

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13）
報告書

令和4年3月
加賀市スマートシティ推進官民連携協議会

国土交通省 都市局

目次

第1章	はじめに	1
1.1	石川県加賀市の課題について	1
1.2	コンソーシアムについて	4
第2章	目指すスマートシティとロードマップ	7
2.1	目指す未来	7
2.2	ロードマップ	9
	戦略1「デジタルファースト」データ駆動型のまちづくり	9
	戦略2「クリエイティブ」創造的なまちづくり	10
	戦略3「スマートシチズン」市民との共創によるまちづくり	12
2.3	KPI	13
第3章	実証実験の位置付け	15
3.1	実証実験を行う技術・サービスのロードマップ内の位置づけ	15
3.2	ロードマップの達成に向けた課題	17
3.3	課題解決に向けた本実証実験の意義・位置づけ	17
第4章	実証実験	18
4.1	実験で実証したい仮説	18
4.2	実験内容とその方法	19
	実験内容①【ドローンによる被災地3D差分検知】	19
	実験内容②【ドローンによる災害状況把握】	19
	実験内容③【加賀市ドローン管制プラットフォーム活用と物資輸送】	20
4.3	仮説の検証に向けた調査方法	21
	実験内容①調査方法	21
	実験内容②調査方法	26
	実験内容③調査方法	27
4.4	実証に際して考えられる課題	31
4.5	実施場所	31
4.6	使用システム	36
4.7	実施までの流れ	41
第5章	実証実験結果	45
5.1	実験内容①【ドローンによる被災地3D差分検知】検証結果	45
	得られたデータの比較	51
	結果のまとめ	51
	見込まれる効果の考察	53
5.2	実証実験②【ドローンによる災害状況把握】検証結果	55
	得られたデータの比較	65
	見込まれる効果の考察	67
5.3	実験内容③【加賀市ドローン管制プラットフォーム活用と物資輸送】	69

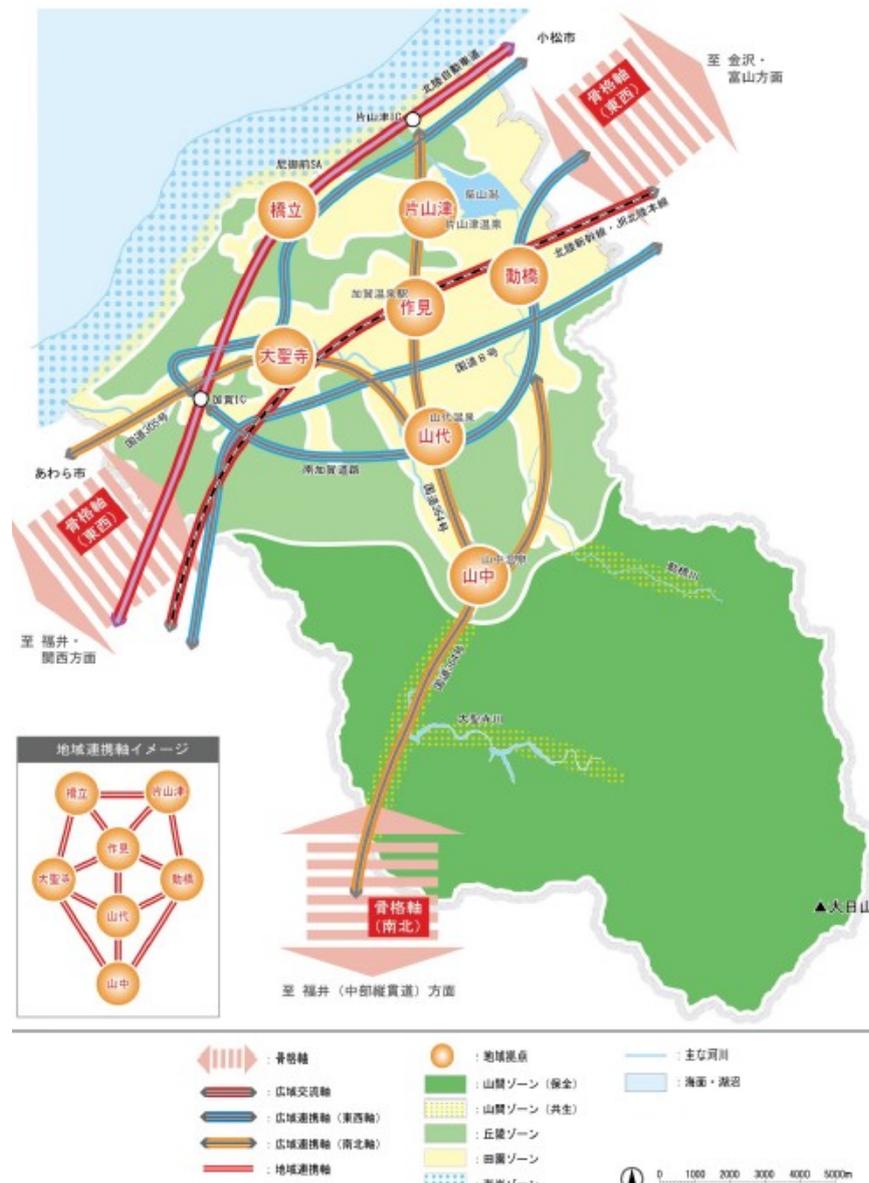
実証実験③に関する考察	71
5.4 <参考資料>各実証実験実験撮影画像等	71
5.5 実証実験全体の考察	80
第6章 横展開に向けた一般化した成果	81
第7章 まちづくりと連携して整備することが効果的な施設・設備の提案	82
7.1 スマートシティの取組と併せて整備することで効果的、効率的に整備できる施設・設備	82
7.2 施設・設備の設置、管理、運用にかかる留意点	82
7.3 地域特性に合わせた提案	82

1. はじめに

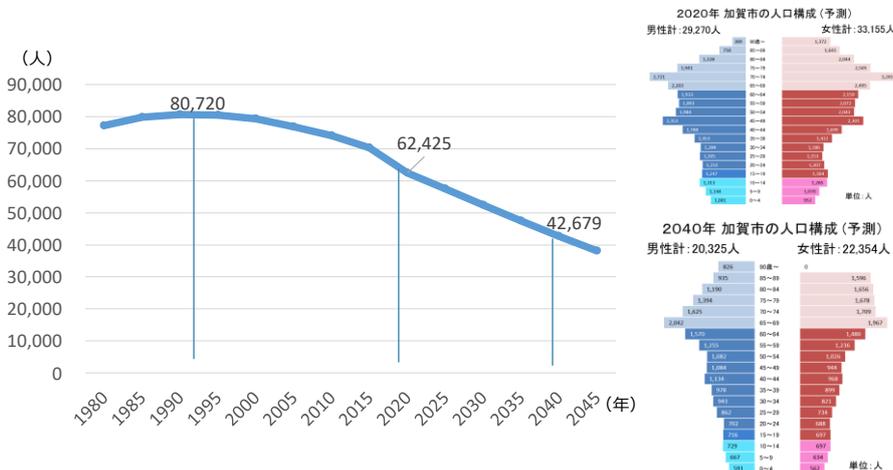
1.1 石川県加賀市の課題について

昭和33（1958）年1月1日に、江沼郡の大聖寺町、山代町、片山津町、動橋町、橋立町、三木村、三谷村、南郷村及び塩屋村が合併・市制施行して旧・加賀市が誕生した。その後、昭和35（1960）年7月1日山中町より河南町、別所町、荒木町が旧・加賀市に編入、平成17（2005）年10月1日に旧・加賀市と山中町が新設合併・市制施行して、現在の加賀市が発足した。

このような合併の歴史的背景により、本市は「多極分散型」の都市構造を有する自治体となり、時代と共に非効率な都市経営、マネジメントに陥るリスクが顕在化してきている。



そこで、第2次加賀市総合計画において、将来の都市構造の方針として、市街地を形成する地域拠点や集落などを地域公共交通のネットワークでつなぎ、医療や福祉、商業など都市機能の増進に向けた施設を有機的に配置することで、「多極ネットワーク型」の都市構造を目指すこととし、交通ネットワークに関する「骨格軸」と、土地利用の方針に関する「地域拠点」と「ゾーン」で構成している。



加賀市の人口及び人口構成の推移(予測)

本市において、このままでは、将来、大幅な人口減少が懸念され、地域の活力の低下や後継者不足、税収の減少などが見込まれることから、早急にその対策を講じることが必要である。そのため、安定した雇用の創出や、若い世代の結婚・出産・子育ての願いを叶えることを目的に、平成27(2015)年10月に「加賀市人口ビジョン」及び「加賀市まち・ひと・しごと総合戦略」を策定し、合併10周年となる平成27(2015)年9月28日に制定した「加賀市民憲章」の理念を具現化していく取組を進めている。しかしながら、本市を取り巻く環境は依然厳しく、特に人口問題、少子高齢化と多極分散型都市構造に端を発する様々な分野における課題が山積している状況には変わりはない。



加賀市を取り巻く現状

上図に、市民からの意見や要望も踏まえた、加賀市を取り巻く課題について記している。少子高齢化が急速に進展することにより、多極分散型の都市構造を有する本市では、コミュニティが分断、孤立し、自治体職員の高齢化、若手不足も相まって、将来的に人海戦術ではきめ細やかな市民サービス、行政サービスを提供することが困難となる。さらに、公共交通の運行数が少なく、観光客の自由に移動したいというニーズや地元の移動のニーズにも十分に答えられていない現状である。

生活環境においても、雪害対策や空き家、空き店舗の増加による治安に対する不安など、様々な課題が同時多発的に顕在化している。

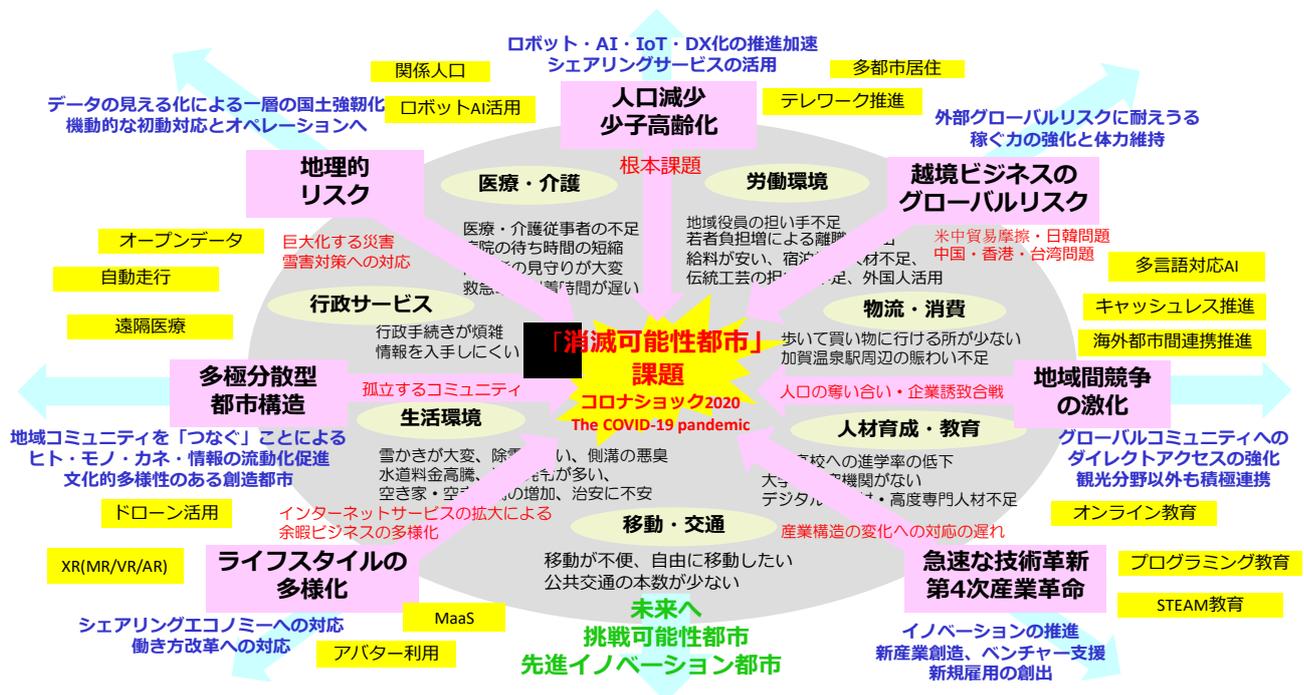
また、これらの課題に加え、令和2（2020）年3月11日、世界各地で猛威を振るう新型コロナウイルス感染症（COVID-19）について世界保健機関（WHO）のテドロス事務局長が、「パンデミック（世界的な大流行）とみなせる」と表明し、本市の観光産業は大打撃を受け、予断を許さない状況である。

一方で、人口減少により端を発した様々な地域課題に対し、AIやIoT、ドローンなどの先端技術を社会実装することで課題解決するとともに新規事業の創出を目指すことも可能となる。移動や交通の課題に対しても、自動走行や利用者が事前に予約することでその都度、それに合わせて運行する地域の公共交通である「オンデマンド交通」等の様々な移動サービスも情報通信技術の発達により可能となる。結果、それぞれの文化的多様性のある地域拠点間でヒト、モノ、カネ、情報の流動性が高まり、市全体として活気のあるまちづくりを行うことも可能となる。

大学などの高等教育機関がなくともオンライン教育や子どもたちにプログラミング教育を早期に実施することで、いち早くテクノロジーを知り、未来の加賀市や我が国を担う人材を育むことが可能となる。また、先端技術を活用した新たなサービスを創出することにより、若者の就労機会を拡大し、地元での雇用創出にも寄与することが期待される。

現在の本市がおかれている危機的状況をピンチではなくチャンスとして捉え、スマートシティを推進することにより、諸課題を解決し、市民生活の質の向上と稼ぐ力を強化し、持続可能な加賀市の未来を創造する。

令和6（2024）年の北陸新幹線敦賀延伸、令和7（2025）年の「大阪・関西万博」を千載一遇のチャンスと捉え、観光誘客の促進や地域の賑わい創出に向けて、官と民が垣根を越えて、緊密に連携し市民と協働してスマートシティ推進に挑戦していく。



加賀市を取り巻く課題を解決するための対応例

1.2 コンソーシアムについて

様々な地域課題が解決され、市民の暮らしが便利で安心であるとともに産業も活性化している持続可能な都市であるためには、先端技術が社会に備わった「スマートシティ」を目指していくことが必要となる。

本市は、令和元（2019）年8月26日に、スマートシティの実現に向けて、市民をはじめ、市内の産業団体や市民団体と共に「加賀市スマートシティ推進官民連携協議会（以下、「官民連携協議会」という。）」を設立し、スマートシティに関する情報交換や普及啓発、実証事業の推進など、官民一体となって推進していくこととした。

しかしながら、スマートシティは先端的なまちづくりであり、地元団体のみでは推進することが困難であるため、専門的知識を有する者をフェローとして招聘し、アドバイザーボードを組成し、本構想の推進の一翼を担ってもらうこととする。

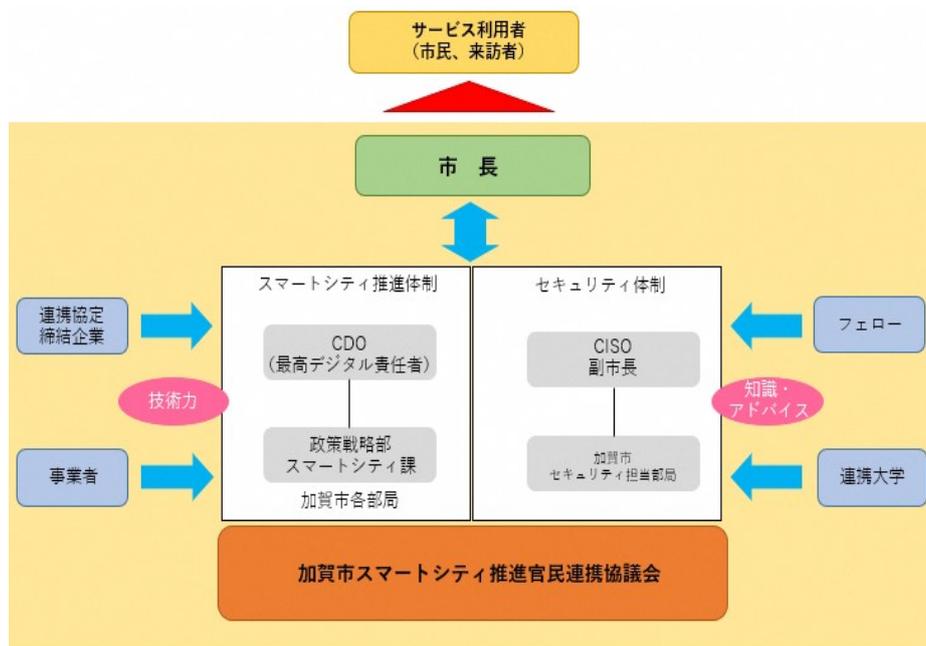
官民連携協議会の運営は、加賀市、市内の産業団体、市民団体から選定された幹事会が行い、必要と判断すれば専門的知識を有する者をアドバイザーとして置くこととする。

また、今後、本構想を実現するために、モビリティやデジタルガバメント、健康・医療・介護、観光など様々な分野で実証実験が実施され、社会実装の検討がなされる予定であり、それぞれの活動を取りまとめる分科会を官民連携協議会の

下部組織に組成する。また、分科会の活動は、随時、事務局を通じ官民連携協議会に報告され、計画の妥当性や市民との連携などについて議論を実施することとする。

さらに、スマートシティ推進においては、後述する「加賀市官民データ活用推進計画」に基づき、官民データの取り扱いなど、ルールの検討も行う必要があるため、別途、官民連携協議会の内部に、「官民データ活用検討委員会」を組成して、透明性を確保したまちづくりに努めることとします。

また、スマートシティの推進については連携協定締結企業や連携大学、専門性の高いフェローと共同で取り組んでいる。



スマートシティ推進体制

加賀市スマートシティ推進官民連携協議会	
<ul style="list-style-type: none"> ・加賀市 ・加賀市教育委員会 ・加賀市まちづくり推進協議会連合会 ・加賀市区長会連合会 ・加賀市各種団体女性連絡協議会 ・加賀市女性協議会 ・加賀市防犯協会 ・加賀市PTA連合会 ・加賀青年会議所 ・加賀商工会議所 ・加賀商工会議所青年部 ・山中商工会 ・山中商工会青年部 	<ul style="list-style-type: none"> ・加賀機電振興協会 ・加賀農業協同組合 ・加賀市農業生産組合長連合会 ・山中漆器連合協同組合 ・加賀九谷陶磁器協同組合 ・山代温泉観光協会 ・片山津温泉観光協会 ・山中温泉観光協会 ・加賀市医師会 ・加賀市社会福祉協議会 ・加賀市消防団 ・加賀建設業協会

連携大学
北陸先端科学技術大学院大学

連携協定締結企業・団体等	
<ul style="list-style-type: none"> ・株式会社スマートバリュー ・スマートインクルージョン推進機構 ・NPO 法人みんなのコード ・加賀市総合サービス株式会社 ・株式会社 D&I ・ANA ホールディングス株式会社 ・株式会社トラジェクトリー ・MONET Technologies 株式会社 ・合同会社 DMM.com ・株式会社日本総合研究所 ・株式会社NTTドコモ北陸支社 ・xID 株式会社 ・京都大学大学院医学研究科 ・株式会社 MaaS Tech Japan 	<ul style="list-style-type: none"> ・静岡大学 ・一般社団法人みんなの認知症情報学会 ・株式会社 LayerX ・株式会社 Spectee ・株式会社バカン ・株式会社ネオキャリア ・株式会社 DK-Power ・株式会社 REXEV ・btrax,inc ・兼松株式会社 ・大同工業株式会社 ・健康・医療・教育情報評価推進機構 ・リアルワールドデータ株式会社

フェロー	
<ul style="list-style-type: none"> ・東 博暢（株式会社日本総合研究） ・平山 雄太（世界経済フォーラム） ・安川 新一朗（グレートジャーニー合同会社） ・日高 洋祐（MaaS Tech Japan） ・上野 崇（株式会社 DK-power） ・須々木 将彦（カルチュア・コンビニエンス 	<ul style="list-style-type: none"> ・日下 光（xID 株式会社） ・早川 慶朗（株式会社 Andeco） ・落合 孝文（渥美坂井法律事務所 ・谷川 じゅんじ（JTQ.inc） <p style="text-align: right;">・外国共同事業）</p> <p style="text-align: center;">・クラブ）</p>

2. 目指すスマートシティとロードマップ

2.1 目指す未来

(1) 基本理念

本計画は、スマートシティ加賀構想に定めたとおり、行政目線、産業界目線ではなく、市民目線に立った施策の遂行を徹底し、「人間中心に全体最適化された官民連携によるまちづくり」を進め、「人間中心の未来社会の実現」を目指すことを基本理念として定める。これは、「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」である Society5.0 の実現につながるものでもある。

(2) 計画の基本姿勢

スマートシティ加賀は、「人間中心の未来社会」の実現を目指すものであることから、関連施策の企画・実施に当たっては、各施策を通じて実現するとする目標像が絵空事のように感じられることのないようにすること、及び市民の生活が良くなっていることが少しずつでも市民目線で逐次実感できるようにすることが重要である。そのため、以下の 2 点を計画の策定・推進の基本姿勢として定める。

(ア) 肌身に感じられる課題解決

現実味があり、期待感が持てる施策となるよう努める。

(イ) 未来志向

将来的に加賀に暮らす人、集う人にとってより良い生活・幸福につながる施策となるよう努める。

(3) 計画の方向性

本計画は、以上に掲げた基本理念/姿勢を踏まえ、計画を策定・推進するにあたっての方向性として、以下 3 点を定める。

(ア) 市民の生活の質の向上

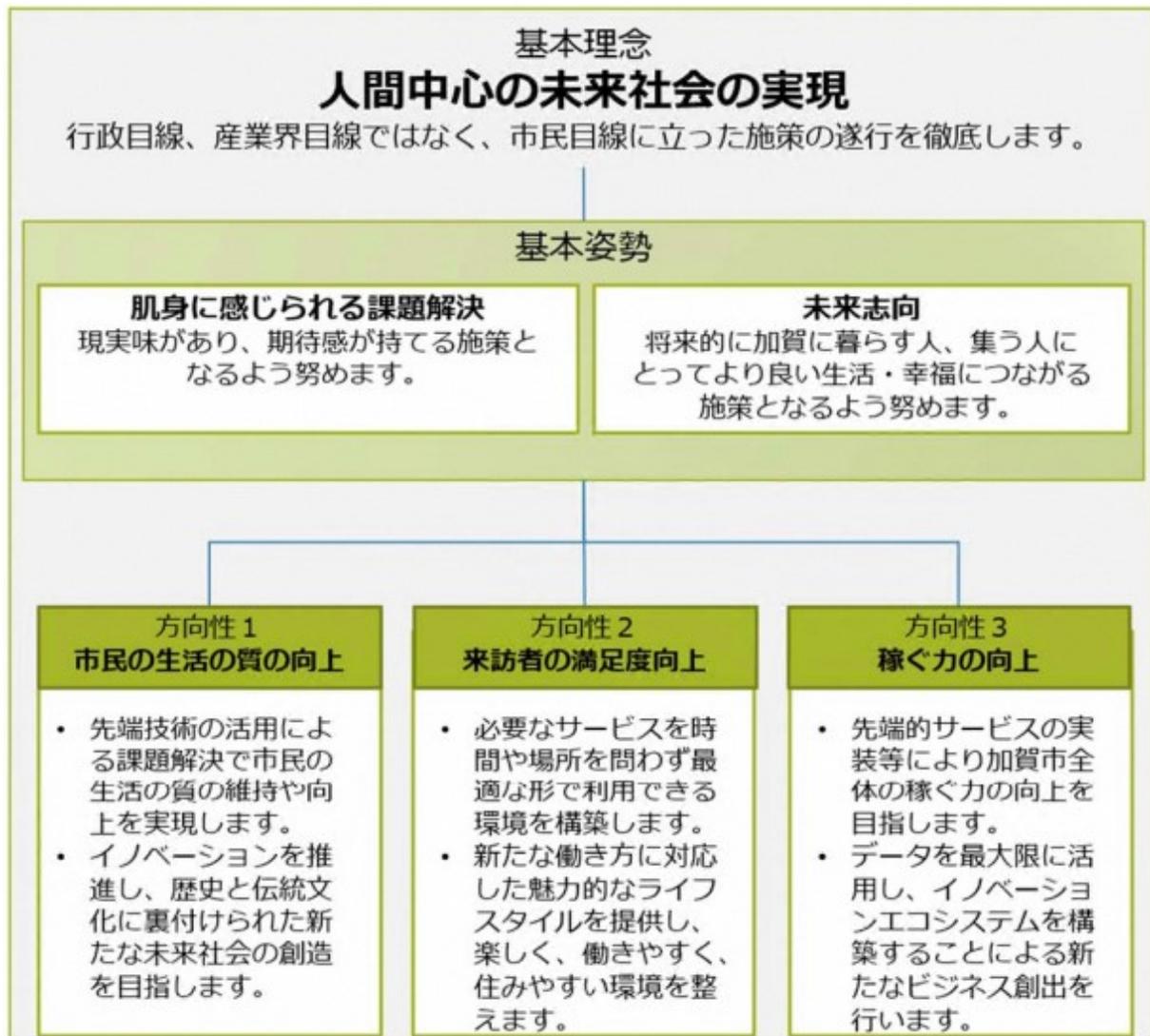
- ・先端技術の活用による課題解決で市民の生活の質の維持や向上を実現する。
- ・イノベーションを推進し、歴史と伝統文化に裏付けられた新たな未来社会の創造を目指す。

(イ) 来訪者の満足度向上

- ・必要なサービスを時間や場所を問わず最適な形で利用できる環境を構築する。
- ・新たな働き方に対応した魅力的なライフスタイルを提供し、楽しく、働きやすく、住みやすい環境を整える。

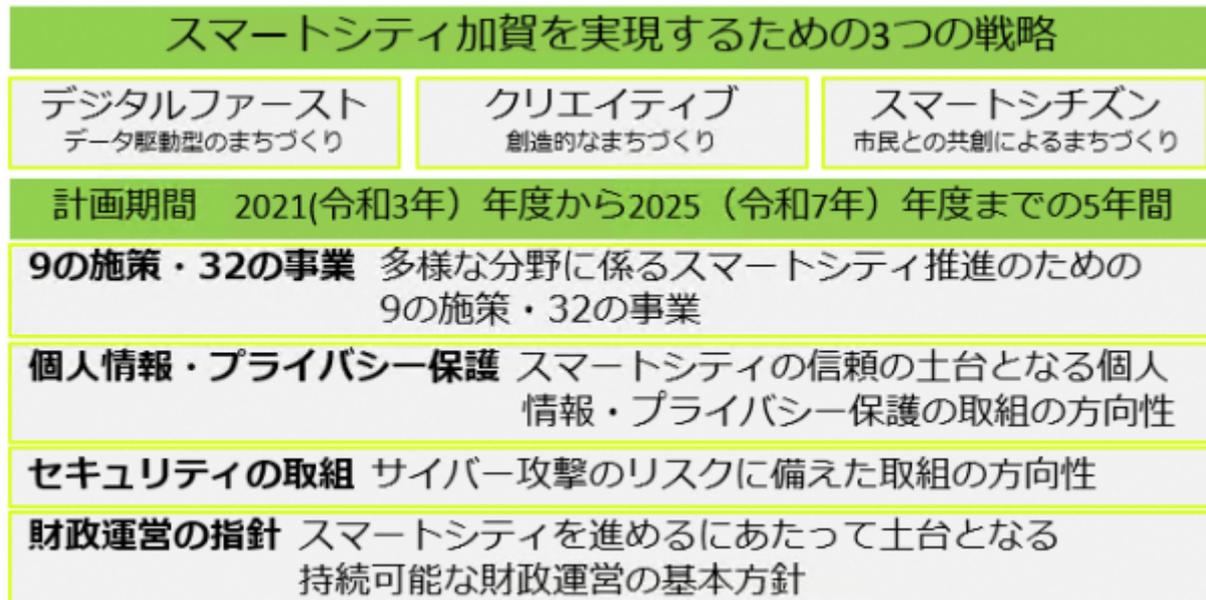
(ウ) 稼ぐ力の向上

- ・ 先端的服务の実装等により、加賀市全体の稼ぐ力の向上を目指す。
- ・ データを最大限に活用し、イノベーションエコシステムを構築することによる新たなビジネス創出を行う。



スマートシティ加賀推進計画の基本理念/姿勢/方向性

スマートシティの推進に当たっては令和7年（2025）年を展望した戦略と、計画期間の5年間の様々な施策や事業、個人情報・プライバシー保護の取組、財政運営の指針で構成します。



スマートシティ加賀推進計画の構成

2.2 ロードマップ

前述の3つの戦略について、それぞれのロードマップを以下のとおり示す。

■戦略1「デジタルファースト」データ駆動型のまちづくり

(1) 方向性

データを最大限に活かし、地域課題を解決するとともに、産業の活性化や都市機能の高度化を目指すスマートシティを推進します。また、都市の全体最適化及び質の高い市民サービスの提供や効率的な自治体運営の実現に向けて取り組めます。

(2) 戦略の柱となる施策/その目標

(ア) データを最大限に活かした地域課題の解決

- ・データ連携基盤整備によるデータ流通の促進
- ・オープンデータ、ベース・レジストリ整備による地域課題解決活動の活性化
- ・データモデルの整備による円滑なデータ連携の実現
- ・データを活用した EBPM 実現

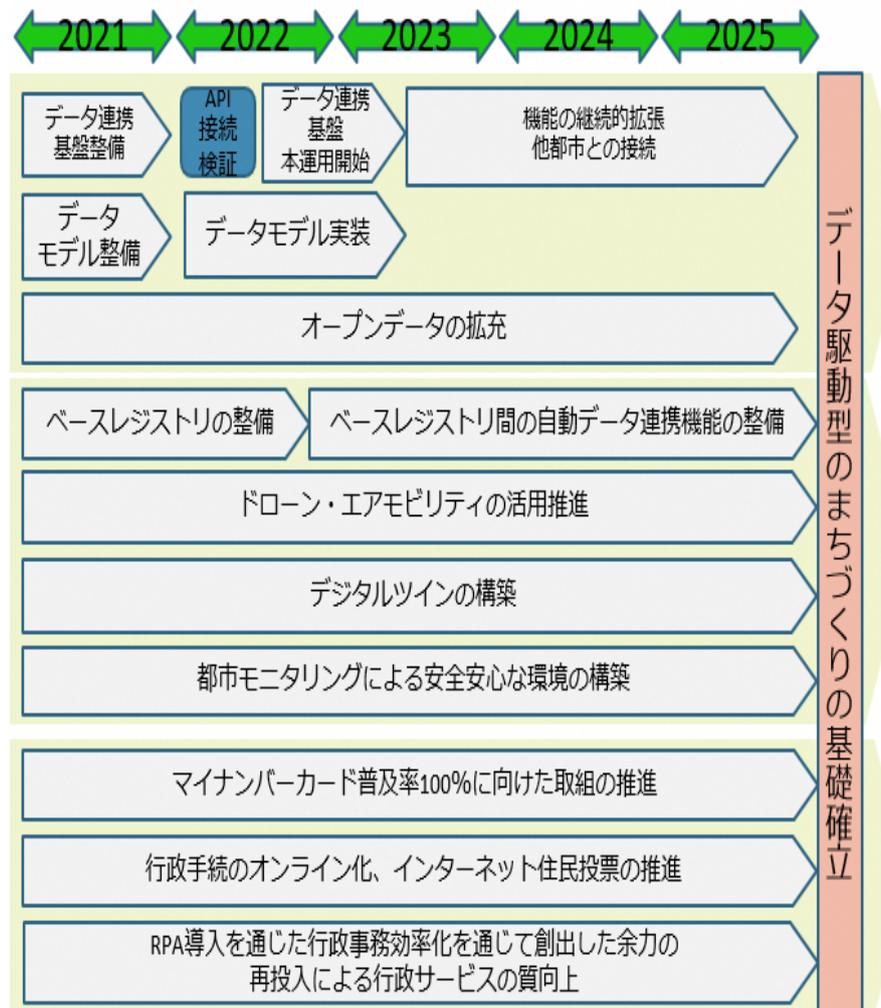
(イ) 都市機能の高度化

- ・将来人口・人流シミュレーションによる適切な商業地・住宅地開発
- ・都市インフラ情報一元化による管理の効率化と劣化予測に基づく最適化された維持管理計画の作成

- ・防災シミュレーションによる予防策の策定や避難計画の構築
- (ウ) 質の高い市民サービスの提供・効率的な自治体運営
 - ・マイナンバーカード、デジタル ID の活用を通じた電子申請の拡充及び住民の生活の質の向上、RPA 等導入による行政事務の効率化及び当該取組を通じて創出した余力の再投入による行政サービスの質向上

(3) 行程表

取組内容について、戦略の方向性を踏まえた工程を次のとおりとする。



戦略1のロードマップ

■戦略2「クリエイティブ」創造的なまちづくり

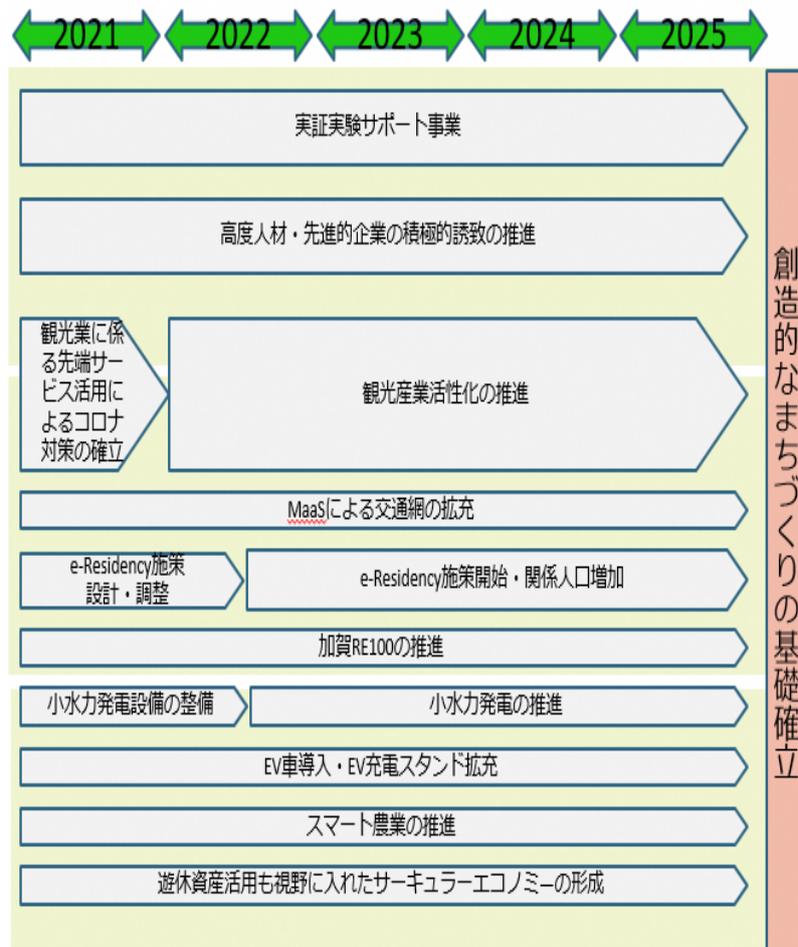
(1) 方向性

先端技術の社会実装実験等により、当該技術を有する市外の先進企業や高度人材を呼び込むとともに、伝統文化等、様々な分野で活躍する人材との交流・共創によりイノベーションを促進し、魅力ある企業の集積と新たな人の流れを創出する魅力的なまちづくりを行います。

(2) 戦略の柱となる施策/その目標

- (ア) 先端的サービスの社会実装実験を通じた先進企業や高度人材の呼び込み
- ・実証実験サポート事業等を通じたスタートアップエコシステムの形成
 - ・先端技術の社会実装フィールドの提供を通じた高度人材・先進的企業の積極的誘致
- (イ) 先端技術×伝統文化×地域資源の活用による魅力・賑わいの創出
- ・新型コロナウイルス感染症対策と両立した観光産業の活性化
 - ・MaaS を活用した市内交通の最適化・回遊性の向上
 - ・e-Residency（仮想市民）登録による関係人口の創出・地域活性化
 - ・観光資源×伝統工芸デジタルブランディング
- (ウ) 経済活動を支える低炭素・循環型の都市づくり
- ・加賀 RE100 の推進
 - ・EV 車及び充電スタンドの導入と利活用促進
 - ・遊休旅館バス等、市内の遊休資産を活用したサーキュラーエコノミーの形成
 - ・スマート農業の推進
- (3) 工程表

取組内容について、戦略の方向性を踏まえた工程を次のとおりとする。



戦略2のロードマップ

■戦略3 「スマートシチズン」市民との共創によるまちづくり

(1) 方向性

市民に先端技術に触れる場及び当該技術を活用した新たなサービスを最適な形で提供するとともに、ICT 専門人材育成を行い、将来的に当該人材を活用することにより、市民と共に学びながらよりよい加賀市へと進化し続ける共創のまちづくりを実現します。

(2) 戦略の柱となる施策/その目標

(ア) 市民と共に学び、共創し、よりよく進化し続けるまちづくり

- ・ GIGA スクール構想の実現・STEAM 教育の強化を通じた次世代育成
- ・ 市民のこれまで以上の行政参画を実現する施策の検討
- ・ データを活用した EBPM の推進

(イ) 健康で自立した生き方の実現

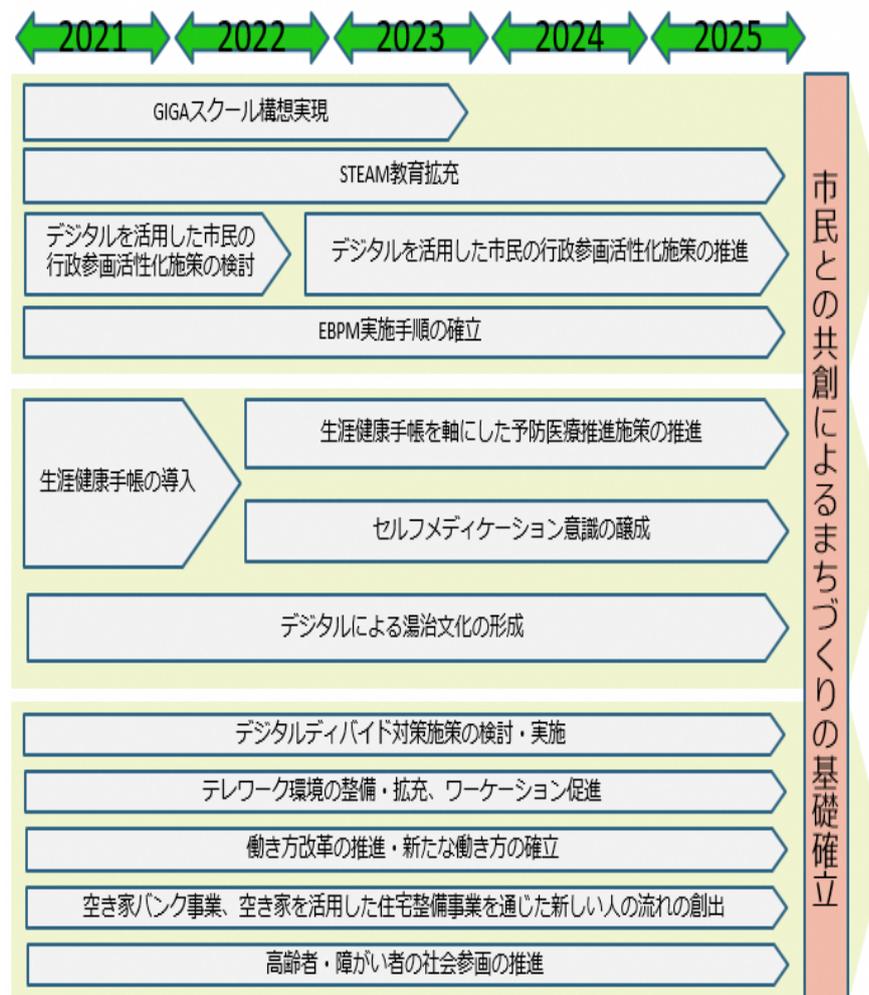
- ・ 医療・福祉・健康分野のデータ活用によるフレイル予防の推進
- ・ 生涯健康手帳を通じた医師と患者との密なコミュニケーションの実現
- ・ 自らの意思と行動で 100 歳まで生きられる基盤の整備
- ・ MaaS や温泉資源を活用したデジタルによる湯治文化の再興

(ウ) 誰もが自分らしく生きられるまちづくり

- ・ デジタルの力を活用した互いに支え合う持続可能な地域コミュニティの形成
- ・ 多様な働き方が可能な社会の実現
- ・ テレワーク環境の整備及び働き方改革の推進
- ・ 先端技術のサポートを受けることで誰もが生まれ育った家で安心して一生を暮らすことができる社会の実現
- ・ 移住体験ツアーの開催、空き家バンクの活用、ワーケーションの促進などを通じた加賀市への移住・定住サポートの充実

(3) 工程表

取組内容について、戦略の方向性を踏まえた行程を次のとおりとする。



戦略3のロードマップ

2.3 KPI

KPI については、「住民生活の質の向上」「来訪者の満足度向上」「稼ぐ力の向上」のスマートシティ推進に係る3つの方向性に沿ってそれぞれ設定している。以下に各方向性のKPIの内容について記載する。

(1) 住民生活の質の向上について

極端な人口減少は、地域の担い手が失われ、経済規模を縮小させることにほかならない。人口減少を穏やかなものにしつつ地域の活力を維持していくためには、社会増減の均衡を図る必要があることから、「市内に人材をとどめる。」ことを念頭に置きつつ、進学を機に地元を離れる若者が本市に戻ってくる流れをつくり出すことで、本市への「新しいひとの流れ」を生み出す。

これに向けては、本市が有する自然・歴史・伝統文化などの魅力的な資産を、更に磨きをかけて大切に育むとともに、各基本目標に掲げる産業創出による就

労先の確保や、子育て環境や教育環境の充実、快適で安心して暮らせる地域の創出など、様々な施策を総合的に進めることで、「住んでいたい 来てみたい」と思えるような魅力的な地域を創造する。

さらに、本市の様々な情報を効果的に発信することで、「定住人口」をはじめ、本市を訪れる「交流人口」、地域や地域の人々と多様な形態で関わる「関係人口」を創出するとともに、域外からの資金を市内に還流することで、「新しい人・資金の流れ」を強化する。

KPI	基準値	目標値 (R6年度)
転入出者数	転出超過 230 人 (H30 年)	転出超過 100 人

(2) 来訪者の満足度向上について

製造業とともに本市の主要産業として雇用の吸収源となっている観光産業を重点的に振興し、雇用の更なる拡充を目指す。

観光客の滞在時間が短いことへの対策として、観光資源の有効活用、市内での回遊性向上等による滞在時間の延長に向けた諸施策を強化し、観光消費の拡充を図ることで、新たな雇用創出につなげる。また、今後も継続して拡大が見込まれる海外需要（インバウンド市場）に対して、誘客促進を図っていく。

KPI	基準値	目標値 (R6年度)
宿泊観光客数	176.7 万人 (H30 年)	200 万人 (R6 年)

(3) 稼ぐ力の向上について

人口ビジョンにおいても、一定の人口減少・高齢化は避けられないとしているが、先端技術の活用や SDGs の推進により、持続可能な地域を目指す。

人口減少・高齢化とともに他の圏域より進む山中圏域など、安心して暮らすことができる基盤整備に取り組む必要がある。特に、市民意識調査結果からみてもあらゆる年代で不満の多い交通環境の整備や、人口減少に対応した公共施設の配置を推進していく。

市、産業団体（企業）、市民団体（市民）が連携し、本市が有する様々な地域課題の解決に向けて、AI や IoT、ロボットやドローン等の先端技術や官民データ等を活用して取り組むことで生活の質（Quality of life）の向上を目指す。

KPI	基準値	目標値 (R6年度)
スマートシティを構成する新技術の社会実装数	0 件 (H30 年)	5 件 (R6 年)

3. 実証実験の位置づけ

3.1 実証実験を行う技術・サービスのロードマップ内の位置づけ

前述の“戦略1「デジタルファースト」データ駆動型のまちづくり”のロードマップ内にある「ドローン・エアモビリティの活用推進」に位置づけられる。

ドローン等のエアモビリティの飛行に必要となる高精度の3Dマップを作成し、人流・交通・気象データなどを連携させ、様々なシミュレーションに活用できる都市デジタルツイン（バーチャル加賀市）を構築することにより、効率的・効果的な市全体の土地利用や防災対策の推進、都市基盤施設の整備・保守に取り組む。

また、都市デジタルツインに、人流・交通流シミュレーションと市内公共施設混雑状況可視化データを連携させることにより、市内ネットワークの最適化と、新型コロナウイルス感染症対策と両立させた人の往来の活性化を目指す。

ドローンが安全に飛行するための環境も整備し、ドローンによる医薬品等の自動輸送、農作業の自動化、害獣監視、災害時の迅速な状況調査などの実現に向けて取り組むものである。

※3Dマップとは

3Dマップ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。身近な物の例を挙げるとGoogle社の「Google Earth」などがあげられる。建物や山などが立体的に表現され、ソフトウェア内で視点を自由に動かすことができ、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、3Dマップが必要と言われている。本市では2019年より整備進めており、その精度は実物との誤差が10cm以内という高精度なものとなっている。



3D マップイメージ①



3D マップイメージ②

3.2 ロードマップの達成に向けた課題

- (1) 都市基盤施設については高度成長期に整備されたものが多く存在しており、こうした施設の維持管理費が市の税収に対する大きな負担となることが懸念されているため、効率的・効果的な都市基盤の整備・保守を可能にする必要がある。
- (2) 市内には大聖寺川、動橋川の洪水による浸水想定区域に指定されている地区のほか、山間部では土砂災害特別警戒区域に指定されている地区も多いことから、今後もさらに防災・減災対策を進める必要がある。
- (3) 新型コロナウイルス感染症に配意しつつ、快適な市民生活や企業活動の活性化につなげるため、混雑緩和及び交通流の最適化による利便性・速達性の向上を図る必要がある。

3.3 課題解決に向けた本実証実験の意義・位置づけ

加賀市の目指すスマートシティにおいて、災害、医療、物流、農業などの分野でドローンを活用した課題解決や新たな産業創出が期待されている。新たな産業創出や、ドローン・空飛ぶクルマの関連産業が集積されることにより地域の活性化を図り、市民や来訪者に安心安全、また利便性を提供し、豊かに暮らし、また滞在できる満足度の高い都市を目指している。

本実証では、整備中の空のインフラ（3Dマップ、AI管制プラットフォーム）を活用し、災害時におけるドローン利活用の有効性を示すことで、加賀市が整備する上記インフラの正確さや活用方法を対外的に発信し、関連産業の集積を目指す。また、得られた知見をもとに、今後の災害時における新たな対応方法や、災害への備えを検討することで、市民の安心安全の確保に繋げる。

4. 実験計画

4.1 実験で実証したい仮説（3. 課題解決の方法を詳細に記載）

土砂災害が発生した際に、ドローンを活用することで、現地確認等の初動対応までの時間短縮、正確な土量の確認、報告業務の効率化が可能か検証を行う。

そしてこれらによって作業工程や人員が削減されることで、行政側、市民側の両面で以下の効果が見込まれる。

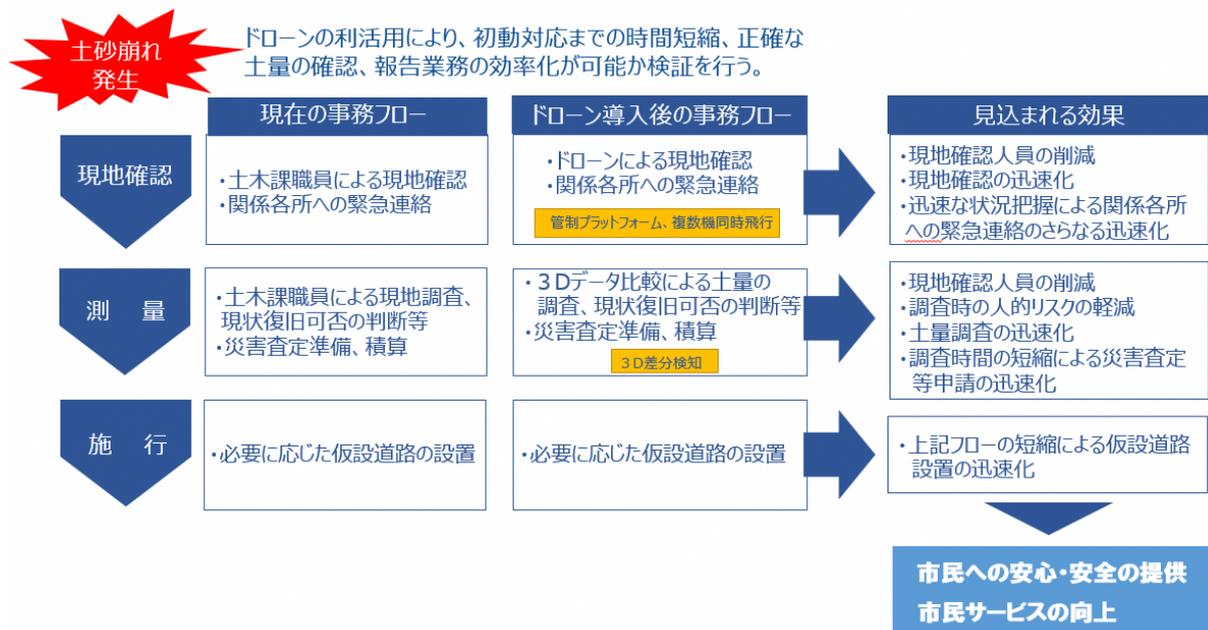
<行政側>

業務効率向上、早期の情報発信、早期の復旧作業 ⇒ 行政サービスの向上

<市民側>

支援物資の早期到達、緊急車両の往来復旧、医療体制の早期提供

⇒市民の安心・安全を確保



4.2 実験内容、方法

実験内容①【ドローンによる被災地3D差分検知】

加賀市は山間部の面積が大きく、積雪量も多いため雪解け時や降雨時等に土砂災害による被害発生する可能性が高く、下記のような課題がある。

- ・流出土量の計測時に徒歩で入りづらい場所がある。
- ・道中の樹木や落ち葉の除去で重機が必要となり人手がかかる。
- ・現状は市の職員が測量用ポールなどで計測しているが複数人で確認を行うため人手がかかる。
- ・工事発注後に土量に誤差があることが分かり、工事金額が変わって変更契約の手続き等で人手がかかることがある。

本実証では下記の課題解決にドローンが貢献できるか加賀市で整備済みの3D 地図と、災害発生時における土砂災害現場を想定し新たに撮影した3D データを比較し、自治体職員の工数の削減及び土量が正確に把握できるか検証を行う。ドローンや空飛ぶクルマの離発着を目的に整備した3D マップと、災害発生時における土砂災害現場の3D データを新たに撮影し、比較を行うことで流出した土量が正確に把握できるか検証を行う。

自治体職員の現状の土量把握に伴う工数と、ドローンを用いた場合の予想工数は下記のとおり。

	現状	ドローンを用いた場合	効果
現地測量作業人員	5～6名	2名	最大4名程度の人員削減
現地測量作業時間	4～5時間	1～2時間	最大3時間程度の時間削減
現地測量の安全性	急斜面や、倒木、積雪がある場所に入る	安全な場所から撮影できる	作業の安全性を確保
土量の計算時間	1～2日	1～2時間	作業時間の短縮、精度の確保

実験内容②【ドローンによる災害状況把握】

加賀市では、例年山間部の積雪による雪害が発生することがありその状況把握が課題となっている。車両で積雪量の多い地区に入り、状況を把握するために、下記のような課題が発生している。

- ・毎年土木課職員の手が多くかかっており、通常業務が逼迫している。
- ・土木課職員が、各地区に赴いて確認を行うため確認に時間がかかる。
- ・積雪量の多い地区は除雪前に人が入れない事もあり、情報入手が遅れる。
- ・ドローンでの状況把握も検討されたが、職員の技能では状況把握に必要な映像が入手できない。
- ・ドローンでの状況把握に関する自治体業務フローが確立されていない。

3D 地図を元に事前に飛行ルートを作成し、ドローンを自動的に航行させることで、立ち入りが難しい地区について除雪前に迅速な状況把握が期待される。

雪害が多い地区はある程度特定が可能であるためあらかじめ飛行ルートを作成しておくことで、土木課の職員以外でも現地で撮影を行い、映像を確認することで判断ができる。

本実証では、自動航行の技術を用いることで、プロパイロットではない加賀市の職員でも複数のドローンを安全に飛行させることが可能か、またドローンでの状況把握に関する自治体業務フローの確立を本実証では検証する。

想される効果は下記のとおり。

	現状	ドローンを用いた場合	効果
被害状況確認人員	土木課職員が 2～3 名で各地域を回っている	支所などに勤務する職員が 1～2 名で確認できる	人員削減と共に、属人化している業務の作業平準化が可能
現地確認の範囲	人の立ち入りが出来ない場所がある	人の立ち入りが出来ない場所も上空から確認可能	山間部に住宅を保有する市民の安全の質向上

実験内容③【加賀市ドローン管制プラットフォーム活用と物資輸送】

加賀市の山間地域においては、幹線道路が限定されている地域があり、土砂災害や積雪により集落の孤立が発生してしまう危険性が危惧されている。

本実証では、孤立集落に生活用品を届けるにあたり、加賀市で本年度整備が完了するドローン管制プラットフォームを用いることで、市役所、民間ドローンオペレーター、ドローン管制チームが連携した安全なドローンオペレーションが実施可能か確認する。またこれにより迅速な物資輸送が行えるか確認する。

加賀市で本年度整備が完了するドローン管制プラットフォームを用いることで、市役所、民間ドローンオペレーター、ドローン管制チームが連携した安全なドローンオペレーションが実施可能か確認する。またこれにより迅速な物資輸送が行えるか確認する。

4.3 仮説の検証に向けた調査方法

・実験内容①調査方法

ドローンや空飛ぶクルマの離発着を目的に整備した3Dマップと、災害発生時における土砂災害現場の3Dデータを新たに撮影し、比較を行うことで流出した土量が正確に把握できるか検証を行う。

■検証方法

発災前後を想定した2種類の3Dモデルを、3D差分自動検出ソフトで比較し、期待された差分が検出されるか、またどの程度の精度で容積の算出がされるかを検証する。また想定される最少人数でドローン飛行を行う。

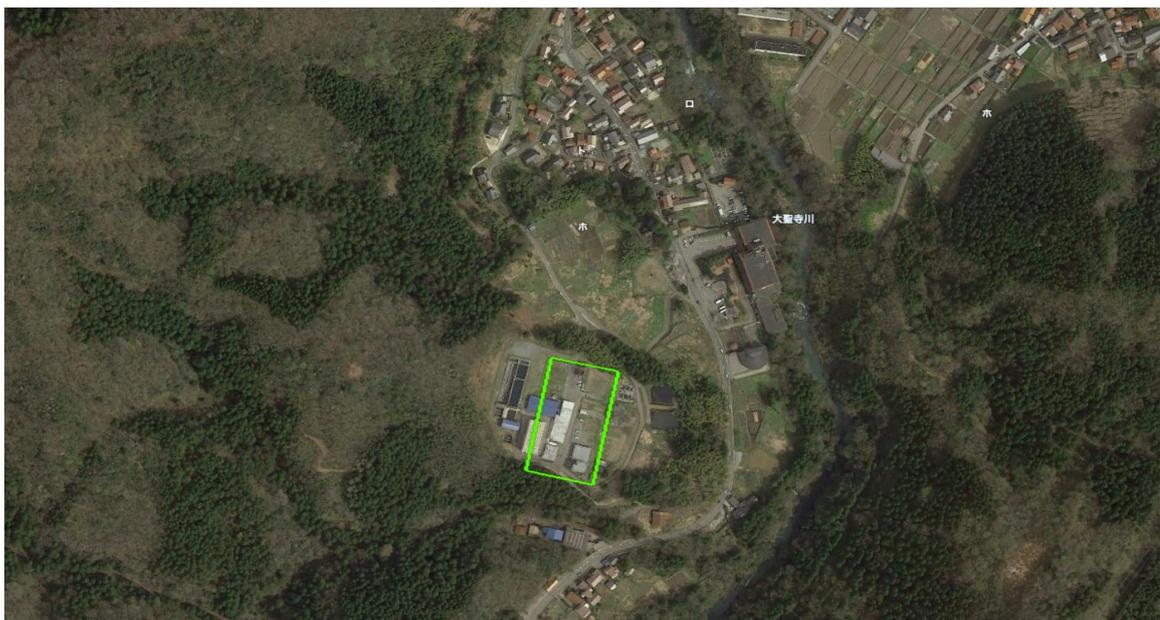
■以下項目でどのような飛行方法が最適か検証を行う。

- ・飛行高度（50m、70m、90m）
- ・測量方法（写真測量、レーザー測量）

■撮影場所

3D差分検知を行うにあたり、撮影場所として「加賀市山中浄水場」を選定した。選定理由は以下のとおり。また飛行ルートについては「4.5 実施場所」の項目を参照。

- ・人工物である浄水場の建物や、災害時に状況把握を行いたい道路があり、実際に土砂災害が発生した際のモデルケースとして検討しやすい。
- ・道路が浄水場の敷地内である為、車の配置を行う場合に他の交通の妨げになる可能性が、公道で行った場合に比べ少なくなる。
- ・ドローンの撮影範囲を浄水場の敷地内に限定することにより、万が一ドローンの落下等による人や家屋への被害を、公道での実施に比べ最小限に抑えることができる。



3D差分検知撮影範囲全体図



3D 差分検知撮影範囲詳細図

■撮影機体

(1)RTK について

本実証における 3D 差分検知では、より正確に対象物の体積を測るため、RTK「リアルタイムキネマティック (Real Time Kinematic)」を搭載したドローンを用いる。

RTK は「相対測位」と呼ばれる測定方法の 1 つであり、固定局と移動局の 2 つの受信機で 4 つ以上の衛星から信号を受信する技術で、2 つの受信機の間で情報をやり取りしてズレを補正することで、単独測位よりも精度の高い位置情報を得ることができる。RTK では誤差をわずか数センチメートル以内に抑えられる事が最大の特徴である。

RTK は一般的な技術であり既存のドローンに後から搭載することも可能であるが本実証では横展開の汎用性も考慮し RTK が搭載された状態で一般に販売され、多く流通している機体を候補として選定する。

(2)使用機体の選定

【候補 1】 DJI 社 Matrice 300 RTK

- ・機体寸法：810×670×430mm
- ・機体重量：6.3kg



Matrice 300 RTK 機体画像

- ・ 搭載可能カメラ①Zenmuse P1
- ・ 解像度：動画 16:9 (1920×1080)、静止画 3:2 (8192×5460)
- ・ 視野角：84°、63°、46.8° (搭載するレンズにより異なる)
- ・ フレームレート：60fps



Zenmuse P1 本体画像

- ・ 搭載可能カメラ②情報 Zenmuse L1
- ・ 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
- ・ 視野角：70.4°
- ・ 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



Zenmuse L1 本体画像

【候補2】 Phantom4 Pro カメラ性能について
標準搭載使用カメラ

- ・ 解像度：動画・静止画 3:2 (5472×3648)、4:3 (4864×3648)、16:9 (5472×3078)
- ・ 視野角：84°
- ・ フレームレート：30fps



Phantom4 Pro 本体画像

(3)使用機体の決定

今回の 3D 差分検知に使用可能な機体として DJI 社製の「Matrice 300 RTK」と「Phantom4 Pro」が挙げられる。両機体とも 3D データを作成するために必要な写真撮影フライトを行うことができるが、Matrice 300 RTKの方がカメラとしての性能が良く、また L1 のカメラを搭載することができ、レーザー測量を行うことが可能であるため、今回の実証では Matrice 300 RTK を使用することとする。

■ 3D 撮影諸元

(1)撮影時の人員数

2名

(2)撮影の種類

写真測量 1

敷地内に車を止めている状態で 50m、70m、90m の高度からの画像撮影をし 3D モデルを作成

写真測量 2

敷地内に車を止めていない状態で 50m、70m、90m の高度からの写真撮影をし 3D モデルを作成

レーザー測量 1

敷地内に車を止めていない状態で 50m、70m、90m の高度からのレーザー撮影をし 3D モデルを作成

■今回検知対象として設置した車の詳細



$$\text{全長} : 4.59\text{m} \times \text{全幅} : 1.79\text{m} \times \text{全高} : 1.69\text{m} = 13.98 \text{ m}^3$$

上記の体積の高さについてはタイヤと地面の接地面からの全高となっており、またボンネット部分が伸びているため図の赤色部分を減算して考える必要がある。そのため体積以下のとおりに算出するものとする。この上図の車両後方に取り付けられたスペアタイヤは全長には含まれない。赤色部分の体積を計測した結果は 1.02 m^3 。よって体積計算は

$13.98 \text{ m}^3 - 1.02 \text{ m}^3 = 12.96 \text{ m}^3$
--

この数値 (12.96 m^3) を今回の検証における基本データとし、このデータにどの程度近いデータを得ることができたかで、今回の差分検知の結果評価を行うこととする。

■今回の実証で検証を行わない項目について

今回の 3D 差分検知での検証項目は高度違い (50m,70m,90m)、撮影方法の違い (写真・レーザー) での検証を行う。その他で検証可能な項目として、飛行速度・カメラ角度・重複率などが挙げられるが、このような項目については過去の他社様の実績や機体の性能により最適である飛行方法が確立されている部分であるため、今回は以下の数値で固定して撮影を行なうものとする。

- ・飛行速度 : 5m/s
- ・カメラ角度 : 90°
- ・重複率 : 80%×80%

・実験内容②調査方法

土砂崩れ等が発生した際にドローンでの状況把握を行う上で Trajectory 社製の AI 管制プラットフォームでの飛行ルート作成を行うことにより、安全かつ効率的に被害状況の確認ができること、また同プラットフォーム上でドローンの情報を管制チームで確認することにより、複数箇所で飛行を行っている場合でもドローン同士が衝突することなく安全に飛行できることを検証する。

飛行高度、カメラ角度、カメラ倍率、飛行速度での検証を行い、被害状況の把握に最適な飛行ルートを選定する。また想定される最少人数でドローン飛行を行う。撮影場所、離着陸地点は「①山中温泉ゆけむり健康村ゆーゆー館」と、「②山中浄水場」の2か所とする。(離着陸地点の詳細は「4.5 実施場所」を参照)

■以下項目でどのような飛行方法が最適か検証を行う。

- ・飛行高度：30,50,100 (m)
- ・カメラ角度：45,90 (°)
- ・カメラ倍率：1,2,3 (倍)
- ・飛行速度：3,5 (m/s)

■飛行パターン一覧

飛行ケース	飛行高度	カメラ角度	カメラ倍率	飛行速度
No. 1	30	90	1	3
No. 2	30	45	1	3
No. 3	30	45	1	5
No. 4	50	90	1	3
No. 5	50	45	1	3
No. 6	50	45	1	5
No. 7	100	90	1	3
No. 8	100	45	1	3
No. 9	100	45	1	5
No. 10	100	90	2	5
No. 11	100	90	2	3
No. 12	100	45	2	3
No. 13	100	45	2	5
No. 14	50	90	2	3
No. 15	50	90	2	5
No. 16	50	45	2	5
No. 17	50	45	2	3
No. 18	100	90	3	3
No. 19	100	90	3	5
No. 20	100	45	3	5
No. 21	100	45	3	3

■飛行ルートの作成手順

実験内容②の飛行ルート作成に当たっての確認事項は以下のとおり。

- (1) 3Dマップを確認し、障害物に衝突しないルートを設定する。
- (2) 建物の上空や人、車の上に落下する可能性のあるルートを避けて設定する。
- (3) ドローン本体への負荷を軽減するために、垂直の上昇下降や起伏の激しいようなルートを避けて設定する。
- (4) 周辺で飛行しているドローンの状況を加味し、ドローン同士が衝突しないルートを設定する。

■撮影機体

本実証では加賀市で保有している以下の機体を用いて飛行を行う。

・ Parrot 社 Anafi

機体寸法：175×240×65mm

機体重量：320g



Anafi 機体画像

・ 実験内容③調査方法

今回の実証で使用する AI 管制プラットフォームの TRJX を用いて、安全な飛行ルートを自動生成し、生成した飛行ルートでのドローンの飛行状況（ルート準拠の飛行・機体の位置・バッテリー残量）を UI 上で確認を行い、迅速に飛行ができるのかを検証する。実施場所は「山中温泉ゆけむり健康村ゆーゆー館」から「山中浄水場」までの区域で行う。

■撮影機体

本実証では物資輸送が可能な以下の機器を使用する。本機は LTE 通信により制御が可能であり、LTE 通信が可能な範囲であれば長距離の飛行が可能な機体である。なお、LTE 通信による制御は、緊急時にのみ行うものとし、基本的には管制プラットフォームを用いた自動飛行を行うものである。

・ Trajectory 社 Green Hill

機体寸法：750×750×450mm

機体重量：6.0kg



<Green Hill 機体画像>

■実施場所の選定

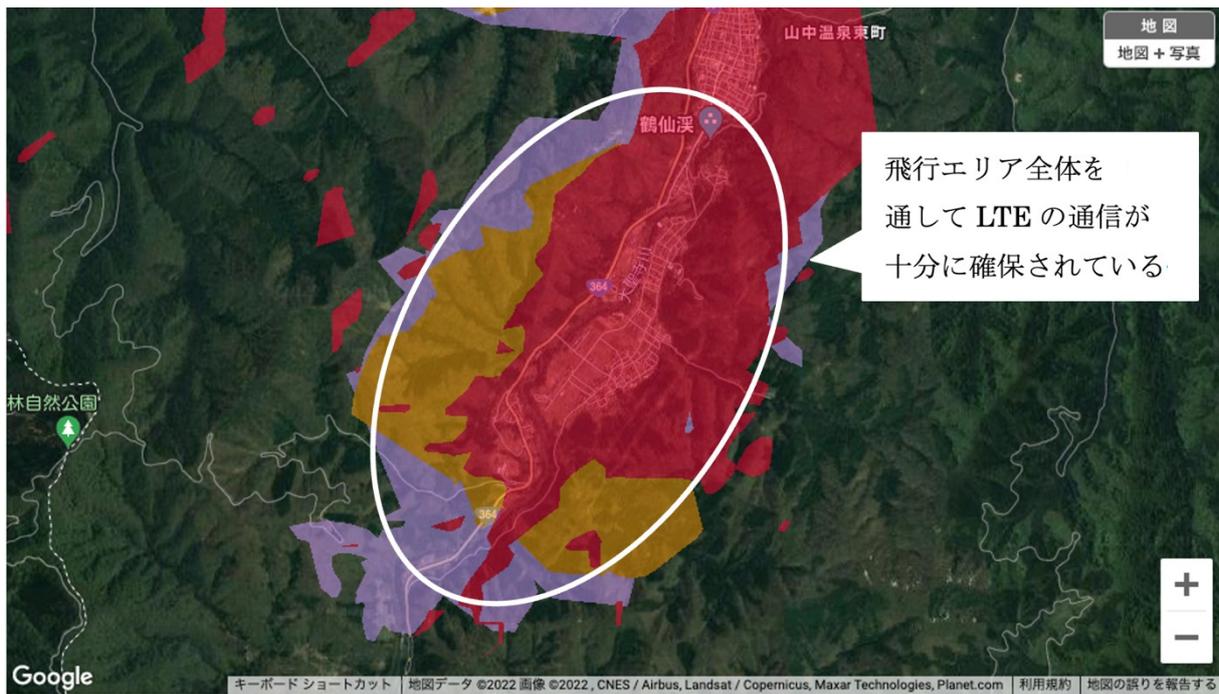
実証の実施に当たり、ドローン飛行を行う区域として、以下2つの区域を候補として選定。飛行ルートの検討や、通信環境の確認を行った。

- ・候補区域1：山中温泉西谷地区（山中温泉菅谷町～同我谷町）
 - ⇒唯一の生活道路である国道364号が寸断された場合、菅谷町以南の地域について孤立集落となる。docomo LTEの通信状態について、飛行エリア全体を通して十分に確保されている。
- ・候補区域2：山中温泉東谷地区（山中温泉中津原町～同今立町）
 - ⇒唯一の生活道路である県道153号が寸断された場合、荒谷町以東の地域について孤立集落となる。docomo LTEの通信状態について、飛行エリア全体を通して通信電波が弱く、一部通信圏外になる箇所がある。

上記の調査結果を踏まえ、唯一の生活道路寸断による孤立集落の発生と docomo LTE 通信状況の確保の観点により、今回の実証場所は候補区域1である山中温泉西谷地区で行うこととした。各候補区域は以下のとおり。



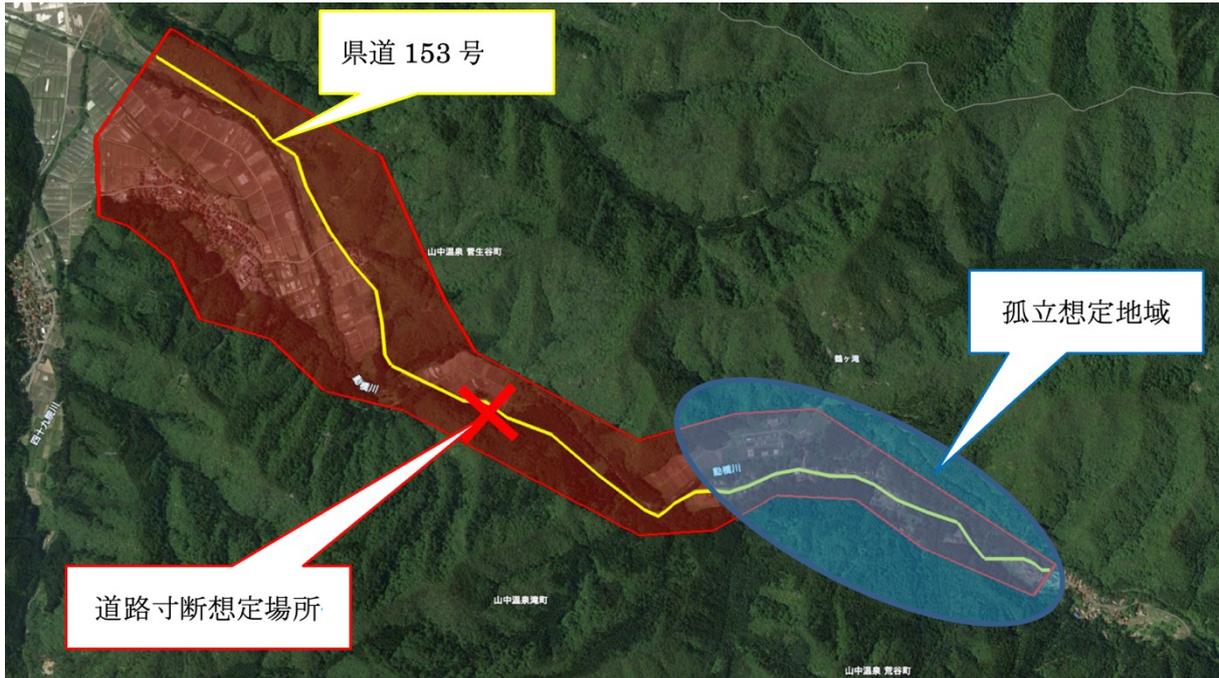
候補区域 1 (山中温泉西谷地区) 位置図 (画像 : Google earth より)



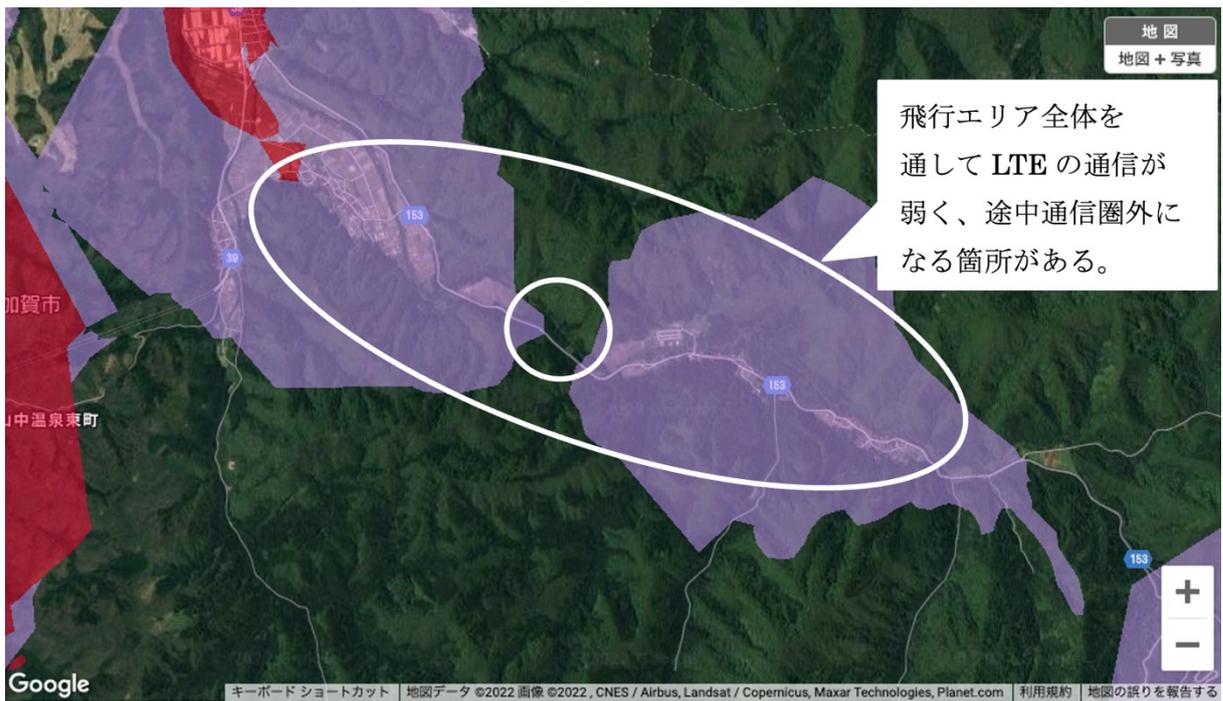
凡例 (LTEエリア)

- LTEエリア(PREMIUM 4G)
- LTEエリア
- LTEエリア(800MHz)
- FOMAエリア・FOMAプラスエリア
- 海上エリア ※

docomo LTE 通信エリア (画像 : docomo HP より)



候補区域 2 (山中温泉東谷地区) 位置図 (画像 : Google earth より)



凡例 (LTEエリア)

- LTEエリア(PREMIUM 4G)
- LTEエリア
- LTEエリア(800MHz)
- FOMAエリア・FOMAプラスエリア
- 海上エリア ※

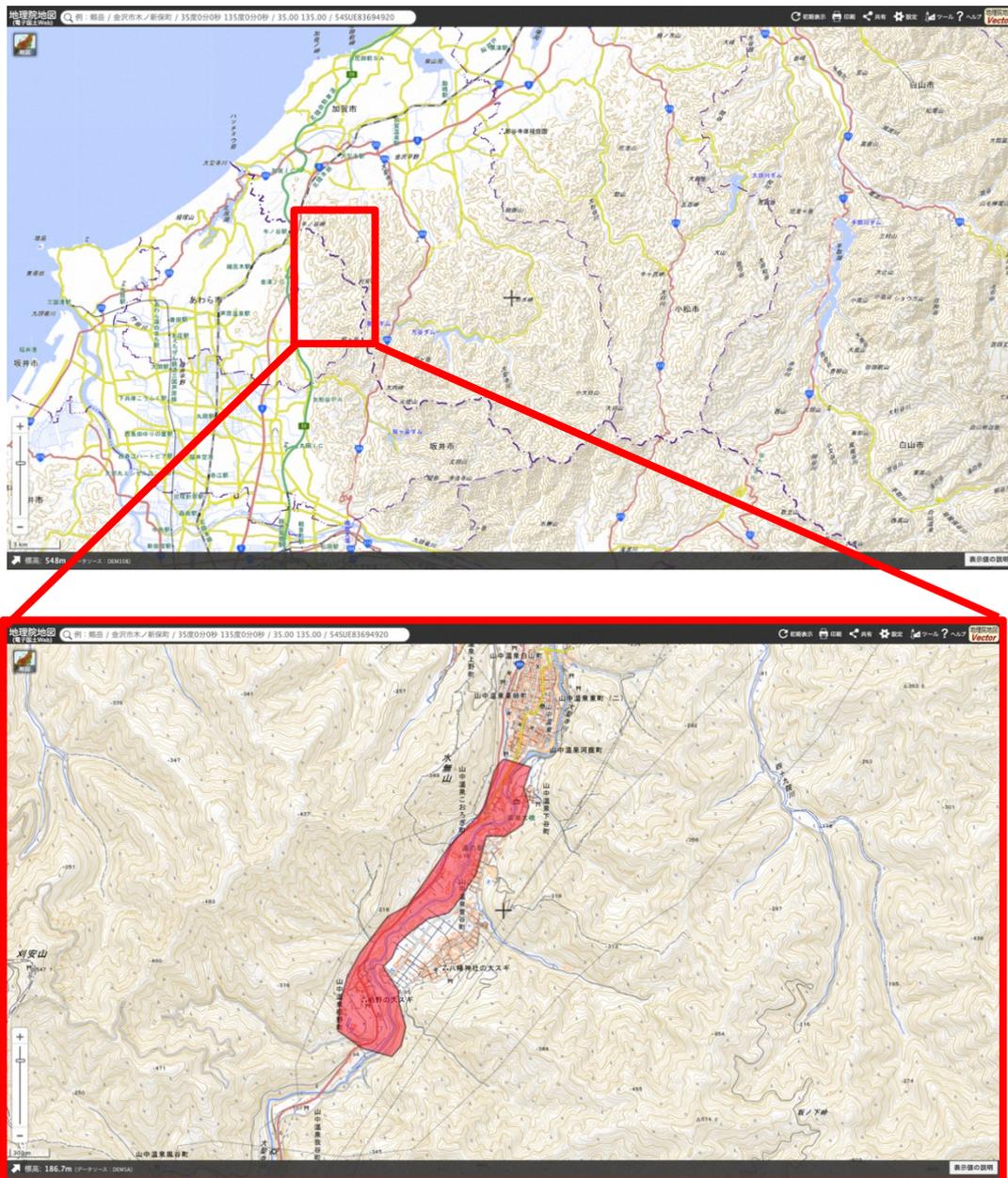
docomo LTE 通信エリア (画像 : docomo HP より)

4.4 実証に際して考えられる課題

- (1)天候等の気象条件に左右される。
- (2)実際に災害が発生した際のドローン利活用の事務フローや体制が構築されていない。

4.5 実施場所

本実証は、全ての実験内容について、石川県加賀市山中温泉こおろぎ町～同栢野町までの区域で行う。位置図は以下のとおり。



加賀市山中温泉こおろぎ町～同栢野町の実証場所詳細

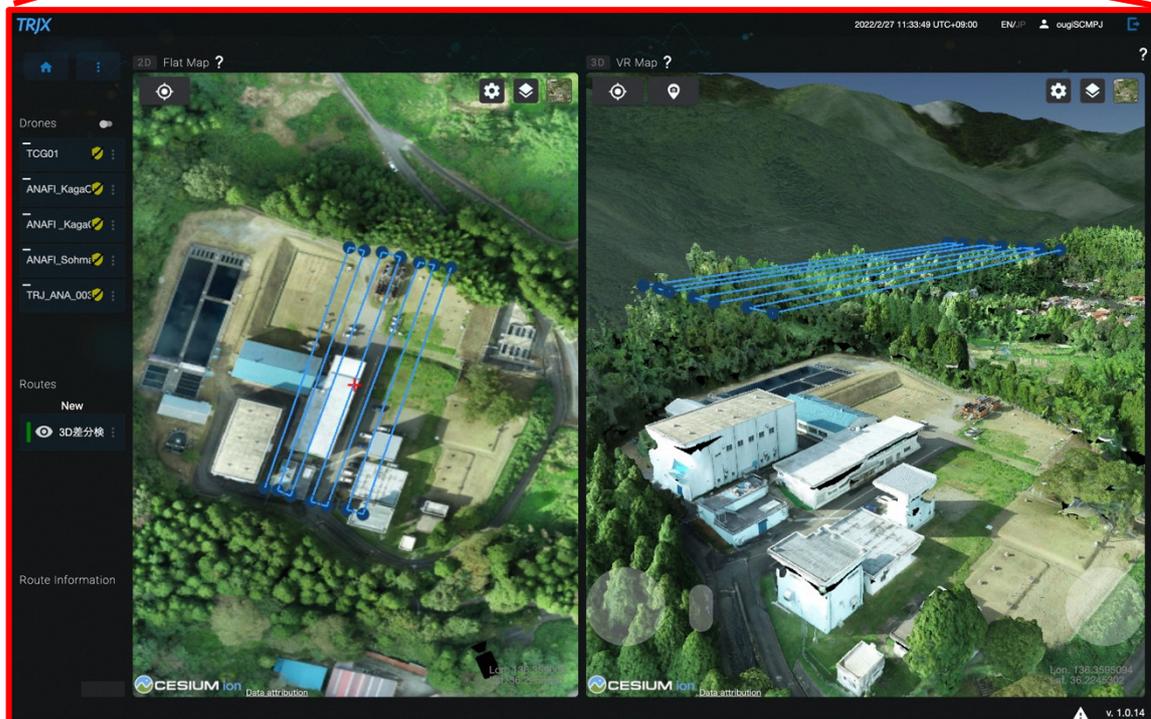
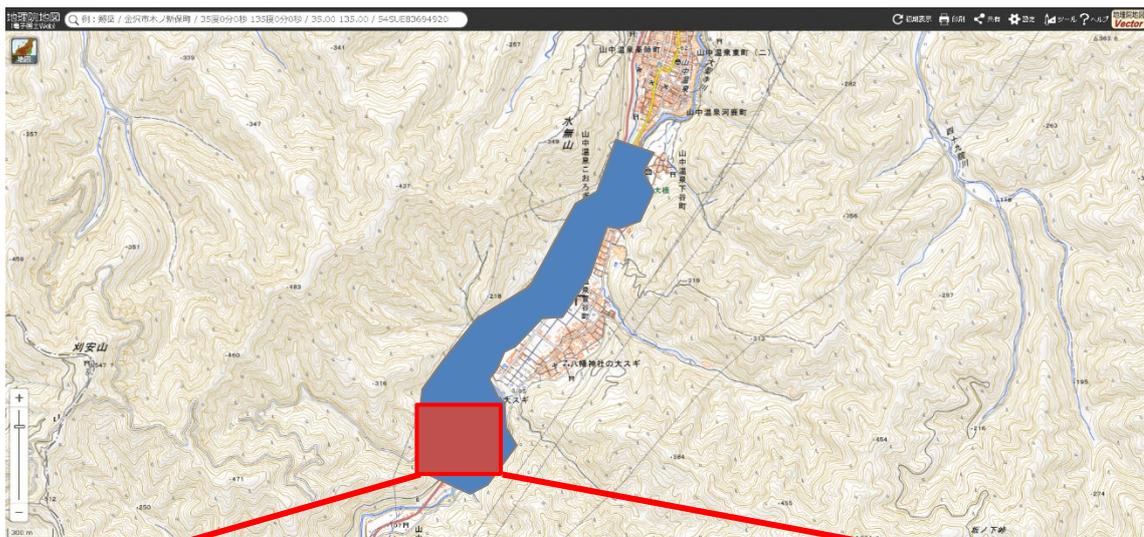
(国土地理院の地図標準地図に追記)

- 飛行ルート概要

本実証では山中浄水場に配置した車両を土砂に見立てた3D差分検知用ルートを1ルート、山中温泉こおろぎ町周辺の被害状況把握、栢野町周辺の被害状況把握を行うルートを各1ルート、国道364号を縦断し、道路が寸断されて孤立した集落に医療品等の物資を運搬するルートを1ルート飛行する。

- 実験内容①

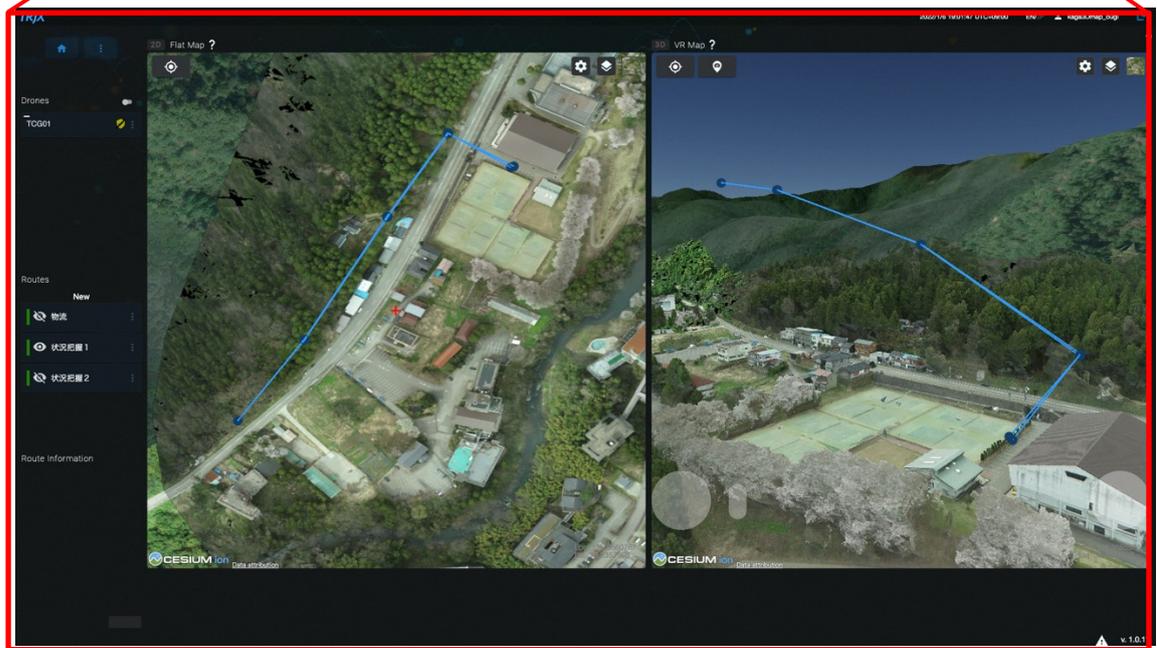
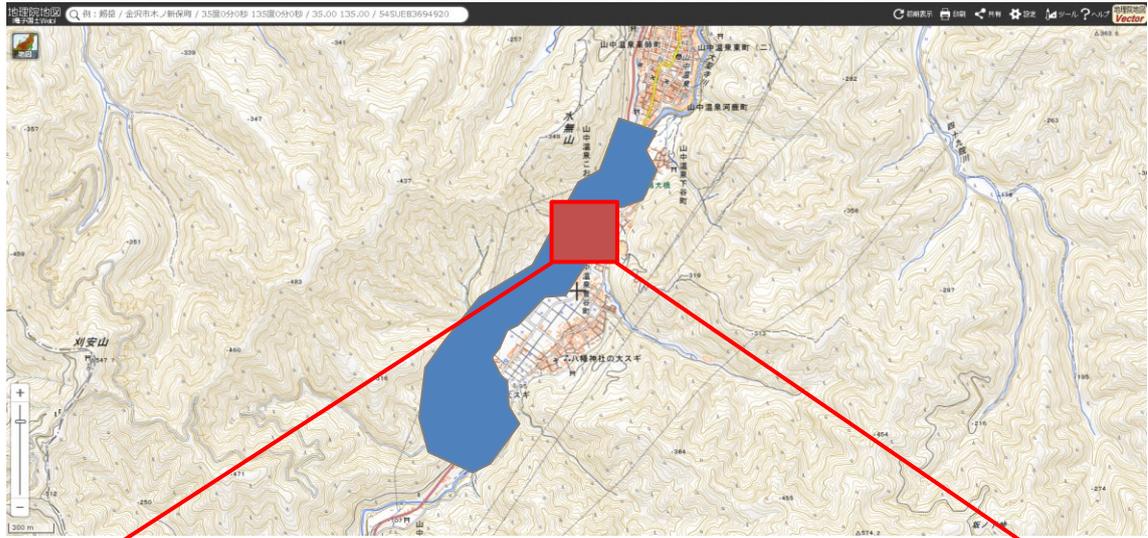
「山中浄水場」実施区域および飛行ルート



山中浄水場上空飛行ルート図

・ 実験内容②

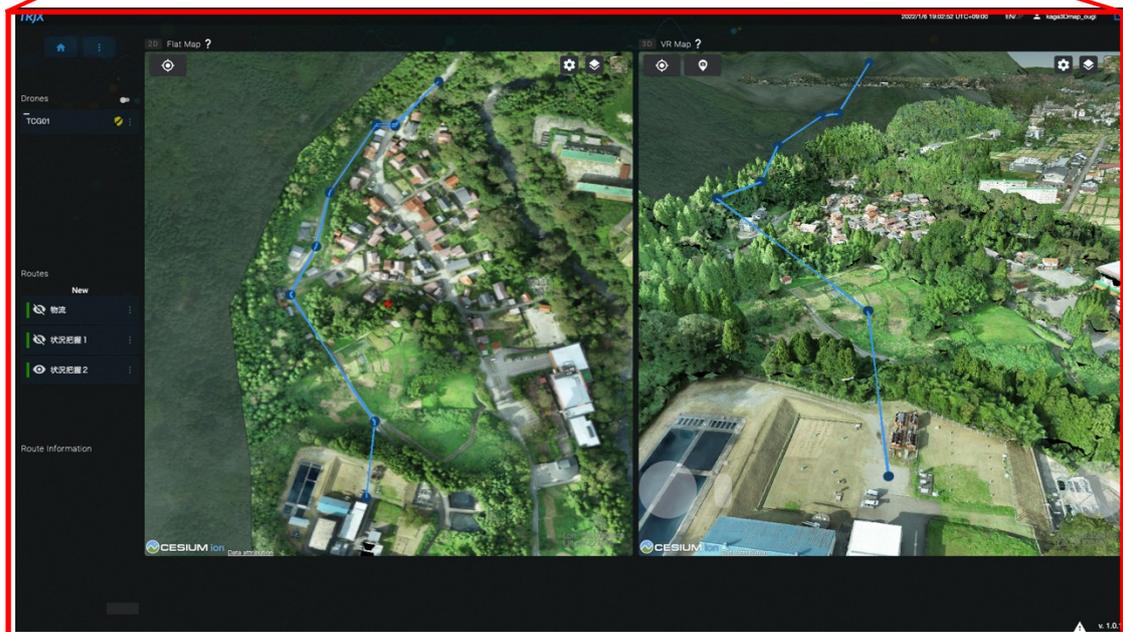
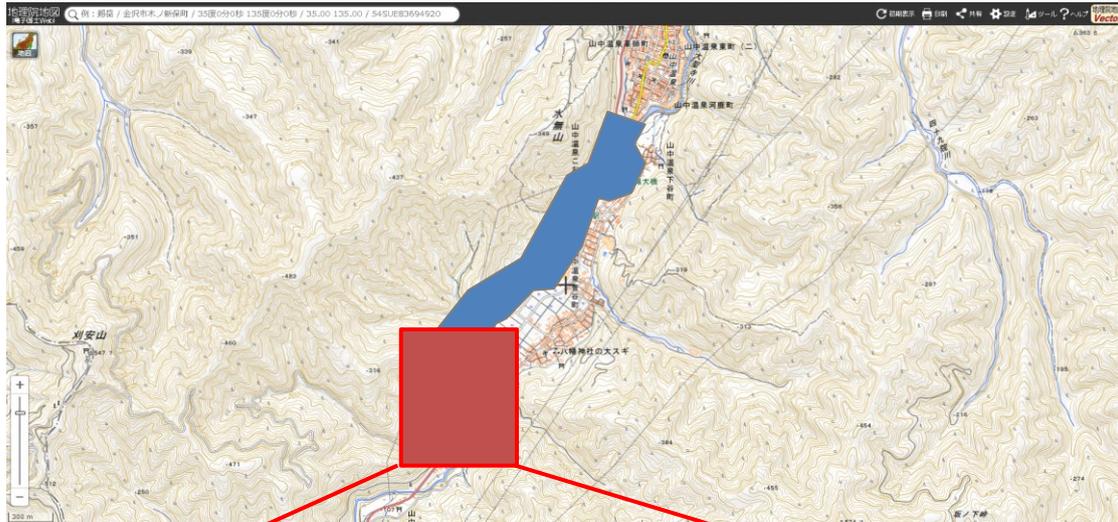
離着陸場所① 「山中温泉ゆけむり健康村ゆーゆー館」 実施区域および飛行ルート



山中温泉ゆけむり健康村ゆーゆー館付近飛行ルート図

・ 実験内容②

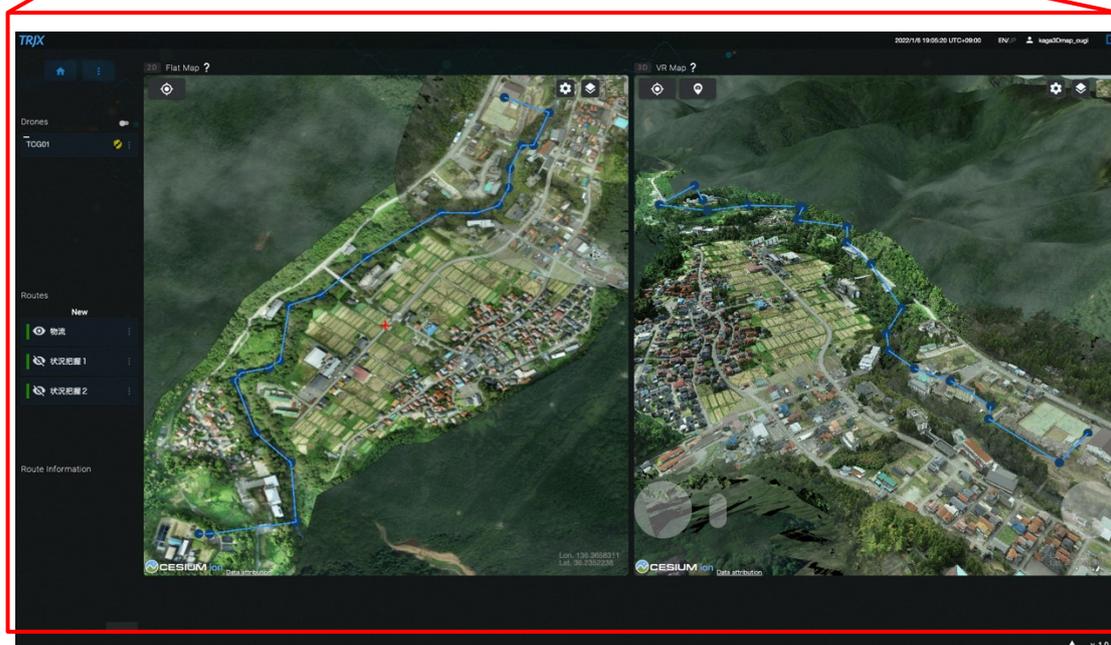
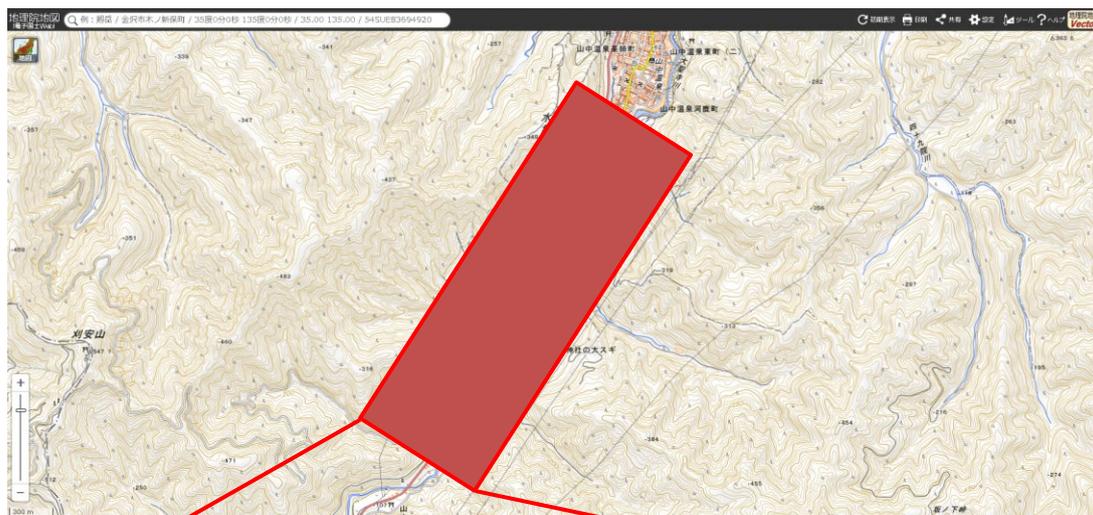
離着陸場所②「山中浄水場」実施区域および飛行ルート



山中浄水場上空付近飛行ルート図

・ 実験内容③

実施区域および飛行ルート



物資輸送ルート図

4.6 使用システム等

本実証においては全ての実験内容について以下に示すシステム等を使用する。

■TRJX (AI 管制プラットフォーム)

今回用いる AI 管制プラットフォーム (以下 TRJX) については以下のような機能を有するものである。

(1)航路生成機能

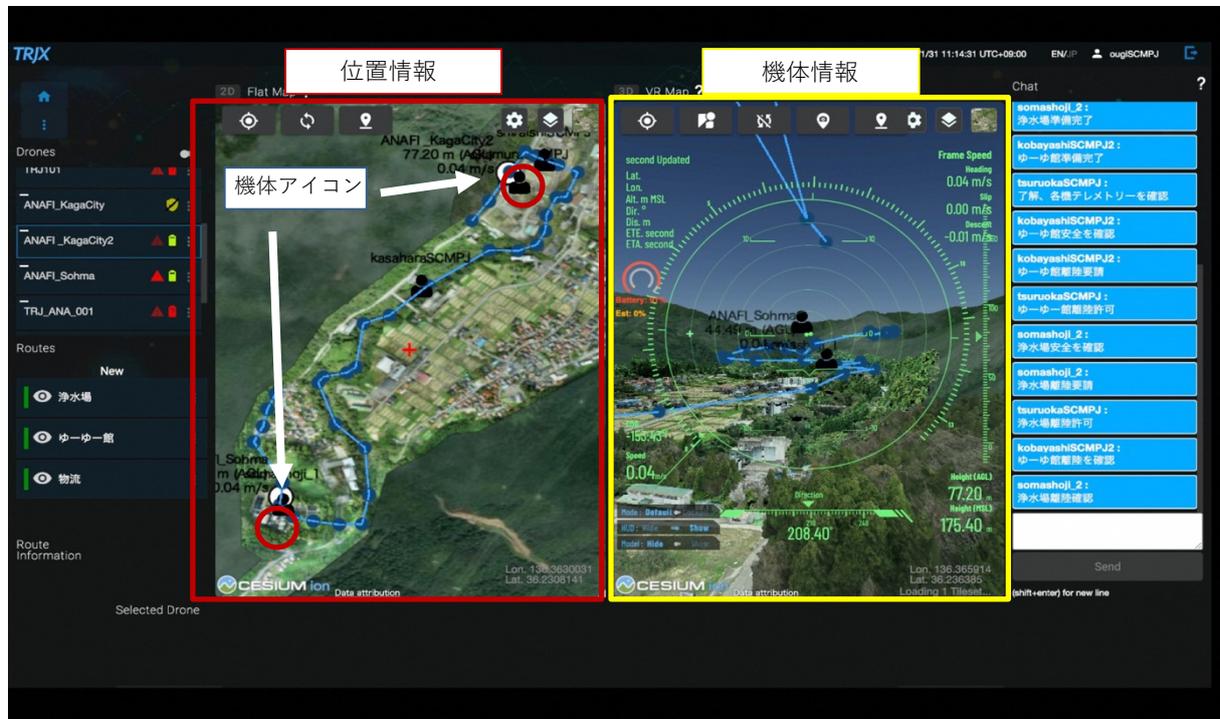
TRJX はドローンで撮影した 3D マップから地形や障害物、住宅地などの情報を取り込み、安全で最適な飛行ルートを簡単に自動生成することができる。

3D マップを取り込むことで、事前に VR 空間でシミュレーションを行い、安全に十分配慮して飛行を行うことができる。



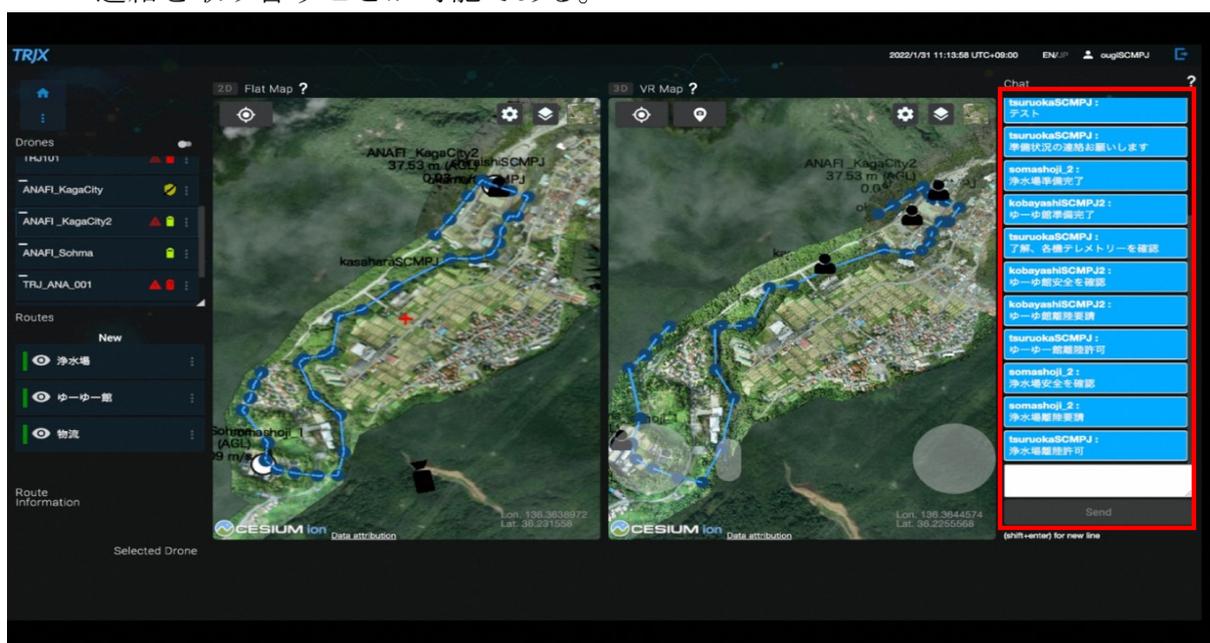
(2)複数機同時のリアルタイム位置表示

TRJX に接続し、テレメトリー（飛行高度、速度、GPS 情報）を取得できる機体であれば、エリア内にて飛行を行なっている機体を複数機同時にリアルタイムに位置を表示し監視することができる。



(3)コミュニケーション機能

TRJX の機能であるチャット機能を使用し、ドローンのフライトルートやドローンの飛行位置を把握しながら、TRJCC (Trajectory Control Center) のドローン管制チームからサポートを受けたり、離れた場所にいる関係者と連絡を取り合うことが可能である。



(4)関係者位置情報機能

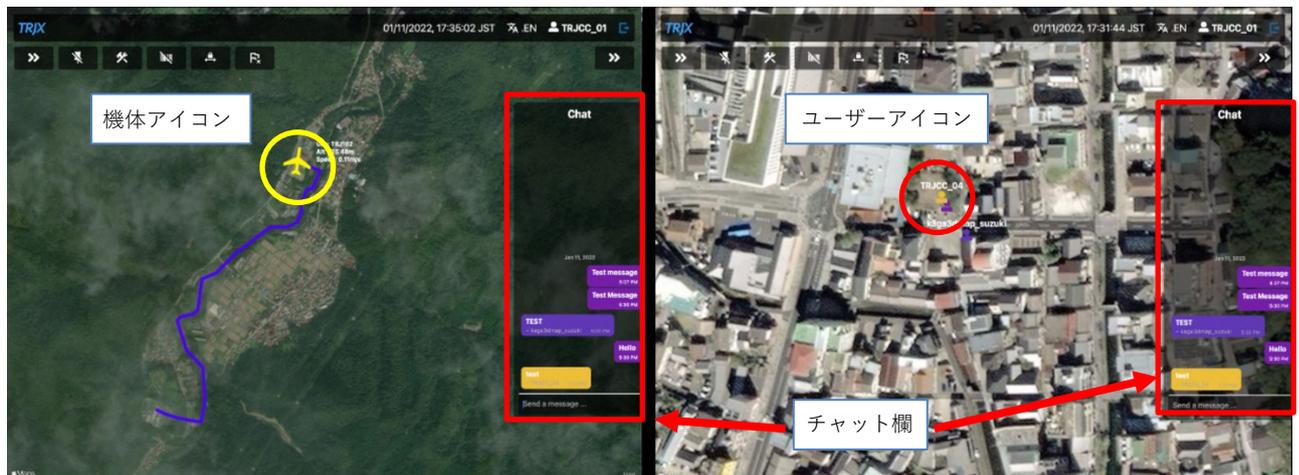
TRJX の機能である位置情報機能を用いて、同じプロジェクトに関わっている関係者の現在地を確認することができる。



■TRJX mobile (アプリケーション)

本実証より使用するモバイル端末で利用可能なアプリで、現地において機体の情報やチャットのやり取りをモバイル端末で行うことが可能である。

これにより、従来であれば現地での連絡員が PC で行なっていた作業をより手軽に行うことが可能である。



■TRJX Transponder modeA (アプリケーション)

TRJX で作成したルートを TRJX Transponder modeA (以下 Trapon-A) で読み込むことにより、ドローンの自動飛行を行うことができる。また、Trapon-A で飛行中のドローンは TRJX の UI 上で機体情報を確認することが可能である。



■ 3D マップ

概要は「3.1 実証実験を行う技術・サービスのロードマップ内の位置づけ」を参照。

(1) 3D マップの精度

以下加賀市の他地区で作成した 3D マップの資料より、実際の建築物等の位置情報と 3D マップで保有する位置情報を比較したデータを示す。



基準点と誤差を示した図（加賀市塩屋町）

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
2	14.6992	-5.81057	-5.55129	16.7525	53.476 (1)
3	-1.29637	1.70091	0.436614	2.18273	3.247 (3)
4	14.0696	-1.98374	0.758301	14.2289	45.983 (1)
5	3.59681	-2.08699	-0.0870914	4.15934	11.479 (3)
6	-1.53948	-0.676844	-0.762633	1.84654	13.343 (3)
7	-0.234706	-2.99922	0.206085	3.01544	9.148 (1)
8	5.30961	3.14063	0.986629	6.24732	18.786 (1)
9	-0.802183	0.948285	0.353253	1.29133	8.581 (2)
10	-0.111176	-5.28052	-0.418057	5.29821	15.773 (1)
11	5.5182	0.455791	-0.539918	5.56325	15.971 (1)
12	1.506	0.31203	-0.0356191	1.5384	4.701 (1)
13	-4.69516	-4.42719	0.522717	6.47439	20.698 (1)
Total	6.54901	3.068	1.68456	7.42562	19.833

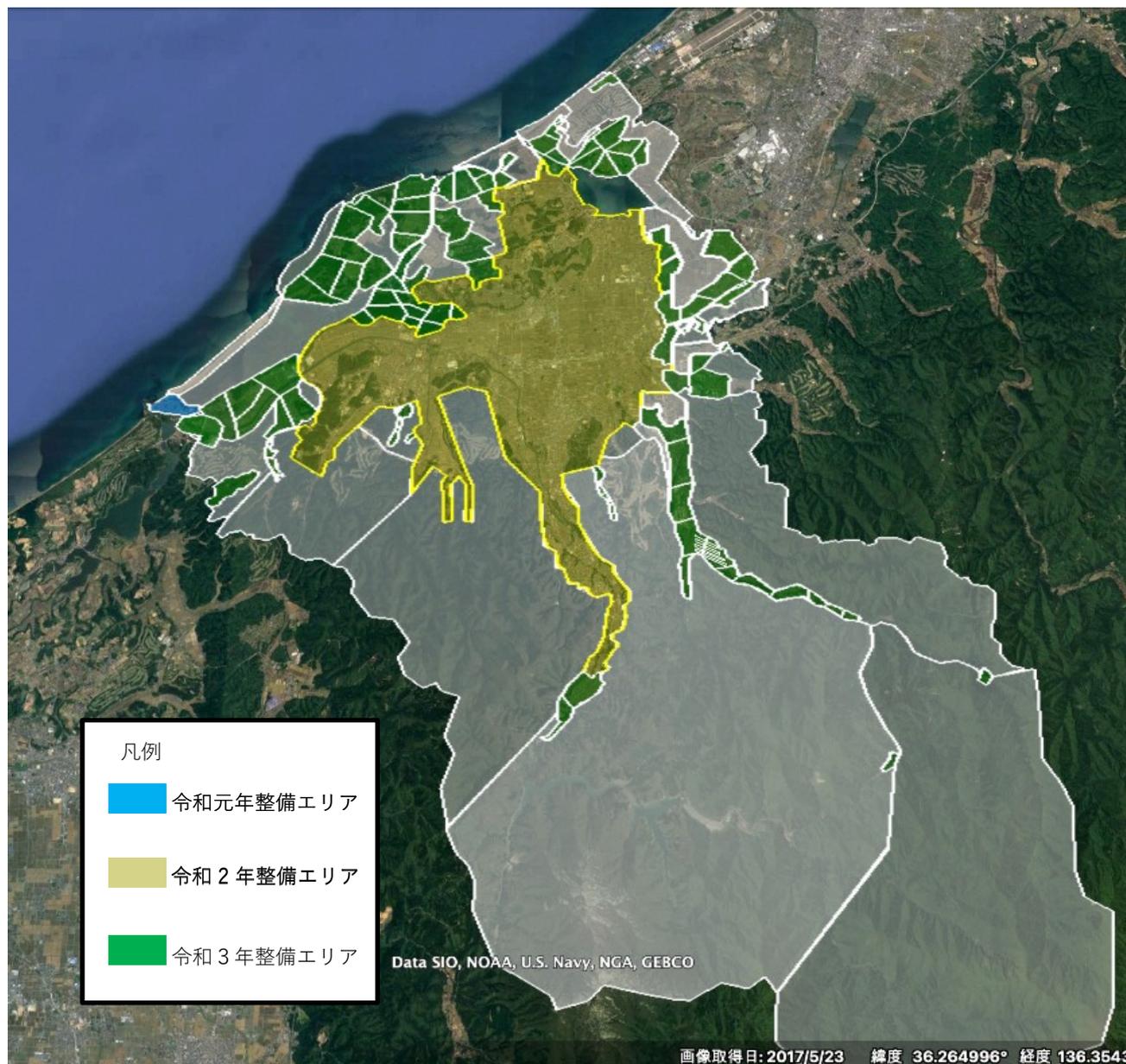
全体誤差
の平均

基準点と実際の建造物等の誤差を検証したデータ（加賀市塩屋町）

上図で示すように、各地点における誤差の平均値は「7.42562 cm」となっており、当市で整備を進める3Dマップは非常に高精度なものであり、ドローンのみならず将来的には空飛ぶクルマの離発着にも利活用が可能なものとなっている。

(2) 加賀市における3Dマップの整備状況

令和元年から令和3年にかけて市内生活圏域全域（約100km²）について3Dマップを整備済。



3Dマップ作成エリア図（画像：Google Earthより）

4.7 実施までの流れ

(1)住民説明

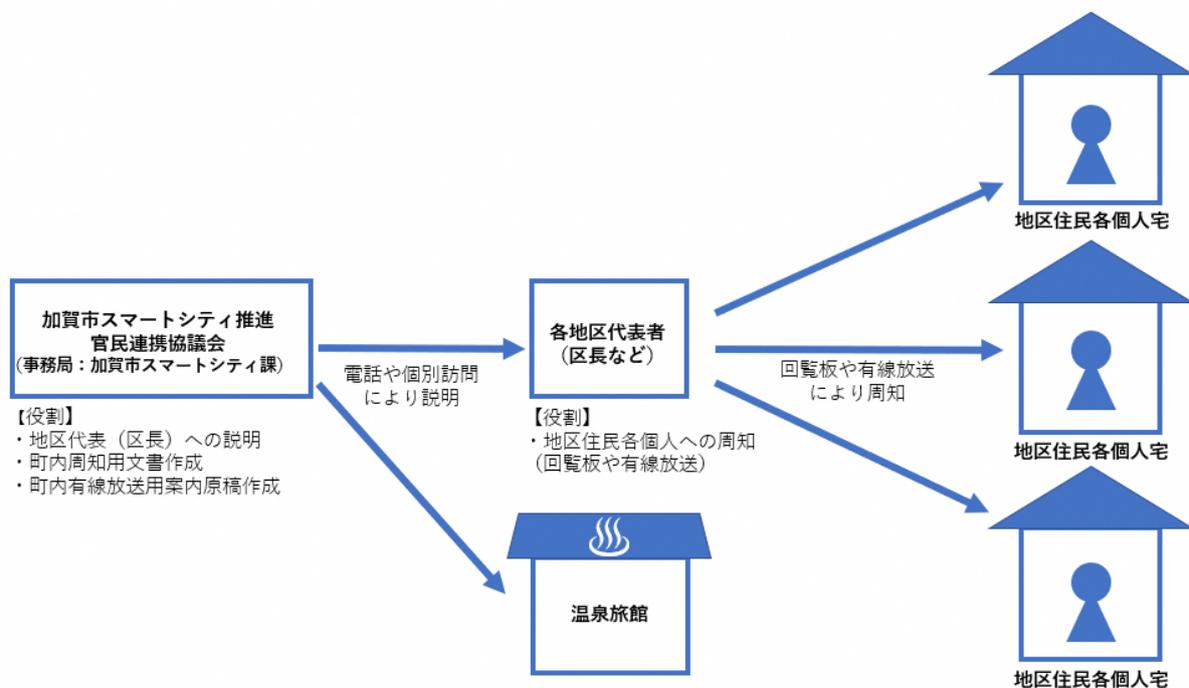
本実証の実施に当たり、ドローン飛行を行う区域の住民に対し、本実証の概要および実施方法や安全性の確保について説明を行った。説明については各地区の代表者（区長）に個別に電話や訪問等により行い、個々の住民に対しては区長を通じて回覧板や有線放送等を用いて周知を行った。また、飛行エリアには温泉旅館が点在しており、客室や浴場等、プライバシーの観点から配慮が必要と判断したことから、関係旅館および旅館組合にも個別で案内を行った。

<案内内容>

- ・実証実験内容
- ・作業内容
- ・作業日程（予定）

<案内先>

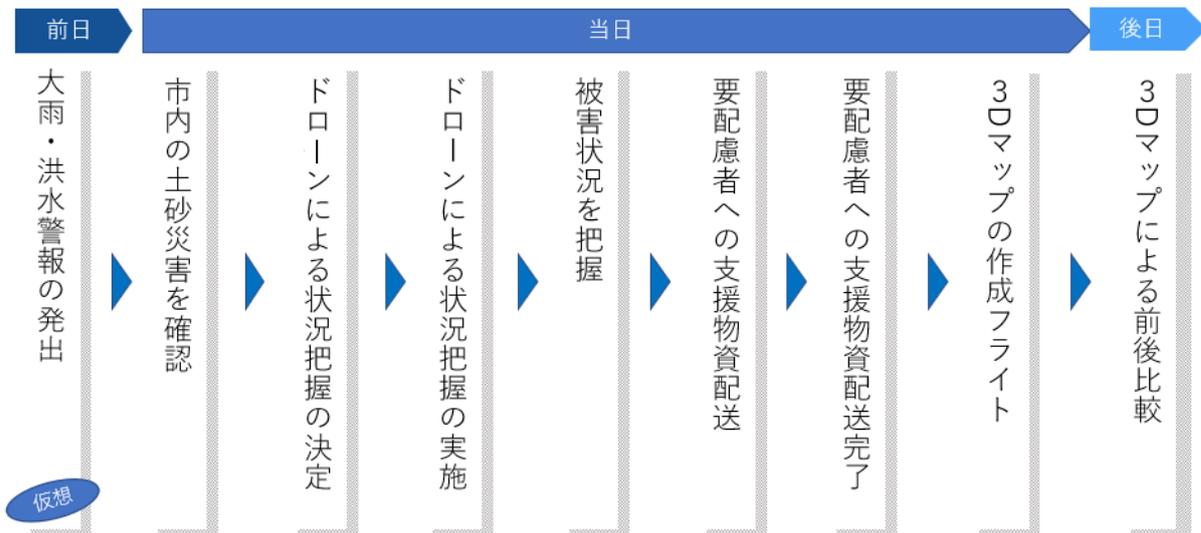
- ・山中温泉菅谷町区長
- ・山中温泉栢野町区長
- ・山中温泉我谷町区長
- ・山中温泉旅館協同組合
- ・ドローン飛行エリアに立地する温泉旅館3施設



地域住民への案内のイメージ

(3)実証期間の流れ

本実証では、大雨・洪水警報が出た翌日に、土砂災害が発生したことを想定し、市の判断でドローンによる被害の状況把握を行う流れとする。また、災害規模を把握するため発災前後の3D比較を行う。大まかな流れは以下のとおり。



(4)当日の確認作業や業務の流れ

①現場付近の気象状況等の確認を行い、実施の可否の判断を行う。

※情報の収集は、携帯電話やPC等による

※中止基準

- ・雨量：降雨時
- ・強風：10m/s 以上の場合
- ・落雷：雷鳴が近づいてきた場合
- ・地震：弱震、震度4以上
- ・警報発令時：大雨、高潮
- ・霧：周辺状況の視認が困難な場合

②選定した離着陸場所に集合し、拠点設営・機材の準備を行う。

③各飛行ルートでテストフライトを行い、安全に航行できるかの確認を行う。

④テストフライトと並行してドローンからの配信映像の確認を行う。

⑤全ての準備が安全に行われたことを確認し、本番のフライトを行う。

(5)実施日時

1. リハーサル：令和4年2月24日（木）10:00～17:00

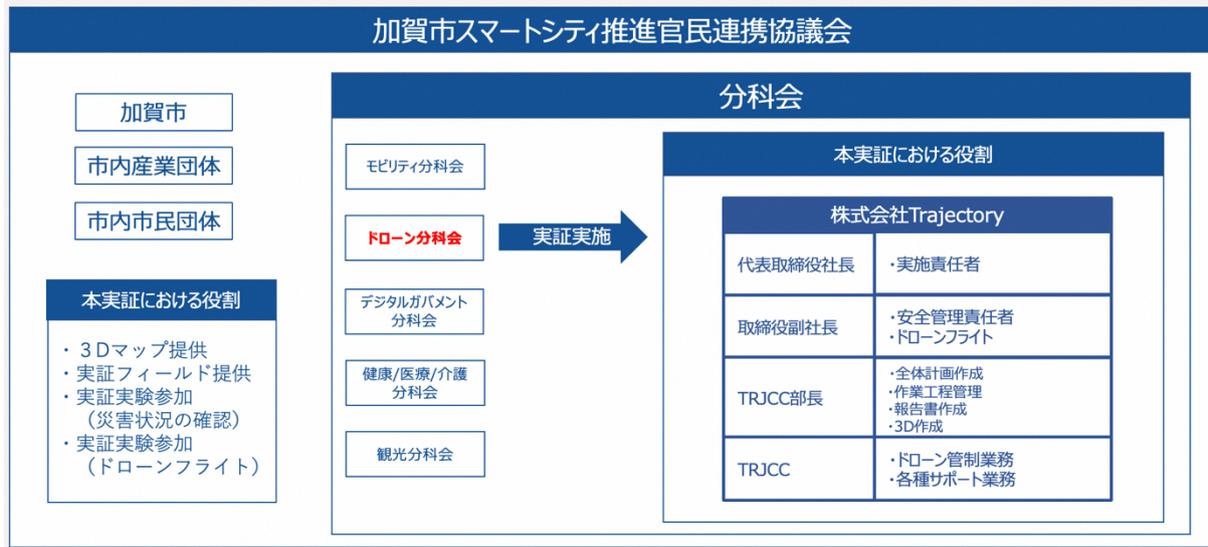
※予備日2月25日（金）

2. 本番：令和4年3月2日（水）11:00～12:00

※予備日3月3日（木）

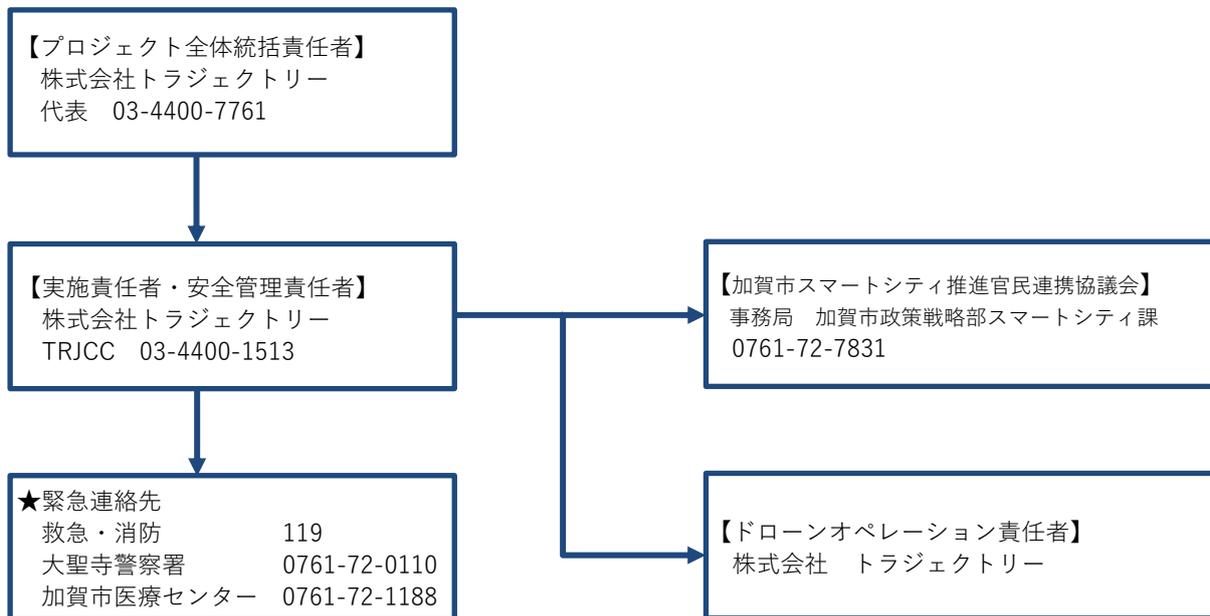
(6)実施体制

本実証の実施体制を以下に示す。



(7)安全管理

本実証の安全対策管理図を以下に示す。



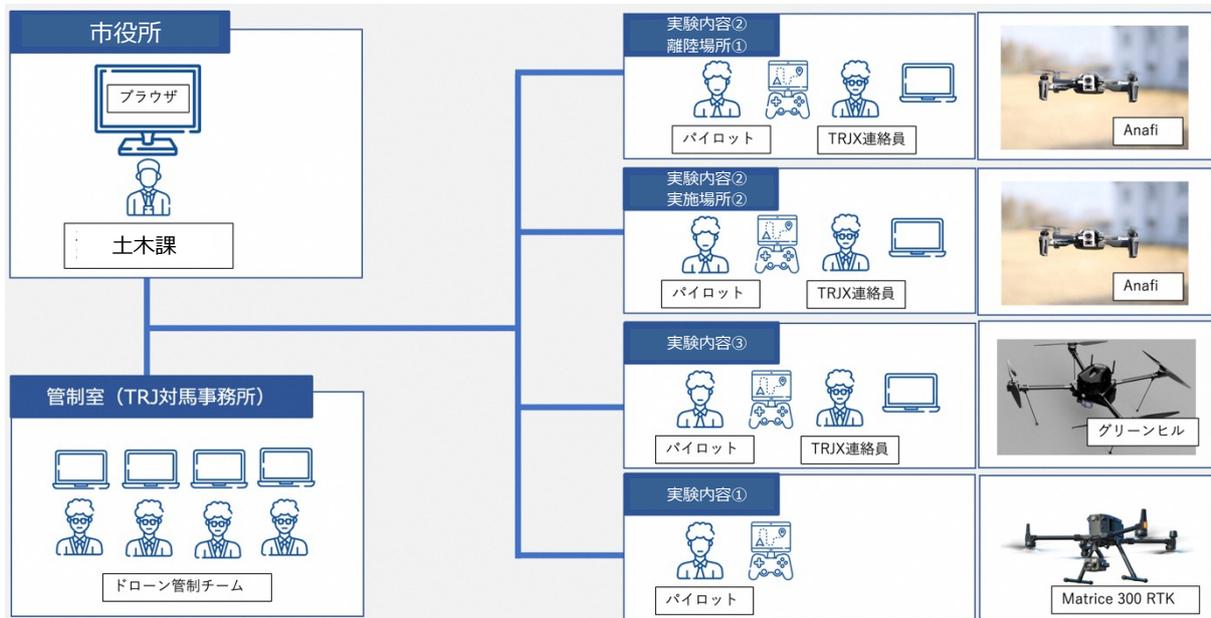
安全管理体制図

・実施スケジュール

以下の工程表を示す。降雨などの天候によって調整を行う。

時間	期間	2月			3月	
		24日	25日	…	2日	3日
9:00		現地集合、機材準備	天候予備日	…	現地集合、機材準備	天候予備日
10:00		テストフライト、 配信映像確認 実験内容② (離陸場所①、②) 実験内容③			テストフライト、 配信映像確認 実験内容② (離陸場所①、②) 実験内容③ 実験内容①	
11:00		実験内容③			実証本番 実験内容② (離陸場所①、②) 実験内容③ 実験内容①	
12:00		昼休憩			撤収作業	
13:00		通しリハーサル 実験内容② (離陸場所①、②)				
14:00		実験内容③				
15:00		実験内容①				
16:00		実験内容①				
17:00		撤収作業				

当日の実施体制図を以下に示す。



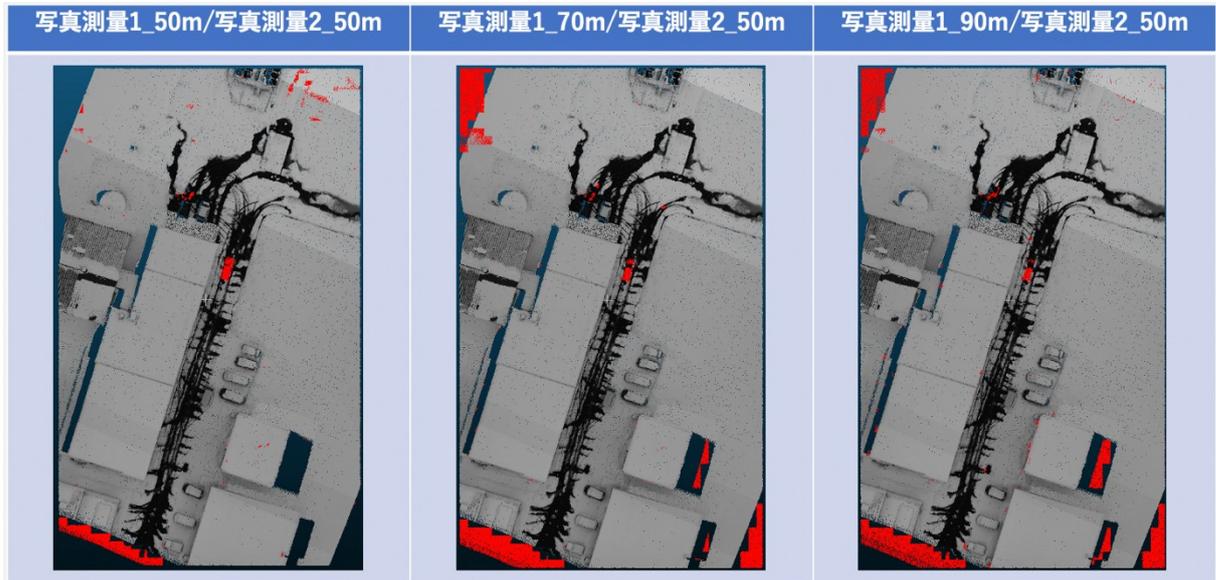
※実施可能な人数として、状況把握・物流の各箇所パイロットが1名、TRJX連絡員が1名、全体を通してTRJXでの管制担当が1名。

5. 実験実施結果

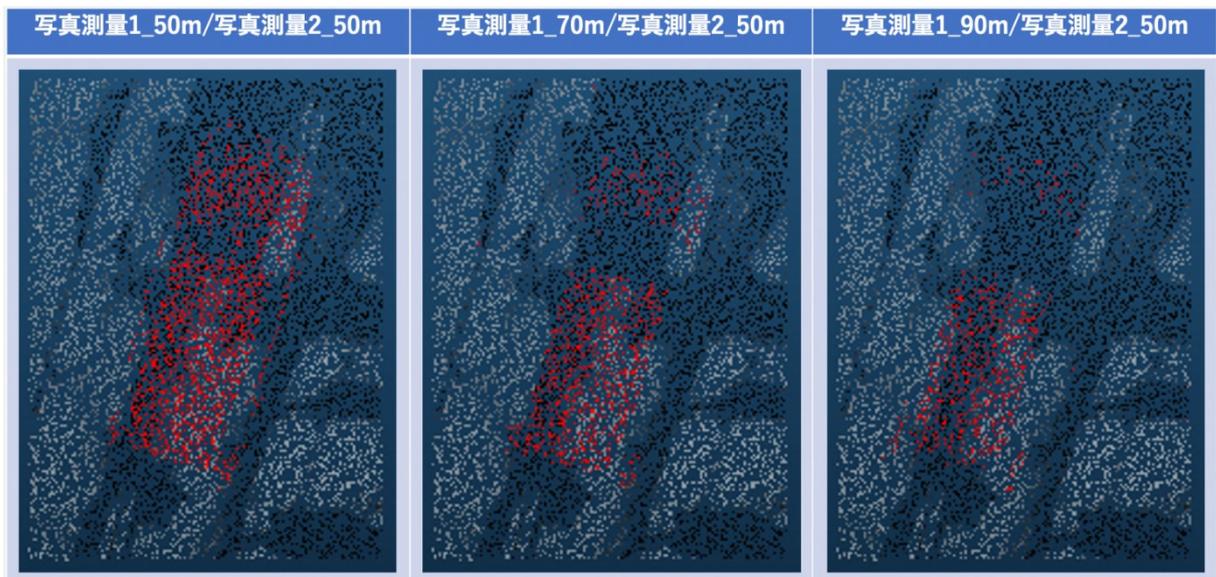
5.1 実験内容①【ドローンによる被災地3D差分検知】検証結果

・差分検知結果画面

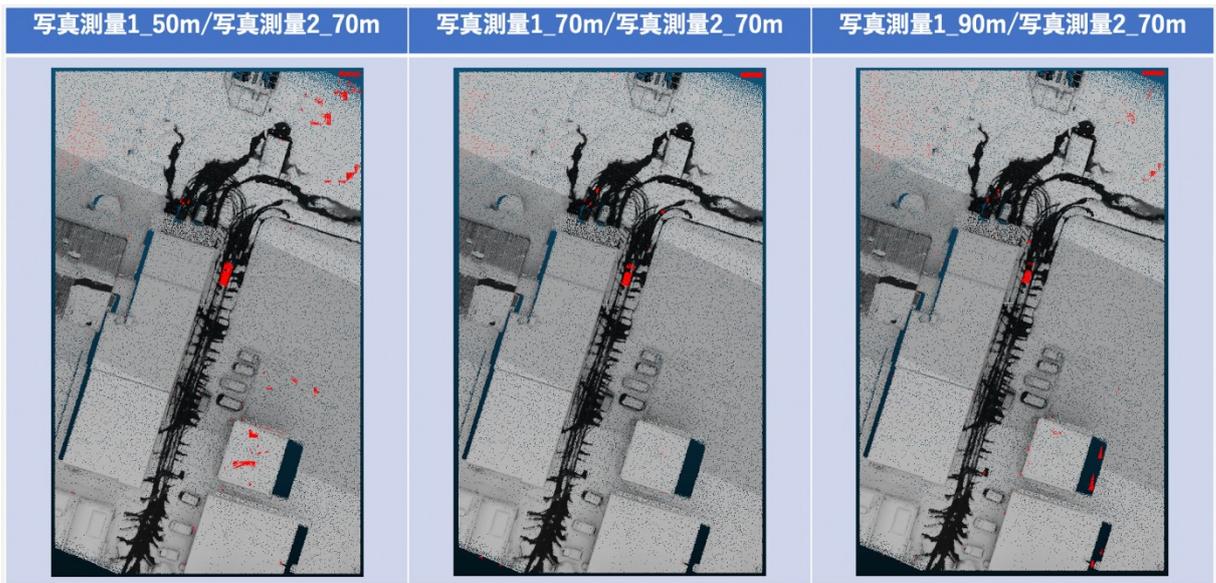
データ比較（写真測量1-写真測量2）



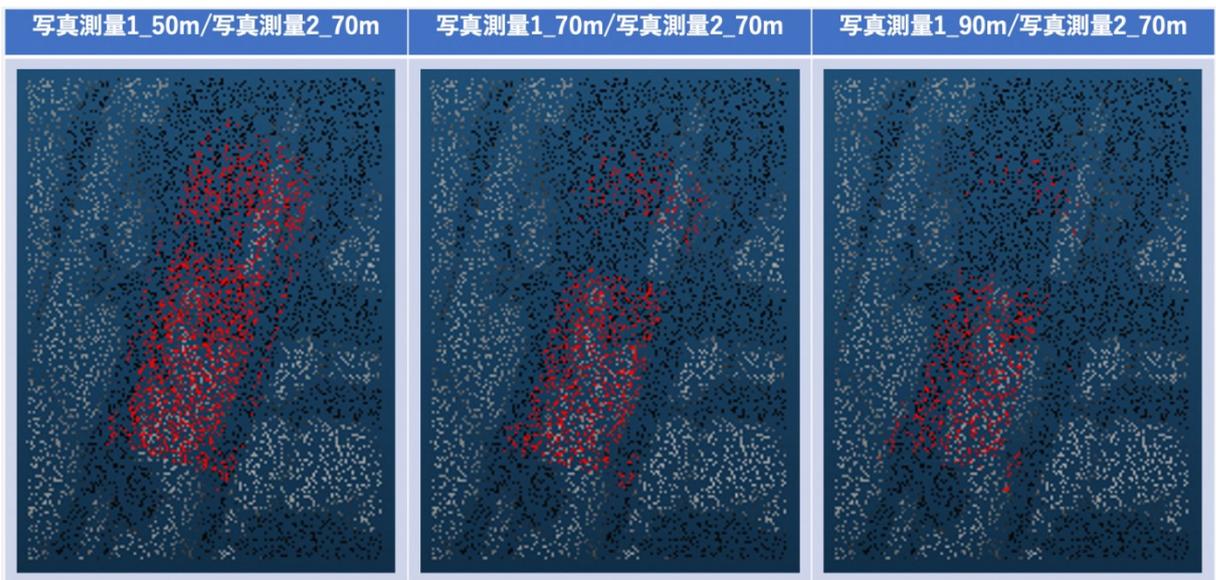
写真測量1_50,70,90m/写真測量2_50m 比較全体図



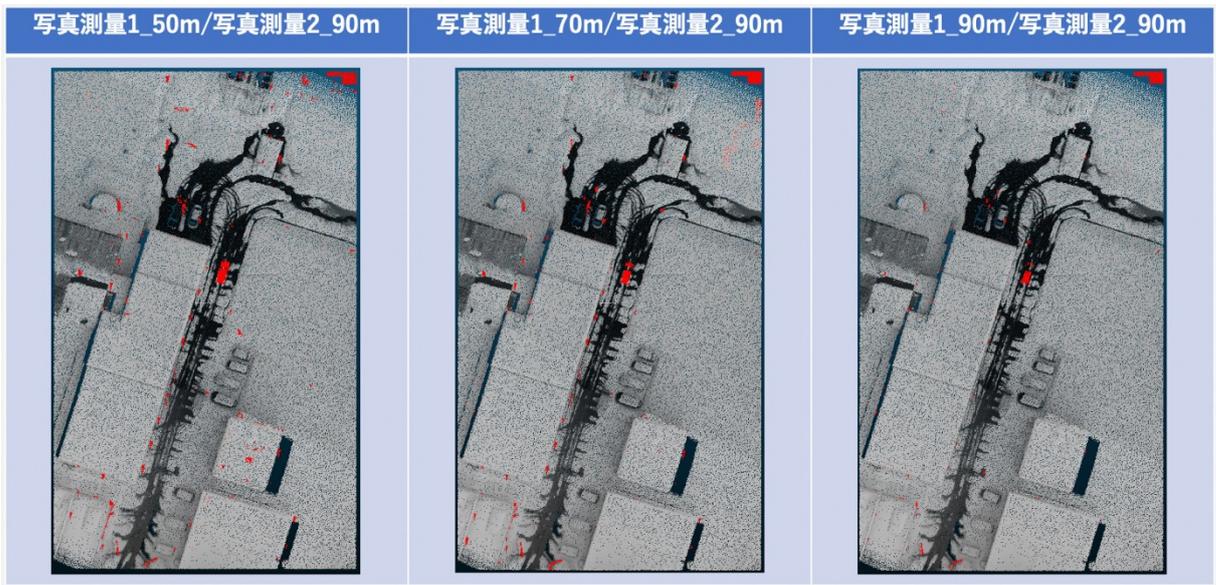
写真測量1_50,70,90m/写真測量2_50m 比較詳細図



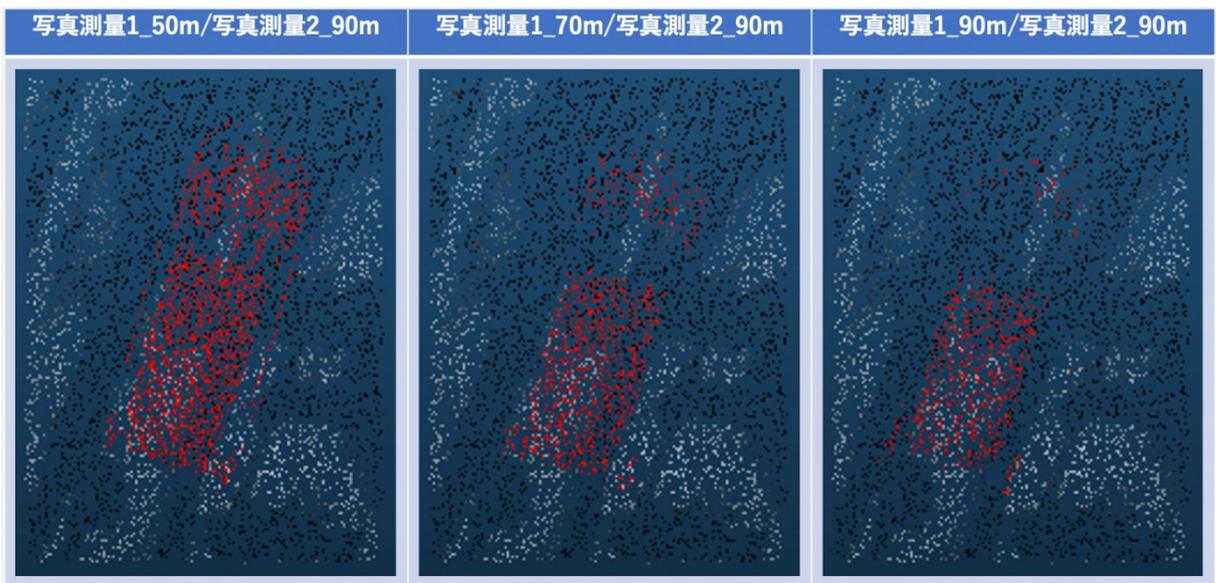
写真測量 1_50,70,90m/写真測量 2_70m 比較全体図



写真測量 1_50,70,90m/写真測量 2_70m 比較詳細図

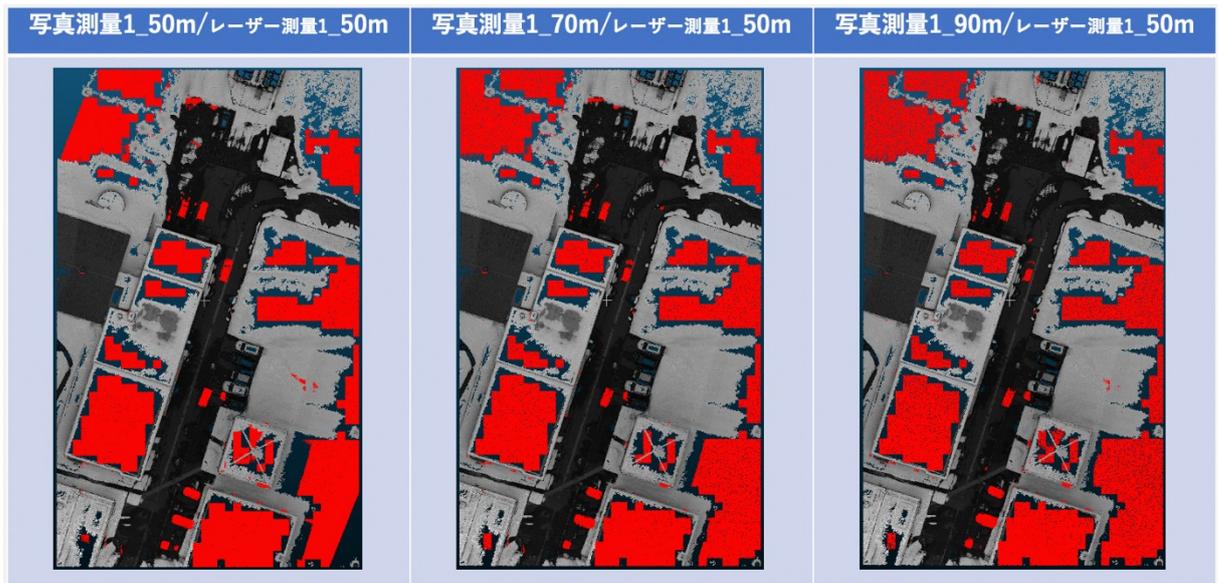


写真測量 1_50,70,90m/写真測量 2_90m 比較全体図

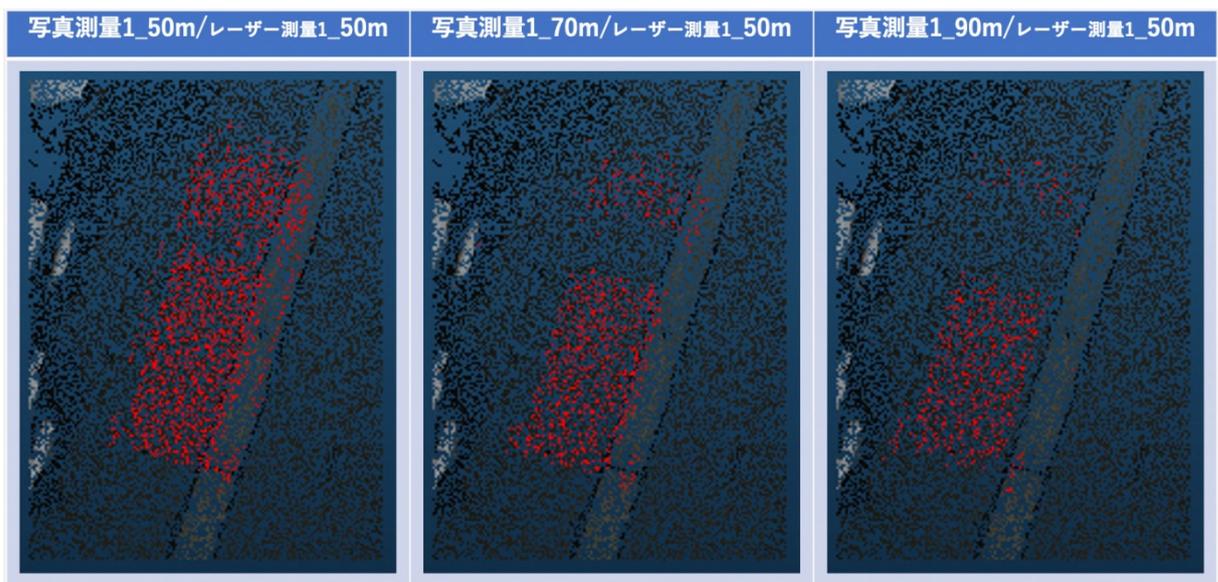


写真測量 1_50,70,90m/写真測量 2_90m 比較詳細図

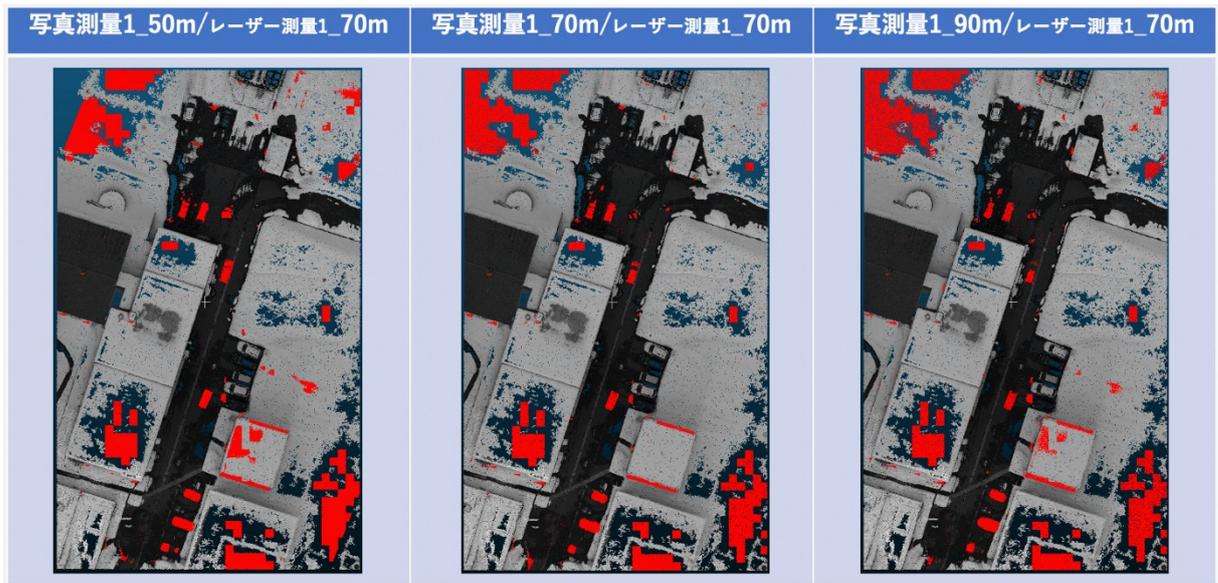
データ比較 (写真測量 1-レーザー測量 1)



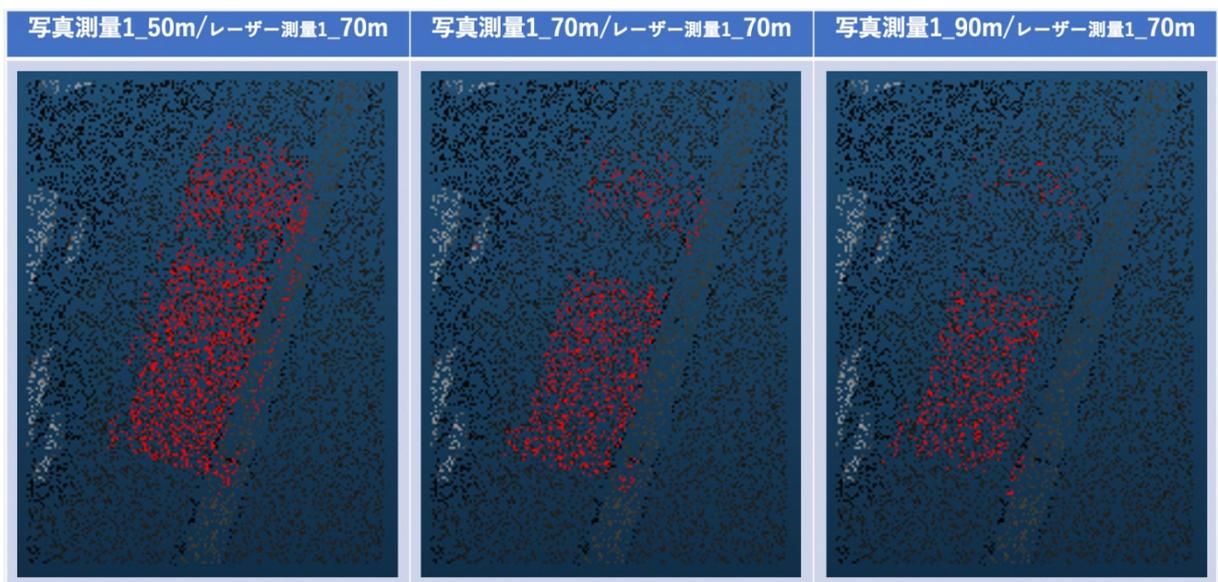
写真測量 1_50,70,90m/レーザー測量 1_50m 比較全体図



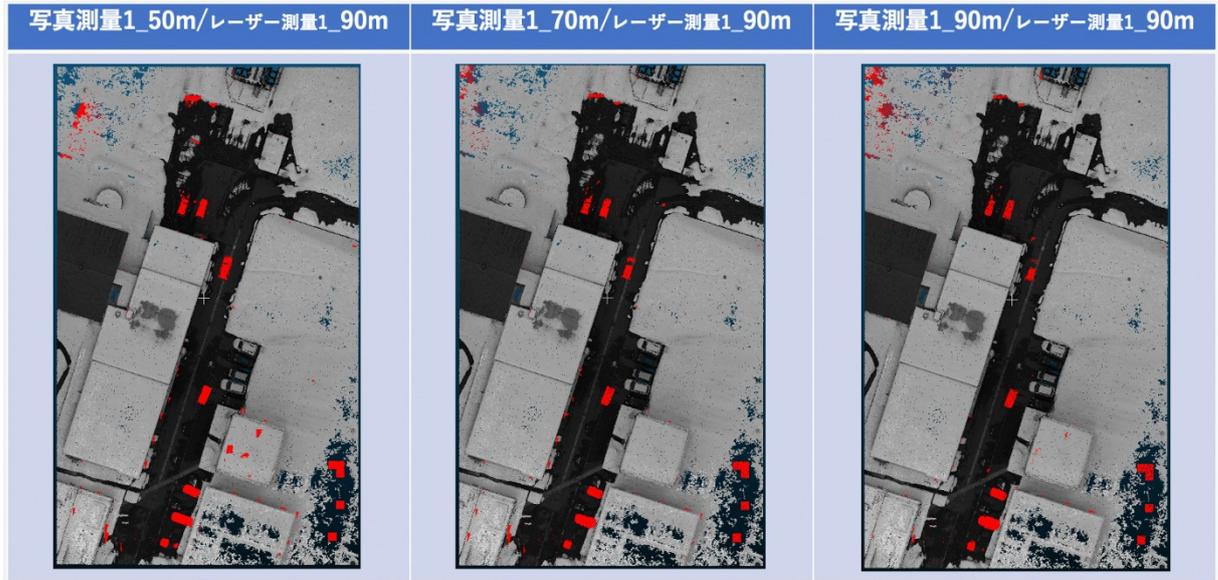
写真測量 1_50,70,90m/レーザー測量 1_50m 比較詳細図



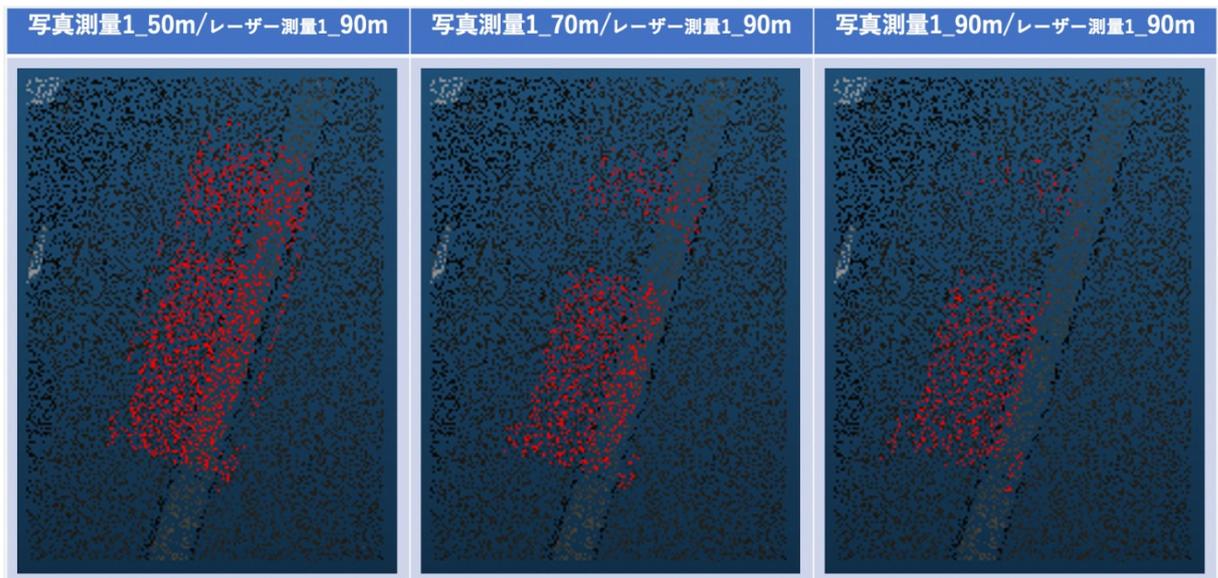
写真測量 1_50,70,90m/レーザー測量 1_70m 比較全体図



写真測量 1_50,70,90m/レーザー測量 1_70m 比較詳細図



写真測量 1_50,70,90m/レーザー測量 1_90m 比較全体図



写真測量 1_50,70,90m/レーザー測量 1_90m 比較詳細図

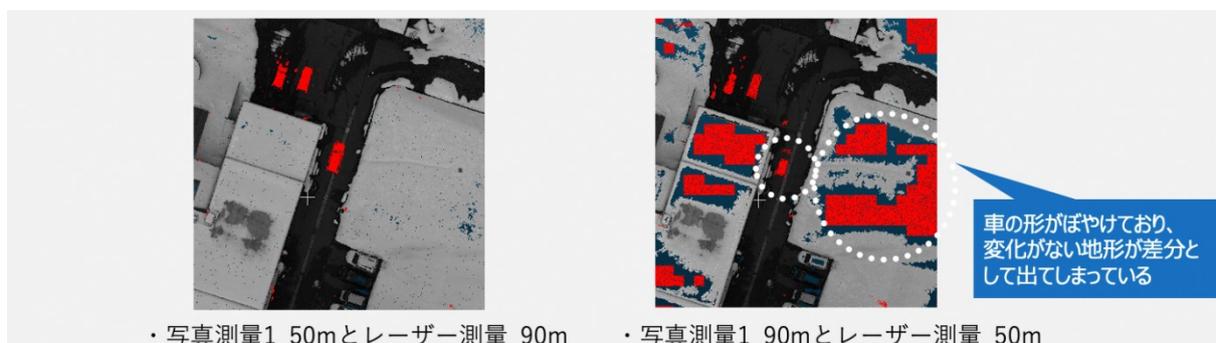
- 得られたデータの比較結果

今回の実証実験における差分検知では検知対象である車を設置している状態のデータから、車を設置していない状態のデータを引いたもので差分の計測を行った、そのため差分の数値はマイナスで表示される形となっている。差分検知結果の一覧は以下の表に示す。(単位は m^3)

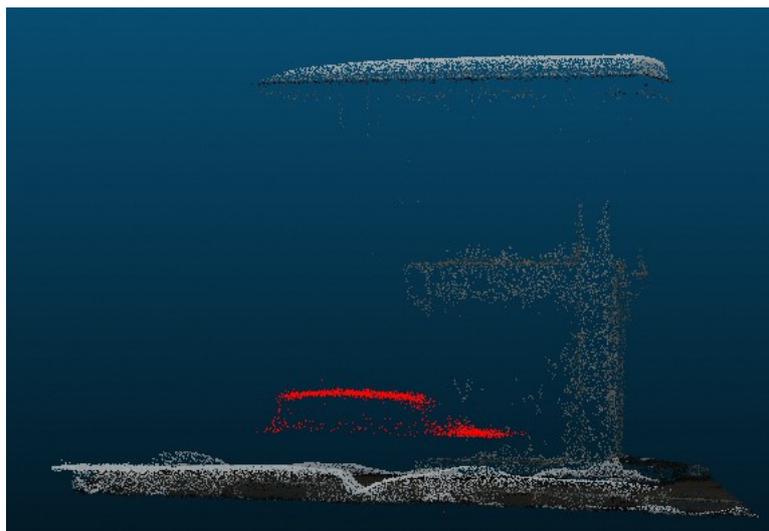
	写真測量1_50m	写真測量1_70m	写真測量1_90m
写真測量2_50m	-25.14	-13.41	-12.14
写真測量2_70m	-25.14	-13.41	-12.14
写真測量2_90m	-25.14	-13.62	-12.14
	写真測量1_50m	写真測量1_70m	写真測量1_90m
レーザー測量1_50m	-25.59	-13.78	-13.61
レーザー測量1_70m	-25.59	-13.68	-13.61
レーザー測量1_90m	-25.59	-13.68	-13.61

- 実験内容①の結果まとめ

- 今回の 3D 差分検知の飛行パターンと設置した車の体積の数値を比べた結果、より $13.97 m^3$ に近いものは「正方形を $1000mm$ 計測した場合の写真測量 1_70m×写真測量 2_50m および写真測量 1_70m×写真測量 2_70m」の $13.41 m^3$ という形になった。今回は $70m \times 70m$ のデータが最も高精度であると判断した。
- 写真測量に関しては高度が低いもの (50m)、レーザー測量に関しては高度が高いもの (90m) が、細かいところまで測量をすることができており、写真測量 (50m) とレーザー測量 (90m) の差分検知結果が精度として一番高い結果となった。
- 写真測量の高度が高いもの (90m)、レーザー測量の高度が低いもの (50m) は、測量データの精度が悪いため、差分検知結果も対象物以外のものも差分として検出するものが多くなる結果となった。

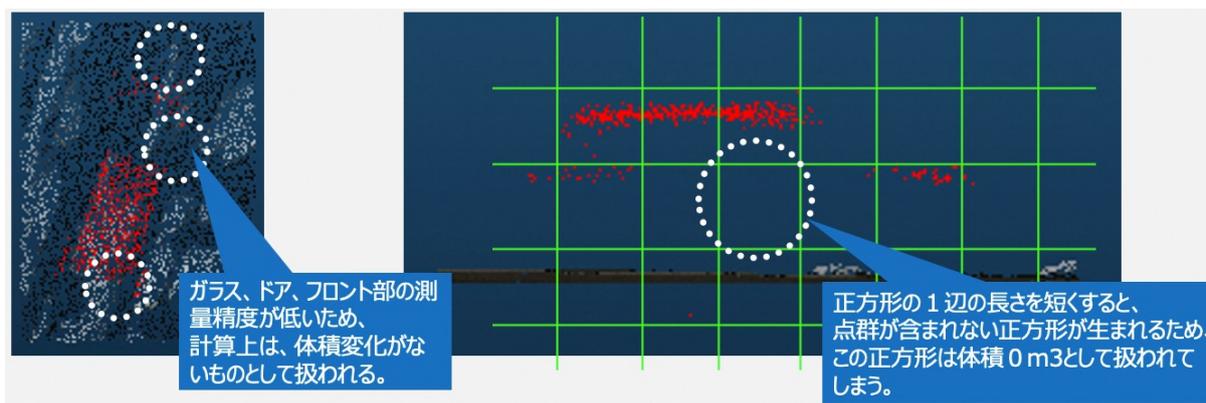


- データ上は近いデータが取得できているが、点群データを確認すると、横から見た場合車のボンネット部分までの点群しかデータとして取得できず、車体と地面の空間を正確に算出することができない結果となった。



差分検知画面、車部分横図

- 車のガラス、ドア、フロント部など、測量精度が低いところ（点群密度が低いところ）は、体積の変化が無かったものとして判断される結果となった。



- 今回は差分検知を行う元のデータを写真測量のみで行ったが、レーザー測量同士での検証も今後行っていく必要がある。

・見込まれる効果の考察

「4. 実験計画」中の「4.2 実験内容、方法」に記載の表で示した効果については以下のとおりとなった。

項目	現状	ドローンを 用いた場合	効果	有効性の 評価
現地測量作業人員	5～6名	2名	3名程度の人員削減	有効
現地測量作業時間	4～5時間	1時間	4時間程度の時間削減	有効
現地測量の安全性	安全面の懸念有	安全	作業の安全性を確保	有効
土量の計算時間	1～2日	1～2時間	作業時間の短縮、精度の確保	有効 ※条件付き

上記のとおり作業人員、作業時間を大幅に削減することができ、省人化および業務の効率化という観点から有効性を確認することができた。また災害現場における作業を行う必要もないことから安全性も確保できた。今回の検証においては車両を土砂に見立てた形で検証を行ったため、本来の土砂災害とは規模が大きく異なるが、規模の大小に関わらず3Dマップとドローンをを用いた測量においては必要な人員数は変わらない。作業時間については規模が大きくなれば測量のためのドローン飛行の時間は必然的に延びることになるが、こちらについても現地に赴いて人の手で行う測量と比較すると作業時間が大幅に少ないことは明白である。

また現状の作業と比較することはできないが、土砂による道路の寸断が発生したその先でも別の土砂災害が発生している場合にも、道路の復旧を待たずして同時並行で測量が行えることから、前者の災害箇所の復旧後、速やかに次の復旧作業に着手することが可能となる。

得られた測量データについては、今回の実証実験においては3種類の飛行高度と2種類の測量方法（カメラ、レーザー）を用いたそれぞれのパターンで行い、いくつかのパターンにおいて精度の高い結果を得ることができた。実物と今回の測量データとの体積の誤差が小さければ精度が高いということになるが、現状、実際に土砂災害が発生した際の復旧作業においては、災害発生前の地形の質量は把握していない状態から測量を行い、その後施工を行っており、発災前の状態との誤差という考え方には基づいていない。これも影響して、施工途中において、測量で得られた数値と実際の施工箇所の土量等に差異が出る可能性がある。こちらについては上述の3Dマップとドローンをを用いた測量による精度が高いデータを活用することにより、精度の高い施工作业が行えるようになると考えられる。

しかし上記のドローンを用いた測量においては、今回の検証における環境条件（気温、天気、風量等）以外の環境条件下での検証は行えておらず、今回最も良い結果が出た飛行方法や測量方法が、異なる環境下でも有効であるかは現状不明である。実装を検討していく上ではこれらのデータの検証も今後必要となる。

また実装に当たっては費用面についても検討を行う必要がある。ドローン飛行に係る費用についてはドローン購入費 150,000 円（現在市で保有しているものを参考）程度、ドローンパイロットに係るライセンス取得費 200,000 円（概算）程度が必要である。また測量に関してはドローン測量後のデータ化作業に費用が必要であるが、現状明確な価格帯が存在していない。

本項冒頭で示したとおり、省人化、迅速化、安全性の確保の観点では有効性は高いと考えられる。また得られるデータについては追加検証が必要ではあるものの、今回の環境条件下では精度の高いデータを得ることができたため、同様の条件下において利活用を検討することは可能である。また費用面に関しても、ドローンの機体やライセンスを有するドローンパイロット、3Dマップを既に整備済であり、測量のデータ化にかかるコストのみであることから利活用が現実的である。これらから総合的に判断すると実施環境は限定されるものの実装を検討することは可能であると考えられる。

5.2 実験内容②【ドローンによる災害状況把握】検証結果

「4.2 実験内容、方法」中の実験内容②で示した各飛行パターンにより以下の画像を撮影し、比較を行った。

<飛行ケース別ドローンカメラ画面>



NO. 1



No. 2



No. 3



No. 4



No. 5



No. 6



No. 7



No. 8



No. 9



No. 10



No. 11



No. 12



No. 13



No. 14



No. 15



No. 16



No. 17



No. 18



No. 19



No. 20



No. 21

・得られたデータの比較

災害状況把握の飛行においては、被災箇所の捜索と被害状況の迅速な把握が求められる。以上の点を考慮し以下の項目についての評価を行う。

(1) 飛行高度

カメラ画角により撮影可能な範囲で比較を行う。

30m	50m	100m
		
約 4000 m ²	約 8800 m ²	約 43000 m ²

ドローンカメラの画角に収まる範囲を広くすることにより、被災箇所を捉えることが可能な範囲が広がるため、30m, 50m で飛行した場合に比べ 100m で飛行する方がより俯瞰視点で対象物を捉えることができるため今回の飛行ルートに適していると考えます。

(2) カメラ角度

45°	90°
	
<p>斜めからの撮影により、広範囲を画面に収めることが可能で、対象物を立体的に捉える形になっている。</p>	<p>真下を向いていることにより画面に収まる範囲が狭くなり、対象物に対して平面的に捉える形になっている。</p>

迅速な状況把握のためには短時間でより多くの情報が取得できる方が望ましい。45°で飛行した場合には90°で飛行した場合に比べて対象物を立体的に捉えることが可能であるため、今回の飛行ルートに適していると考ええる。

(3) 飛行速度

迅速な状況把握のためフライト時間の短縮は必要な項目である。今回の検証の結果 3m/s, 5m/s それぞれの場合の飛行映像を比べた結果、大きな差異がないため、安全に飛行可能な範囲の 5m/s が今回の飛行ルートに適していると考ええる。



3m/s



5m/s

(4) カメラ倍率

1 倍	2 倍	3 倍
		
対象地域を広範囲見渡せることが可能である。	被災範囲が広範囲な場合には倍率をあげるよりも状況の把握が可能である。	被災箇所が確定した際には詳細に把握することが可能である。

被災状況を把握する上で詳細な情報を取得できるカメラ倍率を確保する必要がある。被災箇所の捜索をする上では倍率を1倍にしてより俯瞰視点で飛行を行う必要があるが、被災箇所を発見した際に詳細な状況を確認する場合には3倍で対象範囲を見ることが望ましい。よって今回の飛行ルートにおいては、被災箇所の捜索時には1倍、発見後の状況確認時には3倍で飛行することが適していると考ええる。

・見込まれる効果の考察

「4. 実験計画」中の「実験内容、方法」に記載の表で示した効果については以下のとおりとなった。

項目	現状	ドローンを用いた場合	効果	有効性の評価
被害状況確認人員	2～3名	1～2名で確認できる	人員削減と共に、属人化している業務の作業平準化が可能	有効
現地確認の範囲	立ち入ることができない場合あり	上空から確認可能	山間部に住宅を保有する市民の安全の質向上	有効

上記のとおり、作業人員の削減と現地確認作業の安全性を確保することができ、こちらの観点では有効であることが確認できた。加えて、ドローンを用いた災害状況の確認においては、これまでは立ち入ることが出来なかった場所の状況確認も行えることから、得られる情報が増えるという側面もある。

また本実証ではドローンの飛行に際して、飛行高度、カメラ角度、カメラ

倍率、飛行速度を変えた様々なパターンで飛行させることにより最も有効な飛行方法について検証を行った。今回の検証を通して、実際に災害発生時に飛行する場合の有効な飛行方法について確認することができた。

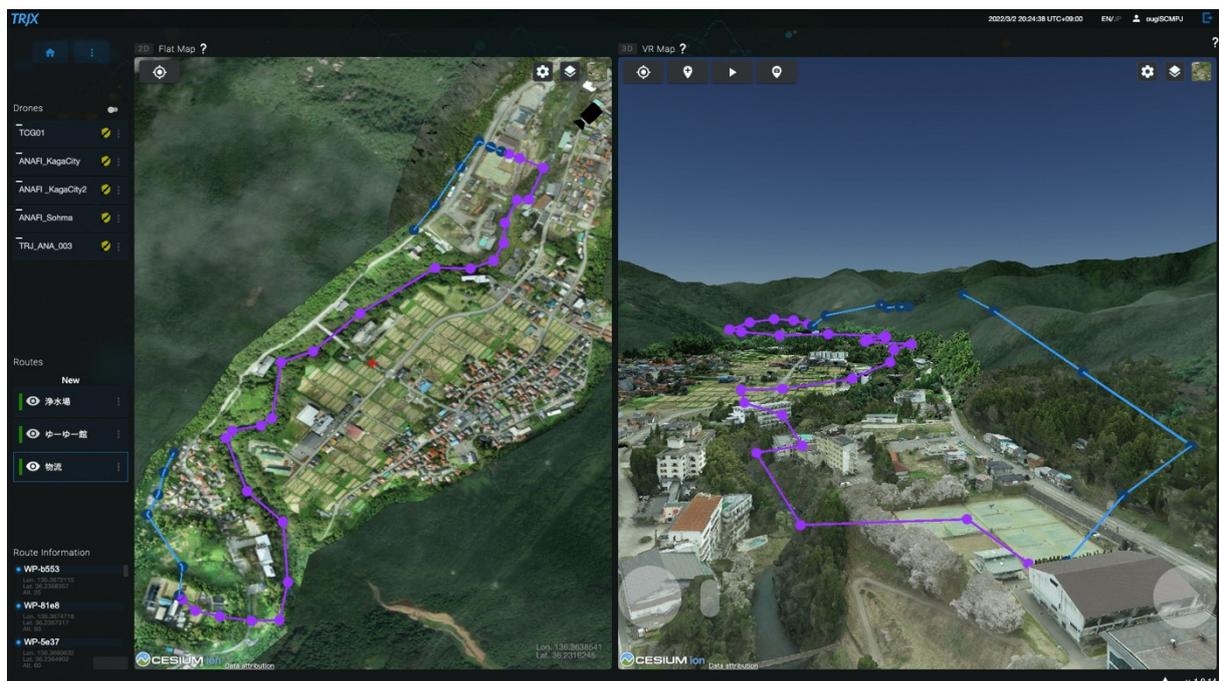
また実装に当たっては費用面についても検討を行う必要がある。ドローン飛行に係る費用についてはドローン購入費 150,000 円（現在市で保有しているものを参考）程度、ドローンパイロットに係るライセンス取得費 200,000 円（概算）程度が必要である。

本項冒頭で示したとおり、作業の省人化、安全性の確保の面で有効であると判断でき、また費用面についても、既に保有しているリソースを活用することができるため現実的である。また有効な飛行方法については、本実証で用いた管制プラットフォームを用いることで設定することが可能であり、プロのドローンパイロットでなくとも比較的容易にドローン飛行を飛行させ、状況確認を行うことができる。これらを踏まえて総合的に判断すると実装を検討することは可能であると考えられる。

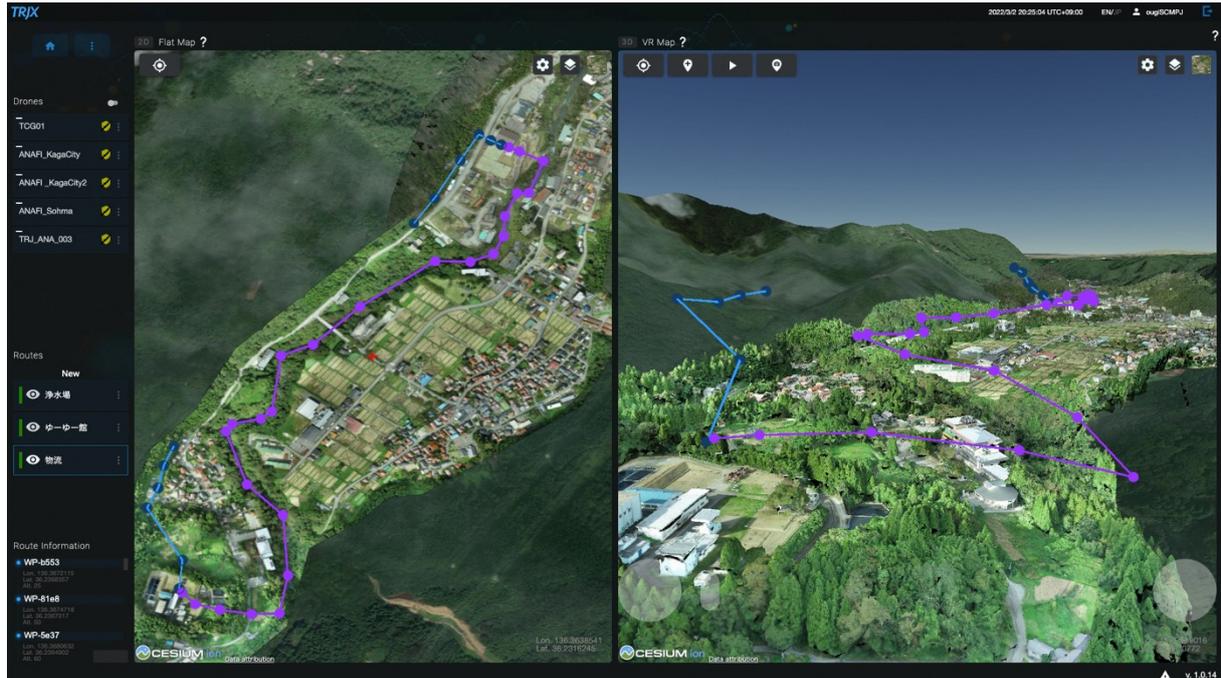
5.3 実験内容③【加賀市ドローン管制プラットフォーム活用と物資輸送】

今回の実証実験では山間部の国道 364 号が寸断されたことにより発生した孤立地域であることを想定した山中浄水場までゆーゆー館にて保管している救援物資（食料品）をドローンにて運搬する飛行を行った。

今回使用する物流機は Trajectory 社の Green Hill（以下 GH）を使用した。GH は TRJX 上で離陸・着陸などの操作を行うことができ、LTE の電波が受信できるエリアであれば、現地にパイロットが不在でもドローンの飛行を行うことができる。



物流飛行ルート TRJX 画面①



物流飛行ルート TRJX 画面②



物流機で積み込んだ救援物資画像

・実証実験③に関する考察

今回の実証においてはトラジェクトリー社製の機体を用いて実施した。物流に関しては状況把握の飛行ルートと異なるルートを設定し、飛行させたことにより安全に飛行することができた。また取り付けた物資については最大積載量を超えない重量で実施したことからこちらについても安全に飛行することができた。ドローンを用いた物資輸送については、現状では道路が寸断された際に孤立集落に物資を届けるためにはヘリコプター等を用いた輸送手段しかないことから、ドローンを用いて容易に輸送が行えることになれば、災害時において迅速性や省人化の観点から大変有効な手段となり得る、ただし、現状では積載できる荷物の重量が少ないことや、物資輸送が行える機体が限定的であることから実装まではまだ時間を要すると考えられる。

本実証ではドローンを用いた物資輸送を実施する際の事務フローについて確認することができ、今後実装が現実的となった際にスムーズに導入する際の下地作りを行うことができたものとする。こちらについては今回の実証実験の成果として物資輸送の事務フローについても記載した別添の「災害時におけるドローン利活用マニュアル」を作成した。

5.4<参考資料>実証実験撮影画像等

これまでに述べた実証実験①～③における本番でのドローン飛行映像、TRJXの画面を以下に示す。

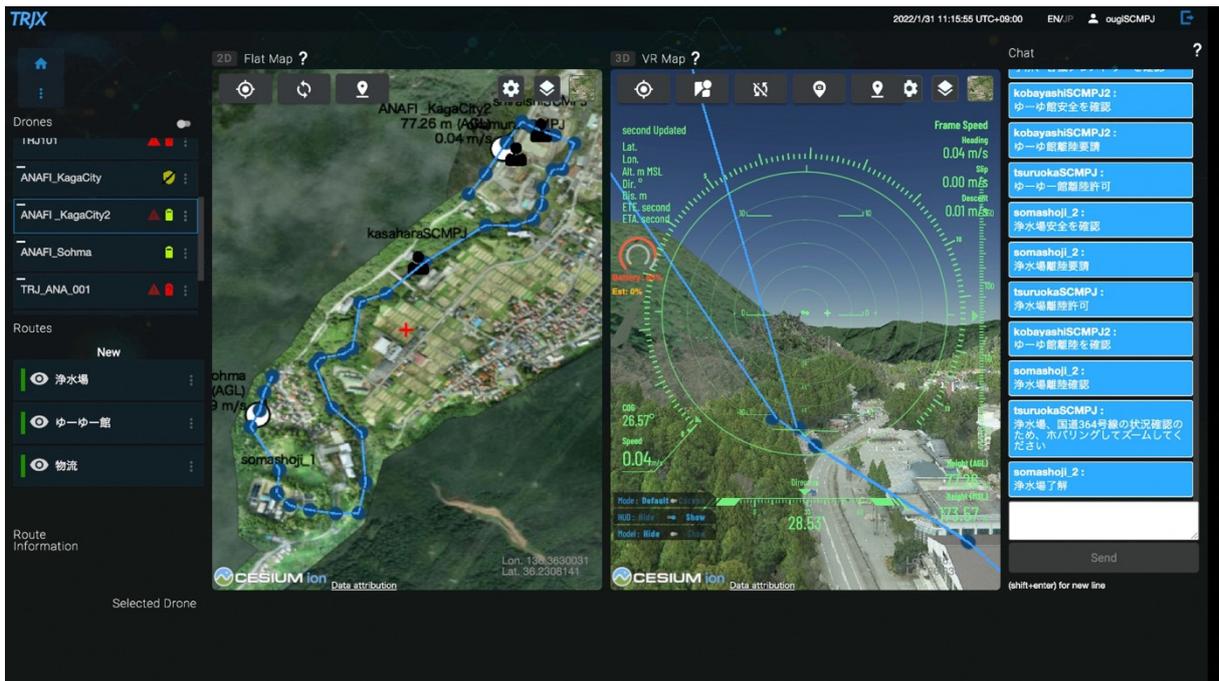
<災害状況把握飛行ルート映像>



浄水場側飛行ルートドローン映像①



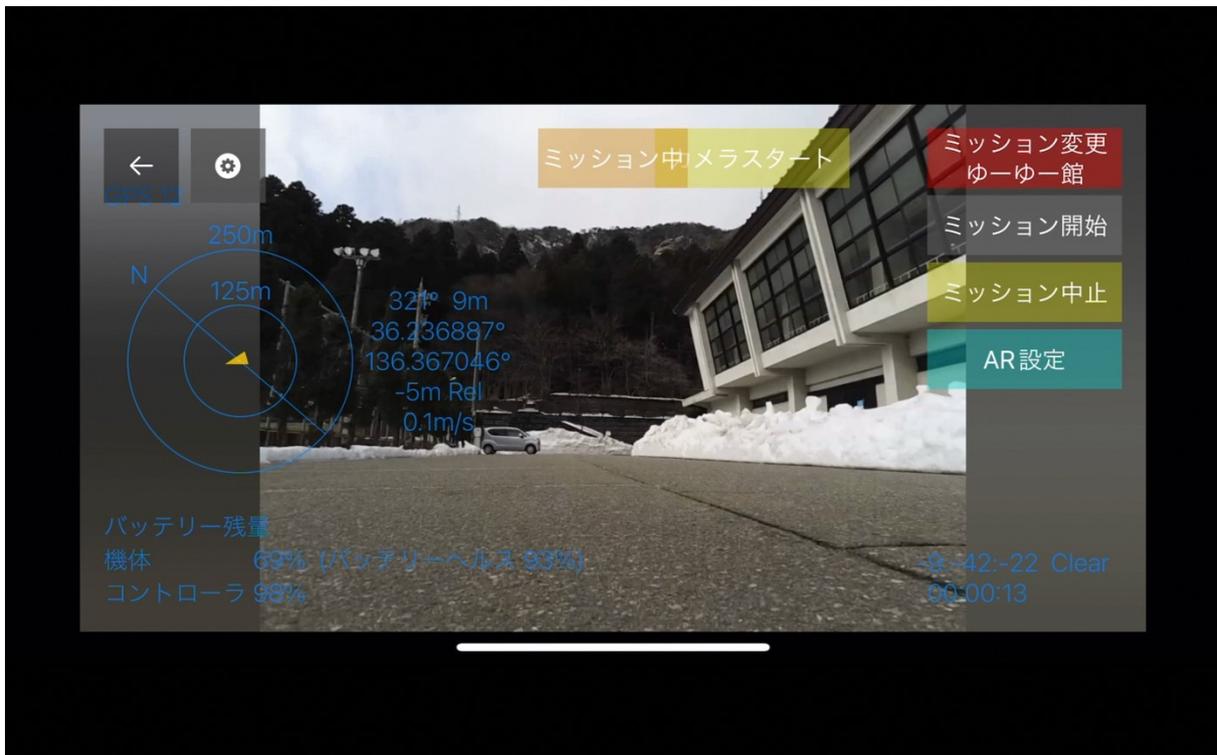
浄水場側飛行ルートドローン映像②



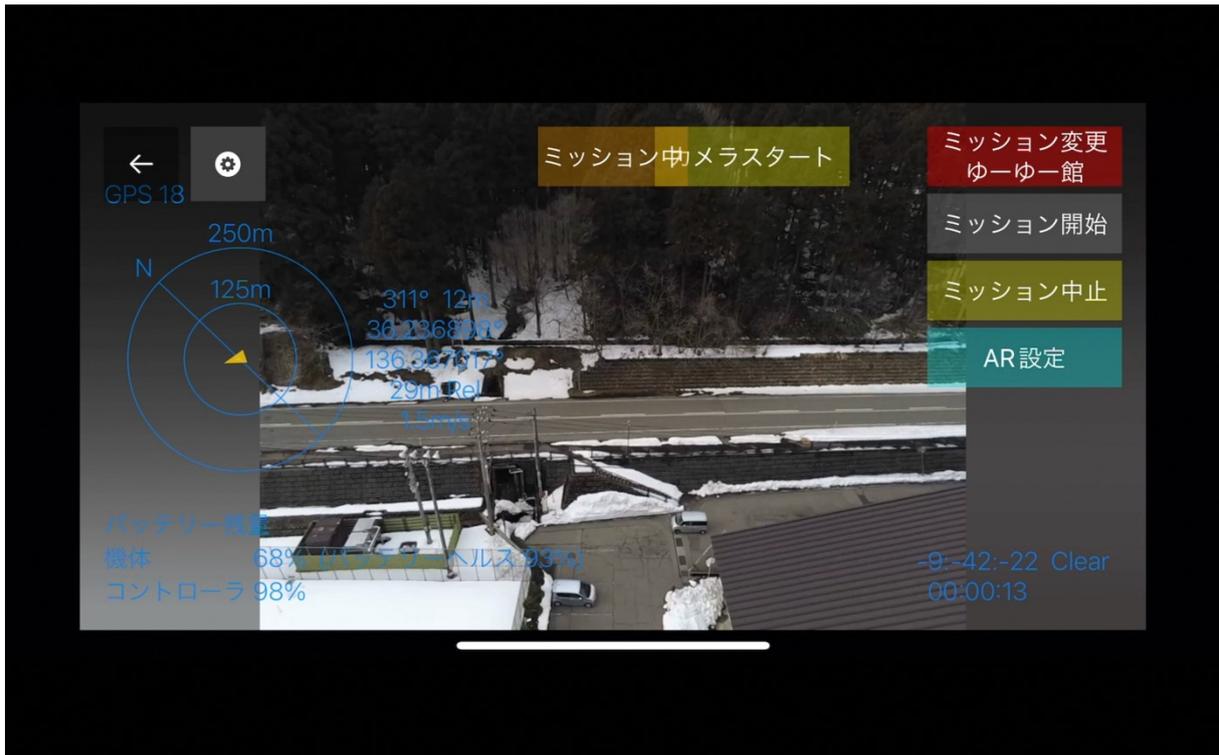
災害状況把握ルート TRJX 画面



浄水場側飛行ルートドローン（ズームアップ）映像③



ゆうゆう館側飛行ルートドローン映像①



ゆーゆー館側飛行ルートドローン映像②



ゆーゆー館側飛行ルートドローン映像③

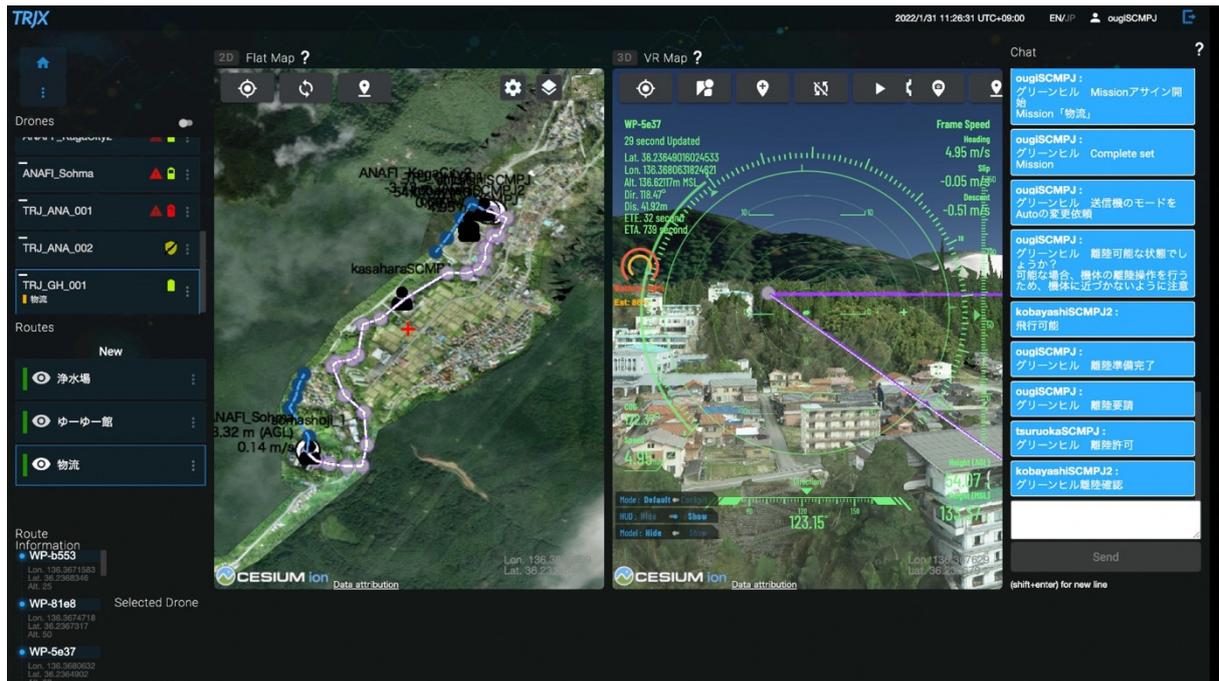
<物流飛行ルート映像>



物流ルートドローン映像①



物流ルートドローン映像②



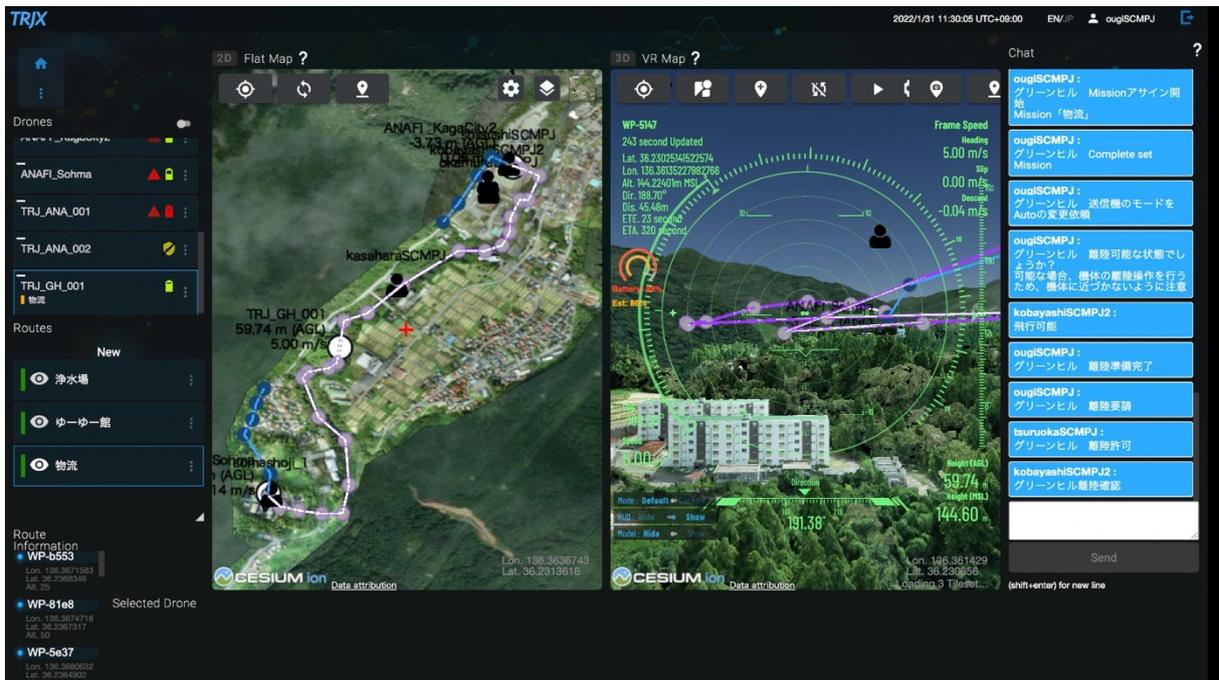
物流ルート TRJX 画面①



物流ルートドローン映像③



物流ルートドローン映像④



物流ルート TRJX 画面②



物流ルートドローン映像⑤



物流ルートドローン映像⑥



物流ルート着陸地点側、救援物資受け渡しの様子①



物流ルート着陸地点側、救援物資受け渡しの様子②



物流ルート着陸地点側、救援物資受け渡しの様子③

5.5 実証実験全体の考察

今回の実証においては3つの実験内容を実施した。各実証内容についての考察は各項目に記載したとおりである。

全体を通して言えることは、全ての実証において機器の機能やシステムの機能等、技術的な側面からは既に実装が可能ということである。現状実装不可能なのは、現行の法制度上実施が困難なものや、それに付随して対応する機器が一般的に販売されていない等の外部要因によるところが大きい。

法制度上の規制に関しては「空の産業革命に向けたロードマップ 2021」でも示されているとおり、今後段階的に整備が進められることとなっており、これに伴って対応した機器も一般化されることが予想される。

また、少子高齢化による人材不足や自然災害が激甚化する今日においては、先端技術の導入による業務の効率化や省人化は今後ますます求められることが予想されることから、今回の実証で確認できた内容よりドローンの利活用は大変有効な手段となると考えられる。

スマートシティの推進を図る上では、このような有効な手段を、法制度が整備された際に速やかに導入することが重要であると考えられ、そのためには実装を見越した実証実験や導入を見越した事務フローの検討等の準備が必要であると考えられる。またドローン等に関しては、今後様々な分野において利活用が進むことや「空飛ぶクルマ」についても研究開発が進んでおり、これらが実装されてい

くことが示されており、これらが複数台上空を飛行するためには空の移動に関するインフラである3Dマップや管制プラットフォームの整備も必要不可欠となってくると考えられる。

以上のことから、今回の実証を通して得られた知見やデータを基に、「災害発生時におけるドローン等利活用マニュアル」を作成し、本格的にドローンを災害発生時に利活用する際に迅速に対応できる体制の構築の一助としたいと考える。

6. 横展開に向けた一般化した成果

災害の発生を想定し、地域内の3Dマップの整備と管制プラットフォームを導入することにより、土砂災害が発生した際、ドローンを用いた災害対応が可能となる。また3Dマップの整備はドローンの飛行のみではなく、空飛ぶクルマが実用化された際にも利活用が可能である。またこれらの飛行には将来的に管制プラットフォームが不可欠であり、併せて導入を行うと効果的であると考えられる。

今回の実証実験内容②【ドローンによる災害状況把握】については、プロのドローンパイロットで無い人員であっても、株式会社トラジェクトリー製のAI管制プラットフォーム（TRJX）を用いることにより、ドローンを容易にかつ安全に飛行させることが可能であると確認することができた。また災害発生箇所の確認も様々な方法で映像撮影を行うことにより、どのような飛行方法・撮影方法がより被害状況の把握に適しているか確認することができた。そして、これら技術を用いることにより、被害状況の把握にこれまで必要とされていた人員と作業時間を削減することと、作業に係る安全性の確保が可能であることが確認できた。

また、実証実験内容①【ドローンによる被災地3D差分検知】においては、土砂に見立てた車両の体積を複数の飛行パターンを用いたドローンによって測量し、適切な飛行方法の確認と、条件付きではあるものの精度の高い結果を得ることが確認できた。これは災害発生時における復旧活動の迅速化に繋がり、ひいては住民の安心・安全に寄与するものであると考えられる。

また、従来の業務が効率化するのみではなく、これまで災害発生時には立ち入ることができなかった場所の状況確認や、物資の輸送も可能となることから、災害発生時における対策が強化されることにもなる。

以上のことから、3Dマップの整備、管制プラットフォームの導入、ドローンの利活用は自治体の災害対策として作業の効率化、省人化、安全性の確保、対策の強化に非常に有用であり、行政コストの削減と住民サービスの向上につながるものであると考えられる。

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

7.1 スマートシティの取組と併せて整備することで効果的、効率的に整備できる施設・設備

以下の整備等について提案する。

- ・ 域内全域の3Dマップ
- ・ ドローン管制プラットフォーム
- ・ ドローン機体
- ・ ライセンスを保有したドローンパイロット

「5.5 実証実験全体の考察」(P80)においても記載しているが、「空の産業革命に向けたロードマップ 2021」でも示されているとおり、今後ドローンや空飛ぶクルマ等について、法制度が整備されるとともに、実用化が益々進むことになる。スマートシティを推進するにあたっては、これらの新しい技術を導入することは必要不可欠であり、これらを利活用する際には3Dマップや管制プラットフォーム等の空のインフラが必要となる。また、今回の実証で実施したドローンを活用した災害時の対応については、行政自身でドローン機体や、パイロットを保有することで対応が迅速に行えるものとする。

7.2 施設・設備の設置、管理、運用にかかる留意点

以下の点について留意が必要である。

- ・ ドローン飛行に係るライセンスを有する人員の配置
- ・ 保有するドローンの保守やメンテナンス
- ・ 定期的な3Dマップの更新
- ・ ドローン飛行への住民理解
- ・ ドローン利活用を想定した事務フローの検討

7.3 地域特性に合わせた提案

東日本大震災やこれまで経験したことが無いような大型の台風等、いつどこで大きな災害が発生するか分からない状況から考えると、域内全域の3Dマップを作成することによりドローンを利活用した広範囲に渡る災害対応が可能となるが、同マップを全域作成するには時間や費用を要することとなる。

このため、予め災害が想定される箇所や、過去に災害が発生した箇所、山間部等の災害時にライフラインの寸断が予想される箇所に絞って3Dマップを作成することで、万が一災害が発生した際にドローンを活用した災害状況確認や救援作業が迅速に行えるようになる。

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13）報告書

加賀市スマートシティ推進官民連携協議会

令和4年3月
国土交通省 都市局