

令和7年度 地域社会DX推進パッケージ事業
(実証事業 先進無線システム活用タイプ)

中山間地域のLTE不感エリアにおける 様々な無線技術を用いたドローン飛行実証 成果報告書

2026年3月31日
日本電気株式会社

成果報告書 目次

I. 地域の課題と目指す姿

1. 地域の課題と目指す姿
2. これまでの取り組み状況と今後の実現ステップ
3. 実証の必要性
4. 成果 (アウトカム) 指標
□ジックツリー
成果 (アウトカム) 指標の設定:
本実証
成果 (アウトカム) 指標の設定:
実装・横展開

II. ソリューション

1. 活用ソリューション
ソリューションの概要
活用している先進技術
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
 - b. 設置場所・基地局等
 - c. 設備・機器等の概要
3. ソリューション等の採用理由
 - a. 他ソリューションに対する優位性・新規性
 - b. 無線通信技術の優位性
4. 期待効果/費用対効果
期待効果/資金計画_導入先
期待効果/資金計画_販売主体
期待効果の根拠_販売主体
費用対効果

III. 実証

1. 実証計画
2. 検証ポイント・検証方法
 - a. 効果面
 - b. 技術面
 - c. 運営面
 - d. 展開先
3. 実証スケジュール
4. リスクと対応策
5. PDCAの実施方法
6. 実証の実施体制

実証

実証・実装・
横展開

IV. 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)
2. 検証項目ごとの結果
3. 実装・横展開に向けた準備状況
4. 実装・横展開に向けた課題および対応策
5. (参考) 実証視察会
 - a. 概要
 - b. 質問事項と対応方針

V. 実装・横展開の計画

1. 実装の計画
 - a. 実装において今後目指す状態
 - b. 今後3年間で実施するアクション
 - c. 実装の体制
 - d. ソリューション (変更点)
2. 横展開の計画
 - a. 横展開の体制
 - b. ビジネスモデル
3. 期待効果/資金計画
 - a. 販売主体
 - b. 導入先
4. 資金計画

VI. 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
2. 成果報告会での指摘事項に対する反映状況

I 地域の課題と目指す姿

1 地域の課題と目指す姿

本事業の対象とする地域課題

対象者	内容
a 中山間地域における送電鉄塔の保守点検業者	<ul style="list-style-type: none">足元の悪い山道で重量のある物資を運ぶ必要があるが、高齢化に伴い転倒によるけがや腰を痛める人が増加。重労働であるため若手も定着しない。その結果送電線工事に従事する技術員の在籍者数は減少しているものの65歳以上の技術員は増加し、全体の2割を超えている※1※2
b ドローンによる物資輸送業者	<ul style="list-style-type: none">ドローンによる物資輸送を導入し、人による物資輸送と比較して大幅な時間短縮(往復1時間半かかるところを5分程度まで短縮)と費用削減を実現しているものの、作業対象となる鉄塔約20,000基の内、50基程度でのドローン輸送の実施にとどまる※2多くの鉄塔でドローンによる物資輸送を行いたい、中山間地域の為、通信できないLTE不感エリアが多数存在し、森林や構造物によりドローンが目視できない場所も多い。目視での手動飛行に限定されている現状ではドローンによる物資輸送可能な鉄塔を増やせない状態となっている。物資輸送業者はこれらの課題を解決したいが、単独では解決策が見いだせていない

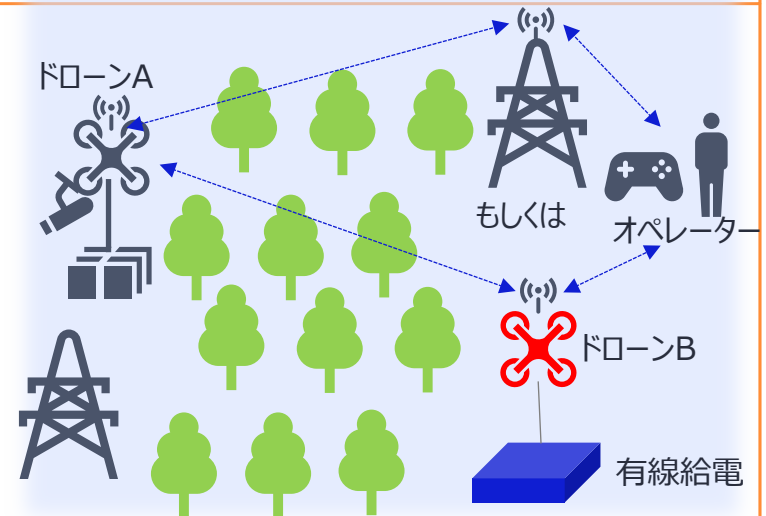
*1 出典：電気新聞「送電技術員在籍者、65歳以上が219人に増加。全体の21%に」、<https://www.denkishimbun.com/sp/39536>

*2 出典：広島県DX推進コミュニティ、<https://hiroshima-dx.jp/pages/286/#&gid=1&pid=1>

目指す姿

- 新たな通信方式を評価・実装して通信エリアを構築することで、ドローン物資輸送を目視外自動飛行で行うことができるエリアを拡大する
- 新たな通信方式による通信エリアの構築、目視外自動飛行でのドローン物資輸送の実現に伴い、現在の目視内による物資輸送に係る人的リソースを削減する

送電鉄塔などに通信モジュールを設置し、1オペレーターでの物資輸送の実現を目指す



② これまでの取り組み状況と今後の実現ステップ

これまでの取り組み

~2020

人手による運搬



2021~2024

ドローンによる物資輸送



山間部に位置する送電鉄塔への物資運搬は人が足元の悪い山道を約15~20キロある荷物を抱えた状態で片道1時間以上歩くという過酷なものであった。それ故に転んでけがをしたり、腰を痛める人もいたという状況であった※1

左記の問題を解決するため、ドローンによる物資輸送に着目し、ドローン会社と連携、実証実験を行った。また、自社でのオペレーター育成も行い、自社でのドローンによる物資輸送を実現し、1往復数時間かかっていた物資輸送を数分程度に短縮し、効率化を実現した。※1

目指す姿に向けた実現ステップ

2025

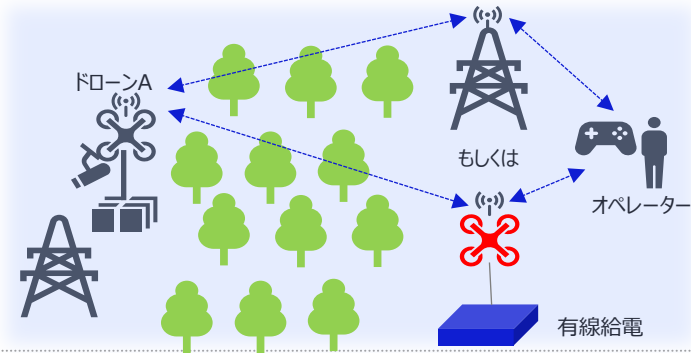
実証

2026

実装準備

2027~

実装・横展開
(最終的なゴール)



ドローンによる物資輸送が実現し、効率化が実現されたものの、ドローンによる物資輸送が可能な送電鉄塔はメンテナンスの対象となっている約20,000基のうち、50基程度にとどまっている。これは現状2オペレーターによる目視内手動飛行に限定されているためである。これらの課題解決に向け、通信エリア構築を行うための通信方式の比較・検討を実施する

2025年度に実証した結果に基づいて通信エリアを構築するとともに1オペレーターでの目視外自動飛行を可能にするための機体改造およびシステム開発の要件をまとめる。その上で実際に現場で使用している機体を改造し、当初目標としていた飛行および物資輸送が可能かどうか飛行試験を行い、実装に向けた最終課題を整理する

2026年度までに洗い出した課題を解消し、現場での実装を実施。今までドローンによる物資輸送が行えなかった送電鉄塔でもドローンによる物資輸送を実施し、効率化、安全性の向上を実現する

3 実証の必要性

実装する上での課題(今のままでは実装できない理由)

現在ドローンによる物資輸送自体は導入済みである
しかし目視内手動飛行は2オペレーターによる運用に限定されているため、中電工業で作業の対象となっている鉄塔約20,000基の内、50基程度でしか実装できていないのが現状である
そのため新しい無線技術を導入し、ドローンの目視外自動飛行を実現することでドローンによる物資輸送可能な鉄塔の数を増やし更なる人的リソースの削減や人による物資輸送の際に起こる事故やけがの減少を目指す
ここで課題となるのが「目視外自動飛行を行うには通信エリアの構築が必要であること」、「目視外自動飛行を導入することによるコストがわからない」ことと、「周囲が森林や構造物に覆われている中での自動運転でも荷下ろし作業が可能であるか？」という点である
これらの課題を解決するためにWi-Fi HaLow、Wi-Fi 6E/7、StarLinkの4種類の通信技術を活用した目視外自動飛行を行うことで、通信技術ごとの通信エリア構築費用やFPV映像の質などを比較し、ユースケースごとの最適な通信技術を選択できるベンチマークを作成する必要がある

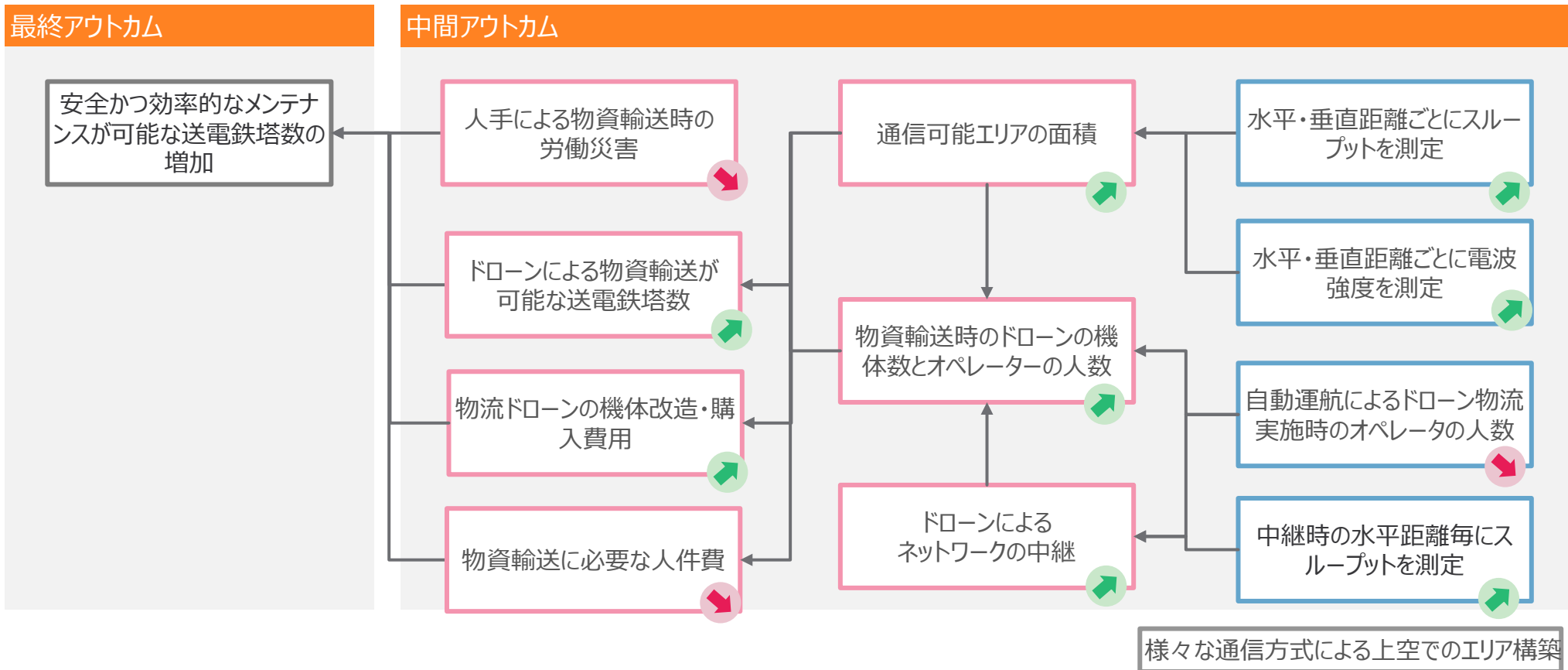


左記課題をクリアするために、実証事業を通じて検証すること

Wi-Fi HaLow、Wi-Fi 6E/7、StarLinkの4種類の通信技術ごとにRSSI、スループット、電波の届く距離、FPV映像の質を測定し、それぞれの通信の導入メリット、デメリットをまとめ、最適な実装モデルを検証

- | | |
|-----|--|
| 技術面 | 目視外自動飛行中は通信が常に途切れることなく機体制御ができるか、飛行中の通信性能を検証 |
| 効果面 | 目視内手動飛行では飛行できなかったエリアでの飛行が可能であるか検証 |
| 運営面 | 通信技術ごとの通信エリア構築に必要なインシヤルおよびランニングコストを比較検証する |
| 展開先 | 今回と同様の課題を抱える同業他社でも横展開が容易にできるよう通信エリア構築の難易度を比較検証する |

4 成果 (アウトカム) 指標 ロジックツリー



4 成果 (アウトカム) 指標

成果 (アウトカム) 指標の設定: 本実証

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
水平・垂直距離ごとにスループット	未測定	水平：1Km 垂直：1m 200Kbps	商用利用には目視外飛行時の画像検出可能なVGA(5FPS)の基準を満たす必要があるため 画像サイズ：5KB (40,000bit) 解像度：640×480 (VGA) 圧縮方式：H.265 (HEVC) 帯域：200Kbps = 200,000bps	送受信機を上空 (ドローン) や地上に設置して測定
水平・垂直距離ごとに電波強度	未測定	水平：1Km 垂直：1m Wi-Fi 6E/7:-75dbm Wi-Fi HaLow:-90dbm StarLink：圏内	商用利用時に目視外飛行時の通信機の仕様をもとに、通信の電波強度を満たす必要があるため	送受信機を上空 (ドローン) や地上に設置して測定
自動運航によるドローン物流実施時のオペレータの人数	10人 (オペレーター + その他補助者)	2人	費用対効果が最大限になるように、最小リソースを設定 ※実証時は安全のため2人x2か所体制とする	荷物の積み込みから、物流、荷下ろしが自動化できるか、飛行試験にて確認
中継時の水平距離毎にスループットを測定	未測定	水平：1Km 垂直：50m 200Kbps	商用利用時に目視外飛行時の通信機の仕様をもとに、通信のスループットを満たす必要があるため	送受信機を上空ドローン設置して測定

4 成果 (アウトカム) 指標

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
人手による物資輸送時の労働災害	1件/年 (しりもちをついた程度や転倒・滑落(幸いにもケガはしていない) 件数は相当数ある)	0件/年	導入先候補の事業者がこのサービスによって労働災害が0件になることは事業者が実現しようとしている安全な職場づくりと合致しており商用化に繋がる可能性が高まる工事に関わる全ての人が安全で安心して働ける職場づくりを実施するため	事故発生件数をカウント
ドローンによる物資輸送が可能な送電鉄塔数	50基	14,000基	導入先候補の事業者がメンテナンスの対象となっている送電鉄塔のうち、中山間部に位置する約14,000基を対象とすることを想定	物資輸送をドローンにて実施した場合にカウント
物流ドローンの機体改造・購入費用	なし	ネットワーク機器：50万/5台 機体：2,000万/2台 機体改造費：1,600万/2台	導入先候補の事業者が通年で原価回収できる金額であれば、ドローンの改造費・購入費として実装可能な最大金額を設定 (現時点)	購入時にカウント
物資輸送に必要な人件費	6,000万	3,000万	2人×10万円(日当+30万円(機器損料))×60基=3,000万円 現状10人で実施している作業を2人で実施した場合の人件費+機器損料より算出	人件費のカウント

II ソリューション

1 活用ソリューション

ソリューションの概要

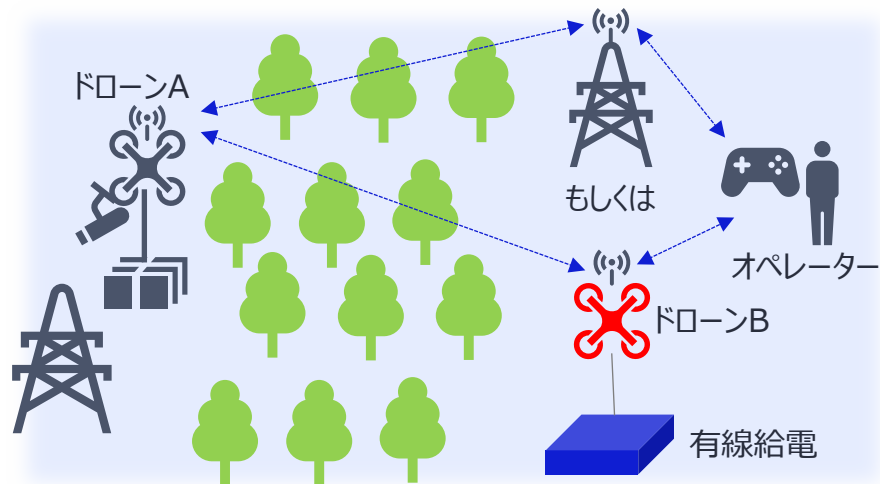
ソリューションの概要

離陸地点から目的地となる送電鉄塔までのドローン物資輸送を実現するために、Wi-Fi HaLow、Wi-Fi6E/7、StarLinkを活用して通信エリアを構築。物流用ドローンに通信機器を搭載し、オペレーターと通信する。通信エリアの構築において、送電鉄塔または、ホバリングするドローンに通信機器を搭載し、通信を中継する。

本実証においては離陸地点に送電鉄塔がない場合を想定し、物流用ドローンと離陸地点上空にホバリングするドローン(下図のドローンA⇔ドローンB⇔オペレーターによる通信)にて検証を行う。

送電鉄塔の保守点検を行う業者は、既にオペレーター2人による目視内手動飛行によるドローン物流を実施している。

本実証の成果を適用できた場合、オペレーター1人での目視外自動飛行とし、物資輸送できる送電鉄塔の数を拡大することで更なる人件費の削減や作業の効率化、安全性向上が可能になる。さらに将来的に同様の取り組みを行っている他の送電鉄塔の保守点検業者へと展開することを目指す。



中間アウトカム (実証)

定量アウトカム

- 水平・垂直距離ごとにスループットを測定
200kbps(水平 1km、垂直1m)
- 水平・垂直距離ごとに電波強度を測定
Wi-Fi6E/7 : -75dbm
Wi-Fi HaLow : 90dbm
StarLink : 圏内
(水平1km、垂直1m)
- 自動運航によるドローン物流実施時のオペレータの人数
2人

定性アウトカム

- 送電鉄塔保守点検業務における安全性の向上
- 物資輸送業務効率化に伴う点検作業者の負担軽減

中間アウトカムの実現に繋がるソリューションの価値

- ドローン物資輸送実現に必要な通信エリアの拡張
 - ドローン飛行に必要な通信エリアを拡張することで、目視内にとどまらず目視外での飛行が可能となる
 - 目視外自動飛行を実現することで、ドローン飛行のためのオペレーター数減少が可能となる
 - ドローン物資輸送が可能な送電鉄塔の数を拡大することで、更なる人件費削減や安全性向上が可能となる

II ソリューション

① 活用ソリューション

活用している先進技術

概要

AI	活用なし
IoT	活用なし
ドローン	新たな無線技術によるドローン機体制御
ロボティクス	物資の荷下ろし作業の自動化
自動運転	ドローンの自動飛行

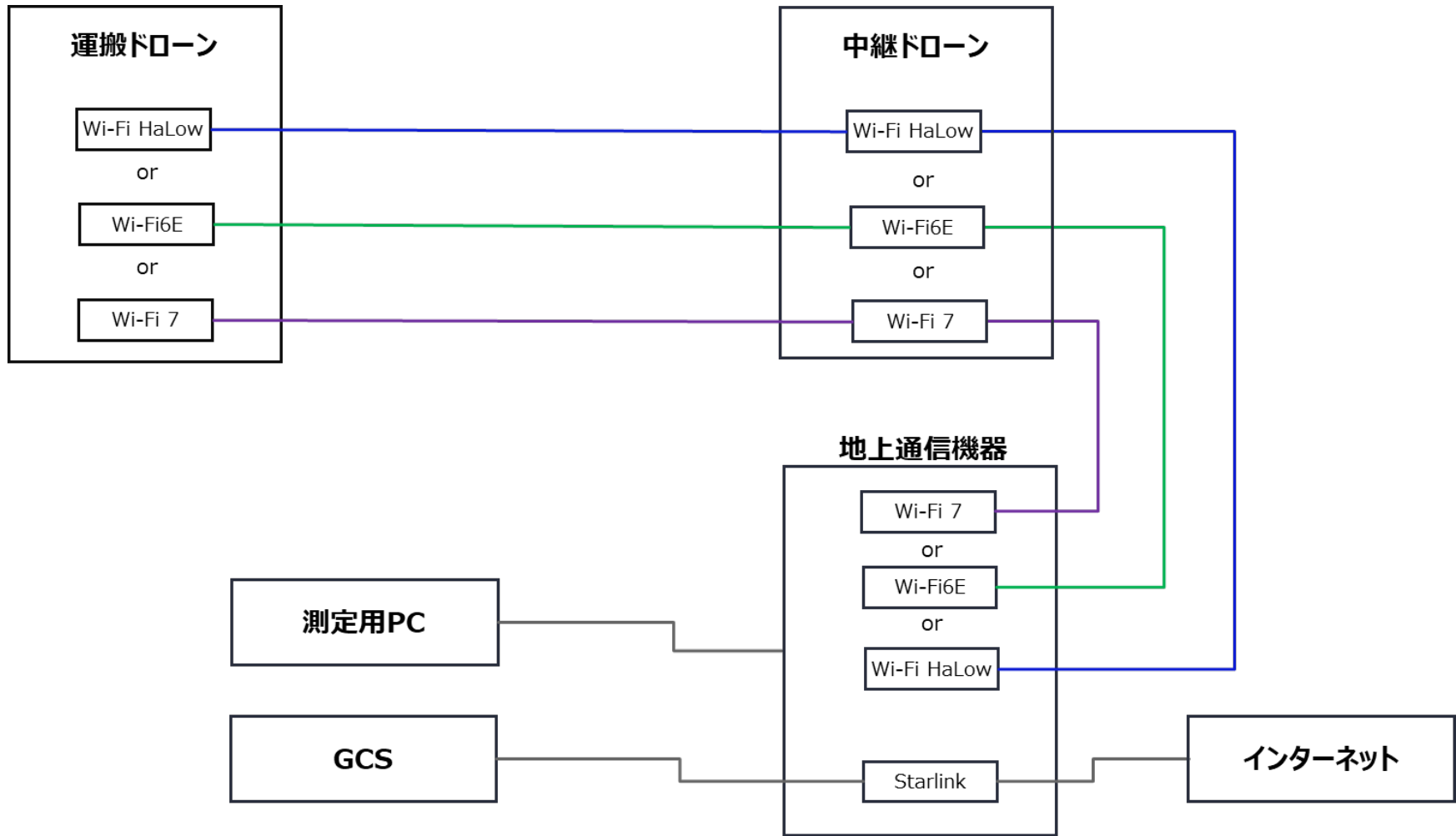
AI技術に関する詳細情報

活用無し

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

イメージ

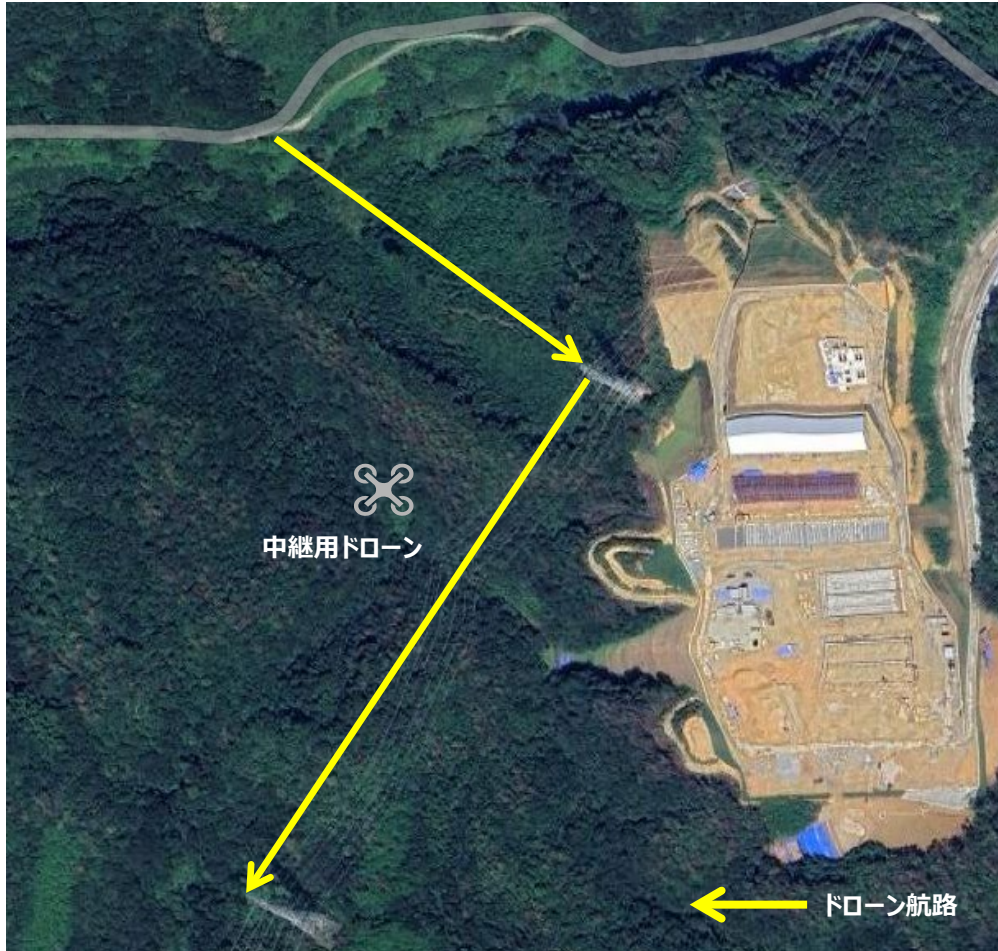


II ソリューション

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



説明

ドローン飛行開始地点、終了地点にWi-Fi HaLow、Wi-Fi 6E/7、StarLink受信装置を設置予定

ドローン航路の中間地点等にWi-Fi HaLow、Wi-Fi 6E/7受信装置を積んだ中継用ドローン飛行させる

※実施場所については、実証時に送電鉄塔の保守を行う現場で実施する

II ソリューション

② ネットワーク・システム構成

c. 設備・機器等の概要

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
名称	区分	型番	数量	開発供給計画認定実績の有無 ¹	eが○でない場合サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策の内容	機能	設置形態(固定・可搬)	製造企業名称	本店(又は主たる事務所の所在地)
Wi-Fi HaLow通信機	端末	—	6	無	日本のサプライヤ製品、実証前にラボ環境で検証・評価を実施した機器を利用する	IEEE802.11ah	可搬	日本航空電子工業	東京都渋谷区道玄坂1-21-1
Wi-Fi6E/7ルーター	端末	Aterm	6	無	暗号化を実施する(WPA2)	IEEE802.11ax IEEE802.11be	可搬	日本電気株式会社	東京都港区芝5-7-1
StarLink	端末	—	1	無	暗号化を実施する(WPA2)	StarLink通信	可搬	StarLink	米国
PD6B	機器	PD1001062 PD1001007	2	無	実証前にラボ環境で検証・評価を実施した機器を利用する	LTE・920MHz・2.4GHz	可搬	Prodrone	愛知県名古屋市天白区中平1-115
PD-GCS	機器	PD1001009 PD1001071	2	無	実証前にラボ環境で検証・評価を実施した機器を利用する	920Mhz	可搬	Prodrone	愛知県名古屋市天白区中平1-115
FUTABA 16IZ	機器	—	2	無	実証前にラボ環境で検証・評価を実施した機器を利用する	LTE・920MHz・2.4GHz	可搬	双葉電子工業株式会社	千葉県茂原市大芝629

1. e 開発供給計画認定実績の有無については、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和2年法律第37号）に基づく開発供給計画認定を受けた実績を有する事業者が開発供給した機器であるか否かにより判断すること。

II ソリューション

3 ソリューション等の採用理由

a. 他ソリューションに対する優位性・新規性

ソリューション 様々な通信方式による上空でのエリア構築

名称	他ソリューションに対する優位性の比較	他ソリューションに対する新規性の比較
<p>Wi-Fi HaLowによるドローン制御通信の冗長化 ※2024年地域デジタル基盤活用推進事業採択案件</p>	<p>2024年度に総務省の支援事業である「地域デジタル基盤活用推進事業」で実施した「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」では、地上にWi-Fi HaLow受信機を設置した。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、安定的に通信確保が出来ると言い難く、地上側の通信機器の設置位置検討が難しいという課題点があった そのため地上ではなく、ドローンへ通信機器を搭載し、上空でドローン間による電波の送受信を行うことで木々等の遮蔽物がない安定した通信の確保を目指す。これにより地上での遮蔽物や高低差を考慮した設置場所検討を省略し、ドローンの旋回や高度調整のみで安定的な通信環境を構築することを可能とし、通信エリア構築の利便性向上をはかる</p>	<p>本実証ではドローンへ通信機器を搭載し、上空で通信エリアを構築する形を取るが、これは過去に例のない取り組みであるため新規性があるといえる。また、本実証ではWi-Fi HaLow、StarLinkに加えWi-Fi6E/7でも通信エリアを構築するが、これらの通信技術の比較検討を行った事例もないため新規性はあると考える</p>

II ソリューション

3 ソリューション等の採用理由

b. 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	許認可の状況	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、ドローンの制御に活用	許認可不要	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1127 396 1396 448">名称</th> <th data-bbox="1421 396 2022 448">比較結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1127 468 1396 548"> <ul style="list-style-type: none"> LoRa/Wi-SUN等 </td> <td data-bbox="1421 468 2022 662"> <ul style="list-style-type: none"> 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。上記を実現するため、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 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1127 668 1396 705"> <ul style="list-style-type: none"> ローカル5G </td> <td data-bbox="1421 668 2022 776"> <ul style="list-style-type: none"> 整備コストが安価で免許取得が不要であり、導入が容易という点でWi-Fiが適している </td> </tr> </tbody> </table>		名称	比較結果	<ul style="list-style-type: none"> LoRa/Wi-SUN等 	<ul style="list-style-type: none"> 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。上記を実現するため、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 	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5G 	<ul style="list-style-type: none"> 整備コストが安価で免許取得が不要であり、導入が容易という点でWi-Fiが適している
名称	比較結果									
<ul style="list-style-type: none"> LoRa/Wi-SUN等 	<ul style="list-style-type: none"> 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。上記を実現するため、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 									
<ul style="list-style-type: none"> ローカル5G 	<ul style="list-style-type: none"> 整備コストが安価で免許取得が不要であり、導入が容易という点でWi-Fiが適している 									
Wi-Fi6E/7	Wi-Fi6E/7は従来のWi-Fi規格よりも速度、ネットワーク効率、接続信頼性が高い規格。上空利用が可能な2.4GHzが使用可能であることから、ドローンの制御に活用	許認可不要								
StarLink	低軌道衛星（LEO）を用いることで低遅延、高速通信が可能であることから、ドローンの制御に活用	許認可不要	<table border="1"> <tbody> <tr> <td data-bbox="1127 1105 1396 1142"> <ul style="list-style-type: none"> 衛星通信 </td> <td data-bbox="1421 1105 2022 1256"> <ul style="list-style-type: none"> ドローンの制御では、ある程度のスループットと低遅延での通信が必要。他の衛星通信に比べ、高速かつ低遅延での利用が可能であるStarLinkが適している </td> </tr> </tbody> </table>		<ul style="list-style-type: none"> 衛星通信 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの制御では、ある程度のスループットと低遅延での通信が必要。他の衛星通信に比べ、高速かつ低遅延での利用が可能であるStarLinkが適している 				
<ul style="list-style-type: none"> 衛星通信 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンの制御では、ある程度のスループットと低遅延での通信が必要。他の衛星通信に比べ、高速かつ低遅延での利用が可能であるStarLinkが適している 									

II ソリューション

④ 期待効果/資金計画_導入先

		2026年度	2027年度	2028年度
収益	①	0円	3,000万円	3,000万円
	②	0円	3,250万円	—
	③	0円	118万円	118万円
	合計	0円	3,368万円	118万円

資金調達方法	中電工業株式会社 (イニシャルコスト)	0円	3,250万円	0円
	中電工業株式会社 (ランニングコスト)	0円	118万円	118万円

投資の妥当性 (現時点見立て)

導入先 (支払元)

本実証で検証した内容を元の実装を行うために必要な機材購入費用となるイニシャルコストは3,250万円。この投資を行うことで人力による物資輸送とドローンによる物資輸送のコスト差分年間3,000万円が収益となる

2029年以降ドローンによる物資輸送可能な送電鉄塔の更なる増加に伴い、②のイニシャルコスト3,250万円と年間のランニングコスト118万円を追加することにより①の年間収益が3,000万円ずつ増えていくため、利益がさらに拡大していくビジネスモデルとなっている



妥当性を高めるための目標

目標

今年度の実証内容を踏まえて機体改造内容を精緻にすることでイニシャルコストとして発生する機体改造費の削減を目指す

アクション

今年度実施する実証実験の内容を踏まえて実装において必要なシステム開発や改造内容を精緻化することで不要な機能等を削除することで機体改造費の削減を実施する

4 期待効果の根拠_導入先

導入先 中電工業株式会社

		項目	金額	算出の根拠	数量	計(金額)
効果	定量	人件費の削減	3000万円/年	人：10人×10万円(日当)×60基 = 6,000万円 ドローン：(2人×10万円(日当)+30万円(機器損料))×60基 = 3,000万円 ※年間60基が人手からドローンによる物資輸送に変更したと仮定し、 差分を収益とする	2年	6,000万円 ¹
	定性	けがの防止 物資輸送時間の短縮	—	人による物資運搬回数の削減によるけがの発生件数減少 徒歩で往復1時間半かかる運搬を往復5分程度まで短縮	—	—
費用	イニシャル	ネットワーク構成機器	10万円/台	通信機器1台当たりの金額がこの程度であるため	5台	3,250万円 ²
		機体購入費	1000万円/台	中電工業で使用している森飛の機体の価格より算出	2台	50万円
		機体改造費	600万円/台	本実証における機体改造費を参考に算出	2台	2,000万円
ランニング	グ	通信機器の保守費用	2万円/台/年	通信機器の保守費用は機器購入代金の20%	5台/年	118万円 ³
		月額通信費用	4万円/月	StarLinkの場合	1年	10万円
		サーバー利用料	5万円/月	本実証において利用しているサーバー利用料より算出	1年	48万円
						60万円

II ソリューション

④ 期待効果/資金計画_販売主体

		2026年度	2027年度	2028年度
収益	収益/件	① 0円	3,368万円	6,854万円
	件数(導入先数)	0件	1件	2件
	合計	0円	3,368万円	6,854万円
費用	② イニシャル	3,650万円	1,800万円	3,600万円
	③ ランニング/件	1,000万円		
	件数(導入先数)	0件	1件	2件
	合計	4,650円	1,800円	3,600円

資金調達方法	総務省地域社会DX推進パッケージ事業(補助事業)	4,650万円※1	0円
	省庁補助事業	4,650万円※1	900万円
	日本電気株式会社	0円	900万円

※1 どちらかの補助事業にて対応予定

投資の妥当性(現時点見立て)

販売主体

・機体本体および改造部分を販売する株式会社Co-de、通信機器部分を販売する日本電気株式会社は両社とも実装に向けた機器等を販売するため即時利益につながる見込み
 ・2029年以降中電工業でのドローンによる物資輸送可能な送電鉄塔の増加に伴い、数年おきにドローンおよび通信機器の販売による①の収益3,250万円が発生するため、利益がさらに拡大していくビジネスモデルとなっている
 ※ 2026年には実装に向けた機器購入費用3,650万円と実証対応費用1,000万円がかかる想定
 ※2027年度に記載のイニシャルコスト1,800万円は実証で使用した機器の製品化や製品導入に係る費用
 ※ 2028年には他の電力会社にも同様のビジネスを展開、販売予定

妥当性を高めるための目標

目標

ドローン機体に施すべき機体改造と通信エリアを構築する通信機器を精査し、本実証のゴールとなる実装時点で達成すべき性能が発揮されるようにする

アクション

今年度および来年度の実証実験において具体的な機体改造内容と通信機器の選定を行うことで導入先の企業である中電工業株式会社が問題なく実装できるようにする

II ソリューション

4 期待効果の根拠_販売主体

販売主体 日本電気株式会社、株式会社Co-de

		項目	金額	算出の根拠	数量	計(金額)
効果	定量	ネットワーク構成機器	10万円/台	通信機器1台当たりの金額がこの程度であるため	5台×1件	3,250万円 ¹
		機体販売費	1000万円/台	中電工業へ販売している森飛の機体の価格より算出	2台×1件	50万円
		機体改造費	600万円/台	本実証における機体改造費を参考に算出	2台×1件	2,000万円
	定性	—	—	—	—	1,200万円
費用	イニシャル	機器の製品化や製品導入に係る費用	1800万円	本実証における対応費用を参考に算出	1式	1,800万円 ²
		ランニング				0万円 ³

4 費用対効果

		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	機体改造費	実証結果を踏まえ、最適な通信方式を選定、ソフト開発および機体改造要件が決定したことで費用が減少する。	200万円/台 (25%程度)	2027年以降	プロドローン
		通信機器	通信機器本体は低価格化が進むと想定されるため、購入費用が削減される	市場動向や事業者との交渉等を踏まえ要検討	2027年以降	日本電気、日本航空電子工業
	ランニング	通信機器の保守費用	通信機器の保守費用は本体価格から算定しているため、通信機器本体価格の低下に伴って費用軽減が見込まれる	市場動向や事業者との交渉等を踏まえ要検討	2027年以降	日本電気、日本航空電子工業

1 実証計画

実証実施計画の概要

対象とする課題

現在ドローンによる物資輸送自体は導入済みである
しかし目視内手動飛行は2オペレーターによる運用に限定されているため、中電工業で作業の対象となっている鉄塔約20,000基の内、50基程度でしか実装できていないのが現状である
そのため新しい無線技術を導入し、ドローンの目視外自動飛行を実現することでドローンによる物資輸送可能な鉄塔の数を増やし更なる人的リソースの削減や人による物資輸送の際に起こる事故やけがの減少を目指す
ここで課題となるのが「目視外自動飛行を行うには通信エリアの構築が必要であること」、「目視外自動飛行を導入することによるコストがわからない」こと、「周囲が森林や構造物に覆われている中での自動運転でも荷下ろし作業が可能であるか？」という点である
これらの課題を解決するためにWi-Fi HaLow、Wi-Fi6E/7、StarLinkの4種類の通信技術を活用した目視外自動飛行を行うことで、通信技術ごとの通信エリア構築費用やFPV映像の質などを比較し、ユースケースごとの最適な通信技術を選択できるベンチマークを作成する必要がある

実証の概要

Wi-Fi HaLow、Wi-Fi6E/7、StarLinkの4種類の通信技術ごとにRSSI、スループット、電波の届く距離、FPV映像の質を測定し、それぞれの通信の導入メリット、デメリットをまとめ、最適な実装モデルを検証

検証ポイント

効果面

目視外自動飛行中は通信が常に途切れることなく機体制御ができるか、飛行中の通信性能を検証

技術面

目視内手動飛行では飛行できなかったエリアでの飛行が可能であるか検証

運営面

通信技術ごとの通信エリア構築に必要なインシタルおよびランニングコストを比較検証する

展開先

今回と同様の課題を抱える同業他社でも横展開ができるよう通信エリア構築の難易度を比較検証する

Ⅲ実証

② 検証ポイント・検証方法

a. 効果面

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
様々な通信方式による上空でのエリア構築	I 荷物の積み込みから、物流、荷下ろしが自動化できるか、飛行試験にて確認	4人で実施している作業が2人で実施可能か確認する	レベル3.5相当の目視外飛行を実施し、①荷物の積み込み、②自動運航、③自動荷下ろし、④回収までが最小の資源で実現できるか検証する	自動飛運航による人件費の削減1基あたり10人から2人	レベル3.5相当の自動運航により資源の削減ができれば実装化を判断可能 1基あたり、10人×10万円(日当)かかっているコストが、2人×10万円(日当)+30万円(機器損料))となる

Ⅲ実証

② 検証ポイント・検証方法

b. 技術面

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
様々な通信方式による上空でのエリア構築	i 通信可能エリアの拡大	スループット： 200kbps 電波強度： Wi-Fi6E/7:-75dbm Wi-Fi-HaLow:-90dbm StarLink：圏内	ドローンや地上に通信機器を搭載して、PCツールにより測定し目標値が出ているか確認する。 エリアは、垂直、水平方向にて通信品質の変化を確認する。	通信可能エリアの面積の確認 1通信機あたり 3.14キロ平方キロメートル	既存の通信距離を拡大すれば目視外飛行が可能となり、実装化の判断が可能

② 検証ポイント・検証方法

c. 運営面

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
様々な通信方式による上空でのエリア構築	① 機体改造内容の検討	機体改造費：800万の確定 ランニングコスト：118万円の確定	中山間地域で利用する最適な通信方式を確定しドローンへの実装方法、改造方式を確定する 初期コストに影響するため、改造費用が大きくならないように検討を進める	ネットワーク機器：50万/5台 機体：2,000万/2台 機体改造費：1,200万/2台	カタログスペックより算出 インitialコストは実装時の予算取りなどビジネスモデルを成立させるために重要

Ⅲ実証

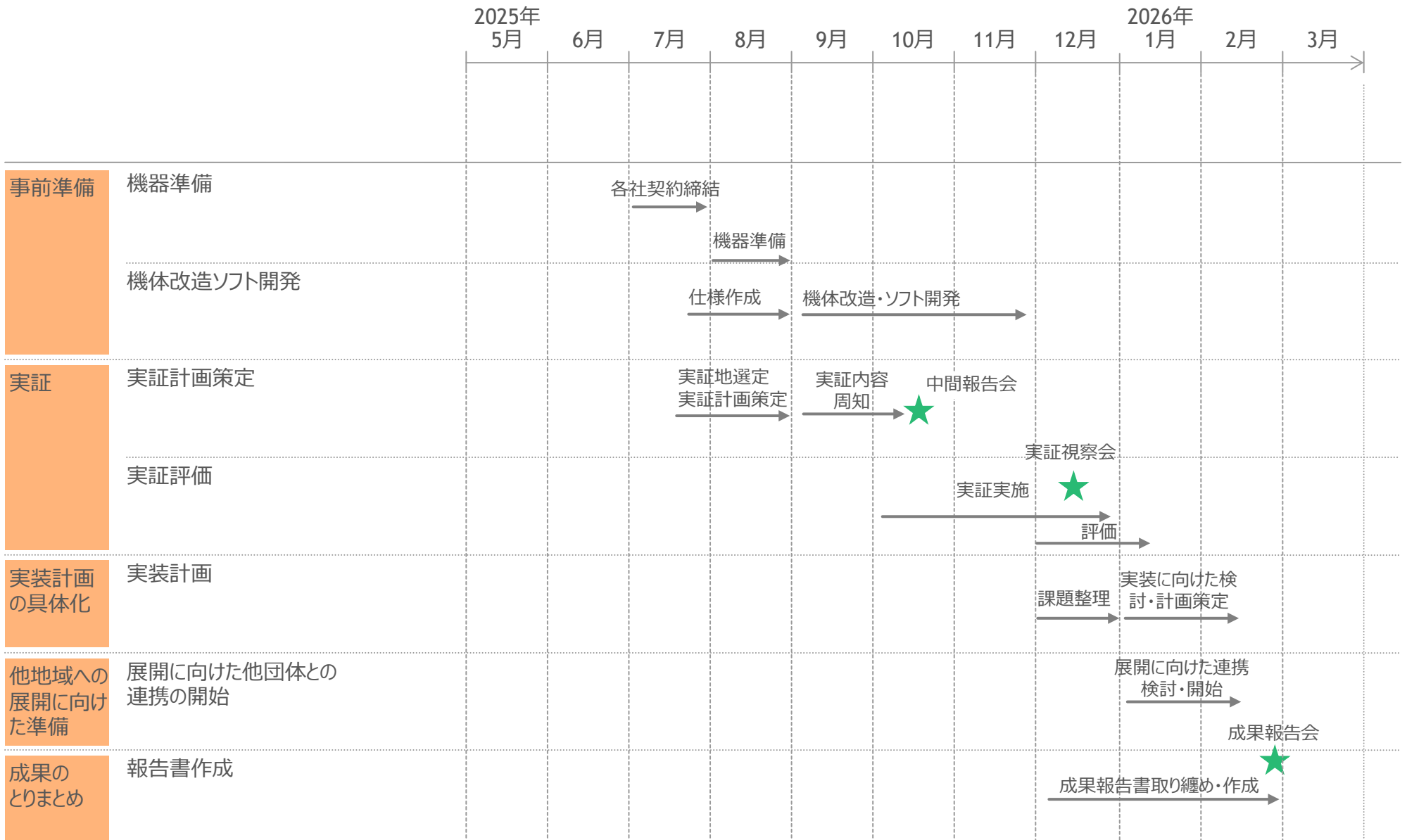
② 検証ポイント・検証方法

d. 展開先

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
様々な通信方式による上空でのエリア構築	I 通信エリアが確定し、ドローンによる目視外飛行ができること	Wi-Fi6E/7、Wi-Fi HaLow、StarLinkでの通信品質、設置方法を確認する。	効果面、技術面の検証結果より通信エリア構築の難易度を比較検討する。	14,000基のドローン物流が実現可能なこと	メンテナンスの対象となっている送電鉄塔のうち、中山間部に位置する約14,000基を対象とするため

Ⅲ実証

③ 実証スケジュール



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、ソフト開発の遅れ	全体計画では開発期間を3.5カ月確保しているが前工程である契約締結の遅延や再委託先の開発遅延により検証に必要な実装が間に合わないリスク	契約の早期締結を促進するほか、検証項目の優先度付けや状況に応じたスケジュール調整を行う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 通信機器の不通	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。 現地実証前に開発場所やテストフィールドで動作確認を行う。
	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。 飛行中に危険であると判断した場合はすみやかに実証を中止する。
実装計画の具体化	期待効果	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	実証による技術検証を行うとともに、その結果から実装時の期待効果や必要コストに関して導入先および販売先と内容を整合することで実装の蓋然性向上と将来的な課題の洗い出しを行う
他地域への展開に向けた準備	展開先の理解	ドローン飛行に対する技術面やコスト面での懸念事項により中電工業の塗装対象となる送電鉄塔および他団体への展開が進まないリスク	本実証において技術面での課題の洗い出しを行うとともに、各種通信方式の特徴をまとめることで通信品質及び導入コストを明確にする。これにより展開先の導入における懸念点を払しょくし、早期の横展開を実現する。

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：日本電気、中電工業、Co-de、NECソリューションイノベータ、日本航空電子工業、Prodrone
- 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：日本電気、中電工業、Co-de、NECソリューションイノベータ、日本航空電子工業、Prodrone
- アジェンダ
 - 進捗状況報告
 - 予算消化状況確認
 - 実装・横展開に関する確認

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：日本電気、中電工業、Co-de、NECソリューションイノベータ、日本航空電子工業、Prodrone※議題により参加企業を決定
- アジェンダ
 - 個別議題の方向性や対策を議論（実装・横展開の内容検討含む）

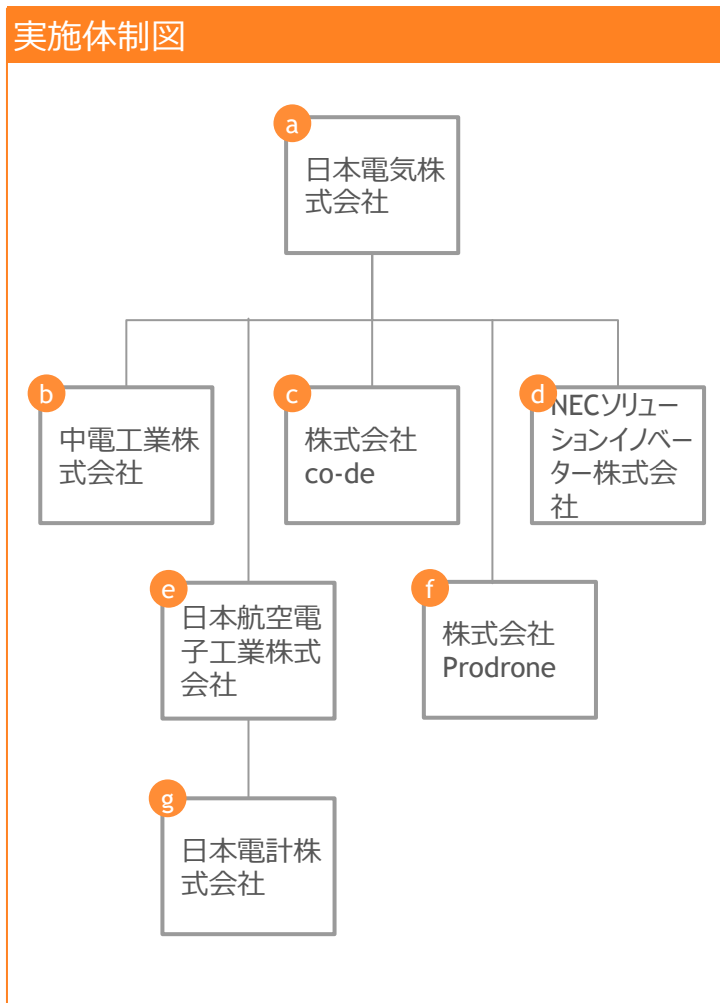
月次進捗報告

- 開催時期：月次
- 方法：オンライン
- 体制：日本電気、中電工業、Co-de、NECソリューションイノベータ、日本航空電子工業、Prodrone
- アジェンダ
 - 進捗状況報告
 - 予算消化状況確認
 - 実装・横展開に関する確認

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：日本電気、中電工業、Co-de、NECソリューションイノベータ、日本航空電子工業、Prodrone※内容に応じて参加企業を決定
- アジェンダ
 - 緊急課題の対応方針

6 実証の実施体制

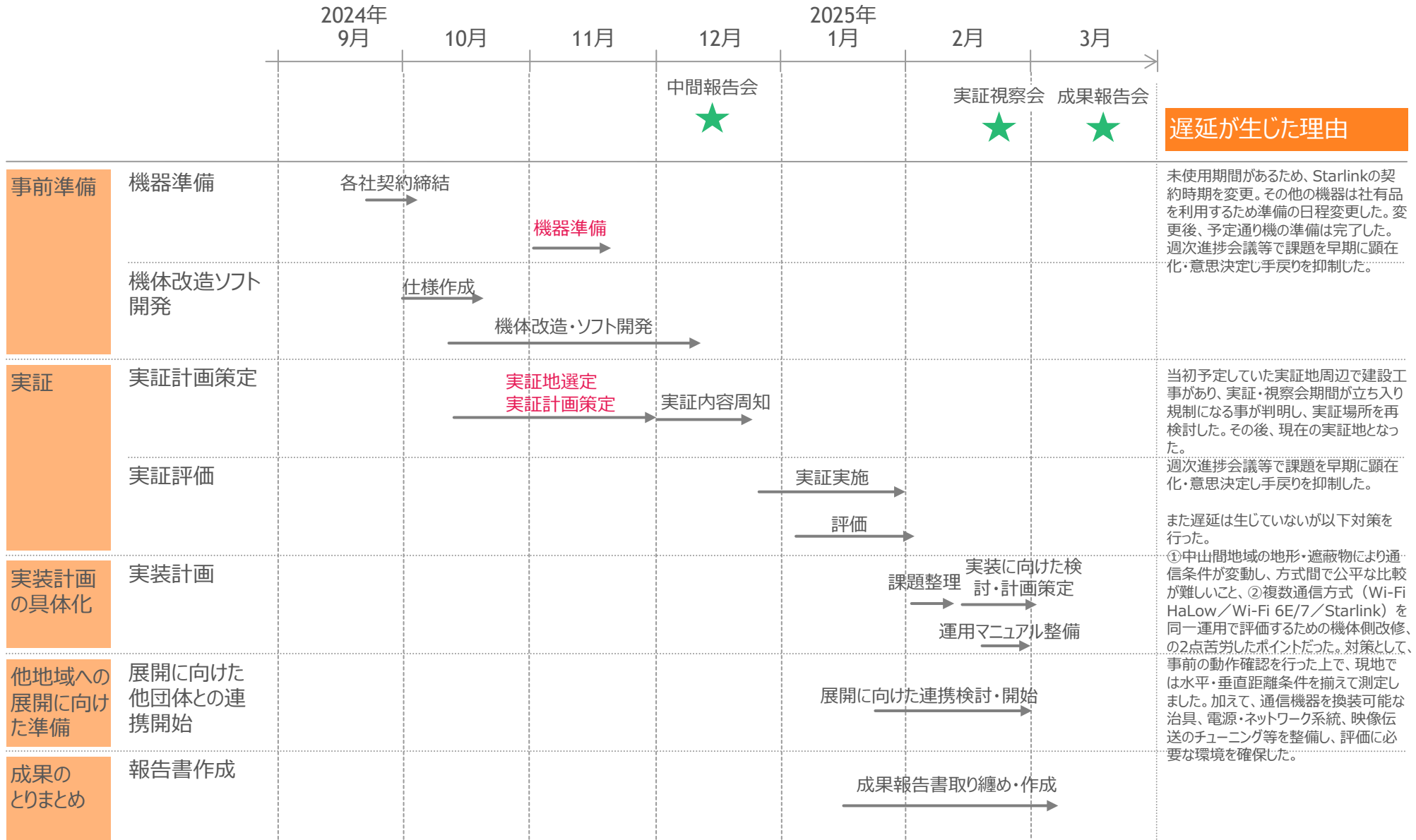


団体名	役割	リソース	担当部局/担当者
a 日本電気株式会社	プロジェクトの全体管理 実証統括	4名×335時間	前川 淳
b 中電工業株式会社	実証企業 実証フィールド提供	3名×24時間	花田 正樹
c 株式会社co-de	実証サポート・助言	2名×24時間	谷口 浩一
d NECソリューションイノベーター株式会社	性能測定	5名×174時間	下問 勝司
e 日本航空電子工業株式会社	実証環境構築	検証：2名×25時間 資料：3名×30時間	中里 憲一
f 株式会社Prodrone	機体改造 飛行支援	3名×214時間	伊藤 聖一
g 日本電計株式会社	Wi-Fi HaLow のハードウェア開発、ソフトウェア開発	2名×8時間	武田 佳樹

IV 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



IV 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. 効果面

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
様々な通信方式による上空でのエリア構築	荷物の積み込みから、物流、荷下ろしが自動化できるか、飛行試験にて確認	4人で実施している作業が2人で実施可能か確認する	<p>今年度は安全上の制約と技術前提（高低差・遮蔽・中継運用の未確立）により、2人運用/荷下ろし自動化は未評価（未達）</p> <p>ただし、4人で実施しているドローン飛行について、2人で行うためのドローンに求められる要件について机上検討を行った。実現には目視外飛行での運用が必要であり、LTE不感エリアでの実用化に向けた課題を抽出した。</p> <p>本実証を通じて水平方向であれば通信は繋がることが確認できた。</p> <p>しかし実運用レベルではスタート地点とゴール地点の高低差が著しいユースケースがあるため更なる運用面含めた実証が今後必要。</p> <p>また中継機の活用は実運用を想定し、どのような活用が最も効果的か引き続き検討する必要はあることが判明した。</p>	<p>実運用では「高低差」「樹木遮蔽」「中継機（中継ドローン）の配置・高度・手順」「映像遅延」が支配的となり、これらを織り込んだ条件設定なしでは2人運用の成立可否を判断できない。</p> <p>よって、次年度は運用想定ケースを定義した上で、2人運用の成立条件/荷下ろし自動化の成立条件/費用対効果（人員・時間・機材損料・運用コスト）を現地模擬で実測・定量化し、損益モデルへ反映する。</p> <p>①中継機の飛行高度が高くなり電波の受信角度が変動する可能性があることから検証が必要</p> <p>②実際の運用では機体が樹木の影に入り込んでいくのでその条件で検証が必要</p> <p>③映像遅延があるため、安全・信頼性向上が必要</p> <p>来年度の実証では以下を実施する想定</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 2人運用の成立条件（役割分担、監視範囲、異常時対応、必要機材） (2) 荷下ろし自動化の成立条件（成功率、手動介入条件、周辺障害物条件） (3) 費用対効果の実測（作業時間、人員、機材損料、運用コスト） <p>を、現地運用を模した飛行試験で実測・定量化し、導入判断に必要な損益モデルへ反映する方針</p>

IV 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. 技術面

ソリューション	検証ポイント		検証結果												
	項目	目標													
様々な通信方式による上空でのエリア構築	通信可能エリアの拡大	スループット： 200kbps	・同一観点で比較した結果、Wi-Fi HaLowは「到達性／RSSI」の面で有望 <table border="1"> <thead> <tr> <th>通信方式</th> <th>到達性 (1km)</th> <th>運用成立品質 (1km時の通信容量)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Wi-Fi HaLow</td> <td>○ 1km到達 ・通信速度：63kbps ・安定性：到達率 96.4% (ping loss 3.6%)</td> <td>△ 目標値である200kbpsに達していない</td> </tr> <tr> <td>Wi-Fi 6E</td> <td>× 1km不達</td> <td>× 1km不達</td> </tr> <tr> <td>Wi-Fi 7</td> <td>× 1km不達</td> <td>× 1km不達</td> </tr> </tbody> </table>	通信方式	到達性 (1km)	運用成立品質 (1km時の通信容量)	Wi-Fi HaLow	○ 1km到達 ・通信速度：63kbps ・安定性：到達率 96.4% (ping loss 3.6%)	△ 目標値である200kbpsに達していない	Wi-Fi 6E	× 1km不達	× 1km不達	Wi-Fi 7	× 1km不達	× 1km不達
		通信方式		到達性 (1km)	運用成立品質 (1km時の通信容量)										
		Wi-Fi HaLow		○ 1km到達 ・通信速度：63kbps ・安定性：到達率 96.4% (ping loss 3.6%)	△ 目標値である200kbpsに達していない										
		Wi-Fi 6E		× 1km不達	× 1km不達										
Wi-Fi 7	× 1km不達	× 1km不達													
電波強度： Wi-Fi6E/7:- 75dbm Wi-Fi-HaLow:- 90dbm StarLink：圏内															

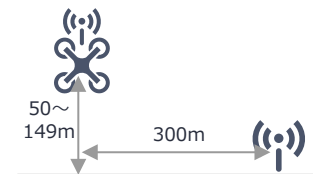
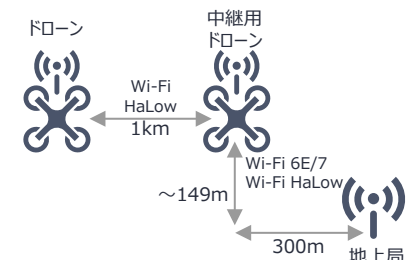

※Starlinkは電波法により移動体への搭載は不可のため、地上に固定した状態で測定実施

Starlink	- 電波法によりドローン搭載不可	○ GCSサーバー間での通信品質は良好 ・uplink 10.0~17.7Mbps ・downlink 21.0~44.0Mbps
----------	------------------	---

IV 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. 技術面

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察												
	項目	目標														
様々な通信方式による上空でのエリア構築	通信可能エリアの拡大	スループット : 200kbps	<ul style="list-style-type: none"> Wi-Fi HaLow 2台 (地上～上空) <ul style="list-style-type: none"> 水平距離 300m  <table border="1" data-bbox="932 571 1408 714"> <thead> <tr> <th>上空側高度(m)</th> <th>スループット(kbps)</th> <th>RSSI(dbm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td> <td>64.9</td> <td>-80</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>62.6</td> <td>-85</td> </tr> <tr> <td>149</td> <td>67.2</td> <td>-87</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> 何れもパケットロス無し 水平距離 500m/1kmの場合 断続的にpingは到達するがスループット計測不可 	上空側高度(m)	スループット(kbps)	RSSI(dbm)	50	64.9	-80	100	62.6	-85	149	67.2	-87	<ul style="list-style-type: none"> 高度差がある2点間ではWi-Fi HaLow、Wi-Fi 6E/7の何れも300m程度が限界である。 高低差がない場合にはWi-Fi HaLowで1km程度まで通信が可能 推奨構成 <ul style="list-style-type: none"> 地上～中継用ドローン間 <ul style="list-style-type: none"> 距離 水平距離300m程度まで 機材 Wi-Fi HaLowまたはWi-Fi 6E/7 Wi-Fi 6E/7であれば中継ドローン1機で複数のドローンの中継も論理的には可能 中継用ドローン～末端ドローン間 <ul style="list-style-type: none"> 距離 1km程度まで 機材 Wi-Fi HaLow 
		上空側高度(m)		スループット(kbps)	RSSI(dbm)											
50	64.9	-80														
100	62.6	-85														
149	67.2	-87														
電波強度 : Wi-Fi6E/7:-75dbm Wi-Fi-HaLow:-90dbm StarLink : 圏内	<ul style="list-style-type: none"> Wi-Fi HaLow 2台 (上空～上空) <ul style="list-style-type: none"> 水平距離 1000m、2台に高度差無  <table border="1" data-bbox="932 1085 1408 1228"> <thead> <tr> <th>高度(m)</th> <th>スループット(kbps)</th> <th>RSSI(dbm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td> <td>55.6</td> <td>-82</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>64.9</td> <td>-76</td> </tr> <tr> <td>149</td> <td>64.9</td> <td>-75</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> 何れもパケットロス無し 	高度(m)	スループット(kbps)	RSSI(dbm)	50	55.6	-82	100	64.9	-76	149	64.9	-75			
高度(m)	スループット(kbps)	RSSI(dbm)														
50	55.6	-82														
100	64.9	-76														
149	64.9	-75														

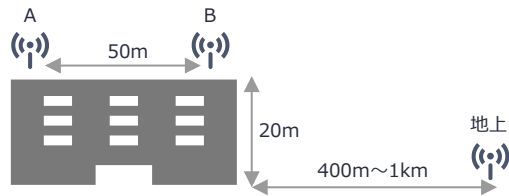
IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面

検証結果

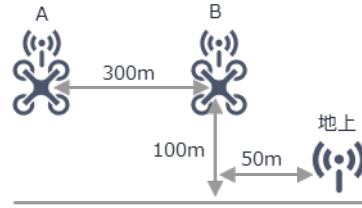
- Wi-Fi HaLow 3台 (ビル屋上A→ビル屋上B→地上)【参考値①】
 - ビル屋上A～ビル屋上B: 水平距離50m、高度差無
 - ビル屋上B～地上: 水平距離400m～1km
 - ビル屋上高度: 15m
 - ビル屋上A: ステーション、ダイバーシティ機能ON
 - ビル屋上B: メッシュポイント兼アクセスポイント、ダイバーシティ機能OFF
 - 地上: メッシュゲート、ダイバーシティ機能OFF



B～地上 水平距離(m)	A→地上 スループット(kbps)	B～地上 RSSI(dbm)
400	64.9	-82
500	64.9	-76
600	64.9	-89
700	64.9	-76
1000	62.6	-82

1000mのみパケットロス 3.6%

- Wi-Fi HaLow 3台 (上空→上空中継→地上)【参考値②】
 - ドローンA～ドローンB: 水平距離300m
 - ドローンB～地上: 水平距離50m
 - ドローンA、ドローンB: 高度100m
 - ドローンA: ステーション、ダイバーシティ機能ON
 - ドローンB: メッシュポイント兼アクセスポイント、ダイバーシティ機能OFF
 - 地上: メッシュゲート、ダイバーシティ機能OFF



	A→地上 スループット(kbps)
最小	151
平均	253
最大	366

パケットロス 1.2%

考察

- Wi-Fi HaLowのダイバーシティ機について
 - メッシュ機能を有効としているデバイスではアンテナのダイバーシティ機能を無効化すると水平距離1kmでも近距離と遜色がないスループットが得られている。
 - ダイバーシティ機能が通信品質に影響を与えていることが考えられる。
 - 左記参考値①はドローン非搭載の状態(全デバイスを固定設置)で計測したため、今後ドローンへ搭載した場合のダイバーシティ機能の影響の深耕が必要である

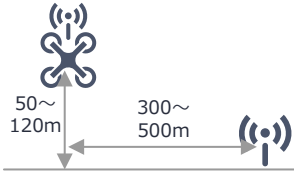
IV 結果・考察 (実証結果と実装・横展開に向けた準備)

② 検証項目ごとの結果

b. 技術面

検証結果

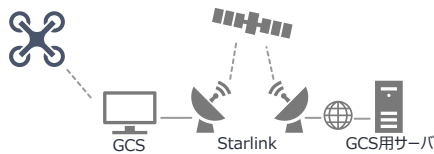
- Wi-Fi 6E/7 2.4GHz帯 2台 (地上～上空)



Wi-Fi種別	水平距離(m)	高度(m)	スループット(Mbps)
Wi-Fi 6E	300	50	10.5
Wi-Fi 6E	300	120	13.0
Wi-Fi 6E	500	100	0.9 (*1)
Wi-Fi 7	300	50	25.2
Wi-Fi 7	300	120	13.0
Wi-Fi 7	500	100	不達

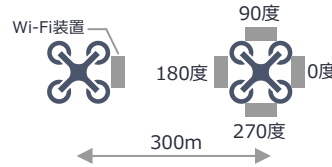
- (*1) パケットロス有
- 水平距離 1km Wi-Fi 6E、Wi-Fi 7とも計測不可

- Starlink (GCS～Starlink～GCS用サーバ)
GCSとGCS用サーバ間のTCPスループット



通信方向	スループット(Mbps)
uplink	10.0～17.7
downlink	21.0～44.0

- Wi-Fi 7 2.4GHz帯 2台 (地上～上空)
Wi-Fi装置の向きによるスループットの変化
(下図は上から見た状態)



高度差(m)	向き	スループット(Mbps)
50	0度	4.28
50	90度	9.39
50	180度	25.2
50	270度	13.7
100	0度	1.04
100	90度	15.5
100	180度	9.28
100	270度	5.59

考察

- 方式別特徴 (周知の特徴以外で本実証で運用するケースを考慮)
 - Wi-Fi HaLow
 - OSがOpenWRTベースのため電源を切断する際にUNIXのようにシャットダウン操作が必要である。実運用ではWi-Fi HaLow装置の改善、運用での考慮が必要となる。
 - Wi-Fi 6E/7
 - 装置の向きは必ずしも180度(双方が向かい合う方向)がベストではない。装置のアンテナの指向性の仕様等の深耕が必要である。上記の結果のうえでドローンへの搭載方法、ドローン飛行時の配慮が必要となる。
 - 屋外において300m程度までは安定的にある程度のスループットが確保できる。
 - Starlink
 - モバイルネットワークに匹敵するスループットを得ることができる。
 - 現地でインターネットへのアクセスが必要な場合には有効な手段となりうる。
 - 今後、移動体へ搭載が可能となった場合には、Wi-Fi HaLowと比較し効果/コストの両面から最適な通信方式を選択する。またはユースケース毎に使い分けて活用する可能性を検討する。

IV 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. 運用面

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
様々な通信方式による上空でのエリア構築	機体改造内容の検討	機体改造費：800万の確定 ランニングコスト：118万円の確定	<ul style="list-style-type: none"> ● 機体改造内容（スキッド改修・システム改修） 機体改造費の概算を算出できた（約750万円：通信開発＋スキッド改造）ため、目標（800万円の確定）に対し概ね達成（次年度に仕様確定に合わせ精緻化） <p>【具体的な改造内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Wi-Fi HaLow、Wi-Fi 6E、Wi-Fi 7を任意に換装・搭載可能とする専用治具の設計および製造 ● 地上局側の各APについて、地表からの設置高を安定させるための保持治具の設計および製造 ● Wi-Fi HaLow、Wi-Fi 6E、Wi-Fi 7に対応した電源系統およびネットワーク系統の設計と実装 ● 各通信方式において、機体とGCS間のリアルタイムデータ（テレメトリ、映像ストリーミング）送信の最適化・チューニングを実施 ● 飛行時における通信安定性をモニタリングする検証用システムの構築 ● 低スループット環境下でのリアルタイム映像配信システムの構築 <ul style="list-style-type: none"> ● ランニングコスト ランニングコストの概算も算出（約82万円/年）でき、目標（118万円の確定）に対し概ね達成（算定範囲は次年度に精緻化） ● 吊り下げ仕様に伴う改造費（1m固定式） ● 機体改造費用（概算）：約300万円～ ※物流の仕様によって金額および期間変動 	<ul style="list-style-type: none"> ● 実装時の最大スループットを確保するため、機体へのアンテナ搭載角度や設置位置の最適化、および機体フレーム（カーボン材等）による電波遮蔽の影響、他搭載機器からの相互干渉（EMC）に関する詳細な検証が必要である。 ● 中継機（中継ドローン）前提の運用が必要となるケースがあり、構成・手順の最適化と費用前提の更新が必要 ● ランニングは算出できたが、費用対効果で用いる118万円/年との算定範囲を統一し、保守・通信費等を含めた形で精緻化して損益モデルへ反映する必要がある。

IV 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	遠隔操作や映像伝送の信頼性確保	高低差がない場合にはWi-Fi HaLowで1km程度まで通信が可能	実際の運用では機体が樹木の中に入り込んでいくため、実装レベルに近い状況での検証が必要
	人材育成や運用マニュアル整備	実現場（LTEエリア）にて目視外自動飛行の訓練を実施し、今後も人材育成を継続実施	LTE不感エリアでの目視外自動飛行ではよりリスクが高まるため、運用マニュアルの改訂が必要
	目視外自動飛行の運用	2026年度下期実施予定	
	目視外自動飛行に適した機体改造	2027年度上期実施予定	
	費用対効果の評価	2026年度下期実施予定	
	2026年度総務省補助事業での資金調達	2026年度上期実施予定	
	NEC社内の製品開発費の確保（900万円）	2027年度上期実施予定	
横展開に向けて	省庁補助事業の資金調達（900万円）	2027年度上期実施予定	
	導入意思決定支援	2027年度下期実施予定	
	共通化の対応	2027年度下期実施予定	
	ニーズの把握	2027年度上期実施予定	
	広報活動	2026年度下期実施予定	

IV 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	対応策	対応する団体名	対応時期
実装に向けて	高低差があるユースケースでの通信評価	高低差条件（地形遮蔽/樹木遮蔽を含む）を“運用想定ケース”として定義し、通信方式別に到達距離・スループット・途切れ方を再測定。	NEC、中電工業	2026年度下期
	中継機の運用方法検討	運用想定ケースを定義し、最適な中継機の配置方法の検討	NEC、中電工業	2026年度下期
	機体へのアンテナ搭載角度や設置位置の最適化	機体フレーム影響や指向性を考慮した搭載治具の標準案を作り、最も安定する姿勢・角度を決める。	NEC、中電工業	2026年度下期
	目視外自動飛行の運用	実現場（LTE不感エリア）での運搬ドローンの目視外自動飛行の運用検証	中電工業	2026年度下期
	duty制限による実装の障壁	デューティ制限の制約が実装上の障壁となり得るため、実装フェーズでのリスクとして整理し、対応策を明確化	NEC	2026年度下期
	目視外自動飛行に適した機体改造	必須改造項目だけで性能満たす最小セットを確定	プロドローン/マゼックス	2027年度上期
	費用対効果の評価	実証結果を反映し、初期費用とランニングを更新して、導入規模に応じた損益モデルを再計算	NEC、中電工業	2026年度下期
横展開に向けて	導入意思決定支援	導入希望先に対して「安全・効率・コスト」の判断軸で、意思決定に必要な情報を資料にまとめる	NEC	2027年度下期
	共通化の対応	地域差（地形・運用・機体）に左右されない共通モジュールを定義し、可変部分だけを差し替える設計にする。	NEC	2027年度下期
	ニーズの把握	送配電事業者・協力会社の通信課題/業務課題をヒアリング	NEC	2027年度上期
	広報活動	実証の成果をプレスリリース等で発信する	NEC	2026年度下期

IV 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

a. 概要

開催場所:岡山市東区内の送電鉄塔 (明王寺敷地内)

開催日時:2026年2月19日 (木)

デモ項目	内容	備考
従来の運搬方法の実演	中電工業が普段行っている塗料の背負い運搬を再現し、狭い範囲での移動・積み下ろしをお見せし、所要時間や負荷感をご覧いただく。	-
通信機器搭載のドローン飛行 + 映像伝送	業務シナリオを想定した飛行中にライブ映像を地上局へ伝送します。会場モニタに映像を表示し、LTE不感環境を想定した条件でも必要画質を満たせるかを確認いただく。飛行ルート・高度は安全基準および当日の風況に応じて調整する。	ヘルメット着用
中継ドローンの飛行 + 映像伝送	運搬ドローン→中継ドローン→地上局のホップ構成で、中山間地域での地形遮蔽や距離延伸時の到達性向上をお見せする。	ヘルメット着用

IV 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

質問事項	回答内容	アクション	
		内容	期限
実証をしたことによって分かったことはなにかあるか	<ul style="list-style-type: none">・水平ではなく高低差を付けた実証が必要である。・アンテナの角度により通信の品質が大きく変わる。	実運用レベルではスタート地点とゴール地点の高低差が著しいユースケースがあるため更なる運用面含めた実証が今後必要	2027年3月
映像品質は目視外飛行運用に足りているのか	<ul style="list-style-type: none">・画面を小さくすれば粗さはなくせる。・遅延は今後解消が必要。	小さめのモニターで見ることで粗さはなくせるが、遅延は引き続き検討が必要	2027年3月

V 実装・横展開の計画

① 実装の計画

a. 実装において今後目指す状態

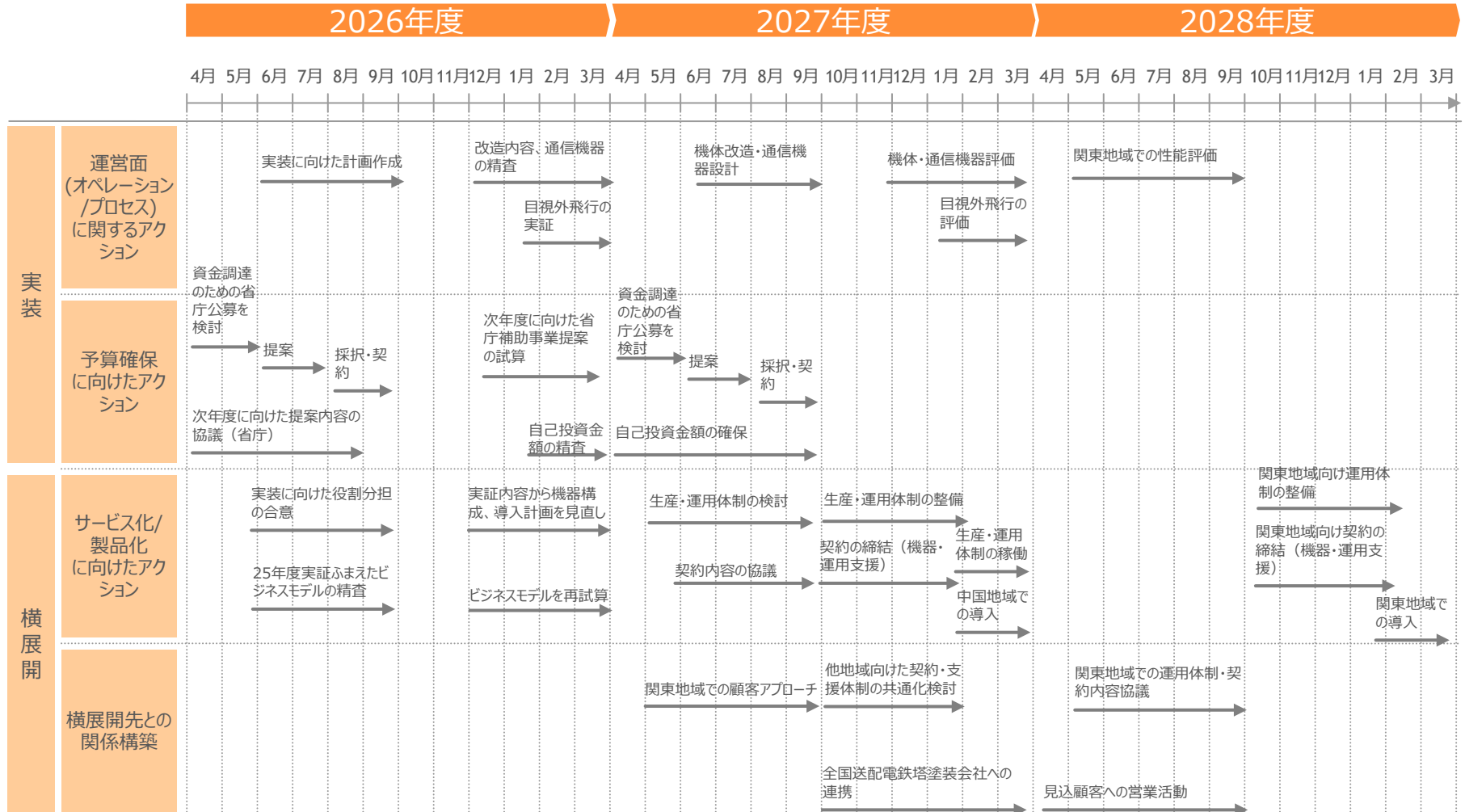
実装先	中国地域
-----	------

	2026年度		2027年度		2028年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
運用	<ul style="list-style-type: none"> ・実装に向けた計画策定の完了 	<ul style="list-style-type: none"> ・実装に必要な機体改造内容と通信機器を精査完了 ・実運用を想定した目視外飛行の実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・実装に向けた機体改造、通信機器開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・機体、通信機器の評価 ・目視外飛行の評価 ・中国地域での導入 	<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域での評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域での導入
予算	<ul style="list-style-type: none"> ・資金調達のため省庁補助事業に採択 	<ul style="list-style-type: none"> ・翌年度の省庁補助事業獲得に必要な情報の精査 ・自己投資に必要な金額の精査 	<ul style="list-style-type: none"> ・資金調達のため省庁補助事業に採択 ・自己投資金額の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・実装に向けた製品化の予算執行管理 		
体制	<ul style="list-style-type: none"> ・実装に向けた役割分担の合意 		<ul style="list-style-type: none"> ・生産体制検討 ・運用体制協議 ・契約内容の協議 	<ul style="list-style-type: none"> ・生産・運用体制整備、稼働開始 ・機体、通信機器、運用支援に係る契約 ・他地域展開に向けた共通化検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域での運用体制協議 ・契約内容の協議 	<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域での運用体制整備、稼働開始 ・機体、通信機器、運用支援に係る契約
ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"> ・25年度実証をふまえたビジネスモデルの精査 	<ul style="list-style-type: none"> ・実装に必要な機器構成、導入計画での試算 		<ul style="list-style-type: none"> ・全国送配電鉄塔塗装会社への連携開始 ・見込顧客数の拡大 		

V 実装・横展開の計画

① 実装の計画

b. 今後3年間で実施するアクション



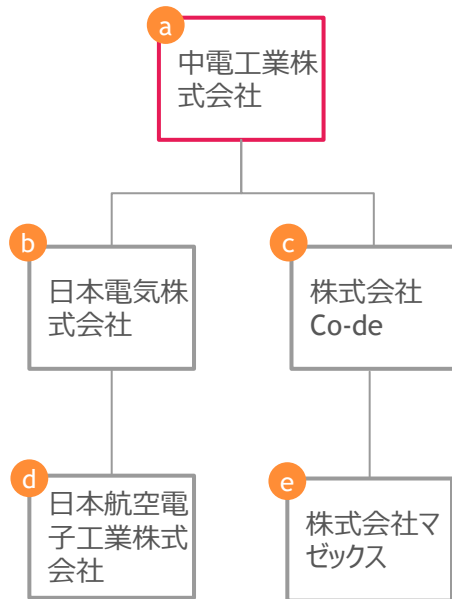
V 実装・横展開の計画

1 実装の計画

c. 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 中電工業株式会社	本実証をもとに開発された機器を活用した送配電鉄塔保守のための運搬業務	3名
b 日本電気株式会社	通信機器提供、保守サポート	4名
c 株式会社Co-de	ドローン機体提供、保守サポート	2名
d 日本航空電子工業株式会社	通信機器提供	2名
e 株式会社マゼックス	ドローン機体提供	3名

V 実装・横展開の計画

① 実装の計画

d. ソリューション(変更点) -ソリューションの概要

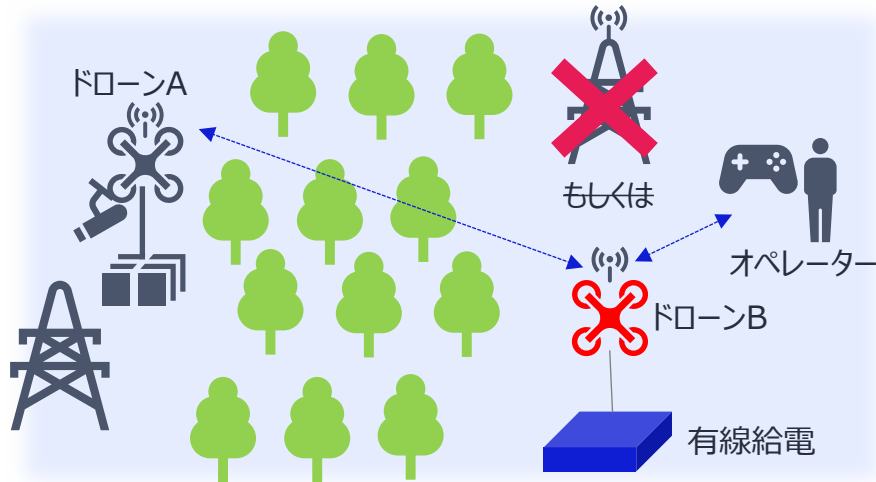
ソリューションの概要

離陸地点から目的地となる送電鉄塔までのドローン物資輸送を実現するために、Wi-Fi HaLow、Wi-Fi6E/7、StarLinkを活用して通信エリアを構築。物流用ドローンに通信機器を搭載し、オペレーターと通信する。通信エリアの構築において、送電鉄塔または、ホバリングするドローンに通信機器を搭載し、通信を中継する。

本実証においては離陸地点に送電鉄塔がない場合を想定し、物流用ドローンと離陸地点上空にホバリングするドローン(下図のドローンA⇔ドローンB⇔オペレーターによる通信)にて検証を行う。

送電鉄塔の保守点検を行う業者は、既にオペレーター2人による目視内手動飛行によるドローン物流を実施している。

本実証の成果を適用できた場合、オペレーター1人での目視外自動飛行とし、物資輸送できる送電鉄塔の数を拡大することで更なる人件費の削減や作業の効率化、安全性向上が可能になる。さらに将来的に同様の取り組みを行っている他の送電鉄塔の保守点検業者へと展開することを目指す。



中間アウトカム (実証)

定量アウトカム

- 水平・垂直距離ごとにスループットを測定
200kbps(水平 1km、垂直1m)
- 水平・垂直距離ごとに電波強度を測定
Wi-Fi6E/7 : -75dbm
Wi-Fi HaLow : 90dbm
StarLink : 圏内
(水平1km、垂直1m)
- 自動運航によるドローン物流実施時のオペレータの人数
2人

定性アウトカム

- 送電鉄塔保守点検業務における安全性の向上
- 物資輸送業務効率化に伴う点検作業者の負担軽減

中間アウトカムの実現に繋がるソリューションの価値

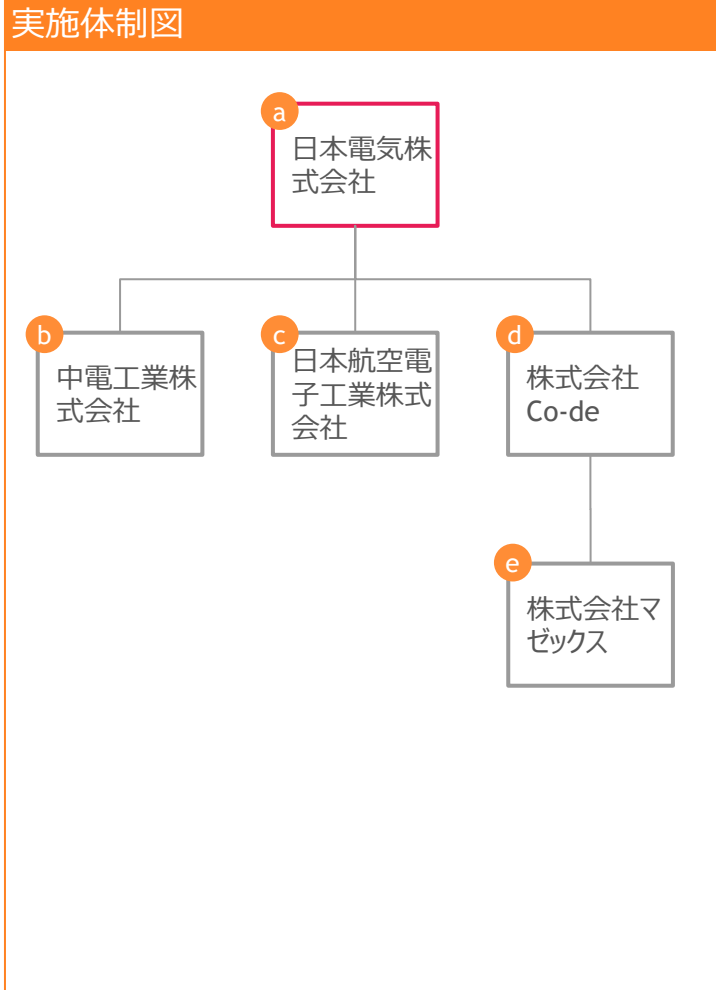
- ドローン物資輸送実現に必要な通信エリアの拡張
 - ドローン飛行に必要な通信エリアを拡張することで、目視内にとどまらず目視外での飛行が可能となる
 - 目視外自動飛行を実現することで、ドローン飛行のためのオペレーター数減少が可能となる
 - ドローン物資輸送が可能な送電鉄塔の数を拡大することで、更なる人件費削減や安全性向上が可能となる

V 実装・横展開の計画

② 横展開の計画

a. 横展開の体制

□ :横展開の取組全体の責任団体

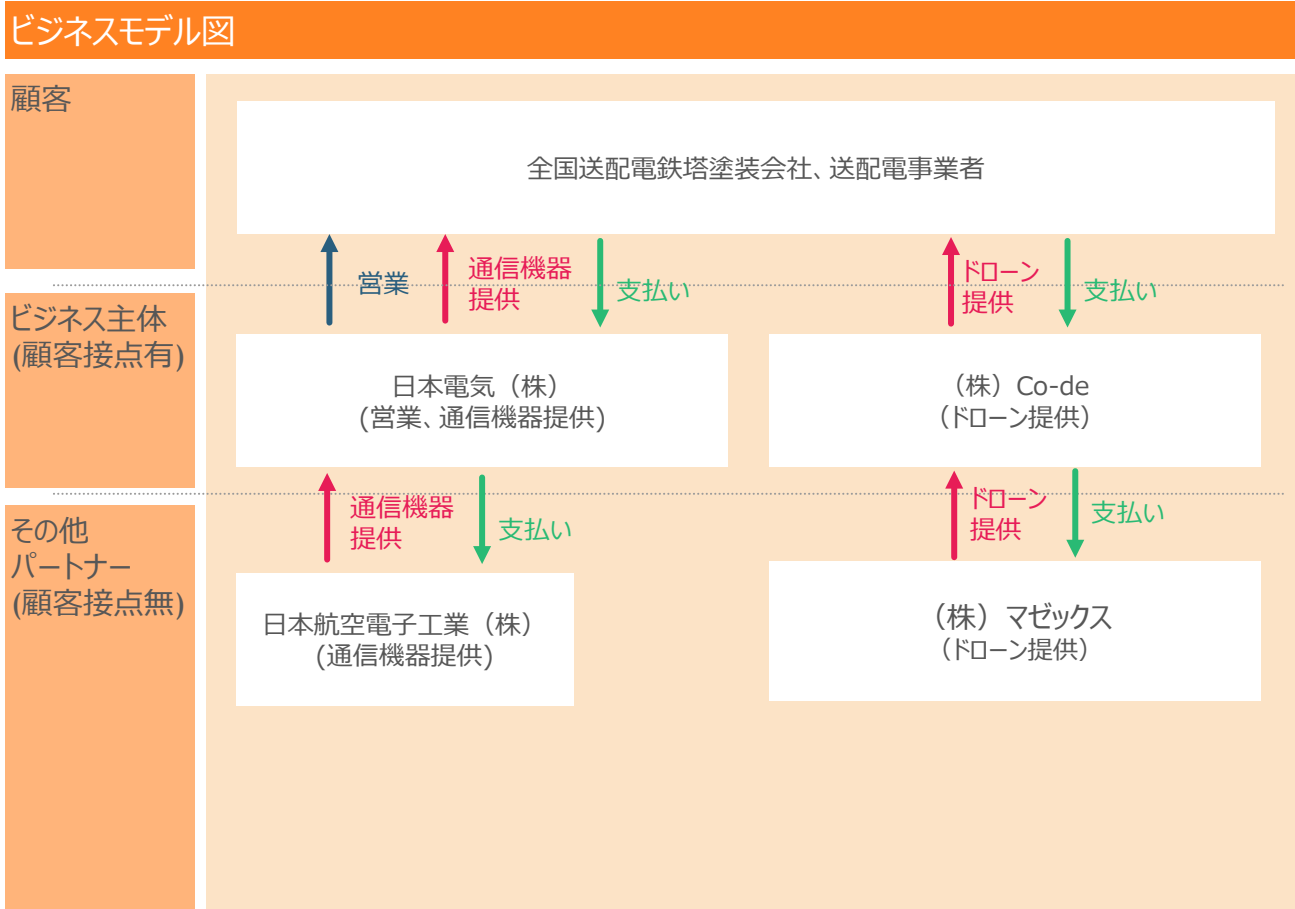
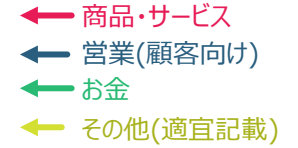


団体名	役割	リソース
a 日本電気株式会社	プロジェクトの全体管理 通信機器提供、保守サポート 横展開先アプローチ（電力会社）	4名
b 中電工業株式会社	横展開先アプローチ（送電鉄塔塗装会社）	3名
c 日本航空電子工業株式会社	通信機器提供	2名
d 株式会社Co-de	ドローン提供、保守サポート	2名
e 株式会社マゼックス	ドローン提供	2名

V 実装・横展開の計画

② 横展開の計画

b. ビジネスモデル



ビジネスモデル図

概要	LTE不感エリア等でドローン用通信構築、飛行支援を行うための機器販売
ポイント(工夫)	マネタイズモデル 【売り切り/サブスクリプション】 ・ 顧客に機器、機体を販売 (売り切り) ・ 保守をサブスクリプション提供
	ターゲット顧客 ・ 全国送配電鉄塔塗装会社 ・ 送配電事業者 (LTE不感エリアでのドローン飛行に通信の課題を持つ団体)
	その他 ・ 自営での通信環境を構築し、ドローンで代替・効率化する 【ユースケース】 (1) 中山間地域の送電鉄塔保守における塗料等の物資輸送 (本事業の主ユースケース) (2) 送電鉄塔保守における点検用機材・部材の運搬 (同一の運用・制約条件下で適用可能)

3 期待効果/資金計画

a. 販売主体

		2026年度	2027年度	2028年度
収益	収益/件 ^①	0円	3,368万円	6,854万円
	件数(導入先数) [×]	0件	1件	2件
	合計	0円	3,368万円	6,854万円
費用	イニシャル ^②	3,650万円	1,800万円	3,600万円
	ランニング/件 ^③	1,000万円		
	件数 (導入先数) [×]	0件	1件	2件
	合計	4,650万円	1,800万円	3,600万円
資金調達方法	総務省地域社会DX推進パッケージ事業(補助事業)	4,650万円 ^{※1}	0円	
	省庁補助事業	4,650万円 ^{※1}	900万円	
	日本電気	0円	900万円	

※1 どちらかの補助事業にて対応予定

各年度の費用小計に対して、経費を負担する主体を記載してください
(補助金等の記載も含む)

投資の
妥当性
(現時点
見立て)

販売主体

・機体本体および改造部分を販売する株式会社Co-de、通信機器部分を販売する日本電気株式会社は両社とも実装に向けた機器等を販売するため即時利益につながる見込み
・2029年以降中電工業でのドローンによる物資輸送可能な送電鉄塔の増加に伴い、数年おきにドローンおよび通信機器の販売による①の収益3,250万円が発生するため、利益がさらに拡大していくビジネスモデルとなっている
※ 2026年には実装に向けた機器購入費用3,650万円と実証対応費用1,000万円がかかる想定
※2027年度に記載のイニシャルコスト1,800万円は実証で使用した機器の製品化や製品導入に係る費用
※ 2028年には他の電力会社にも同様のビジネスを展開、販売予定

妥当性を
高めるため
の目標

目標

ドローン機体に施すべき機体改造と通信エリアを構築する通信機器を精査し、本実証のゴールとなる実装時点で達成すべき性能が発揮されるようにする

アクション

今年度および来年度の実証実験において具体的な機体改造内容と通信機器の選定を行うことで導入先の企業である中電工業株式会社が問題なく実装できるようにする

3 期待効果/資金計画

b. 導入先

		2026年度	2027年度	2028年度
収益		① 0円	3,000万円	3,000万円
費用	イニシャル	② 0円	3,250万円	-
	ランニング/件	③ 0円	118万円	118万円
	合計	0円	3,368万円	118万円
資金調達方法	中電工業株式会社 (イニシャルコスト)	0円	3,250万円	0円
	中電工業株式会社 (ランニングコスト)	0円	118万円	118万円

各年度の費用小計に対して、経費を負担する主体を記載してください (補助金等の記載も含む)

投資の妥当性 (現時点見立て)

導入先 (支払元)

本実証で検証した内容を元に実装を行うために必要な機材購入費用となるイニシャルコストは3,250万円。この投資を行うことで人力による物資輸送とドローンによる物資輸送のコスト差分年間3,000万円が収益となる

2029年以降ドローンによる物資輸送可能な送電鉄塔の更なる増加に伴い、②のイニシャルコスト3,250万円と年間のランニングコスト118万円を追加することにより①の年間収益が3,000万円ずつ増えていくため、利益がさらに拡大していくビジネスモデルとなっている

妥当性を高めるための目標

目標

今年度の実証内容を踏まえて機体改造内容を精緻にすることでイニシャルコストとして発生する機体改造費の削減を目指す

アクション

今年度実施する実証実験の内容を踏まえて実装において必要なシステム開発や改造内容を精緻化することで不要な機能等を削除することで機体改造費の削減を実施する

4 資金計画

		2025年度	2026年度	2027年度
収益	価格/件	0件	0件	3,368万円/1件
	総額	0件	0件	3,368万円
費用	イニシャル	8,560万円	3,650万円	1,800万円
	ランニング		1,000万円	
	小計	8,560万円	4,650万円	1,800万円
資金調達方法	総務省地域社会DX推進パッケージ事業(補助事業)	8,560万円	4,650万円※1	0円
	省庁補助事業		4,650万円※1	900万円
	日本電気株式会社		0円	900万円

※1 どちらかの補助事業にて対応予定

VI 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

実証をしたからこそ分かったことを再度整理してほしい旨の依頼があった。

内容

以下2点を成果報告書へ反映する。
・水平ではなく高低差を付けた実証が必要である。
・アンテナの角度により通信の品質が大きく変わる。

反映 ページ

P37

FPVの映像品質は足りているのか

以下2点を成果報告書へ反映する。
・画面を小さくすれば粗さはなくせる。
・遅延は今後解消が必要。

P37

VI 指摘事項に対する反映状況

② 成果報告会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	
実証で出た課題を成果報告書に明確に記載すること（特に中継器の運用方法）	中継機（中継ドローン）の運用は実運用での課題が出ており、今後運用の中で見直しが必要。成果報告書へ課題として明記する。	P37
Starlinkの書き分け（Wi-Fi 7/6等との違いを明確化）	StarlinkはWi-Fi系とは用途・構成が異なるため、成果報告書上で通信方式ごとに前提条件を分けて記載する。	P40
Starlinkが上空利用された場合の実装の考え方を記載	現時点の実証では上空利用はできない前提。今後、制度動向（上空利用が認められる方向）を意識し、将来の適用可能性として整理する。	P40
Wi-Fi HaLowのduty制限による実装の障壁、対応策を整理	Wi-Fi HaLowの運用においては、デューティ制限の制約が実装上の障壁となり得るため、実装フェーズでのリスクとして整理し、対応策を明確化する。	P40