

令和3年度
技術研究開発費補助金
(スマートシティ実装化支援事業) 報告書

令和5年3月

国土交通省 都市局

すさみスマートシティ 推進コンソーシアム

目次

1.	はじめに	1
1.1.	都市の課題について	1
1.2.	コンソーシアムについて	1
1.3.	スマートシティ実行計画の策定	1
2.	目指すスマートシティとロードマップ	2
2.1.	目指すまちづくりのビジョン	2
2.2.	ロードマップ	3
2.3.	KPI	3
3.	実証調査の位置付け	8
3.1.	実証調査を行う技術・サービスのロードマップ上の位置付け	8
3.2.	ロードマップ達成に向けた課題	9
3.3.	課題解決に向けた本実証調査の意義・位置付け	9
4.	調査計画	9
4.1.	調査で実証したい仮説	9
4.1.1.	すさみ町における仮説背景	9
4.1.2.	スマートシティ取組による仮説背景	11
4.1.3.	緊急輸送道路に対するドローン点検に関する仮説	12
4.2.	調査方針	13
4.2.1.	調査概要と計画	13
4.2.2.	実施地点	15
4.2.3.	使用機器	18
4.2.4.	利用データ	21
4.2.5.	システム	22
4.2.6.	実施体制	25
4.2.7.	スケジュール	25
4.3.	仮説の検証に向けた調査方法と確認事項	26
4.3.1.	3次元地図作成におけるドローン航行への障害となる人工物、電線等検知について	26
4.3.2.	技術1によるドローン事前航行ルート作成作業の効率化について	27
4.3.3.	ドローン点検における自治体作業効率化について	27
4.3.4.	ドローン点検飛行とシミュレーション結果比較について	28
5.	実証調査結果	30
5.1.	調査結果	30
5.1.1.	3次元地図作成におけるドローン航行への障害となる人工物、電線等検知の検証結果	37
5.1.2.	技術1に関する運行管理システムからの航行ルート作成の検証結果	41

5.1.3.	ドローン点検における自治体作業効率化	44
5.1.4.	ドローン点検飛行とシミュレーション結果比較（航行精度）	53
5.1.5.	ドローン点検飛行とシミュレーション結果比較（LTE 電波環境精度）	55
5.2.	分析	56
5.2.1.	3次元地図作成におけるドローン航行へ障害となる人工物、電線等検知の検証分析 57	
5.2.2.	技術1に関する運行管理システムからの航行ルート作成の検証分析	58
5.2.3.	ドローン橋梁点検による従来手法との比較インタビューの結果	59
5.2.4.	技術1に関するドローンシミュレーションから作成された飛行ルート精度の検証	60
5.2.5.	技術1に関するドローンシミュレーションから作成された飛行ルート電波環境精度 の結果分析	61
5.3.	考察	63
5.3.1.	仮説に対する考察	63
5.3.2.	本実証調査の社会実装に向けた今後の取組	64
6.	横展開に向けた一般化した成果	65
7.	まちづくりと連携して整備することが効果的な施設・設備の提案	75

1. はじめに

1.1. 都市の課題について

人口3,659人(R4.12.31現在)、消滅可能性都市上位3%（出典：日本創成会議「ストップ少子化・地方元気戦略」）に入るすさみ町は人口減少と高齢化が大きな課題。人口減少に関しては、自然減に加えて進学や就職等により毎年約100人減少。高齢化に関しては高齢化率47%超となっており、超高齢化社会となる10年先の日本の姿がすさみ町にある。

少子化の進行により、学校統合や規模縮小を余儀なくされ、学習環境の低下、地域産業の担い手不足といった生活に密着した課題の要因となっている他、二次交通網の衰退と観光産業の機会損失、災害時の避難体制不足や災害管理者不足にも繋がっている。

1.2. コンソーシアムについて

令和3年8月、町内外の企業などにより「すさみスマートシティ推進コンソーシアム」を設立。

産学金民官連携により、IoTやAIを含むICT等の先端技術を活用しながらスマートシティを目指し、地域の抱える防災、観光、交通、経済、高齢化等の諸課題を解決するとともに、人々の生活の質を高め、全体を最適化させながら持続的な発展が可能なまちの実現を目指すこと、を目的として活動をしている。

主な取組事項としては以下の2点が挙げられる。

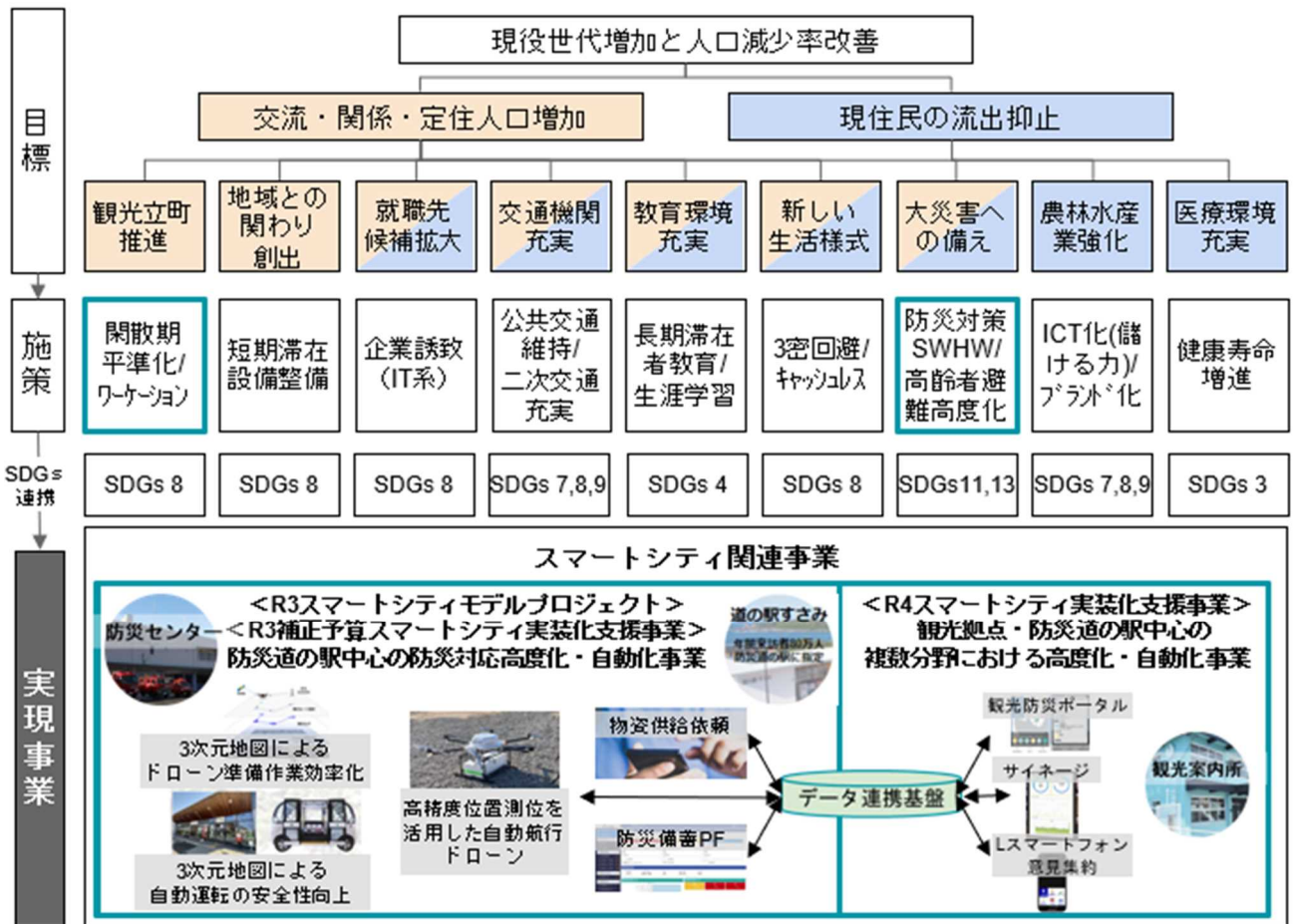
- (1) スマートシティ化に向けた実証事業の推進
- (2) スマートシティ推進を活用した豊かな暮らし・まちづくり

1.3. スマートシティ実行計画の策定

すさみ町では「すさみ町まち・ひと・しごと創生総合戦略」をもとに図表1の通りスマートシティ戦略を策定している。戦略における施策に対して、南紀熊野スーパーシティ構想では規制緩和及びデータ連携基盤整備とともに全般的に取り組む。スマートシティ関連事業では、南海トラフ地震等の大規模災害に備えて早々に対策が求められ、住民の関心も高い「防災」分野から実行する。

スマートシティモデルプロジェクト及びスマートシティ実装化支援事業では、防災分野の「防災道の駅中心の防災対応高度化・自動化事業」を実施する。

また、「観光」分野においては防災分野との施策と連携する事で、令和4年度から取組を開始する。

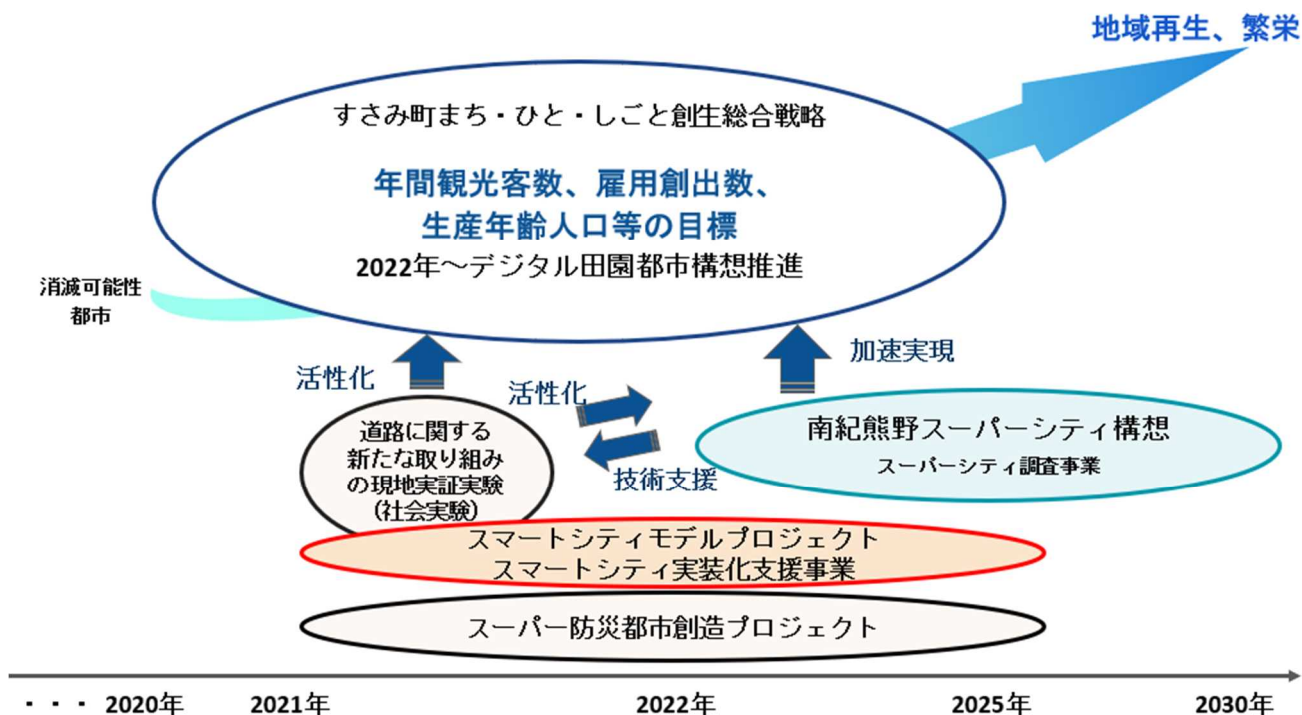


図表1 すさみ町のスマートシティ戦略と実現事業

2. 目指すスマートシティとロードマップ

2.1. 目指すまちづくりのビジョン

すさみ町では「すさみ町まち・ひと・しごと創生総合戦略」にて掲げている目標を加速実現すべく、内閣府「スーパーシティ型国家戦略特別区域の指定に関する公募」に対して、「南紀熊野スーパーシティ構想」を提案し、交流人口→関係人口→住民となる循環づくりを目指した。この目指すべき目標に対し、各事業が連携することで、まち・ひと・しごと創生総合戦略の加速実現及び活性化を目指す。



図表2 すさみ町の近年の取組とスマートシティモデルプロジェクトの位置づけ

参考

・すさみ町まち・ひと・しごと創生総合戦略：http://www.town.susami.lg.jp/docs/2016040400012/

2.2. ロードマップ

スマートシティ戦略の実現に向けたロードマップは図表3の通りである。

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
スマートシティ関連事業					
防災道の駅中心の防災対応高度化・自動化学業	○令和3年度取組み実績/知見連携 【防災分野】実証実験				
観光拠点・防災道の駅中心の複数分野における高度化・自動化学業	引継ぎ	【防災分野】実証実験 【観光分野】実証実験	商用開発	商用開発	社会実装
データ連携基盤		基本設計/試験環境構築	実証、基盤構築		社会実装

図表3 全体スケジュール

2.3. KPI

1章において提示した地域の課題に対して以下のKPIを設定し、事業評価を実施する。

すさみ町のスマートシティ戦略におけるKPI（大目標）およびスマートシティモデルプロジェクト及びスマートシティ実装化支援事業で実施する事業、スマートシティ関連事業で連携実施する事業におけるKPI（小目標）は、図表4の通りである。なお、スマートシティ戦略で策定すべきKPI（中目標、小目標）の一部は継続して検討中である。

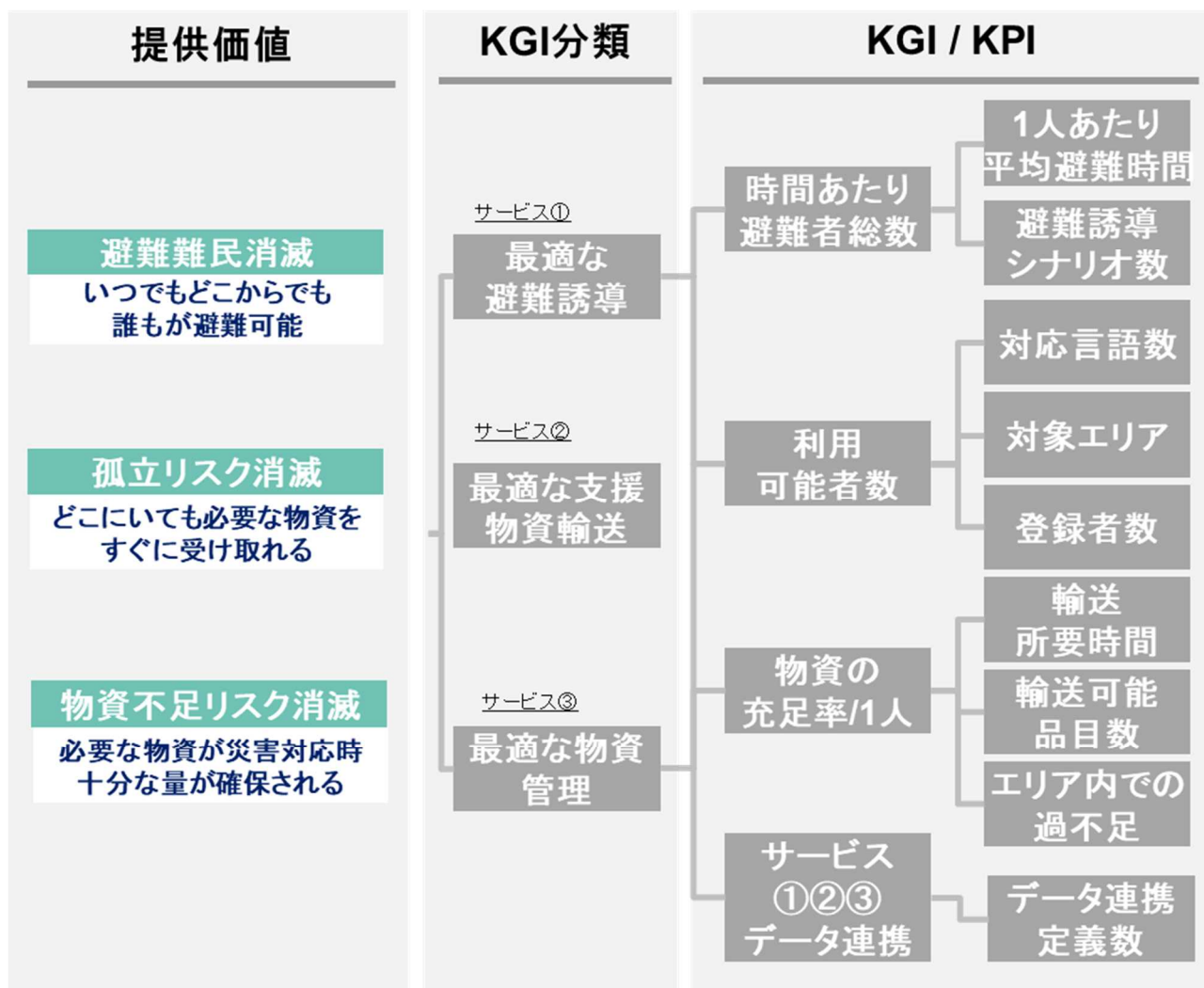
事業	KPI
スマートシティ戦略	
-	<p><大目標></p> <ul style="list-style-type: none"> ・観光客数の増加（令和元年達成の年間観光客数 100 万人への令和 4 年度引き戻し、年率 10%増加） ・関係人口の増加（令和 6 年までに企業誘致 1 件以上） ・住民化の促進（令和 6 年までに移住件数 10 世帯以上）
スマートシティモデルプロジェクト実施事業 スマートシティ実装化支援事業	
<p>防災 「防災道の駅中心の防災対応高度化・自動化事業」 から、「観光拠点・防災道の駅中心の複数分野における高度化・自動化事業」へ引継</p>	<p><中目標></p> <ul style="list-style-type: none"> ・最適な避難誘導サービスの提供（平時は観光客案内サービス） 単位分数当たりの避難者総数（KPI 検討中） サービス利用者数 （令和 6 年度までに避難可能な住民 100%来訪者 100%目標） ・最適な支援物資輸送サービスの提供 複数ドローン飛行を前提としたシミュレーション環境の構築による現地事前確認工数削減（令和 6 年度までにシミュレーション環境の整備） 物資配送可能ルート設定 （令和 6 年度までに道の駅すさみ～孤立想定避難所、全ルート設定） サービス利用者数 （令和 6 年度までに道の駅すさみ管理者と避難所管理者、全員） ・最適な物資管理サービスの提供 和歌山県、すさみ町、自治会の所持する防災備蓄品全ての管理 外部からの支援物資の管理 サービス利用者数（令和 5 年度までにすさみ町役場防災管理者、全員） ・避難誘導、支援物資輸送、物資管理の各サービスにおけるデータ連携の実現（令和 6 年度商用開始時にはデータ連携可能な状態とする） ・避難誘導、支援物資輸送、物資管理の各サービスにおけるドローン航行ルートシミュレーションに基づく飛行申請許可の実現（令和 6 年度商用開始時には全ルートが実施可能な状態とする） <p><小目標></p> <ul style="list-style-type: none"> ・一人当たりの平均避難時間の短縮（KPI 検討中） ・避難誘導シナリオの作成（KPI 検討中） ・避難誘導サービスの多言語化対応（令和 6 年度までに 15 か国語対応） ・避難誘導サービス対応エリア拡大（KPI 検討中） ・避難誘導サービス利用登録者数（KPI 検討中）

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 支援物資輸送実証実験サービスにおける避難所運営者とすさみ町役場の実証実験システム利用継続意向（令和4年度90%以上） ・ ドローンによる支援物資輸送実証実験における、道の駅すさみから配送物品重量5kg以上かつ無人地帯における補助員なしでの自動航行にて物資輸送が可能となる、孤立想定避難所までのルート設定の検証完了（令和3年度中に合計2か所完了済、令和4年度中に合計3か所完了） ・ ドローンによる支援物資輸送実証実験における、輸送可能物資種類の増加（令和3年度にて、食料品・毛布・衣類の検証実施完了、令和4年度以降にて、医薬品の検証実験完了） ・ ドローンによる支援物資輸送実証実験及び点検実証実験における、準備作業の効率化と依頼から完了（令和4年度に津波発生後2時間以内に点検開始の検証、物流におけるKPIは検討中） ・ 支援物資輸送と物資管理のデータ連携におけるデータ連携フォーマットの連携検証を完了（令和3年度に食料品1種目以上で実施完了、令和4年度にて要配慮者の属性毎における提供可否のデータ連携実施） ・ 安心安全なドローン航行の効率的な運用のため3次元地図を用いたシミュレーション環境構築と航行シミュレーションを仮想空間実施し、航行ルート作成が可能となること（令和4年度末まで（航行ルート作成前の現地試験飛行作業の削減） ・ ドローン飛行シミュレーションにて構築した3次元地図とドローンでのレーザー測定の差分により、自動運転車が走行前に実施する安全確認（道路上の障害物や異常検知）が効率的に実施可能かの検証（令和4年度末までに検証完了、令和5年度にポータル/サイネージ表示） ・ 支援物資輸送と物資管理のデータ連携におけるデータ連携のテスト環境を構築（期限検討中） ・ 避難誘導、支援物資輸送、物資管理、その他情報のデータ連携結果を基に平時は観光ポータル、緊急時は防災ポータルとなる、ポータルサイト及びサイネージ表示の環境を構築（令和4年度テスト環境構築し観光イベント防災訓練で活用、令和5年度までに商用構築） ・ 避難所における物資過不足及び異常点検をスマートフォンで簡易に依頼可能なシステムを構築しドローン物流及び点検を実施するかつ、同一システムにて依頼観光客や住民のアンケート取得を可能とすること（令和4年度テスト環境構築し観光イベント防災訓練で活用、令和5年度から一部商用構築）
<p>観光 「防災道の駅中心の防災対応高度化・自動化</p>	<p>< 中目標 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 最適な観光客案内サービスの提供（緊急時は避難誘導サービス）（令和6年度までに観光・防災の機能構築）

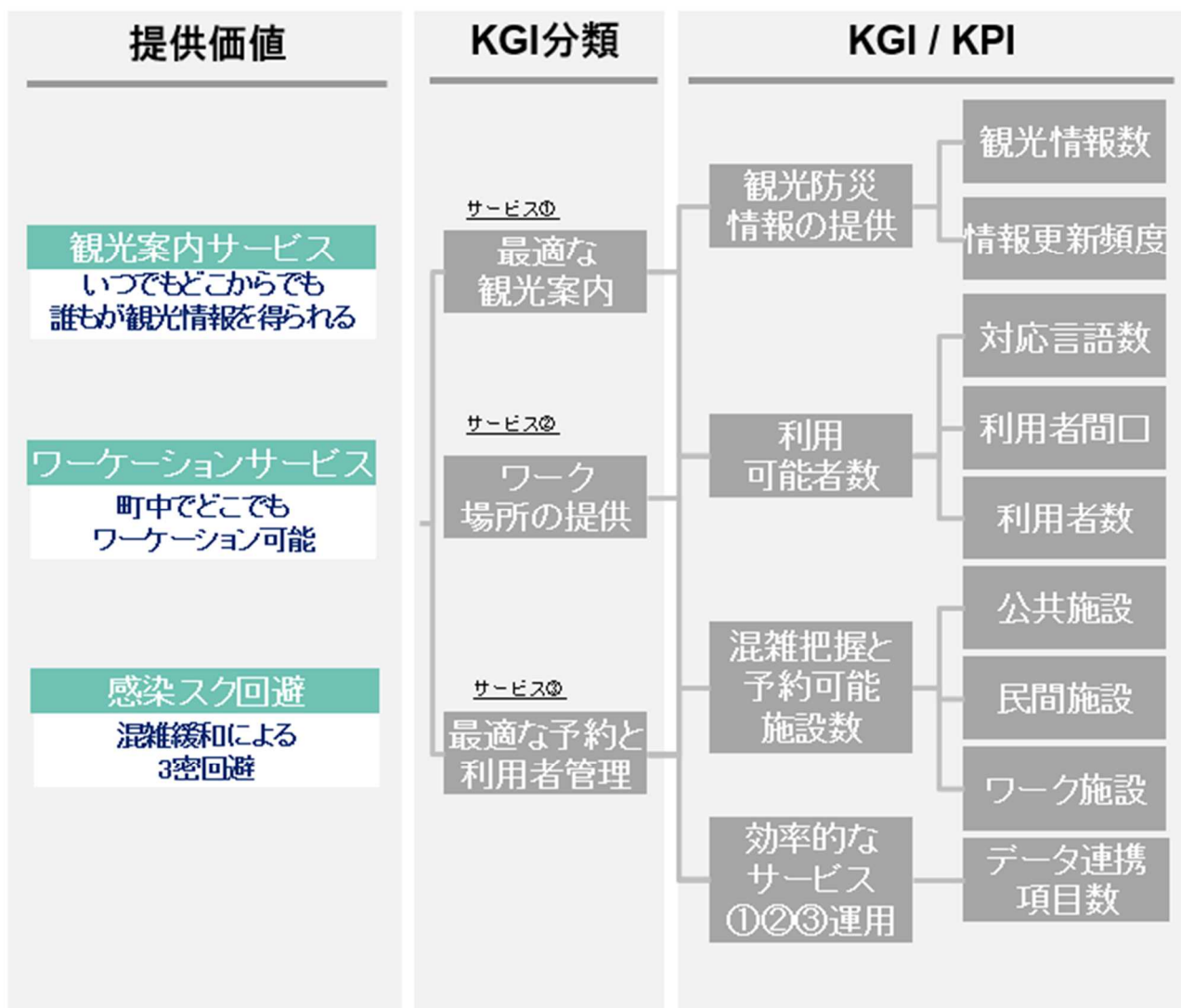
<p>事業」を含む、「観光拠点・防災道の駅中心の複数分野における高度化・自動化学業」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・最適な企業訪問者へのワーケーションサービスの提供 (令和6年度までに構築) ・新しい生活様式に即した感染リスク回避と観光客検知サービスの提供 (令和6年度までに構築) <p><小目標></p> <ul style="list-style-type: none"> ・観光案内、アクティビティ案内、その他情報のデータ連携結果を基に平時は観光ポータル、緊急時は防災ポータルとなる、ポータルサイト及びサイネージ表示の環境を構築(令和4年度テスト環境構築し観光イベント防災訓練で活用、令和5年度までに商用構築) ・観光客や住民のアンケート取得を可能とし、緊急時には避難所における物資過不足をスマートフォンで簡易に通知するサービス構築 (令和4年度テスト環境構築し観光イベント防災訓練で活用、令和5年度から一部商用構築)
<p>上記他分野の中目標(各目標の具体的な指標は検討中)</p>	
<p>空き家</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地域との関わり創出 ・再利用促進
<p>教育</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・教育環境充実
<p>一次産業</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・農林水産業強化
<p>健康・医療</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・医療環境充実

図表4 各事業におけるKPI

参考までに、防災分野、観光分野におけるKGI及びKPIの全体図を図表5及び6の通り示す。



図表 5 防災分野 KGI 及び KPI



図表6 観光分野 KGI 及び KPI

3. 実証調査の位置付け

3.1. 実証調査を行う技術・サービスのロードマップ上の位置付け

行政サービスやまちづくりの様々な領域において ICT、デジタル活用が求められている中、すさみ町では特に町民の暮らしや年間 100 万人の訪問を目標とする観光客に直結する課題が多い防災分野において、重点的にデジタル活用を進める。町民の暮らしやすさみ町の訪問客がより便利で豊かになり、南紀熊野エリアの安全・安心なスマートシティの先例となる事を目指す。

その実現に向けて、地域課題を先端技術で解決する実証調査を推進することで個別最適化を進めた後に、その中で得られたデータ利活用を推進し、データ連携基盤（都市 OS）によるスマートシティを形成していく。

今回、防災分野への対応としてスマートシティ実装化支援事業では、「防災道の駅中心の防災対応高度化・自動化事業」を実施する。

3.2. ロードマップ達成に向けた課題

データ連携基盤（都市 OS）によるスマートシティ形成に向けては、町域のあらゆる情報のデータ化が不可欠であることから、個別最適化においてデータ収集を伴う事業展開が望ましい。高齢化が進む住民へのスマートシティ理解を促進するためには、住民における何らかの課題が解決することや、利便性が向上するといった要素を伴うことが求められる。より分かりやすい社会課題から取り組むことにより、町民の共感を得るスマート化を優先させたいと考えている。また、普段の生活に近い形で自然に防災に取り組む事により、より多くの住民に興味・関心・参加を促すことを目指す。

更に、町内を訪問する観光客においては、その属性を加味したきめ細やかな情報提供やサポート対応が必要であり、スマートシティで検討すべき課題の一つとなっている。

最後に、上記の課題を SDGs で掲げられている、「住み続けられるまちづくりを」と連動した適切な目標をコンソーシアム内で検討していく必要がある。

3.3. 課題解決に向けた本実証調査の意義・位置付け

3.2 のような視点から、住民における分かりやすい課題解決に取り組むのが本実証調査である。すさみ町では、南海トラフ地震が発生した場合、震度 7 の揺れ、19m の最大津波高（県内最大）が想定され、津波高 1m の津波は地震発生後 3 分で沿岸域に到達するとされている（平成 25 年和歌山県想定）。また、紀南地域は日本有数の多雨地帯でもあることから、台風や局地的豪雨による大規模風水害の発生も懸念される。

このため、すさみ町では公共施設の高台移転や津波避難ビル・タワー、避難路の整備等の防災対策を積極的に進めているが、南海トラフ地震等の大規模災害から住民や来訪者の命を守るためには、ハード対策の更なる推進と併せて、最先端技術を活用した災害対策の高度化が必要である。

本事業では、大規模災害後の備えとして「津波発生後の緊急輸送道路の早期点検と復旧」「長期化する災害対応（行政の人手不足による）」の課題に対して解決策策定に取り組む。

4. 調査計画

4.1. 調査で実証したい仮説

4.1.1. すさみ町における仮説背景

（1）南海トラフ津波による人的及びインフラの想定被害における課題

30 年以内の南海トラフ地震の発生確率は 70～80%とされている。※1

すさみ町では、人口 4700 人総棟数 3600 棟での試算にて、以下の被害が想定されている。※2

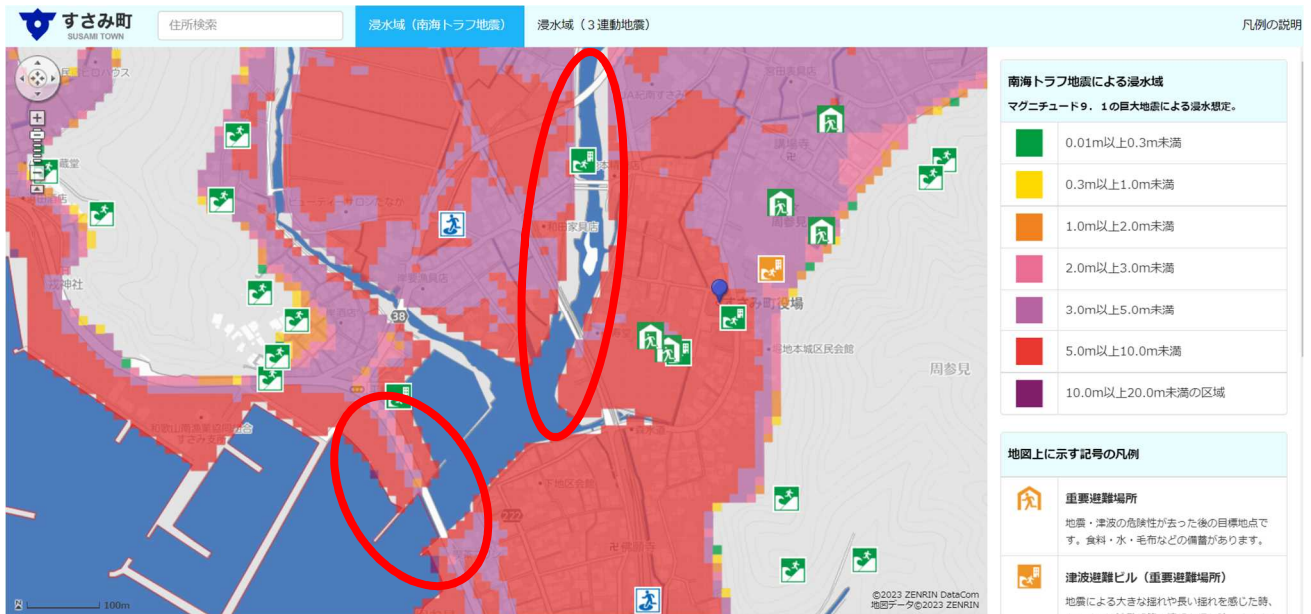
- ・人的被害最大 1,993 名、全壊最大約 2,000 棟、半壊最大約 830 棟
- ・人的被害の内、津波が原因となる死者数 1,700 人

※1 令和 2 年 政府 地震調査研究推進本部 地震調査委員会

※2 平成 26 年 和歌山県地震被害想定調査 報告書

また、図表 7 に一例として示す通り、すさみ町役場のあるすさみ町周参見エリアでは、赤線で囲った周参見川へ津波が侵入し 3m 以上の浸水予測箇所が複数あり、すさみ町役場のある東側と西側にて陸路

が分断されてしまう可能性が高い。特に海岸に近いすさみ大橋では標高 10 メートル程度であり、その高さを超える津波によって大きな被害が想定されている。同様に、すさみ町全域においても海岸線に面した地区では津波による大きな被害が想定されている。



図表 7 南海トラフ想定浸水域ハザードマップ

引用：すさみ町 web 版津波ハザードマップ

<http://www.town.susami.lg.jp/other-contents/hazardmap/index.html>

一方で、図表 8 に一例として示す通り、すさみ町周参見の海岸に沿った国道 42 号線は緊急輸送道路における種別が第一次となっており災害発生後の物資輸送や復旧対応のために優先的に利用されるネットワークとなっている。同様に、すさみ町を東西に縦断する国道 42 号線は全てが第一次緊急輸送道路となっている。

すさみ町管内の緊急輸送道路ネットワーク

すさみ町総務課防災対策室



図表 8 すさみ町管内の緊急輸送道路ネットワーク

(2) 津波発生後の緊急輸送道路点検における課題

南海トラフ地震発生後に、最大19メートルの津波に襲われる可能性があるすさみ町では、津波による早期の被害状況把握が復旧に向け重要となる。

現状の点検実施想定では、すさみ町全域における海岸線に面した地区、河口のある地区の多くで、津波発生から12時間以上経過した後に津波による浸水がおさまりに、すさみ町職員が目視確認にて実施する。状況把握に12時間以上掛かること、更に浸水後の危険な場所へすさみ町職員が点検を実施することが必要な状況となっている。

4.1.2. スマートシティ取組による仮説背景

(1) ドローン飛行における事前確認作業効率化の課題

早期の社会実装を見据えたスマートシティの実証調査（その17）報告書、においてドローン技術の社会実装に向けた継続課題として、事前ルート設定時において離発着場所と不時着場所の選定すること、及び実際に事前飛行を実施する手間と費用が認識され、その解決案の1つとして、3次元地図（※）等の仮想空間でのシミュレーションを実施し現地作業無しでの事前ルート設定を可能とすること、が有効である、との報告を実施している。

安心・安全なドローン航行の社会実装に向けて、現地での事前ルート設計及び天候（特に雨や風）に対して費用と専門家による対応の工数低減に向けた取組を継続して実施すべきである。

※3次元地図とは、一般的な地図に見られるような縦横の2次元的な情報に加えて、高さ情報を含んだ3次元的な地図のことを指す。建物や山などが立体的に表現され、2次元的な地図に対してより多くの情報を得ることができる。ドローン飛行には、より高精度な飛行経路設計や、遠隔制御を行う上で、3次元地図が必要とされている。

4.1.3. 緊急輸送道路に対するドローン点検に関する仮説

4.1.1に記述した通り、南海トラフ地震とそれに伴う津波により、国道42号線の複数個所で浸水が発生し車両や人の通行が難しい状況に陥る可能性が高い。また、早期の復旧・復興に向けては、危険作業を伴う中で緊急輸送道路の状況把握が必要である。このすさみ町の防災における課題解決を、令和3年度スマートシティモデル事業から実施する安心・安全なドローンを物流分野から点検分野へ範囲を拡大し解決することを目指す。実証事業にて先行的に検証する仮説は以下の(1)の通り。

また、4.1.2に記述した通り、安心・安全なドローンを点検活用するに当たり、事前確認作業の効率的な運用をすることが社会実装を見据える上で検討すべき事柄となる。更に、安心・安全な運航でのドローン活用のため、事前準備の効率化を取り入れたチェックリストを整備することで、同様の課題を抱える自治体でも災害発生時に迅速にかつ、安心・安全なドローン活用による点検が実施できる可能性が高い。この効率的な運用に関する仮説は以下の(2-1)、(2-2)の通り

(1) 自治体の津波発生後におけるすさみ大橋ドローン点検に関する効率化と危険作業低減の効果

・津波発生後のすさみ大橋の異常検知が、従来手順である発生から12時間後よりも早期に、かつ人による目視作業よりも安全に実施できること。

(2-1) 自治体のドローン点検航行前における事前準備に関する効率化の効果

・すさみ町防災センターからドローン点検ルートを災害前に現地作業無く遠隔から事前設定しておくことで、災害発生後のドローン航行が効率的に準備できること。

・3次元地図をUTM※に取込むことで遠隔から、航行ルート設定、ルートシミュレーションによる禁止エリア飛行の回避、高精度位置測位、飛行時の監視データ送付、空中からの映像伝搬に必要なLTE電波環境が担保されていること、を確認する事ができ、安心・安全なドローン航行ルート設計が効率的に実施できること。

・UTMで作成した航行ルートを元に、実際のドローン航行を実施し安全・安心なドローン航行による点検作業が実施出来ること。

※UTMとは、ドローン運航管理システム(UTM;UAS1 Traffic Management)の略である。ドローンの運航者が複数いる空域でも、目視外環境下での安全かつ効率的な運航を実現するための管理システムである。

(2-2) 3次元地図におけるドローン航行ルート設計に必要な要素検証の効果

・ドローン点検の航行ルート設計に必要な3次元地図要素を、航行中の接触事故や墜落の原因となる障害物の検知として、構造物の認識、電線電柱等の認識、において点群データを用いた3次元地図での最適な取得方法が一般化できること。

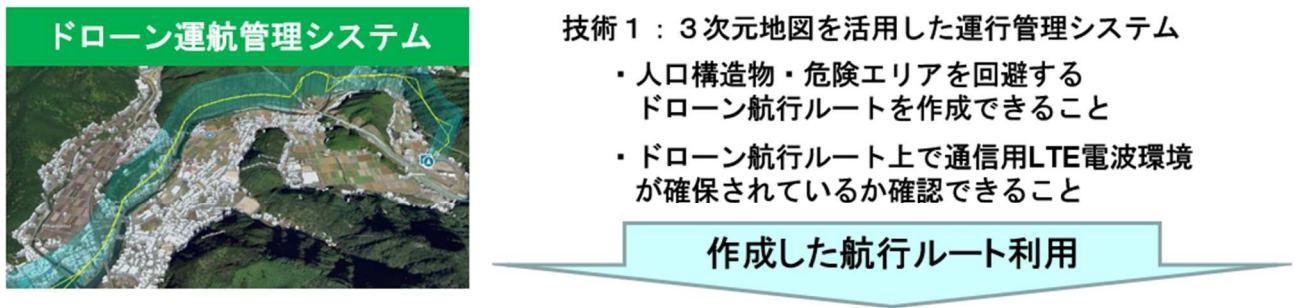
4.2. 調査方針

4.2.1. 調査概要と計画

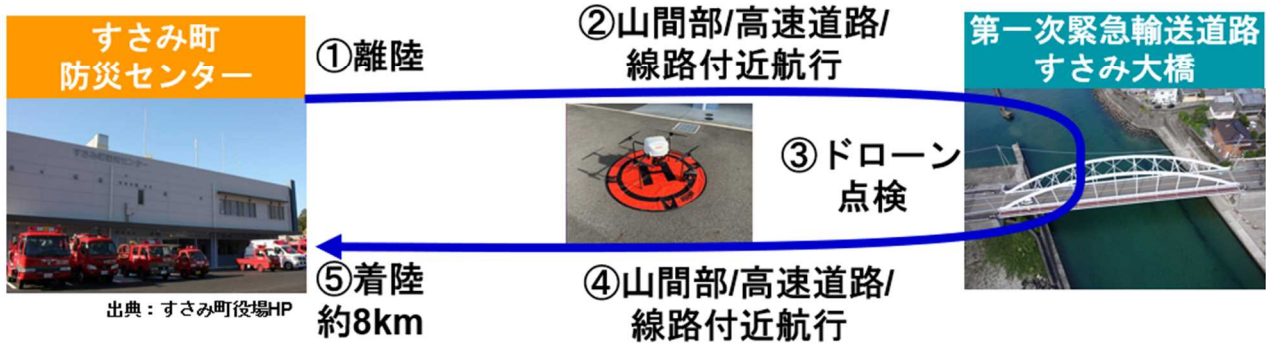
本実証調査は、図表9の概要の通りであり、4.1.3で示した仮説(1)検証のため、ソフトバンク社が提供する高精度測位機能を搭載したドローンにて、第一次緊急輸送道路であるすさみ大橋の点検の実施する(実証1)。このドローン点検航行準備において、3次元地図を作成と3次元地図を活用したシミュレーション環境を整備する(実証2)。実証2においては、安心安全なドローン飛行に向け3次元地図を活用した運行管理システム(以下、技術1とする)を構築し、ドローン航行ルート設計、3D航行シミュレーション、電波伝搬シミュレーションを実施する。

また、実証調査を実施する事業者と役割は、図表10の通り、すさみ町、(一社)すさみ町観光協会、ソフトバンク社、ウフル社、南紀白浜エアポート社、ベル・データ社、ラック社の7者が連携して実現している。

実証2：安心安全なドローン飛行に向け3次元地図シミュレーション環境整備



実証1：シミュレーション結果から作成したドローン航行ルートで点検実施



図表9 実証調査概要図

	名称	役割及び責任
1	すさみ町	<ul style="list-style-type: none"> 全体戦略策定、事業全般の管理統括業務 推進主体の構築・運営 スマートシティ推進に必要なルール、ガイドラインの策定、管理

		<ul style="list-style-type: none"> • 住民、観光客等への広報 • 一部サービスの提供、管理
2	一般社団法人 すさみ町観光 協会	<ul style="list-style-type: none"> • コンソーシアムへの参加 • 住民、観光客等への広報 • 一部サービスの提供、管理
3	株式会社南紀 白浜エアポー ト	<ul style="list-style-type: none"> • コンソーシアムへの参加 • 住民、観光客等への広報
4	ソフトバンク 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> • コンソーシアムへの参加 • 防災 WG 幹事 • スマートシティ推進に必要なルール、 ガイドラインの策定、管理サポート サービス開発、提供、管理
5	株式会社ウフ ル	<ul style="list-style-type: none"> • コンソーシアムへの参加 • 観光 WG 幹事 • 住民、観光客等への広報 • サービス開発、提供、管理
6	ベル・データ 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> • コンソーシアムへの参加 • サービス開発、提供、管理
6	ラック 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> • コンソーシアムへの参加 • サービス開発、提供、管理

図表 10 役割及び責任

また、実証 1、2 の実証との関連性、調査項目、実施予定時期を示す計画は以下の図表 11 の通り。

実証 分類	調査大項目	調査中項目	実施予定時期	備考
共通	関係者説明及び協議	住民説明	2022 年 4～7 月	
		国道管理事務所説明	2022 年 4～7 月	
		管轄警察署説明	2022 年 4～7 月	
		線路横断説明協議	2022 年 4～7 月	

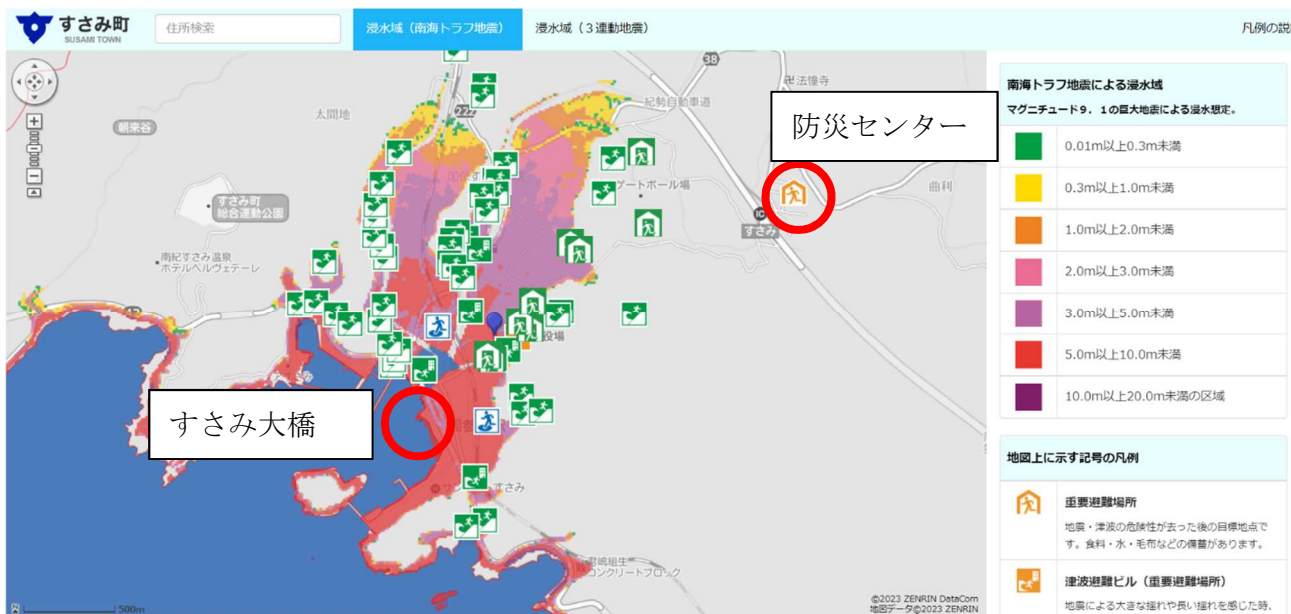
実証 2	3次元地図データ準備	3次元地図測量 1 回目	2022 年 5 月	Zenmuse L1 計測
		3次元地図測量 2 回目	2022 年 5 月	TDOT3 GREEN 計測
		3次元地図精度分析	2022 年 6 月	
	ドローン運航管理システム開発準備	LTE 電波環境シミュレーションモデル開発	2022 年 4～6 月	
		ドローン監視用のデータ連携システム開発	2022 年 5～7 月	
	ドローン航路作成とシミュレーション	障害物人口構造物を回避するドローン点検航路作成	2022 年 6～7 月	
		ドローン航路上での LTE 電波環境シミュレーション実施	2022 年 6～7 月	
		ドローン航路データをミッションプランナーへ連携	2022 年 7 月	
	実証 1	ドローン点検飛行と結果分析	ドローンによるすさみ大橋点検実施と効果分析	2022 年 7 月
ドローン航行のドローン運航管理システムでの監視			2022 年 7 月	
ドローン航行における航路の正確性確認			2022 年 7～12 月	
ドローン航路における電波環境とシミュレーション結果比較			2022 年 7～12 月	
共通	報告書作成	報告書作成	2022 年 9～ 2023 年 2 月	

図表 11 実証 1、2 に関する計画

4.2.2. 実施地点

本実証調査における実証 1 を実施した地点は以下の通り。図表 12 にて地図上で示す。

防災拠点：すさみ町防災センター 〒649-2621 和歌山県西牟婁郡すさみ町周参見 2928-1



図表 12 実証調査実施場所

引用：すさみ町 web 版津波ハザードマップ

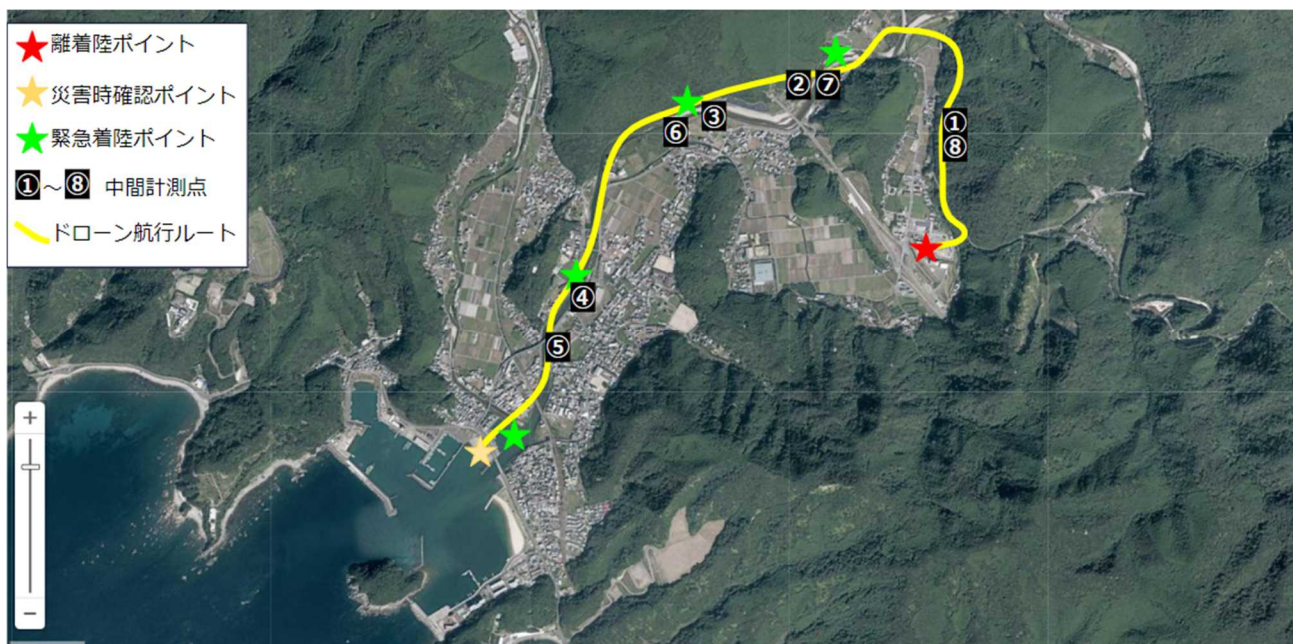
<http://www.town.susami.lg.jp/other-contents/hazardmap/index.html>

また、実証 1 で実施する防災センターからすさみ大橋を結ぶドローン点検航路は図表 13 の通り。防災センターを離陸、黄色の飛行経路を自動航行で往路飛行、すさみ大橋の点検用写真を撮影、黄色の飛行経路を自動航行で復路飛行、防災センター着陸、の順で約 8.4km を飛行する。

図表 13 では、離着陸ポイント、災害時確認ポイント、緊急着陸ポイント、中間計測地点を記載している。それぞれ、防災センターのドローン離発着ポイント、すさみ大橋をドローンから点検する場所、機体に想定外異常が発生した際に使用する着陸場所、緯度経度高度の計測地点、となる。

ポイント設定において考慮した点は、以下の通り。

- ・離発着ポイントは、実際の災害時にドローン運用を実施する想定である防災センターを設定。
- ・災害時確認ポイントは、点検箇所に対し遮る構造物が無く、かつ想定外事象でドローンが落下した際もすさみ大橋と接触しない 20m ほど距離を保った海上に設定。
- ・緊急着陸ポイントは事前にドローン着陸の地権者合意が得られた場所かつドローンルート上の河川敷に設定。
- ・中間計測地点は、①及び⑧は山肌沿いのルートとなり森林等との接触が無いか確認する目的で設定、②、③、⑥、⑦は高速道路付近で高度を上昇及び下降させる地点のため設定、④及び⑤は河川上空にて比較的航行が安定した場所として設定。



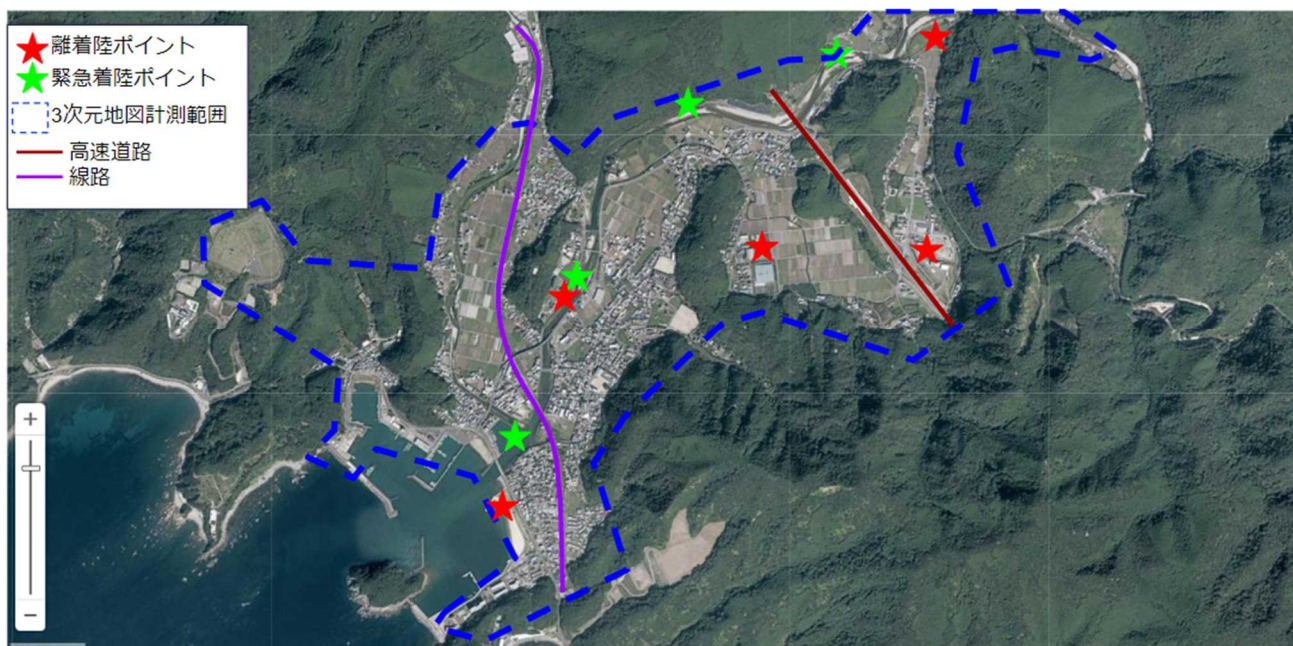
図表 13 ドローン点検航行ルート

出典：地理院地図（電子国土 Web） <https://maps.gsi.go.jp/> をもとにソフトバンク株式会社作成

また、実証 2 で実施する 3 次元地図を計測する範囲は、以下の図表 14 の通りであり、離着陸ポイント、緊急着陸ポイント、3 次元地図計測範囲、高速道路、線路を記載している。

離着陸ポイントは、ドローン離着陸時に人口構造物との接触を回避可能かつ事前にドローン離着陸の地権者合意が得られた場所を設定。緊急着陸ポイントは、事前にドローン着陸の地権者合意が得られた場所かつドローンルート上の河川敷に設定。3 次元地図計測範囲は、Zenmuse L1 と TDOT3 GREEN の 2 種類のレーザー測量機器で 3 次元地図を作成するが、Zenmuse L1 においては青点線枠の広域データを取得し、TDOT3 GREEN においては図表 13 内の黄色線に示すドローン点検ルート周辺での計測とする。

離着陸ポイントが 5 か所と設定した理由は、ドローン測量時の安全上の配慮となる。3 次元地図を作成時には、離着陸ポイントを点検時ルートよりも増やすことで、高速道路近辺の通過を回避する、線路上空の通過を回避する、ドローンが目視で確認出来る範囲とする、点を考慮したためである。



図表 14 ドローンによる 3 次元地図計測範囲

出典：地理院地図（電子国土 Web）<https://maps.gsi.go.jp/>をもとにソフトバンク株式会社作成

4.2.3. 使用機器

本実証調査における実証 1 及び 2 で使用した機器は以下の通り。

(1) ドローン

実証調査 1 における使用機体。詳細は以下に示す、図表 15 の通り。

選定理由：国産ドローンにおいて最大飛行時間が 40 分であり、点検用カメラを搭載し、通常航行ルートとして約 8.4km 往復ルート、機体異常発生時ルートとしていずれかのルートから最も近い緊急着陸ポイントまでの航行ルート、どちらも航行が可能な機体であったため。

LTE データ通信機能を備えており、航行中における通信にて、高精度位置測位、カメラ動画の共有、緯度経度高度情報の送付、が可能な機体であったため。

No	項目	詳細
1	機体スペック	機器名：FMC-02 製造者：双葉電子工業社 ペイロード：5kg 重量：8.0kg（バッテリー含む） 実用最大離陸重量：13.0kg 飛行時間：40分（ペイロード 0kg ホバリング時） 耐風性能：15m/s
2	機体サイズ	軸間 1055mm 全長 1000mm（プロペラ含まず） 全幅 1135mm（プロペラ含まず） 全高 415mm



3	カメラ	RX II
4	使用プロポ	双葉電子工業製 FMT-04 920MHz 帯
5	通信機能	LTE によるデータ通信機能
6	高精度位置測位	RTX 測位
7	航行管理	ミッションプランナーによる管理

図表 15 ドローン機体詳細説明

(2) 運行管理システム

実証 1 及び 2 で用いた運行管理システム。詳細は以下に示す、図表 16 の通り。

選定理由：実証 2 において、ドローンが航行中に高精度位置測位、カメラ動画の共有、緯度経度高度情報の送付、をするため必要となる LTE 通信環境について、3 次元地図を用いて指標となる電界強度 (RSRP) を用いたシミュレーションを実施することができるため。

実証 1 において、ドローンフライト中の監視を LTE 通信で送付された緯度経度高度情報の元に、3 次元地図環境を用いて監視体制を構築できるため。

No	項目	詳細
1	使用ソフトウェア	ソフトウェア：Ansys-AGI OneSKY Operation Tools 製造者：OneSKY 社
2	利用機能 1	ドローンフライトルート作成機能 説明：3D 環境において、ドローン離発着場所、緊急着陸場所、経由地、目的地、を設定しドローン航行ルートを作成する。 作成したフライトルートのデータをミッションプランナーへ送付する。
3	利用機能 2	ドローンフライトシミュレーション機能 説明：ドローンフライトルート作成のためのデータを演算する。 3D 環境で、航行禁止エリアや構造物や電線との距離を 0.1mm の精度で演算し、位置情報における LTE 電波環境の指標 (RSRP) を演算する。
4	利用機能 3	ドローンフライト監視機能 説明：航行中ドローンの飛行位置・機体状態に異常が無いかを可視化する。


図表 16 運行管理システム詳細説明

(3) 3 次元地図作成用レーザー機器

実証 2 にて 3 次元地図を作成するデータ取得するレーザー計測機は以下の図表 17 及び 18 の通り、2 種類を使用。


選定理由 1：3 次元地図作成の際に、近赤外線レーザーを用いた点群データ取得が可能であるため。点群データ測量とカメラでの写真撮影を同時に実施することが可能であり、点群データに写真から RGB データを付与する事で点群データに色彩情報が加わり、3 次元地図上の障害物確認に有効であると考えたため。

No	項目	詳細
----	----	----

1	機器名	Zenmuse L1 DJI 製	
2	機器サイズ	全長 152mm 全幅 110mm 全高 169mm	
3	重量	930g	
4	解像度	動画・静止画 3:2 5472 × 3648)、 4:3 4864 × 3648)、 16:9 5472 × 3078 RGB マッピングカメラ	
5	視野角	70.4	
6	測定点群数	シングルリターン： 最大 240,000 ポイント 秒 マルチリターン： 最大 480,000 ポイント 秒	

図表 17 3次元地図作成用レーザー機器 (Zenmuse L1) 詳細説明

選定理由 2 : 3次元地図作成の際に、グリーンレーザーでの点群データ測量が可能であるため。グリーンレーザーの波長が緑色域 (532nm) を利用することにより、一般的に**近赤外線レーザーを用いた場合は黒い物体での反射率が低く**地表面の点群データが得られない可能性があるが、緑色域を用いることでより地表面の点群データが得られる可能性があるため。TDOT3 のレーザー光は 100m 先でも直径 15cm にしか拡がらない (1.5mrad) 性能を有しており、上空から電線や微細な情報を捉えることができ、3次元地図上の障害物確認に有効であると考えたため。

No	項目	詳細	
1	機器名	TDOT3 GREEN アミューズワンセルフ製	
2	機器サイズ	全長 270mm 全幅 230mm 全高 150mm	
3	重量	2700g	
4	発射 レート	6,000Hz	
5	視野角	90.0	
6	レーザー 波長	532±1nm	

図表 18 3次元地図作成用レーザー機器 (TDOT3 GREEN) 詳細説明

4.2.4. 利用データ

本実証調査における実証1及び2で用いたインプットデータとアウトプットデータは図表19の通り。インプットデータは、運行管理システムにおいては、「飛行禁止エリア毎の3D図形を構成する全ての頂点における緯度経度高度データ」「LTE基地局アンテナの緯度経度高度データ」「LTE基地局アンテナ情報データ」「LTE基地局電波出力情報データ」「ドローンアンテナ情報データ」「3次元地図データ」「航行中のドローン飛行位置情報データ」となり、ドローン操作システムにおいては、「離発着地点の緯度経度高度」「ドローン飛行中の中継地点の緯度経度高度」となる。

本実証調査から得られたアウトプットデータは、運行管理システムから「ドローン航行ルートデータ」「ドローン航行ルートにおける電波環境の推定値データ」「ドローン航行ルートでの飛行禁止エリア飛行有無と構造物との接触有無データ」「ドローン航行ルートデータ（緯度経度高度情報データ）」となり、ドローン操作システムから「離発着地点の緯度経度高度実績」「ドローン飛行中の中継地点の緯度経度高度実績」となる。

また、ドローン航行時の気象情報を図表20の通り取得することで、航行への影響を確認する。

	インプットデータ	アウトプットデータ
ドローン運行管理システム	<ul style="list-style-type: none"> ・実証2 -飛行禁止エリア毎の3D図形を構成する全ての頂点における緯度経度高度データ データ：(DMM形式、m) データ例：(3333.56526, 13530.70398, 100.12345) -LTE基地局アンテナの緯度経度高度データ データ：(DMM形式、m) データ例：(3333.56526, 13530.70398, 15.12345) -LTE基地局アンテナ情報データ データ：(基地局アンテナ型式データ、アンテナ指向方角) データ例：(AntP1, 90°) -LTE基地局電波出力情報データ データ：(LTE周波数、電波出力) データ例：(880~915MHz, 10W) -ドローンアンテナ情報データ 	<ul style="list-style-type: none"> ・実証2 -ドローン航行ルートデータ データ例：(DMM形式、m) 集合体 データ例：(3333.56526, 13530.70398, 100.12345) -ドローン航行ルートにおける電波環境の推定値データ データ：((DMM形式、m), RSRP値 (dBm)) データ例：((3333.56526, 13530.70398, 100.12345), -115dBm) -ドローン航行ルートでの飛行禁止エリア飛行有無と構造物との接触有無データ：(アラーム文章) ※接触有の場合のみ データ例：接触有 ・実証1 -ドローン航行ルートデータ（緯度経度高度情報データ） データ：(DMM形式、m)

	<p>データ：（ドローンアンテナ型式データ）</p> <p>データ例：（DRAtP1）</p> <p>- 3次元地図データ</p> <p>データ：標高、地形、3次元建物を含む点群データ</p> <p>データ形式：LAS形式データ</p> <p>・実証1</p> <p>航行中のドローン飛行位置情報</p> <p>データ：（DMM形式、m）</p> <p>データ例：（3333.56526, 13530.70398, 100.12345）</p>	<p>データ例：（3333.56526, 13530.70398, 100.12345）</p>
ドローン操作システム（実証1）	<p>・実証1</p> <p>- 離発着地点/緊急着陸地点の緯度経度高度</p> <p>データ：（DMM形式、m）</p> <p>データ例：（3333.56526, 13530.70398, 100.12345）</p> <p>- ドローン飛行中の中継地点の緯度経度高度</p> <p>データ：（DMM形式、m）</p> <p>データ例：（3333.56526, 13530.70398, 100.12345）</p>	<p>・実証1</p> <p>- 離発着地点の緯度経度高度実績</p> <p>データ：（DMM形式、m）</p> <p>データ例：（3333.56526, 13530.70398, 100.12345）</p> <p>- ドローン飛行中の中継地点の緯度経度高度実績</p> <p>データ：（DMM形式、m）</p> <p>データ例：（3333.56526, 13530.70398, 100.12345）</p>

図表 19 実証1、2で用いるデータ

利用データ	
気象データ	<p>・実証1</p> <p>ドローン配送時の離発着地点における天候情報</p> <p>データ：（風速、風向き）</p> <p>データ例：（北北東, 1.2m/s）</p>

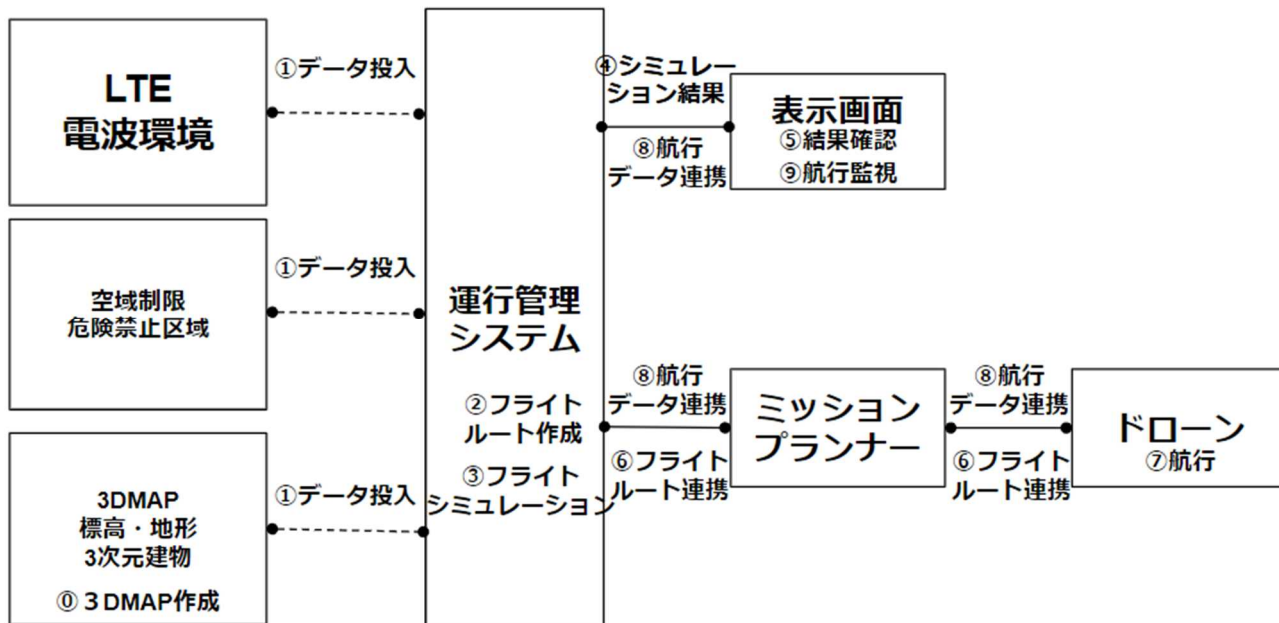
図表 20 利用する気象データ

4.2.5. システム

本実証調査における実証1及び2で用いたシステム構成図並びにデータフロー図を示す。

(1) システム構成図及びデータフロー図

本実証調査で使用したシステム構成図並びにデータフロー図は図表 21 の通り。
 実証 1 ではデータフロー番号⑦～⑨が該当し、実証 2 ではデータフロー①～⑧が該当する。



図表 21 システム構成図及びデータフロー図

(2) システム利用時の主プロセス

主プロセスを以下の図表 22 で示す。実証 1 ではプロセス No⑦～⑨、実証 2 では No⑩～⑥が該当する。

No	役割	詳細
⑩	事前準備	<p>すさみ町周参見エリアにおける 3 次元地図をドローンからの 2 種類のレーザー測量により実施する。</p> <p>ドローン航行における安全対策のために、以下を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・離着陸地点での現地確認による障害物等の事前確認 ・離着陸地点上空でのドローンホバリングにおける、空中での想定外障害物有無確認 ・緊急着陸ポイントでの上空ホバリングと着陸試験 <p>住民や関係者へ飛行周知を実施するために、以下を実施。</p> <p>ポイント及び</p> <ul style="list-style-type: none"> ・離着陸ポイント、緊急着陸ポイントにおける地権者に対するドローン飛行概要の説明協議を実施 ・離着陸ポイント、緊急着陸ポイント周辺での別工事者、作業等へ、ドローン作業前後での作業連絡 ・すさみ町広報誌で実証実験の周知

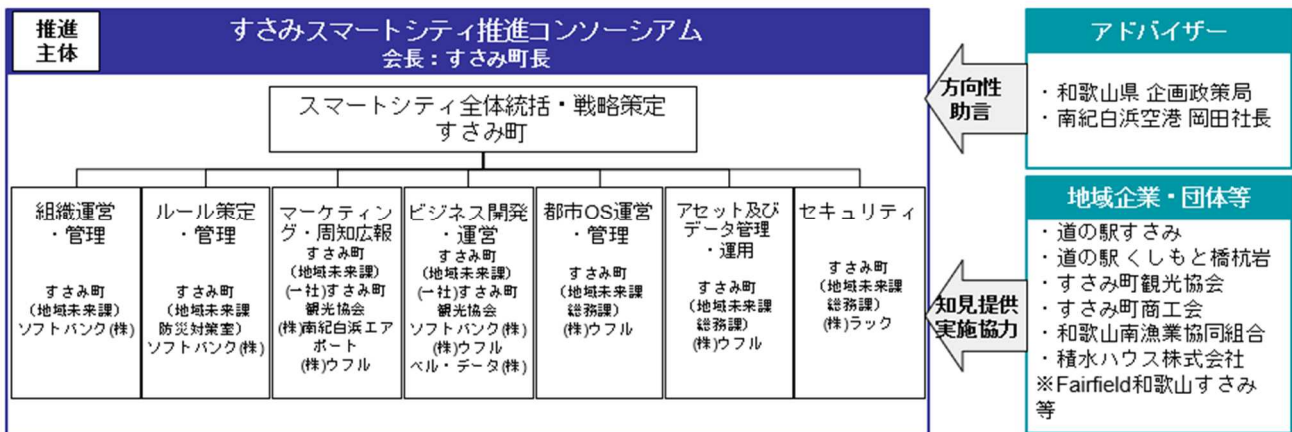
①	データ投入	<p>すさみ町周参見エリアにおける、以下の情報を運行管理システムにデータ投入する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 3次元地図データ ・ 飛行禁止エリア毎の3D図形を構成する全ての頂点における緯度経度高度データ ・ LTE 基地局アンテナの緯度経度高度データ ・ LTE 基地局アンテナ情報データ ・ LTE 基地局電波出力情報データ ・ ドローンアンテナ情報データ
②	フライトルート作成	<p>離発着場所であるすさみ防災センター、点検場所であるすさみ大橋、中間点8か所、緊急時の着陸ポイント3か所を設定しフライトルートを作成する。</p>
③	フライトシミュレーション	<p>②にて作成したフライトルートを、運行管理システムにて、航行禁止エリア、地形と人口構造物、LTE 電波環境、を計算し、ドローン航行ルートでの飛行禁止エリア飛行有無と構造物との接触有無データ、データドローン航行ルートにおける電波環境の推定値データ、を算出する。</p>
④	シミュレーション結果	<p>③で実施したシミュレーション結果を運行管理システムの表示画面にて表示する。</p>
⑤	シミュレーション結果確認	<p>ドローン運航管理者にて、事前設定した航行禁止エリア上空を飛行しないか、地形と人口構造物との接触リスクが無いか、LTE 電波環境に問題が無いか、を確認する。</p> <p>問題がある場合は、プロセス②～④を再度実施する。</p>
⑥	フライトルート連携	<p>運行管システムにて作成した、ドローン航行ルートデータ（緯度経度高度情報データ）を、ミッションプランナー、ドローン機体へ送付する。</p>

⑦	ドローン航行	航行直前に離着陸ポイントで気象データを確認し、風速 5m/s 未満であることを確認する。 ドローンが⑥にて送付された航行データを元に自動航行にて、すさみ防災センターから離陸し、すさみ大橋での点検を実施し、すさみ防災センターへ戻る。
⑧	航行データ連携	⑦でのドローン機体の航行情報を、ドローンから LTE でミッションプランナーに送付し、更にミッションプランナーから運行管理システムと表示画面にデータ連携される。
⑨	航行監視	ドローン機体の航行情報を表示画面で確認し、位置情報高度及びアラームが発生していないか、LTE 通信におけるドローンからのカメラ情報が正常に表示されるか、運行管理システムを用いて確認する。

図表 22 主プロセス

4.2.6. 実施体制

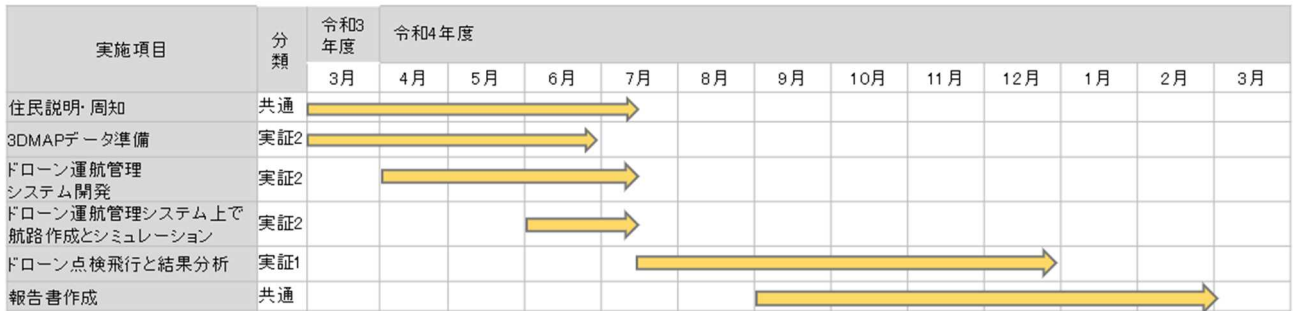
コンソーシアムにおける実施体制図は図表 23 の通り。



図表 23 推進体制

4.2.7. スケジュール

令和3年度補正予算での実証調査のスケジュールは図表 24 の通り。



図表 24 令和3年度スケジュール

令和3年度の実証調査1, 2におけるドローン航行に関わる詳細スケジュールは図表 25 の通り。

実施日	目的	実施場所	その他
5月10日 ～5月13日	3次元地図作成 (実証2)	すさみ町周参見	Zenmuse L1 計測
5月16日 ～5月20日	3次元地図作成 (実証2)	ドローン点検ルート	TDOT3 GREEN 計測
6月7日 ～6月8日	3次元地図作成 (実証2)	ドローン点検ルート	TDOT3 GREEN 計測予備日
7月10日 ～7月15日	ドローン点検 (実証1)	ドローン点検ルート	—
7月19日 ～22日	ドローン点検 (実証1)	ドローン点検ルート	予備日

図表 25 ドローン航行に関わる詳細スケジュール

4.3. 仮説の検証に向けた調査方法と確認事項

4.2に記述した、仮説(1)を実証するため実証1を、仮説(2-1)及び(2-2)を実証するため実証2を実施するための調査方法と確認事項を示す。

尚、調査方法と確認事項は4.2.1で示した図表 11 調査計画と連携して示す。

4.3.1. 3次元地図作成におけるドローン航行への障害となる人工物、電線等検知について

調査計画に示す、大項目「3次元地図データ準備」中項目「3次元地図測量1回目、3次元地図測量2回目、3次元地図精査」に関する調査方法と確認事項となる。

3次元地図作成をするにあたり、ドローン航行ルート設計で利用する事を目的とする場合、ドローン離発着、ドローン航行中、において障害となる人工物、電線等の検知が実施出来る必要がある。

その精度を検証するために以下の評価を実施する。

- (1) ドローン離発着ポイント及び点検地点における障害物検知

Zenmuse L1 と TDOT3 GREEN において上空 80m から航行速度 4m/s の航行状態で計測した 3 次元地図それぞれにて、ドローン離発着ポイントでの障害物、点検地点での 5 枚以上の点検写真を撮影する際の障害物、がどの程度認識できるか、ドローンパイロットライセンス保有者にて、3 次元地図から確認できた障害物情報を比較する。

(2) ドローン航行中の障害物検知

Zenmuse L1 と TDOT3 GREEN において上空 80m から航行速度 4m/s の航行状態で計測した計測した 3 次元地図それぞれにて、ドローン航行ルート上における障害物、がどの程度認識できるか、ドローンパイロットライセンス保有者にて、3 次元地図から確認できた障害物情報を比較する。

(1) 及び (2) の結果は以下の図表 26 にある通りまとめる。

ドローン航行障害物検知表	すさみ防災センター (離発着地点)	すさみ大橋 (点検地点)	ドローン航行ルート	その他
Zenmuse L1 計測データからの 3 次元地図	離発着における接触危険物を記載	点検時に接近する空間における接触危険物を記載	航路上における人口構造物、高速道路、線路、国道における接触や墜落リスクを記載	どの分野にも当てはまらないリスクを記載
TDOT3 GREEN 計測データからの 3 次元地図	離発着における接触危険物を記載	点検時に接近する空間における接触危険物を記載	航路上における人口構造物、高速道路、線路、国道における接触や墜落リスクを記載	どの分野にも当てはまらないリスクを記載

図表 26 3 次元地図有効性に関する結果報告予定表

4.3.2. 技術 1 によるドローン事前航行ルート作成作業の効率化について

調査計画に示す、大項目「ドローン航路作成とシミュレーション」中項目「障害物人口構造物を回避するドローン点検航路作成、ドローン航路上での LTE 電波環境シミュレーション実施、ドローン航路データをミッションプランナーへ連携」に関する調査方法と確認事項となる。

(1) 運行管理システムからの航行ルート作成

運行管理システムにて作成した航行ルートにおいて、緯度経度高度（離発着ポイント、中間点、点検地点）、及び電波環境（ドローンが LTE 通信する場合の電界強度）、が運行管理システムの表示画面に表示されること。また、作成した航行ルートがミッションプランナーを経由してドローン機器へ送付できること。

4.3.3. ドローン点検における自治体作業効率化について

調査計画に示す、大項目「ドローン点検飛行と結果分析」中項目「ドローン点検飛行と結果分析、ドローンによるすさみ大橋点検と効果分析」に関する調査方法と確認事項となる。

ドローン航行試験の結果をもとに、防災関係者からどのような効率化が見込めるかを検証する方法を記述する。

(1) ドローン航行試験

ドローンが運行管理システムから送付された航行データを元に自動航行にて、すさみ防災センターから離陸し、すさみ大橋での点検を実施し、すさみ防災センターへ戻るドローン航行を実施する。ドローンは航行中にLTE通信環境にて、高精度位置測位、カメラ動画の共有、緯度経度高度情報を運行管理システムに送付する。

ドローン航路は、4.2.2に記述した図表13の通り。

(2) 点検デモへの関係者参加及びインタビュー対応

すさみ町防災対策室の自治体職員、災害地区の住民、に実証調査の一連の実証実験の結果説明に参加いただき有効性を検証するインタビューを実施する。確認項目は図表27に示す

No	質問
1	従来のすさみ大橋含む緊急輸送道路の点検はどのような実施方法が考えられるか
2	従来の緊急輸送道路の点検と比較して、どの程度効率的に実施できるか
3	従来の緊急輸送道路の点検と比較して、どの程度危険作業が減るか
4	従来の緊急輸送道路の点検と比較して、どの程度早期に現場状況が把握できるか
5	システム導入における課題は何か
6	その他気になる点はあるか

図表 27 インタビュー実施事項

4.3.4. ドローン点検飛行とシミュレーション結果比較について

調査計画に示す、大項目「ドローン飛行の精度分析」中項目「ドローン航行における航路の正確性確認、ドローン航路における電波環境とシミュレーション結果比較」に関する調査方法と確認事項となる。

(1) ドローンシミュレーションから作成された飛行ルートの航行精度の検証

ドローンシミュレーションから作成された飛行ルート途中で事前設定したウェイポイント（中間点）の緯度経度高度と、飛行実績データから中間点に一番近い距離で計測された実績値との差分距離を算出

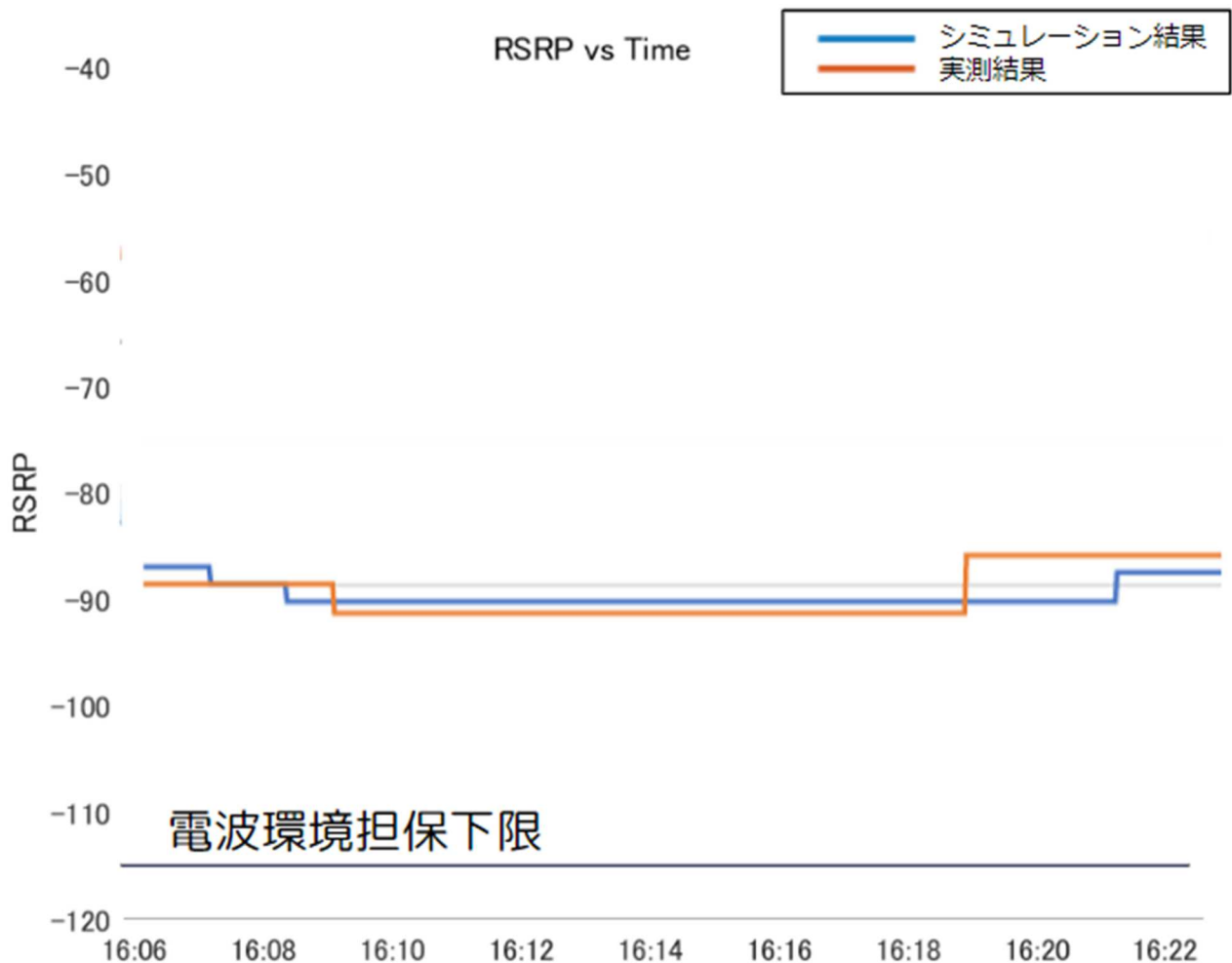
し、ドローンシミュレーションから作成された飛行ルートと実際の航行差分を 0.1mm 単位にて検証する。結果は以下の図表 28 にある通りまとめる。

	設定 緯度	設定 経度	設定 高度 (m)	*回平均実 績緯度 (最接近 2 地点)	*回平均実 績経度 (最接近 2 地点)	*回平均実 績高度 (最接近 2 地点)	*回平均 緯度経度誤 差 (cm)	*回平均 緯高度誤 差 (cm)
中間点 1	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	誤差データ	誤差データ
中間点 2	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	誤差データ	誤差データ
中間点 3	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	誤差データ	誤差データ
中間点 4	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	誤差データ	誤差データ
中間点 5	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	誤差データ	誤差データ
中間点 6	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	誤差データ	誤差データ
中間点 7	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	誤差データ	誤差データ
中間点 8	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	緯度経度 データ	緯度経度 データ	高度 データ	誤差データ	誤差データ

図表 28 飛行ルートの航行精度結果表 (*は実施回数を記入)

(2) ドローンシミュレーションから作成された飛行ルートの電波環境精度の検証

ドローンシミュレーションから作成された飛行ルートにおける電界強度予測と実際に飛行したドローンの電界強度結果の差分を検証する。今回対象の LTE 周波数は FDD-LTE による B8 (上り 880~915MHz、下り 925~946MHz) にて検証する。結果は以下の図表 29 にある通りまとめる。



図表 29 電界強度調査結果表（入力データはサンプルデータ）

5. 実証調査結果

5.1. 調査結果

本実証調査で計画に基づき実施した実績表は、以下の図表 30 の通り。

実証分類	調査大項目	調査中項目 実施内容	実施予定 時期	実施日と実績
共通	関係者説明及び協議	<ul style="list-style-type: none"> -地権者説明会実施 実施内容： 作業日時、作業目的、作業エリア、作業体制、使用機材、安全対策、緊急連絡先を説明 -すさみ町広報誌掲載 実施内容： すさみ町広報誌に、作業日時、作業目的、作 	2022年 4～7月	<ul style="list-style-type: none"> -2022年4月、5月、6月にすさみ防災センター、すさみ町役場、多世代交流施設イコラ、地権者、に2回ずつ説明協議を実施 -すさみ町広報誌で2022年3月から6月の計4回掲載実施

		業エリア、問い合わせ先を記載した記事を掲載		
		-国道管理事務所説明 実施内容： 作業日時、作業目的、作業エリア、作業体制、使用機材、安全対策、緊急連絡先を説明	2022年4～7月	-ドローン飛行計画書を2022年5月、7月に提出実施
		-管轄警察署説明 実施内容： 作業日時、作業目的、作業エリア、作業体制、使用機材、安全対策、緊急連絡先を説明	2022年4～7月	-ドローン飛行計画書を2022年5月、7月に提出実施
		-線路横断説明協議 実施内容： 作業日時、作業目的、作業エリア、作業体制、使用機材、安全対策、緊急連絡先を説明	2022年4～7月	-2022年4月、5月に協議実施 -2022年6月に実証実験作業に関する覚書を締結
実証2	3次元地図データ準備	-3次元地図測量 1回目 実施内容： Zenmuse L1を使用し図表14に示す範囲で3次元地図の計測を実施する	2022年5月	-2022年5月10～13日に測定作業実施 1日6回、4日間で合計24回完了
		-3次元地図測量 2回目 実施内容： TDOT3 GREENを使用し図表13内の黄色線に示すドローン点検ルート周辺範囲で3次元地図の計測を実施	2022年5月	-2022年6月7～8日に測定作業実施 1日4回、2日間で合計8回完了
		-3次元地図精度分析 実施内容：	2022年6月	-2022年6月13～30日

		Zenmuse L1 で作成した 3次元地図、TDOT3 GREEN で作成した 3次元地図を用いて、ドローン離発着ポイントでの障害物、点検地点での 5 枚以上の点検写真を撮影する際の障害物、を確認		にて、ドローンライセンス保持者にて確認を実施
ドローン運航管理システム開発準備		-LTE 電波環境シミュレーションモデル開発 実施内容： 航行中ドローンと LTE 基地局間の電波環境をシミュレーション実施するために、今回使用する、基地局アンテナ型式データ、LTE 周波数、電波出力、ドローンアンテナ型式データ、を使用可能とする個別設定を実施	2022 年 4～6 月	-2022 年 4～6 月において、試験環境下で 10 通りを超える個別設定におけるシミュレーション結果を比較し、電波環境の精度を向上する設定を決定
		-ドローン監視用のデータ連携システム開発 実施内容： 運行管理システムからミッションプランナーまでのデータ転送における FMT 変換サーバー構築	2022 年 5～7 月	-2022 年 5～7 月において、試験環境下にて FMT 変換サーバー構築とデータ転送試験を実施
	ドローン航路作成とシミュレーション	-障害物人口構造物を回避するドローン点検航路作成 実施内容： 運行管理システムにて、すさみ防災センターを離発着地点とし、中間点を 8 か所、緊急	2022 年 6～7 月	-2022 年 6 月 27 日～7 月 8 日において、運行管理システムにて、作業員 2 名で図表 13 に示す約 8.4km のドローン航行作成を完了

		着陸ポイント、すさみ大橋での点検地点、を入力し、ドローン航路作成と航行ルートを表示画面にて確認		
		-ドローン航路上でのLTE電波環境シミュレーション実施 実施内容： 運行管理システムから作成された航行ルートにおけるLTE通信に必要な電界強度予測1,000か所のシミュレーション実施	2022年6～7月	-2022年6月28日～7月10日において、電界強度予測1,000か所のシミュレーションを完了
		-ドローン航路データをミッションプランナーへ連携 実施内容： 運行管理システムから作成された航行ルートをミッションプランナーへ送付	2022年7月	-2022年7月10～12日において、運行管理システムからミッションプランナーへ航行ルートデータ送付を完了
実証1	ドローン点検飛行と結果分析	-ドローンによるすさみ大橋点検実施と効果分析 実施内容： 運行管理システムから送付された航行データを元に自動航行にて、ドローンがすさみ防災センターから離陸し、すさみ大橋での点検を実施し、すさみ防災センターへ戻る航行を実施、及びすさみ町防災関係者へドローン点検	2022年7月	-2022年7月10～15日においてドローン航行の現地における準備、試験、4回の点検作業を実施 -2022年7月29日、8月19日、9月2日において、3回のインタビューを実施

		における効果確認インタビューを実施		
		-ドローン航行のドローン運航管理システムでの監視 実施内容： 運行管理システムにて航行中ドローンから送付される緯度経度高度情報の表示確認	2022年7月	-2022年7月10～15日においてドローン航行時に運航管理システムでの緯度経度高度情報の確認と状態監視を実施
		-ドローン航行における航路の正確性確認 実施内容： 実際にドローンが航行した緯度経度高度の結果データ抽出、及び航行ルート設定と差分比較	2022年7～12月	-2022年7～9月において、ドローンが航行した緯度経度高度結果データの抽出を完了、及び航行ルート設定との差分比較を実施
		ドローン航路における電波環境とシミュレーション結果比較 実施内容： 実際にドローンが航行した緯度経度高度に紐づく電界強度の結果データ抽出、及びシミュレーション結果と差分比較	2022年7～12月	-2022年7～11月において、ドローンが航行した緯度経度高度に紐づく電界強度の結果データの抽出を完了、及びシミュレーション結果との差分比較を実施
共通	報告書作成	-報告書作成 実施内容： 本報告書の作成	2022年9～2023年2月	-2022年9～2023年3月において作成

図表 30 実証 1、2 に関する実績表

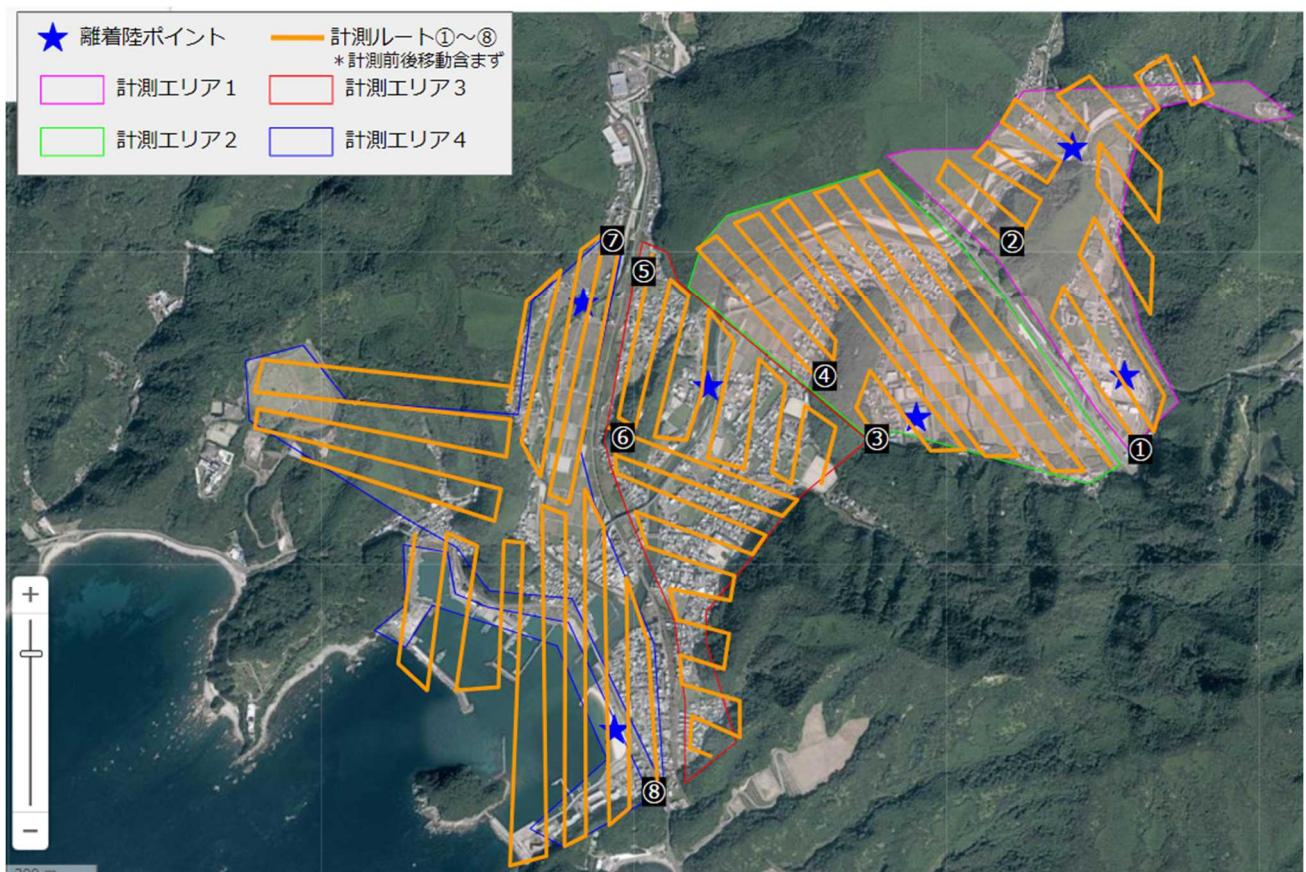
また、3次元地図計測及びドローン点検におけるドローン航行実績詳細は以下の図表 31 の通り。

日付	3次元地図 計測回数	点検飛行 実施	計測面積 (km ²)	点検総飛行距離 (km)
5月10日 ～5月13日	24	-	3.14	-
6月7日 ～6月8日	8	-	0.91	-
7月10日 ～15日	-	4 (1回約18分)	-	33.6

図表 31 ドローン航行実績詳細

参考までに、図表 32 及び図表 33 に Zenmuse L1 による 3 次元地図計測、TDOT3 GREEN による 3 次元地図計測のドローン飛行ルート図を記載する。

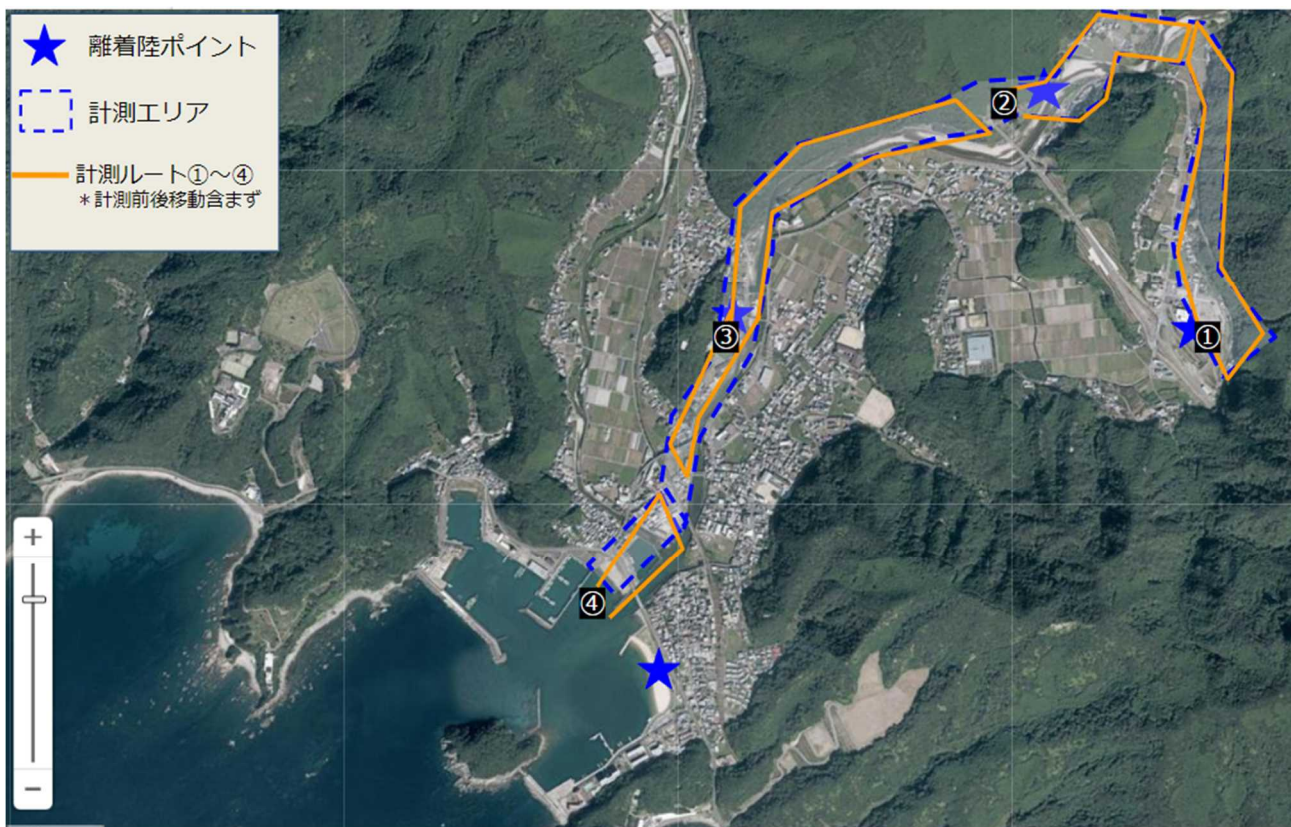
図表 32 において、計測ルートは計測前後の移動ルートは含まずに 3 次元地図取得時のみのルートを示している。図表 14 に示した通り、高速道路横断、線路横断を避け 4 つの計測エリアを設定し、8 種類のフライトルートを各 3 回、合計 24 計測を実施した。尚、計測時にドローン機体の問題は発生せず、図表 14 に示した緊急着陸ポイントは利用しなかった。



図表 32 Zenmuse L1 による 3 次元地図計測飛行ルート図

出典：地理院地図（電子国土 Web） <https://maps.gsi.go.jp/> をもとにソフトバンク株式会社作成

図表 33 において、計測ルートは計測前後の移動ルートは含まずに 3 次元地図取得時のみのルートを示している。4 種類のフライトルートを各 2 回、合計 8 回測定を実施した。尚、計測時にドローン機体に問題は発生せず、図表 14 に示した緊急着陸ポイントは利用しなかった。



図表 33 TDOT3 GREEN による 3 次元地図計測飛行ルート図

出典：地理院地図（電子国土 Web）<https://maps.gsi.go.jp/>をもとにソフトバンク株式会社作成

ドローン点検結果をもとに、自治体作業の高度化効率化の仮説検証のためすさみ町防災関係者へのインタビュー実施日、参加者、参加者数は以下の図表 34 の通り。

日付	アンケート 回答者	参加者数	備考
7月29日	すさみ町役場 地域未来課	2	スマートシティ担当
8月19日	すさみ町役場 地域未来課 防災対策室	3	スマートシティ担当 防災担当
9月2日	すさみ町役場 地域未来課 防災対策室 すさみ大橋周辺住民	5	スマートシティ担当 防災担当 住民

図表 34 インタビュー実施実績

上記の通り、実証1、2及び共通作業については全項目完了している。その中で、4.3.1から4.3.4に記述した仮説に対する調査方法と確認事項について詳細結果を以降で説明する。

5.1.1. 3次元地図作成におけるドローン航行への障害となる人工物、電線等検知の検証結果

(1) 検証方法

4.2.3. 使用機器(3)にて示したZenmuse L1とTDOT3 GREENにおいて上空80mから航行速度4m/sの航行状態で計測した3次元地図を作成する。それぞれの3次元地図にて、ドローン離発着ポイントでの障害物、点検地点での5枚以上の点検写真を撮影する際の障害物、3名のドローンパイロットライセンス保有者にて確認する。

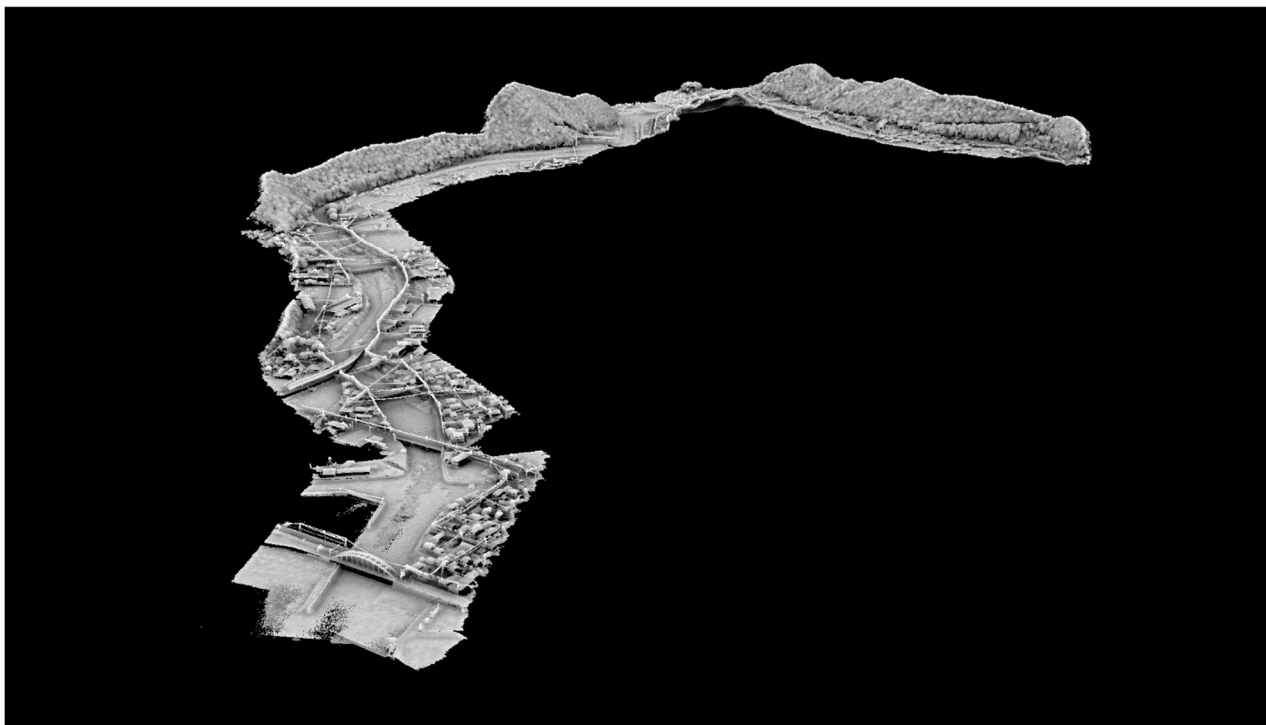
(2) 検証結果

2022年6月にドローンパイロットライセンス保有者にて確認した、Zenmuse L1にて計測した3次元地図は以下の図表35にて示す。



図表 35 Zenmuse L1にて計測した3次元地図(以後、3次元地図1、とする)

同じく、2022年6月にドローンパイロットライセンス保有者にて確認した、TDOT3 GREENにて計測した3次元地図を以下の図表36にて示す。



図表36 TDOT3 GREENにて計測した3次元地図（以後、3次元地図2、とする）

この2つの3次元地図から今回のドローン点検における防災センター離発着地点、すさみ大橋点検箇所、航行ルート上において3次元地図のデータを確認し、障害物について3名のドローンパイロットライセンス保有者に確認を実施した結果を示す。（図表37）

	すさみ防災センター（離発着地点）	すさみ大橋（点検地点）	ドローン航行ルート	その他
3次元地図1（図表35）に関するコメント	・道路表面の点群データが少なくはっきりと確認出来ない（図表35より）	・橋梁上部縦軸部分にはほとんど取得できていおらず障害となる人口構造物として認識が凡そでしか判別できない（図表35より）	・山間部の森林等において色があるため判別しやすい（図表35より）	・同時撮影の写真から点群データに色付けあり（図表35より）

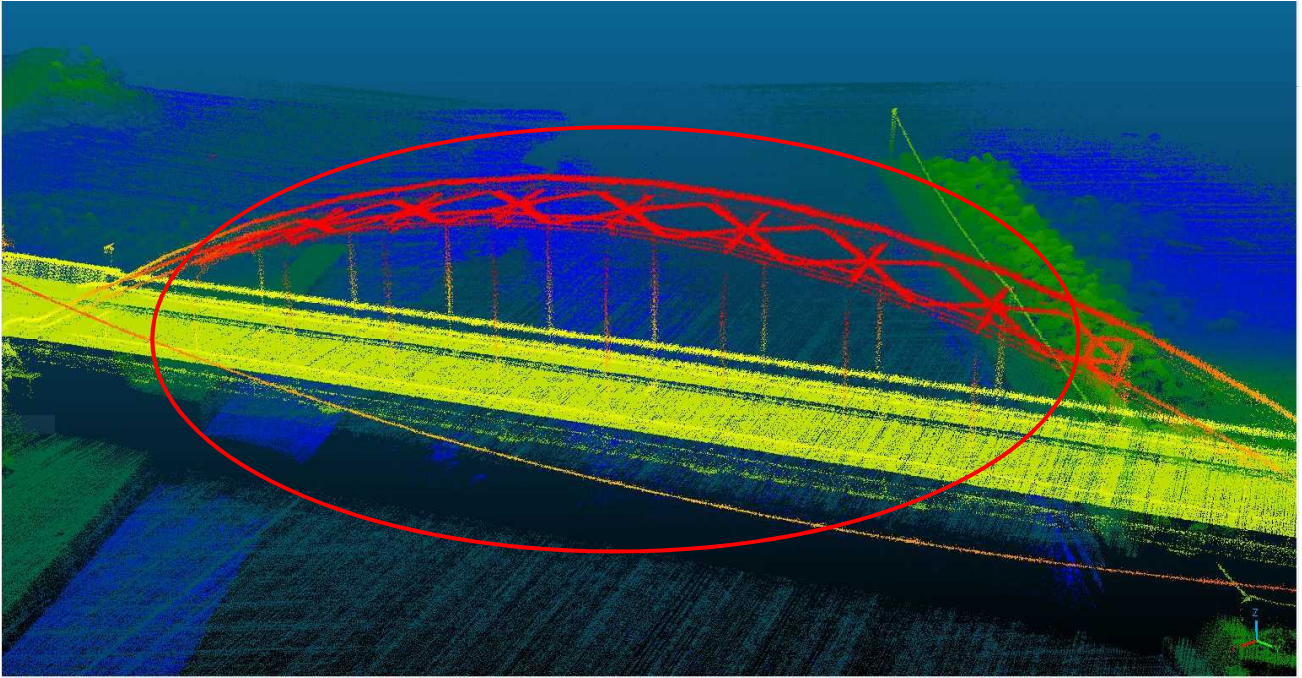
3次元地図 2 (図表 36) に関する コメント	<ul style="list-style-type: none"> ・特に障害物無いことが確認可能 (図表 36 より) 	<ul style="list-style-type: none"> ・橋梁と並行する電線を認識可能であるため点検時の写真撮影時に回避できる調整が必要 (図表 36 より) ・橋梁下の護岸設備にある電線を認識可能であり写真撮影時に回避できる調整が必要 (図表 36 より) 	<ul style="list-style-type: none"> ・高速道路とそのトンネルを確認可能 (図表 35 より) ・線路を確認可能 (図表 36 より) 	
------------------------------------	--	--	---	--

図表 37 3次元地図有効性に関する結果

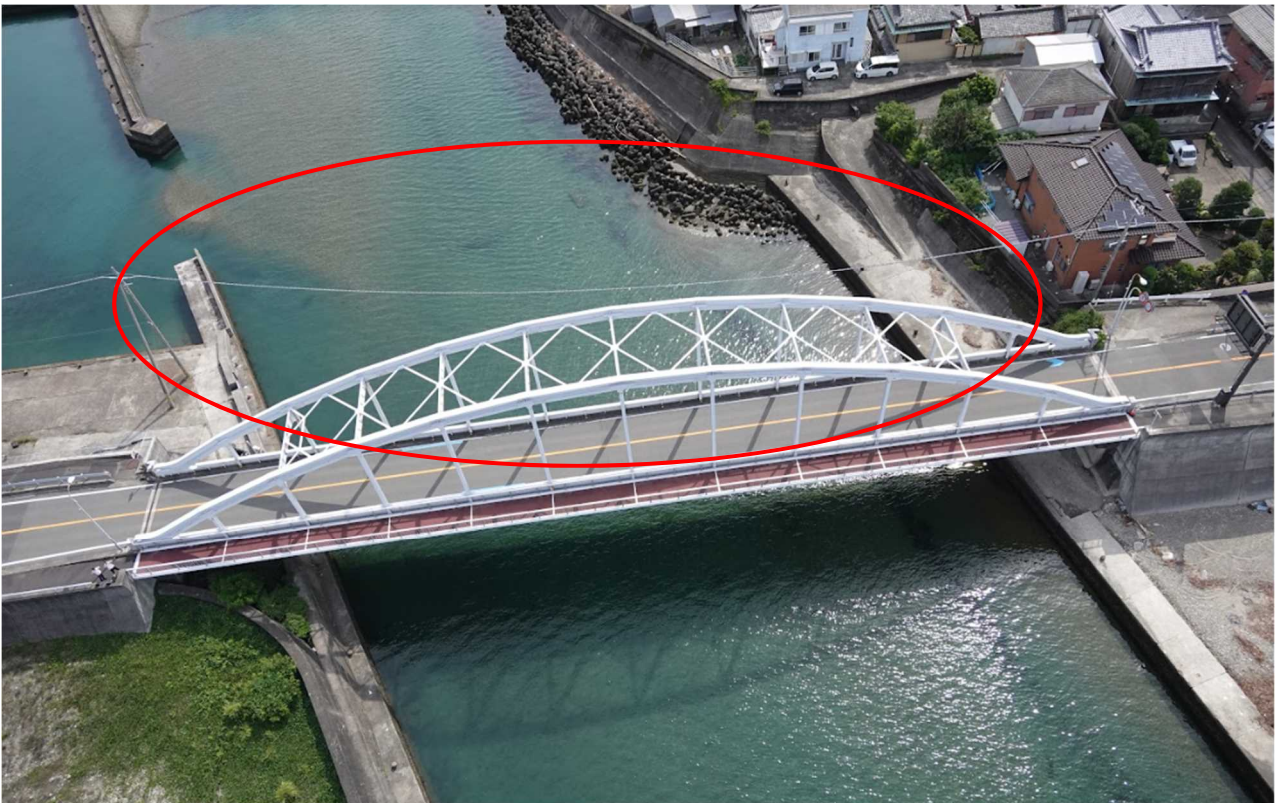
上記の通り、3次元地図1では遠隔から十分に現地確認の代替とすることが難しい状況であるが、3次元地図2では現地確認の代替として利用できる可能性が高い。視覚的に確認するために、すさみ大橋点検箇所3次元地図データを図表38にて、比較用でデータとして、すさみ大橋の上空からの写真を図表39にて示す。



図表 38 3次元地図データ (Zenmuse L1にて計測した3次元地図によるすさみ大橋)
赤枠内では橋梁部分、および電線の詳細確認が難しい



図表 38 3次元地図データ (TDOT3 GREENにて計測した3次元地図によるすさみ大橋)
赤枠内では橋梁部分、および電線の詳細確認が可能



図表 39 すさみ大橋の写真
赤枠内では橋梁部分、および電線が確認できる

5.1.2. 技術1に関する運行管理システムからの航行ルート作成の検証結果

(1) 検証方法

4.2.3. 使用機器 (2) にて示した運行管理システムを用いてすさみ防災センターを離発着地点とし、中間点を8か所、緊急着陸ポイント、すさみ大橋での点検地点、を運行管理システムにて入力し、作成された航行ルートを表示画面にて確認する。また、そのデータをミッションプランナーへ送付し正常にルート設計できることを確認する。

(2) 検証結果

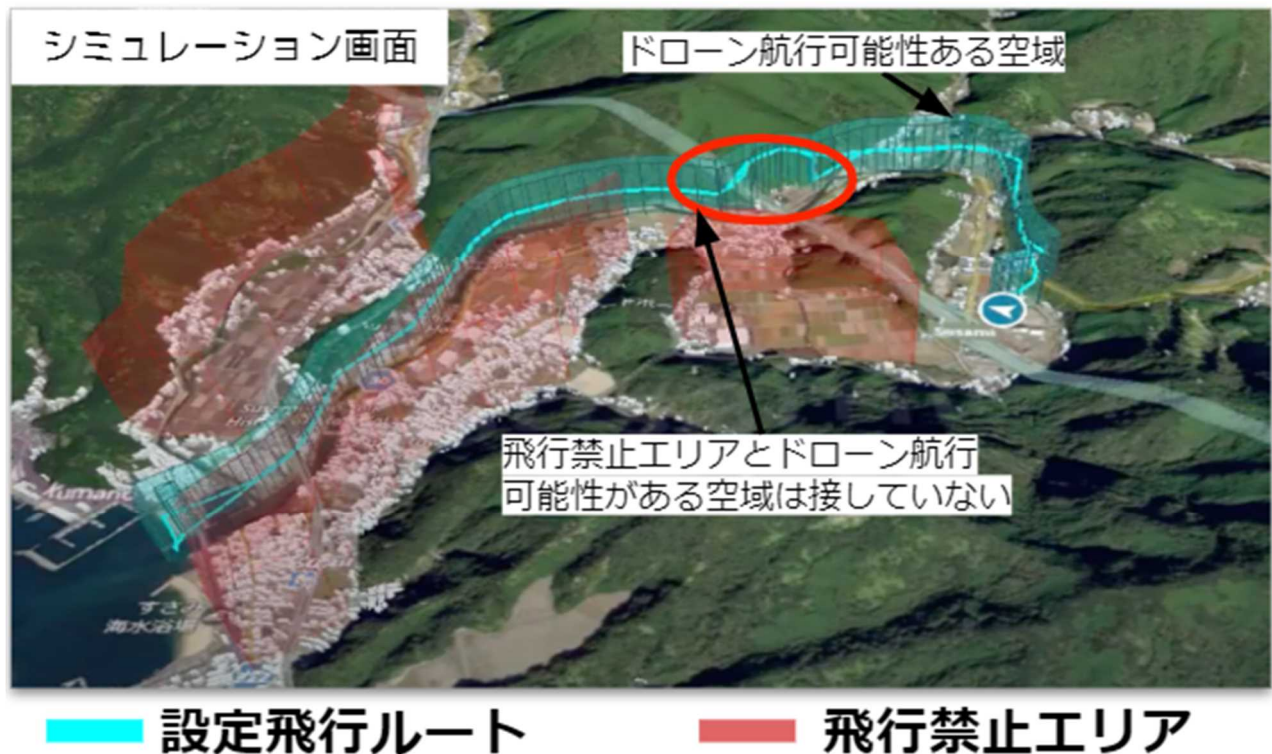
2022年6月27日～7月8日に作業員2名にて、運行管理システムを利用し、図表22に示すプロセスNo①～⑧について実施し完了している。

まず、障害物人口構造物を回避するドローン点検航路作成、においては、すさみ防災センターを離発着地点とし、3D画面上で飛行禁止エリア、人口構造物を避け、中間点を8か所、緊急着陸ポイント、すさみ大橋での点検地点、を運行管理システムにて入力する作業において、約20分程度で作成完了した。

航路作成結果の一部表示画面を図表40にて示す。

設定したルートの空域が飛行禁止エリアと重複しない事の確認は、図表40内の水色線の航行ルートを中心として水平両方向に20M程度の幅を持ち、高度0mからドローン航行高度+20mまでを囲ったエリアをドローン航行可能性がある空域として水色塗にて示しており、赤色塗で囲われた飛行禁止エリアと接していない事を3D環境内で複数方向から確認が可能である。

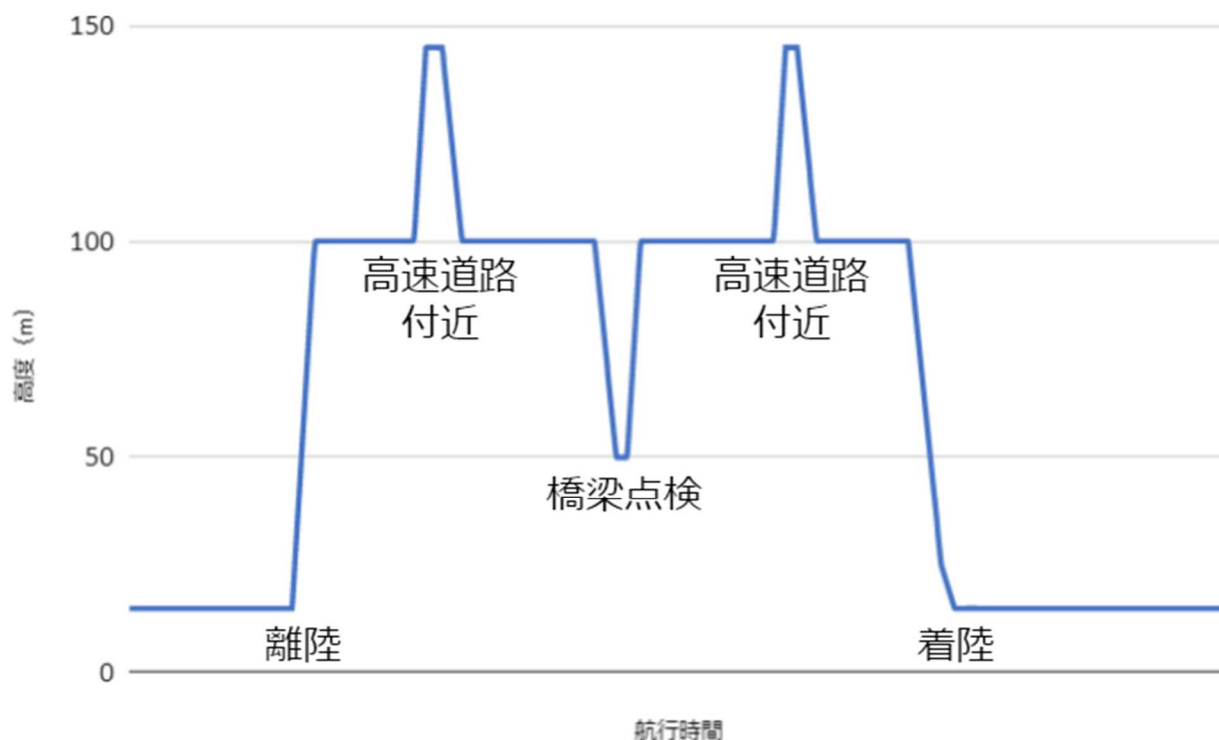
(図表40 赤丸内)



図表40 運行管理システムシミュレーション結果画面

今回、3次元地図を活用したシミュレーションであるため、2Dと比較し高度についても可視化可能となっている。ルート設定に用いた高度は図表41の通り。

今回は離陸後の往路航行は通常時は高度100m付近を実施し、高速道路付近では運転者視界にドローンが視認されることを避ける為150m付近まで高度を上昇させ、高速道路付近を通過後に通常航行にて高度100mまで戻し、その後橋梁点検にて高度50m程度まで高度を下げている。復路は往路の逆方向で高度設計を実施している。



図表41 作成ルート高度

次に、作成した航行ルートにて、ドローン航路上での電界強度予測 LTE 電波環境シミュレーションを実施し、LTE 電波環境状況確認を約20分程度にて実施した。

電波環境シミュレーションにおいては飛行ルートにおける緯度経度高度1,000か所のLTE電界強度を算出した。電波強度の通信可否目安として、今回は-115dBmを閾値とし、シミュレーション上では閾値を下回る箇所は無かった。

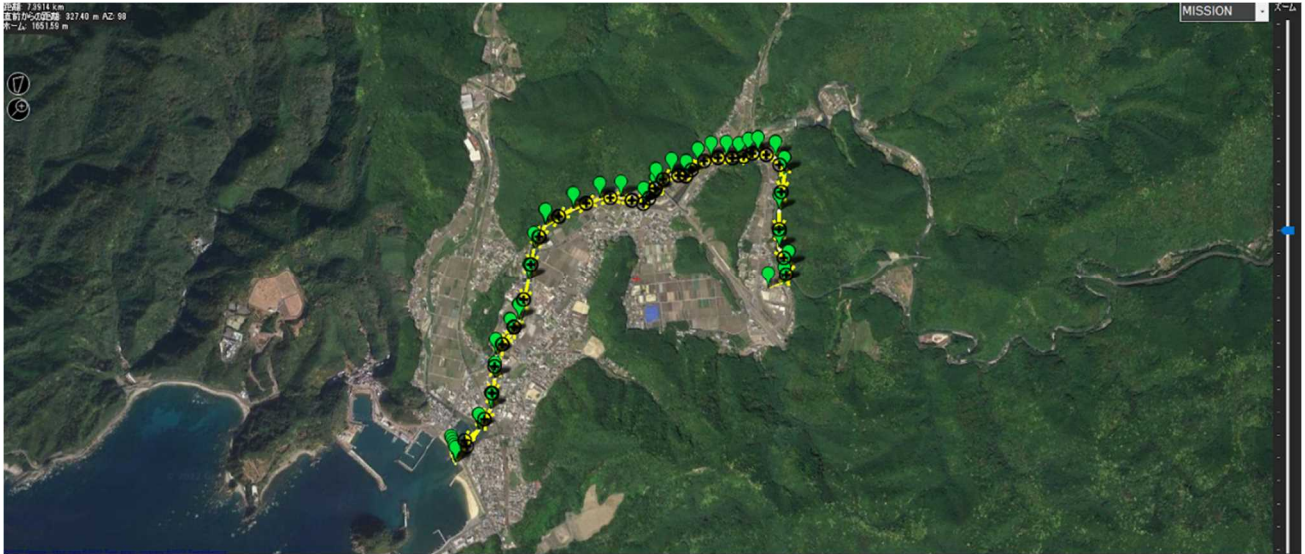
そのサンプルを図表42にて示す。尚RSRPの単位はdBmとする。

Latitude	Longitude	Altitude	RSRP(measured)
33.55895092	135.4978911	95.7961	-84.7
33.5590385	135.49795	95.6306	-85.6
33.55912189	135.4980044	96.1718	-84.6
33.5591723	135.4980833	95.2935	-85.9
33.55922922	135.498183	95.7693	-82.4
33.55928549	135.498288	95.4377	-77.7
33.55932895	135.4983806	95.2717	-78.7
33.55937919	135.4984764	95.3717	-81.1
33.55943644	135.4985787	95.1849	-86.3
33.55948451	135.4986787	95.6378	-85
33.55953756	135.4987778	95.9839	-84.5
33.55958761	135.4988804	96.6872	-81.6
33.55964161	135.4989763	97.2073	-80.9
33.55969202	135.4990747	96.1022	-76.9
33.55973969	135.4991741	95.3968	-79.8
33.5576327	135.500093	-0.8000	-81.6
33.55984239	135.4993749	95.1030	-79.6
33.55989331	135.4994767	94.6986	-83
33.55994066	135.4995803	94.9248	-81.9
33.55998214	135.4996865	95.1241	-79
33.56001601	135.4997985	95.4056	-82.2
33.56005181	135.499906	95.3921	-82.6
33.56008347	135.500021	95.0986	-81.7
33.56011842	135.5001332	95.4197	-84.1
33.56015462	135.5002467	95.9554	-79.7

図表 42 電波環境シミュレーション結果サンプル

最後に、作成したドローン航路データをミッションプランナーへ送付については、約 20 分程度で実施した。

ミッションプランナーにおいては、運行管理システムから作成した航行ルートを取込み実施し、正常に読み込むことが確認できた。ミッションプランナーの画面は図表 43 の通り。



図表 43 ミッションプランナーに取り込んだ航行ルート

本結果を踏まえ、合計で約 60 分程度作業にて航行ルート作成、シミュレーション実施、ミッションプランナーへのデータ送付、が可能であることが判明した。

5.1.3. ドローン点検における自治体作業効率化

(1-1) 検証方法 (ドローン航行試験)

4.2.3. 使用機器 (2) にて示した運行管理システムから送付された航行データを元に、4.2.3. 使用機器 (1) にて示したドローンが自動航行にて、すさみ防災センターから離陸し、すさみ大橋での点検を実施し、すさみ防災センターへ戻るドローン航行を実施する。ドローンは航行中に LTE 通信環境にて、高精度位置測位、カメラ動画の共有、緯度経度高度情報の運行管理システムに送付、を実施する。ドローン航路は、4.2.2 に記述した図表 13 の通り。

(1-2) 検証方法 (点検デモへの関係者参加及びインタビュー対応)

すさみ町防災対策室の自治体職員、災害地区の住民、に実証調査の一連の実証実験の結果説明に参加いただき有効性を検証するインタビューを実施する。確認項目は 4.3.3、図表 27 に示す通り。

(2-1) 検証結果 (ドローン航行試験)

5.1 調査結果の図表 30 の通り、ドローン点検を実際に航行する作業を 2022 年 7 月 10～15 日に実施完了している。ドローン点検の実績詳細は以下の図表 44 の通り。ただし、高精度位置測位による緯度経度高度の確認は 5.1.4 にて、LTE 電波環境の確認は 5.1.5 にて説明する。

	日時 (ドローン フライト時間)	すさみ大橋 橋梁撮影枚数	高精度位置測位/ カメラ映像伝送	運行管理 システム監視	天候・風速
--	---------------------	-----------------	---------------------	----------------	-------

		(写真データ確認時間)			
1回目	7月12日 9:21~9:39 接触墜落等の 事故無	5枚 (10分)	RTKFIX/ ZOOM 配信成功	常時監視可能	晴れ 0.6~1.5m/s
2回目	7月12日 16:05~16:22 接触墜落等の 事故無	5枚 (8分)	RTKFIX / ZOOM 配信成功	常時監視可能	晴れ 1.1~1.6m/s
3回目	7月13日 9:00~9:17 接触墜落等の 事故無	5枚 (8分)	RTKFIX / ZOOM 配信成功	常時監視可能	晴れ 0.0~0.1m/s
4回目	7月13日 15:30~15:47 接触墜落等の 事故無	5枚 (8分)	RTKFIX / ZOOM 配信成功	常時監視可能	晴れ 0.8~2.9m/s

図表 44 ドローン点検の実績詳細

実証実験にてドローンが撮影したすさみ大橋の点検結果で得られた写真は進行方向から5枚となる。5枚の写真は図表 45 の通り。



図表 45 ドローン撮影したすさみ大橋の写真（1枚目）



図表 45 ドローン撮影したすさみ大橋の写真（2枚目）



図表 45 ドローン撮影したすさみ大橋の写真（3枚目）



図表 45 ドローン撮影したすさみ大橋の写真（4枚目）



図表 45 ドローン撮影したすさみ大橋の写真（5枚目）

実証実験にてドローンの運行管理については図表 46 の通り運行管理システムにて、緯度経度高度情報を確認できた。監視画面はリアルタイムの動画となるが、本報告書では画像切抜きを示す。



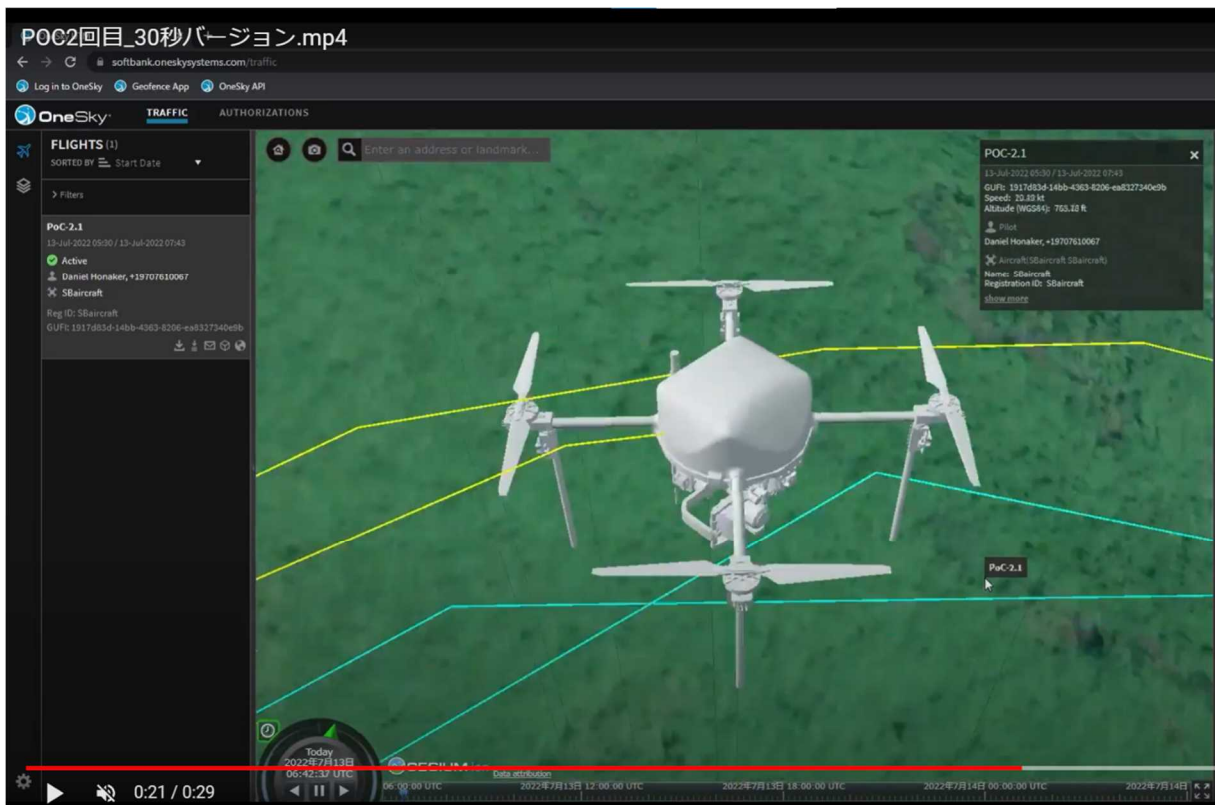
図表 46 ドローン航行中の監視画面（1枚目離陸時）



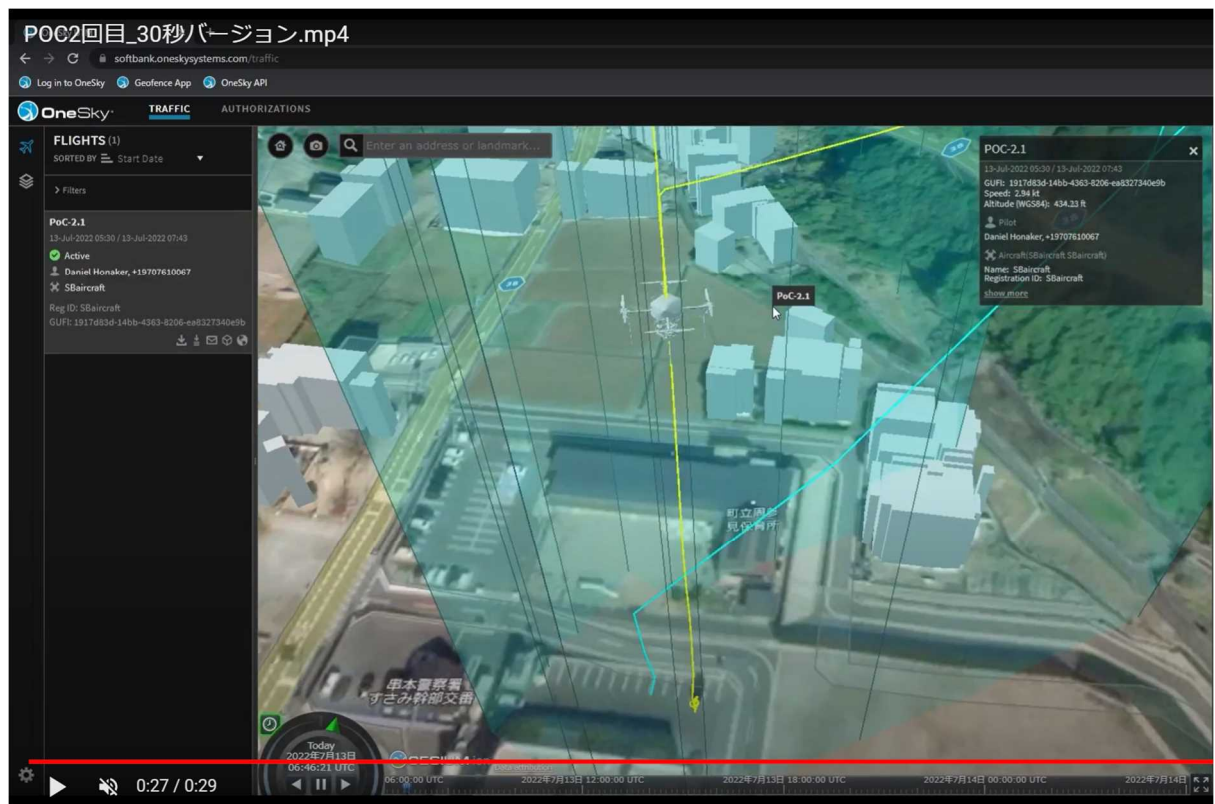
図表 46 ドローン航行中の監視画面（2枚目中間点②手前）



図表 46 ドローン航行中の監視画面（3枚目橋梁点検時）



図表 46 ドローン航行中の監視画面（4 枚目中間点⑦付近）



図表 46 ドローン航行中の監視画面（5 枚目着陸地点）

(2-1) 検証結果（点検デモへの関係者参加及びインタビュー対応）

図表 34 に記載する通り、実証実験の結果説明とインタビュー3回に分けて、すさみ町役場スマートシティ担当及び防災担当、すさみ大橋近隣居住の地区防災担当の住民に実施した。

インタビュー参加者へは、2022年7月10～15日の現地での作業立ち合い、または図表45の点検写真及び運行管理システムのドローン飛行時の動画を閲覧した上でインタビュー対応を実施した。

インタビュー結果における回答は以下の通り。（図表 47）

No	質問
1	<p>従来のすさみ大橋含む緊急輸送道路の点検はどのような実施方法が考えられるか</p> <p>【回答】（防災対策室）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・従来の方法としては、まず自身の身の安全を確保し、対応できる人員が防災センターにて対策本部を立ち上げる手順となっている。 その後は、点検する場所を口頭での現地被災状況なども情報収集し決定する。 すさみ大橋は津波発生時に津波、津波の引き返しによる土砂や家屋等の堆積も予想され、通行止め及び復旧対応が発生する可能性が高いと考えている。 ・実際に点検をする場合は、すさみ町職員や消防団員等にて陸路で現場近くまで行き、写真撮影にて現状把握を実施する。すさみ大橋は、東西両方から手分けして確認が必要であり、2～3名程度の2グループが橋の両面から確認する。ただし、現場近くまでの陸路では、徒歩や車での移動が可能となる程度に津波が引くまでに12時間程度必要と認識しており、津波発生から12時間以上経過してからの点検を予定している。
2	<p>従来の緊急輸送道路の点検と比較しドローン点検ではどの程度早期に現場状況を把握できるか</p> <p>【回答】（防災対策室）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防災センターで体制が立ち上がり、現状把握を含め多数の業務を実施する必要がある。 仮に、防災センターに設置しているドローンにて事前にルート設計と検証が完了し、自動航行がプログラムされたドローンにて点検が実施できれば、災害発生後日中帯において早ければ約1時間後にはドローン点検準備を実施できるのではないかと。 ・今回は写真撮影にて日中帯での実施想定であったが、夜間にドローン点検が実施できればより早期に現状把握が出来るのではないかと。
3	<p>従来の緊急輸送道路の点検と比較しドローン点検ではどの程度危険作業が減るか</p> <p>【回答】（防災対策室、消防団員）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・災害発生後の現地確認は、2～3名程度のグループで実施する。車移動が難しい場所は徒歩にて巡回点検をするため、浸水、がれき、建物倒壊、等の場所を通行する事が予想される。

	<ul style="list-style-type: none"> ・そのため、ドローンにて空中からある程度の情報が確認する事が出来れば、人による巡回を最低限にすることが出来る可能性がある。
4	<p>従来の緊急輸送道路の点検と比較して、ドローン点検ではどの程度効率的に実施できるか</p> <p>【回答】（防災対策室、消防団員）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・陸路のみでは、すさみ大橋の点検がそもそも不可能、橋梁の中央部分などの一部が人入れず確認不可能、といった状況が想定されている。仮に、侵入経路があり点検する場合は約半日程度必要と考える ・その点、ドローン点検では、往復 20 分程度の航行とデータ送付 10 分程度にてすさみ大橋の上空 30m からの写真にて橋梁出入口、橋梁全体、の状況が把握する事ができ、おおよその現状把握には繋がると考える。 ・ドローン飛行中のアラーム監視や管理が運行管理システムで確認可能であれば、別の場所からの管理も可能となり効率的になるのではないかと。 ・橋梁の最終的な通行可否については、国道であるため紀南河川国道事務所の判断も確認が必要である。
5	<p>システム導入における課題は何か</p> <p>【前提】</p> <p>ドローン航行による物流を今回の実証調査と同じ手段で実装を想定すると 事前ルート設定準備：同一ルートであれば次回費用発生無し 災害時のドローン航行作業：約 150 万円/1 日・1 機の費用が発生する見込み。 ＊ドローン機体をレンタルしドローン航行の技術者を手配し飛行申請と飛行を実施する想定。 ドローンでの 3 次元地図撮影は、3 次元地図 1：2 日間で約 150 万円</p> <p>【回答】（防災対策室、スマートシティ担当）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人の命がかかる場合はお金には代えられない ・事前ルート設定作業が遠隔かつ現地調査せずに良いのであれば、昨年よりも導入は進めやすくなった。 ・ドローン点検を現地で離発着場所にセットする、現地の風速や天候確認、点検後のドローン回収と確認、といった業務であれば自治体でもマニュアルや訓練を実施することで可能ではないか。ただし、訓練を受け対応可能な人を維持することは継続課題となる。 ・複数箇所同時に点検する必要がある可能性があり、バッテリー交換等を考えると 1 台では足りないのではないかと。 ・ただし、1 台の運用であっても 1 週間続くと金額は現状ではとても大きい負担 国の災害救助費用の対象にはなっていない、町で負担が大きくなる事が課題となる ・3 次元地図はドローン航行の為だけではなく、別の分野でも活用できないのか 3 次元地図取得費用と運行管理システムの費用が、現地での事前航行ルート設計よりも高くなる事が無い仕組みを建てつけるべきである。ドローンが定期的に飛ぶことで、自治体

	地元観光などで活躍できると実装化に近づくのでは無いか
6	その他気になる点はあるか
	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローン離発着場所の考慮が必要。今回は防災センターの駐車場から実施したが、災害時は人も車両も多く集まる可能性がある。屋上など広いスペースで検討してはどうか。 ・LTE 通信は災害時に使用できない可能性もあり、その想定もした事前ドローンルート設定が必要ではないか。GPS にて多少位置がずれても禁止エリアに入らない設計が出来るるとより良いのではないか。

図表 47 インタビュー結果

5.1.4. ドローン点検飛行とシミュレーション結果比較（航行精度）

（1）検証方法

飛行経路における緯度経度の誤差は、4.2.3. 使用機器（1）にて示したドローンを用い、機体に設置した高精度測位端末の1秒毎に測定される緯度経度 Log データから各ウェイポイント（中間点）に最近接した2点（A,B）を取得し、図表 48 の通り、直線 AB に対して各ウェイポイント（中間点）から垂線を下ろしたその長さにて算出した。また、高度の差分は、図表 49 の通り、ウェイポイントから最も近い飛行実績の2点（A 及び B 点）間の高さ平均とウェイポイントの高さとの差分を計測する。

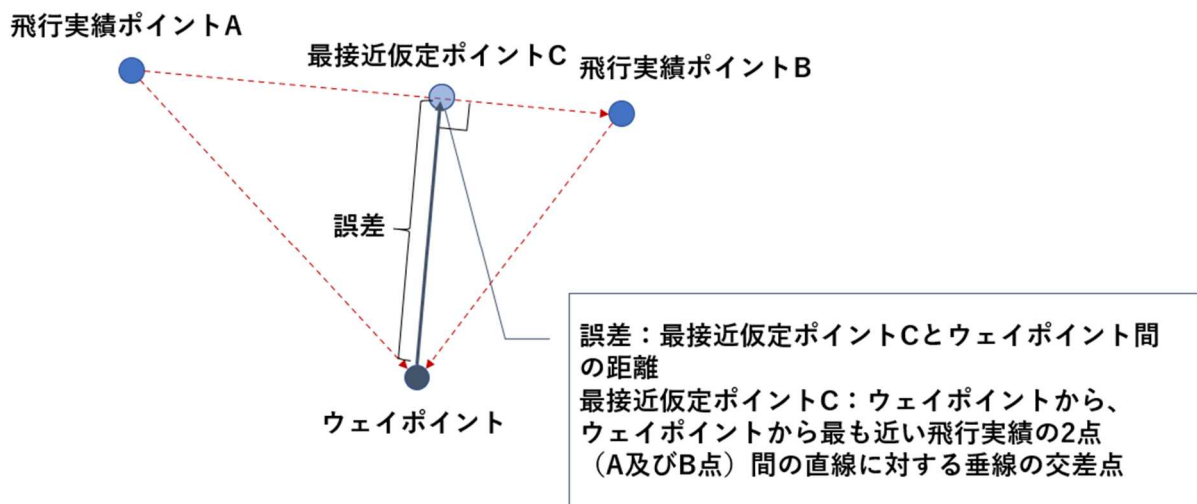
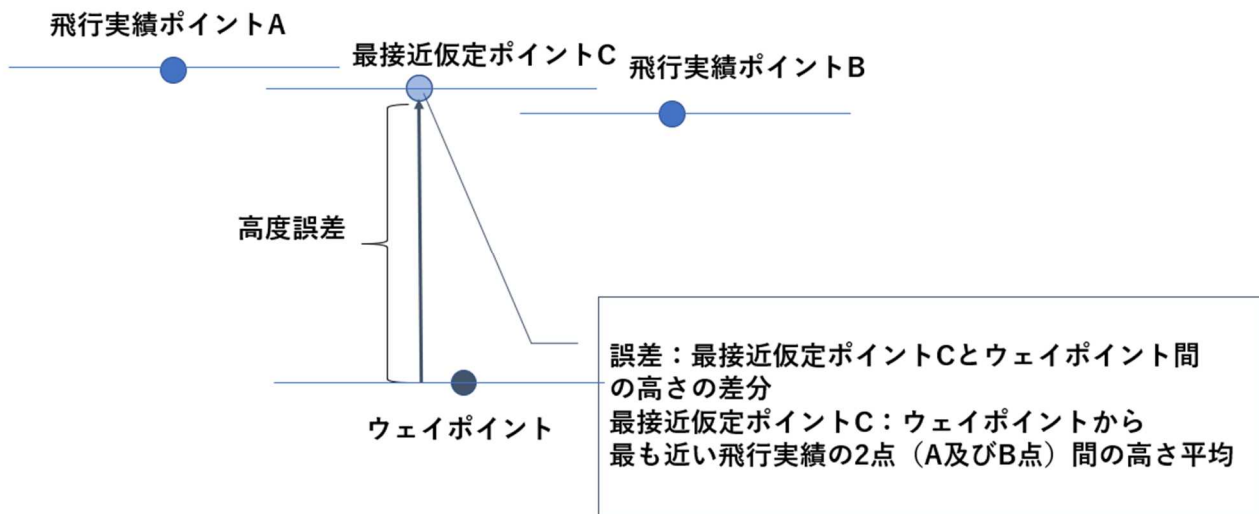


図 48 飛行経路における緯度経度の誤差算出方法



図表 49 飛行経路における高度誤差算出方法

(2) 検証結果

5.1 調査結果の図表 30 の通り、ドローン点検を実際に航行する作業を 2022 年 7 月 10～15 日に実施完了している。その航行実績データと航行ルート作成時に設定した緯度経度からの誤差及び、高度の誤差を図表 50 及び 51 の通り。

	設定緯度	設定経度	4 回平均実績緯度(ポイント A)	4 回平均実績経度(ポイント A)	4 回平均実績緯度(ポイント B)	4 回平均実績経度(ポイント B)	4 回平均緯度経度誤差 (cm)
中間点 1	33.559421	135.511733	33.5593216	135.5117373	33.5594205	135.5117352	20.33
中間点 2	33.561569	135.506067	33.5615621	135.5061287	33.56157	135.5060437	12.85
中間点 3	33.560244	135.500465	33.5602507	135.5004933	33.5602171	135.500382	19.23
中間点 4	33.553049	135.495312	33.5531262	135.4953776	33.5530455	135.495309	0.19
中間点 5	33.552794	135.495141	33.552713	135.4951205	33.5528047	135.4951494	45.15
中間点 6	33.560151	135.500236	33.560139	135.5001984	33.560173	135.5003092	4.81
中間点 7	33.56154	135.5063	33.5615345	135.5062862	33.5615676	135.5063156	66.43
中間点 8	33.559049	135.51172	33.5590543	135.5117173	33.5589556	135.5117192	24.12

図表 50 飛行ルートの緯度経度航行精度結果表

	設定 高度 (m)	4 回平均実績 高度ポイント A) (m)	4 回平均実績 高度ポイント B) (m)	4 回平均 緯高度誤差 (cm)
中間点 1	100.007004	97.35	97.42	-258.66
中間点 2	112.407997	147.61	147.45	-3508.55
中間点 3	100.003998	96.82	96.88	-316.91
中間点 4	100.000999	95.97	95.95	-405.01
中間点 5	100.000999	100.04	100.01	1.28
中間点 6	99.998001	100.1	100.05	8.49
中間点 7	100.158997	98.48	96.95	-213.36
中間点 8	99.997002	98.12	98.21	187.17

図表 51 飛行ルートの緯度経度高度精度結果表（注意：誤差のみ cm 単位で記載）

5.1.5. ドローン点検飛行とシミュレーション結果比較（LTE 電波環境精度）

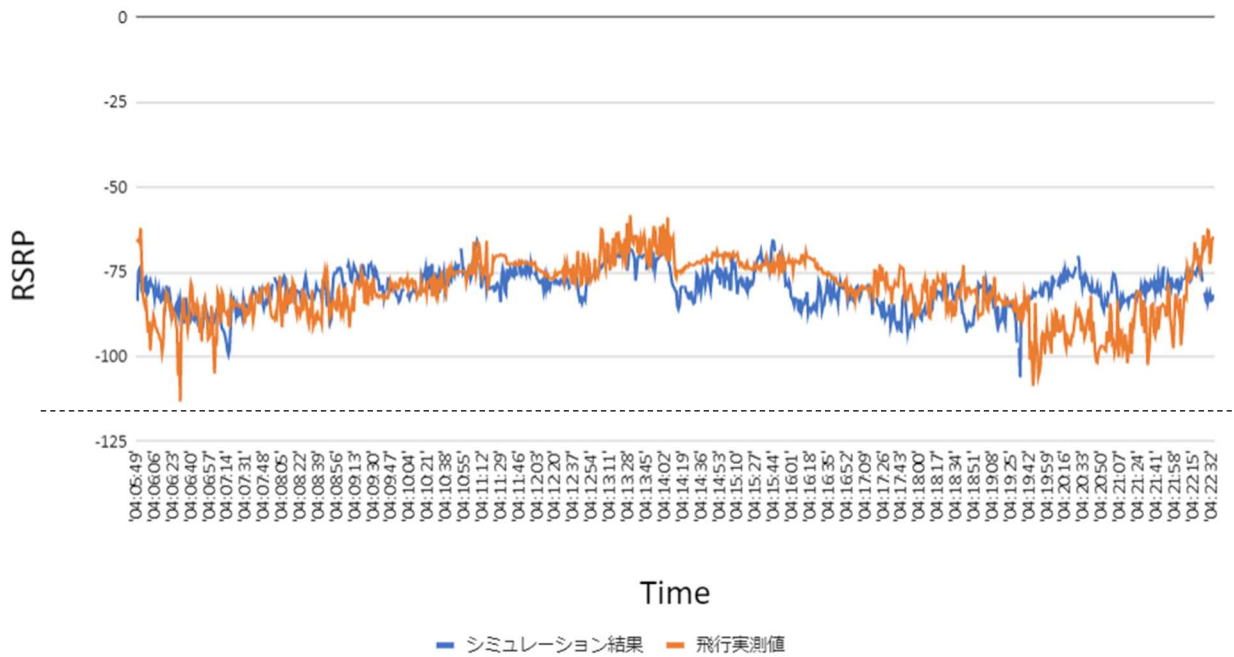
（1）検証方法

4.2.3. 使用機器（2）にて示した運行管理システムを用い、ドローンシミュレーション機能にて作成された飛行ルートにおける LTE 通信に必要な電界強度予測 1,000 か所を、4.2.3. 使用機器（1）にて示したドローン機体の航行時における緯度経度高度情報及び電界強度情報を元に比較した電界強度結果の差分を比較する。

（2）検証結果

5.1 調査結果の図表 30 の通り、ドローン点検を実際に航行する作業を 2022 年 7 月 13 日に実施完了している。その航行時にドローンが LTE 通信をした際の電波環境測定結果と、航行ルート作成時にシミュレーションから作成した結果を比較した。

事前の試験環境で確認した、基地局からの LTE 電波の放射パターン及び、ドローン側の受診アンテナパターン最適化を実施したシミュレーション結果が図表 52 の青線グラフとなり、実際のドローン航行における結果をオレンジ線にて示す。事前に設定した電波強度の目安として、今回は-115dBm を閾値としてグラフ内点線にて示す。



図表 52 電界強度調査結果比較表

また、参考までに LTE 通信にてドローンから送付された飛行中の動画から作成した静止画を図表 53 にて示す。



図表 53 ドローンから LTE で送付された動画の切抜き

5.2. 分析

5.1 から得られた結果を基に、安心・安全なドローン航行実現による、緊急輸送道路に対するドローン点検に関する仮説、に関する分析を実施する。

5.2.1. 3次元地図作成におけるドローン航行へ障害となる人工物、電線等検知の検証分析

5.1.1 図表 33 に記載された 3次元地図の活用について、一部課題がありその原因調査を実施し、ドローンルート作成における 3次元地図種別での有効性と注意点の比較表にまとめた。(図表 54)

	3次元地図 1	3次元地図 2	すさみ町における注意点
離発着地点設定 (すさみ防災センター)	<ul style="list-style-type: none"> ・道路面は乱反射影響にて点群データが少ないため選定に十分な点群データを確認できなかった 	<ul style="list-style-type: none"> ・十分に離発着場所選定に必要な点群データが取得できていた ・電線も高密度に点群生成できている 	<ul style="list-style-type: none"> ・すさみ町内は役場、民家、商業施設、病院、等の近くでは、電柱と電線で電力供給があり接触に注意が必要な場所が多い
中間点	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローン航行に影響を与える高い建物は高圧線鉄塔であることが確認可能。 ・2D 地図も平行して確認する必要の方が安全なルート設計が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローン航行に影響を与える高い建物は高圧線鉄塔であることが確認可能。 ・高速道路やトンネル、線路等も詳細に確認が可能であった 	<ul style="list-style-type: none"> ・高速道路、線路等の飛行には管理者と十分な協議が必要
点検地点 (すさみ大橋)	<ul style="list-style-type: none"> ・橋梁上部縦軸部分は地表面よりも 10m 以上高いために、点群データ密度が少なくなっている。ドローンからのレーザー照射高度、航行速度を変更し複数回取得する事で高密度な点群データとなりルート設計可能な点群データとなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・橋梁上部縦軸も含め形状がしっかり認識出る ・電線も高密度に点群生成できている 	<ul style="list-style-type: none"> ・万が一の墜落の危険性を考慮しドローンによる写真撮影位置を、河川、海の上空とする配慮が必要
着陸地点 (すさみ防災センター)	<ul style="list-style-type: none"> ・道路面は乱反射影響にて点群データが少ないため選定に十分な点群データを確認できなかった 	<ul style="list-style-type: none"> ・十分に離発着場所選定に必要な点群データが取得できていた ・電線も高密度に点群生成できている 	<ul style="list-style-type: none"> ・すさみ町内は役場、民家、商業施設、病院、等の近くでは、電柱と電線で電力供給があり接触に注意が必要な場所が多い

<p>まとめ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・容易に現地確認にて安全担保が可能な場所では、今回の3次元地図1でもドローン航行ルート作成可能 ・人口構造物、電線等が詳細に検討必要がある場合は、ドローンからのレーザー照射高度、航行速度を変更し複数回取得する事で高密度な点群データ作成がドローン航行ルート作成には必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・道路面、橋梁構造物、電線等も高密度な点群データにて確認可能であり、ドローン航行ルート作成可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・離発着場所では、3次元地図で計測できない可能性がある電線・電柱等の接触事故に注意が必要 ・高速道路、線路等への事前調整が必要 ・万が一の墜落の危険性を考慮しドローンによる写真撮影位置を、河川、海の上空とする配慮が必要
------------	--	---	---

図表 54 3次元地図種別での有効性比較と注意点

本結果から、3次元地図にてドローン航行ルート設計を実施するには、地形、人口構造物、電線等をしっかりと認識できる高密度な点群データが、安心安全なドローン航行ルート設計により活用できると考える。

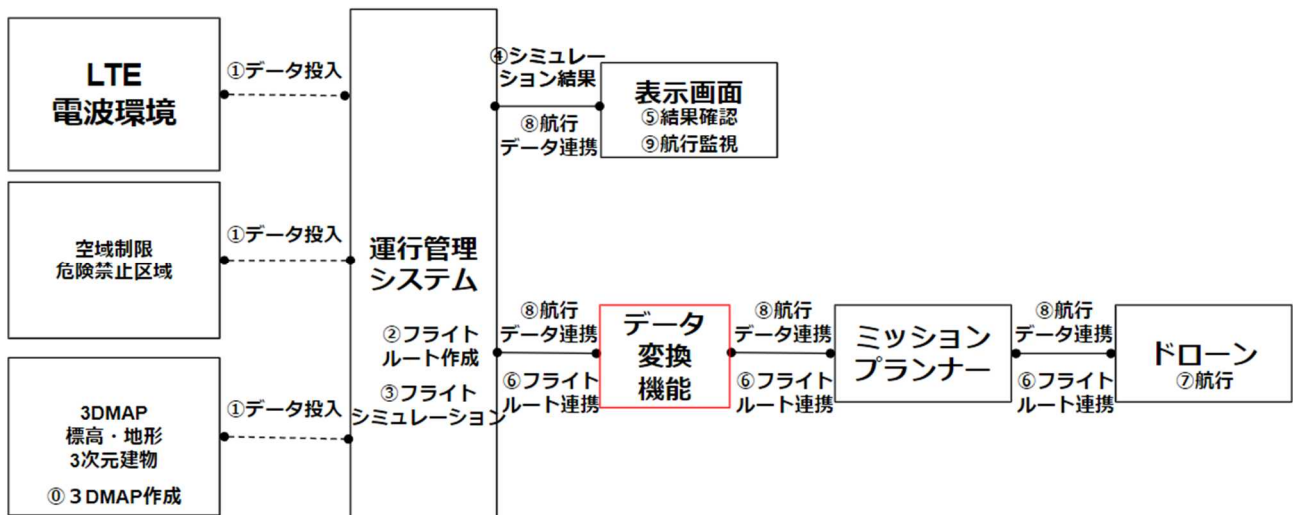
ただし、現状の TDOT3 GREEN の機器・維持費用は、汎用性の高い Zenmuse L1 と比べ高額であることから今後の技術進歩によって、高機能製品がより低価格で利用できることが望ましい。

尚、今回のドローン航行の許可においては、航行ルート作成時に確認できた、高速道路付近の航行については国道管理事務所へ、線路通過時は JR 西日本に協議の上で実施した。特に線路通過時には、線路へ万が一ドローン落下時には線路見張り員でしか線路に立ち入れない為、線路内作業が可能な見張り員を手配・配置し実証実験における安全配慮を実施した。

5.2.2. 技術1に関する運行管理システムからの航行ルート作成の検証分析

今回の航行ルート約 8.4km での航行ルート作成には、2名で 60分程度にて実施可能であった。ただし、運行管理システムからミッションプランナーまでのデータ転送では、一部のデータ転送に FMT 変換が必要であったため、変換サーバーを急きょ準備し対応を実施した。今後は継続的に運行管理システムとミッションプランナー間でのデータ連携に関し、どちらかのソフトウェアのバージョンアップがあった際にはデータ連携が可能であるか確認をする必要があると考える。

データ変換機能を含むシステム構成図は図表 55 の通り。



図表 55 追加後のシステム構成図

上記システム構成を変更した後に、運行管理システムから図表 55 内の⑥、⑧の連携は問題無く実施された。

5.2.3. ドローン橋梁点検による従来手法との比較インタビューの結果
インタビュー結果を、以下の知見と継続課題に分類した。（図表 56）

項目	知見/継続課題	事柄
ドローン橋梁点検	知見	ドローン橋梁点検によって、日中帯での点検業務開始が 12 時間後から最短で 1 時間後に開始可能となる
ドローン橋梁点検	知見	ドローン橋梁点検によって、日中帯での点検業務における、すさみ町役場職員または消防団員における、津波発生後の危険地域への侵入リスクを低減可能である
ドローン橋梁点検	知見	ドローン橋梁点検によって、日中帯での点検業務における、すさみ町役場職員または消防団員における、確認作業時間が約半日から準備 60 分+ドローン作業 30 分の合計 1 時間半程度に短縮可能である。
ドローン橋梁点検	知見	ドローン運航監視を運行管理システムで表示できる事により現地以外からの監視が実施できる可能性がある
ドローン社会実装	継続課題	自治体職員及び消防団員のドローン活用スキルの向上
ドローン社会実装	継続課題	災害時の航行において 1 週間程度の運用でも自治体費用負担が大きい
ドローン社会実装	継続課題	災害時に同時多発的に複数個所の点検が発生した際に複数ドローン配備の必要性がある

ドローン社会実装	継続課題	点検範囲拡大に向けて、3次元地図2相当のデータ収集及び運行管理システムの利用料が、現場での事前航行作業よりも安くなる運用の検討
ドローン社会実装	継続課題	ドローン航行の周辺エリアでの災害時活用の事前周知及び、高速道路管理者、線路管理者との事前取決めが必要
ドローン橋梁点検	継続課題	橋梁の最終的な通行可否については、国道であるため国道事務所の判断も確認が必要であり、今後連携が必要。

図表 56 インタビュー結果から得られた知見と継続課題

5.2.4. 技術1に関するドローンシミュレーションから作成された飛行ルート精度の検証

ドローン点検航行における8か所の間差点での緯度経度誤差、高度誤差、に関する分析結果を図表57、58にて示す。

分類1	分類2	ドローン点検での分析 (cm)
中間点	最大値	66.43
中間点	中間値	18.68
中間点	最小値	0.19

図表 57 中間点での緯度経度差分確認

緯度経度の誤差は概ね1m以内となっており、運行管理システムから作成されたドローン航行ルートを使用してもRTK測位を利用した高精度な航行が実現出来ていると考える。

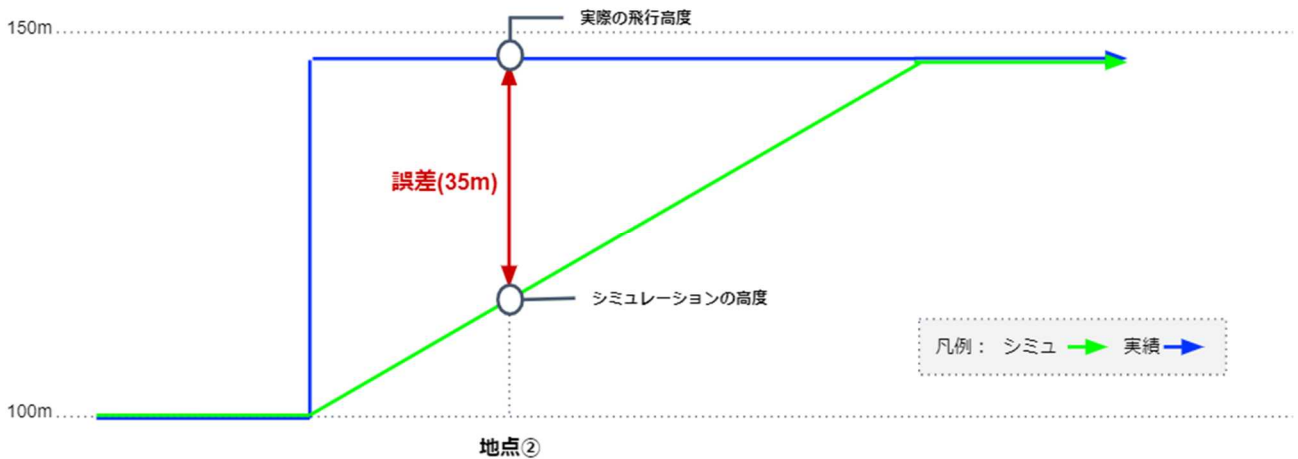
分類1	分類2	ドローン点検での分析 (cm)
中間点	最大値	-3508.55
中間点	中間値	187.17
中間点	最小値	1.28

図表 58 中間点での高度差分確認

高度において、最大値が約35m発生し、原因分析を実施し、中間点2において大きな誤差が発生していた。

その理由として、中間点2では、高速道路近辺を航行する為に、運転者の視界にドローンが入らないよう、高度を145M近くまで45M弱垂直に上昇し、その後に山間部（高速道路のドンネル上空）を通過、再度高度を100Mまで落とす運行設定でルート作成をしていたことが上げられる。

シミュレーション環境では中間点と次の中間点で高度に差分がある場合、中間点を結ぶ直線にて高度変化する設定のみ可能であったために、差分が発生した。（図表59）



図表 59 高度差分を発生させた実飛行とシミュレーション環境差分

将来的には、シミュレーション環境で、航行途中の高度変更に対応する機能開発を進める予定である。

5.2.5. 技術 1 に関するドローンシミュレーションから作成された飛行ルート電波環境精度の結果分析

シミュレーションにて作成された電界強度予測と、実際のドローン飛行時における電界強度を比較した結果を図表 60 に示す。

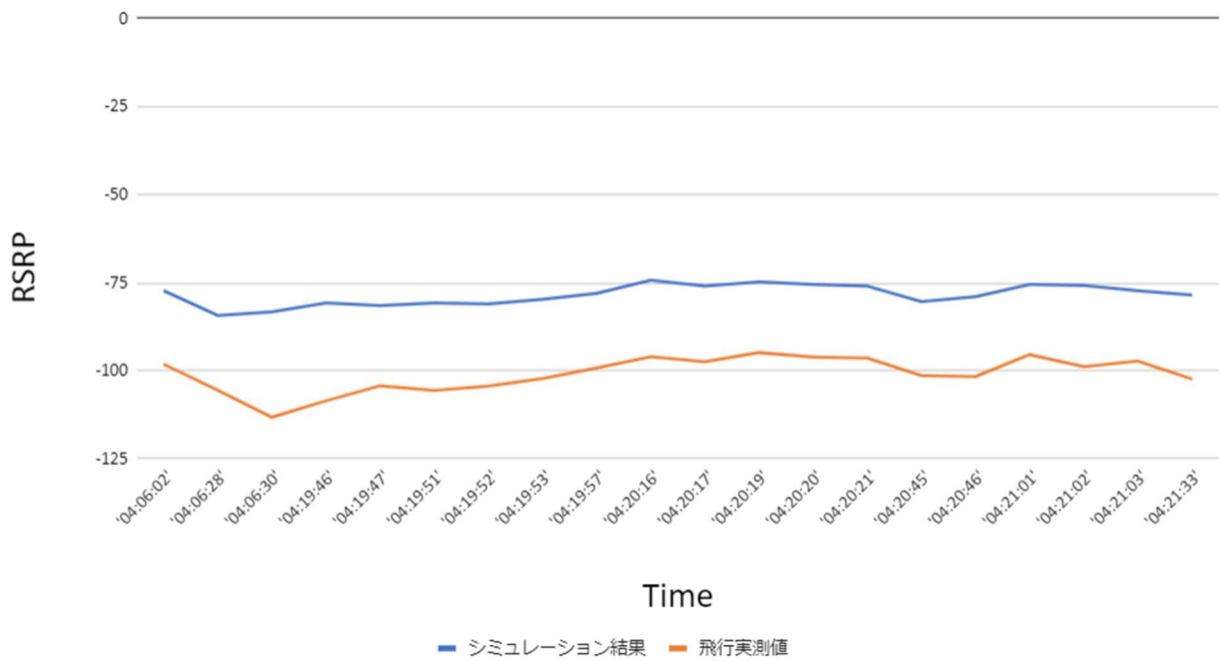
分類 1	実績値からシミュレーション値を減算した結果の絶対値	場所
差分最大値	30.132	中間点①と②中間
差分中間値	0.879	—
差分最小値	0.006	橋梁点検時
差分平均値	1.34	—

図表 60 電界強度の差分確認

平均的な差分は、1.34 となり、十分にシミュレーション環境としては利用できると考える。しかし、最大差分においては、中間点①から②エリア（図表 61 赤枠内）に集中しており、かつ実績の電界強度実績値が-100dBm より悪い環境であった（図表 62）。これはドローン端末アンテナにおける障害物（ドローンカバーなど）をより分析して、電波伝搬モデルのパターンに加えることで精度向上が望めると考える。



図表 61 中間点 8 か所と最大差分発生エリア



図表 62 電界強度の差分が大きかったポイント 20 か所抜粋
尚、差分が-20 を超える差分となった箇所は 20 か所であり、全体の 2.0%となる。

5.3. 考察

5.3.1. 仮説に対する考察

4.1.3 で示した仮説に対し実証結果及び実証分析結果からの考察は以下の通り。

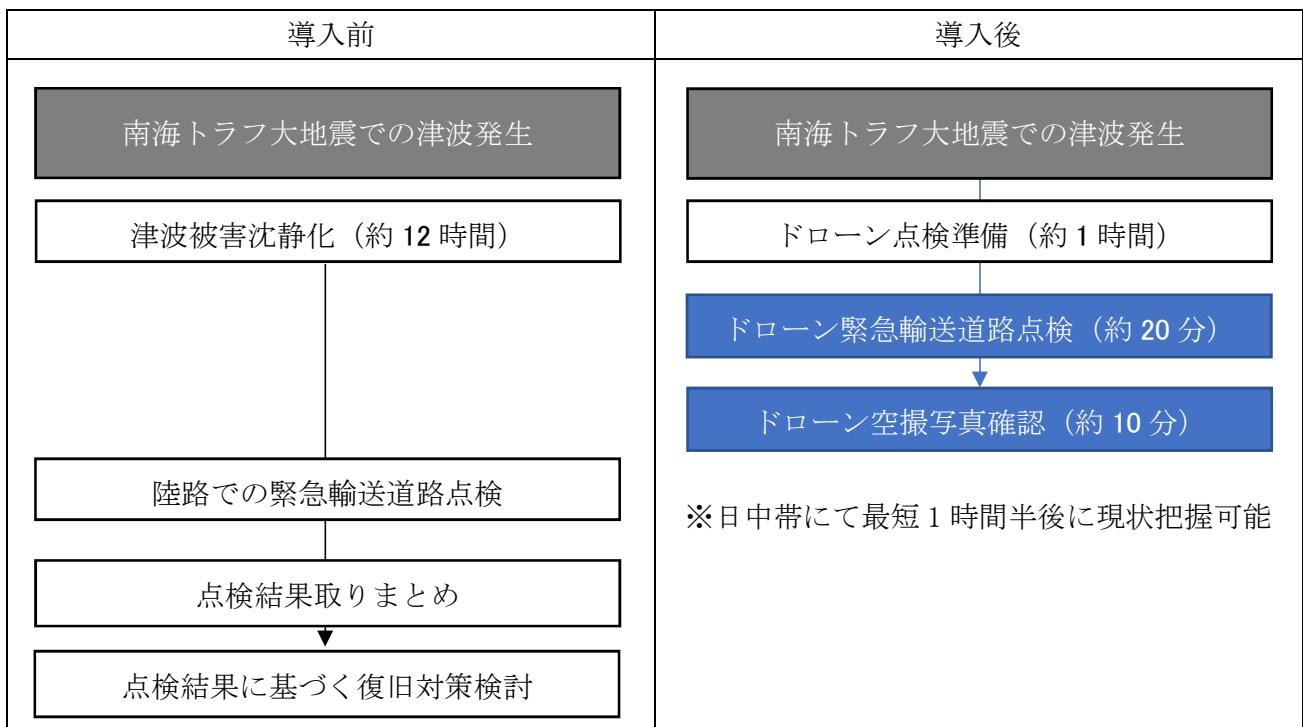
(1) 自治体の津波発生後におけるすさみ大橋ドローン点検に関する効率化と危険作業低減の効果

津波発生後のすさみ大橋の異常検知が、災害発生から最短1時間で開始する事ができ、ドローン空撮画像にて被災状況を確認し、陸上で危険地域への侵入を避け、2人相当の作業者が30分程度で確認出来ると考えられる。作業者の工数時間に関する根拠は以下の通り。

- ・災害発生から最短1時間：6. 横展開に向けた一般化した成果、(2) 安心・安全なドローン航行を実現する為のチェックシート、を用いてスマートシティ取組での訓練時の準備時間実績
- ・2人相当の作業者が30分程度：図表44に示す通り、ドローン点検飛行時間平均17分、ドローン着陸後の写真データ確認作業約10分（1人がパソコンへのデータ転送5分、及び、2人が目視で写真を目視確認5分で状況判断）、合計約27分となり、本考察では2人作業で30分程度として表記。

これにより、南海トラフ地震による津波発生後において、国道42号線の複数個所で浸水が発生し車両や人の通行が難しい状況に陥る可能性が高い中で、早期の復旧・復興に向けて迅速な現地状況の把握が可能になると考える。

ドローン点検によるすさみ大橋点検の自治体作業の効率化が社会実装化された際、津波災害発生時の自治体点検フローにおける想定される変化は図表63の通り。



図表63 災害発生時の業務フローの変化

(2-1) 自治体のドローン点検航行前における事前準備に関する効率化の効果

すさみ町防災センターからドローン点検ルートとしてすさみ防災センターからすさみ大橋への往復約 8.4km を災害前に航行ルートを設定しておくことで、災害発生後の迅速な点検に向けた準備が現地確認作業を伴うこと無く実施可能であると考える。

上記の航行ルート作成においては、3次元地図を運行管理システムにて、禁止エリア飛行の回避、LTE 通信環境の担保、されていることで現地確認を省略する事が可能であり、事前作業が遠隔からの作業のみで効率的に実施できると考える。

航行ルート作成に必要な要素を兼ね備えた3次元地図作成、安心安全なルートを設計するための運行管理システム機能活用に関し、従来の事前準備実施方法と実証実験で確立した事前準備実施方の比較を図表 64 にて示す。



図表 64 事前準備方法の比較

（2-2）3次元地図におけるドローン航行ルート設計に必要な要素

ドローン点検の航行ルート設計を3次元地図活用して実施する際は、以下の点を考慮すべきである。

離発着地点においては、容易に現地確認にて安全担保が可能な場所では、今回の3次元地図1相当の点群データにおいてドローン航行ルート作成可能であるが、人口構造物、電線等への接触リスクがある場合は、道路面、橋梁構造物、電線を確認可能である3次元地図2相当を利用する事が望ましい。

今回の成果を令和3年度からすさみ町で整備する安心・安全なドローン航行に向けたチェックシートに対し、津波発生時のドローン点検として作成することで早期の社会実装を目指す事が出来る。チェックシートに関しては、6.横展開に向け一般化した成果にて詳細を示す。

5.3.2. 本実証調査の社会実装に向けた今後の取組

（1）社会実装に向けた課題と対策案

インタビューを通じて、自治体職員、避難所管理者、航行ルート近隣住民へ確認し、昨年からの継続検討すべき課題及び新規課題が判明した。今後の検討すべき対策案を図表 65 にて示す。

課題事項	対策案
20km を超える長距離飛行によるすさみ町内での対象エリア追加	・機体の高性能化に向けた開発 ※技術革新等の必要性有。
(新規) ドローン点検の町内全域実施に伴う、高速道路、線路通過時の恒久的な整理	・災害時の連携協定や覚書等でドローン点検に関するドローン点検航行の情報共有や実施条件整理を実施
(新規) 3次元地図取得と運行管理システム費用が 現地事前作業費用よりも安価であるべき	・3次元地図の活用方法の拡大 ・ドローン航行における課題解決をより多くの分野に適用する
(新規) ドローン点検結果を関係各所へ共有し活用する手段の検討	・国道管理者、高速道路管理者、線路管理者、等とのドローン点検結果の情報共有方法の整理
(新規) 自治体職員及び消防団員のドローン活用スキルの向上	・スキル向上講習会等の開催 ・スキル保持する事業者が自治体から業務委託を受ける等の整理
災害時の航行において1週間程度の運用でも自治体費用負担が大きい	・費用負担において、自治体やコンソーシアムで負担金を募り費用充当する ・平時でのドローン利活用を検討し、災害時とシステム共有を目指す

図表 65 実装化に向けた課題と今後検討すべき対策案

6. 横展開に向けた一般化した成果

横展開に向けて一般化した事項としては、ドローン航行ルート作成への3次元地図活用による事前作業の効率化、及び、安心・安全なドローン航行を実現する為のチェックシート改版と津波発生時の点検業務における新規チェックシート、となる。

(1) ドローン航行ルート作成への3次元地図活用による事前作業の効率化

今回使用した運行管理システムにて、従来の現地における事前航行による安全確認、ルート検証作業を仮想空間で実施可能であると考えられる。

仮想空間で航行ルートを作成する際の作業項目と、作業詳細内容は以下の図表 66 の通りとなる。

作業項目	作業詳細
	離発着地点を決定

航行ルート (案) 作成	ドローン航行ルート (案) を作成 飛行禁止エリア上空、人口構造物、LTE 電波環境が無いエリア、を避ける
	不時着地点 (案) を決定
運行管理 システム での確認	離発着地点(案)及び不時着地点(案)での安全性確認を実施 * 5m 四方以上の場所が確保できる事 * 飛行場所付近の人口構造物・電線・等の障害物を確認・評価する
	ドローン航行ルート(案)上を陸路、海路、空路にて、人口構造物、 立入禁止エリアを避けるルート設計を実施しルート上の安全性確認を実施 * 周辺状況を十分に確認し、第三者の上空飛行を避ける
	ドローン航行ルート(案)上の LTE 通信状況を確認 * 高精度測位技術、上空からの映像配信は LTE 通信を用いる
航行ルート 決定	ドローン航行ルートの決定と出力 * 必要に応じてパイロットライセンス保有する専門家へ出力データ確認依頼を実施

図表 66 仮想空間で航行ルートを作成する際の作業項目と作業詳細

(2) 安心・安全なドローン航行を実現する為のチェックシート

今回、新たに津波発生時のドローン点検業務に関して作成したチェックシートは、国土交通省が公開している「無人航空機マニュアル、3. 安全を確保するために必要な体制」について実証調査を通じて得た知見を基に、補足資料としての位置付けにて作成した。また従来作成済みの物流ドローンのチェックシートにおいても実証調査を通じて得た知見を改版した。無人航空機マニュアルと合わせて使用することで、より安心・安全かつ効率的なドローン航行を実現する一助になると考える。

チェックシートに反映した本事業からの成果は以下の図表 67 の通り。

チェックシート作業項目	調査事業での成果	反映事項
事前準備作業 (1 枚目)	・ 3 次元地図及び運行管理システムを活用した事前準備を仮想環境で実施すること	・ 事前航行ルート作成手順 ・ 事前航行ルートでの障害物/人口構造物、飛行禁止エリアの回避確認手順 ・ LTE 電波環境の確認手順 ・ 3D 環境でのルートイメージ図及び高度設計図
事前準備作業 (2 枚目)	・ すさみ防災センターからすさみ大橋ドローン点検を完了した飛行結果	・ ミッションプランナーで確認する地図上でのルート図 ・ LTE 電波環境における判断閾値

ドローン航行作業 (5 枚目)	・ 運行管理システムにて 3D 環境上でドローンの緯度経度高度が監視可能であること	・ 監視システムとして運行管理システムを採用する手順
ドローン航行作業 (6 枚目)	・ すさみ防災センターからすさみ大橋ドローン点検を完了した飛行結果	・ 離発着時のイメージ図
参考情報 (6 枚目)	・ 事前準備を仮想環境で実施すること	・ 事前現場確認が必要である課題を削除

図表 67 チェックシートに反映事項

チェックシートは次項以降で示すが、本調査事業で得られた成果を反映した箇所を赤枠にて示す。

○高精度測位機能を活用したドローンによる災害時の早期点検チェックシート

本チェックシートの位置付け

1枚目

国土交通省が公開している「無人航空機マニュアル、3. 安全を確保するために必要な体制」を補足する資料となる

基本事項

実施年月日	年 月 日 ~ 年 月 日
実施者所属	
実施者氏名	
免許許可	番号： 期間：
ドローン情報基盤システム (FISS) への登録	
有・無	

項番 1：事前準備作業

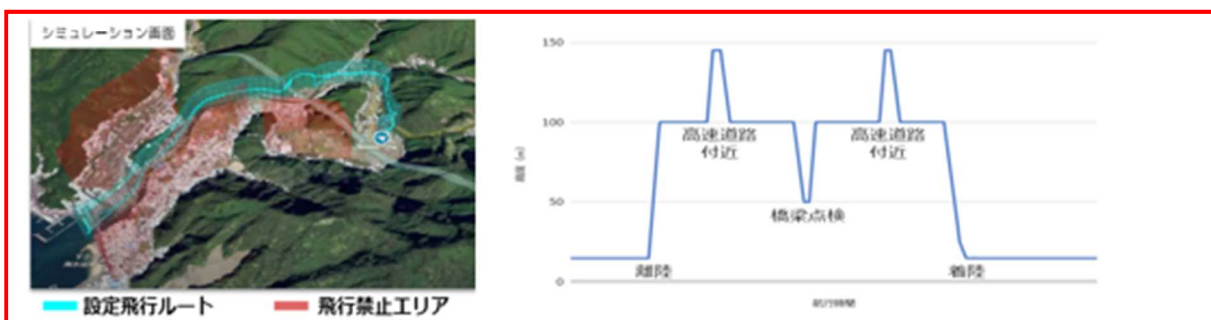
項番 1は、災害発生前にドローンによる物資配送が想定される離陸地点、着陸地点、航行ルートにて行う準備作業である
 本作業は3DMAPを取得済み地域にて、運行管理システムを利用して実施可能
 災害前に実施できていない場合は、ドローン航行専門家等に相談が必要

作業レベルは、以下の通り

- レベル1：レベル2未満の技能である作業者
- レベル2：国土交通省が認定するドローンの講習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
航空法を理解している作業者
- レベル3：国土交通省が認定するドローンの講習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
現場での運用実績が一定以上ある作業者(目安100時間以上)

作業項目	作業レベル	チェック	作業詳細	メモ
航行ルート 【規】作成	2	<input type="checkbox"/>	離陸着地点を決定	
	2	<input type="checkbox"/>	ドローン航行ルート【規】を作成 飛行禁止エリア上空、人口集積地、LTE電波強度が弱いエリア、を避ける	
	2	<input type="checkbox"/>	不時着地点【規】を決定	
運行管理 システム	2	<input type="checkbox"/>	離陸着地点(案)及び不時着地点(案)での安全性確認を実施 *3m四方以上の場所が確保できる事 *飛行場所付近の人口集積地・電線等の障害物を確認・評価する	
	2	<input type="checkbox"/>	ドローン航行ルート(案)上を道路、海路、空路にて、人口集積地、 立入禁止エリアを避けるルート設計を実施しルート上の安全性確認を実施 *周辺状況を十分に確認し、第三者の上空飛行を避ける	
	2	<input type="checkbox"/>	ドローン航行ルート(案)上のLTE電波状況を確認 *高精度測位技術、上空からの映像配信はLTE通信を用いる	
航行ルート 決定	2	<input type="checkbox"/>	ドローン航行ルートの決定 *必要に応じてレベル3の専門家へ確認を実施	離陸着場所利用者や 近隣通行関係者へ 災害時のドローン航行 周知が望ましい

参考ルート（令和3年度補正予算スマートシティ実装化支援事業「すさみスマートシティコンソーシアム実証実験」）



○高精度測位機能を活用したドローンによる災害時の早期点検チェックシート

本チェックシートの位置付け

2枚目

国土交通省が公開している「無人航空機マニュアル、3. 安全を確保するために必要な体制」を補足する資料となる

基本事項

実施年月日	年 月 日 ~ 年 月 日
実施者所属	
実施者氏名	
免許許可	番号： 期間：
ドローン情報基盤システム (FISS) への登録	
	有・無

項番 1：事前準備作業

項番 1は、災害発生前にドローンによる点検が想定される離陸地点、着陸地点、点検地点、航行ルート、不時着地点にて行うドローン運行管理システムを用いて実施する準備作業である
 災害前に実施できていない場合は、ドローン航行専門家等に相談が必要

作業レベルは、以下の通り

レベル 1：レベル 2未達の技能である作業者

レベル 2：国土交通省が認定するドローンの講習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
 航空法を理解している作業者

レベル 3：国土交通省が認定するドローンの講習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
 現場での運用実績が一定以上ある作業者(目安100時間以上)

参考ルート設定 (令和3年度補正予算スマートシティ実装化支援事業_すさみスマートシティコンソーシアム実証実験)

すさみ大橋点検ルート



・LTE通信が可能とするため、電界強度シミュレーション値を確認する (-115dBm以上必要)

Latitude	Longitude	Altitude	RSRP(meas)
33.55895092	135.4978911	95.7961	-84.7
33.5590385	135.49795	95.6306	-85.6
33.55912189	135.4980044	96.1718	-84.6
33.5591723	135.4980833	95.2935	-85.9
33.55922922	135.498183	95.7693	-82.4
33.55928549	135.498288	95.4377	-77.7
33.55932895	135.4983806	95.2717	-78.7
33.55937919	135.4984764	95.3717	-81.1
33.55943644	135.4985787	95.1849	-86.3
33.55948451	135.4986787	95.6378	-85
33.55953756	135.4987778	95.9839	-84.5
33.55958761	135.4988804	96.6872	-81.6

○高精度測位機能を活用したドローンによる災害時の早期点検チェックシート

本チェックシートの位置付け

3枚目

国土交通省が公開している「無人航空機マニュアル、3. 安全を確保するために必要な体制」を補足する資料となる

基本事項

実施年月日	年 月 日 ~ 年 月 日
実施者所属	
実施者氏名	
免許許可	番号： 期間：
ドローン情報基盤システム (FISS) への登録	
	有・無

項番2：ドローン飛行作業

項番2は、災害発生時にドローンによるすさみ大橋点検を行う作業である
事前準備が災害前に実施できていない場合は、ドローン飛行専門家等に相談が必要

作業レベルは、以下の通り

- レベル1：レベル2未満の技量である作業者
- レベル2：国土交通省が認定するドローンの講習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
航空法を理解している作業者
- レベル3：国土交通省が認定するドローンの講習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
現場での運用実績が一定以上ある作業者(目安100時間以上)

離陸着地点における準備物チェックリスト

No	作業レベル	チェック	準備物	メモ
1	3	<input type="checkbox"/>	高精度測位機を具したドローン本体	
2	3	<input type="checkbox"/>	ドローン本体を操作するオペレーション&メンテナンスシステム一式	
3	1	<input type="checkbox"/>	バッテリー残量計測装置	
4	3	<input type="checkbox"/>	バッテリー充電装置	
5	3	<input type="checkbox"/>	交換用バッテリー機材	
6	1	<input type="checkbox"/>	点検用カメラ	
7	1	<input type="checkbox"/>	風速計	
8	1	<input type="checkbox"/>	ドローンランディングパッド	
9	1	<input type="checkbox"/>	ダウンウォッシュ対策【ブルーシート等】	
10	1	<input type="checkbox"/>	ヘルメット、サングラス、静電帯電、静電作業着、安全靴、 標の現場に合わせた安全な作業服装	
11		<input type="checkbox"/>		
12		<input type="checkbox"/>		
13		<input type="checkbox"/>		
14		<input type="checkbox"/>		
15		<input type="checkbox"/>		

○高精度測位機能を活用したドローンによる災害時の早期点検チェックシート

本チェックシートの位置付け

4枚目

国土交通省が公開している「無人航空機マニュアル、3. 安全を確保するために必要な体制」を補足する資料となる

基本事項

実施年月日	年 月 日 ~ 年 月 日
実施者所属	
実施者氏名	
免許許可	番号： 期間：
	ドローン搭載基盤システム（FISS）への登録
	有・無

項番2：ドローン飛行作業

項番2は、災害発生時にドローンによるすさみ大橋点検を行う作業である
事前準備が災害前に実施できていない場合は、ドローン航行専門家等に相談が必要

作業レベルは、以下の通り

- レベル1：レベル2未満の技量である作業者
- レベル2：国土交通省が認定するドローンの講習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
航空法を理解している作業者
- レベル3：国土交通省が認定するドローンの講習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
現場での運用実績が一定以上ある作業者（目安100時間以上）

作業項目	作業レベル	チェック	作業詳細	メモ
作業前 確認	2	<input type="checkbox"/>	【航行ルート上での第三者の立ち入りの可能性の排除】 仮に第三者エリア上空を通過する場合は現場で補助者による立ち入り制限が出来ている事を確認	
	1	<input type="checkbox"/>	【風圧による揚力増大リスク低減】 離陸着地点において風速計にて風速 $10m/s$ 以下であることを確認	
	1	<input type="checkbox"/>	【風圧による揚力増大リスク低減】 搭載する荷物の重心が安定する様に固定出来ている事を確認	
	2	<input type="checkbox"/>	【離陸着場所と作業のスペース確保】 人や車両が入らない対策が実施できている事	
	3	<input type="checkbox"/>	【他の飛行中UAVとの衝突回避】 離陸着地点にて他飛行物体が湧いかに航行直前に確認	
	1	<input type="checkbox"/>	【操縦者の負傷・怪我リスクの回避】 操縦者にて、ヘルメット、サングラス、静電手袋、静電作業着、安全靴、等の現場に応じた安全な作業服装、装備が出来ている事	
	3	<input type="checkbox"/>	【想定外事故の早期検知】 安全管理者が本時監視画面を監視し、遠隔で監視画面をバックアップ監視体制が構築できている事	
	3	<input type="checkbox"/>	【バッテリー不足による揚力増大リスク低減】 バッテリー残量がフル充電であることを離陸前に確認 離陸着地点にて充電またはバッテリー交換を実施できる準備が出来ている事 バッテリー不足が発生した際に、手動操作にて緊急着陸出来る体制構築	
3	<input type="checkbox"/>	【航空法や関係法令遵守】 指定対象エリア者等の確認が完了している事 対象エリアの場合、ドローン飛行作業許可取得済みである事 高度・距離・線路等の制限がある場合は関係者への事前調整が必要	事前準備～災害時飛行までに対象エリアが変更となっている可能性	

○高精度測位機能を活用したドローンによる災害時の早期点検チェックシート

本チェックシートの位置付け

6枚目

国土交通省が公開している「無人航空機マニュアル」の「安全を確保するために必要な体制」を補足する資料となる

基本事項

実施年月	年 月 日 ~ 年 月 日
実施者所属	
実施者氏名	
免許許可	番号： 期間：
ドローン操縦基礎システム（FISS）への登録	
	有・無

項番2：ドローン飛行作業

項番2は、災害発生時にドローンによる点検を行う作業である
事前準備が災害前に実施できていない場合は、ドローン飛行専門家等に相談が必要

作業レベルは、以下の通り

- レベル1：レベル2未満の技量である作業者
- レベル2：国土交通省が認定するドローンの練習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
航空法を理解している作業者
- レベル3：国土交通省が認定するドローンの練習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
現場での運用実績が一年以上ある作業者（目安100時間以上）

参考実施状況（令和3年度スマートシティモデル調査事業（その17））

- ・バッテリー容量チェックにおいて、機体へバッテリー搭載時に動力源検査に加え電圧チェック用端子を用意
- ・風速計は壁や木々などが無く、風通しの良い離着陸地点付近にて測定を実施する
- ・配線するケーブルは重心が安定する様に、ケーブル絡まないように注意が必要
- ・監視システムでは、運行管理システムからリアルタイムで状態監視を実施
- ・着陸地点では、周囲に風速が増える場合は秒換算が速い上り視界を悪化させない為、ブルーシートを準備

バッテリー電圧の様子



風速計設置の様子



着陸地点準備の様子



監視システムは運行管理システムにて実施



○高精度測位機能を活用したドローンによる災害時の早期点検チェックシート

本チェックシートの位置付け

※※※

国土交通省が公開している「無人航空機マニュアル、3. 安全を確保するために必要な体制」を補足する資料となる

基本事項

実施年月日	年 月 日 ~ 年 月 日
実施者所属	
実施者氏名	
免許許可	番号： 期間：
ドローン情報基盤システム (FISS) への登録	
	有・無

項番2：ドローン飛行作業

項番2は、災害発生時にドローン点検を行う作業である
事前準備が災害前に実施できていない場合は、ドローン航行専門家等に相談が必要

作業レベルは、以下の通り

- レベル1：レベル2未満の技能である作業者
- レベル2：国土交通省が認定するドローンの講習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
航空法を理解している作業者
- レベル3：国土交通省が認定するドローンの講習団体が発行するドローンの操縦技能証明書を保持
現場での運用実績が一定以上ある作業者(目安100時間以上)

作業項目	作業レベル	チェック	作業詳細	メモ
ドローン 飛行作業	3	<input type="checkbox"/>	【ドローン自動飛行開始】 ドローンに配送する貨物を搭載している事 自動飛行にてドローンが離陸地点を出発する事	出発時刻 :
	2	<input type="checkbox"/>	【離陸着陸場所と作業のスペース確保】 人や車両が入らない対策が実施できている事	
	3	<input type="checkbox"/>	【想定外事故の早期検知】 安全管理者が常時監視画面を監視し、連絡で監視画面をバックアップ監視カメラが 撮像できている事	
	3	<input type="checkbox"/>	【ドローン自動飛行完了】 自動飛行にてドローンが着陸地点に到着する事 貨物配送完了が完了した事	着陸時刻 :

参考手順 (令和4年度スマートシティ実装調査事業_すさみスマートシティ推進コンソーシアム)

防災センター離陸



防災センター着陸



○高精度測位機能を活用したドローンによる災害時の早期点検チェックシート

本チェックシートの位置付け

7枚目

国土交通省が公開している「無人航空機マニュアル、3. 安全を確保するために必要な体制」を補足する資料となる

基本事項

実施年月日	年 月 日 ~ 年 月 日
実施者所属	
実施者氏名	
免許許可	番号： 期間：
ドローン情報基盤システム (FISS) への登録	
有・無	

参考) 事前準備作業、ドローン航行作業における継続課題

【今回の実証調査から判明した継続課題】

実証調査を実施する中で、実施主体として継続課題と考えている事象を以下に記載する
本調査事業を参考に活用される際は、ご留意頂きたい

項番1：ドローン航行作業時の継続課題

- ①ドローン離発着場所構築とドローン航行の周辺エリアでの周知機能が必要であること
- ②バッテリーが往路、復路実施後に充電または交換が必要なルート設計となっている
- ③チェックシート作業レベルにおいて、レベル3技能を含むドローン航行全般作業が避難所（物資受け取り側）にて必要

7. まちづくりと連携して整備することが効果的な施設・設備の提案

5.3. 考察及び、6. 横展開に向けた一般化した事項を整理したが、より早期に実装化するための課題は以下の通りとなる。

- ・ 緊急輸送道路の点検範囲の拡大に向けた、高速道路、国道、線路管理者との災害時の緊急ドローン航行に関する整理の実施
 - ・ 3次元地図の効率的な取得・運用に向けたドローン以外分野での活用、及びドローン活用分野の拡大
 - ・ ドローン運航管理における自治体や消防団職員のスキル向上と維持
- 上記の課題に対してまちづくりと連携して、実施する具体的な対策とスケジュールを示す。

(1) 災害発生時における点検ドローンの円滑な運用方法確立

今後の想定する対策は、以下の3点となる。

- ・ 高速道路、国道、線路管理者との災害を想定したドローン運航に関する連携協定や覚書事前締結
 - ・ 災害発生直後のドローン点検に関する高速道路、国道、線路管理者への航行情報共有仕組み構築
 - ・ 災害発生直後のドローン点検における線路へドローン落下時の作業体制構築
- 令和4年度から継続検討を実施し、完了時期は令和6年度末を目指す。

(2) 3次元地図とドローン飛行シミュレーションの平時点検業務へ活用

今後の想定する対策は、以下の2点となる。

- ・ 3次元地図とドローンレーザー測量を道路インフラ点検における異常検知へ活用可能か検討する
 - ・ 道路インフラ点検における異常情報を自動運転管理システムへ連携する
- 令和4年度から継続検討を実施し、完了時期は令和5年度末を目指す。

(1) 及び (2) におけるすさみ町での重要拠点および解決策の想定は以下の図表 68 の通り。



図表 68 すさみ町での重要拠点および解決策

(3) 事業者から利用者へのスキル移管

今後の想定する対策は、以下の通り。

- 仮想環境の航行実績データの教材化と訓練での活用
令和5年度から開始し完了時期は令和5年度末を目指す。

以上

令和3年度
技術研究開発費補助金
(スマートシティ実装化支援事業) 報告書

令和5年3月

国土交通省 都市局

すさみスマートシティ推進コンソーシアム