信品質・映像品質に劣化が生じる時があった。	中山間地域では森林の比率が高く、通信面では影響を受けやすい地形のため、どの程度の距離感でWi-Fi HaLow基地局を設置していくかが課題である。また、一定の高度以上では通信不可となることから、水平面・垂直面での疎通確認が必要である。

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果（詳細）

b. 技術検証

検証項目：ドローン制御通信のLTE+Wi-Fi HaLowによる冗長化が可能なことを検証(サマリー)

検証ポイント		検証方法	実装化の要件
項目	目標	ドローンにWi-Fi HaLowの通信機を搭載し、地上に設置したWi-Fi HaLow通信機との通信を実施しドローンの制御を行う	LTE不感エリアにおいても通信接続状態が90%以上維持出来ている
ドローン制御通信のLTE+Wi-Fi HaLowによる冗長化が可能なことを検証	- LTEエリアでLTE/Wi-Fi HaLowの両経路で機体情報を同時に取得でき、地上からも機体制御できること - LTE不感エリアにおいても通信環境が維持可能になっていること		

- 検証項目「ドローン制御通信のLTE+Wi-Fi HaLowによる冗長化が可能なことを検証」では①～③の流れに沿ってLTE不感エリアでWi-Fi HaLow回線を用いてドローン制御を行い、ドローン飛行を実施できることを記述する

No.	目次	項目ごとの成果
①	LTE不感エリア電波測定	LTE不感エリア電波測定 電波測定を実施し、LTE不感エリアを特定した
②	Wi-Fi HaLow通信試験	Wi-Fi HaLow通信試験 Wi-Fi HaLow回線を用いてドローンを制御し、飛行させることができた
③	拠点間ドローン飛行試験	拠点間ドローン飛行試験 実際のユースケースを想定した拠点間飛行においてもLTEおよびWi-Fi HaLow回線を用いてドローン制御を行うことができた

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：ドローン制御通信のLTE+Wi-Fi HaLowによる冗長化が可能なことを検証(①LTE不感エリア電波測定)

検証方法

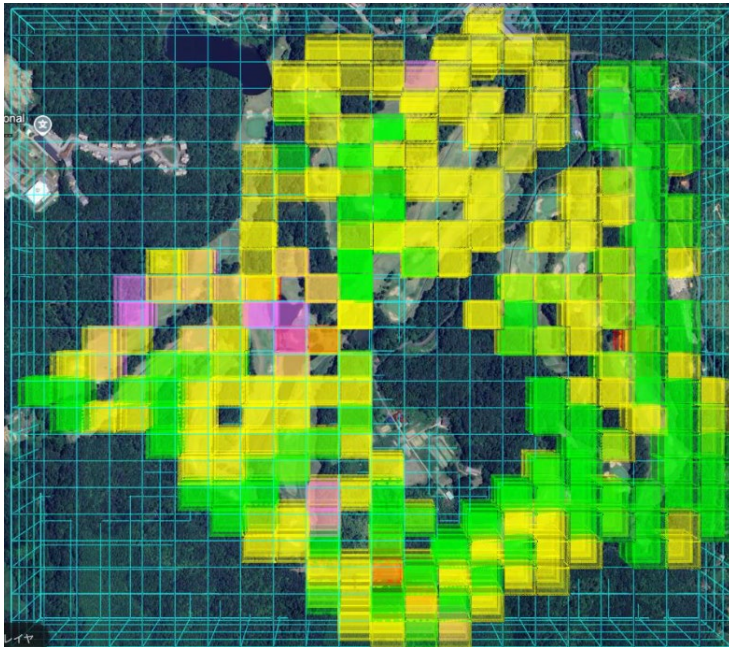
- LTE不感エリアとされている神石高原カントリークラブのゴルフコース内をドローン飛行させ、電波測定を実施。LTE不感エリアの特定を行う
- 現地の方から13番ホール付近は特に電波状況が悪くないと情報があったため、詳細な電波測定を実施

検証結果

- ゴルフコース全体の電波測定結果より東側を除き電波状況が悪くないことを確認
- 情報のあった13番ホール付近は地上付近に関しても電波測定を行ったところ、高度が低い場所で電波がより悪い状況であることが確認できた

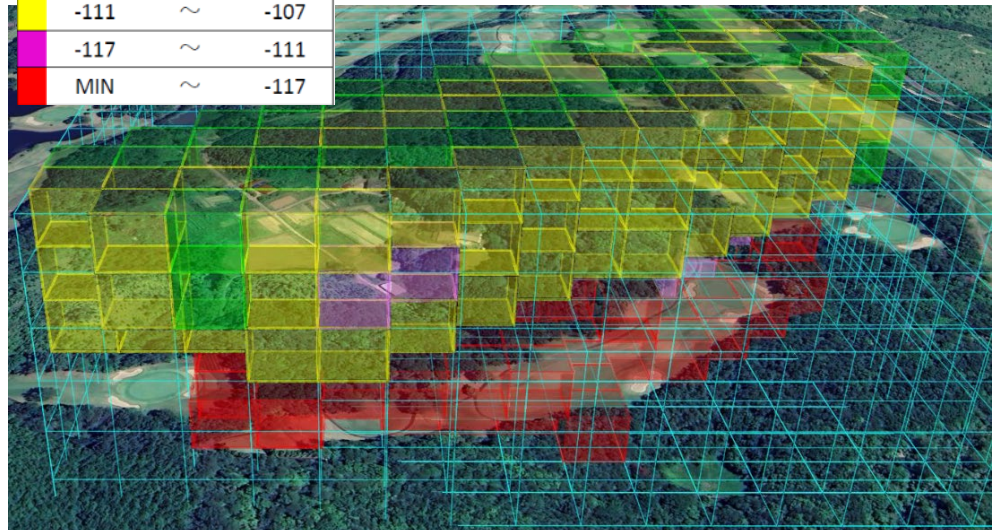
考察

- 全体的にゴルフコースの電波状況が悪くないことを確認した。現地の方から指摘のあった13番ホールに関しては特に電波状況が悪くないことが確認できたため、ここにWi-Fi HaLowモジュールを設置し、ドローン航路とすることで、Wi-Fi HaLowの性能試験が可能であると考えた



ゴルフコース全体のRSRP測定結果(2GHz帯、高度50m)

RSRP(電波の強さ)		
-89	～	MAX
-99	～	-89
-107	～	-99
-111	～	-107
-117	～	-111
MIN	～	-117



13番ホールRSRP測定詳細結果(2GHz帯)

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

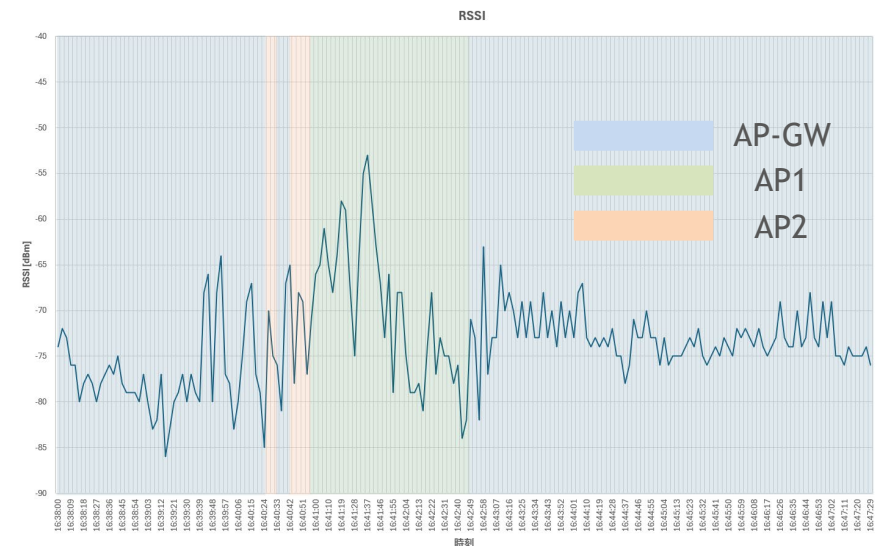
b. 技術検証

検証項目：ドローン制御通信のLTE+Wi-Fi HaLowによる冗長化が可能なことを検証(②Wi-Fi HaLow通信試験)

検証方法	検証結果	考察
LTEでの通信が可能な12番ホール(下図左側)にWi-Fi HaLowモジュール(AP-GW)を設置し、そこからホッピングさせるようにAP2およびAP1のモジュールを設置することで13番ホール全体をカバーする。地上に設置した3つのモジュール(AP1、AP2、AP-GW)同士の通信が可能な位置を検討し、設置位置決定後にドローン機体に搭載したWi-Fi HaLowモジュールとの通信状態を確認。通信状態を確認後、下図のルートで飛行試験を行い、Wi-Fi HaLow回線によるドローン制御を実施	- LTE不感エリアである13番ホールにWi-Fiモジュールを設置することでドローン飛行が可能であることを確認 - ドローン上のWi-Fi HaLowモジュールが飛行位置によって接続する地上モジュールのハンドオーバーを行い、地上(AP-GW)で機体制御が行えることを確認 - 飛行中のRSSIに関しても-50~-90[dBm]と良好であることが確認できた	LTE不感エリアにおいてもWi-Fi HaLow回線を使用することで機体を制御し、ドローン飛行ができることを確認した。これによりWi-Fi HaLowを使用することでLTE回線不感エリアでのドローン飛行が可能であると考えられる



13番ホールにおける地上モジュールの設置位置と飛行ルート



ドローン飛行中のハンドオーバー状況とRSSI

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：ドローン制御通信のLTE+Wi-Fi HaLowによる冗長化が可能なことを検証(③拠点間ドローン飛行試験)

検証方法	検証結果	考察
実際のユースケースを想定し、各拠点間のドローン飛行を実施。途中LTE不感エリアであるカントリークラブ13番ホール上空を飛行し、Wi-Fi HaLow回線による制御が可能か確認する	- LTE不感エリア上空においてWi-Fi HaLow回線によるドローン飛行が可能であることを確認した。LTE通信が可能なエリアに関しては通常通りLTE通信でのドローン飛行を行っていたため、両回線の冗長化が可能であることも確認した。 ※ ドローン搭載カメラのスループット、フレームレートの設定値は下記の通り - スループット：100kbps - フレームレート：5fps	拠点間物流においてLTE不感エリアを通過する場合でもWi-Fi HaLow回線による機体制御が可能であることを確認した。これによりWi-Fi HaLowを使用することでLTE回線不感エリアを含むドローン航路の構築が可能であると考えられる



ドローン飛行ルート

ドローン物流内容

出発地	目的地	用途
さんわ182ステーション	時安社会教育施設	日用品配送
時安社会教育施設	さんわ182ステーション	農作物の集荷
さんわ182ステーション	神石高原カントリークラブ	生鮮食品の配送



Wi-Fi HaLow回線経由のFPV映像(13番ホール上空)

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの人物検知通報 (1/9)

検証ポイント		検証方法	実装化の要件
項目	目標	ドローンに備えたカメラで人を捉えた時に、人物検知システムが人物を検知し人物検知通報がWi-Fi HaLow通信で地上側のPCに正しく表示されることを確認する。	30mの距離において経路上の人物を100%検出
Wi-Fi HaLowでの人物検知通報	LTE不感エリアでも人物検知情報をWi-Fi HaLowで取得できること		

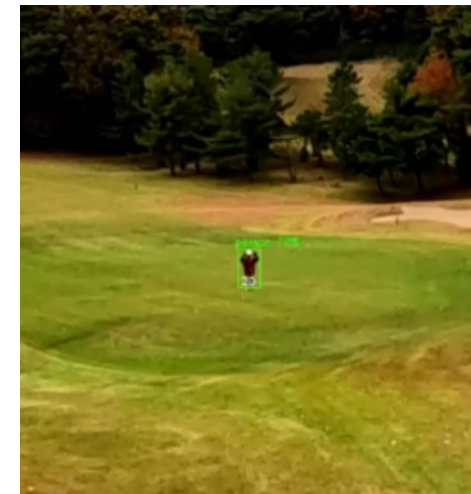
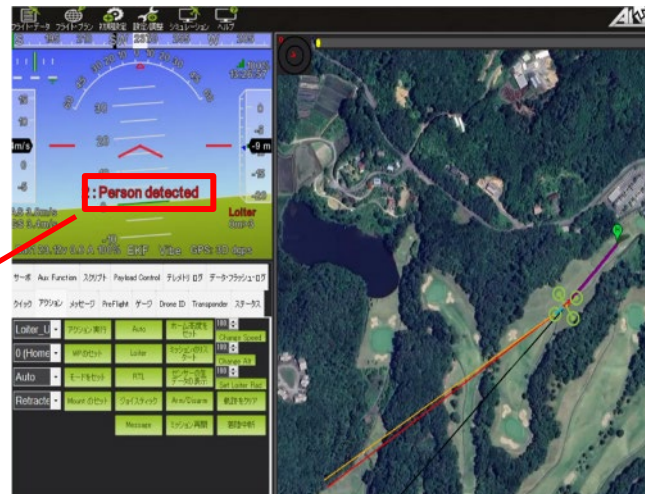
検証方法(詳細)

ドローンからの人物検知通報受信の確認

以下の手順で検証

1. 人物検知システムが検知できる距離までドローンを人物に近づけていく
2. ドローンに備えたカメラで人物を捉えて自動解析し、人物検知システムが正常に作動することを確認
3. 人物検知通報が、Wi-Fi HaLow通信で地上側のPCに正しく表示されることを確認

人を検知すると、「Person detected」のメッセージが表示される



② 検証項目ごとの結果 (詳細)

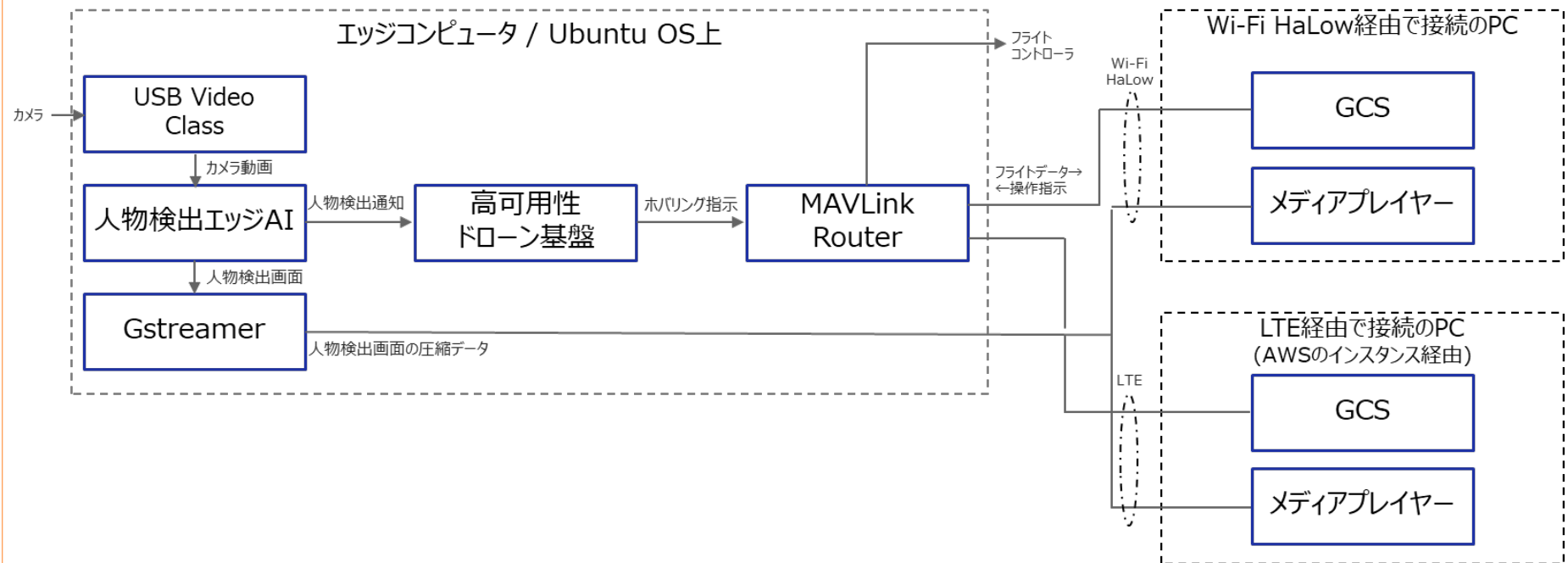
b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの人物検知通報 (2/9)

検証方法(詳細)

実験環境(SW関連)

- ・ 人物検出エッジAI：人物を検知し、検知した画面の出力と通知を行う
- ・ 高可用性ドローン基盤：人物検出エッジAIからの人物検知通知を受け取り、GCSに緊急メッセージを送る
- ・ Mavlink Router：高可用性ドローン基盤－フライトコントローラ－GCS間のMAVLINKメッセージをルーティングする
- ・ Gstreamer：人物検出エッジAIからアウトプットされた映像を配信する
- ・ メディアプレイヤー：配信されている映像を受信しPC上に表示する
- ・ GCS(Ground Control Station)：地上のPC上でドローンのテレメトリ情報を把握したり、ドローンに対してメッセージを送る



② 検証項目ごとの結果（詳細）

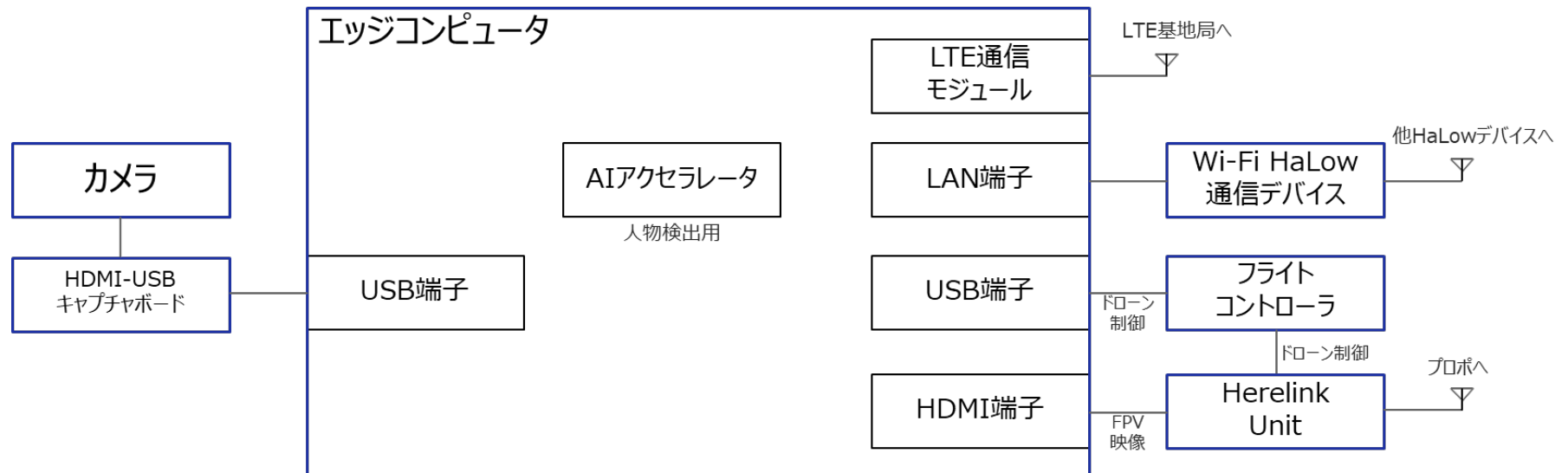
b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの人物検知通報（3/9）

検証方法(詳細)

実験環境(HW関連1)

- エッジコンピュータ アドバンテック MIO-2361
- カメラ GoPro HERO10
- HDMI-USBキャプチャアダプタ Newluck JNLK-LZK-HDCK
- AIアクセラレータ アドバンテック EAI-1200
- ドローン イームズロボティクス E6106FLMP2
- ドローン用トランスミッションシステム Hex Technology HerelinkHD
- フライトコントローラ CubePilot Cube Orange
- Wi-Fi HaLowデバイス メガチップス 評価キット



電源周りの配線図は省略

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

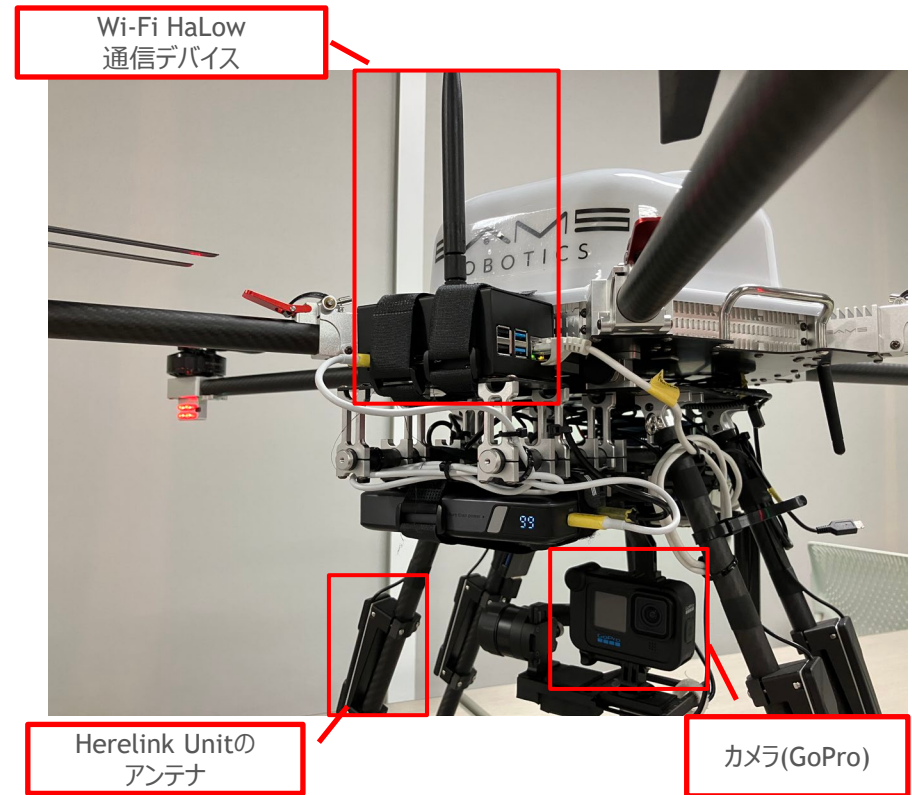
② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの人物検知通報 (4/9)

検証方法(詳細)

実験環境(HW関連2)



V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

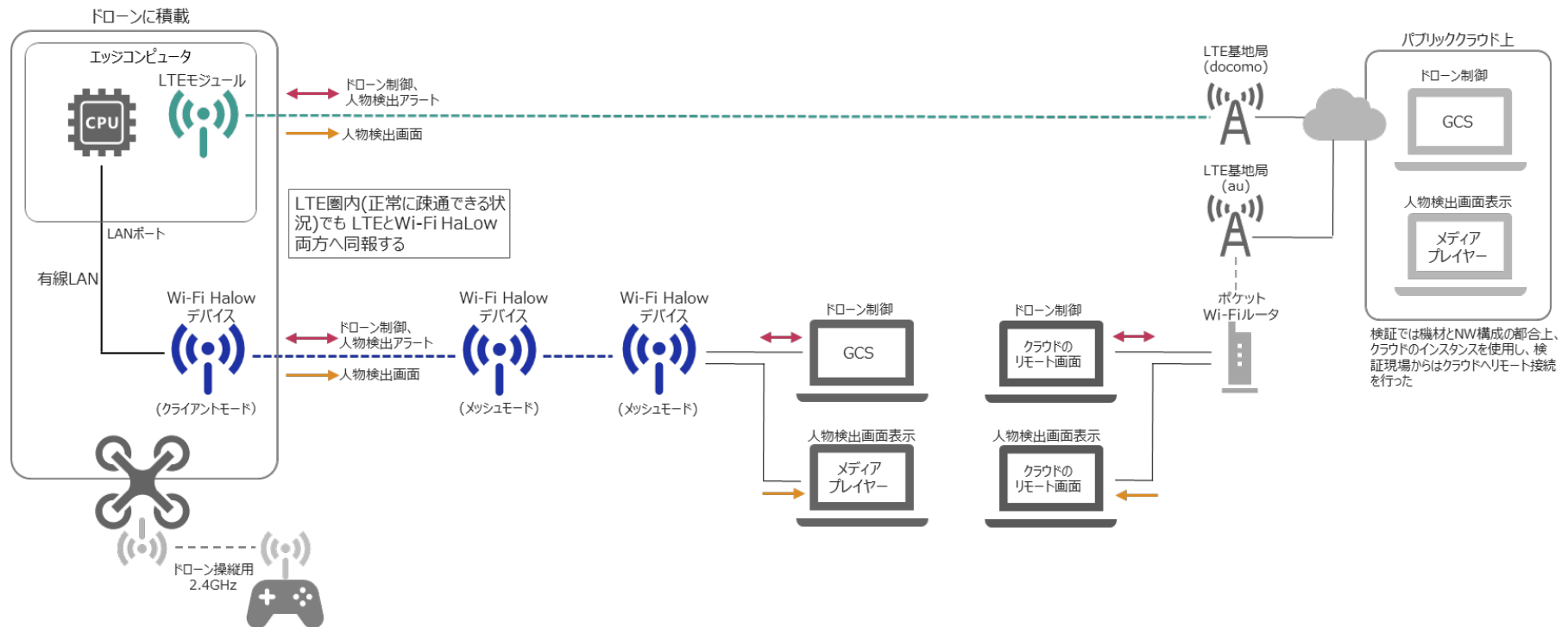
② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの人物検知通報 (5/9)

検証方法(詳細)

実験環境(通信関連)



② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

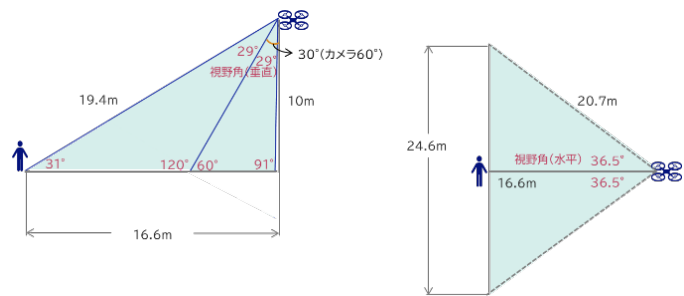
検証項目：Wi-Fi HaLowでの人物検知通報 (6/9)

検証方法(詳細)

実験環境(カメラ関連)

カメラ(GoPro)の設定

- デジタルレンズ：狭角
- HyperSmoothレベル
電子式画像安定化機能 (ブレ補正)
(EIS - Electornic Image Stabilization)撮影
⇒視野角が狭くなるので「オフ」
- カメラ角度：60°(真下方向を90°とした場合)



デジタル レンズ	HyperSmooth レベル	視野角 水平 (角度)	視野角 垂直 (角度)	視野角 対角 (角度)
広角	ブースト	92	70	113
広角	オン	113	87	138
広角	オフ	121	93	148
リニア	ブースト	75	60	88
リニア	オン	87	71	100
リニア	オフ	92	76	105
リニア+水 平維持	ブースト	75	60	88
リニア+水 平維持	オン	87	71	100
狭角	ブースト	67	53	80
狭角	オフ	73	58	85

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果（詳細）

b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの人物検知通報（7/9）

検証方法(詳細)

実験環境(人物検知関連)

人物検出エッジAI

1. カメラからinputした映像の解像度を640pixel×640pixelにリサイズ
2. リサイズした映像をフレームごとに解析
3. フレームごとに人物を検知したかしていないかの結果をファイルに書き込む

高可用性ドローン基盤

1. 人物検出エッジAIの人物検知結果として出力されたファイルをリアルタイムに読み取る
2. 読み取った通知の中で人物を検知した旨があった場合、LTEもしくはWi-Fi HaLow経由で接続しているGCSに「Person detected」と表示

※人物検出エッジAI及び高可用性ドローン基盤はAIアクセラレーションモジュールを用いたエッジコンピューティングであるため、通信環境に依存せずに解析が可能

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの人物検知通報 (8/9)

検証方法(詳細)

実験結果

以下の流れで実施

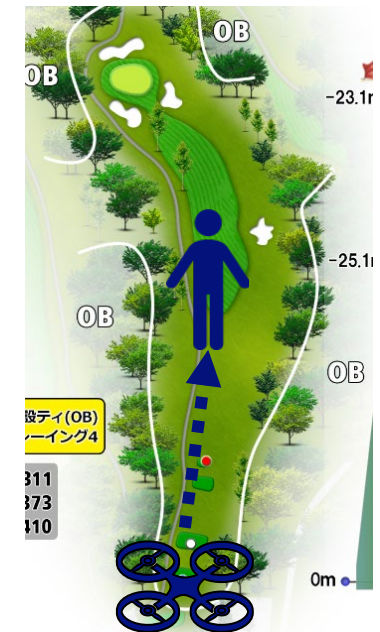
1. 仮定の配送ルートを設定し、自動飛行のミッションを作成
2. 配送ルート上に人を配置し、事前に作成した飛行ミッションを開始
このとき、ドローンの飛行モードを「Auto」モード(自動航行を実行するモード)に変更することによって飛行ミッションを開始する)
3. ドローンが備えたカメラで人を認識したとき、人物検知システムが正常に作動することを確認
4. 人物検知システムが人物を検知したら、人物検知通報がWi-Fi HaLow通信で地上側のPCに正しく表示されることを確認
(このとき、人物検知システムによりドローンの飛行モードが「Loiter」モード(その場でホバリングするモード)に変更される)



人物を検知していない状態



人物を検知した時、「Person detected」と表示されたことを確認



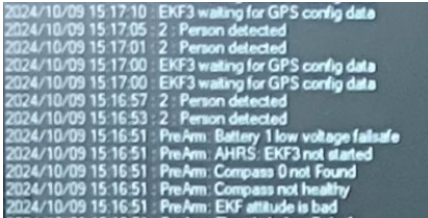
仮定の配送ルートを作成

2 検証項目ごとの結果（詳細）

b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの人物検知通報（9/9）

課題と考察	
課題	考察および対応策
人物検知精度	【考察】 今回の実験では人物を検知する際の閾値調整を実験場所で行ったため、高い精度で人物を検知することができた。しかし、実験環境が変わると背景や明るさ等外部要因の変化から以下のような事象が発生することが考えられる。 - 人以外の物体(テントなど)を人として検知 - 人を検知しないまま人の上空を通過してしまう 【対応策】 人物検出エッジAIで構築した学習モデルは上空から人を見下ろすという形の検知方法が想定されたものではないため、上空から人を見下ろした場合に検知する精度が高くなるような学習モデルを構築することで、外部要因の変化にある程度対応することができると見込まれる。
ドローンそのものの警告が表示されると、人物検知通報が確認できなくなる	【考察】 GCSにて「Person detected」と表示させていた画面に対して、より重要なドローンの警告(GPS情報が取得できないエラーや、バッテリーやモーターに過負荷がかかっているエラー等)が出た際に、そちらが「Person detected」より優先表示され人物検知通報が確認できなくなることがあった。 ドローン側にも墜落リスクがあるためドローンそのものの警告が表示されることも重要であるため、実装に至ってはドローンの警告と人物検知通報はいずれも同時に確認できるように表示する必要がある。 【対応策】 今回使用したGCSアプリケーションである「MissionPlanner」の以下の機能を用いることで対策することが可能。 - 今までに表示されたメッセージの履歴を見る画面を表示する機能(右図参照) - 表示されたメッセージを音声で読み上げる機能 また、ドローンそのものの警告と人物検知通報を別の形で表示できるような別のGCSアプリケーションを選定、もしくは開発するという対応策が考えられる。



V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示 (1/5)

検証ポイント		検証方法	実装化の要件
項目	目標		
Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示	LTE不感エリアでもWi-Fi HaLow経由で地上から着陸指示ができること	LTEが通じない状況下であることを確認した上で、地上に着陸できる安全地帯を設け、地上からの指示で着陸させる	経路上全ての場所において緊急着陸が可能であること

検証方法(詳細)

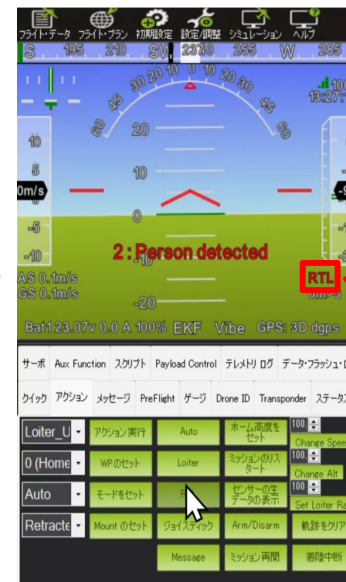
Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示の確認

- ホバリング状態にあるドローンに対して、Wi-Fi HaLow経由で接続しているGCSから離陸地点への着陸指示(RTLモードへの変更)を行い、RTLモードに切り替わることを確認
- ドローンが離陸地点に正しく着陸することを確認
※RTLモード：事前に設定しておいた高度まで上昇した後、離陸した地点まで移動し着陸を行う

Wi-Fi HaLow経由で接続したGCSから「RTLモード」に変更



「RTLモード」に切り替わり、ドローンが離陸地点に正しく着陸することを確認



V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

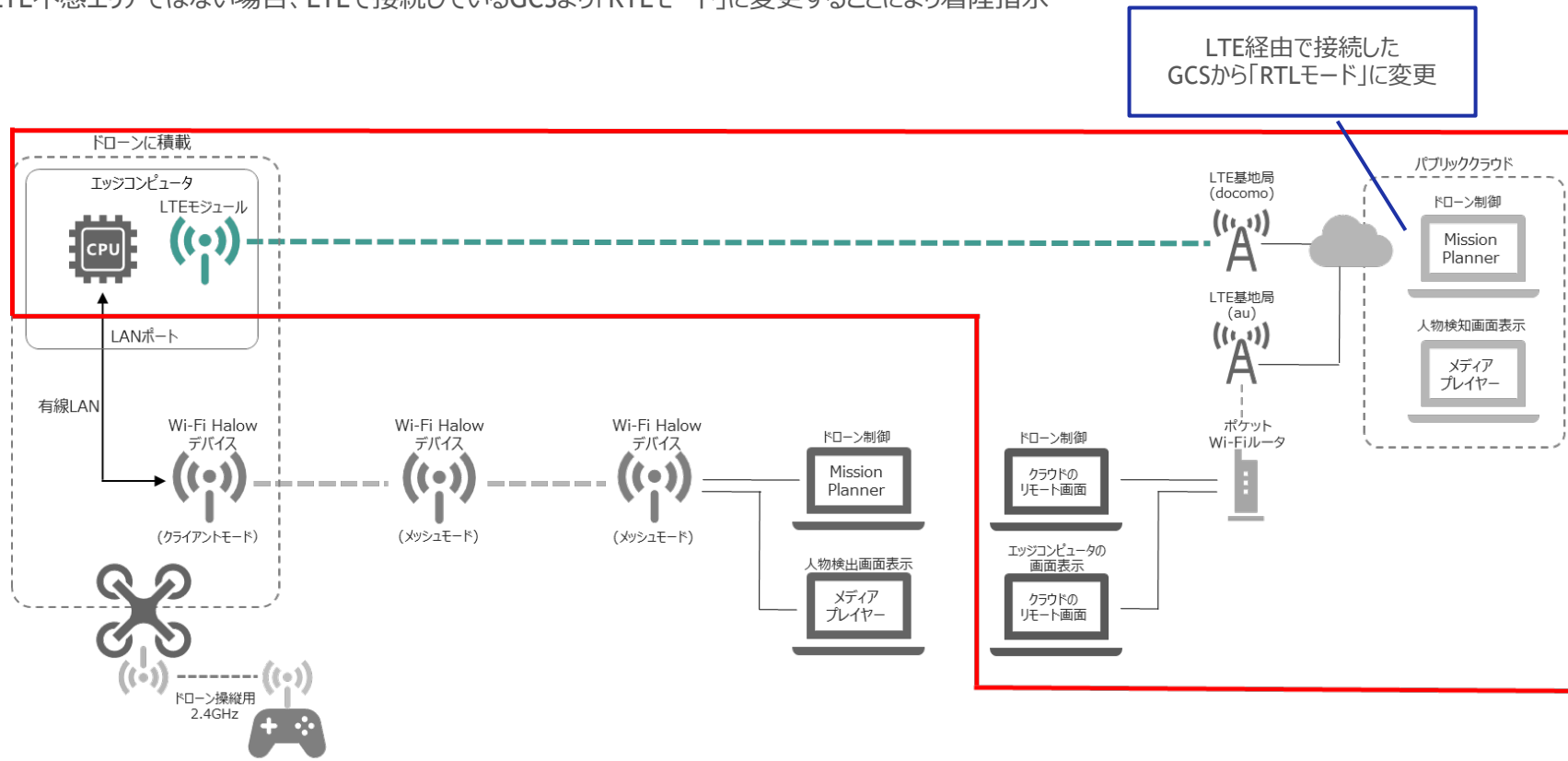
b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示 (2/5)

検証方法(詳細)

通信環境(LTE)

- LTE不感エリアではない場合、LTEで接続しているGCSより「RTLモード」に変更することにより着陸指示



V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

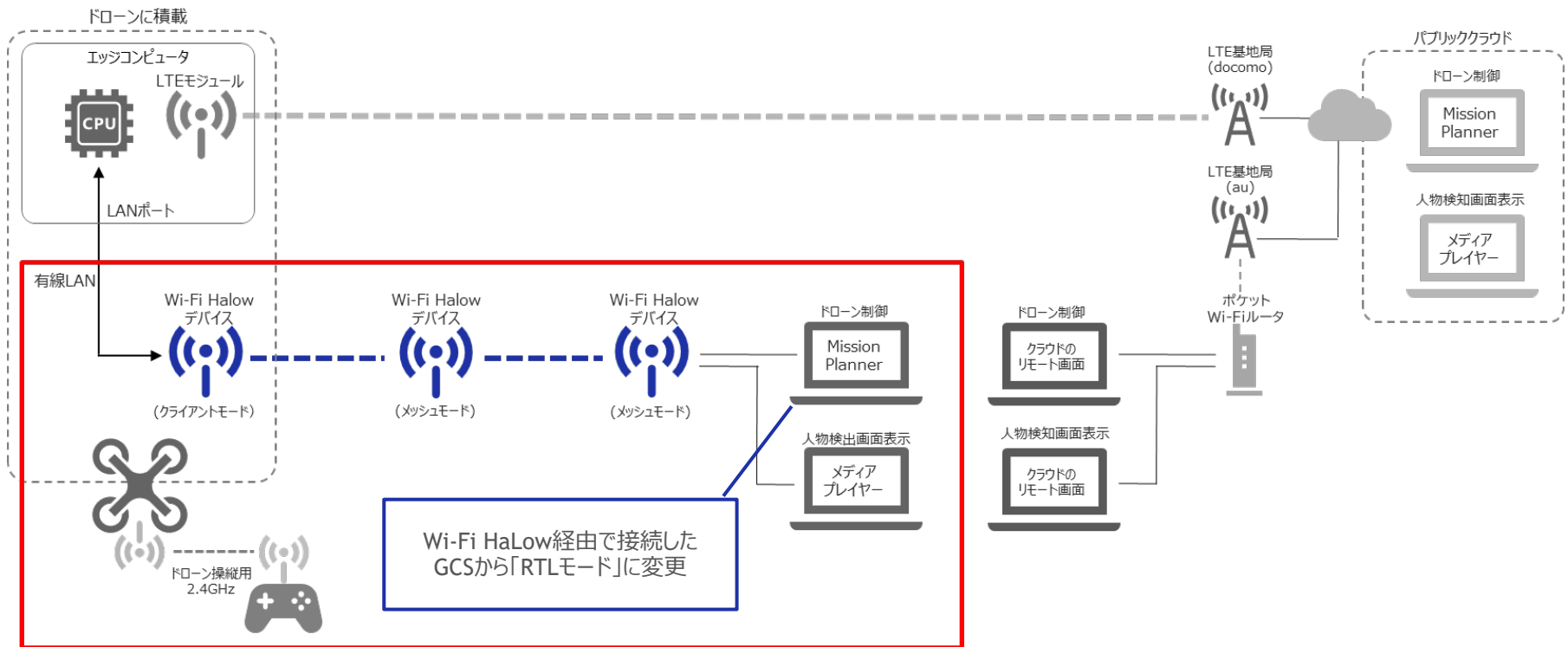
b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示 (3/5)

検証方法(詳細)

通信環境(Wi-Fi HaLow)

- LTE不感エリアの場合、Wi-Fi HaLowで接続しているGCSより「RTL」モードに変更することにより着陸指示



② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示 (4/5)

詳細結果

検証結果

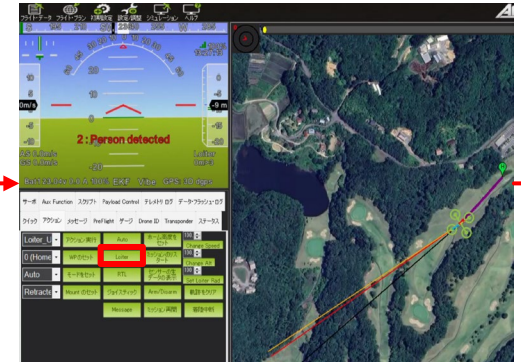
1. 「Loiterモード」のドローン(ホバリング飛行状態にあるドローン)に対して、Wi-Fi HaLow経由で接続したGCSからRTLモードへの変更を行い、GCSの表示で正しくRTLモードに切り替わることを確認
2. 事前に設定しておいた高度20mまで上昇し、着陸まで正しく行えることを確認



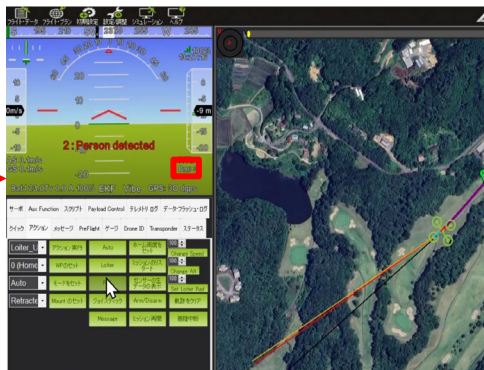
ドローンのカメラで人物を検知



ホバリング飛行状態に移行



Wi-Fi HaLowで接続したGCSからRTLモードに変更



RTLモードに移行されたことを確認



着陸地点に移動



着陸完了

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果（詳細）

b. 技術検証

検証項目：Wi-Fi HaLowでの緊急着陸指示（5/5）

課題と考察

課題	考察および対応策
今回の実証実験では、LTE不感エリアにおいてもWi-Fi HaLow経由で緊急着陸指示が正しく行えることを確認した。 しかし、実運用を見据えた場合は、緊急時の状況によっては緊急着陸のみではなく物流を継続する等の柔軟な対応を行う必要がある。	【考察】 緊急状況においては、緊急状況の認識、その状況ごとにどう対応するか判断、実際の対応というフローがあるが、どこまでを人によるオペレーションで行うか、もしくはドローンの自律制御で対応するかについて運用設計の段階で策定しておく必要がある。また、ドローンの自律制御においては運用設計に沿った技術強化方針の策定が必要である。 【対応策】 下記例のように、緊急時の状況に応じた対策が考えられる。 ドローンの航路上に人物や車などを検出した場合： 手動航行に切り替える、もしくは自動飛行のルートを安全なルートに変更する 自動飛行予定のルート上に何らかの避けられない問題が発生した場合や、ドローンそのものに不具合が発生した場合： 緊急着陸指示を行う

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

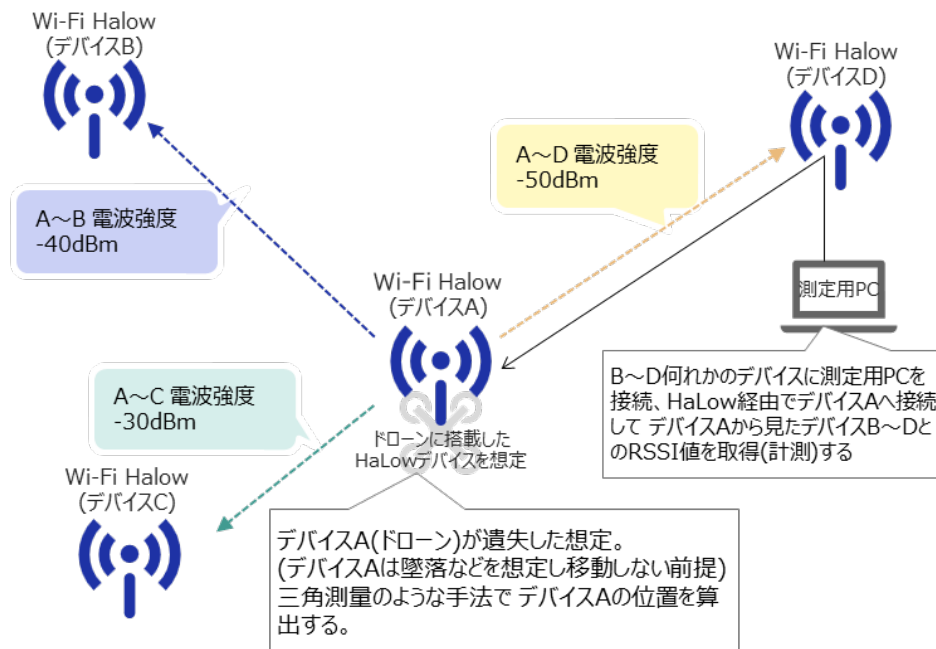
検証項目：不時着後の位置把握 (1/8)

検証ポイント		検証方法	実装化の要件
項目	目標	• 搜索者が知らない場所にドローンを不時着させた上でアクセスポイントでの通信状況等を基に搜索者がその場所を推測する	• 墜落地点を直径1Km以内に絞り込むことができる
不時着後の位置把握	LTE不感エリアでもWi-Fi HaLowを活用し、位置推定できること		

検証方法(詳細)

不時着後の位置把握(位置推定方法概要)

- 3台のWi-Fi HaLowデバイスから、遺失ドローンに見立てたWi-Fi HaLowデバイスまでの電波強度(RSSI)と3台のWi-Fi HaLowデバイスの設置位置の緯度経度からドローンの位置を三角測量で推定する。



② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：不時着後の位置把握 (2/8)

検証方法(詳細)

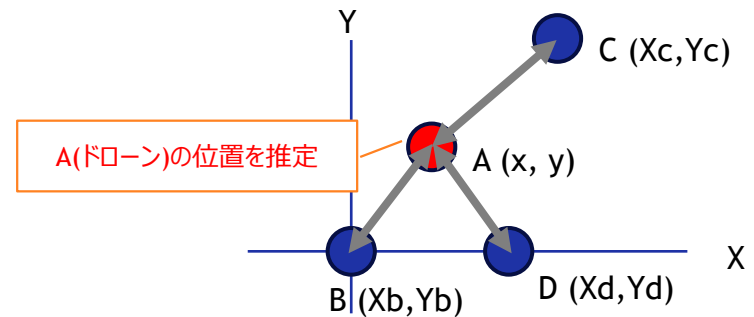
不時着後の位置把握(実験方法)

実験手順

1. Wi-Fi HaLow機器を4台用意
2. 1台(デバイスA)をドローンに見立て、残りの3台(デバイスB～D)をデバイスAからの見通しの良い場所に配置
3. 各デバイスの緯度経度を計測
4. デバイスB～DからデバイスAまでの電波強度(RSSI)を計測
5. フリスの伝達方式及び三角測量を用いた不時着位置推定プログラムを実行
入力①：デバイスB～Dの設置位置(緯度経度)
入力②：デバイスB～DからデバイスAまでの電波強度(RSSI)
出力：デバイスAの推定位置
6. 不時着位置推定プログラムの出力であるデバイスAの推定位置と、実際のデバイスAの設置位置を比較し評価

不時着位置推定プログラム

1. デバイスB～Dの座標を二次元平面に変換
2. フリスの伝達公式に基づき、RSSIを距離に変換
3. 三角測量を用いてAの位置を推定



② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：不時着後の位置把握 (3/8)

検証方法(詳細)

不時着後の位置把握(実験方法)

実験場所

- ・ カントリーパーク仙養

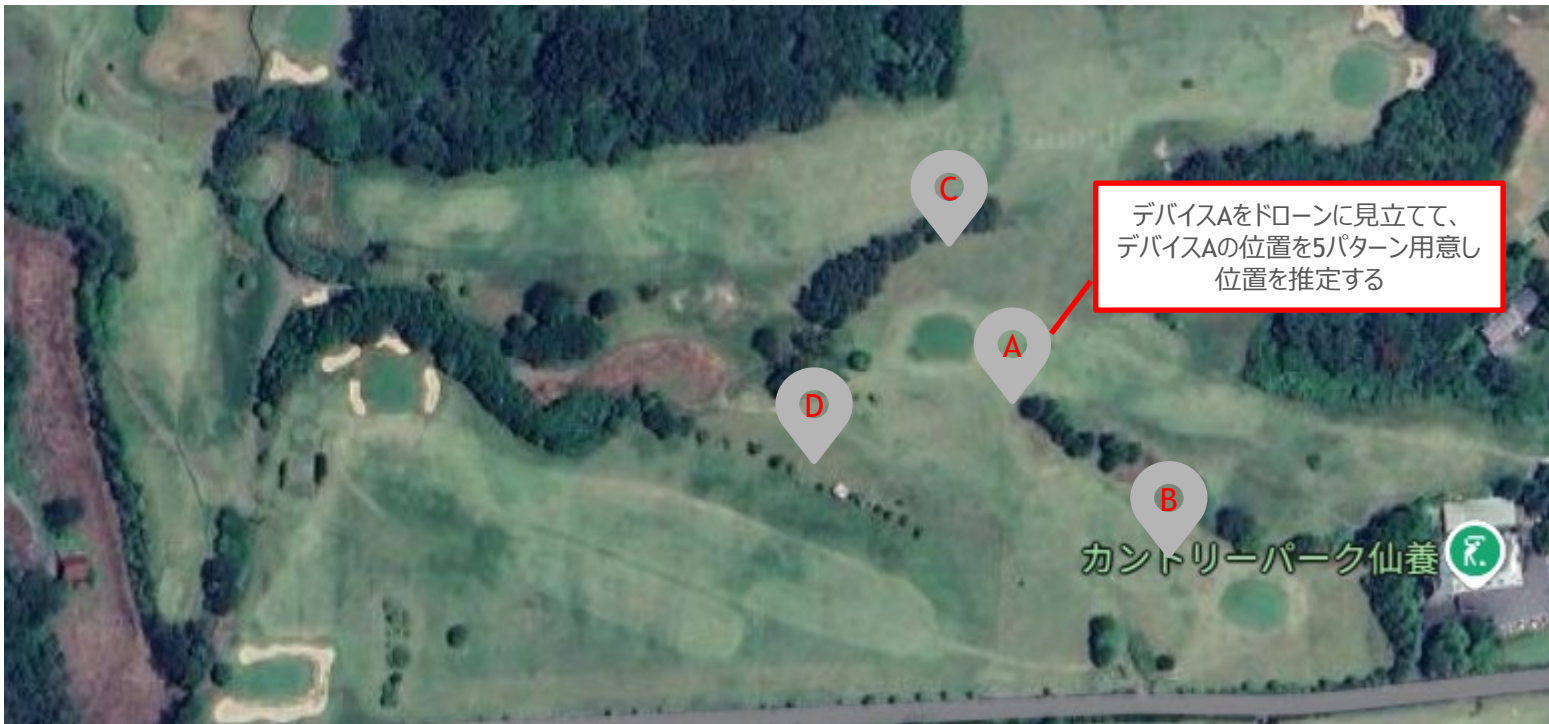
使用機材

- ・ Wi-Fi HaLowデバイス(A～Dの4台)
- ・ DJI Mavic3 Thermal(緯度経度計測用)

実施方法

- ・ Wi-Fi HaLowデバイスB～Dを2パターンの配置に分けて、デバイスAの位置推定を5回ずつ(計10回)実施
- ・ RSSIは5回ずつ収集し、平均値を採用

パターン①



② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：不時着後の位置把握 (4/8)

検証方法(詳細)

不時着後の位置把握(実験方法)

パターン②



V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果（詳細）

b. 技術検証

検証項目：不時着後の位置把握（5/8）

詳細結果

検証結果

不時着位置推定プログラムが推定した緯度経度と実際の緯度経度の距離を算出したところ、以下のような結果となった。

	No.	推定座標		実際の座標		推定座標と実際の座標の差(m)
		緯度	経度	緯度	経度	
地上局設置 パターン①	1	34.74317332407313	133.31234118398953	34.741958061	133.309641748	281
	2	34.74321344369085	133.31167075140988	34.74180083	133.309346604	264
	3	34.742942516752564	133.30950772540447	34.742467277	133.309211901	59
	4	34.74370921188367	133.3069301598934	34.743121980	133.309678232	259
	5	34.74342075637545	133.3071166303887	34.742842691	133.308540805	145
地上局設置 パターン②	6	34.738969313569214	133.30926132846787	34.742465591	133.309667276	391
	7	34.741339116287946	133.31153239570926	34.742881989	133.309087093	282
	8	34.74474713304753	133.32071165694546	34.743107423	133.308801141	1103
	9	34.735594313278646	133.31004925119572	34.742514494	133.308714695	779
	10	34.72894009327379	133.3116217640195	34.742158186	133.309402199	1484

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

検証項目：不時着後の位置把握 (6/8)

詳細結果

検証結果

不時着位置推定プログラムが推定した緯度経度と実際の緯度経度が最も近いパターンでは、59mの差に留まった。(No.3)



② 検証項目ごとの結果 (詳細)

b. 技術検証

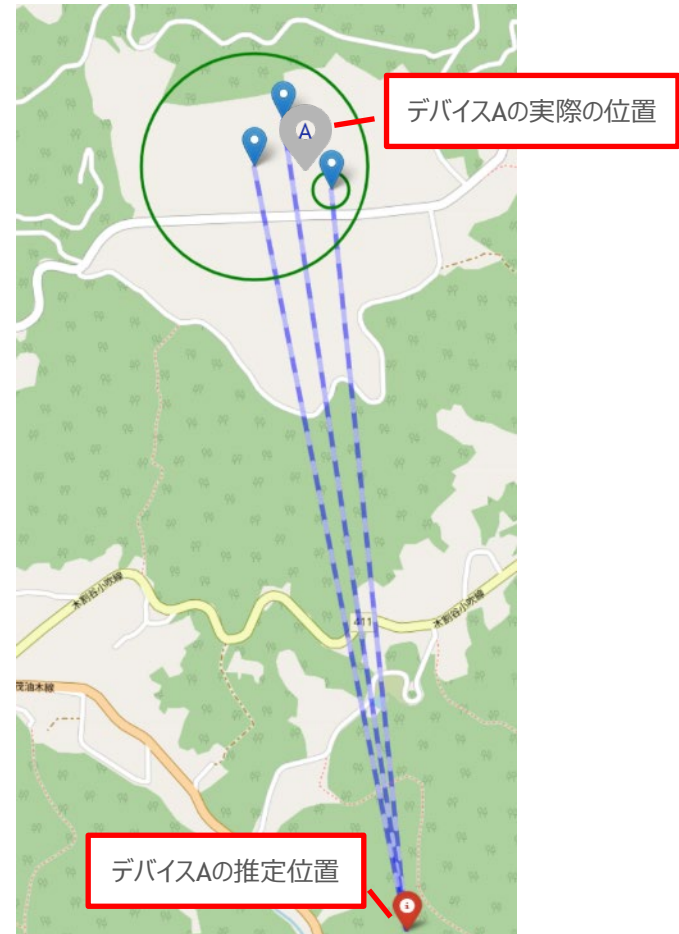
検証項目：不時着後の位置把握 (7/8)

詳細結果

検証結果

不時着位置推定プログラムが推定した緯度経度と実際の緯度経度が最も遠いパターンでは、約1500mもの差が生じた。(No.10)

Wi-Fi HaLowデバイス間に樹木や高低差等の障害物があるとき、実際の位置と推定位置が大幅にずれてしまう場合があることがわかった。



V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果（詳細）

b. 技術検証

検証項目：不時着後の位置把握（8/8）

課題と考察	
課題	考察および対応策
ドローン位置推定精度	【考察】 デバイス間の電波強度をもとにした位置推定を実施した結果から、理論通りの推定精度が出る場合が少ないということがわかった。 以下の要因で位置推定の精度が低下していると考えられる。 • 一時的に通信品質が劣化したタイミングでRSSIデータを収集する等の要因で、入力データの信頼度にばらつきが生じている • Wi-Fi HaLowデバイス間に樹木などの障害物があることによって電波の影響を受けている Wi-Fi HaLowデバイス間が樹木などの障害物があった場合、電波の影響を受けやすいということから、山村地域に不時着したドローンの位置を推定することは難しいと考えられる。 【対応策】 樹木や高低差等がある地域での実装をする場合は、不時着した機体を探す方式については別の方式を検討する必要がある。

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

c. 運用検証

検証項目：飛行中ドローンのリアルタイムでの状況把握 (1/4)

検証ポイント		検証方法	実装化の要件
項目	目標	機体側から発信し続けるドローン機体の健全性に関する情報を地上側で受信できることを確認する	途切れることなく一定間隔で離陸から着陸まで機体健全性情報が地上で取得できること
飛行中ドローンのリアルタイムでの状況把握	LTE不感地域が存在しても100%状況把握できること		

検証方法(詳細)

飛行中ドローンのリアルタイムでの状況把握

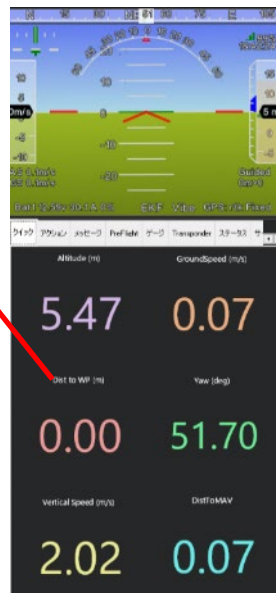
- LTEでの通信に加えてWi-Fi HaLow通信を用いてGCSに接続することで、機体のテレメトリ情報をリアルタイムで取得することによって飛行中ドローンの機体パラメータ状況を把握する
- LTEでの通信に加えてWi-Fi HaLow通信を用いてドローンからの映像を送信することによって、飛行中ドローンの航路の状況を把握する

Wi-Fi HaLow経由で接続したGCSから機体のテレメトリ情報を取得

取得できるテレメトリ情報の例

- Altitude(高さ)
- GroundSpeed(対地速度)
- Yaw(向き)

※テレメトリ情報の表示形式・方法はGCSのアプリケーションにより異なる



人物検知している様子の例

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

c. 運用検証

検証項目：飛行中ドローンのリアルタイムでの状況把握 (2/4)

検証方法(詳細)

実験環境(人物検知映像)

人物検知映像を地上側PCで表示する方法について

1. 人物検出エッジAIで解析した映像を、Gstreamerを用いてエッジコンピュータ上で配信
2. LTE経由及びWi-Fi HaLow経由で接続している地上側のPCから、エッジコンピュータ上で配信されている映像を受信
※当初の計画としてはWi-Fi HaLow通信では「3秒に一度静止画を送信する」という方式での状況把握を実施していたが、調査を進めていくにあたり効率的な映像送信方法の検討及び下記チューニングを行った結果、Wi-Fi HaLow通信の帯域でも映像送信をすることで状況把握を実施することとした。

Before(VNC):エッジコンピュータのGUI画面を送信

Ubuntu側GUI画面に
人物検知の結果を表示



ドローン側エッジコンピュータ
(VNC Server)

3秒に一度
画面ごと静止画として送信



地上側PC(VNC Viewer)

After(RTSP):人物検知結果映像を転送

人物検知結果の映像を配信



ドローン側エッジコンピュータ
(RTSP Server)

エッジコンピュータ側で配信され
ている映像を地上側PCで再生
(ネットワークストリーム再生)



地上側PC(VLC Media Player)

配信映像の品質について

Wi-Fi HaLow通信の帯域の幅が限られているため、配信映像のチューニングを行ったうえで配信した。

- ・ 解像度設定：640pixel×480pixel
- ・ ビットレート：400kbps

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果 (詳細)

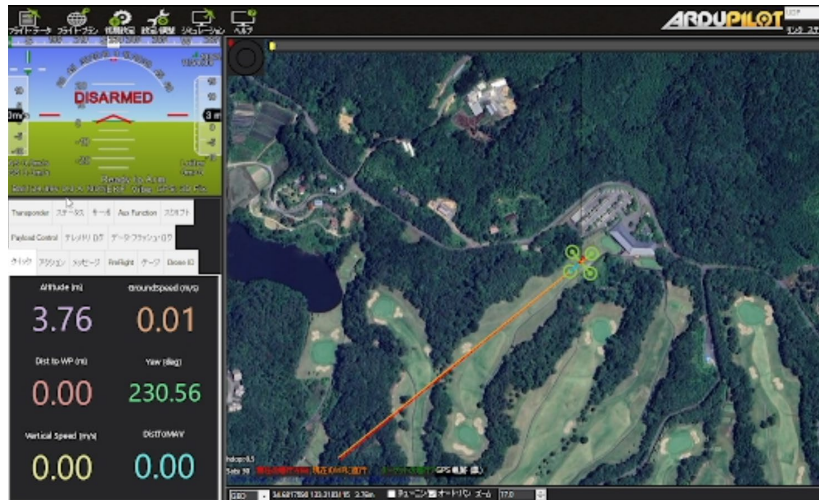
c. 運用検証

検証項目：飛行中ドローンのリアルタイムでの状況把握 (3/4)

詳細結果

検証結果

- LTE通信及びWi-Fi HaLow通信の2つの通信経由でGCSに接続し、いずれからも機体のテレメトリ情報をリアルタイムで取得できることを確認した
- LTE通信及びWi-Fi HaLow通信の2つの通信経由でドローンからの映像を受信し、地上側のPCで表示できることを確認した



実験当日の画面
速度などのテレメトリ情報を取得できることを確認



実験当日の画面
人を検知した場合、緑色の枠で通知できることを確認

② 検証項目ごとの結果（詳細）

c. 運用検証

検証項目：飛行中ドローンのリアルタイムでの状況把握（4/4）

課題と考察	
課題	考察および対応策
テレメトリ情報及び映像が遅延することがある	【考察】 ドローンの飛行中にWi-Fi HaLowの電波状況が変化し、一時的に通信品質が劣化した場合にテレメトリ情報及び映像が遅延すると考えられる。 【対応策】 • Wi-Fi HaLowデバイスの設置位置のチューニングを行う • 上空から地上への伝送に対応した指向性を持つアンテナを採用する • テレメトリ情報や映像の電波取得情報が把握できるような仕組みづくりが必要である。
プロポ(ドローン操縦者が持つコントローラー)側の画面にドローンからのカメラ映像を流すと、Wi-Fi HaLow経由で地上側に送信している映像の品質が劣化する	【考察】 CPU性能の影響で映像品質が劣化していると考えられる。 【対応策】 • HDMIのスプリッタを用いてドローンからのカメラ映像を2分岐し、片方をFPVとし、片方を人物検出するための映像とすることによって負荷を分散する • コンパニオンコンピュータの処理性能を上げる • コンパニオンコンピュータにGPUを付加することが可能か検討する • 動画の圧縮ロジックを、効率良いものがないか検討する

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

③ 実装・横展開に向けた準備状況

	アクション	結果	得られた示唆・考察
実装に向けて	実証ルートにおいてドローンを制御するため、提案するソリューションであるドローン制御通信の冗長化の技術検証	「V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備) ③検証項目ごとの結果b. 技術検証」参照	「V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備) ③検証項目ごとの結果b. 技術検証」参照
	ステークホルダーや地域住民へのヒアリングを通して利用料等の検討を行い、収益モデルの精緻化	「VI 実装・横展開の計画①実装の計画」参照	「VI 実装・横展開の計画①実装の計画」参照
	他自治体事例の担当者より、実装に向けた情報収集	伊那市のドローン配送事例を対象に、実装に向けた論点等を意見交換を実施することで合意。これを受け、今後の対応方針に適用	- (今後実施予定)
	実証視察会にて、Wi-Fi HaLow活用のメリット及びデメリットを説明	LTE不感エリアなど電波の逼迫や干渉の影響が考えにくい地域などの特定条件下では、Duty比10%制限を緩和するなどの措置を依頼	「V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備) ⑤実装・横展開に向けた課題および対応策」参照
	ドローンの飛行について飛行申請承認までの円滑に向けた準備・情報収集	飛行申請時に多数の指摘事項を受けるほか、審査担当者によって指摘内容や粒度も異なることから、承認までに想定以上に時間を要することを把握	「V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備) ⑤実装・横展開に向けた課題および対応策」参照
	サービス利用者及び現地雇用者が操作・運用しやすいUI/UXの設計予定	- (2027年度実施予定)	- (2027年度実施予定)
横展開に向けて	神石高原町と他分野におけるドローン及びWi-Fi HaLowの活用に関して協議	農業、観光等の分野で、特にWi-Fi HaLowを用いたLTE不感エリア解消に関連するサービスニーズがあることを確認	2024年の実証事業と並行し、経済性を向上させ地域で自律的に運営できる水準にまで引き上げるための取り組みとして検討の余地があると思料
	2025年度に他自治体に向けて発信する情報の整理やセミナー企画を実施予定	- (2025年度実施予定)	- (2025年度実施予定)
	2025年度に神石高原町における更なる実証を実施。その結果を受けて福山市、庄原市への適用可能性を分析し、両市と協議予定	- (2025年度実施予定)	- (2025年度実施予定)
	周辺自治体との物資輸送の配送に関する取組について、神石高原町にヒアリングを実施	自治体間の調整に課題があるため、具体的な検討に至っていない。また、周辺自治体は有人地帯（DID地区）に指定されており、同じ飛行条件で実装は難しいことを確認	「V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備) ⑤実装・横展開に向けた課題および対応策」参照

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

④ 実装・横展開に向けた課題および対応策

課題の凡例

クリティカルな課題(解決しないと実装・横展開できない)

クリティカルではないが、解決が望まれる課題(解決しなくても実装・横展開可能だが、解決した方が効果は高まる/コストが下がる 等)

	課題	対応策	実現可能性 ¹	対応する団体名	対応時期
実装に向けて	地域課題の解決や経済性の向上に向けたドローン等の活用の可能性についてコンソーシアム内で構想レベルの協議を実施した。詳細まで検討できていない分野/領域がある。(P48参照)	実装に向けた共通認識を持ち、引き続き神石高原町も含むコンソーシアム内で定期的なMTGを実施し、既存の取組との接点や組み合わせの余地を整理するとともにビジネスモデルをブラッシュアップし、実現可能性を検証する。(農林業、医療品配送等について継続協議中)	中	コンソーシアム全体	現在～2028年度
横展開に向けて	周辺自治体との物資配送の実現について取り組む方向性は話をしているが、自治体間調整に課題があり、具体的な検討には至っていない。(P81参照)	神石高原町を通じ該当する自治体へのヒアリング等のアプローチを行う。並行して、神石高原町と似た課題を抱える地域・自治体をデスクトップ調査により発掘する。	低	コンソーシアム全体	現在～2028年度
	横展開を行う際、周辺自治体は有人地帯(DID地区)に指定されており、神石高原町内で実装する飛行条件と異なるため、同モデルでの実装が難しい。(P81参照)	レベル4飛行の実現に向けて、飛行ライセンス・機体認証の承認に関する緩和措置を検討していただく。	—	中央省庁	—
実装/横展開共通項目	空路の拡大を考えるとドローンの航続距離・飛行時間の観点から、頻繁なバッテリー交換等のメンテナンスが必要となり、運用工数が多くなる。(P50参照)	ドローンの動力源などに関する機体改造により、長距離・長時間飛行可能なドローンを開発する。	—	ドローン製造ベンダー	—
	Wi-Fi HaLow(920MHz帯)は、電波法令上1時間あたりの送信時間の総和が360秒までとされている(Duty比10%制限)。ドローンからの映像送信においてその影響を回避するためにはフレームレートを下げる等の対応が必要となる。ただし、より安全性の高い運用監視の実現には、より精度の高い映像が確認出来ることが望ましい。(P54,P81参照)	LTE不感エリアにおけるWi-Fi HaLow機器の設置のように、電波の逼迫や干渉の影響が考えにくい地域などの特定条件下では、Duty比10%制限を緩和するなどの措置を検討していただく。 現在総務省情報通信審議会で850MHz帯の使用やDuty制限のない運用が検討されており、実現に向けて推進いただく。	—	中央省庁	—

1. 高: 実現可能性80%以上: ほぼ確実に実現できる状況であり、大きな障害が発生しない限り、現在想定している対応策で問題なく達成可能。
 中: 実現可能性50%程度: 想定外の課題が発生する可能性があり、対応策の有効性も未知数な部分があるため、成功と失敗の確率が拮抗している。
 低: 実現可能性20%程度: 対応策の具体化が進んでおらず、課題も多いため、現時点では実現に向けた道筋が明確でない状態

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

④ 実装・横展開に向けた課題および対応策

課題の凡例

クリティカルな課題(解決しないと実装・横展開できない)

クリティカルではないが、解決が望まれる課題(解決しなくても実装・横展開可能だが、解決した方が効果は高まる/コストが下がる 等)

課題	対応策	実現可能性 ¹	対応する団体名	対応時期
実装/ 横展開 共通項目	飛行申請に際して、多数の指摘事項を受けるほか、審査担当者によって指摘内容や粒度も異なることから、承認までに想定以上に時間を要する場合がある。また、社会実装時に運用者（現地雇用を想定）が申請対応を実施する場合、手続きが難解であり実施が困難となる可能性がある。（P81参照）	—	コンソーシアム全体 中央省庁	—
	本実証は技術実証を目的としているため、幅広いユーザーの利用を想定したUI/UXの設計が必要である。特に高齢者はそもそもデジタル・インターネットが使えないこともある。また、運用面において住民が簡単に扱える必要がある。（P81参照）	—	コンソーシアム全体	2026年度～ 2028年度
	本実証は技術実証を目的としているため、運用・保守側のシステムUI/UXは、運用者（現地雇用を想定）が容易に扱うことが難しいものとなっている。（P81参照）	—	コンソーシアム全体	2026年度～ 2028年度
	本検証で使用した飛行ルートは技術検証用のルートであるため、今回の飛行ルートのみを活用した事業ではビジネスモデルの確立が難しい。（P48参照）	中	コンソーシアム全体	2025年度～ 2028年度

1. 高: 実現可能性80%以上：ほぼ確実に実現できる状況であり、大きな障害が発生しない限り、現在想定している対応策で問題なく達成可能。
 中: 実現可能性50%程度：想定外の課題が発生する可能性があり、対応策の有効性も未知数な部分があるため、成功と失敗の確率が拮抗している。
 低: 実現可能性20%程度：対応策の具体化が進んでおらず、課題も多いため、現時点では実現に向けた道筋が明確でない状態

4 実装・横展開に向けた課題および対応策

課題の凡例
クリティカルな課題(解決しないと実装・横展開できない)
クリティカルではないが、解決が望まれる課題(解決しなくても実装・横展開可能だが、解決した方が効果は高まる/コストが下がる 等)

課題		対応策	実現可能性 ¹	対応する団体名	対応時期
実装/ 横展開 共通項目	Wi-Fi HaLowは電波の特性上、高度、森林などの遮蔽物、Wi-Fi HaLow機器設置箇所等の条件次第では予想外の動きが発生する可能性があり、一定の通信状況を確保できない。(P50参照)	アクセスポイント設置位置の工夫 本実証ではカメラ用3脚を利用しアクセスポイントを設置した。高さはせいぜい2m程度のものであった。ドローン自体は上空を飛行するものであるため、電柱、電灯といったより高所に設置した方が遮蔽物の影響を受けにくいと思路。 アクセスポイントのドローンへの搭載 アクセスポイントは電源があれば稼働可能なため、アクセスポイント自体をドローンに搭載し、複数ドローン間で通信をホッピングすることで上空にWi-Fi HaLow網を構築することが可能。常設のWi-Fi HaLow網ではコスト面で非現実的だが、非常時輸送時などにはドローンで上空に臨時Wi-Fi HaLow網を構築することが可能と考える。	中	NEC/NES	2025年度～ 2026年度
	ドローンからWi-Fi HaLowを経由して人物検知情報が取得出来ることは本実証で確認済みであるが、実装・横展開を見据えた多様な状況下における人物検知の精度に関しては未検証である。(P49参照)	服装や背景の変化、ドローンの飛行高度等により人物を誤認知する可能性が考えられるため、人物検知システムの精度向上を目的としたプログラムの設計を行う。	—	NES	2025年度～ 2028年度
	Wi-Fi HaLowデバイス間に樹木などの障害物があった場合、電波の影響を受けやすいということから、デバイス間の電波強度を利用した方式（三角測量を用いた方式）のみでは中山間地に不時着したドローン位置を特定するには不十分である。(P49参照)	三角測量を用いた方式のみでは不時着した機体位置を特定するには不十分で、更に追加の方式を検討する。	—	NES	2025年度～ 2028年度

1. 高: 実現可能性80%以上：ほぼ確実に実現できる状況であり、大きな障害が発生しない限り、現在想定している対応策で問題なく達成可能。
中: 実現可能性50%程度：想定外の課題が発生する可能性があり、対応策の有効性も未知数な部分があるため、成功と失敗の確率が拮抗している。
低: 実現可能性20%程度：対応策の具体化が進んでおらず、課題も多いため、現時点では実現に向けた道筋が明確でない状態

5 (参考) 実証視察会

a. 概要

開催場所: 神石高原カントリークラブ

開催日時: 12/24 (火) 13:00～15:00

デモ項目	内容	備考 (シナリオ概要)
LTE不感エリアを含む 飛行ルートにおけるドローンの飛行実証	• LTE不感エリアを含む飛行ルートでドローンを飛行させる。 • LTEとWi-Fi HaLowの受信による、飛行ルート全体で通信確保が出来ていることを、ドローンから配信される映像を通じて確認する。	1. カントリークラブから道の駅特産品の配達依頼 2. 道の駅で依頼品をドローンへ積み込み、離陸 3. 途中カントリークラブのLTE不感エリア13番ホール上空を飛行 4. ドローン飛行後、「道の駅での離陸映像」と「LTEとHaLowの両方を受信し、LTE不感エリアでも通信確保が出来ている映像」を確認 5. 13番ホール通過後、カントリークラブ駐車場に到着し、Wi-Fi HaLow地上設備と通信を行いWi-Fi HaLow経由のテレメトリ、FPV映像が見れることを確認 6. 着陸後、道の駅特産品を受け取る
Wi-Fi HaLowを使用した 人物検知通報にかかる実証	• 飛行ルートの延長線に人物を設定し、ドローンを自律飛行させ、人物検知が可能かを確認する。 • テレメトリと人物検知通報をLTEおよびWi-Fi HaLow経由のPCで確認する。	1. 飛行ルートを設定し、ドローンの自律飛行を実施。なお、飛行ルートの延長線上に人物を配置 2. ドローンは人物検知により、自律的にホバリング 3. テレメトリと人物検知通報を、LTEおよびWi-Fi HaLow経由のPCで確認 4. Wi-Fi HaLow経由で接続した地上局からドローンに対して、安全地帯への着陸を指示 ※本実証では飛行開始エリアを安全地帯とした
Wi-Fi HaLowを使用した 緊急着陸指示にかかる実証	• 地上からWi-Fi HaLowを通して安全地帯への着陸を指示し、着陸可能かを確認する。	

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

5 (参考) 実証視察会

b. 質問事項と対応方針

LTE不感エリアを含む飛行ルートにおけるドローンの飛行実証に関する質疑応答と対応方針

質問事項	回答内容	アクション	
		内容	期限
視察会における飛行ルートは事前に設定しているものか。(中国総合通信局)	離陸前に座標や高度等を設定しており、設定したルートをドローンが飛行している。(NEC)	—	—
Wi-Fi HaLowの通信モジュールの設置間隔をご教示いただきたい。(総務省/現地)	LTE不感エリアにWi-Fi HaLowのモジュールを3台設置している。モジュール間の距離は200～300mとしており、電波距離がかぶるように設置している。(NEC)	—	—
Wi-Fi HaLowで実施することの難しさやメリットがあればご教示いただきたい。(総務省/オンライン)	Wi-Fi HaLowは標準規格であるIEEEに準拠しているため、TCP/IPに沿った実装が出来ることが大きなメリットである。一方、Wi-Fi HaLowは理論値でも数Mbpsまでしか通信できないことや、電波法令上1時間あたり送信時間の総和が360秒までとされていることなどが課題である。そのため本実証では、ドローンが撮影した映像をそのまま送ることは困難であったため、画像送信に切り替えるなどデータ量を小さくする対応を行った。現在、総務省において新たな周波数帯(850MHz帯)の利用に関する議論が行われている認識である。実際に利用可能となれば、映像伝送などより大きなデータ量を用いた通信が可能になることから、総務省におかれては、引き続き前向きにご検討いただきたい。(NEC)	—	—

V 実証結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

5 (参考) 実証視察会

b. 質問事項と対応方針

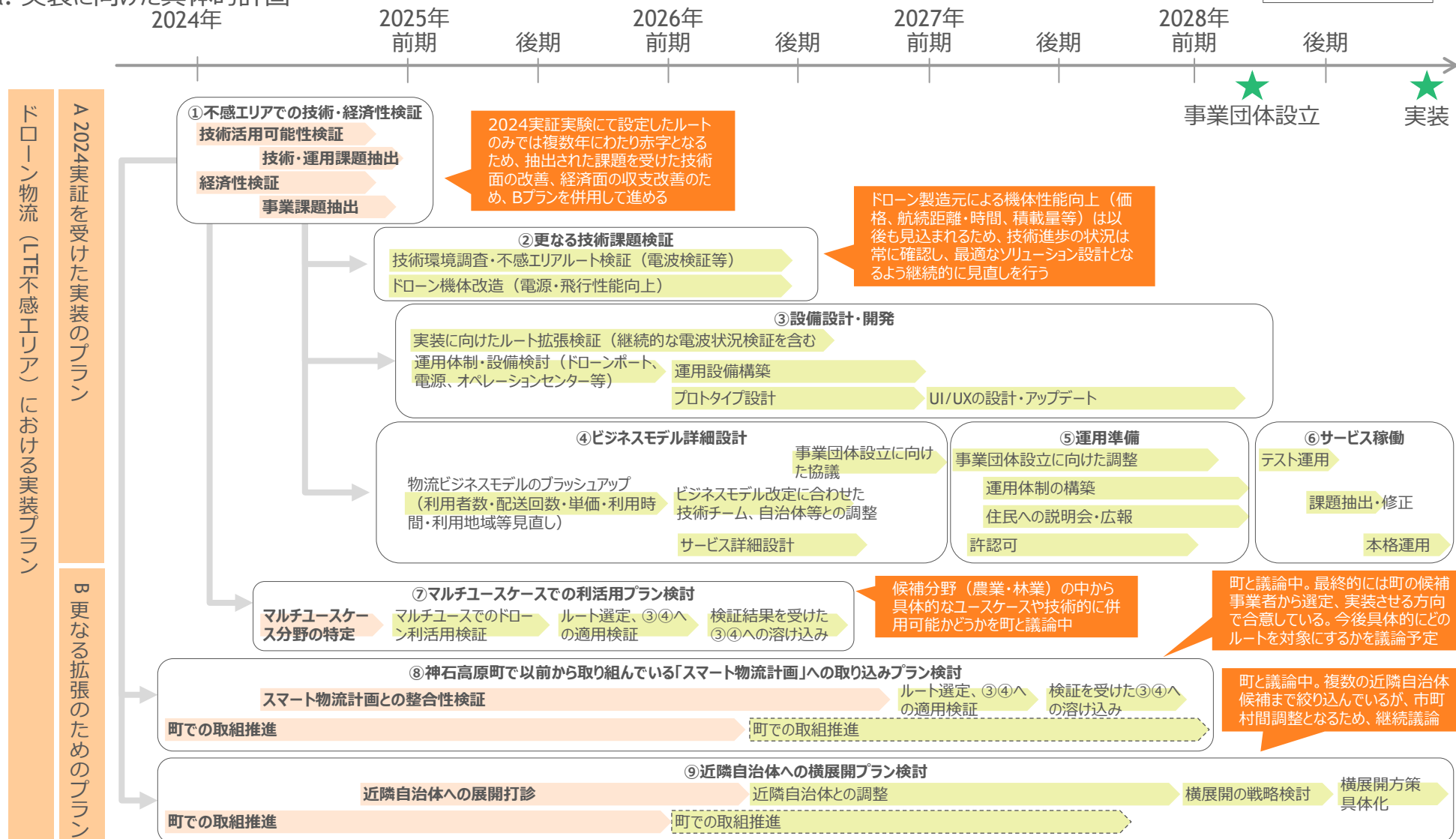
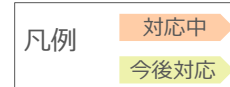
Wi-Fi HaLowを使用した人物検知通報・緊急着陸指示にかかる実証に関する質疑応答と対応方針

質問事項	回答内容	アクション	
		内容	期限
人物検知を行う距離などについて設定は可能か。(総務省/現地)	可能である。ドローンの人物検知可能な範囲は約30～40mであり、例えば10mまで近付かないと検知しないといった設定は可能である。(NES)	—	—
ドローンが人物を検知した際に迂回するような設定は可能か。(総務省/現地)	技術的には可能である。ただし、迂回先に高木などの障害物がある場所では困難であるため、飛行ルートに依る部分がある。加えて、到着地点で荷物を受け取るために待機している人物については、検知しても迂回する必要はない。しかし、その自動判断は難しいことから、人物検知時に一時ホバリングを行い人物検知の通報を監視者に発出のうえ、人の判断によりドローンの次の行動を指示する形としている。(NES)	—	—
実際にゴルフ場でプレイしている人の上を飛ぶことも想定しているのか。(総務省/現地)	今回の実証では、飛行ルート上にLTE不感エリアが含まれることが必要であったが、実運用における飛行ルートについては再考が必要である。もしゴルフ場を通過する場合には、プレーへの影響等についても当然考慮する。(NES)	実装に向けた具体的なサービス内容の検討	2025年～2028年
本視察会ではドローンの監視・飛行指示用PCをカントリークラブ内に設置していたが、どのようにWi-Fi HaLow機器と接続しているのか。また、実装時の監視体制はどのように想定されているか。(総務省/オンライン)	Wi-Fi HaLow機器とPCはEthernetで接続している。実装時には、屋内に設置したPCとWi-Fi HaLowと接続して、ドローンを監視する予定である。LTEとWi-Fi HaLowの両方を活用するため、必ずしもLTE不感エリアで監視を行う想定ではない。(NES)	—	—
Wi-Fi HaLowのルーターとPCをEthernetで接続しなければならないというのは、実装に向けた運用上の課題になりえないか。(総務省/オンライン)	本実証では行っていないが、Wi-Fi HaLowのルーターとPCは無線で接続することも可能である。(NES)	Wi-Fi HaLowのルーターとPCを無線で接続してドローンを監視する体制の構築	2025年～2027年

VI 実装・横展開の計画

① 実装の計画

a. 実装に向けた具体的計画



2024年の実証事業と並行し、経済性を向上させ地域で自律的に運営できる水準にまで引き上げるための取り組みを進行してしております

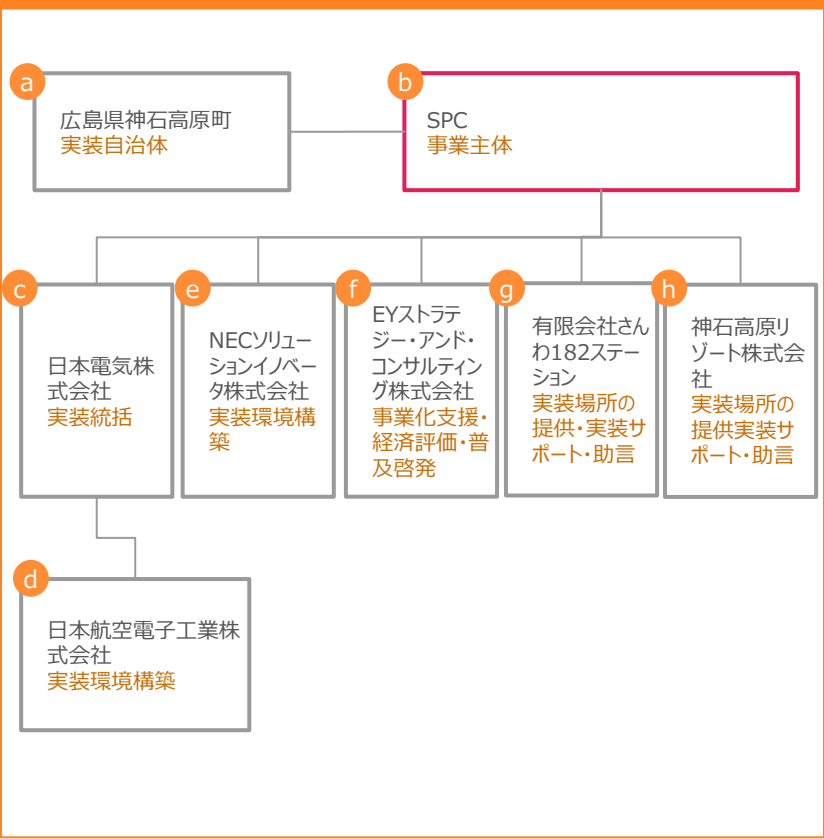
VI 実装・横展開の計画

1 実装の計画

b. 実装の体制

 :実装の取組全体の責任団体

実施体制図



団体名	役割	リソース
a 広島県神石高原町	実装自治体	3名
b SPC*1	事業主体	3名
c 日本電気株式会社	実装統括	2名
d 日本航空電子工業株式会社	実装環境構築	2名
e NECソリューションイノベータ株式会社	実装環境構築	5名
f EYストラテジー・アンド・コンサルティング株式会社	事業化支援・経済評価・普及啓発	1名
g 有限会社さんわ182ステーション	実装場所の提供、実装サポート、助言	1名
h 神石高原リゾート株式会社	実装場所の提供、実装サポート、助言	1名

*1 実装準備フェーズにおいて設立を行い、事業主体を担う想定である。

VI 実装・横展開の計画

① 実装の計画

c. ソリューション(変更点)-a.費用対効果 (1/3)

		主体	SPC
項目		スケジュール	
		実装5年目*1	
効果	定量 (収益)	ドローン貸出対価（さんわ182ステーション→SPC）	7,854,000円
	計 (定量 収益)	約785万円	
	定量 (収益以外) + 定性	-	-
費用	イニシャル	-	-
	ランニング	- ドローン機体減価償却費 - 保守・運用費 - 人件費	2,543,400円 1,380,000円 3,100,000円
	計	約702万円	

*1 実装初年度以降利用者数の増加が考えられるため、実装5年目に黒字化を見込んでいる。また、飛行路線の拡大やマルチユース等も検討しさらなる収益化を目指す。

VI 実装・横展開の計画

① 実装の計画

c. ソリューション(変更点)-a.費用対効果 (1/3)

		主体	さんわ182ステーション
項目		スケジュール	
		実装5年目*1	
効果	定量 (収益)	- ドローン利用対価（サービス利用者→さんわ182ステーション） - ドローン利用対価（ゴルフ場→さんわ182ステーション）	10,890,000円 330,000円
	計 (定量 収益)	1,122万円	
	定量 (収益以外) + 定性	-	
費用	イニシャル	-	
	ランニング	- 貸出対価（さんわ182ステーション→SPC） - 人件費	7,854,000円 1,550,000円
	計	800万円	

*1 実装初年度以降利用者数の増加が考えられるため、実装5年目に黒字化を見込んでいる。また、飛行路線の拡大やマルチユース等も検討しさらなる収益化を目指す。

VI 実装・横展開の計画

① 実装の計画

c. ソリューション(変更点)-a.費用対効果 (1/3)

			主体	神石高原カントリークラブ
項目			スケジュール	
			実装5年目*1	...
効果	定量 (収益)	ドローン利用による運送コストカット	220,000円	
	計 (定量 収益)		22万円	
	定量 (収益以外) + 定性	-	-	
費用	イニシャル	-	-	
	ランニング	ドローン利用費	50,000円	
	計		5万円	

*1 実装初年度以降利用者数の増加が考えられるため、実装5年目に黒字化を見込んでいる。また、飛行路線の拡大やマルチユース等も検討しさらなる収益化を目指す。

VI 実装・横展開の計画

① 実装の計画

c. ソリューション(変更点)-a.費用対効果 (2/3)

		項目	算定の根拠 ^{*1}
効果	定量 (収益)	- ドローン貸出対価 (SPC) - ドローン利用対価 (サービス利用者→さんわ182ステーション) - ドローン利用対価 (ゴルフ場→さんわ182ステーション) - ドローン利用による運送コストカット (神石高原カントリークラブ)	- 配送サービス総利用回数 (対利用者) × 一回当たり配送サービス利用料 (対利用者) + 配送サービス総利用回数 (対ゴルフ場) × 一回当たり配送サービス利用料 (対ゴルフ場) / (100-30) (利益率30%) (12,100回×900円) + (660円×500回) / (100-30) - 配送サービス総利用回数×一回当たり配送サービス利用料 12,100回×900円 - 総世帯に占める65歳以上単身世帯と高齢者のみ世帯のうち、1%が1回/日の利用するとして算出 - 利用頻度は、3日に1回サービスを利用すると仮定 - 配送サービス総利用回数×一回当たり配送サービス利用料 - 約660回×500円 - 配送サービス総利用回数=年間ゴルフ場利用者数一人あたりのランチの食材量×食材のうち農作物の割合÷一回あたりのドローン配送可能量 - 陸送のみの配送料(現状)－陸送のみの配送料(実装後の農作物以外の陸送)－ドローンの利用対価 1,100,000円－550,000円－330,000円 - ゴルフ場で使用する食材を配送するとし、年間のゴルフ場利用者数を基に配送量を仮定
	定量 (収益以外)	-	-

^{*1} 各種物品費用等は主にデスクトップリサーチ、今年度の技術実証で明らかとなった積載重量や飛行時間などを基に仮設定している。

VI 実装・横展開の計画

① 実装の計画

c. ソリューション(変更点)-a.費用対効果 (2/3)

		項目	算定の根拠*1
費用	イニシャル	-	-
	ランニング	- ドローン機体減価償却費 - 保守・運用費 - 人件費 - 貸出対価（さんわ182ステーション→SPC） - ドローン利用費	- ドローン減価償却費（前年度分）＋ドローン減価償却費（当年度追加分）として、定額法（耐用年数10年）を用いて算出 - ドローン必要台数×(ドローン機体保守費用＋LTE通信費)として算出 ドローンの保守費用：年間34万円 LTE通信費用：月5万円 - 雇用人数×1人あたり人件費（広島県最低賃金970円×1600時間≒155万） （配送サービス総利用世帯×一日あたり利用回数（配送）×年間利用日数（配送）×一回当たり配送サービス利用料＋（年間ゴルフ場利用者数×一人あたりのランチの食材量×食材のうち農作物の割合÷一回あたりのドローン配送可能量）×一回当たり配送サービス利用料）×(1-利益率) （100世帯×1回×12,100回×900円＋16,500人×0.4kg×0.5÷5kg）×(100-30) - 年間の利用料5万円と仮定

*1 各種物品費用等は主にデスクトップリサーチ、今年度の技術実証で明らかとなった積載重量や飛行時間などを基に仮設定している。

VI 実装・横展開の計画

① 実装の計画

c. ソリューション(変更点)-a.費用対効果 (3/3)

項目		スケジュール
		実装5年目
効果 計 (定量)	-	19,294,000円*1
定性	-	-
費用計	-	16,477,400円*2



合理性・妥当性

- 機体購入等の初期投資や雇用創出分の人件費負担が重く、実証年度を含めた4年目までは累計収支が赤字となることが見込まれているが、5年目以降は収支黒字化が想定されている。
- 収支は補助金等にも使用しなくても黒字化することを前提として算出しているが、VI 実装・横展開の計画の「資金計画」に記載している通り、今後応募可能と考えられる補助金も複数存在している。本実証に加え、さらなる町の地域課題を掘り起こし、本サービスとの親和性を検証する中で、より親和性の高い補助金を獲得し活用すれば、さらに安定した事業実施が可能と見込んでいる。
- 事業としては一定の持ち出しは発生するものの、地域住民の買い物その他利便性は向上するため、地域全体として費用対効果が十分に得られていると説明が可能。

*1 ビジネスモデル全体での効果額を記載

*2 ビジネスモデル全体での費用額を記載

VI 実装・横展開の計画

① 実装の計画

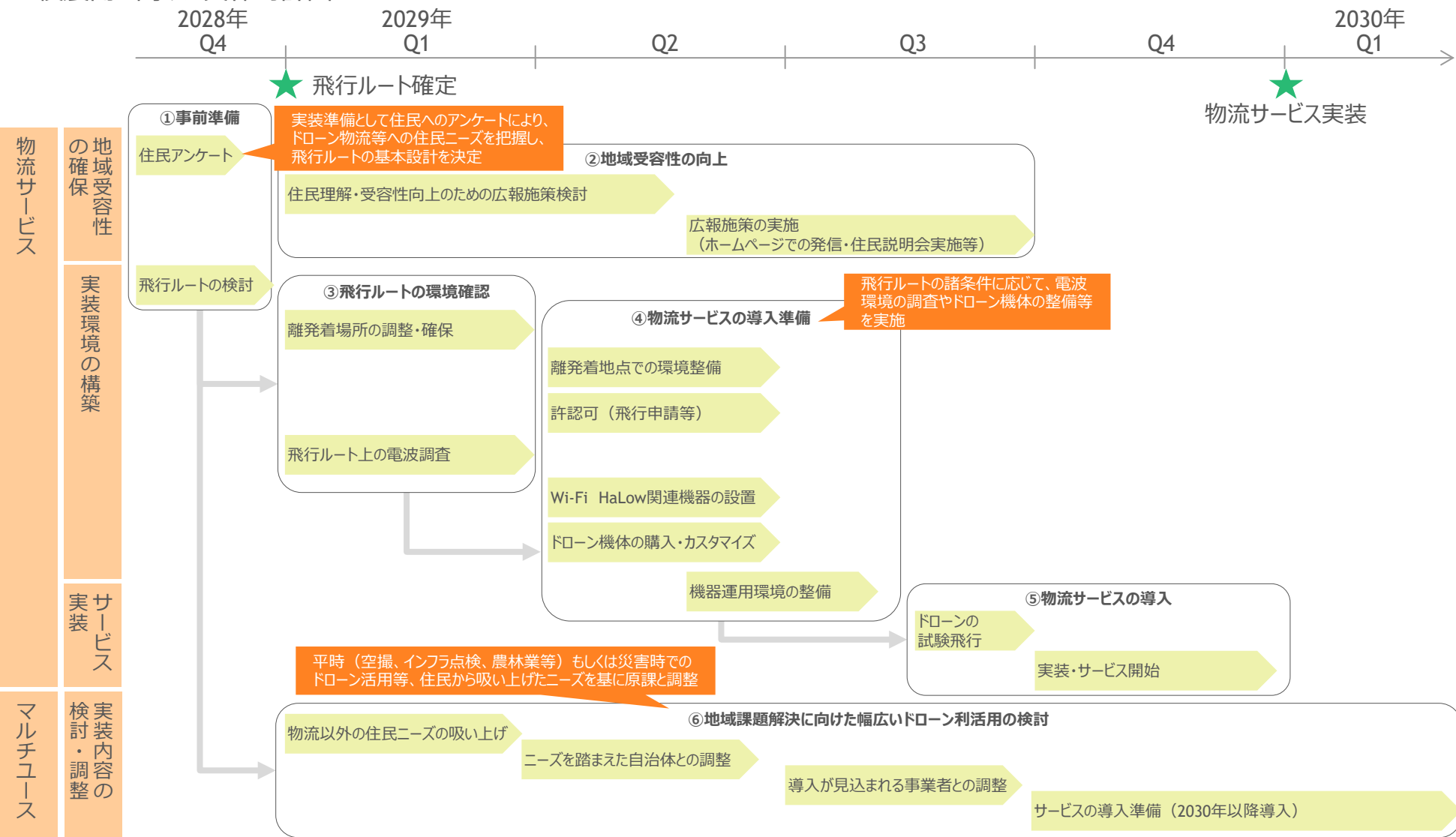
c. ソリューション(変更点)- b. 導入・運用コスト引き下げの工夫

		項目	引下げの工夫内容	コスト削減効果 (見込み額)	実行タイミング	実行主体/担当者
費用	イニシャル	ドローン購入	必要台数を購入する際に複数年度で契約することで、ディスカウントを受け費用を削減	市場動向や事業者との交渉等を踏まえ要検討	2027年	SPC
		ドローン購入	ドローン機体の低価格化が進むと想定され、費用を削減	市場動向や事業者との交渉等を踏まえ要検討	2027年	SPC
	ランニング	メンテナンス	LPWA、ドローンのメンテナンスサービスを長期間契約としてボリュームディスカウントを受け、費用を削減	総費用の10%をメンテナンス費用とし、更に長期間契約により10%削減見込み (約20万円)	2027年	SPC

VI 実装・横展開の計画

② 横展開の計画

a. 横展開に向けた具体的計画



横展開先の自治体と継続的なコミュニケーションを取り、物流サービスの導入及びマルチユースの検討を進めます

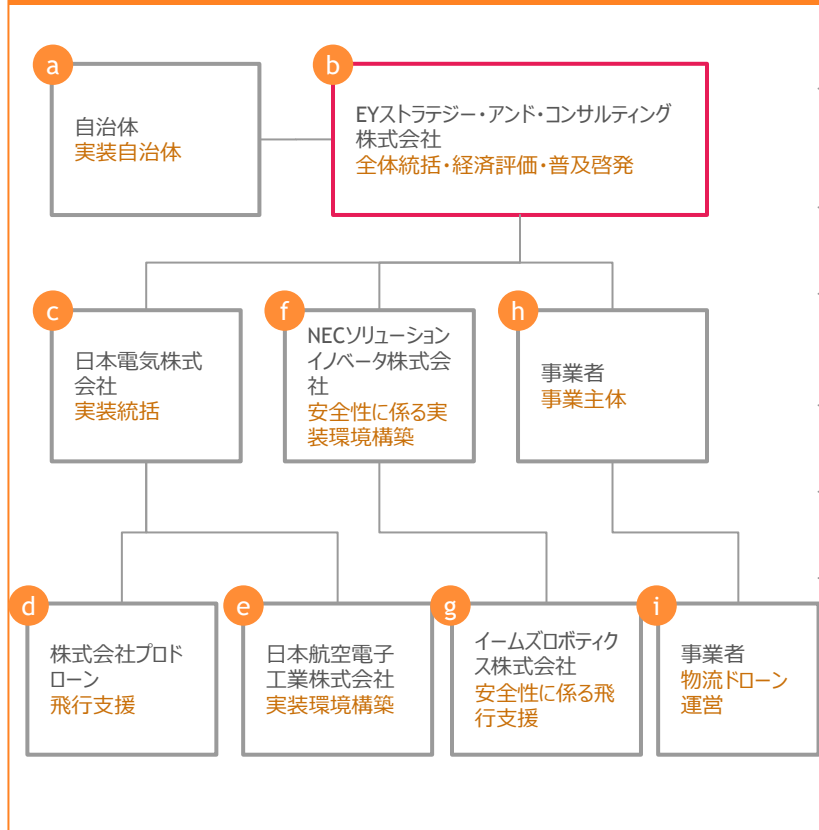
VI 実装・横展開の計画

2 横展開の計画

b. 横展開の体制

:横展開の取組全体の責任団体

実施体制図



団体名	役割	リソース
a 自治体	実装自治体	3名
b EYストラテジー・アンド・コンサルティング株式会社	全体統括・経済評価・普及啓発	5名
c 日本電気株式会社	実装統括	2名
d 株式会社プロドローン	飛行支援	外注
e 日本航空電子工業株式会社	実装環境構築	外注
f NECソリューションイノベータ株式会社	安全性に係る実装環境構築	5名
g イームズロボティクス株式会社	安全性に係る飛行支援	外注
h 事業者 ^{*1}	事業主体	1名
i 事業者 ^{*1}	物流ドローン運営	1名

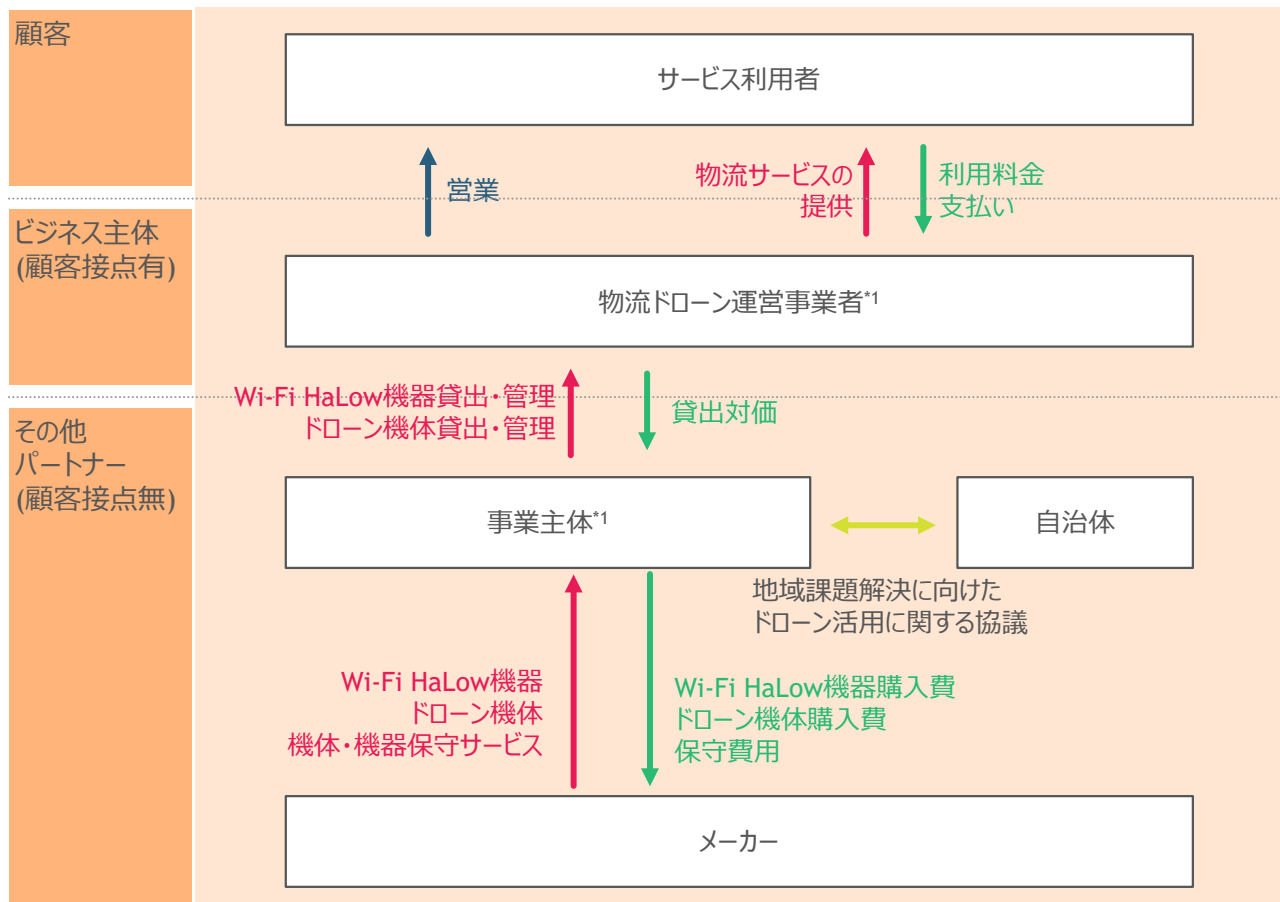
^{*1} 物流ドローン運営事業者と事業主体は同一事業者となる可能性も考慮している

② 横展開の計画

c. ビジネスモデル

- ← 商品・サービス
- ← 営業(顧客向け)
- ← お金
- ← その他(適宜記載)

ビジネスモデル図



*1 物流ドローン運営事業者と事業主体は同一事業者となる可能性も考慮している。

ビジネスモデル図

概要		中山間地域において買物困難者を抱える自治体において、ドローンを利用した配送サービスを導入
ポイント(工夫)	マネタイズモデル	【サブスクリプション】 ドローン配送を利用する際に発生する配送料 + 配送商品の20%を利用者から支払われる想定
	ターゲット顧客	- 中山間地域に住む高齢者 - 中山間地域に立地し、運送コストが高い施設
	その他	運行ルート拠点を担う主体が一部運用も担うことで、陸送と比較して運営コストカットが可能な想定

② 横展開の計画

顧客

サービス利用者

投資の妥当性 (現時点見立て)	導入先 (支払元)	日本国内の中山間地域では、過疎化や高齢化の進行により、買い物客数自体が減少している。また、高齢化に伴う免許返納も伴い、買物困難客が発生していることから、中山間地域の自治体住民に一定のニーズがあると考えられる。
妥当性を高めるための目標	目標	ドローンの配送サービスに対する認知獲得や利用者との接点の創出、サービスの利用しやすい等による利用者数の拡大
妥当性を高めるための目標	アクション	ドローンを使用した物流サービスに関する普及啓発 多くの利用者が見込まれる自治体の中心部へ飛行する空路の設計 利用者が使用しやすいと感じるUI/UXの設計

VI 実装・横展開の計画

② 横展開の計画

d. 投資の妥当性(ビジネス主体視点)

ビジネス主体 物流ドローン運営事業者

		項目	金額	数量	計(金額)
効果	定量	配送サービスの利用 (利用者100名、利用者は3日に1回の利用想定)	10,890,000円	1 年間	10,890,000円
	定性	配送時間の短縮	—	—	—
費用	イニシャル	実装プランニング	5,743,000円	1 年間	5,743,000円
		ドローンチューニング・実装調整	8,092,875円	1 年間	8,092,875円
	ランニング	ドローン機体減価償却費用	2,543,400円	1 年間	2,543,400円
		保守運用費用	1,380,000円	1 年間	1,380,000円
		人件費	3,100,000円	1 年間	3,100,000円
		実装経費 計			

投資の妥当性
(現時点見立て)

導入先
(支払元)

実装のプランニングやドローン配送を行うための空路設定、機体のチューニング等がイニシャルとして費用が発生するため、1年目での黒字化は見込めない。一方、次年度以降はイニシャルコストが発生しないほか、利用者数の増加やドローンの積載量の増加などによる効率化により、数年後での黒字化が見込まれる。

妥当性を高めるための目標

目標

ドローンの機体改造・技術検証の継続実施による性能向上の結果、ドローン飛行(1回/1台)で発生する利益率の向上

アクション

以下の観点における機体改造・実証実験の継続実施

- ドローンの積載可能重量の増加
- 通信機能や安全性、飛行時間・飛行距離等に関する機体性能の向上

VI 実装・横展開の計画

3 資金計画

		実装1年目*2		...	横展開1年目		...
費用	イニシャル	40万円			1,384万円		
	ランニング	534万円			702万円		
	小計	574万円			2,086万円		
資金 調達 方法	補助金の活用*1	—*1			—*1		

*1 実装1年目は2028年度、横展開1年目は2029年を想定しているため、その時点で適切な補助金を選定し応募することを想定している。
*2 実装2-4年目においても単年度赤字となることが想定されるため、実装1年目と同様に補助金の活用等を検討している。実装5年目以降は単年度黒字になる予定のため、補助金の活用等は想定していない。

VII 指摘事項に対する反映状況

① 実証過程での指摘事項に対する反映状況

指摘事項	反映状況	
	内容	反映 ページ
実装実現に向けて、早めに経済性の検討及び事業者とのご調整を実施いただきたい	実装に向けた論点整理を実施し、実装に向けた計画を策定。本計画は必要に応じて随時見直しを行う。また、論点整理にあたっては、類似事例の事業者との意見交換を実施し、実装までのハードル等について議論予定。	P82~84,88
横展開時のボトルネックの1つであるマネタイズについて、利用人数の想定・展開主体・展開先にとってのROIが合う形でのビジネスモデルを検討いただきたい	2024年の実証事業と並行し、経済性を向上させ地域で自律出来る水準にまで引き上げるため、マルチユースケースでの利活用や既存事業への取り込みの検討を行い、町担当者と協議を実施。今後、継続議論を行うことで合意した。	P88,90~95

2 書面審査での指摘事項に対する反映状況

指摘事項	反映状況	反映 ページ
	内容	
費用対効果を上げるための対応策として、医療品の同時配送の余地についても言及してほしい	地域課題の解決や経済性の向上に向けたドローン等の活用の可能性の検討において、医療品配送に係る検討が含まれることを追記	P82
遮蔽物等による通信状況に対する対応策を記載する際に、現時点での仮説を記載してほしい	仮説（アクセスポイント設置位置の工夫、アクセスポイントのドローンへの搭載）を追記	P84
“航路/飛行ルートの拡大関連を検討している”点を言及してほしい	実装に向けた飛行ルート検討において、「航路/飛行ルートの拡大」が含まれることを追記	P83
“運行ルートの拠点となる方が一部運用も担うようなモデルを想定している。多少工数はかかるものの、一軒一軒回ると比較すると相対的には少なくなる”点を言及してほしい	運行ルート拠点を担う主体が一部運用も担うことで、陸送と比較して運営コストカットが可能な想定である旨を追記	P99
総務省の情報通信審議会にてDuty比制限の緩和・撤廃に向けた議論がされていることを踏まえて、課題整理してほしい	本実証に対するDuty比制限の緩和・撤廃に向けた議論の影響を整理し、Appendixとして追加	P105

② 書面審査での指摘事項に対する反映状況

指摘事項	反映状況	
	内容	反映 ページ
ドローンからの通信でWiFiHalowが安定的に通信できる範囲の確認はできているか？	ドローン通信制御の冗長化という実証においては通信が可能な範囲は検証しておりませんが、条件により高度150mまでの通信を確認しました。(NEC) 「ドローンの安全性強化」をテーマにした実証では、通信範囲の限界調査は実施していません。Wi-Fi HaLowを新たな通信手段として、ドローンから地上へのデータ送信、地上からのドローン制御が行えることを実証の観点としていました。(NES)	P53
WiFiHalowとLTEでの制御切り替えによる課題は無かったか？どのくらいに切り替えに時間がかかっているのか？	ドローン通信制御の冗長化という実証においては切り替え時の課題が発生しないよう常時どちらの回線にも接続するようにしておりました。両回線のうち、ドローン機体が都度状態の良い回線と通信を行うようにしておりました。そのため切り替えによる課題はありません。(NEC) 「ドローンの安全性強化」をテーマにした実証では、通信の多重化という目的もあり、Wi-Fi HaLowとLTEは同時に接続しておりました。そのため、Wi-Fi HaLowとLTEでの制御切り替えは発生しません。(NES)	P54

Appendix.

今回の実証で発生したWi-Fi HaLowの法規制に伴う課題

920MHz帯のDuty比10%制限に伴い、ドローンからは映像データを送信できず、画質やフレームレートを落とした画像データを送信している。

920MHz帯のDuty比10%制限に伴い、映像が途切れる、乱れた場合、通信環境が良い場所に退避することが考えられるが、退避するにも退避経路の安全の確認ができず、身動きが取れない状態になってしまうため、通信の安定性確保が必須である。

920MHz帯のDuty比10%制限に伴い、ドローンから送信可能なデータ量が制限されており、前方向のFPV映像の転送が限界である。

総務省情報通信審議会等で議論されているWi-Fi HaLowの法規制に関する今後の動向

令和6年4月5日に実施された第6回情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会において、850~860MHz帯の新システム導入およびDuty制限のない運用が検討されている。新システムの導入においてはIEEE 802.11ahが検討対象のシステムとして挙げられている。

2024年4月5日実施の情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 900MHz帯自営用無線システム高度化作業班（第6回）において、802.11ahの新たな周波数帯利用への期待について報告されている。

同上

課題解決の可能性がある理由・考察

今回850~860MHz帯が使用可能になる他、Duty制限がなくなった場合、スループットが向上するため画質やフレームレートの向上が見込まれる。そのため安全性の高いドローン飛行が可能になるほか、より高画質な映像が求められるユースケースでも本実証の内容が使用できる可能性がある。

Duty比が緩和されることで、帯域に余裕が生まれ、TCP KeepAliveにも余裕が生じることで切れにくい通信が実現できる可能性が高いと考える。安全にドローンを活用するための取り組みにおいて、通信の継続は必要性の高い項目であるため、Duty比が緩和されることでより安全なドローン運用が実現できると期待する。

Duty比が緩和されることで、帯域に余裕が生まれ、複数映像の転送が可能になると考える。そのため、360度の映像を確認することも可能となり、より安全な飛行を実現できる可能性がある。