

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

令和4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	4
3.	実証調査の位置付け	6
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	6
3.2.	ロードマップ達成に向けた課題	7
3.3.	課題解決に向けた本実証調査の意義・位置付け	7
4.	調査計画	7
4.1.	調査で実証したい仮説	7
4.1.1.	仮説背景	7
4.1.2.	孤立避難所に対する災害備蓄品のドローン配送に関する仮説	9
4.1.3.	災害備蓄品の管理工数低減に関する仮説	10
4.2.	調査内容・方法	10
4.2.1.	全体構成概略	10
4.2.2.	実施地点	12
4.2.3.	使用機器	14
4.2.4.	利用データ	16
4.2.5.	システム	16
4.2.6.	実施体制	19
4.2.7.	スケジュール	19
4.3.	仮説の検証に向けた調査方法	20
4.3.1.	技術1に関するドローン飛行経路と着陸地点の正確性検証	20
4.3.2.	技術2並びに技術3に関するバッテリー消費量の検証	21
4.3.3.	ドローン配送ルート設定における準備の検証	22
4.3.4.	技術4に関するシステム連携検証	23
4.3.5.	インタビュー検証	23
5.	実証調査結果	25
5.1.	調査結果	25
5.1.1.	技術1に関するドローン飛行経路と着陸地点の正確性検証結果	26
5.1.2.	技術2並びに技術3に関するバッテリー消費量の検証結果	32
5.1.3.	ドローン配送ルート設定における準備の検証結果	35

5.1.4.	技術4に関するシステム連携検証結果	37
5.1.5.	インタビュー検証結果	38
5.2.	分析	40
5.2.1.	技術1に関するドローン飛行経路と着陸地点の正確性検証分析	40
5.2.2.	技術2並びに技術3に関するバッテリー消費量の検証分析	41
5.2.3.	ドローン配送ルート設定における準備の検証分析	42
5.2.4.	技術4に関するシステム連携検証分析	47
5.2.5.	インタビュー検証分析	48
5.3.	考察	48
6.	横展開に向けた一般化した成果	52
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	61

## 1. はじめに

### 1.1. 都市の課題について

人口3,781人(R3.3.31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。

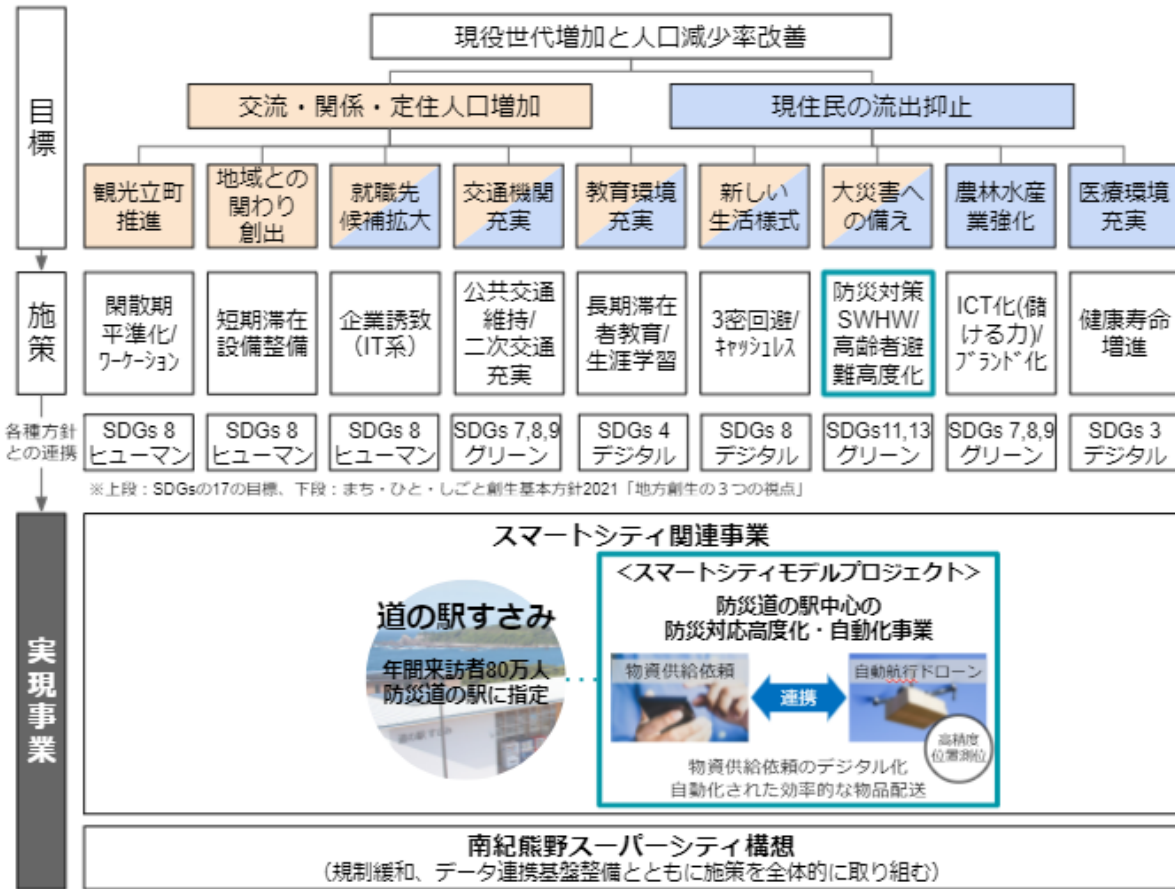
主な取組事項としては以下の2点が挙げられる。

- (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。

図表1 すさみ町のスマートシティ戦略と実現事業

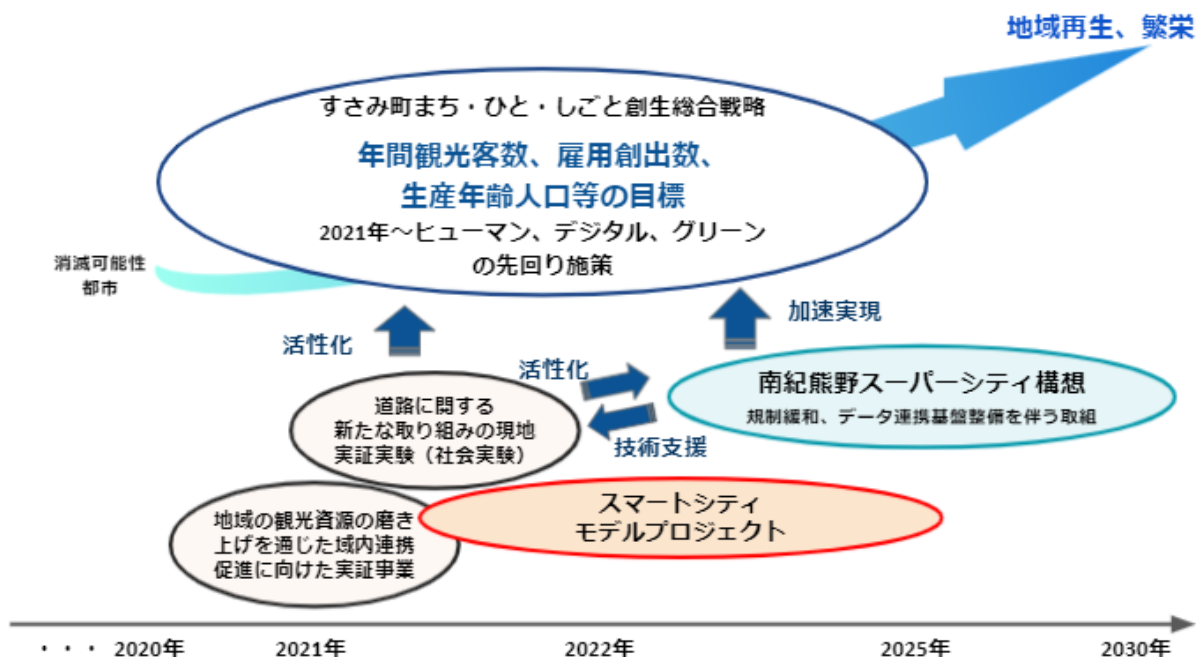


## 2. 目指すスマートシティとロードマップ

### 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ている。令和3年度申請の「スマートシティモデル事業」は、図表2に示す通り、「南紀熊野スーパーシティ構想」とも連携し、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/>
- ・南紀熊野スーパーシティ構想：<http://www.town.susami.lg.jp/docs/2021011200010/>

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。

図表3 全体スケジュール

	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
<b>スマートシティ関連事業</b>					
防災道の駅中心の防災対応高度化・自動化事業	実証実験	ドローン機能向上、5G活用を含む実証実験		商用化に向けた開発	社会実装
その他事業	南紀熊野スーパーシティ構想の事業と連携し、事業実施予定				
<b>南紀熊野スーパーシティ構想関連</b>					
手続等	○南紀熊野スーパーシティ協議会設立 ○住民への意向確認等（住民説明会、町議会、住民投票）				
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		
先端的サービス	各先端的サービス毎に順次、地元調整、実証、社会実装、横展開を実施 ※各先端的サービスについては、添付資料のスーパーシティ全体スケジュール1、2を参照				

### 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）の一部は現在も検討中である。

図表4 各事業におけるKPI

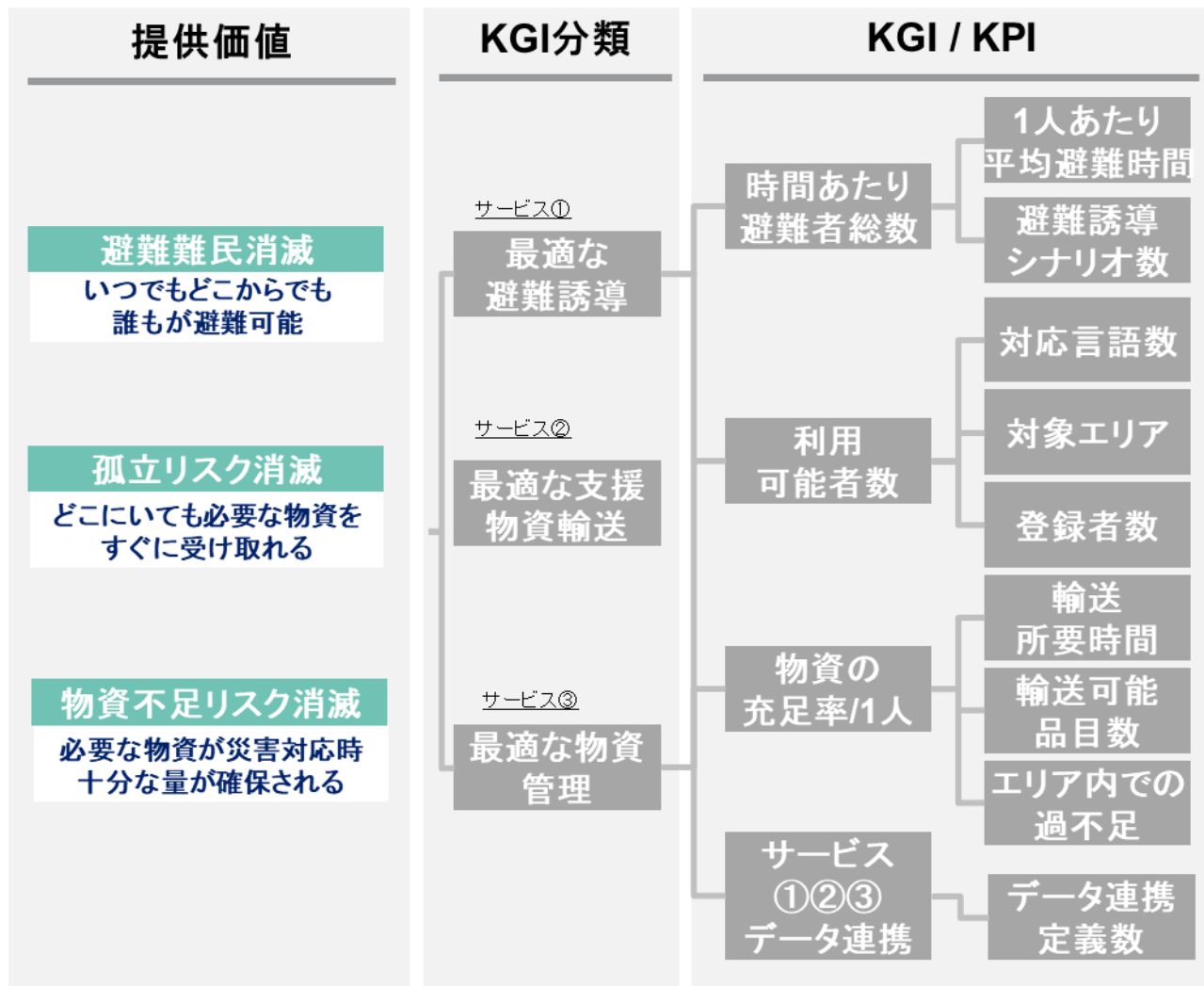
事業	KPI
スマートシティ戦略	
－	<大目標> <ul style="list-style-type: none"> <li>・観光客数の増加（令和元年達成の年間観光客数100万人への令和3年度引き戻し、令和4年以降で年率10%増加）</li> <li>・関係人口の増加（令和6年までに企業誘致1件以上）</li> <li>・住民化の促進（令和6年までに移住件数10世帯以上）</li> </ul>
スマートシティモデルプロジェクト実施事業	
防災 「防災道の駅中心の防災対応高度化・自動化事業」	<中目標> <ul style="list-style-type: none"> <li>・最適な避難誘導サービスの提供 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 （2024年までに避難可能な住民100%来訪者100%目標）</li> <li>・最適な支援物資輸送サービスの提供 物資配送可能ルート設定 （2024年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 （2024年までに道の駅すさみ管理者と避難所管理者、全員）</li> <li>・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（2023年までにすさみ町役場防災管理者、全員）</li> <li>・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（2024年商用開始時にはデータ連携可能な状態とする）</li> </ul> <小目標> <ul style="list-style-type: none"> <li>・一人当たりの平均避難時間の短縮（KPI 検討中）</li> <li>・避難誘導シナリオの作成（KPI 検討中）</li> <li>・避難誘導サービスの多言語化対応（2024年までに15か国語対応）</li> <li>・避難誘導サービス対応エリア拡大（KPI 検討中）</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・避難誘導サービス利用登録者数（KPI 検討中）</li> <li>・支援物資輸送実証調査サービスにおける避難所運営者とすさみ町役場の実証調査システム利用継続意向（令和3年度90%以上）</li> <li>・ドローンによる支援物資輸送実証調査における、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2か所）</li> <li>・ドローンによる支援物資輸送実証調査における、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）</li> <li>・ドローンによる支援物資輸送実証調査における、準備から輸送完了の時間短縮（KPI 検討中、令和3年度実証調査結果により設定）</li> <li>・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）</li> </ul>
上記他分野の中目標（各目標の具体的な指標は検討中）	
観光	<ul style="list-style-type: none"> <li>・観光立町推進</li> <li>・地域との関わり創出</li> <li>・就職先候補拡大</li> <li>・新しい生活様式</li> </ul>
空き家	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地域との関わり創出</li> <li>・再利用促進</li> </ul>
教育	<ul style="list-style-type: none"> <li>・教育環境充実</li> </ul>
一次産業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農林水産業強化</li> </ul>
健康・医療	<ul style="list-style-type: none"> <li>・医療環境充実</li> </ul>



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

図表 5 防災分野 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、「南紀熊野スーパーシティ構想」にて導入予定のデータ連携基盤（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モデルプロジェクトでは、「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。

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「孤立集落発生（生活集落が分散していることによる）」「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. 仮説背景

（1）南海トラフ津波による想定被害

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 6 に示す通り、国道 42 号線沿いに赤線で囲った 3m 以上の浸水予測箇所が複数あり、津波後の国道インフラが寸断される可能性が高い。同様の浸水予測箇所は、本町内では海岸線沿いに 10 ヶ所以上想定されている。

図表 6 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>

### （2）避難所運営に必要な災害備蓄品における課題

災害発生時に必要となる災害備蓄品は、住民の避難者数を想定した約3日分の水や食料、簡易トイレ、防寒具、復旧作業道具、などが準備されている。しかし、現状は配備目標に達していない備品も存在する。

そのため、災害対応が長期化する場合には、外部からの支援が必須な状況となっている。

外部からの物資は紀勢線による高速インフラを活用し、すさみ南 IC から約 1.2 km 地点にある道の駅すさみが物資供給の起点になる事が想定されている。※3

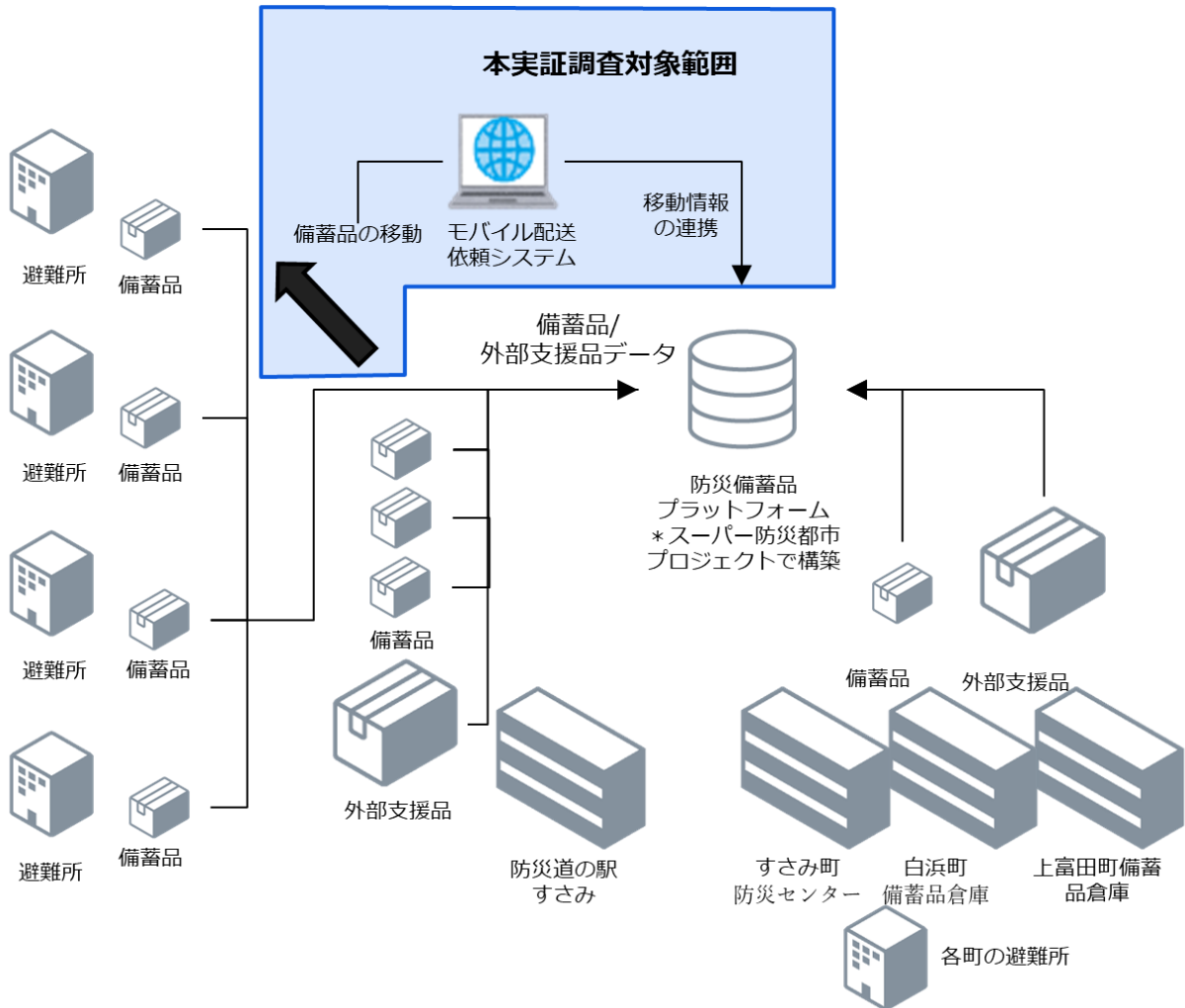
※3 道の駅すさみは令和3年国土交通省から防災道の駅に認定

### （3）防災備蓄品管理における現状取組

災害備蓄品の管理において、近隣市町村である上富田町と白浜町と連携したシステムの導入を開始している。令和3年度においては、既存災害備蓄品の棚卸、目標備蓄量との差分、管理項目データの統一化、を実施予定。令和4年度以降にて物資不足予測機能を食料品から追加する事を予定している。※4

本実証調査とスーパー防災都市プロジェクトの連携は図表7の通りとなる。スーパー防災都市プロジェクトで構築する防災備蓄品プラットフォームは、避難所備蓄品、道の駅すさみ備蓄品、外部からの支援物資、を一元管理しており、本実証調査では道の駅すさみと避難所の備品や支援物資の移動に関わるデータを管理し、防災備蓄品プラットフォームに連携するまでを想定している。

図表7 本実証調査とスーパー防災都市プロジェクトの連携



※4 経済産業省／令和2年度「地域・企業共生型ビジネス導入・創業促進事業補助金」事業の一つである「スーパー防災都市創造プロジェクト」での取組

#### 4.1.2. 孤立避難所に対する災害備蓄品のドローン配送に関する仮説

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、孤立避難所発生を想定しドローン配送の事前設定やチェックリストを整備することで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物資輸送ができる可能性が高い。

その際に、支援物資が集積される道の駅すさみから孤立避難所に向けての物資輸送に関して実現が期待できる効果の仮説は以下の通りである。

##### (1) 自治体の災害備蓄品輸送に関する効率化の効果

・道の駅すさみから孤立想定避難所までの高精度測位を活用したルート設定が完了し、輸送可能荷物や重量や最低バッテリー残量を含む運用者向けチェックシートが準備されることにより、災害発生時の目視外ドローン配送における安心・安全の確保と事前準備時間の短縮。

- ・避難所運営開始時に道の駅すさみから孤立避難所までをドローン物資輸送が安定的に実施できることにより、孤立避難所における被災者に早急に物資が届くこと。また、陸路での被災地を経由する長時間かつ危険が伴う車または人での物資運搬の回避が出来ること。

#### 4.1.3. 災害備蓄品の管理工数低減に関する仮説

4.1.1に記述した通り、災害備蓄品の管理システムを導入しているが災害発生時において管理拠点となる道の駅すさみから避難所や他自治体に輸送された際、その履歴管理と登録業務に手動管理が入ることによって登録遅延やデータ登録ミスが予想される。登録遅延やデータ登録ミスが発生すると、災害統制者において正確な現地情報把握までにタイムラグが発生することが予想される。この結果、物資の過不足が発生し災害備蓄品管理者の業務工数が更に増加することが予測される。システム間でのデータ連携や管理業務を自動化することで実現が期待できる効果の仮説は以下の通りである。

##### (1) 防災備蓄品のリアルタイムデータ連携による効率化の効果

- ・システム連携による正確な履歴情報の登録により手動入力作業の軽減されること
- ・物資輸送実績のリアルタイム反映に伴う不足物資の正確な予測運用が可能となること

#### 4.2. 調査内容・方法

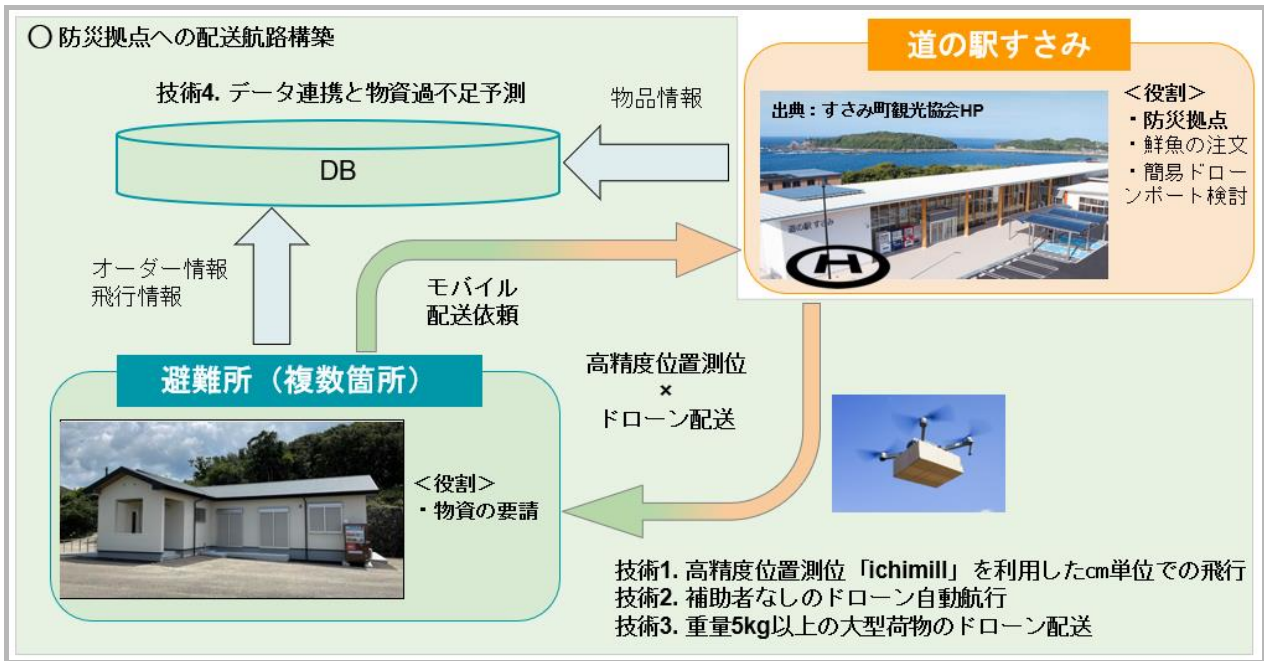
##### 4.2.1. 全体構成概略

本実証調査は、図表8の通り構成され、図表9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・データ社の6者が連携して実現している。

ウフル社によるモバイル配送依頼システムにて、孤立避難所管理者のスマートフォンから道の駅すさみ災害備蓄品管理者のタブレット端末へ必要な物資の依頼が実施される。道の駅すさみ災害備蓄品管理者が、Softbank社が提供する高精度測位機能(以下、「技術1」という)を搭載したドローンにて、補助者無し自動航行(以下、「技術2」という)にて5Kg以上の荷物を孤立避難所まで配送(以下、「技術3」という)する。配送開始時に孤立避難所管理者のスマートフォンに配送開始の通知がされる。配送完了後に避難所管理者はタブレットから道の駅すさみ災害備蓄品管理者へ完了通知を送付する。配送完了データは、災害備蓄品管理システムへ連携する(以下、「技術4」という)。

尚、ドローン飛行ルートにおいては事前準備として、目視によるテスト飛行と安全対策確認を実施する。

図表 8 実証調査概要図



図表 9 役割及び責任

	名称	役割及び責任
1	すさみ町	<ul style="list-style-type: none"> <li>全体戦略策定、事業全般の管理統括業務</li> <li>推進主体の構築・運営</li> <li>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</li> <li>住民、観光客等への広報</li> <li>一部サービスの提供、管理</li> </ul>
2	一般社団法人 すさみ町観光協会	<ul style="list-style-type: none"> <li>協議会への参加</li> <li>住民、観光客等への広報</li> <li>一部サービスの提供、管理</li> </ul>
3	株式会社南紀 白浜エアポート	<ul style="list-style-type: none"> <li>協議会への参加</li> <li>住民、観光客等への広報</li> </ul>
4	ソフトバンク 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>協議会への参加</li> <li>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</li> </ul>

		サービス開発、提供、管理
5	株式会社ウフル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 協議会への参加</li> <li>・ 住民、観光客等への広報</li> <li>・ サービス開発、提供、管理</li> </ul>
6	ベル・データ株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 協議会への参加</li> <li>・ サービス開発、提供、管理</li> </ul>

#### 4.2.2. 実施地点

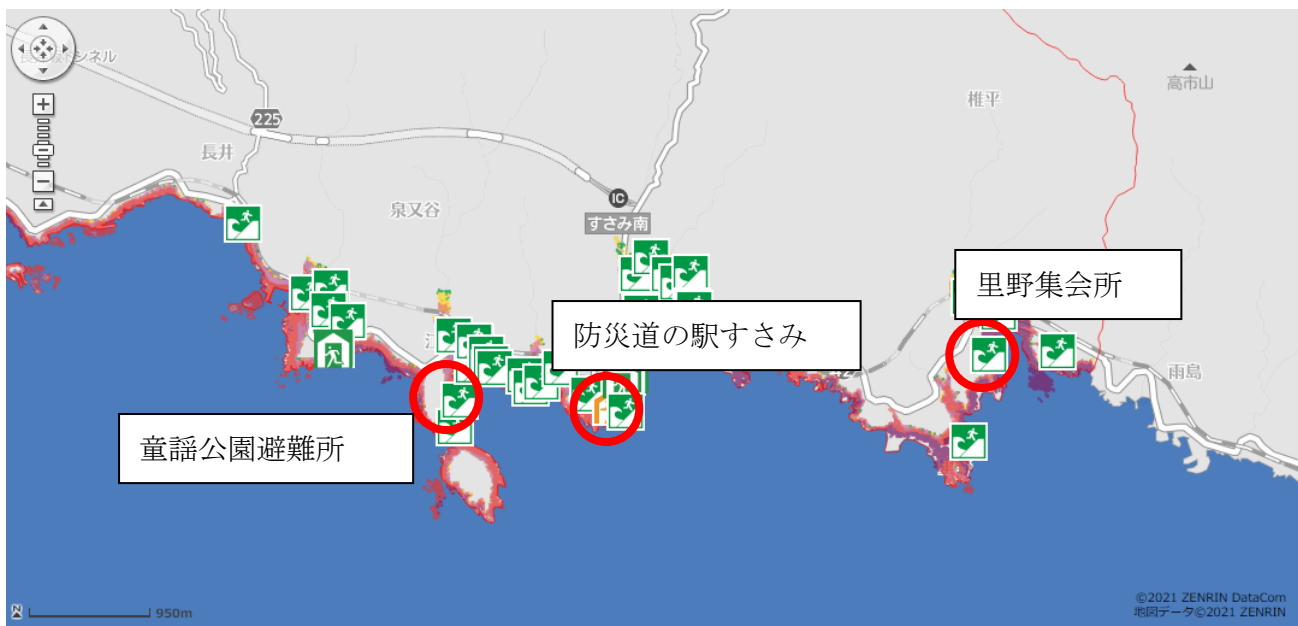
本実証調査を実施した地点は以下の通り。図表 10 にて地図上で示す。

防災備品拠点：道の駅すさみ 〒649-3142 和歌山県西牟婁郡すさみ町江住 8 0 8-1

孤立避難所 1：里野集会所 〒649-3143 和歌山県西牟婁郡すさみ町里野 5 2 6

孤立避難所 2：童謡公園避難所 〒649-3142 和歌山県西牟婁郡すさみ町江住 日本童謡の園公園

図表 10 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>

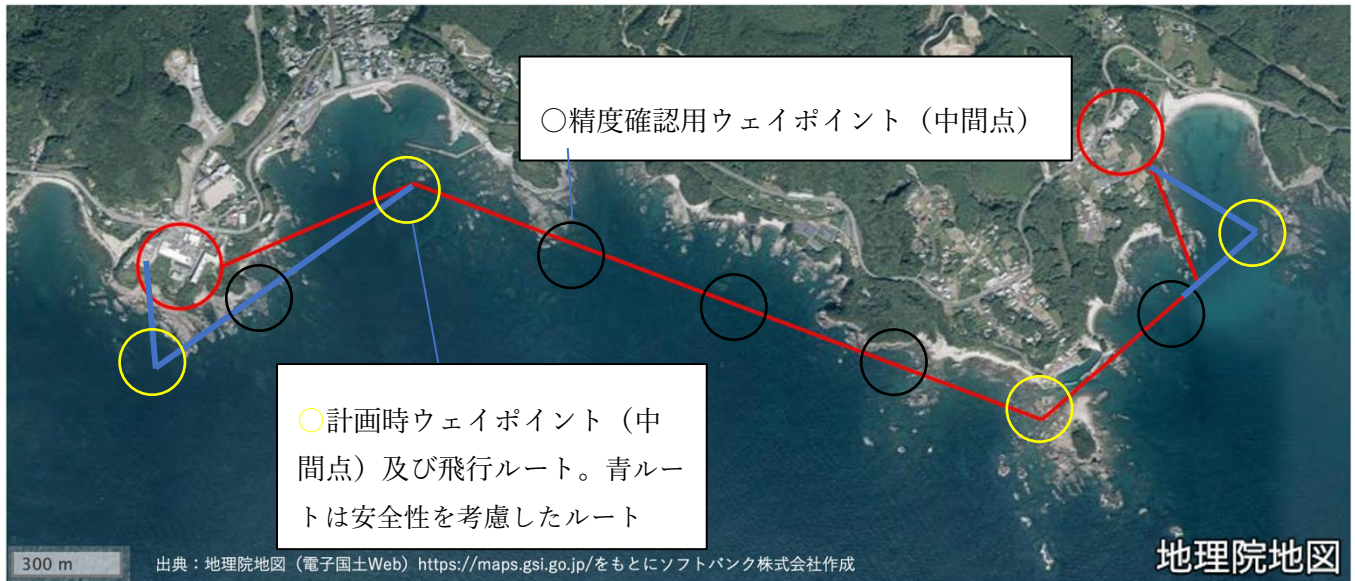
また、防災道の駅すさみから孤立避難所 1 を結ぶドローン航路をルート a とし、防災道の駅すさみから孤立避難所 2 を結ぶドローン航路をルート b とする。

ルート a とルート b は図表 11、12 の通り。

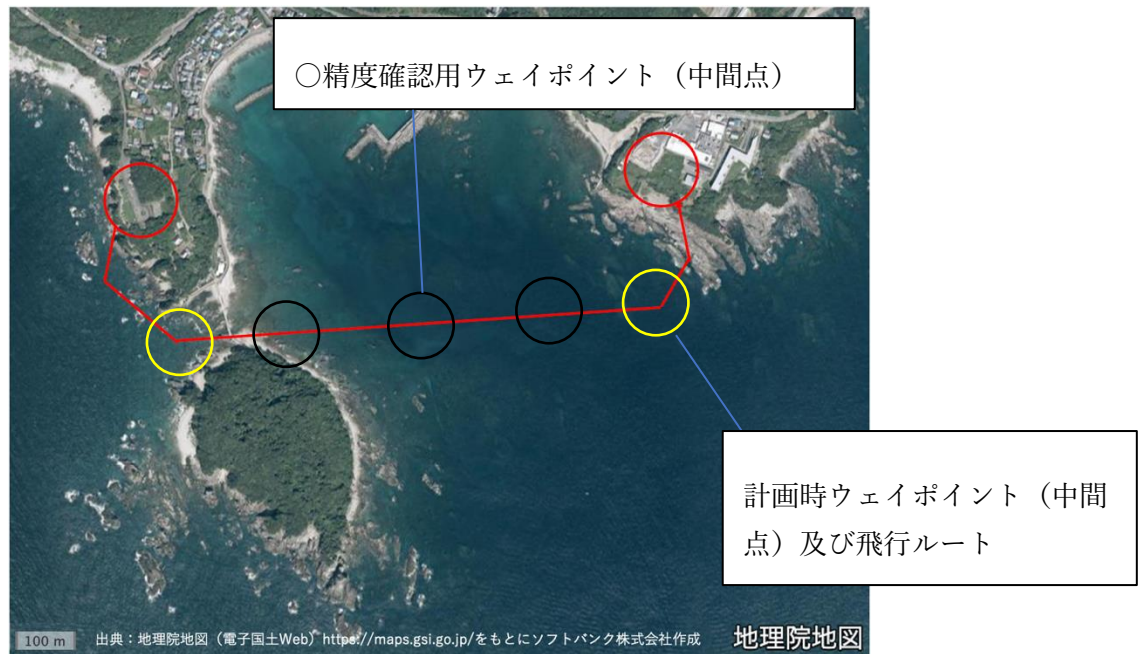
ルート a とルート b それぞれに、精度確認用ウェイポイント（中間点）を設定している。ルート a では 9 か所、ルート b では 5 か所設定している。

また、ルート a, b 共に道の駅すさみを出発地点とするルートを往路、孤立避難所 1, 2 を出発地点とするルートを復路とする。

図表 11 ドローン航行ルート a



図表 12 ドローン航行ルート b





#### 4.2.3. 使用機器

本実証調査で用いた使用した機器は以下の通り。

##### (1) スマートフォン(スマートフォンによるドローン配送オーダー)

機種：iPhone12

携帯電話/ワイヤレス通信方式：モデル A2402

利用ブラウザ：Safari

##### (2) タブレット(スマートフォンによるドローン配送オーダー確認)

機種：iPad

携帯電話/ワイヤレス通信方式：モデル A2604

利用ブラウザ：Safari

##### (3) ドローン

実証調査使用機体

No	項目	詳細
1	機体スペック	機器名：LAB6150 製造者：イームズロボティクス社 ペイロード：9kg 重量：9.0kg (バッテリー除く) 実用最大離陸重量：24.9kg 飛行時間：17分 離陸重量 14.2kg の場合 耐風性能：10m/s
2	機体サイズ	軸間 1501mm 全長 1388mm 全幅 1588mm 全高 754mm 
3	カメラ	GoPro
4	使用プロポ	双葉電子工業製 FMT-02 2.4GHz 帯
5	通信機能	LTE によるデータ通信機能
6	搭載品	箱サイズ：450mm×300mm×330mm

#### (4) デジタル風速機

風向き、風量を計測するデジタル風速機は以下の通り。

No	項目	詳細
1	使用機器	機器名：Kestrel15500 製造者：イームズロボティクス社 方位：16 方位 向かい風/追い風：-40m/s から 40m/s まで（マイナスは追い風） 測定間隔：1 秒毎
2	機器サイズ	127x45x28mm
3	機器重量	121g（単三電池 1 個込）

#### (5) 高精度測位端末

ドローン機体の位置情報を特定する高精度測位端末は以下の通り。

No	項目	詳細
1	サイズ	縦 75mm 横 75mm 高さ 20mm
2	対応衛星	【2 周波対応】 QZSS L1/L2 GPS L1/L2 GLONASS G1/G2 Galileo E1/E5 BeiDou B1/B2
3	通信方式	UART（ドローン機器との通信）
4	GNSS アンテナ	内蔵
5	データ外部 I/F	UART USB SPI DDC（I2C 準拠）
6	電源	GH6 ピン
7	発振機	TCXO

#### 4.2.4. 利用データ

本実証調査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 13 の通り。

インプットデータは、モバイル配送依頼システムに「災害備品在庫データ」、「配送可能な物品」、ドローン自動航行システムへ「離発着地点の緯度経度高度」、「ドローン飛行時の中継地点」、「開始時のドローンバッテリー残量」となる。

本実証調査から得られたアウトプットデータは、モバイル配送依頼システムから「オーダー完了実績」となり、ドローン自動航行システムから「ドローン飛行ルート緯度経度高度」「飛行実績時間」「ドローン配送後のバッテリー残量値」となる。

また、ドローン航行時の気象情報を図表 14 の通り取得することで、航行への影響を確認する。

図表 13 実証調査で用いるデータ

	インプットデータ	アウトプットデータ
モバイル配送依頼システム	災害備品在庫データ (名称、単位、数量) 配送可能な物品 (名称、単位、数量)	オーダー完了実績データ (依頼元避難所、依頼品、数量、送付開始時間、送付完了時間の組み合わせ)
ドローン自動航行システム	離発着地点の緯度経度高度 (DMM 形式、m) ドローン飛行時の中継地点 (DMM 形式、m) バッテリー残量データ (V)	離発着地点の緯度経度高度 (DMM 形式、m) ドローン飛行ルート緯度経度高度 (DMM 形式、m) バッテリー残量データ (V)

図表 14 利用する気象データ

	利用データ
気象データ	ドローン配送時の離発着地点における天候情報 (風速、風向き)

#### 4.2.5. システム

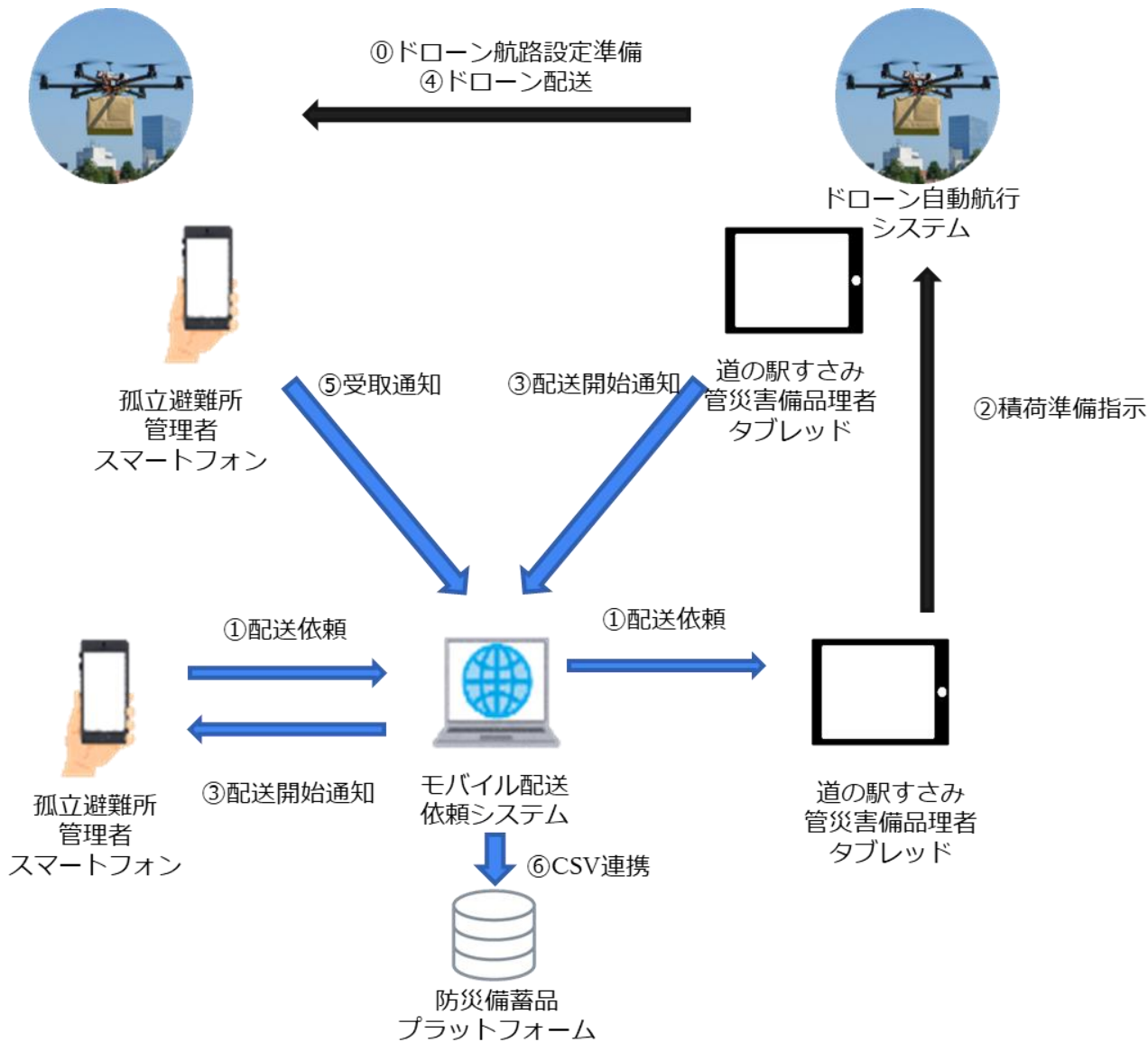
本実証調査で用いたシステム構成図並びにデータフロー図を示す。

##### (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 15 の通り。

尚、ドローン自動航行システムはインターネット網への接続を実施せず、ローカルネットワーク環境のみ対応している。

図表 15 システム構成図



(2) 主プロセス

主プロセスを以下の図表 16 で示す。

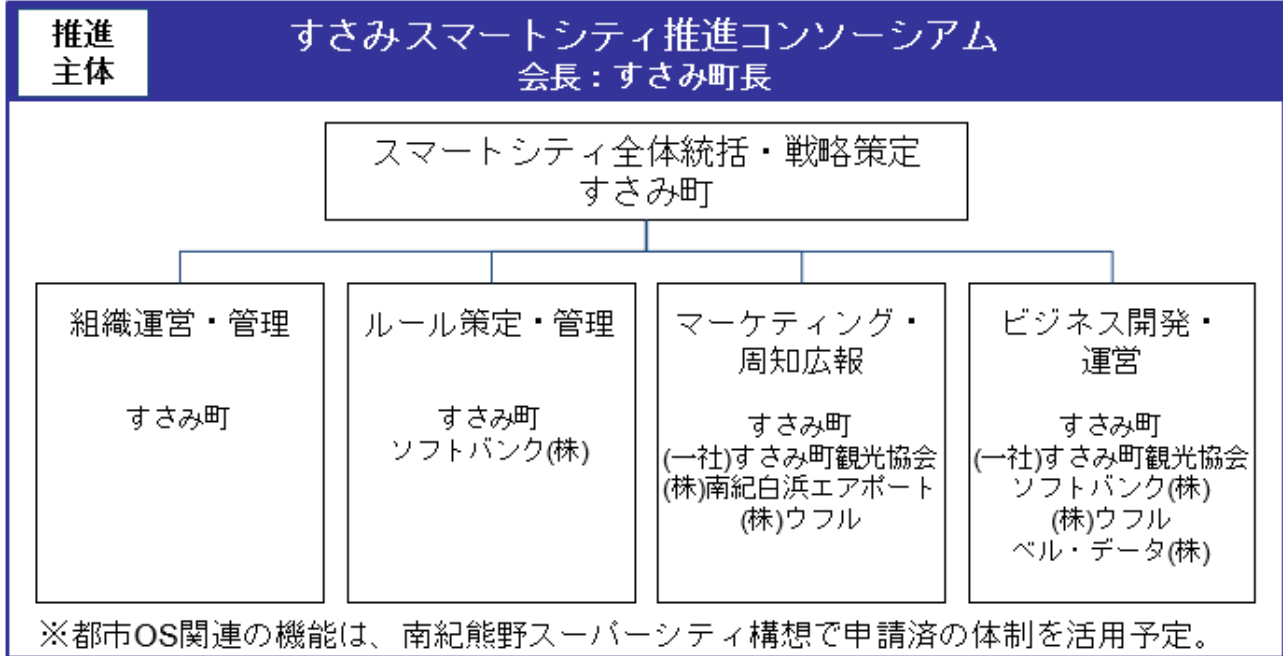
図表 16 主プロセス

No	役割	詳細
①	事前準備	<p>離陸ポイント、着陸ポイントの緯度経度高度計測を実施する。</p> <p>想定ルート of 距離算出と想定経路におけるウェイポイント（中間点）を設定する。</p> <p>目視外飛行における安全対策を検討する。</p> <p>住民や関係者へ飛行周知を実施する。</p>
①	配送依頼	<p>配送依頼者が防災備蓄品管理者へ必要な物品名、単位、数量を選択し、配送依頼を実施する。</p> <p>災害備蓄品管理者へ、配送依頼者、配送依頼品、単位、数量が通知される。</p> <p>※管理者端末でのデータ更新は1分に1回</p>
②	積荷準備指示	<p>災害備蓄品管理者にて配送依頼品を準備し、ドローン自動航行担当者へ配送先、配送依頼品、単位、数量を伝え、配送依頼品を渡す。</p> <p>ドローン自動航行担当者はドローン配送先の設定を実施する。</p>
③	配送開始通知	<p>ドローン担当者が配送依頼物を配送開始する。</p> <p>災害備蓄品管理者にてドローン配送開始を確認し、タブレットで配送開始通知を実施する。</p> <p>配送依頼者へ発送開始と到着予定時刻が通知される</p>
④	ドローン配送	<p>ドローンは高精度測位システムがLTE通信にて位置補正情報を取得し、そのデータと事前設定した各中継地点を目標として自動高橋を実施する。目的着陸時において自動着陸を実施する。</p>
⑤	受取通知	<p>配送依頼者が到着物と配送依頼物を確認し、受取通知を実施する。</p> <p>※本機能は令和4年度以降で実装予定。</p>
⑥	システム連携	<p>モバイル配送依頼システムから、CSV形式にて防災備蓄品プラットフォームへのデータインポートファイルを生成する。</p> <p>※令和4年度以降で構築されるデータ連携基盤にAPIにて本機能は引き継ぐ。</p>

#### 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 17 の通り。

図表 17 推進体制



#### 4.2.7. スケジュール

令和3年度の実証調査の全体スケジュールは図表 18 の通り。

図表 18 令和3年度スケジュール

	2021年度									
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
事前準備			→							
アプリ開発			→							
実証実験(各月1回ずつ)					→					
飛行結果分析・物資不足予測								→		
報告書作成								→		

令和3年度の実証調査実施の詳細スケジュールは図表 19 の通り。

図表 19 実証調査の詳細スケジュール

実施日	実施ルート	往復回数	目的
11月7日	ルート	1	住民へ実証調査内容の説明
11月29日(仮)	ルート a	2	予行演習
	ルート b	1	
12月10日(仮)	ルート a	3~5	レポート調査報告用
12月17日(仮)	ルート b	3~5	レポート調査報告用

#### 4.3. 仮説の検証に向けた調査方法

##### 4.3.1. 技術1に関するドローン飛行経路と着陸地点の正確性検証

ルート a にてドローンが 5 kg の物資を 3 往復輸送時、またルート b にてドローンが 8 kg の物資を 5 往復輸送時、飛行経路上でのウェイポイント（中間点）点並びに着陸地点での緯度経度による誤差の評価方法を記載する。

###### (1) ドローン飛行経路での評価

飛行経路途中でルート a, 共に事前設定したウェイポイント（中間点）の緯度経度と、飛行実績データから中間目標地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誤差 1m 以内になっている事を確認する。

誤差範囲については、強風やデータ抜け等を考慮するため誤差 1m を今回の基準とする。

飛行実績データは、ドローンに設置された高精度測位端末から取得されたデータを利用する。

###### (2) ドローン着陸地点での評価

着陸地点に事前設定した緯度経度と、飛行実績データから着陸時間における実績値との差分距離を算出し誤差 10 cm 以内になっている事を確認する。

飛行実績データは、ドローンに設置された高精度測位端末から取得されたデータを利用する。

(1) 及び (2) の結果は以下の図表 20 にある通りまとめる。

図表 20 技術1に関する結果報告表（\*は実施回数を記入）

ルート	往路/復路	中間点/ 着陸地点	設定緯度	設定経度	*回平均実 績緯度	*回平均実 績経度	*回平均誤 差 (cm)
ルート a	往路	中間点 1					
		中間点 2					
		中間点 3					
		中間点 4					
		中間点 5					
		中間点 6					
		中間点 7					
		中間点 8					

		中間点 9					
		着陸点					
ルート a	復路	中間点 1					
		中間点 2					
		中間点 3					
		中間点 4					
		中間点 5					
		中間点 6					
		中間点 7					
		中間点 8					
		中間点 9					
		着陸点					
ルート b	往路	中間点 1					
		中間点 2					
		中間点 3					
		中間点 4					
		中間点 5					
		着陸点					
ルート b	復路	中間点 1					
		中間点 2					
		中間点 3					
		中間点 4					
		中間点 5					
		着陸点					

正確な位置情報を基にしたドローン飛行を可能にする為に、ドローンに搭載した高精度測位機器のLTE通信環境が十分に行えていたかを検証する。

(3) ドローン飛行経路での評価

航行離陸から到着までの間、飛行時間内の通信成功回数÷通信回数を測定する。

ルート毎の接続率を算出し99%以上であることを確認する。

4.3.2. 技術2並びに技術3に関するバッテリー消費量の検証

(1) ドローンバッテリー残量確認方法

往路、復路共に飛行前にバッテリー残量、を確認し、記録する

着陸地点に到着した後にバッテリー残量を確認し、記録する。

風速と風向きは離発着地点でのデジタル風速計をしている1時間ごとのデータを用いて検証する。

結果は以下の図表21にある通りまとめる。



図表 21 バッテリー残量調査結果表

ルート	往路/復路	航行前 バッテリー 残量(V)	航行後 バッテリー 残量(V)	バッテリー 減少量(V)	バッテリー 残量(V)	風向き/ 強さ (m/s)
ルート a	往路					
	往路					
	往路					
	往路					
	往路					
ルート a	復路					
	復路					
	復路					
	復路					
	復路					
ルート b	往路					
	往路					
	往路					
	往路					
	往路					
ルート b	復路					
	復路					
	復路					
	復路					
	復路					

#### 4.3.3. ドローン配送ルート設定における準備の検証

ドローン配送ルート設定するに当たり、図表 22 の通り運用上懸念事項が発生しないか実飛行時にチェックする。結果においてチェックシートにて確認事項詳細を示す。

図表 22 ドローン配送ルート設定における検証項目

確認事項（大項目）	確認事項（中項目）	確認方法
事前データ入力	離陸場所緯度経度高度	現地で事前に測定
事前データ入力	着陸場所緯度経度高度	現地で事前に測定
航行安全性確認	飛行エリアの第三者の立ち入りの可能性	現地で事前に確認 調査当日、黙視員での確認
航行安全性確認	強風による機体墜落	風速 5m/s 以下での飛行

航行安全性確認	離発着場所にて離発着と作業スペース確保	現地で事前に確認
航行安全性確認	他施設の飛行中UAVとの衝突を回避	調査当日、黙視員での確認
航行安全性確認	操縦者の移動による負傷・怪我リスクの回避	安全な作業者の服装、装備を当日確認
航行安全性確認	飛行エリア外への機体の飛び出し	安全管理者が常時監視 飛び出し時には手動操作にて離陸場所または到着場所へ戻す
航行安全性確認	飛行中、バッテリー切れによる墜落	バッテリー残量の離陸前確認 航行中の残量アラーム確認
法規制	航空法や関係法令順守	航行許可申請前に確認

#### 4.3.4. 技術4に関するシステム連携検証

モバイル配送依頼システムから、CSV形式にて防災備蓄品プラットフォームへのデータインポートファイルを生成することが出来るか検証する。

防災備蓄品プラットフォームから提供されたCSVフォーマットに対して、モバイル配送依頼システムから生成された配送完了データから必要データをCSVフォーマットへ記入と保存をし、防災備蓄品プラットフォーム管理担当者へ送付する。管理担当者が生成されたCSVファイルを正常に防災備蓄品プラットフォームへ登録できることを確認する。

※令和4年度以降で構築されるデータ連携基盤にAPIにて本機能は引き継ぐ。

#### 4.3.5. インタビュー検証

実証調査によってどの様な効率化が見込めるかを検証した方法を記述する。

##### (1) サービスデモへの参加

災害備蓄品を道の駅すさみで管理する可能性のある自治体職員、孤立避難所を開設し運営する可能性のある住民に対し、実証調査の一連の流れに参加いただき実際のシステムの利用機会を設ける。

##### (2) 概算費用と効果推定に関わるインタビュー

本実証調査を本格導入した際のシステム概算費用を計上し、効果が確認された仮設の効果と比較し、システム導入意思があるか、条件付きでの導入となるのか、自治体の防災管理責任者または、防災担当に確認しそのご意見を報告する。

また、災害備蓄品を道の駅すさみで管理する可能性のある自治体職員、孤立避難所を開設し運営する可能性のある住民に対し、アンケートを実施し利用意向把握を実施した。(図表 23)

図表 23 アンケート実施事項

No	質問
1	使い勝手について悪いところがあったか？
2	直感的にわかりにくい、判断に迷うところがあったか？
3	災害時に利用したいと考えるか？
4	従来の手法と比較し優れている点は何か？
5	システム概算費用にて導入意思はあるか？
6	システム導入における課題は何か？

## 5. 実証調査結果

### 5.1. 調査結果

本実証調査で実施したドローン航行並びにシステム及びサービス連携デモ展示の実績は以下の図表 24 の通り。

図表 24 実証調査実施日

実施日	実施ルート	往復回数 ※1	同時実施事項	備考
2021年 11月7日	ルート a	0		悪天候にて飛行中止
2021年 11月30日	ルート a ルート b	2 1.5	サービスデモ データ連携デモ	事前ルート測定
2021年 12月16日	ルート a	0		モーター故障により 実証調査中止
2022年 2月2日	ルート a 不時着 1 ルート a 不時着 2 ルート a	0.5 0.5 2		実験再開前の 安全対策試験 レポート調査報告用
2022年 2月3日	ルート a	3		レポート調査報告用 悪天候にて午前飛行中止
2022年 2月4日	ルート b	5		レポート調査報告用

※1 往路または、復路のみ実施した場合は 0.5 と表記。

また、自治体の災害備蓄品輸送に関する効率化の効果を検証する為に、5.1.1 及び 5.1.2 で示す結果は、ルート a を 5 往復輸送、ルート b を 5 往復輸、によるドローン航行実績から作成した。ドローン航行実績は合計で、総飛行距離 69.0km、総運搬重量 155kg、となった。（図表 25）

このドローン航行実績を実現する中で得た知見を、安心・安全なドローン航行の実現に向けたドローン配送ルート設定における準備チェックシートとして 5.1.3 で示す通り検討した。

図表 25 ドローン航行実績

日付	ルート a 往復回数※2	ルート b 往復回数※2	総飛行距離 (km)	総運搬重量 (kg)
2022年 2月2日	2	0	32.0	45
2022年 2月3日	3	0	24.0	30
2022年 2月4日	0	5	13.0	80

※2 往路または、復路のみ実施した場合は 0.5 と表記。

防災備蓄品のリアルタイムデータ連携による効率化の効果を検証する為に、5.1.4 で示す結果の通りシステム連携検証を11月30日サービスデモ時に実施した。

最後に、仮説検証と実装化を検討する為に、5.1.5 で示す結果の通り、インタビューを以下の通り3回すさみ町関係者に実施した（図表 26）

図表 26 アンケート実施実績

日付	アンケート 回答者	参加者数	備考
2021年 11月30日	避難所管理者	1	ルート a 避難所管理者
2022年 2月3日	すさみ町内 漁業関係者	2	不時着場所 近隣関係者
2022年 2月16日	すさみ町役場 防災対策室長 防災担当者 スマートシティ担当者	5	

#### 5.1.1. 技術1に関するドローン飛行経路と着陸地点の正確性検証結果

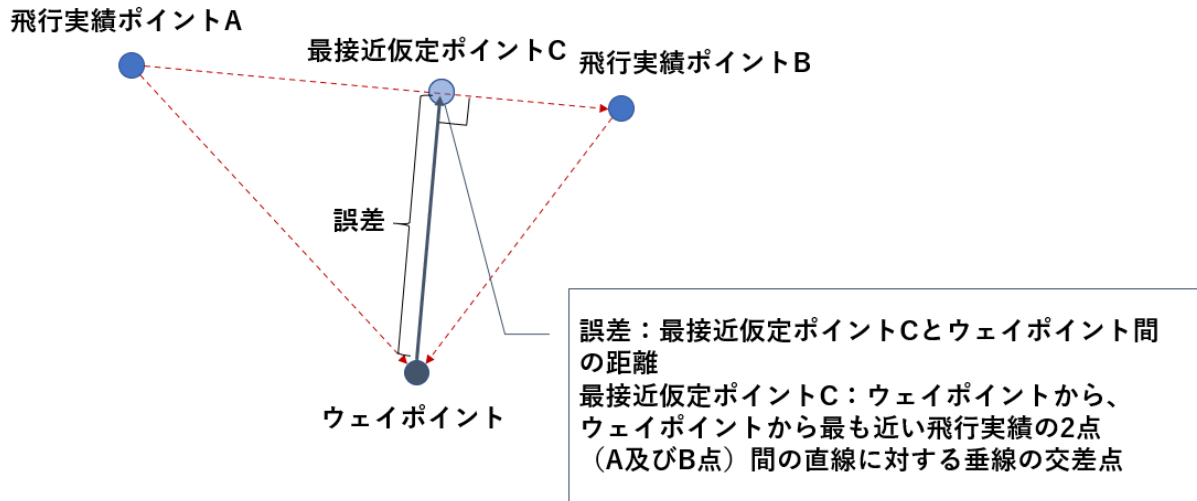
##### (1) 算出方法

飛行経路における緯度経度の誤差は、ドローン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、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。

（図表 27）

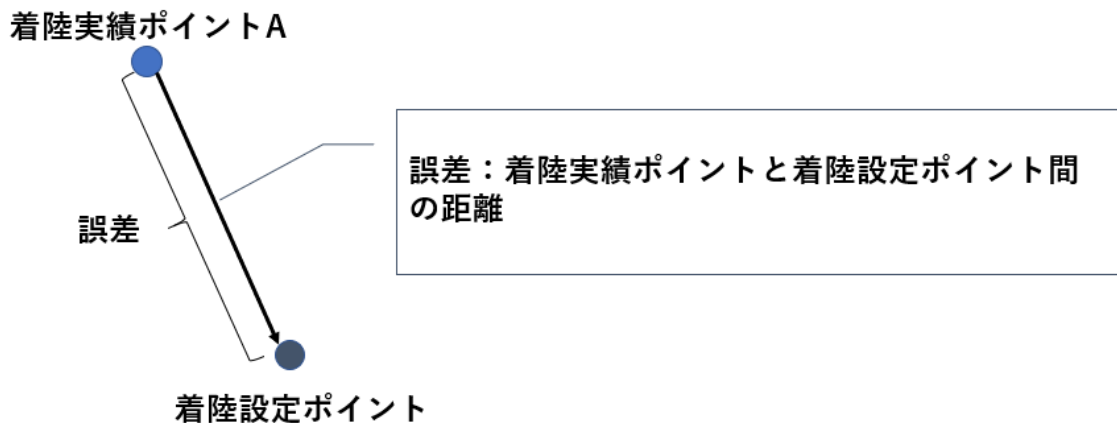
当初測定方法では、ウェイポイント（中間点）に一番近い距離で計測された実績 Log との差分距離を算出する予定であったが、ドローンが1秒間に5m前後航行することにより、当初方法では誤差が想定よりも大きくなり、かつ正確な誤差を検証できないため算出方法を変更した。

図 27 飛行経路における緯度経度の誤差算出方法



着陸地点における緯度経度の誤差は、指定した着陸地点の緯度経度と、着陸時のドローン機体に設置した高精度測位端末の緯度経度 Log データとの 2 点間の距離を算出した。（図 28）

図 28 着陸地点における緯度経度の誤差算出方法



ドローン航行中において LTE 通信環境が十分に担保されていたかの検証は、ドローンに LTE 電波測定端末を搭載し、測定端末 Log から飛行時間内の通信成功回数 ÷ 通信回数を算出した。

## (2) 算出結果

本実証調査では、ルート a にてドローンが 5 kg の物資を 5 往復輸送において中間地点を 15 か所設定し、ルート b にてドローンが 8kg の物資を 5 往復において中間視点を 7 か所設定し、着陸地点と共に誤差平均の結果を記載する。（図表 29）

飛行経路上でのウェイポイント（中間点）での緯度経度誤差は全ルート平均で 31.7cm、並びに着陸地点での緯度経度誤差は全ルート平均で 14.6cm であった。

図表 29 技術 1 に関する結果報告表

ルート	往路/復路	中間点/着陸地点	設定緯度	設定経度	5回平均実績近接緯度 A	5回平均実績近接経度 A	5回平均実績近接緯度 B	5回平均実績近接経度 B	5回平均誤差 [cm]
ルート a	往路	中間点 1	33.503238	135.60054	33.503242	135.60054	33.503242	135.60054	41.8
		中間点 2	33.50441	135.60469	33.504412	135.60469	33.504406	135.60468	27.4
		中間点 3	33.5053	135.60903	33.5053	135.60903	33.505301	135.60902	9.8
		中間点 4	33.504822	135.61091	33.504822	135.61091	33.504825	135.6109	7.8
		中間点 5	33.504343	135.61279	33.504343	135.61279	33.504343	135.6128	7.0
		中間点 6	33.503864	135.61468	33.503866	135.61467	33.503863	135.61469	6.6
		中間点 7	33.503319	135.61685	33.503317	135.61686	33.503323	135.61684	5.8
		中間点 8	33.502773	135.61903	33.502774	135.61903	33.502771	135.61904	12.8
		中間点 9	33.502227	135.62121	33.502226	135.62121	33.502227	135.62121	15.3
		中間点 10	33.502008	135.62535	33.502008	135.62535	33.50201	135.62536	18.1
		中間点 11	33.502981	135.62826	33.502985	135.62825	33.502979	135.62825	43.0
		中間点 12	33.503627	135.6292	33.503624	135.62919	33.50363	135.6292	10.3
		中間点 13	33.504274	135.63014	33.504272	135.63014	33.504278	135.63015	9.8
		中間点 14	33.505868	135.63103	33.505865	135.63103	33.505875	135.63103	69.4
		中間点 15	33.507568	135.62977	33.507564	135.62977	33.507562	135.62977	70.3
		着陸点	33.50876	135.62699	33.508759	135.62699	-	-	12.9
		中間点 1	33.507568	135.62977	33.507567	135.62977	33.507565	135.62977	26.4
		中間点 2	33.505868	135.63103	33.505864	135.63103	33.50588	135.63102	68.7
		中間点 3	33.504274	135.63014	33.504276	135.63014	33.50427	135.63013	11.9
		中間点 4	33.503627	135.6292	33.503623	135.6292	33.503625	135.6292	55.6
		中間点 5	33.502981	135.62826	33.502977	135.62826	33.502975	135.62826	56.6
		中間点 6	33.502008	135.62535	33.502002	135.62535	33.502003	135.62536	64.8
		中間点 7	33.502227	135.62121	33.502223	135.62121	33.50222	135.62122	54.3
		中間点 8	33.502773	135.61903	33.502771	135.61903	33.502772	135.61903	16.4
		中間点 9	33.503319	135.61685	33.503318	135.61686	33.50332	135.61685	20.2
		中間点 10	33.503864	135.61468	33.503865	135.61468	33.503867	135.61468	20.8
		中間点 11	33.504343	135.61279	33.504346	135.6128	33.504348	135.61279	34.0
		中間点 12	33.504822	135.61091	33.504825	135.61091	33.504826	135.61091	37.1

		中間点 13	33. 5053	135. 60903	33. 505303	135. 60903	33. 505302	135. 60903	32. 8
		中間点 14	33. 50441	135. 60469	33. 504414	135. 60468	33. 504415	135. 60469	46. 1
		中間点 15	33. 503238	135. 60054	33. 503242	135. 60054	33. 503242	135. 60054	41. 6
		着陸点	33. 505204	135. 59858	33. 505206	135. 59858	-	-	21. 3
		中間点 1	33. 503509	135. 59672	33. 50351	135. 59673	33. 503507	135. 59671	14. 3
		中間点 2	33. 503341	135. 59564	33. 503338	135. 59564	33. 503337	135. 59563	41. 8
		中間点 3	33. 503173	135. 59455	33. 50317	135. 59455	33. 50317	135. 59454	35. 7
		中間点 4	33. 503006	135. 59346	33. 503004	135. 59347	33. 503001	135. 59345	28. 1
		中間点 5	33. 502838	135. 59237	33. 502834	135. 59237	33. 502835	135. 59238	38. 0
		中間点 6	33. 50267	135. 59129	33. 502667	135. 59129	33. 502667	135. 59128	36. 3
		中間点 7	33. 502961	135. 5882	33. 502963	135. 5882	33. 502969	135. 58819	56. 8
		着陸点	33. 505355	135. 58817	33. 505355	135. 58817	-	-	9. 7
ルー ト b	復路	中間点 1	33. 502961	135. 5882	33. 502966	135. 5882	33. 502968	135. 5882	75. 1
		中間点 2	33. 50267	135. 59129	33. 502673	135. 59128	33. 502674	135. 59129	35. 9
		中間点 3	33. 502838	135. 59237	33. 50284	135. 59237	33. 502841	135. 59238	23. 3
		中間点 4	33. 503006	135. 59346	33. 503008	135. 59346	33. 503007	135. 59346	21. 2
		中間点 5	33. 503173	135. 59455	33. 503176	135. 59455	33. 503173	135. 59453	19. 4
		中間点 6	33. 503341	135. 59564	33. 503342	135. 59563	33. 503344	135. 59565	13. 9
		中間点 7	33. 503509	135. 59672	33. 503509	135. 59672	33. 503512	135. 59674	13. 3
		着陸点	33. 505204	135. 59858	33. 505203	135. 59858	-	-	14. 3

参考までに、現地での着陸時の様子を図表 30～32 にて示す。



図表 30 現地での着陸時の様子（里野集会所）



図表 31 現地での着陸時の様子（童謡公園避難所）



図表 32 現地での着陸時の様子（道の駅すさみ）



LTE 通信環境測定結果は、全 10 往復での平均が 99.78%であった。（図表 33）

図表 33 LTE 通信環境測定結果

ルート	往路/復路	通信試行回数	通信成功回数	通信成功率
a	往路	483	483	100.00%
a	復路	489	483	98.77%
a	往路	537	537	100.00%
a	復路	490	487	99.39%
a	往路	535	535	100.00%
a	復路	484	484	100.00%
a	往路	541	541	100.00%
a	復路	537	532	99.07%
a	往路	484	484	100.00%
a	復路	539	539	100.00%
b	往路	295	295	100.00%
b	復路	297	294	98.99%
b	往路	302	302	100.00%
b	復路	301	301	100.00%
b	往路	293	293	100.00%
b	復路	291	291	100.00%
b	往路	290	290	100.00%
b	復路	308	308	100.00%
b	往路	297	297	100.00%

b	復路	296	295	99.66%
総合	-	8089	8071	99.78%

### 5.1.2. 技術2並びに技術3に関するバッテリー消費量の検証結果

#### (1) 算出方法

バッテリー残量においては、想定外事象発生時においても安全な場所に帰還できる前提で検証を実施した。つまり、着陸地点付近まで到着したが想定外事象で離陸地点まで戻る1復路分のバッテリーを確保し、確保分を除くバッテリー量にてバッテリー残量算出を実施する。

今回実証したドローン機体においては、ルートa,b共にバッテリー電圧が22.28Vを下回ると1復路分のバッテリー残量を下回る可能性があるかと判断し、アラーム警告し離陸地点に戻るプログラムを実施している。そのため、今回の算出ではバッテリー電圧が22.28Vになった時点でドローン物資配送の機能を果たせないと判断し、バッテリー残量を0%と定義し算出する。

また、バッテリー満充電時の電圧は25.2Vと定義する。

飛行前のバッテリー電圧と飛行後のバッテリー電圧を計測し、以下の算出式から飛行前と飛行後のバッテリー残量を推定する。

$$\text{バッテリー残量 (\%)} = \frac{(\text{飛行前後でのバッテリー電圧 (V)} - 22.28 \text{ (V)})}{(25.2 \text{ (V)} - 22.28 \text{ (V)})}$$

風向きと強さにおいては、離発着地点に風速計を設置し、毎時00分に計測を実施した。

#### (2) 算出結果

本実証調査では、ルートaにてドローンが5kgの物資を5往復輸送、ルートbにてドローンが8kgの物資を5往復輸、を完了しその結果を記載する。(図表34)

図表34 飛行前後でのバッテリー残量と風向きと強さ

ルート	往路/復路	飛行前 バッテリー 残量[%]		飛行後 バッテリー 残量[%]		飛行後 平均 バッテリー 残量[%]	バッテリー 減少量[%]		風向き/強さ [m/s]	
		バッテ リー1	バッテ リー2	バッテ リー1	バッテ リー2		バッテ リー1	バッテ リー2	離陸 地点	着陸 地点
ルート a	往路	97.26%	98.29%	33.90%	27.74%	30.82%	63.36%	70.55%	北北西 /3.1	東北 東/1
	往路	98.29%	98.97%	36.30%	36.99%	36.64%	61.99%	61.99%	北北東 /1.3	南東 1
	往路	98.63%	98.29%	30.82%	30.14%	30.48%	67.81%	68.15%	北北東 /2.8	北東 /1.2

	往路	96.23%	96.23%	31.85%	31.51%	31.68%	64.38%	64.73%	北北西 /3.5	南東 /3.8
	往路	99.32%	100.00%	27.74%	32.88%	30.31%	71.58%	67.12%	西北西 /3.6	北西 /3
	復路	98.63%	98.97%	38.01%	38.01%	38.01%	60.62%	60.96%	南東/1	北北東 /1.3
	復路	97.60%	97.95%	29.79%	30.48%	30.14%	67.81%	67.47%	南東/1	北北東 /1.3
	復路	98.97%	97.95%	28.77%	29.11%	28.94%	70.21%	68.84%	南東 /3.8	北北東 /2.8
	復路	96.58%	97.26%	32.53%	33.56%	33.05%	64.04%	63.70%	南東 /3.8	北北西 /3.5
	復路	98.29%	98.29%	30.48%	29.79%	30.14%	67.81%	68.49%	北西/3	西北西 /3.6
ル ー ト b	往路	98.97%	99.32%	52.74%	52.05%	52.40%	46.23%	47.26%	北北西 /2.4	北北西 /2.3
	往路	94.18%	93.49%	49.66%	50.34%	50.00%	44.52%	43.15%	北北西 /2.4	北北東 /0.5
	往路	98.97%	98.29%	51.37%	48.63%	50.00%	47.60%	49.66%	西北西 /0.7	北北東 /0.5
	往路	98.29%	98.97%	55.48%	55.82%	55.65%	42.81%	43.15%	西北西 /0.7	北北東 /0.5
	往路	100.00%	100.00%	50.68%	55.14%	52.91%	49.32%	44.86%	-/0	-/0
	復路	98.63%	98.29%	53.77%	53.77%	53.77%	44.86%	44.52%	北北西 /2.3	北北西 /2.4

復路	97.95%	98.29%	49.66%	50.34%	50.00%	48.29%	47.95%	北北東 /0.5	西北 西 /0.7
復路	97.95%	97.60%	50.68%	45.21%	47.95%	47.26%	52.40%	北北東 /0.5	西北 西 /0.7
復路	97.95%	97.95%	49.32%	49.32%	49.32%	48.63%	48.63%	-/0	-/0
復路	98.63%	97.95%	51.37%	55.14%	53.25%	47.26%	42.81%	-/0	-/0

参考までに、現地での測定時の様子を図表 35～36 にて示す。

図表 35 バッテリー電圧測定時の様子



図表 36 風速計での計測の様子



### 5.1.3. ドローン配送ルート設定における準備の検証結果

ドローン配送ルート設定するに当たり、実証調査を通じて運用上懸念が発生した事項を洗い出し、今後同様の取組を実施する際に事前にチェックすべきチェックシート概要を作成した。（図表 37）このチェックシート詳細は、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にて詳細を記載する。

図表 37 ドローン配送ルート設定時におけるチェックシート概要

確認事項 (大項目)	確認事項 (中項目)	確認事項 (小項目)	確認方法
事前データ入力	離陸場所緯 度経度高度	離陸地点の緯度経度高度 は測定済みか	現地で事前に測定
事前データ入力	着陸場所緯 度経度高度	着陸地点の緯度経度高度 は測定済みか	現地で事前に測定
		不時着 Point の緯度経度 は測定済みか	現地で事前に測定

事前設定	想定外事象発生時の帰還設定	想定外事象発生時には、通常航行速度だけでなく、安全に航行できる状態まで速度を落とす事ができるか	離陸地点及び不時着地点への、異常発生時の帰還において、通常運行速度よりも遅い速度で安全に航行する設定が考慮する
航行安全性確認	飛行エリアの第三者の立ち入りの可能性	飛行経路上に第三者が立ち入るエリアが存在するか。 存在する場合は第三者の立ち入り制限の体制が取れているか。	飛行経路設計の時点で第三者エリア上空かどうか確認。 第三者エリア上空を通過する場合は現地で補助者を立てて立ち入りを制限する。
航行安全性確認	強風による機体墜落	離発着地点で風速計にて風速確認にて規定値以内になっているかどうか	地上風速 5m/s 以下での飛行 *機体性能により変化 搭載する荷物は重心が安定する様に可能な限り固定する事
航行安全性確認	離発着場所にて離発着と作業スペース確保	離着陸地点に、飛行中に人や車両が入らない対策が実施されているか 着陸地点にて砂埃等が舞い上がらない対策がされている事	現地で航行直前に確認 事前に離発着場所利用者や近隣通行関係者へドローン航行周知の実施 着陸場所にブルーシート等が設置されている事
航行安全性確認	他施設の飛行中UAVとの衝突を回避	他のドローン機体操縦者やドローン機体飛行が無いか	国交省システム上で他のドローン飛行予定がないかを事前に確認 また、当日現地でも離陸前に他の飛行物体がないか確認
航行安全性確認	操縦者の移動による負傷・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、等の現地に応じた安全な作業服装、装備が出来ている事	安全な作業者の服装、装備を当日確認
航行安全性確認	飛行エリア外への機体の飛び出し機体故障発生	監視システムは複数名で変化を見逃さない体制を確保できているか	安全管理者が常時監視し、遠隔で監視画面をバックアップ監視する 飛び出し時には手動操作にて離陸場所または到着場所へ戻す

航行安全性確認	飛行中のバッテリー切れによる墜落	監視システムにて各種アラームを複数名で確認し、異常を見逃さない体制を確保できているか	バッテリー残量の離陸前確認 航行中の残量アラーム確認し、必要に応じて手動操作にて緊急着陸 バッテリー不足懸念がある場合は、充電対応またはバッテリー交換を実施
法規制	航空法や関係法令順守	(漁港施設等付近で航行する場合) 港則法対象エリアで無い、または対象エリアにて作業許可取得済みかどうか	航行許可申請前に確認

#### 5.1.4. 技術 4 に関するシステム連携検証結果

4.2.5. システム、(2) 主プロセス、⑥システム連携における、モバイル配送依頼システムから、防災備蓄品プラットフォームへのデータインポートに成功した CSV ファイルとその詳細は図表 38 の通りである。

図表 38 モバイル配送依頼システムから防災備蓄品プラットフォームへのデータ連携 CSV

項目	サービスデモ時データ	データ形式	注意点
倉庫コード	道の駅すさみ	文字列	登録済み備蓄倉庫名との完全一致必要
備蓄品コード	【ドローン配送】みき食堂 イノブタレタス料理	文字列	登録済み備蓄品目名との完全一致必要
消費期限	2021/11/30	yyyy/mm/dd	
単価	0	数字	
出庫日	2021/11/30	yyyy/mm/dd	
出庫数量	10	数字	
出庫理由	避難訓練	文字列	登録済み出庫理由の選択肢との完全一致必要
備考	(空白)	文字列	

防災備蓄品プラットフォーム管理者にて、モバイル配送依頼システムから提供された CSV ファイルはサービスデモ時に 2 回実施し、2 回とも正常に取り込む事に成功した。(図表 39)



図表 39 防災備蓄品プラットフォームに正常に取り込まれたシステム画面図

5. 1. 5. インタビュー検証結果

インタビューは以下の通り、3回すさみ町関係者に実施した（図表 40）

図表 40 アンケート実施実績

日付	アンケート回答者	参加者数
2021年 11月30日	避難所管理者	1
2022年 2月3日	すさみ町内 漁業関係者	2
2022年 2月16日	すさみ町役場 防災対策室長 防災担当者 スマートシティ担当者	7

インタビュー結果における回答は以下の通り。（図表 41）

図表 41 インタビュー結果

No	質問
1	使い勝手について悪いところがあったか？
	<p>【回答】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>関係部署への飛行確認連絡を都度しないといけない</li> </ul>

	<p>特に漁港に不時着ポイントを設定し、その許可を取る際は、田辺市まで漁港占有申請と現地での漁港利用者の同意を取る必要があった。漁港関係で時間や手間が掛かることは課題であり手続きは簡素化できると良いと考える</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・距離はもう少し長い距離を飛ばないのか</li> </ul> <p>すさみ町周参見地区（防災センター）～里野地区間の約 20km  すさみ町周参見地区（防災センター）～佐本地区間の約 20km  といったルートでは災害時にだけでなく、日常品の配送でもニーズがあるのでは無いか</p>
2	直感的にわかりにくい、判断に迷うところがあったか？
	<p><b>【回答】</b>  スマートフォンオーダーシステム、防災備蓄品プラットフォームについて、特段不明な点は無かった。  ドローンに関しては全ての工程を専門家が対応したため、不明。</p>
3	災害時に利用したいと考えるか？
	<p><b>【回答】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・災害時にドローン物流は海岸線の津波被害による孤立集落への物資輸送で有効な手段である。今回実施した里野、江住地区以外でも、周参見地域ではすさみ川の橋梁等の損傷も懸念され国道寸断の危機が想定されている。周参見地域でも活用を検討して欲しい。</li> <li>・津波発生 24H 後には平常の海面水位に戻っていると考えられているが、発生から 24H 以内の緊急物資を運ぶ手段として有効ではないか。</li> <li>・国道や山間部など、インフラが使用可能な状況か分からないと役場としても災害対応の動きが取れない。情報収集を行うことが大切であり、災害時に、国道は通行できるのか？を確認する手段としてもドローンによる写真撮影は有効。ただし、すさみ町はトンネルも多く、トンネル損傷の状況と合わせて使用可能か判断することが大切である。</li> </ul>
4	従来の手法と比較し優れている点は何か？
	<p><b>【回答】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・陸路のみでは、災害から 24H 以内は物資搬送が出来る想定では無かった。  24H 以内に孤立避難所に物資搬送が出来る事は従来手法よりも優れている。</li> <li>・スマートフォンオーダーは、災害時是对応者の業務輻輳し電話が繋がりにくく、電話での情報伝達よりも優れていると考える。また、その履歴が管理データとして残る点が素晴らしい。ただしスマートフォンは利用できる人が限られるため、利用者確認やマニュアル整備など今後進める必要がある。</li> </ul>
5	システム概算費用にて導入意思はあるか？
	<b>【前提】</b>

	<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：約 2～300 万円程度</p> <p>* 現地にて、離発着場所と不時着場所の選定、実際に事前飛行を実施 災害時のドローン航行作業：約 200 万円/1 日・1 機の費用が発生する見込み。</p> <p>* 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。</p> <p><b>【回答】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人の命がかかる場合はお金には代えられない</li> <li>・複数個所同時多発的に発生する可能性があり、1 台では足りないのではないか。</li> <li>・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ことが課題となる</li> </ul>
6	システム導入における課題は何か？
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローンポートが固定されていないことが課題 立入制限を周辺住民や観光客に実施するため、ドローンポートを設置すべきではないか。また、ドローンが航行状態/未航行状態、の情報がパッと目で見て分かる案内も大事ではないか</li> <li>・技術的には遠隔でドローン航行可能ではあるが、すさみ町役場としても緊急時の手動操作体制を準備必要と考える。その際、現地で状態確認や操作技術者の確保が課題。 役場の担当が住民にドローン飛行状況について説明できる事が住民理解にも繋がるのではないか。</li> <li>・スマートフォンオーダーは災害時にネットワーク接続が必須であり、その対策も課題である。</li> </ul>

## 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、自治体の災害備蓄品輸送に関する効率化の効果、防災備蓄品のリアルタイムデータ連携による効率化の効果、に関する分析を実施する。

### 5.2.1. 技術 1 に関するドローン飛行経路と着陸地点の正確性検証分析

ルート a 及びルート b において、往路と復路での中間点での誤差、着陸地点での誤差、に明らかな差分があったかを図表 42 及び図表 43 にて分析結果を示す。

図表 42 ルート a 往路とルート a 復路の差分確認

分類 1	分類 2	(1) ルート a 往路 5 回平均誤差 [cm]	(2) ルート a 復路 5 回平均誤差 [cm]	(1)-(2) 差分 [cm]
中間点	最大値	70.3	68.7	1.6
中間点	中間値	12.8	37.1	-24.3
中間点	最小値	5.8	11.9	-6.1

着陸地点	-	12.9	21.3	-8.4
------	---	------	------	------

図表 43 ルート b 往路とルート b 復路の差分確認

分類 1	分類 2	(1) ルート b 往路 5 回平均誤差 [cm]	(2) ルート b 復路 5 回平均誤差 [cm]	(1)-(2) 差分 [cm]
中間点	最大値	56.8	75.1	-18.3
中間点	中間値	36.3	21.2	15.1
中間点	最小値	14.3	13.3	1.0
着陸地点	-	9.7	14.3	4.6

ルート a, b の往路復路共に、中間点は 1m 以内の誤差、着陸地点の誤差は 30cm 以内の誤差となっており、往路と復路での誤差に大きな違いは見られなかった。この結果より、ルート a, b の往路復路共に、中間点での計測は事前に想定した 1m 以内での正確な位置でのドローン航行を実現できたと考える。着陸地点では、事前に想定した 10cm 以内での着陸は実現できなかったが、その原因はドローン降下時のダウンウォッシュによる機体の振動、ブレにより着陸直前に機体位置が数 cm ずれてしまったと推測する。

今回の分析結果から得られた正確な位置でのドローン航行により、周辺関係者の指定するルート設定や着陸地点、航行禁止区域を避けるルート設定、を実現する事が可能となると考える。

尚、高精度測位装置は LTE 通信にて誤差補正を実施していたが、LTE 通信環境測定結果は、ルート a の 5 往復で通信成功率 99.72%、ルート b の 5 往復で通信成功率 99.87% であり、ルート a, b 共に LTE 通信と通して高精度測位が機能していたと考える。

#### 5.2.2. 技術 2 並びに技術 3 に関するバッテリー消費量の検証分析

ルート a にてドローンが 5 kg の物資を 5 往復輸送、ルート b にてドローンが 8 kg の物資を 5 往復輸送した際のバッテリー残量平均とその評価を図表 44 で示す。

ルート a、ルート b 共に往路または復路実施後にバッテリー交換またはバッテリー充電が必要であると考えられる。

図表 44 バッテリー残量平均と評価

ルート	往路/復路	5 回平均バッテリー 残量 (%)	評価結果
a	往路	31.99	緊急時バッテリーを確保前提で、往路実施後にバッテリー交換または、バッテリー充電が必要
a	復路	32.05	緊急時バッテリーを確保前提で、復路実施後にバッテリー交換または、バッテリー充電が必要
b	往路	52.19	緊急時バッテリーを確保前提で、往路実施後に復路バッテリー量が確保されている可

			能性がある。しかし、安全性を考慮するとバッテリー交換または、バッテリー充電が必要
b	復路	50.86	緊急時バッテリーを確保前提で、復路実施後に復路バッテリー量が確保されている可能性がある。しかし、安全性を考慮するとバッテリー交換または、バッテリー充電が必要

### 5.2.3. ドローン配送ルート設定における準備の検証分析

ドローン配送ルート設定時におけるチェックシートを作成したが、当初想定事項から安心・安全なドローン航行実現に向けて追加検討し反映した項目は以下の通り。（図表 45）

図表 45 チェックシートへの追加事項

確認事項 (大項目)	確認事項 (中項目)	確認事項 (小項目)	確認方法
事前データ入力	着陸場所緯度経度高度	不時着 Point の緯度経度は測定済みか	現地で事前に測定
事前設定	想定外事象発生時の帰還設定	想定外事象発生時には、通常航行速度だけでなく、安全に航行できる状態まで速度を落とす事ができるか	離陸地点及び不時着地点への、異常発生時の帰還において、通常運行速度よりも遅い速度で安全に航行する設定が考慮する
航行安全性確認	強風による機体墜落	離発着地点で風速計にて風速確認にて規定値以内になっているかどうか	今回は風速 5m/s 以下での飛行 *機体性能により変化 搭載する荷物は重心が安定する様に可能な限り固定する事
航行安全性確認	離発着場所にて離発着と作業スペース確保	離着陸地点に、飛行中に人や車両が入らない対策が実施されているか 着陸地点にて砂埃等が舞い上がらない対策がされている事	現地で航行直前に確認 事前に離発着場所利用者や近隣通行関係者へドローン航行周知の実施 着陸場所にブルーシート等が設置されている事
航行安全性確認	飛行エリア外への機体	監視システムは複数名で変化を見逃さない体制を確保できているか	安全管理者が常時監視し、遠隔で監視画面をバックアップ監視する

	の飛び出し 及び 機体故障発 生		飛び出し時には手動操作にて離 陸場所または到着場所へ戻す
航行安全性確認	飛行中のバ ッテリー 切れによる 墜落	監視システムにて各種ア ラームを複数名で確認 し、異常を見逃さない体 制を確保できているか	バッテリー残量の離陸前確認 航行中の残量アラーム確認し、 必要に応じて手動操作にて緊急 着陸 バッテリー不足懸念がある場合 は、充電対応またはバッテリー 交換を実施

(1) 着陸場所緯度経度高度における不時着 Point 設定

ドローンに機体故障等の想定外事象が発生した際に、離陸地点または着陸地点にまでドローン航行が不可能となる可能性が考えられる。その事象を想定し、今回の実証調査では、ドローン航行ルート a 上に今回は、2 か所の不時着 Point を設定した。(図表 46)

今回実際に設定した緯度経度情報を示す。尚、不時着 Point での着陸は道の駅すさみを出発とし、2 か所共に着陸成功している。

江住漁港借用位置：33.50885723757561, 135.6079807655018

里野漁港借用位置：33.50252674499925, 135.62489882716048

図表 46 ルート a における不時着 Point



(2) 想定外事象発生時の帰還設定

ドローンの航行速度は、通常故障等が無い状態で安定した飛行を可能とする速度が設定されている。しかし、ドローン機体はプロペラ故障発生時などの機体故障発生時においても、可能な限り安全な航行にて離発着地点及び不時着地点へ帰還を試みるべきと考える。機体故障発生時には、通常速度では安定した航行姿勢を保てない、または航行が不可となるケースが想定され、通常航行速度 (8~9m/s) よりも速度を落とした 5m/s、3m/s、の離発着地点及び不時着 Point への帰還設定を事前に追加した。

### (3) 強風による機体墜落への対策

風速 5m/s 以内においてドローン航行を実施した。これは、国土交通省の飛行マニュアルに順守したものである。

今回は、軸間 1501mm、全長 1388mm、全幅 1588mm、全高 754mm の大型ドローンにて、最大 8kg の重量を運搬し実証調査にて実施したが、安心・安全なドローン航行実現には、ドローンが安定した姿勢であることが重要であると考ええる。

その理由として、今回の飛行速度は 8m/s～9m/s のため無風の状態でも対気速度が 9m/s となる。上空の風速は（周囲の環境にもより変化する場合あり）地上よりも強い風速の可能性が高い。地上で 5m/s の風速を計測した場合、上空での対気速度が 14m/s 以上になる事を想定してドローン航行すべきと考える。

対気速度が 14m/s 以上になる場合、今回使用したドローン機器（マルチコプター型）の特徴として大気速度が上昇するほど前傾が深くなり、それによりドローンの傾きが大きくなり飛行の安全性に懸念が生じる。搭載する荷物の重心を固定する必要がある理由は、ドローンの傾斜と同一方向に荷物の重心が移動すると、より前傾が深くなり飛行の安全性に懸念が出るためである。参考までに、図表 47～49 にて今回の配送荷物の固定状況を示す。

また、全面投影面積が大きくなると空気抵抗増大し必要航続距離に対するバッテリー消費量が増加しバッテリー残量不足による航行への問題が発生する可能性がある。

図表 47 毛布配送時の荷物固定状況



図表 48 食料品配送時の荷物固定状況



\*隙間にはタオル等を入れ固定

図表 49 ドローンでの荷物固定



\*プラスチック製の器具にて発泡スチロールケース/ファンボールケースを固定

#### (4) 離発着場所にて離発着と作業スペース確保

ルート a での里野集会所においては、着陸地点が砂地であった。そのため、着陸時のダウンウォッシュの影響で図表 50 の赤枠にある通り、砂埃が舞い上がった。そのため、視界が悪くなる事により事故に繋がる恐れもあるため、図表 51 の通り、ブルーシート等を設置する事でダウンウォッシュによる視界悪化への対策を実施した。



図表 50 事前準備飛行時における里野集会所着陸時の様子



図表 51 着陸地点でのブルーシート設置対策



(5) 飛行エリア外への機体の飛び出し及び機体故障発生

今回使用した監視システムでは、ドローン水平状態、航行位置、プロペラ回転数、ドローン振動状態、ドローンバッテリー電圧、といった項目をリアルタイムで監視員がチェックしている。監視システムから監視員へは異常発生を示す方法としてアラームが設定は実施されているが、アラームがすべての障害や異常の検知や予兆を検知する事は難しい。

具体的には、プロペラの回転数がHW故障により異常が発生していたが、発生直後に検知出来ず、その後ドローン水平状態の変化にて異常を検知した。

今回は、実証調査期間内にアラーム追加等のソフトウェア更新は費用と時間の観点から対応が難しく、監視員を1名かから2名に増加する対策、並びに異常発生時に手動介入する体制を構築し実証調査を継続した。参考までに監視システムでの飛行確認状況画面を図表 52 で示す。

図表 52 監視システムでの飛行確認状況



異常発生時の検知においては、監視員の増員やアラーム化といった対策は一定の効果が見込めると考える。ただし、上記対策を実施後も、検知後の対策を早期に実施しなければ、ドローン航行の事故に繋がる可能性もある。異常検知後またはアラーム発生後における、想定外発生時の自動オペレーションの高度化が将来的に必要であると考えられる。

#### (6) 飛行中のバッテリー切れによる墜落への対策追加

5.1.2. で示す通り、バッテリー残量においては、想定外事象発生時においても安全な場所に帰還できる前提で検証を実施した。また、5.2.2 の結果の通り、実証調査と同じ条件であれば安全性を考慮しルート a, b 共に往路または復路航行後にバッテリー交換、またはバッテリー充電が必要と評価している。実際の災害時の利用では、片道での航行とする運用は利便性の面から考えにくい。そのため、現状では道の駅さきみ、各避難所にてバッテリー交換、またはバッテリー充電が可能とすべきであると考えられる。

#### 5.2.4. 技術 4 に関するシステム連携検証分析

モバイル配送依頼システムから、防災備蓄品プラットフォームへの CSV にてデータインポートに成功した事により、起点倉庫から出庫された、備蓄品、数量、配送手段（ドローン配送）、のデータが自動で防災備蓄品プラットフォームに反映され、適切な在庫管理方法とする検討が完了した。

### 5.2.5. インタビュー検証分析

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 53）

図表 53 インタビュー結果から得られた知見と継続課題

項目	知見/継続課題	事柄
ドローン航行事前設定	継続課題	漁協施設等の航行に関連する施設の航行事前許諾が必要である事
ドローン機体性能	継続課題	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
ドローン災害時活用	知見	孤立集落や避難所へのドローン物資配送は既存の陸路に変わる新しい配送手段となる可能性がある 特に 24H 以内の緊急物資搬送などに有効
データ連携災害時活用	知見	災害時において物資在庫変動が自動反映される事により業務輻輳軽減の可能性がある
ドローン社会実装	継続課題	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、実際に事前飛行を実施する手間と費用
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孤立避難所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	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
データ連携災害時活用	継続課題	スマートフォンオーダーを使用できるネットワークの確保

### 5.3. 考察

#### (1) 自治体の災害備蓄品輸送に関する効率化について

道の駅すさみからルート a, b において孤立想定避難所までの高精度測位を活用したルート設定が 5 往復の航行実績から完了し、また安心・安全に考慮した運用者向けチェックシートが準備されることにより、災害発生時のドローン配送を実施する準備が今回検証ルートにおいては完了したと言える。

しかし、今回の実証調査を通じて、ドローンは今後社会実装が急速に浸透する技術であり、ドローン航行エリア周辺の住民や関係者にドローン活用へのご理解ご協力を得るには、安心・安全なドローン航行の確保が大前提であると本コンソーシアム内では共通認識となった。

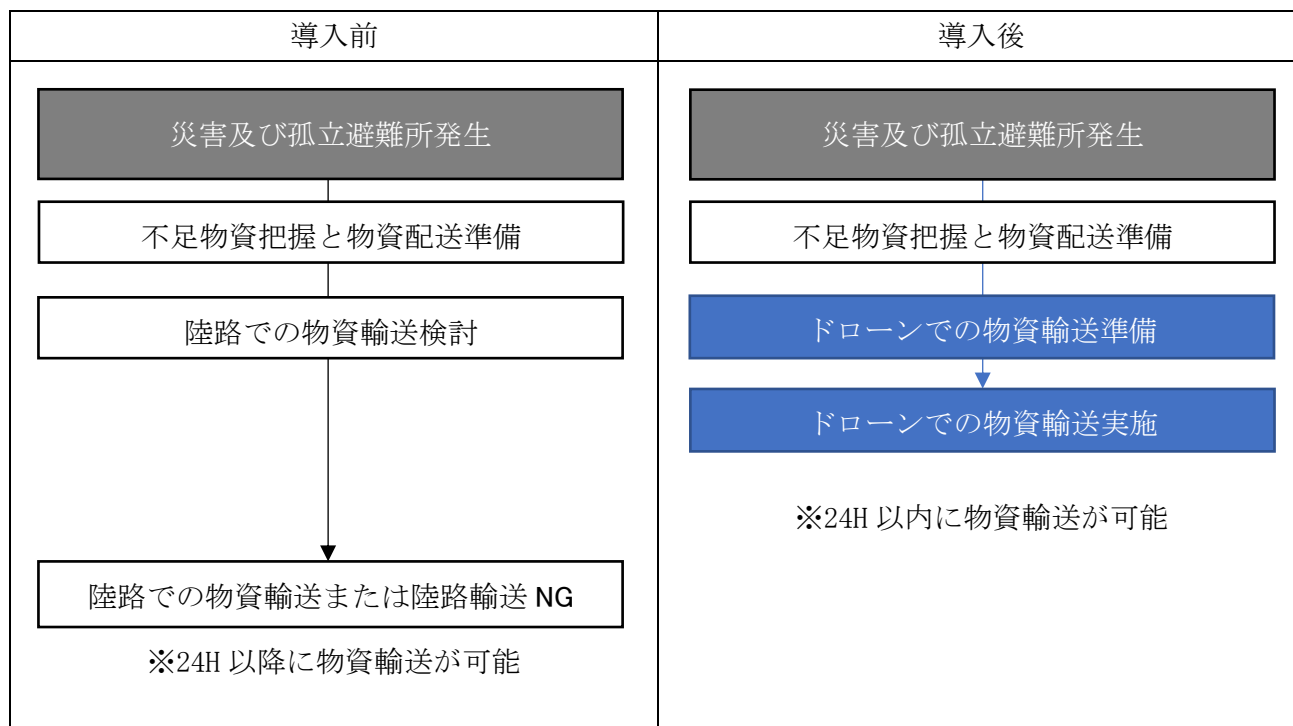
安心・安全なドローン航行に向けた今回の取組纏めは図表 54 の通り。

図表 54 安心・安全なドローン航行に向けた対策一覧

対策項目	今回調査事業での成果	継続課題
ドローン機器本体の高機能化	・高精度測位による正確なルート航行と着陸	・20km を超える距離延長
ドローン機体への想定外事象発生を考慮した対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・不時着 Point の設定</li> <li>・低速での帰還設定</li> <li>・風速 5m/s 以下での航行</li> <li>・着陸地点での視界確保</li> <li>・搭載物重心の固定</li> <li>・航行状況確認画面の常時監視体制構築</li> </ul> ※上記項目はチェックシートに反映済	・想定外発生時の自動オペレーションの高度化
ドローン機体のバッテリー枯渇への対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バッテリー交換/バッテリー充電の頻度設定（ルート a, b 共に往路または復路実施後）</li> </ul> ※上記項目はチェックシートに反映済	・ドローンポート等での充電、バッテリー交換

また、避難所運営開始時に道の駅すさみからルート a, b における孤立避難所までをドローン物資輸送が実施することにより、孤立避難所における被災者に早急に物資が届くこと。また、陸路での被災地を経由する長時間かつ危険が伴う車または人での物資運搬の回避が出来ること。については、ドローン航行の完了とインタビュー結果を通じて有効性を確認した。実装化された際、災害発生時の孤立避難所への物資輸送業務発生時のフローにおける想定される変化は図表 55 の通り。

図表 55 災害発生時の業務フローの変化



(2) 防災備蓄品のリアルタイムデータ連携による効率化の効果

システム連携による正確な履歴情報の登録により手動入力作業が軽減される仮説においては、サービスデモの実演とインタビュー結果を通じて、有効性を確認した。

今後の課題としては、CSV ファイルでの手動連携で無く API 等での連携がより効率化に繋がると考えるため、モバイル配送依頼システムと防災備蓄品プラットフォームでの高度な連携が必要であると考える。

物資輸送実績のリアルタイム反映に伴う不足物資の正確な予測に関する仮説は、防災備蓄品プラットフォームでのデータ整備が令和 3 年度に完了し、令和 4 年度以降で継続的に検証に取り組む。

(3) 本実証調査の社会実装に向けて

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、継続検討すべき課題が判明した。今後の検討すべき対策を図表 56 にて示す。

図表 56 実装化に向けた課題と今後検討すべき対策

課題事項	対策事項
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
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、実際に事前飛行を実施する手間と費用	・デジタルツインや 3 DMAP 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

<p>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</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・平時の観光等でのドローン利活用を検討し、平時利用中システムを災害時に利用する</li> </ul>
<p>災害時に同時多発的に複数個所の孤立避難所が発生した際に複数ドローン配備の必要性がある</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複数ドローンが安心・安全に航行する為の条件等を今後の実証調査を通じて引き続き検討する</li> </ul>
<p>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</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローンポート等を構築し、ドローン航行情報をサイネージや看板等に表示</li> </ul>
<p>スマートフォンオーダーを使用できるネットワークの確保</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・災害時のバックアップネットワークの整備</li> </ul>

## 6. 横展開に向けた一般化した成果

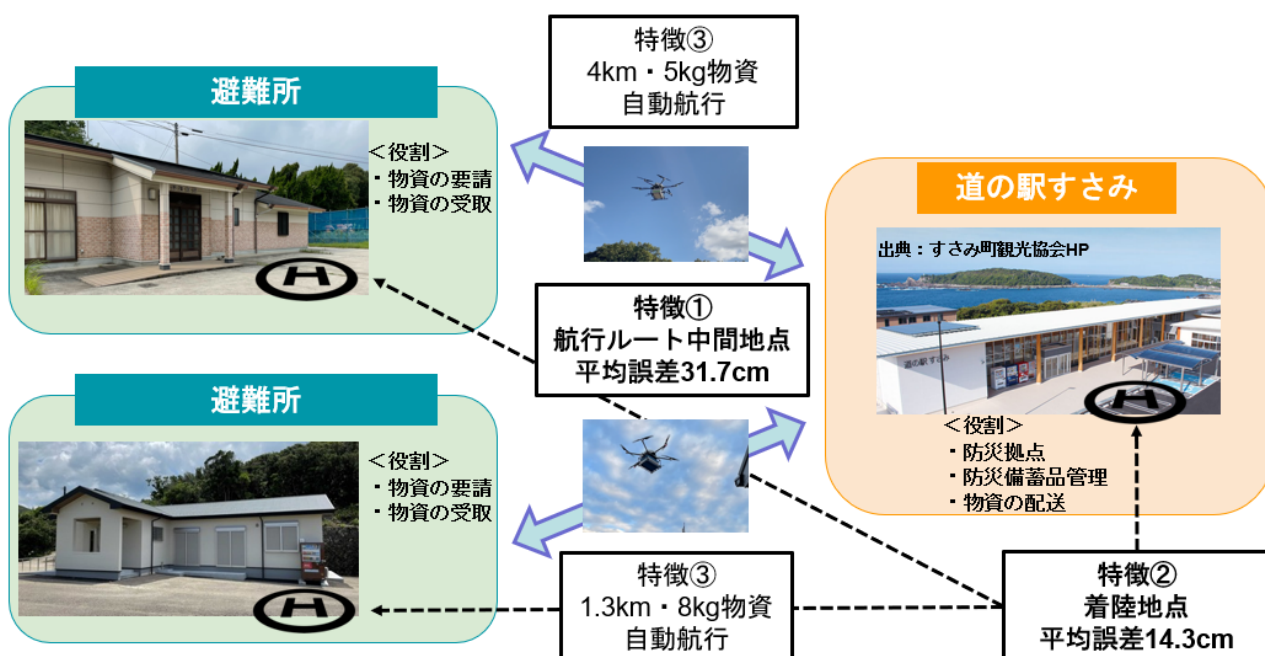
横展開に向けて一般化した事項としては、高精度測位機能を活用したドローンによる災害時の早期物資輸送、及び、安心・安全なドローン航行を実現する為のチェックシート、となる。

### (1) 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物資輸送

以下の特徴3点を具備したドローン配送可能となる仕組みが一般化した成果と言える。(図表57) 特徴1点目としては、航行ルート中間地点平均誤差31.7cmであること、2点目は、着陸地点平均誤差14.3cmであること、3点目は、4km・5kg物資または1.3km・8kg物資をドローン自動航行にて運搬可能な事、となる。

図表 57 高精度測位を活用したドローン往復配送

### 高精度測位を活用したドローンでの往復配送（災害発生後24H以内を想定）



### (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なる。無人航空機マニュアルと合わせて使用することで、安心・安全なドローン航行を実現する一助になると考える。

チェックシートは次項以降で示す。

# ○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物資輸送チェックシート

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  
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
航行ルート (案)作成	3	<input type="checkbox"/>	離発着地点を決定	
	3	<input type="checkbox"/>	ドローン航行ルート(案)を作成	
	3	<input type="checkbox"/>	不時着地点(案)を決定	
現地 確認作業	3	<input type="checkbox"/>	現地にて離発着地点(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 * 飛行場所付近の人又は物件への影響をあらかじめ現地で確認・評価する	
	3	<input type="checkbox"/>	ドローン航行ルート(案)上を陸路、海路、空路にて、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	
	3	<input type="checkbox"/>	ドローン航行ルート(案)上をドローン飛行にて空路にて、LTE通信状況を確認 * 高精度測位技術はLTE通信を用いる	
航行ルート 決定	3	<input type="checkbox"/>	ドローン航行ルートの決定 * 第三者の上空飛行を避ける、LTE通信が確保できるルートである事	離発着場所利用者や 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年度スマートシティモデル調査事業 (その17))

実施ルートa(約4.0km)



実施ルートb(1.3km)





# ○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物資輸送チェックシート

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  
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)

参考ルート設定 (令和3年度スマートシティモデル調査事業 (その17))

実施ルートa(約4.0km)



実施ルートb(1.3km)



・第三者の上空飛行を避けるため、国道や鉄道のある陸路より海路を優先



・海路において、釣り、ダイビング等の利用者を避けるため無人島周辺を回避する航行ルートを実施



・LTE通信が可能となる陸地から一定距離を保つルート設定を実施



# ○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物資輸送チェックシート

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  
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
位置計測	3	<input type="checkbox"/>	離陸地点にて緯度経度高度を高精度測位端末を具備したドローンにて計測	
	3	<input type="checkbox"/>	着陸地点にて緯度経度高度を高精度測位端末を具備したドローンにて計測	
	3	<input type="checkbox"/>	不時着地点にて緯度経度高度を高精度測位端末を具備したドローンにて計測	
設定	3	<input type="checkbox"/>	計測した離陸着地点及び不時着地点への想定外事象発生時の帰還設定 * 離陸地点及び不時着地点への、異常発生時の帰還において、通常運行速度、及び通常運行速度よりも低速(3m/s前後)での設定を実施	

参考手順 (令和3年度スマートシティモデル調査事業 (その17))

- ・不時着ポイントにおいては、ルートaの4kmある航行ルートの途中2か所に設定

緯度経度高度測定時の様子

不時着地点2か所 \* 漁港施設の為、利用許可を取得



# ○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物資輸送チェックシート

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：
ドローン情報基盤システム (FISS) への登録	
	有・無

## 項番 2 : ドローン航行作業

項番 2 は、災害発生時にドローンによる物資配送を行う作業である  
 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)

離発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"/>	高精度測位端末を具備したドローン本体	
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"/>	配送する物品	
7	1	<input type="checkbox"/>	配送する物品の梱包箱 (段ボール、発泡スチロール、等)	
8	1	<input type="checkbox"/>	段ボール、発泡スチロールを密閉するテープ類	
9	1	<input type="checkbox"/>	風速計	
10	1	<input type="checkbox"/>	ドローンランディングパッド	
11	1	<input type="checkbox"/>	ダウンウォッシュ対策 (ブルーシート等)	
12	1	<input type="checkbox"/>	ヘルメット、サングラス、静電手袋、静電作業着、安全靴、等の現地に応じた安全な作業服装	
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物資輸送チェックシート

本チェックシートの位置付け

5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：ドローン航行作業

項番 2 は、災害発生時にドローンによる物資配送を行う作業である  
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地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"/>	【強風による機体墜落リスク低減】 離発着地点において風速計にて風速5m/s以下である事を確認	
	1	<input type="checkbox"/>	【強風による機体墜落リスク低減】 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"/>	【離発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との衝突を回避】 離発着地点にて他飛行物体が無いが航行直前に確認	
	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 の現地に合った安全な作業服装、装備が出来ている事	
	3	<input type="checkbox"/>	【想定外事象の早期検知】 安全管理者が常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機体墜落リスク低減】 バッテリー残量がフル充電であることを離陸前に確認 離発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"/>	【航空法や関係法令順守】 港則法対象エリア有無の確認が完了している事 対象エリアの場合、ドローン航行作業許可取済みである事	事前準備～災害時航行ま でに対象エリアが変更と なっている可能性有

# ○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物資輸送チェックシート

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、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：ドローン航行作業

項番 2 は、災害発生時にドローンによる物資配送を行う作業である  
 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)

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))

- ・バッテリー残量チェックにおいて、機体へバッテリー搭載時に動力源接続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、風通しの良い離発着地点付近にて測定を実施する
- ・配送する荷物は重心が安定する様に、荷物が移動しない梱包方法が必要
- ・監視システムでは、リアルタイムで状態監視を実施
- ・着陸地点では、砂埃等が舞い上がり視界を悪化させない為、ブルーシートを準備

バッテリー確認の様子



風速計設置の様子



監視システム確認の様子



着陸地点準備の様子



重心を安定させるための搭載方法例



ドローン本体と荷物をラックにて固定方法例



# ○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物資輸送チェックシート

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

## 項番2：ドローン航行作業

項番2は、災害発生時にドローンによる物資配送を行う作業である  
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
ドローン航行作業	3	<input type="checkbox"/>	【ドローン自動航行開始】 ドローンに配送する荷物を搭載している事 自動航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"/>	【離発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"/>	【想定外事象の早期検知】 安全管理者が常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"/>	【ドローン自動航行完了】 自動航行にてドローンが着陸地点に到着する事 荷物配送受取が完了した事	着陸時刻 :

参考手順（令和3年度スマートシティモデル調査事業（その17））

ルートa着陸の様子



ルートb着陸の様子



# ○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物資輸送チェックシート

本チェックシートの位置付け

8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：事前ルート設定時の継続課題  
①専門家※による現地での離発着地点、不時着地点の設定、及び事前飛行実施がする必要があるため、数百万円の費用が発生するケースがある  
実際に、チェックシート作業レベルにおいて、全てレベル3となっている

項番2：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技量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より、事前ルート設定時とドローン航行作業時の2つにおいて、以下の通り社会実装に向けた継続課題が存在する。

### ・事前ルート設定時の継続課題

- 専門家※1による現地での離発着地点、不時着地点の設定、及び事前飛行実施が必要となるため、数百万円の費用が発生するケースがある。

### ・ドローン航行作業時の継続課題

- 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

- 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るケースがあること

- 専門家※1によるドローン航行全般作業が避難所（物資受取側）に必要なこと

上記の課題に対して、事前作業においては、専門家※1作業の一般化と費用低減への取組として3DMAP等を活用したドローン航行設定を実現するシミュレーション環境構築、について提案する。

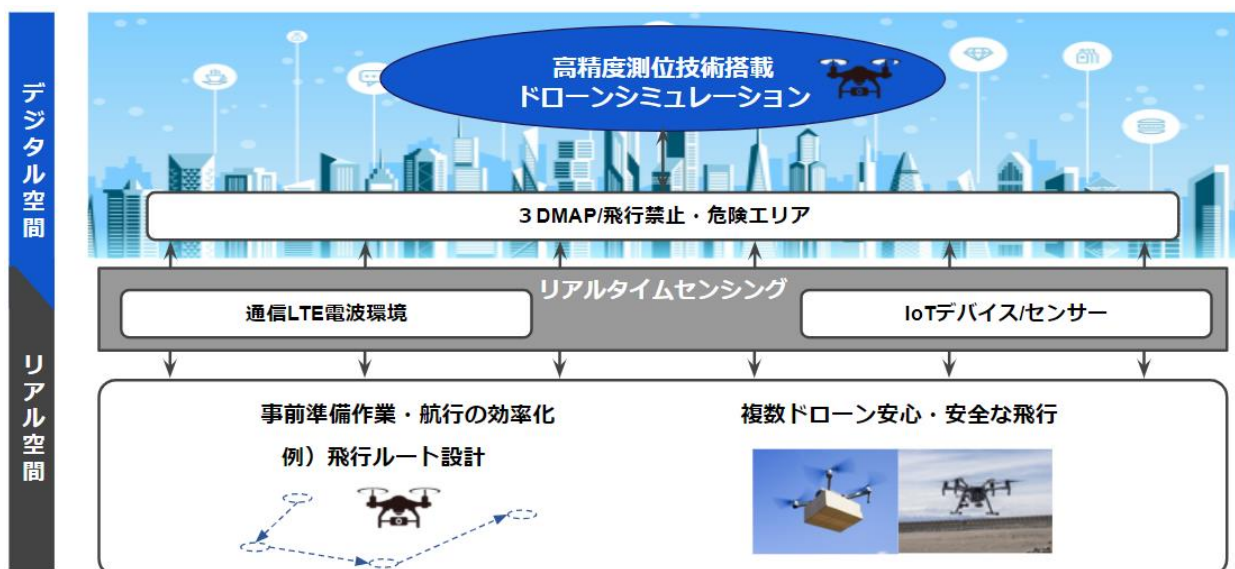
実航行作業時においては、ドローンに関する航空法の変更が2022年に辞実施予定となっており、法改正や施行規則改正と合わせて引き続き検討が必要であり、今回の提案は控える。

※1 専門家とは、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し、現場での運用実績が一定以上ある者。（目安100時間以上）技量を有する者とする。

### (1) 3DMAP等を活用したドローン航行設定を実現するシミュレーション環境

事前ルート設定時の継続課題への対策として、複数ドローン飛行を前提としたシミュレーション環境構築を提案する。天候情報、LTE電波環境、都市の3DMAPデータ、にてドローン飛行シミュレーションが正確に実施できることにより、飛行申請時の現地確認を省略しドローン申請運用を効率化できることを目指すべきと考える。（図表58）

図表58 3DMAP等を活用したドローン航行設定を目指すシミュレーション環境イメージ





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

令和4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