

令和5年度 地域デジタル基盤活用推進事業 (実証事業)

次世代長距離通信技術を使った山岳・中山間エリアにおける 課題解決サービス創出 実施報告書

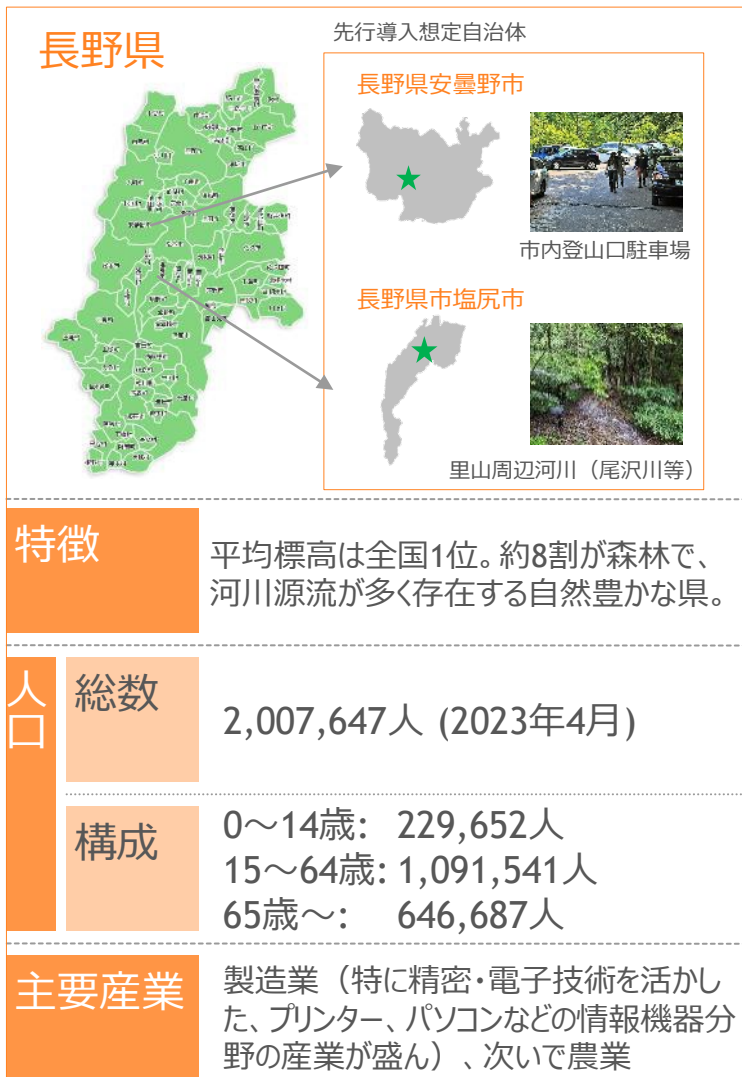
2024年4月16日

国立大学法人信州大学

目次

I.	地域の現状と課題認識	
1.	地域の現状	 2
2.	地域の抱えている課題	 3
3.	これまでの取組状況	 6
II.	目指す姿	
1.	将来的な目指す姿	 8
2.	目指す姿に向けたステップと実証の位置づけ	 9
3.	成果 (アウトカム)指標	
a.	ロジックツリー	 10
b.	成果(アウトカム)指標の設定	 11
III.	ソリューション	
1.	ソリューションの概要	 13
2.	ネットワーク・システム構成	
a.	ネットワーク・システム構成図	 16
b.	設置場所・基地局等	 17
c.	設備・機器等の概要	 18
d.	許認可等の状況	 19
3.	ソリューション等の採用理由	
a.	地域課題への有効性	 20
b.	ソリューションの先進性・新規性、 実装横展開のしやすさ	 23
c.	無線通信技術の優位性	 26
4.	費用対効果	
a.	ソリューションの費用対効果	 27
b.	導入・運用コスト引き下げの工夫	 36
IV.	実証計画	
1.	実証計画概要	 39
2.	実証スケジュール	 40
3.	実証前に想定したリスクと対応策	 41
4.	PDCAの実施方法	 42
5.	実証の実施体制	 43
V.	実証結果	
1.	実証時に発生した課題と対応策	 44
2.	実証で得られた成果	
①	全体概要	 45
②	結果概要	
a.	効果検証	 46
b.	技術検証	 48
c.	運用検証	 50
③	結果詳細	
a.	実証①高速移動体との通信実証	 52
b.	実証②災害現場でのリアルタイム映像配信	 61
c.	実証③駐車場監視	 71
3.	ソリューションの実装・展開に向けた主な課題と対応策	 83
4.	実証に要した経費	 84
5.	実証における費用対効果の実績と普及に向けた見立て	 85
VI.	実装・横展開の計画	
1.	実装計画・スケジュール	
a.	実装に向けた具体的計画	 88
b.	実装の体制	 91
c.	ビジネスモデル	 92
2.	資金計画	 95
3.	他地域への横展開の方策	 98
4.	普及啓発活動	 99
VII.	付録資料	 102

1 地域の現状



地域の現状の詳細

内容

A 起伏に富んだ地形と自然豊かな環境

- 周囲を標高3,000m級の高山に囲まれた平均標高の高い県（全国1位）。
- 県土の約8割が森林（全国3位）。信濃川や木曽川水系源流が多く存在。河川延長は7,000km以上（全国2位）など、自然豊かな環境を有する。

B 豊かな環境事業を生かした観光事業の推進

- 豊かな自然環境を生かし、長野県全体でアウトドア観光 / 山岳観光を推進。
- コロナ禍での“密”を避けた行動が好まれ登山者が増加している。

C 電波に不達エリアが多く存在

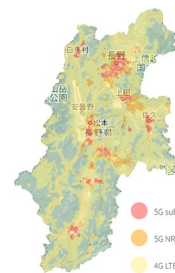
- 起伏にとんだ地形の影響でLTEの電波が届かないエリアが多く存在。
- よって、電波不達に起因する課題も多く存在する。

地域状況をイメージできるグラフ・図・表



Go Nature. Go Nagano.
長野県観光キャンペーン ロゴマーク

豊かな自然環境を
活かしたアウトドア
カルチャーを後押し



長野県内のLTEサービス状況
令和5年4月末時点
（au ホームページより抜粋）

② 地域の抱えている課題

課題①

【対象者】

a 山小屋
管理者

物資輸
送事業
者

登山者

【内容】

新たな物資輸送サービスの開発に向けた課題

- 山岳観光拠点として、また避難小屋として重要な役割を果たす山小屋への物資輸送は、ヘリコプターでの荷揚げが中心となっているが、長野県内でヘリコプター輸送を行う業者は少なく、限られた機体で多くの山小屋へ輸送している。このため、好天などの限られた運行可能日に荷揚げが集中し十分に物資が届かないなどの問題が生じているほか、令和元年には機体が故障し一時的に物資輸送が滞るトラブルが発生した(※1)。この経過を踏まえ、ヘリコプターの代替としてVTOL無人機への期待が高まっており、コンソーシアムに参画する川崎重工業(株)が、機体開発を行っている(※2)。
- VTOL無人機は無操縦者航空機に分類され、飛行中は地上で機体の位置・異常を把握することが社会実装において必要となっている。現状はLTEを活用しているが、山間部では運用に必要なLTE通信品質が不安定で機体の状態監視が困難なことが課題として挙げられており、信州大学に相談が寄せられている。

イメージ

(※1) 信濃毎日新聞社をはじめいくつかのメディアで問題が取り上げられている

「山小屋荷揚げ 1社頼み懸念
ヘリ故障で一部営業開始遅れ
(2019.8.4)」

<https://www8.shinmai.co.jp/yama/article.php?id=YAMA20190804012120>



(※2) 川崎重工業開発中のVTOL機



(左) 試作機。川崎重工業HPより

https://kawasakirobotics.com/jp/blog/story_15/



● VTOL機 想定ユースケース

<https://youtu.be/Da19osDXQWM>

(川崎重工業：近未来モビリティ/VTOL無人機K-RACER運用動画)

② 地域の抱えている課題

課題②

【対象者】 a 自治体・地域住民

【内容】 里山周辺の安全確保に関する課題

- 地球温暖化による豪雨等の影響もあり、長野県内の中山間地域では、土砂崩れなどの災害リスクが高まっている。長野県の土砂災害発生件数は平成24年から平成28年の5年間は116件、平成29年から令和3年の5年間は307件と急激に増加しており(※1)、人的被害のリスクもあることから、災害時の状況把握と迅速な対応がより重要な状況となっている。
- 土砂災害は、里山上流など、住居エリアから離れた場所で発生するケースも多いが、地形の影響でLTEの電波が弱いため、現状では状況を音声無線機等で伝えることしかできず、災害対策本部側に正しい情報が伝わらない、正確な判断ができない等のリスクが生じている。

課題③

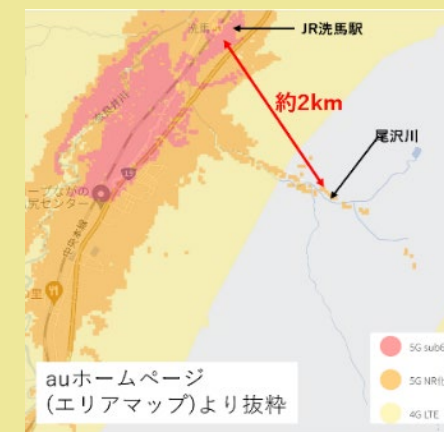
【対象者】 a 自治体、山小屋、登山者 等

【内容】 登山口周辺の安全管理に関する課題

- 登山ブーム・ソロ登山ブームの影響で自家用車を利用した登山者が増加。駐車場が満車になり、指定外区域への車両が増えている。これにより、緊急車両の通行困難、車の立ち往生、路肩損傷などの実害が生じている。
- トップシーズンは警備員を配置し交通整理をする登山口もあるが、予算面・人的リソースに限りがあることから、警備の代替としてカメラで状況を把握しホームページ上に掲載することや、公共交通の利用を促す仕組みを検討している。しかし、登山口周辺は、LTE電波が弱いため、LTEとは別の通信システム構築を含めた検討が必要となっている。

イメージ

課題②



左写真：過去に河川の氾濫が発生した塩尻市内を流れる尾沢川(社会実装想定エリア)
右図：尾沢川上流は駅まで数キロと近いが電波環境が悪く携帯電話などは利用不可

・長野県内の土砂災害発生状況について
<https://www.pref.nagano.lg.jp/sabo/infra/sabo/dosha/kiroku/index.htm>

課題③



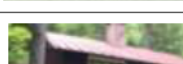
左写真：燕岳登山口 有明駐車場 満車時の指定外駐車 (燕山荘HPより抜粋)
右図：有明駐車場付近は電波が弱く、LTEでの駐車場監視が困難

対象者

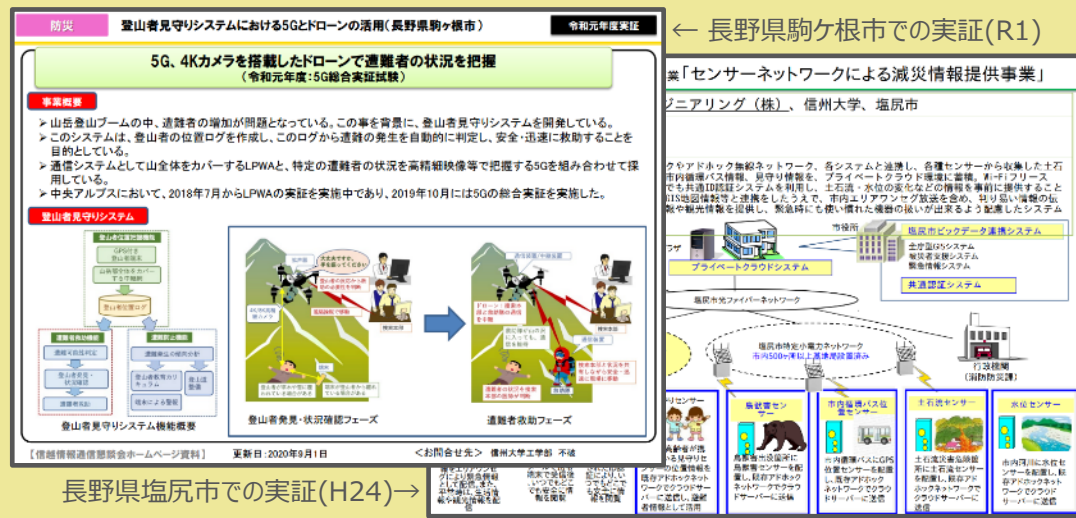
a 自治体・企業

- 山岳・中山間地域は、LTE電波が届かず、無線通信システムを含めたシステム構築が必要なケースがある一方、多くの自治体・企業では様々な通信システム活用の経験が浅く、通信特性や利用条件に合わせた適切な通信システムを選定できていないケースが見受けられる。
- 信州大学は、これまで様々な地域課題を解決する無線通信システムを開発し、必要な周波数帯の無線技術を適用してきた実績がある。また、低速度通信では混雑時に輻輳によって通信の遅れが生じるなどの課題があるため、輻輳を回避するプロトコルを開発している。
- これらの経験を踏まえ、本実証を契機に様々な通信システムを大学に用意し、自治体・企業に開放、各種見学会や勉強会を開催することで、通信技術への理解を深める場とするとともに、事業の横展開を行う。本学学生も実証に参画し、システム評価や現場検証を体験する機会の提供により、優秀な人材の育成、企業・自治体の人材確保にも役立てることを目指している。

イメージ

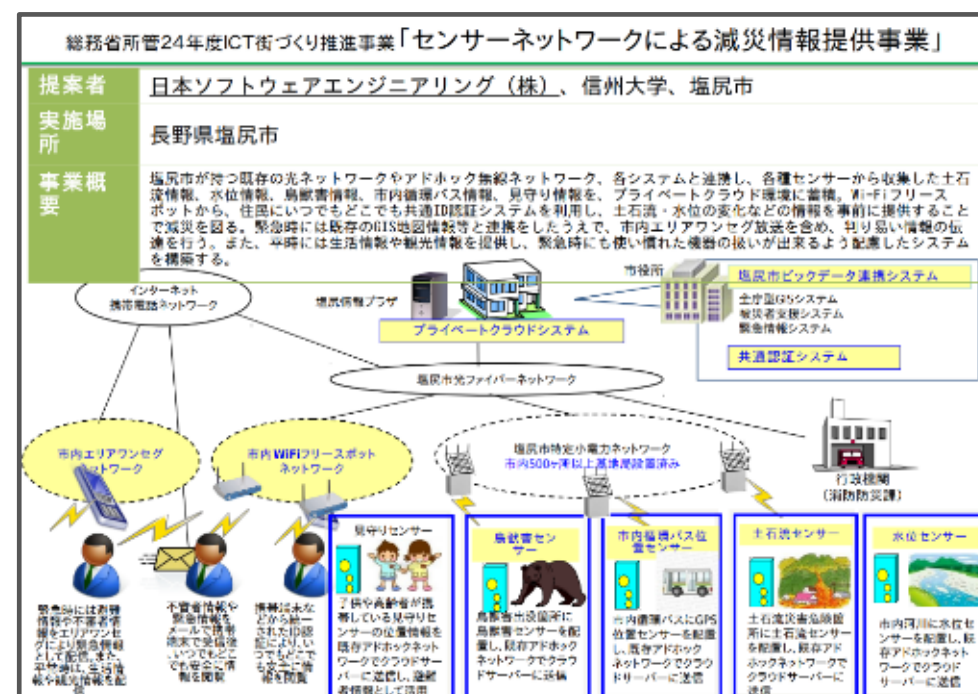
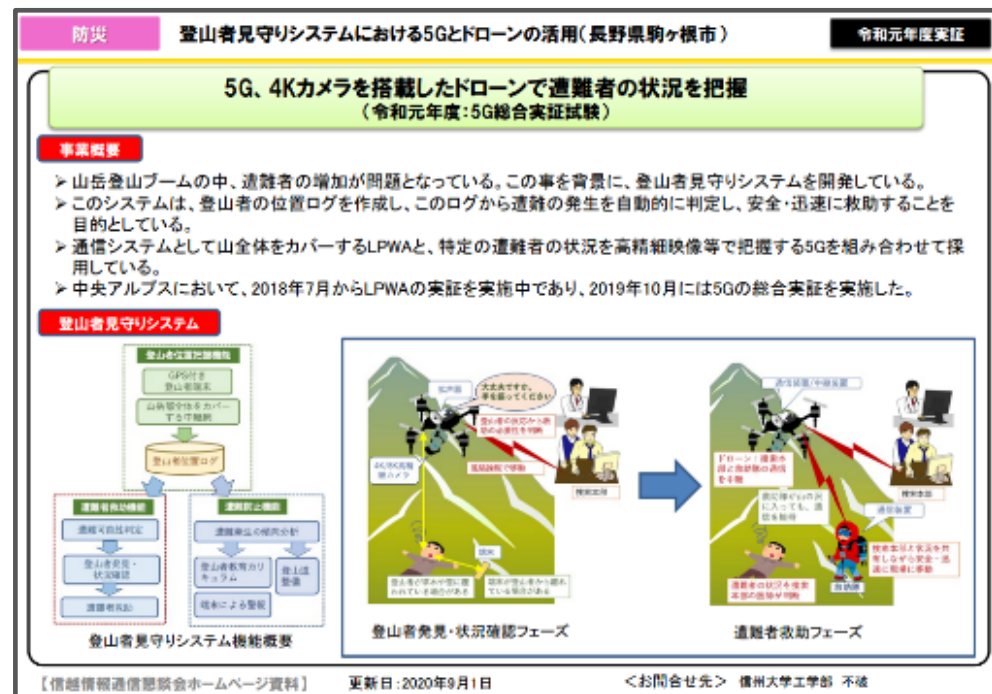
名称	写真	環境の特徴
松本キャンパス		周辺に民家・ビル等が立つエリア。 市街地を想定した実証で活用。 LTE 電波環境は充実。
農学部西駒演習林 (中央アルプス北部)		1,200-2,600m の標高を有する。 中山間地・高山帯を想定した実証で活用。 LTE 電波は稜線などの一部エリアで使用可能。
農学部西駒ステーション (中央アルプス北部)		演習林内にある観測拠点。 左写真のステーションのほか、観測小屋が2 拠点（ヒノキ小屋-標高 1,430m、シラベ小屋- 標高 1,950m）がある。 LTE 電波は使用不可。

信州大学での過去の実証実績（代表例）



③ これまでの取組状況（代表例）

- LPWAやローカル5Gなど様々な無線技術の研究開発や通信システム構築を県内自治体で実施した実績がある。
- 本実証で掲げる課題の解決については信州大学としては初めての試みとなるが、これまでのナレッジ・ノウハウを総動員して実証にあたる。



取り組み年度	令和元年度
取組み概要	LPWA/ローカル5Gを活用した登山者見守りネットワークシステムの構築と実証
成果	LTE通信が困難なエリアでの通信手段の構築 山岳登山者の見守りと救助支援の高度化
事業名	総務省 5G総合実証試験

取り組み年度	平成24年度
事業概要	特定小電力無線ネットワークシステムの開発とセンシング技術を活用した減災情報提供
成果	省電力ネットワーク技術の開発知見の獲得
事業名	総務省 ICT街づくり推進事業

3 (参考) 他地域での実施状況

	課題①（新たな物資輸送サービスの開発に向けた課題）に関する取り組み	課題②（里山周辺の安全確保に関する課題）に関する取り組み	課題③（登山口周辺の安全管理に関する課題）に関する取り組み
取組概要	ドローンを使った物資輸送の実証実験 (国内の山岳・中山間地では、ドローンによる物資輸送の実証実験が行われている。)	現地災害現場での目視確認と、無線機等による災害対策本部への情報伝達 (無線・トランシーバーによる状況伝達が行われている)	登山口駐車場への警備員配置 (トップシーズンは警備員を配置し交通整理を行うなどの対策を行っている。) 監視カメラ等による駐車場監視 (混雑状況を確認するための常時監視)
成果	新たな物流サービスの社会実装が加速 (配送困難地域や買い物弱者等に対する新しい物流サービスの提供が実現しつつある)	-	-
見えてきた課題	LTE通信が困難なエリアでの運行 (山岳・中山間地では、LTE通信が断絶するエリアが存在。LTE通信の活用だけでは機体の状態監視をすることが困難な状況。衛星通信の活用も検討しているが、現状では採算が合わず、別の手段の検討が必要)	正確な情報共有と状況判断が困難 (音声通信だけでは正確な情報が伝わらない) 画像・映像を中心とした状況確認ができない(新たな通信技術を活用した映像配信サービスが求められている) 二次災害のリスクが存在する。	人的リソースおよび財源不足 (人的監視はリソース・予算に限界がある) LTE通信が困難なエリアでの監視 (LTE通信を活用した監視カメラが設置できず新たなサービスが求められている)
事業名	-	(塩尻市での取り組み状況)	(安曇野市での取り組み状況)

1 将来的に目指す姿

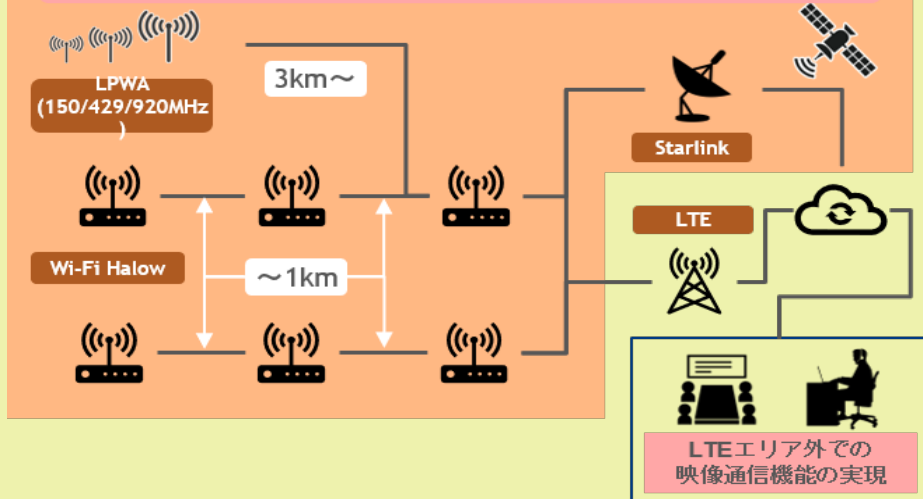
山岳・中山間地域における次世代無線通信システムの開発・構築と通信システムの利活用による地域課題解決

- インターネット接続エリアからLTE環境が整わない地点までインターネット環境を延伸し、位置情報などの各種センシングデータや映像・画像の配信が可能な伝送速度を担保した無線通信システムを構築する。
- 通信システム上では市街地エリアと同等のソリューションを活用することで、利用者が使い慣れたサービス、かつ低価格でのシステム導入を実現し、通信困難地域に存在する様々な地域課題解決を図る。

次世代長距離無線通信システムの開発・構築

- 特徴1** インターネット接続圏内までの数キロを補完する通信システム
- 特徴2** Wi-Fi Halowと輻輳回避プロトコルにより数Mbpsのスループット
- 特徴3** 電池式/移動式/マルチホップ方式で構成

山岳/中山間地域において、映像伝送可能な半径数キロのNWを迅速に構築



長距離無線通信システムの活用による 電波環境の悪い地域での様々な課題解決を行う

物流サービスでの活用



VTOL物資輸送サービス
実用化による山小屋への
新しい物資輸送サービスの
提供

災害時の活用



災害現場のリアルタイム映
像配信による災害対策本
部の状況判断高度化

山岳観光での活用



駐車場混雑状況の把握に
よる登山者への情報提要と
新たな輸送手段の提供など



自治体ニーズ
企業ニーズ収集

通信システム
テストベッド紹介

本実証で開発するサービスの横展開

新たなユースケースの発掘と通信システム
活用（新サービスの開発）

② 目指す姿に向けたステップと実証の位置づけ

2023~2027

実証

実装



通信性能強化

- ・ 距離の延伸
- ・ 高速化
- ・ 可搬性向上
- ・ 耐久性向上etc

運用コスト検討

- ・ 実用化コスト低減
- ・ 運用費用確保 etc

運用体制確立

- ・ 地域企業による運用可否検討 etc

社会実装

2023-

横展開

実証・テストベッド見学会開催

実証で開発したサービスの横展開や通信システムの新しい分野での活用を促すため、連携企業の開拓や新規開発などを促す見学会・勉強会を開催。



本実証で開発したサービスの他地域展開

本実証で開発した通信システム他分野での活用

地域・企業からの山岳・中山間エリアの課題解決ニーズに応じた3つの実証の実施と、通信性能の評価

- ・ (実証①) 高速移動体との通信実証
- ・ (実証②) 災害現場等のリアルタイム映像配信
- ・ (実証③) 駐車場監視実証
- ・ (横展開への取組み) 見学会の実施

通信性能（距離・速度・可搬性等）の機能強化および、実用化コスト低減、運用モデルなど設計した上で社会実装

- ・ 実装目標時期
 - 実証① VTOL実用化-2026年度
 - 実証② 災害現場等リアルタイム映像配信-2024年度(塩尻市)
 - 実証③ 駐車場監視-2025年度(安曇野市)

- ・ 信州DX推進コンソーシアム参画団体を中心とした見学会などの開催
 - ⇒ 通信システム利用拡大に向けた新たな地域課題収集とサービス開発
 - ⇒ 実装サービスの他地域への展開

II 目指す姿

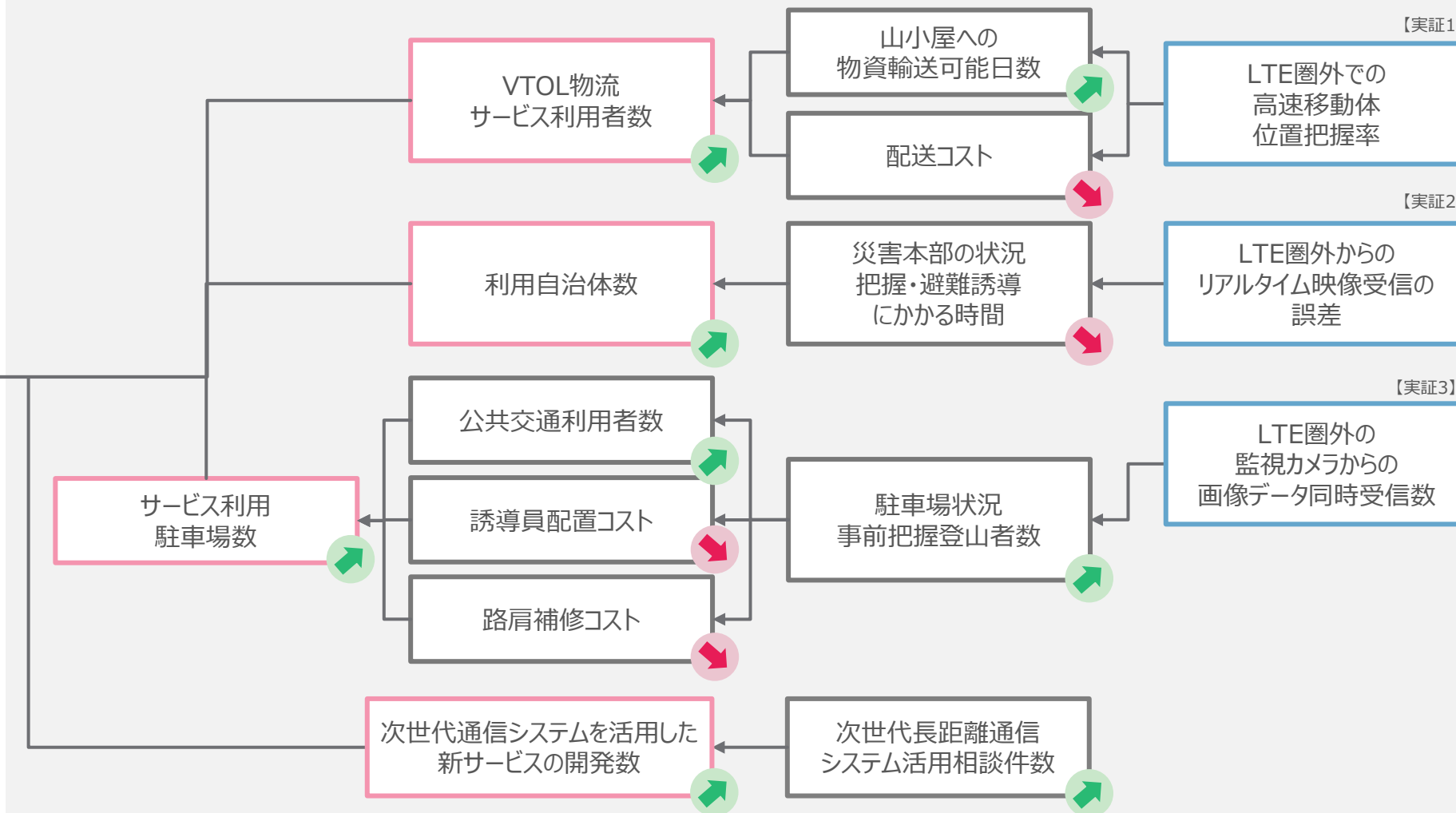
③ 成果 (アウトカム) 指標

a. ロジックツリー

最終アウトカム

通信困難地域の課題を新たな通信技術やサービスを創出し解決することで、山岳観光の魅力向上、山小屋の安定経営などの地域経済の発展や、里山での安全な暮らしの実現などの様々な価値を創出する

中間アウトカム



③ 成果 (アウトカム) 指標

b. 成果 (アウトカム) 指標の設定: 実装・横展開

成果 (アウトカム) 指標	現状値	目標値	目標値設定の考え方	測定方法
VTOL物流サービス実用化 サービス利用者数	0	2 (2027年)	2026年に川崎重工業が無人VTOL物流サービスの実用化。中央アルプス・南アルプスなどの主要アルプスでの実用化を想定。	物資輸送サービス利用契約件数を計測。
リアルタイム映像配信機能の実用化 利用自治体数	0	3 (2026年)	2024年に塩尻市での社会実装を予定。機能強化や実証見学会などを経て年1件のペースで他自治体(広域での共同利用も想定)にも横展開する。	信州大学が主体となり通信システムを提供した自治体数を計測。
駐車場監視サービス実用化 監視サービス設置数	0	2 (2026年)	2025年に安曇野市で実用化予定。機能強化や実証見学会などを経て新たな登山口駐車場にて利用。	信州大学が主体となり通信システムを提供した駐車場数を計測。
次世代通信システムを活用した新サービスの開発数	3	5 (2026年)	実証環境見学会や通信システム説明会を大学にて毎年年に数回程度開催。活用ワークショップなどを通じて新機能の開発に結び付ける件数を想定。	今回構築した通信システムを活用して実証したソリューション数を計測。

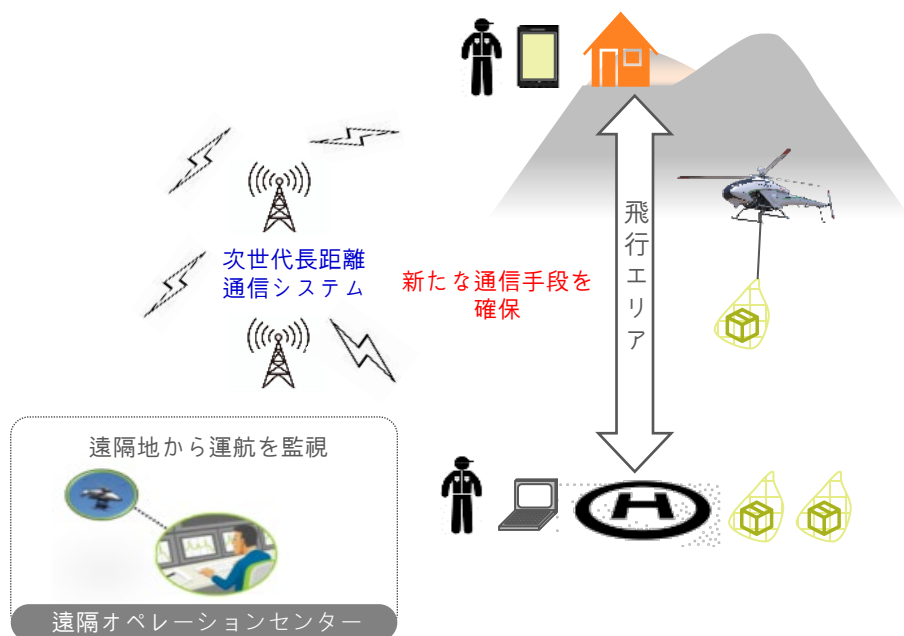
③ 成果 (アウトカム) 指標

b. 成果 (アウトカム) 指標の設定: 本実証

成果 (アウトカム) 指標	現状値	目標値	目標値設定の考え方	測定方法
LTE圏外での 高速移動体位置の 把握率	-	時速100kmの移動体位置把握率50%以上	移動体から送信される位置データ(40バイト程度)を1秒間隔で地上で受信し、機体位置を特定するものと想定。50%以上のデータを受信することで、許容誤差範囲内(半径100m程度)で機体位置を特定できるものとし目標値を設定。	移動体からの位置データ送信回数と、欠損なく受信できた回数をもとに把握率を算出
LTE圏外からの リアルタイム映像受信の 誤差	-	タイムラグ 2 分程度での映像配信	トランシーバー等での音声通信と映像配信との時間のずれを考慮し目標値を設定	映像配信時にタイムスタンプを付加することで、時間のずれを確認する
LTE圏外の 監視カメラからの 画像データ同時受信数	-	6 台以上の監視カメラからの同時取得	導入検討中の安曇野市内登山口駐車場を想定(※)し、6 台のカメラから15分に1枚を目安とした画像取得を目指し目標値を設定 (※) 導入を検討する燕岳登山口や三俣登山口は駐車場が第 1 ～ 第 3 駐車場までの 3 つのエリアに分かれている。各エリア 2 台のカメラを設置することを想定した。	映像配信時にタイムスタンプを付加することで、リアルタイムにデータを受信できているか確認する

1 ソリューションの概要

ソリューションの概要（VTOL物流サービス）



山岳・中山間地におけるドローンやVTOL無人機の飛行エリア全体または、LTE通信が断絶するエリアに限定し、次世代長距離通信システムを用いて通信網を構築し、遠隔地から機体の位置情報等を確認を行う。これにより安全性が向上し、経済的な通信手段を確保することができ、ドローンやVTOL無人機を活用した物資輸送が可能となる。

運用者

川崎重工業

サービス対象者

山小屋管理者・物資輸送事業者

主要機器、無線通信技術等の通信インフラ

主要機器：VTOL

無線技術：LPWA / Wi-Fi Halow / Starlinkなどを組み合わせた長距離無線通信システム

中間アウトカム (実証)

定量アウトカム

- LTE圏外での高速移動体位置の把握率：時速100kmの移動体位置把握率50%以上

定性アウトカム

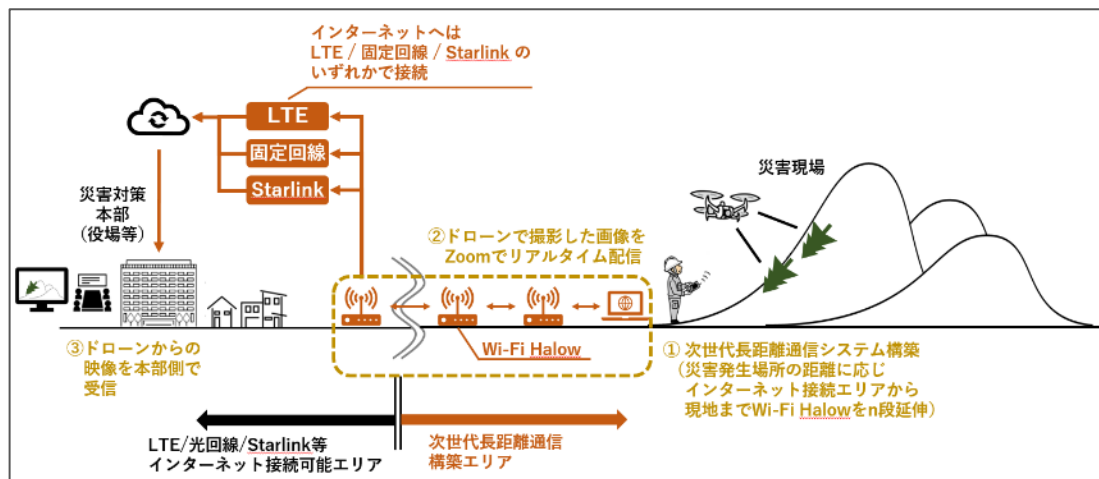
- -

中間アウトカムを改善するソリューションの価値

- LTE通信が困難なエリアでの運行が可能となる
(山岳・中山間地では、LTE通信が断絶するエリアが存在。LTE通活用だけでは機体の状態監視をすることが困難な状況。本通信システムの活用により、機体の監視ができるようになり無人飛行が可能となる)

1 ソリューションの概要

ソリューションの概要（災害現場等でのリアルタイム映像配信）



LTE環境が整わない中山間地域での土砂災害発生を想定し、現場の状況をドローン等で撮影したものを構築する次世代通信通信システム経由で災害対策本部にリアルタイム送信できるサービスを行う。

これにより、災害対策本部の状況把握までの時間短縮・避難誘導にかかる時間短縮などの災害対応の高度化を図ることが可能となる。なお、映像配信は、自治体で日常的に利用するzoomなどのツールを活用する。

運用者 自治体

サービス対象者 地域住民

主要機器、無線通信技術等の通信インフラ

主要機器：ドローン、zoom

無線技術：LPWA / Wi-Fi Halow / Starlinkなどを組み合わせた長距離無線通信システム

中間アウトカム (実証)

定量アウトカム

- LTE圏外からのリアルタイム映像受信の誤差：タイムラグ2分程度での映像配信

定性アウトカム

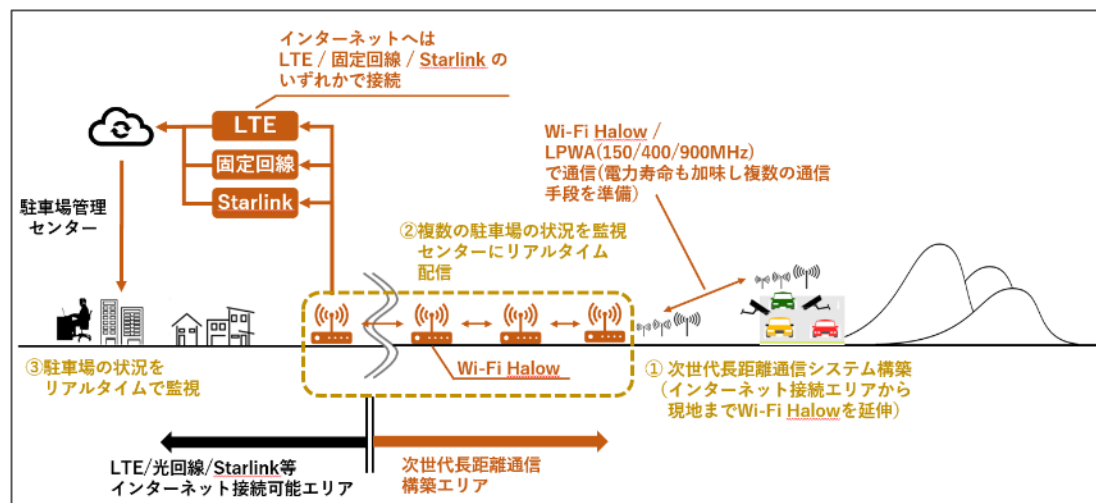
- -

中間アウトカムを改善するソリューションの価値

- 災害対応の高度化
従来は、無線やトランシーバーにより音声でのみ状況伝達が行われていたものに映像情報が付加されることで、災害現場の状況把握や避難誘導にかかる時間等を短縮する価値を提供する。

1 ソリューションの概要

ソリューションの概要（駐車場監視）



LTE環境が整わない山岳・中山間地域の登山口などにおいて、駐車場の混雑状況を可視化し、リアルタイムで駐車場管理者に通知するソリューションを提供する。
 これにより、自治体・山小屋経営者といった駐車場管理者が、登山者に向けて混雑状況を共有することが可能となる。
 また、情報の利活用により、バスやタクシーといった、公共交通の利用を促すなどの対策を実施することが可能となる。

運用者 自治体、山小屋経営者等の駐車場管理者

サービス対象者 登山者 等

主要機器、無線通信技術等の通信インフラ

主要機器：監視カメラ、エッジコンピュータ

無線技術：LPWA / Wi-Fi Halow / Starlinkなどを組み合わせた長距離無線通信システム

中間アウトカム（実証）

定量アウトカム

- LTE圏外の監視カメラからの画像データ同時受信数：6台以上の監視カメラからの同時取得

定性アウトカム

- -

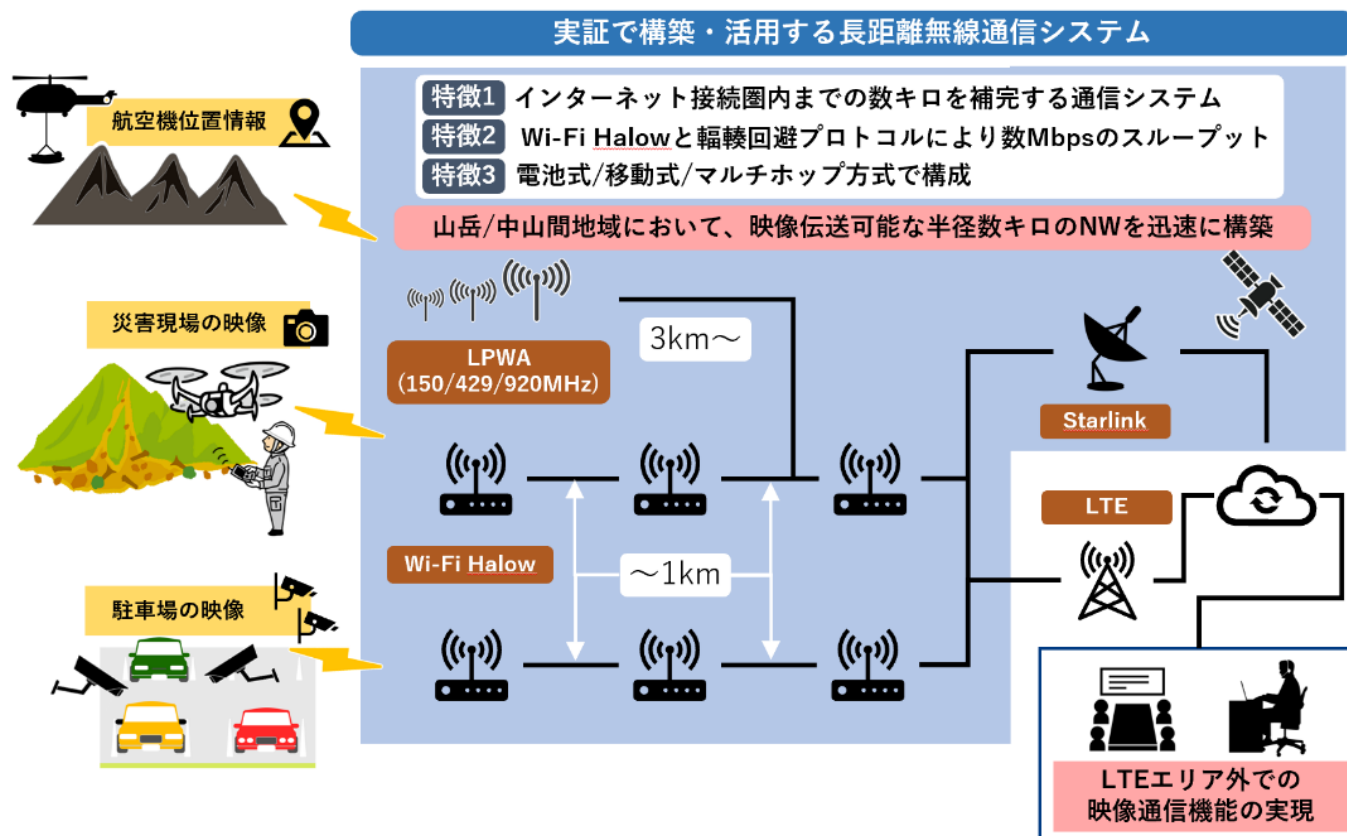
中間アウトカムを改善するソリューションの価値

- 山岳観光の魅力向上による登山者数増加
 登山者に駐車場状況を情報提供することにより、情報を把握できる山の魅力が向上し、登山者数増加などの経済価値を創出できる。

② ネットワーク・システム構成

a. ネットワーク・システム構成図

イメージ



説明

山岳・中山間地域はコスト面・環境面などの理由でLTE環境が整わないエリアが多い一方で、山岳エリアであれば稜線上まで、中山間地域であれば人里まで数キロネットワークを延伸することで、固定回線/LTE/Starlinkのいずれかに接続できるケースが多い。本実証は、この地域特性を活かしたネットワークを設計し、課題解決の可能性を検証するものである。

本通信システムはWi-Fi Halowおよび、信州大学が開発する輻輳回避プロトコルを導入することで、数Mbpsのスループットを実現しており、映像伝送が必要なレベルのシステムを利用できることが大きな強みとなっている。

これに加え、小型・低電力性などのWi-Fi Halow・LPWA の特性を生かし、バッテリー等で駆動する可搬性のある形態をとることで、平常時だけでなく、災害等の緊急時も迅速に設置可能なネットワークを構築することも、本通信システムの特徴である。なお、設置箇所によっては10km程度の長距離伝送が必要な場合も考えられるため、機器同士の接続はゲートウェイ接続とする。

② ネットワーク・システム構成

b. 設置場所・基地局等

イメージ

農学部 西駒演習林



松本キャンパス



② ネットワーク・システム構成

c.設備・機器等の概要

(別添エクセルを参照のこと)

② ネットワーク・システム構成

d. 許認可等の状況

許認可の種類

本実証ではWi-Fi Halow、Starlink、LPWA(150/400/900MHz)を利用して実証を行うため、通信関係の許認可は不要。

③ソリューション等の採用理由

a.地域課題への有効性

対象の課題	課題解決への有効性
課題1:新たな物資輸送サービスの開発に向けた課題	山間部では運用に必要なLTE通信品質が不安定でVTOL無人機の状態監視が困難なことが課題となっている。 VTOL無人機は無操縦者航空機に分類され、飛行中は地上で機体の位置・異常を把握することが社会実装の必須要件（地上での画像取得は不要(航空局に確認済み)）となっている。 本実証で、新しい通信技術を活用し、LTE通信の環境が十分ではない山間部等において機体の状態監視できることを確認し、VTOL無人機による物資輸送が可能であることで有効性を示す。

ソリューション 高速移動体との通信	
他ソリューションに対する優位性	
名称	比較
ヘリコプター輸送	輸送コスト、人員の確保の観点から、ヘリコプター輸送よりVTOL無人機による物資輸送に優位性がある。 山岳観光拠点として、また避難小屋として重要な役割を果たす山小屋への物資輸送は、ヘリコプターでの荷揚げが中心となっているが、長野県内でヘリコプター輸送を行う業者は少なく、限られた機体で多くの山小屋へ輸送している。このため、好天などの限られた運行可能日に荷揚げが集中し十分に物資が届かないなどの問題が生じているほか、令和元年には機体が故障し一時的に物資輸送が滞るトラブルが発生している。

③ソリューション等の採用理由

a.地域課題への有効性

対象の課題	課題解決への有効性
課題2:里山周辺の安全確保に関する課題	災害対策本部では、里山上流など、住居エリアから離れた場所で発生する土砂災害について、いち早く、映像で、現地の状況を把握したい。 LTE電波が弱いエリアと、電波が強いエリア（または固定回線、Starlinkとの接続ポイント）までの数キロを結ぶネットワークを迅速に形成できる可搬型の通信システムを構築することで、災害現場の映像を対策本部にリアルタイム配信できる有効性がある。 しかし、現状では状況を音声無線機等で伝えることしかできず、災害対策本部側に正しい情報が伝わらない、正確な判断ができない等のリスクが生じている。

ソリューション 災害現場でのリアルタイム映像配信	
他ソリューションに対する優位性	
名称	比較
音声無線	映像で現地の状況を災害対策本部に伝えることで、より正確な判断が可能となる優位性がある。 現状では状況を音声による情報だけでは、正しい情報が伝わらない恐れがある。

③ソリューション等の採用理由

a.地域課題への有効性

対象の課題	課題解決への有効性
課題3:登山口周辺の安全管理に関する課題	近年の登山ブーム・ソロ登山ブームの影響で自家用車を利用した登山者が増加し、登山口の駐車場が満車になり、路肩等の指定外区域への車両が増えている。この影響で、緊急車両の通行が困難、車の立ち往生の発生、路肩損傷などの実害が生じている。 危険を回避するためには、登山口へ通じる林道に入る手前で、収容可能台数を超える車両の流入を防ぐために、カメラで状況を把握しホームページ上に駐車場の混み具合掲載し、公共交通の利用を促すことが可能となる有効性がある。 本実証事業では、Wi-Fi HalowやLPWAなどの技術のほか、信州大学が開発する輻輳回避プロトコルを導入し、1つのネットワークでなるべく多くの映像を伝送する通信システムを構築し、登山口周辺の駐車状況を監視できるソリューションの実現を目指す。

ソリューション 駐車場監視	
他ソリューションに対する優位性	
名称	比較
警備員による監視	警備員の配置には、費用・人的リソースに限りがあることから、カメラによる監視ができることに優位性がある。

③ ソリューション等の採用理由

b.ソリューションの先進性・新規性、実装横展開のしやすさ

対象の課題	先進性・新規性	実装・横展開のしやすさ
課題1:新たな物資輸送サービスの開発に向けた課題	本実証では、新しい通信技術を活用し、LTE通信の環境が十分ではない山間部等において機体の状態監視ができることを目指す点で先進性がある。 VTOL無人機を活用した物資輸送事業は、これまで国内の民間事業において前例はない。本実証は、VTOL無人機の社会実装に必要な機体の状態監視機能を備えるための重要なソリューションとなる。また、社会実装時は、これまでの物流サービスを変革するインパクトを与えるサービスとなり得る。	ソリューション 高速移動体との通信 • コンソーシアムに参画する自治体が同様の課題を有するほか、同じ課題を持つ地域は多く存在することから、実証を長野県内5カ所の信州大学キャンパスが有する多様な環境で実施し、見学等を通じ多くの自治体・企業に横展開していく。 • 本通信システムを横展開する際は、カスタマイズは不要で、使用場所に応じて必要な機材数を購入するのみである。また、インターネット接続方法をLTE/固定回線/Starlinkの3種類用意することで、どの地域でも利用可能なシステムを目指している。 • 通信システム上で動作するアプリケーションは、ユーザが日常的に使用するアプリケーションをそのまま利用することを想定している。費用面・使いやすさなどの点で横展開時に優位に働くポイントの1つとなっている。

③ ソリューション等の採用理由

b.ソリューションの先進性・新規性、実装横展開のしやすさ

対象の課題	先進性・新規性	実装・横展開のしやすさ
課題2:里山周辺の安全確保に関する課題	本実証では、LTE電波が弱いエリアと、電波が強いエリア（または固定回線、Starlinkとの接続ポイント）までの数キロを結ぶネットワークを迅速に形成できる可搬型の通信システムを構築する点で先進性がある。 オンライン配信は市街地では日常的に行われているが、LTE環境の弱い場所では、衛星通信を使う方法以外に術がなくコスト等の理由で社会実装できていなかったものであり、新規性を有している。	ソリューション 災害現場でのリアルタイム映像配信 • コンソーシアムに参画する自治体が同様の課題を有するほか、同じ課題を持つ地域は多く存在することから、実証を長野県内5カ所の信州大学キャンパスが有する多様な環境で実施し、見学等を通じ多くの自治体・企業に横展開していく。 • 本通信システムを横展開する際は、カスタマイズは不要で、使用場所に応じて必要な機材数を購入するのみである。また、インターネット接続方法をLTE/固定回線/Starlinkの3種類用意することで、どの地域でも利用可能なシステムを目指している。 • 通信システム上で動作するアプリケーションは、ユーザが日常的に使用するアプリケーションをそのまま利用することを想定している。費用面・使いやすさなどの点で横展開時に優位に働くポイントの1つとなっている。

③ ソリューション等の採用理由

b.ソリューションの先進性・新規性、実装横展開のしやすさ

対象の課題	先進性・新規性	実装・横展開のしやすさ
課題3:登山口周辺の安全管理に関する課題	Wi-Fi HalowやLPWAなどの技術のほか、信州大学が開発する輻輳回避プロトコルを導入し、1つのネットワークでなるべく多くの映像を伝送する通信システムを構築し、登山口周辺の駐車状況を監視できるソリューションの実現を目指す点で先進性がある。 カメラによる監視等は市街地では日常的に行われているが、LTE環境の弱い場所では、衛星通信を使う方法以外に術がなくコスト等の理由で社会実装できていなかったものであり、新規性を有している。	ソリューション 駐車場監視 • コンソーシアムに参画する自治体が同様の課題を有するほか、同じ課題を持つ地域は多く存在することから、実証を長野県内5カ所の信州大学キャンパスが有する多様な環境で実施し、見学等を通じ多くの自治体・企業に横展開していく。 • 本通信システムを横展開する際は、カスタマイズは不要で、使用場所に応じて必要な機材数を購入するのみである。また、インターネット接続方法をLTE/固定回線/Starlinkの3種類用意することで、どの地域でも利用可能なシステムを目指している。 • 通信システム上で動作するアプリケーションは、ユーザが日常的に使用するアプリケーションをそのまま利用することを想定している。費用面・使いやすさなどの点で横展開時に優位に働くポイントの1つとなっている。

③ ソリューション等の採用理由

c. 無線通信技術の優位性

通信技術	ソリューション実現の要件を満たす通信技術の特徴
LPWA	一般的な電池で数年間運用可能な省電力性と、数kmから10kmを超えるエリアで通信が可能な広域性
WiFi-HaLow	長距離（～1Km程度）で最大1M～数Mbps程度の通信
輻輳回避 プロトコル	従来のCSMAプロトコルで送信を行い、送信に成功した場合に送信タイミングを記録し、タイミング決定端末となる。次回以降は同じタイミングを使う。全ての端末がタイミング決定端末となると、安定した通信を確保

他無線通信技術との比較

ソリューション 高速移動体との通信

低軌道衛星コンステレーション方式は、国内で移動式のサービスが提供されていない。（Starlink）
また、航空機で利用される静止衛星（Ku、kaバンド）でのWi-Fi用通信機器は、サイズ・重量的に搭載が難しいため断念した。

ソリューション 災害現場でのリアルタイム映像配信

ソリューション 駐車場監視

FWAなどの長距離無線技術の活用を検討したものの、どの機器も指向性が高く、災害現場などで簡易的な設置が難しいことや、周波数が高い製品のため見通しのきかない山間部は通信できないことがわかり断念した。

1 実証計画概要

目的

信州大学農学部西駒演習林および信州大学松本キャンパスにLPWA、WiFi-HaLowの複数の通信環境を用意し、高速移動体の位置情報の取得、山岳エリアを想定した一般的な利用されるソリューションによる映像配信、駐車場カメラ監視の実装に向けた実証を行う。

- 実装に向けて、山岳エリアで複数の通信方式を使用して、一般的なソリューション等の導入効果を検証
- 技術的に実装での運用が可能かどうか、位置情報、映像・画像の伝送時間を検証
- 実装後において、通信エリアの延伸について、実施体制と各種機器の操作性を確認し、実運用が可能か検証

アウトカム

LTE圏外での
高速移動体
位置把握率

LTE圏外からの
リアルタイム映像
受信の誤差

LTE圏外の
監視カメラからの
画像データ同時受信数



検証の概要

効果検証

- LTEエリア外の山岳エリアを広範囲に、安定して高速移動体の位置情報を取得可能か検証を実施
- LTEエリア外の山岳災害地域へ通信エリアを拡張し映像配信が可能か検証を実施
- LTEエリア外の複数の駐車場の状況把握のため、通信エリアを延伸し、複数のカメラの画像ファイルを取得可能か検証を実施

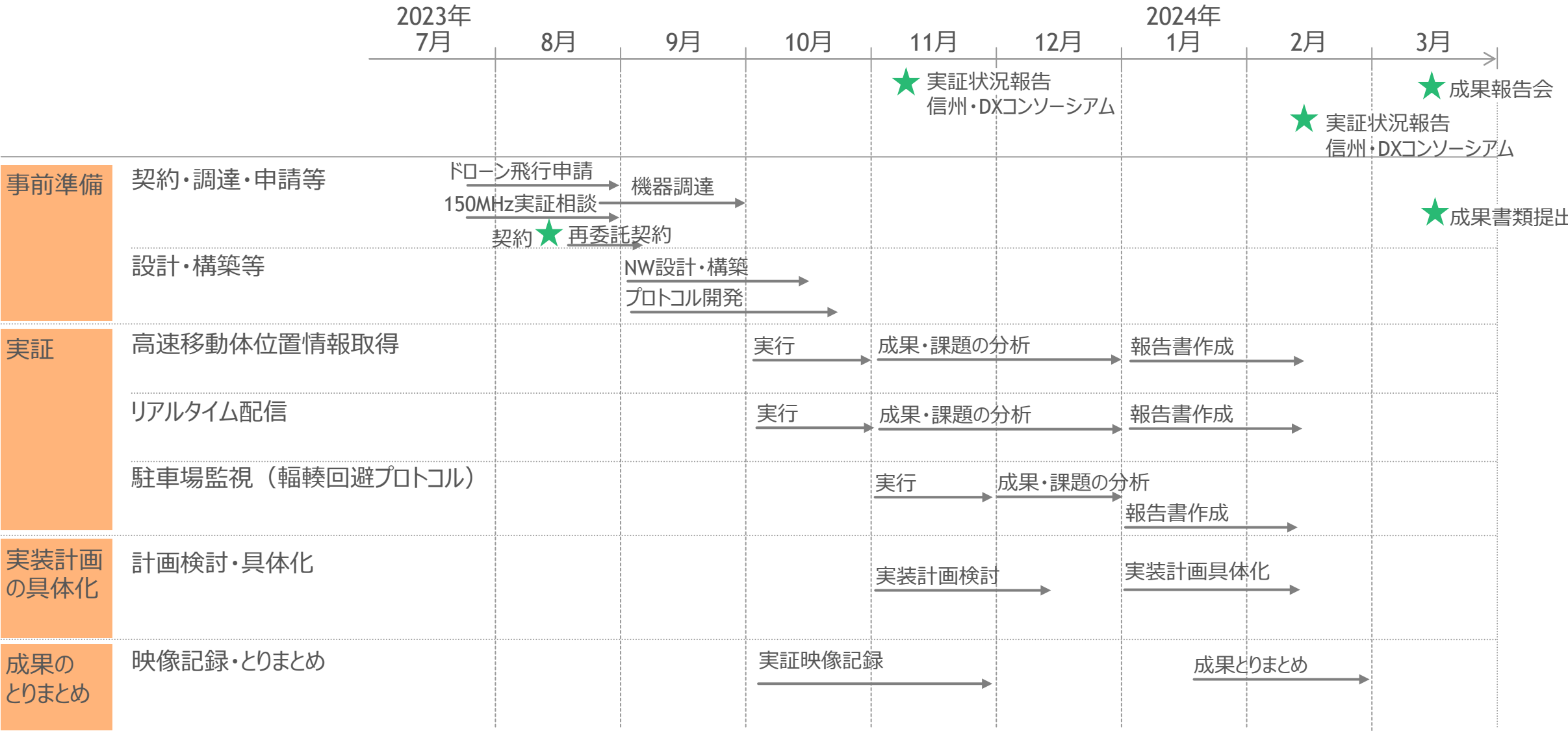
技術検証

- 高速移動体の位置情報の取得
高度、移動速度、取得にかかる時間
- 映像品質について、転送にかかる時間、画質について、災害状況の確認ができる品質かを検証
- 複数のカメラから、駐車場の状況を確認する画像ファイルを安定して、転送できるかを検証（輻輳回避プロトコル）

運用検証

- LTE等の通信エリアから通信エリアを延伸する全体オペレーションの検証
- 可搬型アクセスポイントの構成
- 設置から通信が確立するまでの時間

2 実証スケジュール



③ 実証前に想定したリスクと対応策

リスク			対応策
	項目	概要	
事前準備	(通信機器の納入遅れ) (HaLow中継機能開発遅延) (実施承認・許可の遅延)	通信機器の在庫切れ HaLow搭載機器の中継機能の開発遅延 150MHz帯の移動体への利用許可遅延 ドローン飛行高度150m超の許可申請遅延	在庫状況を確認し、契約でき次第、速やかに発注。 中継機能を使わない実証を優先して実施。 3周波数帯をまとめて実施する想定だが、利用許可が出ない場合は、150MHz帯を実施対象から除外。 申請と許可が間に合わない場合は、150mまで実施。
実証	降雪・道路閉鎖	西駒演習林は、11月上旬から道路閉鎖となり、降雪が見込まれる。	通信環境構築でき次第、速やかに実証を実施。
実装計画の具体化	イニシャルコスト ランニングコスト	実装に必要な費用が確保できない	外部資金の調達を検討
成果のとりまとめ	報告書作成遅延	各実証の報告書の作成が間に合わない	定例会等で進捗状況を定期的に確認する

4 PDCAの実施方法

課題把握を実施する体制

通常時

進捗報告

- 開催時期: 隔週
- 方法: メールまたはSlack
- 体制: 信州大学、NECネットエスアイ、川崎重工業
- アジェンダ
 - 準備・実証の状況確認
 - 緊急時でない課題の共有
 - 実装・横展開に向けた課題の炙り出し

月次進捗報告

- 開催時期: 月1回
- 方法: Web会議または、対面
- 体制: 信州大学、トラストネットワーク、NECネットエスアイ、川崎重工業
- アジェンダ
 - 準備・実証の状況確認
 - 緊急時でない課題の共有
 - 実装・横展開に向けた課題の炙り出し

緊急時

課題発生時の情報共有

- 実施条件: 全体進捗に影響を及ぼす問題が発生した場合
- 頻度: 問題発生当日中
- 方法: メールまたはSlack、必要に応じてweb会議開催
- 体制: 信州大学、実証総括

対策を立案・実行する体制

対策方針の議論・決定

- 実施条件: 進捗が予定よりも遅れた場合
- 頻度: 1月に1回（緊急性が高い場合、発生から1週間以内）
- 方法: Web会議または対面会議
- メンバー: 信州大学、トラストネットワーク、NECネットエスアイ、川崎重工業、実装を検討する自治体（安曇野市、塩尻市）

対策方針の議論・決定

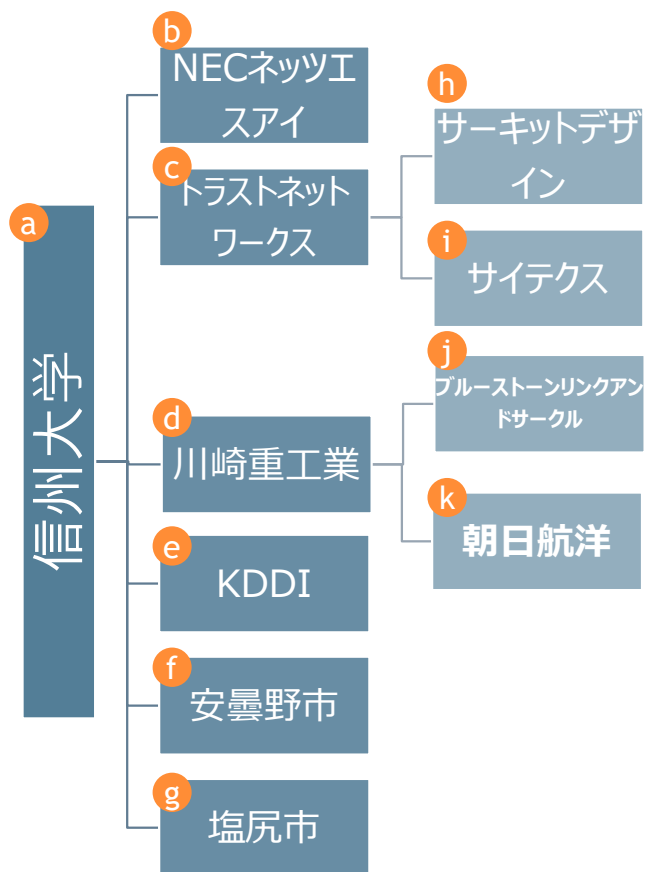
- 実施条件: 進捗が予定よりも遅れた場合
- 頻度: 1月に1回（緊急性が高い場合、発生から1週間以内）
- 方法: Web会議または対面会議
- メンバー: 信州大学、トラストネットワーク、NECネットエスアイ、川崎重工業、実装を検討する自治体（安曇野市、塩尻市）

対策方針の議論・決定

- 実施条件: 進捗が予定よりも遅れた場合
- 頻度: 1月に1回（緊急性が高い場合、発生から1週間以内）
- 方法: Web会議または対面会議
- メンバー: 信州大学、トラストネットワーク、NECネットエスアイ、川崎重工業、実装を検討する自治体（安曇野市、塩尻市）

5 実証の実施体制

実施体制図（概要）



団体名	役割	リソース	担当部局/担当者
a 国立大学法人 信州大学	プロジェクト全体管理 輻輳回避プロトコル実証統括	3名×8時間×10日 ×7ヵ月	経営企画部情報戦略室/増田
b NECネットエスアイ (株)	リアルタイム映像配信実証、 駐車場監視実証	2名×4時間×10日×7ヵ 月	東甲信越支社甲信支店/長谷 川
c (有)トラストネットワ ークス	LPWA、サーバ等 通信インフラ整備	2名×4時間×10日×7ヵ 月	代表取締役社長/樋口
d 川崎重工業(株)	高速移動体通信 実証統括	6名×8時間×10日×7ヵ 月	近未来モビリティ総括部グローバル マーケティング&セールス部/櫻井
e KDDI(株)	衛星通信	1名×2時間×10日	経営戦略本部地方創生推進 部/本間
f 安曇野市	駐車場監視 実装検討	1名×2時間/月×7ヵ月	政策部行革デジタル推進課/ 大堀
g 塩尻市	リアルタイム映像配信実装 検討	1名×2時間/月×7ヵ月	企画政策部デジタル戦略課/ 横山
h (株)サーキットデザイ ン	通信モジュール提供 検証アドバイス	-	代表取締役社長/小池
i (株)サイテクス	LPWA通信ソフトウェア開発	2名×4時間×10日×7ヵ 月	代表取締役/五十嵐
j 株式会社ブルーストーンリ ンクアンドサークル	通信品質調査 ドローン運航	2名×4時間×10日×2ヵ 月)	事業推進グループ/吉村
k 朝日航洋株式会社	ヘリコプター運航	2名×4時間×10日×2ヵ 月)	東日本航空支社 第二営業 部/磯

① 実証時に発生した課題と対応策

実証①～③

ソリューション	課題	対応策
高速移動体との通信	実証で使用したドローンのコントローラーとLPWAの通信帯域が重なり通信できない事象が発生した。	ドローン/LPWAで使用するチャンネルを変更することで解決した。
災害現場でのリアルタイム映像配信 / 駐車場監視	平地のテストエリアでの事前検証を行ったところ、2点の課題が発生した。 ①920Hzの通信帯域を使用する場合の仕様(10%比 duty)の影響で、動画配信が停止する事象が頻発する。 ②通信機器をホップし延伸すると、通信速度が大幅に低下する。	①10%比dutyにかからない最適な通信条件を調査検証することとし、本報告書にまとめることとした。 ②低下の状況やこれによる延伸限界数などを検証し本報告書にまとめることとした。

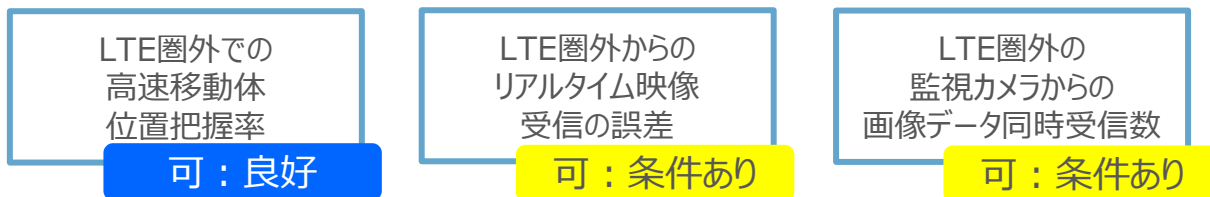
② 実証で得られた成果（①全体概要）

目的

信州大学農学部西駒演習林および信州大学松本キャンパスにLPWA、WiFi-HaLowの複数の通信環境を用意し、高速移動体の位置情報の取得、山岳エリアを想定した一般的な利用されるソリューションによる映像配信、駐車場カメラ監視の実装に向けた実証を行う。

- 実装に向けて、山岳エリアで複数の通信方式を使用して、一般的なソリューション等の導入効果を検証
- 技術的に実装での運用が可能かどうか、位置情報、映像・画像の伝送時間を検証
- 実装後において、通信エリアの延伸について、実施体制と各種機器の操作性を確認し、実運用が可能か検証

アウトカム



検証の概要

効果検証

- LTEエリア外の山岳エリアを広範囲に、安定して高速移動体の位置情報を取得可能か検証を実施 **可：良好**
- LTEエリア外の山岳災害地域へ通信エリアを拡張し映像配信が可能か検証を実施 **可：条件あり**
- LTEエリア外の複数の駐車場の状況把握のため、通信エリアを延伸し、複数のカメラの画像ファイルを取得可能か検証を実施 **可：条件あり**

技術検証

- 高速移動体の位置情報の取得高度、移動速度、取得にかかる時間 **移動速度影響なし、リアルタイムに受信**
- 映像品質について、転送にかかる時間、画質について、災害状況の確認ができる品質かを検証 **Dutyで画質は悪い、ほぼリアルタイムに送信**
- 複数のカメラから、駐車場の状況を確認する画像ファイルを安定して、転送できるかを検証（輻輳回避プロトコル）

時分割で輻輳回避し転送可能

運用検証

- LTE等の通信エリアから通信エリアを延伸する全体オペレーションの検証 **見通しがあることが前提となる**
- 可搬型アクセスポイントの構成 **2 Hopまで条件付きで可**
- 設置から通信が確立するまでの時間 **概ね現地到着後60分程度**

Starlink	20分程度
可搬型アクセスポイント	20分程度
ドローン等準備	10分程度
通信確認	10分程度

② 実証で得られた成果（②結果概要 a.効果検証）

a.効果検証

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
高速移動体との通信	I LTEエリア外の山岳エリアの高速移動体と通信できること	ドローン・ヘリコプターを使用し複数のLPWAで高速移動体と通信が確立できること (データ欠損50%以内)。	ドローンとヘリコプターを使用しLPWAの3つの周波数帯(150MHz/400MHz)を使って、複数の高度で電波強度を(※900MHzは、回折の効果が低いため、麓のみ実施)をデータ受信可能であるか確認 149、429MHz 良好	将来的な基地局の設置場所・間隔等の要件定義や設計で活用するため、シミュレーションを活用していく。今後の課題として、シミュレーションソフトの精度を上げていく必要がある。
	II LTEエリア外の山岳エリアで高速移動体の位置情報を取得	ドローン・ヘリコプターを使用し、複数のLPWAで高速移動時(～100Km/h程度)に位置情報を取得する	150Km/h 拡散率：SF7 で速度による影響なし 山頂付近の受信機のデータ欠損率 149MHz 55%、429MHz 50%	
災害現場でのリアルタイム映像配信	I LTEエリア外の山岳エリアからリアルタイムに映像配信ができること	LTEエリア外の山岳エリアからリアルタイム(2分以内)に映像を配信する	リアルタイムに配信 (ただし、見通しがよい場所に機器設置が必要など環境面の制約あり)	自治体職員が可搬型アクセスポイントの設置を容易にでき、通信エリアを延伸できるが、見通しのある区間である必要があり環境に依存する制約が大きい。
	II 容易に通信エリアを延伸できること	可搬型アクセスポイントを用いて通信エリアを延伸する	可搬型ポール・モバイルバッテリーで対応可能	

② 実証で得られた成果（②結果概要 a.効果検証）

a.効果検証

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
駐車場監視	I 複数の駐車場の画像をサーバに保存できること	WiFi-HaLowで15分に1回以上、駐車場の画像をサーバに保存できること	HaLow XGA画質6台分を総通信時間7分以内に保存可能	15分で2回の通信が可能と判明した。 広角カメラで高所から撮影することで混雑具合をよりクリアに判別することが可能となる。今後、山岳エリアで導入する際は、カメラの耐寒性や防塵性などの配慮も必要。
	II 駐車場の画像から複数の駐車場の混み具合が識別できること	サーバに保存された画像から6カ所の駐車場の混み具合を識別できること	HaLow XGA画質6台について、駐車場の混み具合を識別可能 LPWA QVGA画質6台分を20分以内に保存かつ、駐車場の混み具合の識別可能	

② 実証で得られた成果 (②結果概要 b.技術検証)

b.技術検証

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
高速移動体との通信	I 山岳エリアでのLPWAの通信条件	安定してLPWAで通信できること (データ欠損50%未満)	ドローン・ヘリコプターを使用し複数のLPWAの周波数帯(149MHz/429MHz/920MHz) 高速移動体との電波干渉の影響がないことを確認した。 ドローン・ヘリコプター 影響なし	飛行ルート上、山岳の裏手となるエリアが含まれているが、飛行高度を上げることでデータ欠損率は低減できると想定される。
	II 山岳エリアでのLPWAのデータ転送性能	LPWAでデータ転送できること (データ欠損50%未満)	山頂付近の受信機のデータ欠損率 149MHz 55%、429MHz 50% Loraの通信速度 200bps	稜線の遮蔽の影響が大きい
災害現場でのリアルタイム映像配信	I 山岳エリアでのHaLow延伸距離	HaLow対応機器2～3台構成で通信距離を500m～1Km以上延伸できること	可搬型の自立アンテナを使い、6m程度までの地上高で通信距離を検証 見通しのない山岳エリアで260m	山岳エリアで、地形(稜線等)、高さ20m以上あるような樹木の影響があり、通信距離を延伸するのは、難しい。
	II 山岳エリアでのHaLowの通信速度	HaLow対応機器2～3台構成で150～600Kbps通信速度が出ること	1Hop 2台構成 700kbps 2Hop 3台構成 1000Kbps	映像を伝送するには、4MHzのバンド幅が必要となる。 Dutyの影響で速度が低下するため、見通しのない稜線や樹木の影響がある場合は、映像伝送は、難しい。

② 実証で得られた成果（②結果概要 b.技術検証）

b.技術検証

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
駐車場監視	I 複数のカメラから一定時間内に画像の送受信ができること	6台のカメラの画像を輻輳回避して、事前に設定した順番に受信できること	輻輳回避させることで6台のカメラの画像を伝送する総通信時間が7分以内になることがわかった。 輻輳が発生する一斉通信の場合でも10分以内に画像を伝送できている。 WXGAの画質のファイルを15分以内に1回以上受信することは十分可能である。	輻輳回避プロトコルを組み込むことで、確実かつ効率的に画像を伝送できる。
	II 山岳エリアでのHaLow通信距離	HaLow対応機器 1対6台構成で500m以上の通信距離を延伸できること	松本キャンパス内で 中継機を介して570mまで延伸	見通しがないと通信距離が短くなる。

6台を時分割7分以内にXGA画像を受信

② 実証で得られた成果（②結果概要 b.運用検証）

c.運用検証

ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
高速移動体との通信	I 基地局の置局方法	山岳エリアで基地局を設置する手法を確立する	シミュレーション結果を組み合わせ、効率的に設置場所を選定できることが分かった。 構成可能	見通しの良い配置場所をシミュレーションを活用して選定していく必要があり、シミュレーションの精度を上げることが今後の課題となる。 強風・防水・防塵・防寒対策の必要がある。
	II 基地局への電源供給方法	山岳エリアで基地局に電源供給する方法を確立する	ソーラーパネルによる電源供給が可能であることがわかった。 LPWA3機、RaspberryPi3台で：11W	
災害現場でのリアルタイム映像配信	I LTE等の通信エリアから通信エリアを延伸する全体オペレーションの検証	1時間で映像配信を開始できること	Starlinkの地上局から、WiFi Halowで通信エリアを可搬型アクセスポイントで延伸する際の機器の設置、アンテナ等の設置、通信の確立、ドローンを使った映像配信までの一連のオペレーションが概ね30分で完了することができた。 市職員によるオペレーション可	災害発生時に、安全の確保できるスペースで実施する必要がある。 2次災害とならないよう安全配慮が必要。

② 実証で得られた成果（②結果概要 b.運用検証）

c.運用検証

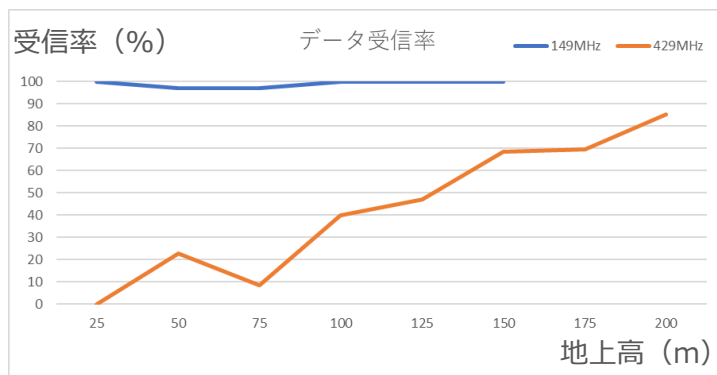
ソリューション	検証ポイント		検証結果	考察
	項目	目標		
駐車場監視	Ⅰ 設置方法	駐車場施設に容易に取り付けできること	照明等の既設のポールに容易に取り付けることが可能であった。 構成可能	強風に耐えられるよう確実に固定する必要がある。 高さに応じた安全対策が考慮する必要がある。
	Ⅱ 必要な電源の確保	山岳エリアで基地局に電源供給する方法を確立する	基地局とカメラ等の電力消費量を測定する。 WiFi HaLowとRaspberryPi : 3W 上記 + カメラ動作時 : 5W	

天候の影響あり、
安定した可用性の確保は継続課題

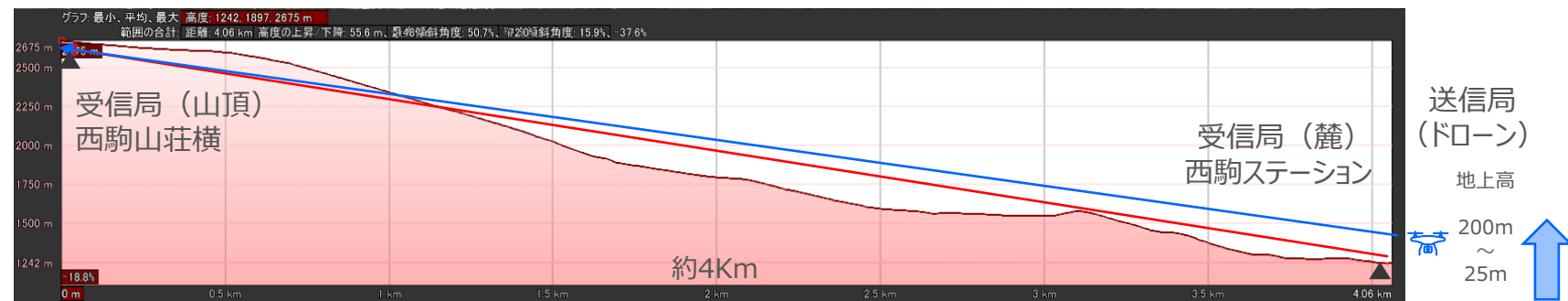
② 実証で得られた成果（③結果詳細 a.実証①高速移動体との通信実証）

ドローンを使ったLPWA通信実証

- 成果① ドローン直下の受信局（麓）との通信は、3周波数帯ともにほぼ100%データを受信できた。
- 成果② ドローンから見通せない山頂付近の受信局（山頂）との通信では、地上高25m～において
- ・150MHzは実施した150mまでの高さで、ほぼ100%受信できた。
 - ・429MHzは高く上がるほどに、受信率が高くなる傾向となった。（地上高200mで約85%受信）
 - ・今回実施していないが波長が短い920MHzでは、さらに、受信率が低くなることが予想される。
- 成果③ 稜線を越える場合、特に複数の稜線を越えるような地形では通信は困難となる、できるだけ見通しのとれる高度から通信できることが望ましい。（64ページにて説明）
- 成果④ 実証の結果と比較して、シミュレーションの結果が、最悪値に近い形で表示されていることがわかった。（60ページにて説明）



地上高に対する受信成功率



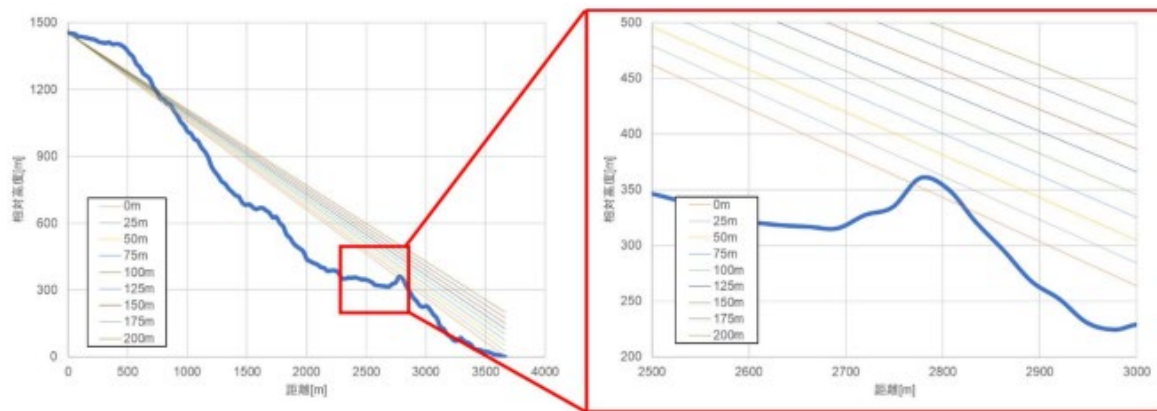
受信局（山頂）、受信局（麓）と送信局（ドローン）の位置関係

② 実証で得られた成果（③結果詳細 a.実証①高速移動体との通信実証）

飛行ポイントおよび中継機設置箇所を含む主要地点の位置関係と、詳細な分析のための断面の定義を示す。また、赤実線は稜線である。図2および図3に断面A（ドローン検証の円旋回を中心地点から中継機方向）、断面B（ドローン検証の円旋回を中心地点から将基頭山山頂方向）への地形断面図をそれぞれ示す。



② 実証で得られた成果 (③結果詳細 a.実証①高速移動体との通信実証)



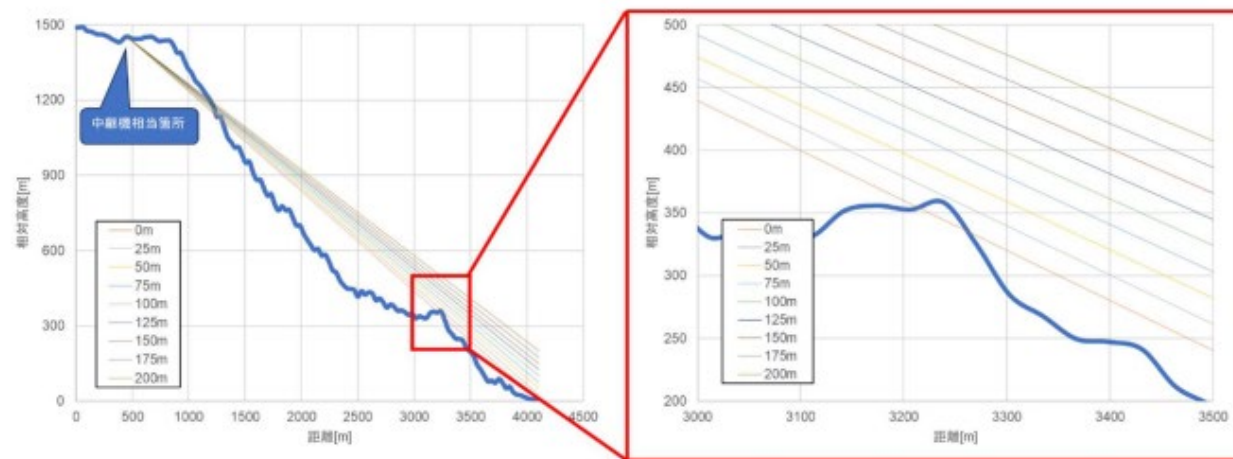
断面A

本実証における最高高度 200mでは完全な見通しを確保することはできないが、飛行高度の上昇に伴い、回折効果によってある程度の通信は可能であることが明らかとなった。

受信率 100%の 150MHz 帯に対し、429MHz 帯の波長は倍以上異なり、回折効果も低い。そのため、920MHzの場合には、さらに通信が困難になることが予想される。

429MHzについての考察

断面A、断面Bについて、図中の距離 0 の位置がそれぞれ受信機および山頂であり、高度はドローン浮上地点を基準とした相対高度とした。本結果より、500m付近と2,800m付近に存在する稜線がデータが受信できない要因となることが明らかとなった。



断面B

② 実証で得られた成果（③結果詳細 a.実証①高速移動体との通信実証）

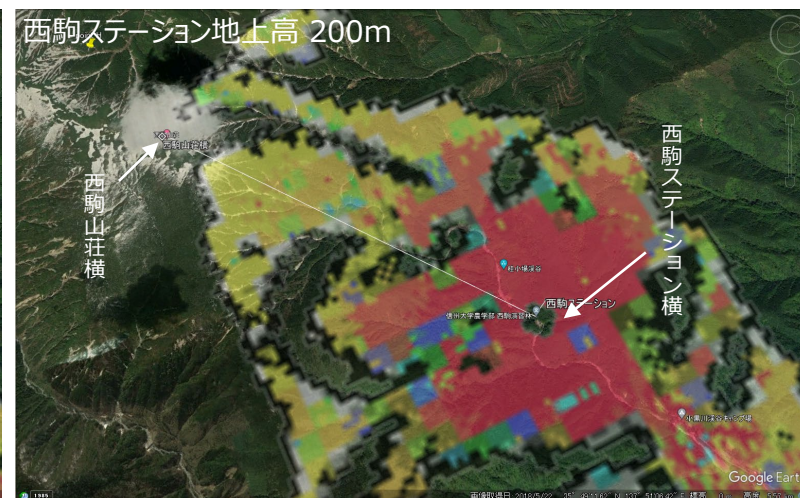
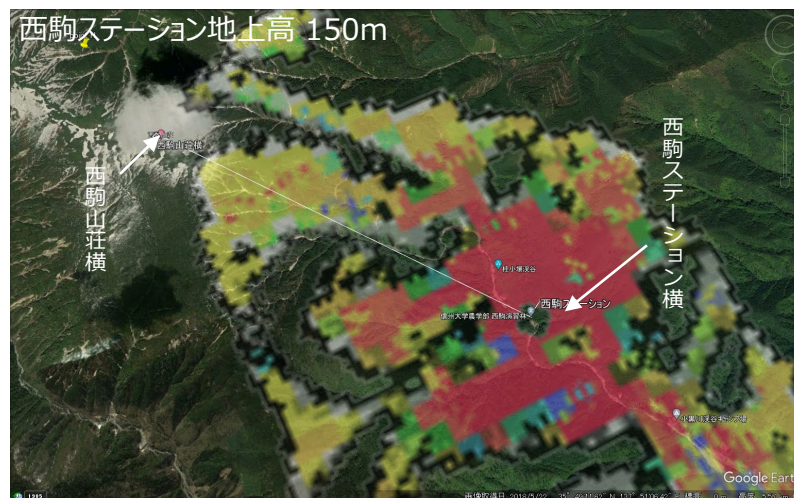
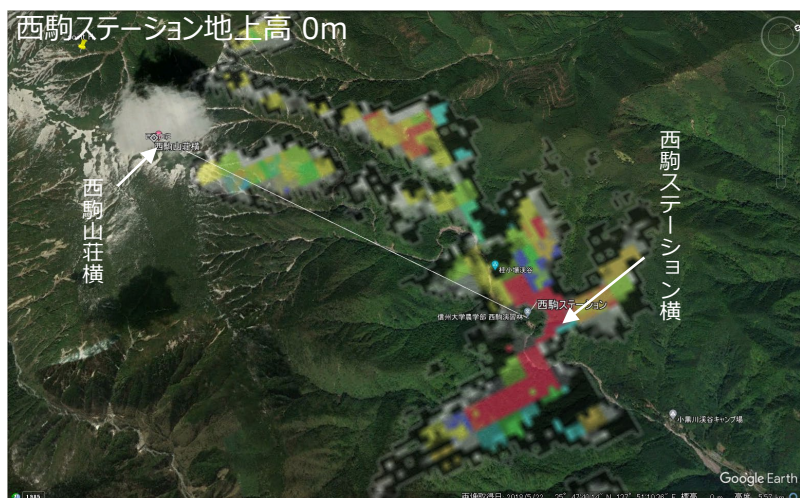
429MHz帯シミュレーション（Radio Mobile）結果からの考察

山岳エリアで最適な受信ポイントを効率的に選定する必要があると判断し、シミュレーションを行うこととした。精度が上がれば、机上検討で判断が可能となると想定している。

西駒ステーション付近から発信した電波を西駒山荘付近で受信できるか、高度を変えてシミュレーションを行った。シミュレーション、実測ともに送信機の高度を上げることで実測では、高度200mで85%程度の受信率だったが、シミュレーションでは、受信できないエリアとなり、より厳しい結果（通信圏外）となった。

今回のシミュレーションでは、実測値より厳しい結果となることから、シミュレーション結果を用いて見通しのある飛行ルートを設定することが可能であると想定している。シミュレーションの精度を上げることを今後の課題とする。

429MHz



② 実証で得られた成果（③結果詳細 a.実証①高速移動体との通信実証）

ヘリコプターによるLPWA通信実証

成果① 受信局と見通しのとれる位置を飛行することで、実用運用可能であることがわかった。

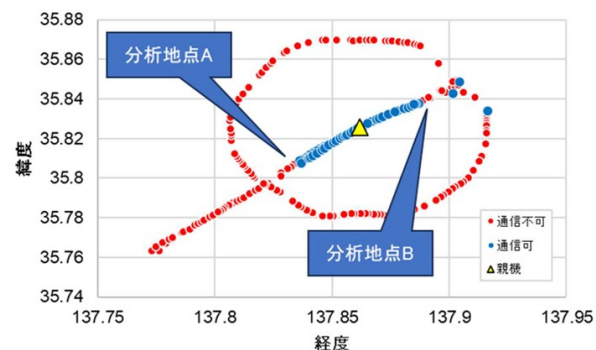


図 6 親機における受信状況(429MHz帯、100km/h、1 回目)

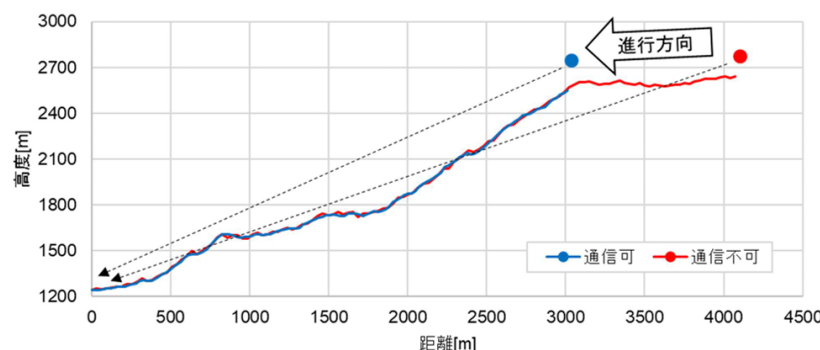


図 7 分析地点 A～親機間の地形断面図(通信不可から可に変化)

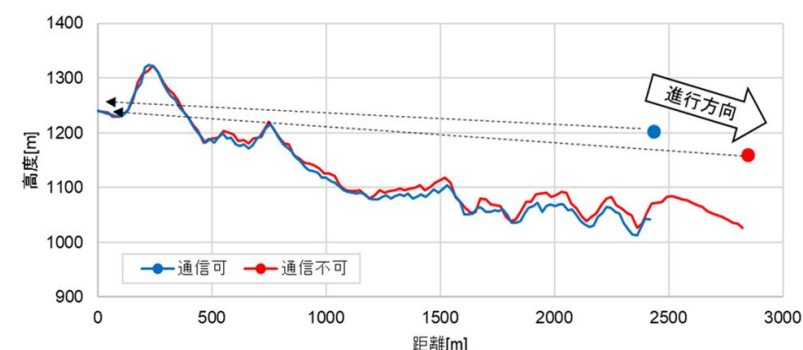


図 8 分析地点 B～親機間の地形断面図(通信可から不可に変化)

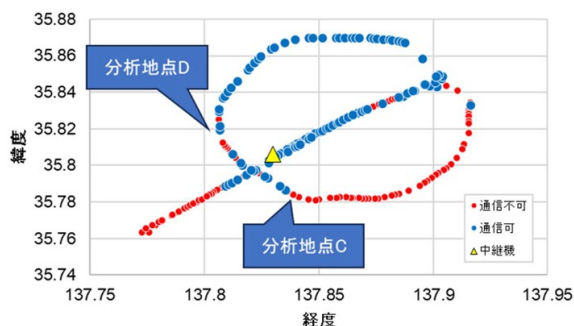


図 9 中継機における受信状況(429MHz帯、100km/h、1 回目)

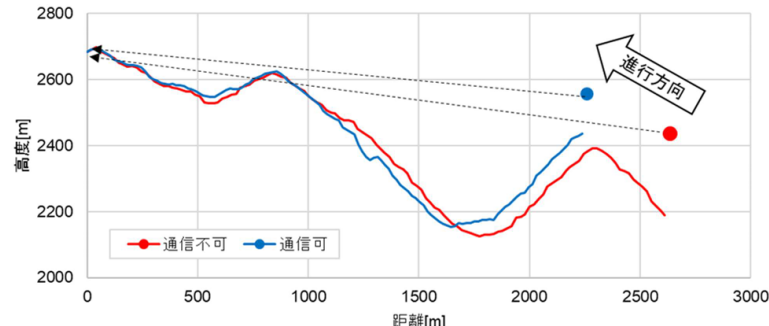


図 10 分析地点 C～中継機間の地形断面図(429MHz帯、100km/h、1 回目、通信不可から可に変化)

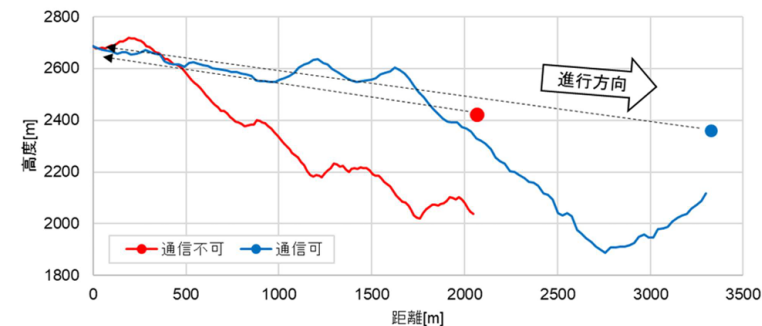
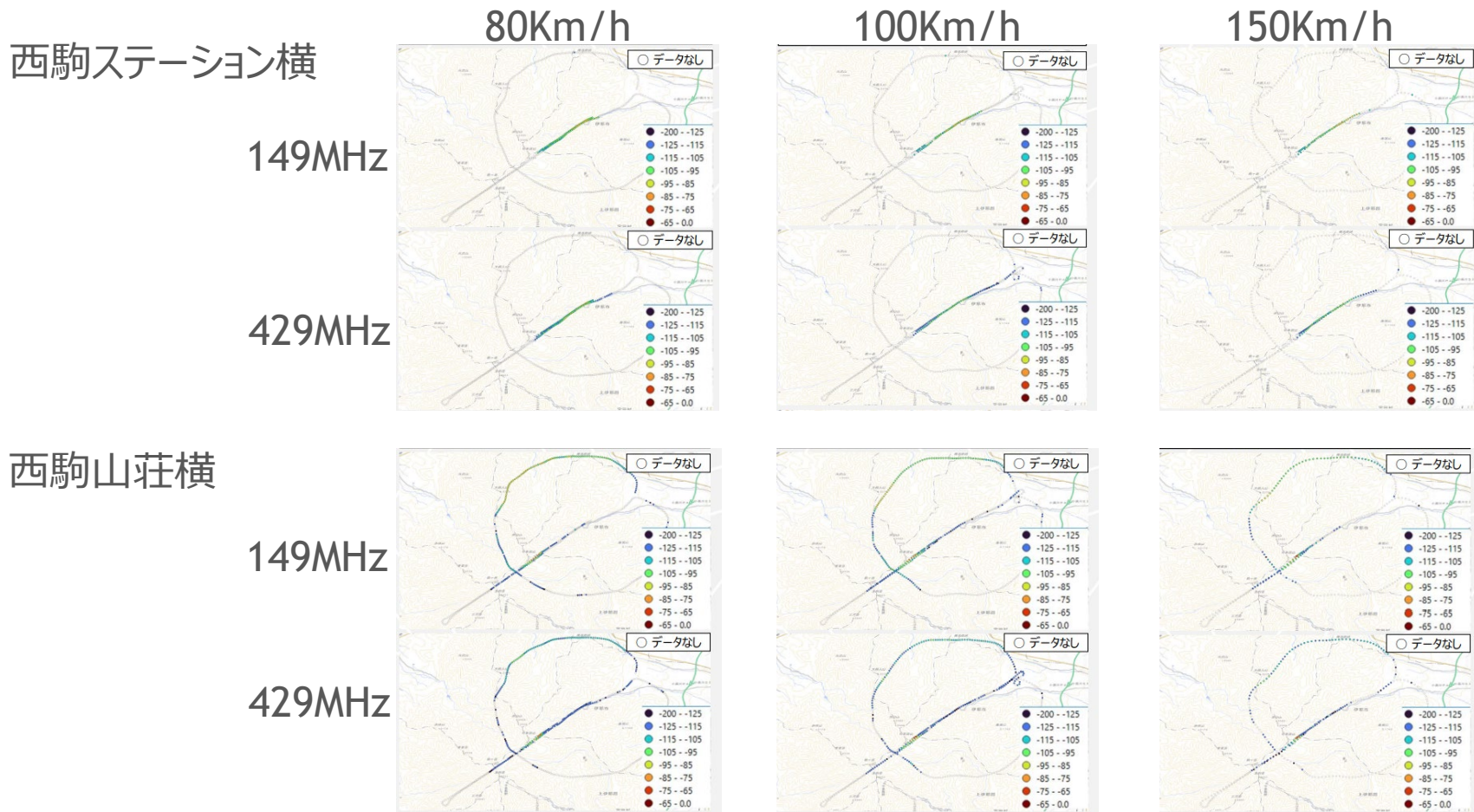


図 11 分析地点 D～中継機間の地形断面図(429MHz帯、100km/h、1 回目、通信不可から可に変化)

② 実証で得られた成果 (③結果詳細 a.実証①高速移動体との通信実証)

成果② 時速150Km程度では、飛行速度による通信への影響はないことがわかった。
速度毎の西駒ステーション横（上段）と西駒山荘横（下段）の受信RSSIのマップを示す。
どちらも80Km/h～150Km/hで値に大きな差がないことがわかった。



② 実証で得られた成果（③結果詳細 a.実証①高速移動体との通信実証）

成果③ アンテナの長さから、429MHzが運用に適しており、VTOLに取り付け位置が確保できることがわかった。



② 実証で得られた成果 (③結果詳細 a.実証①高速移動体との通信実証)

その他：前方で受信する場合に、直線飛行時の飛行姿勢で遮蔽の影響があることがわかった。(149MHz)
VTOL実装時には、アンテナは外部に露出する想定であるため、影響はないと考える。

149MHz用アンテナ

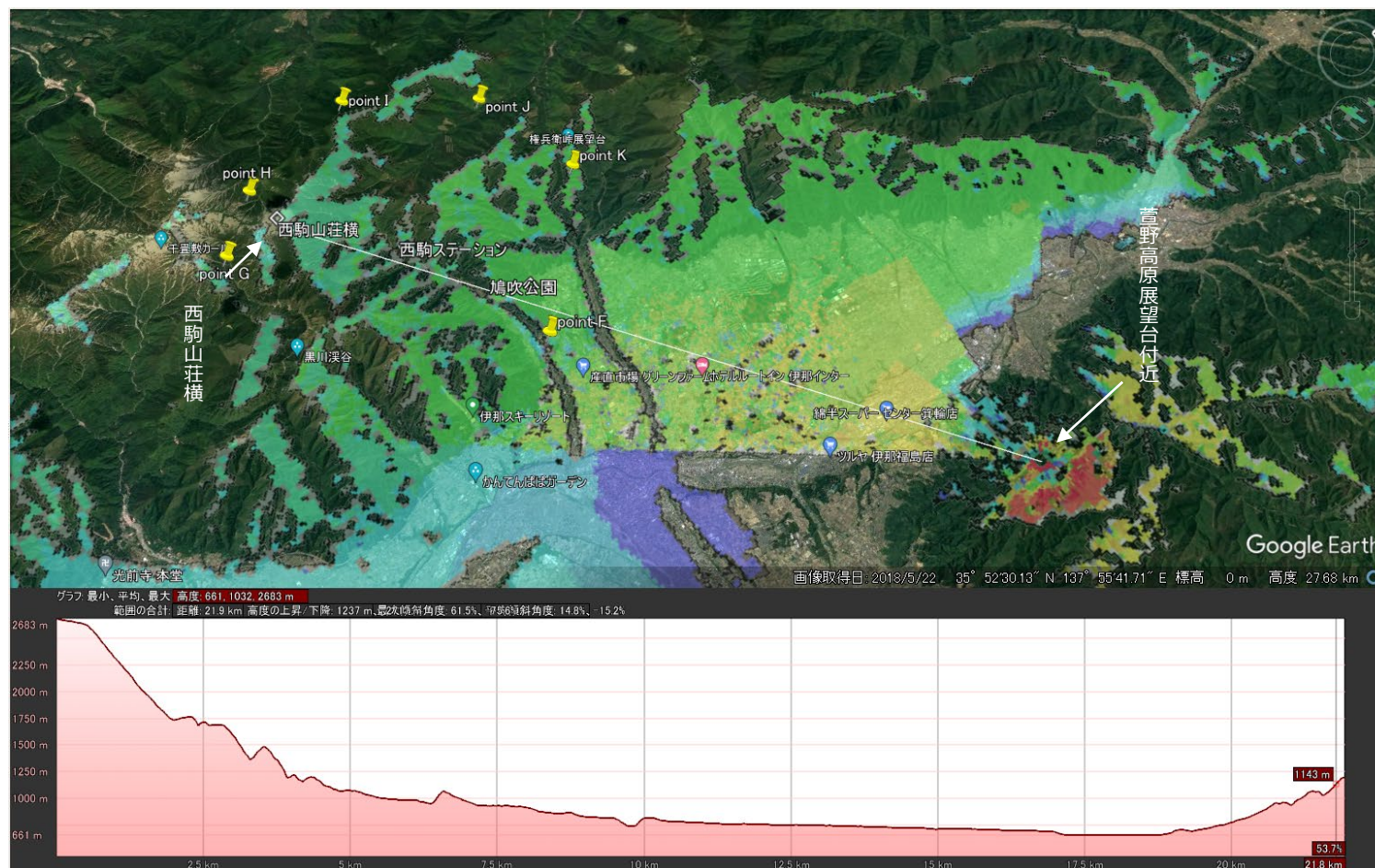
429MHz用アンテナ



② 実証で得られた成果 (③結果詳細 a.実証①高速移動体との通信実証)

考察

盆地の反対側にある萱野高原展望台を受信局としてシミュレーションを行った。鳩吹公園から、西駒山荘横まで概ね受信圏内であることがわかることから、受信局の場所により効率的に受信可能エリアを広げることができることがわかった。



② 実証で得られた成果（③結果詳細 b.実証②災害現場でのリアルタイム映像配信）

成果① 見通しのない山間地で最大で距離260mまで映像の通信が可能であった。

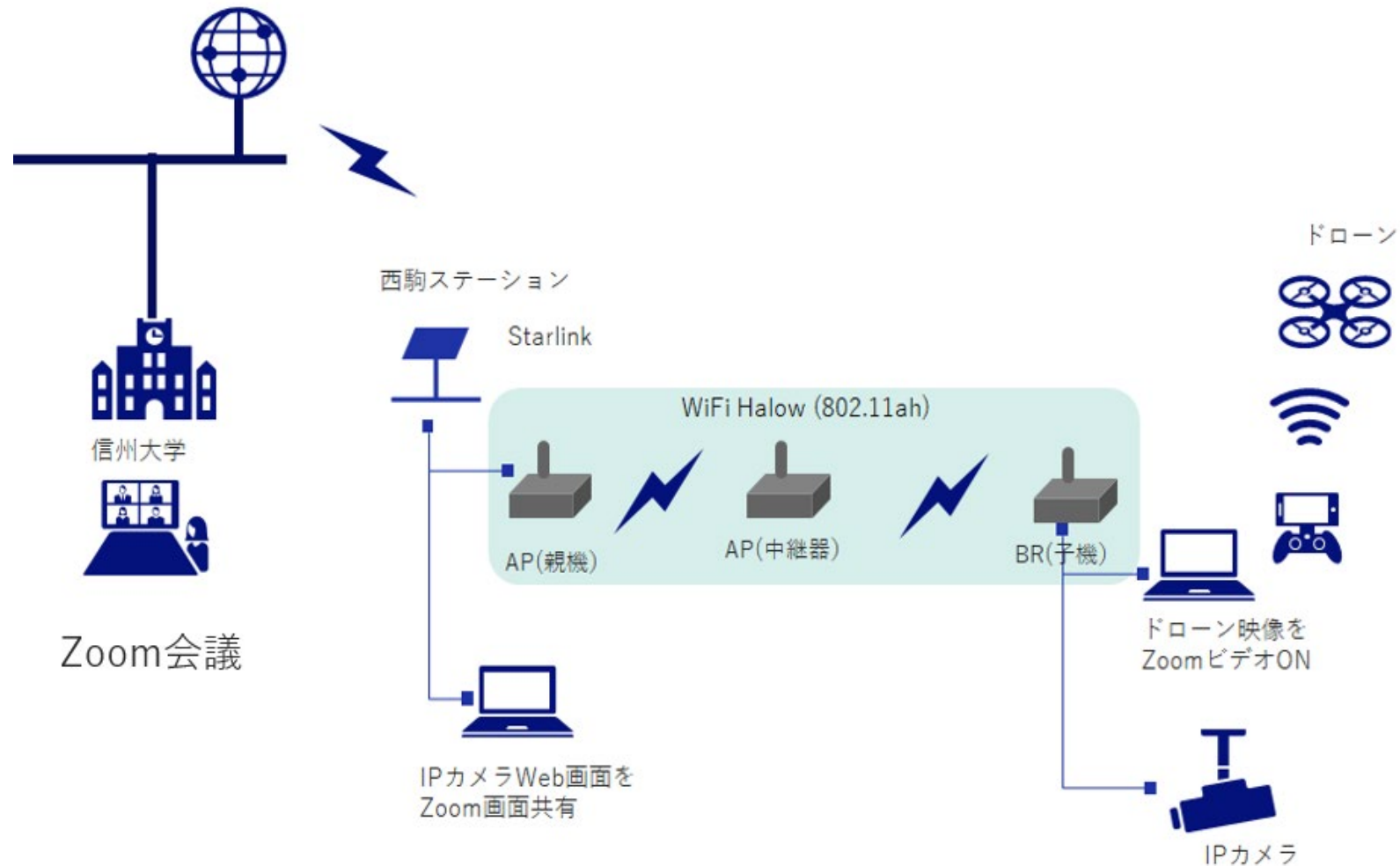
成果② Zoomを利用する場合、システム起動時に概ね800kps程度の通信が発生するため、200kbps程度の映像を流せる環境では、Zoom配信は接続できない。

成果③ 現地到着後、概ね60分で設置可能である。

	目標値	判定	結果	コメント
検証① 受信RSSI 測定	920MHzの電波強度を確認する	—	測定限界 370m	山の勾配および起伏の影響で、70m先は見通しが取れず、周囲に20m超の木々/葉の影響が大きく電波状態が良くない。 （スペアナ測定では、200m以上のポイントは、ほぼ-80dBm以下であった）
検証② 1Hop 通信距離	Ping応答ができる距離：500m	×	260m	WiFi HaLow (802.11ah)（子機）が受信できた最長距離で確認
	Zoom配信が出来る距離：250m	○	260m	
	IPカメラ映像が送れる距離：300m	○	260m	
検証③ 2Hop 通信距離	1HOPより通信距離を延伸	×	126mから74m延伸 総延長200mまで	Zoomが起動できる距離は、1HOPの最長距離より短くなる
	最大延伸距離で、スループットが150Kbps以上 （Duty制限がかかるまでの最大）	○		
検証④ Zoom配信	Zoomビデオ配信でドローンの映像が、信州大学松本キャンパスへ映像が送れること	条件付 ○	50mの距離で 状態で確認	起動時1000kbps、ビデオ配信600kbpsを維持できれば、Zoomでドローン映像配信可能。 画像に関しては、Zoom側がネットワーク品質状態を確認して、不安定になると解像度を下げたり、フレーム数削減及びバッファで溜まった分のパケットを損失させるなど調整を行っていた。

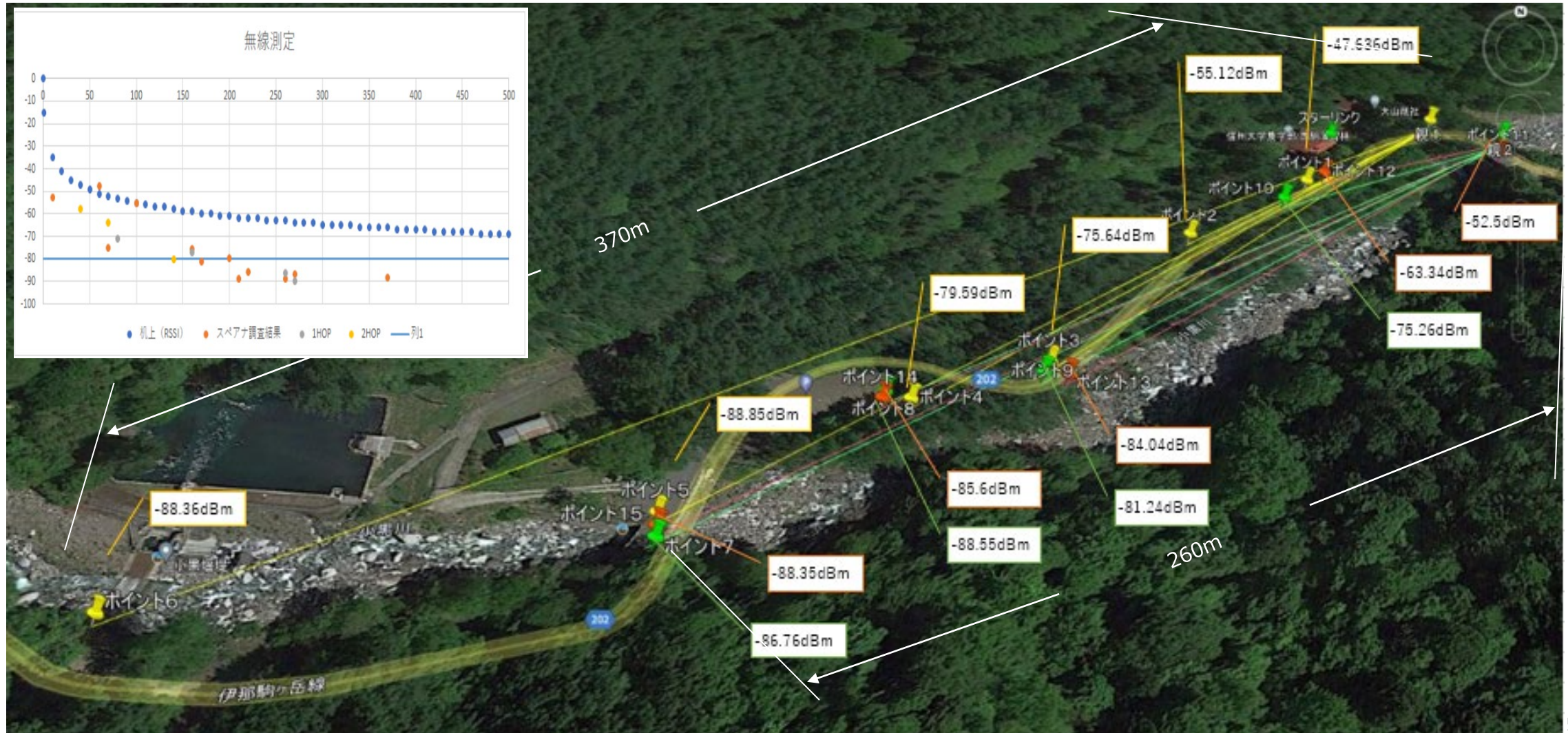
② 実証で得られた成果（③結果詳細 b.実証②災害現場でのリアルタイム映像配信）

ネットワーク・システム構成図



② 実証で得られた成果（③結果詳細 b.実証②災害現場でのリアルタイム映像配信）

検証① 受信RSSI測定 結果



② 実証で得られた成果（③結果詳細 b.実証②災害現場でのリアルタイム映像配信）

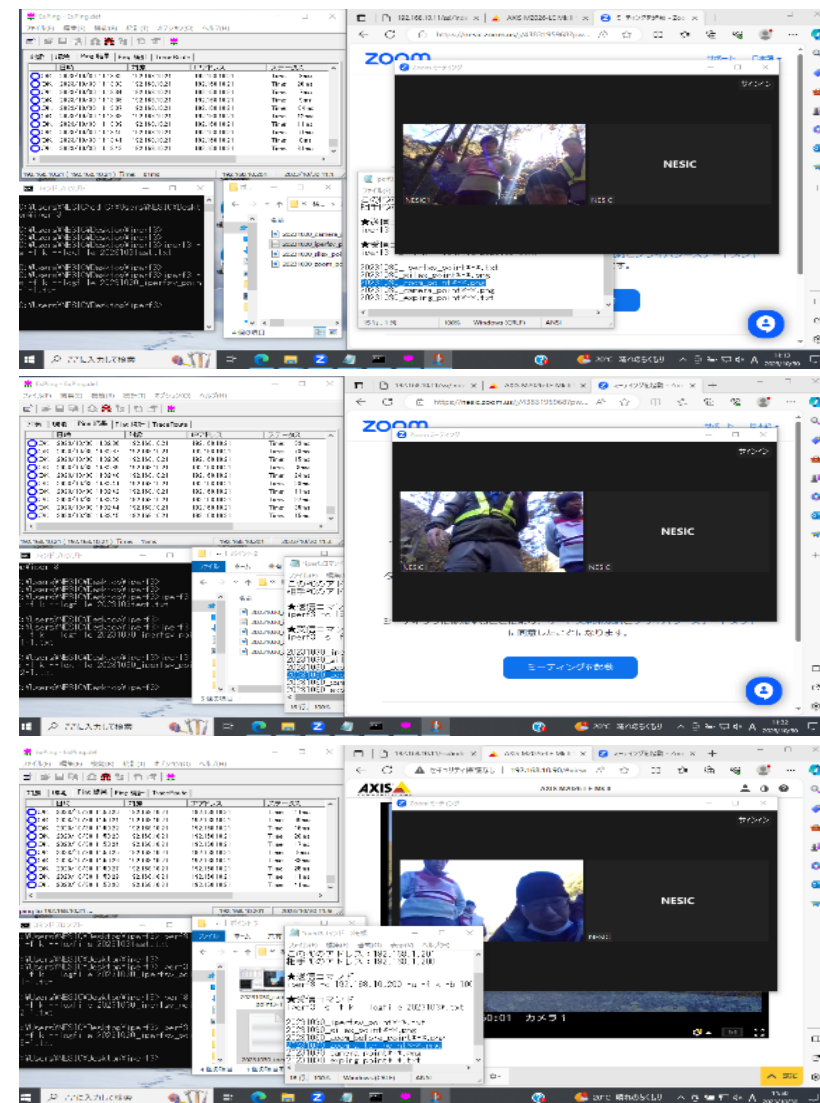
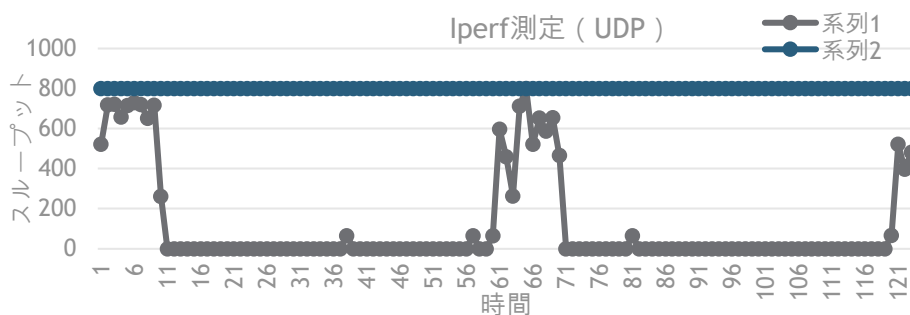
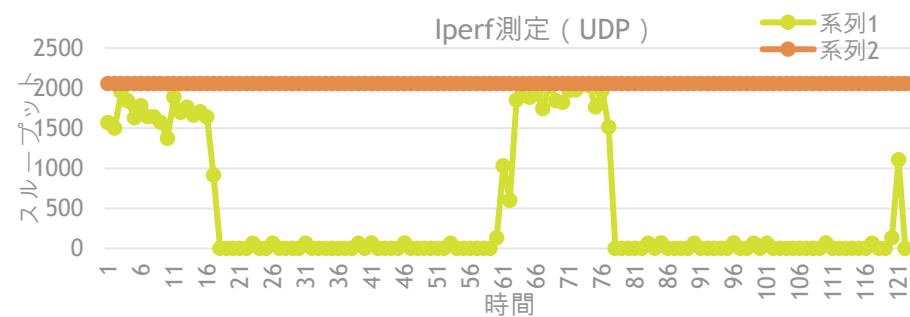
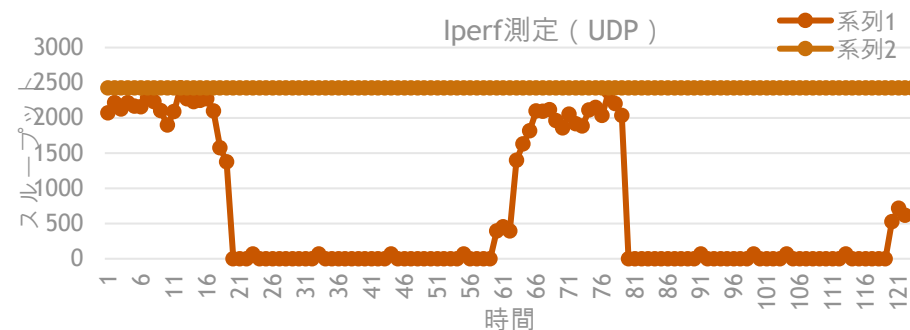
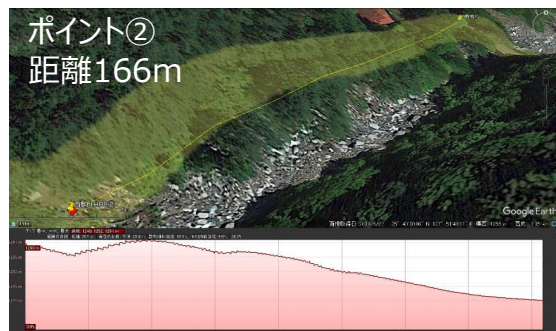
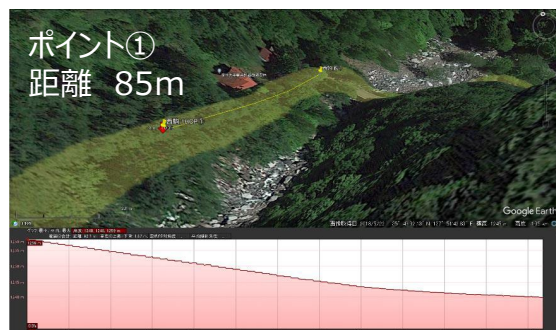
検証② 1Hop通信距離 測定結果

ポイント	測定距離 (m)	アンテナ 高 (m)	転送 レート (親)	リンク速度 (親) (kbps)	RSSI (親) (dBm)	転送 レート (子)	リンク速度 (子)	RSSI (子) (dBm)	ping	iperf	IPカメラ	Zoom
親機① 道路カーブ奥		4										
ポイント①	85.1 47	4	MCS5	12000	-71	MCS5	12000	-66	ok	15MB送信時最大受信： 2500Kbps（60秒Duty監視時：約10秒間通信可能残り50秒くらい通信制限がかかる）	640x480：OK	Zoom起動：OK Zoom音声通信：OK Zoomビデオ配信：OK
ポイント②	166.296	4	MCS2	4500	-77	MCS2	4500	-74	ok	15MB送信時最大受信： 2000Kbps（60秒Duty監視時：約10秒間通信可能残り50秒くらい通信制限がかかる）	640x480：OK	Zoom起動：OK Zoom音声通信：OK Zoomビデオ配信：OK
ポイント③	267.207	4	MCS1	3000	-86	MCS0	1500	-82	ok	15MB送信時最大受信： 700Kbps（60秒Duty監視時：約10秒間通信可能残り50秒くらい通信制限がかかる）	640x480：OK	Zoom起動：OK Zoom音声通信：OK Zoomビデオ配信：OK

V実証結果

② 実証で得られた成果（③結果詳細 b.実証②災害現場でのリアルタイム映像配信）

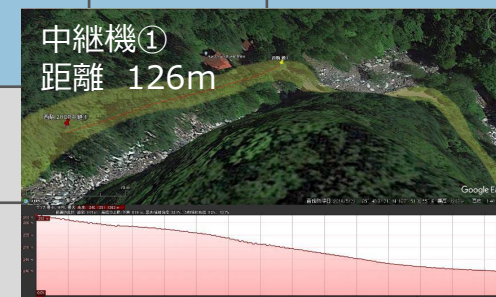
検証② 1Hop通信距離 測定結果



② 実証で得られた成果（③結果詳細 b.実証②災害現場でのリアルタイム映像配信）

検証③ 2Hop通信距離 測定結果

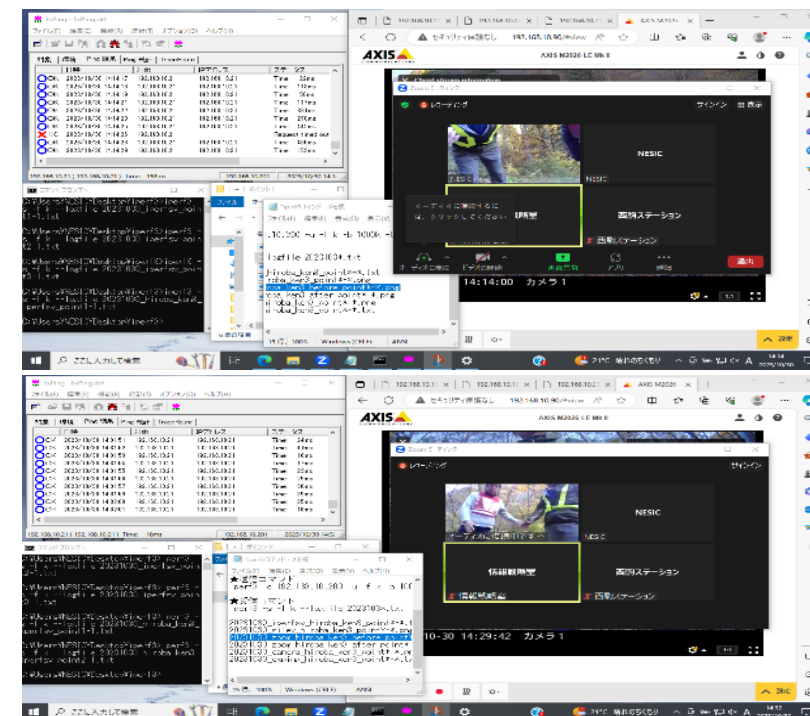
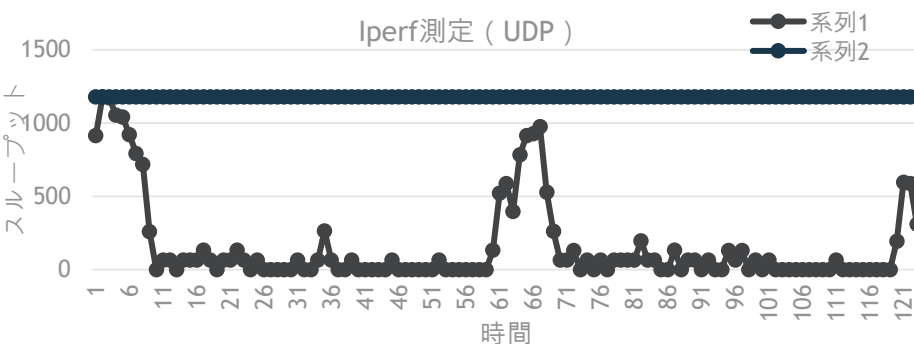
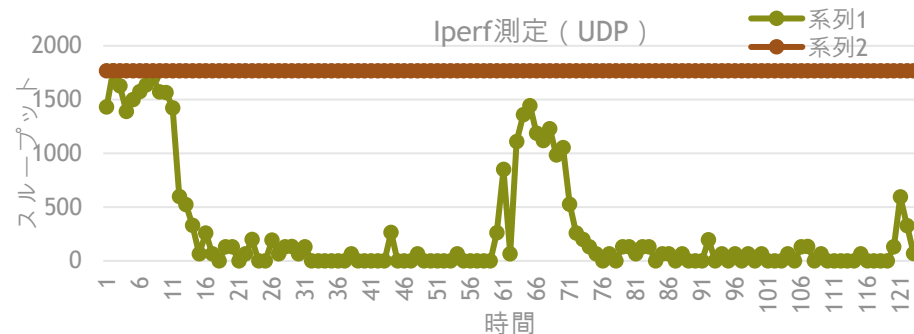
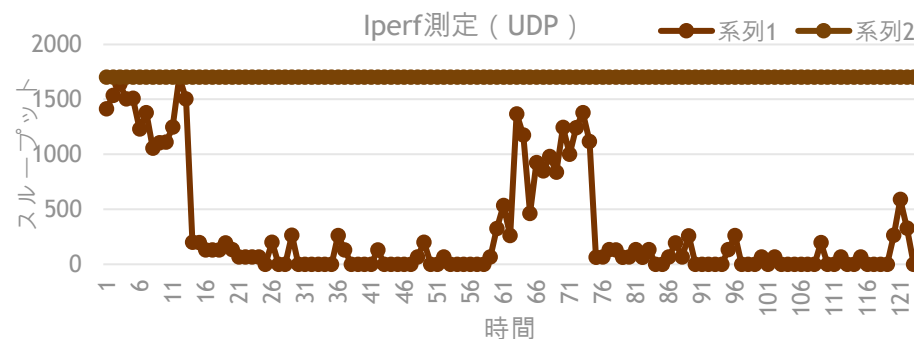
ポイント	距離 (m)	延伸距離 (m)	親機		中継機			子機			ping	lperf	IPカメラ	Zoom
			転送レート (親)	リンク速度 (親) (kbps)	転送レート (中)	リンク速度 (中) (kbps)	RSSI (中) (dBm)	転送レート (子)	リンク速度 (子) (kbps)	RSSI (子) (dBm)				
親機① 道路 カーブ奥														
中継機① -65dBm位	126.124													
ポイント①	40.855	166.979	MCS7	15000	MCS7	15000	-57	MCS7	15000	-58	OK	15MB送信時最大受信： 1700Kbps（60秒Duty監視 時：約10秒間通信可能残り50 秒くらい通信制限がかかる）	640x480 OK	Zoom起動：OK Zoom音声通信：OK Zoomビデオ配信：OK
ポイント②	72.687	198.811	MCS7	15000	MCS7	15000	-66	MCS6	13500	-64	OK	15MB送信時最大受信： 1700Kbps（60秒Duty監視 時：約10秒間通信可能残り50 秒くらい通信制限がかかる）	640x480 OK	Zoom起動：OK Zoom音声通信：OK Zoomビデオ配信：OK
ポイント③	140.124	266.248	MCS7	15000	MCS1	3000	-81	MCS2	1500	-80	OK	15MB送信時最大受信： 1000Kbps（60秒Duty監視 時：約10秒間通信可能残り50 秒くらい通信制限がかかる）	640x480 OK	Zoom起動：NG



V 実証結果

② 実証で得られた成果 (③結果詳細 b.実証②災害現場でのリアルタイム映像配信)

検証③ 2Hop通信距離 測定結果

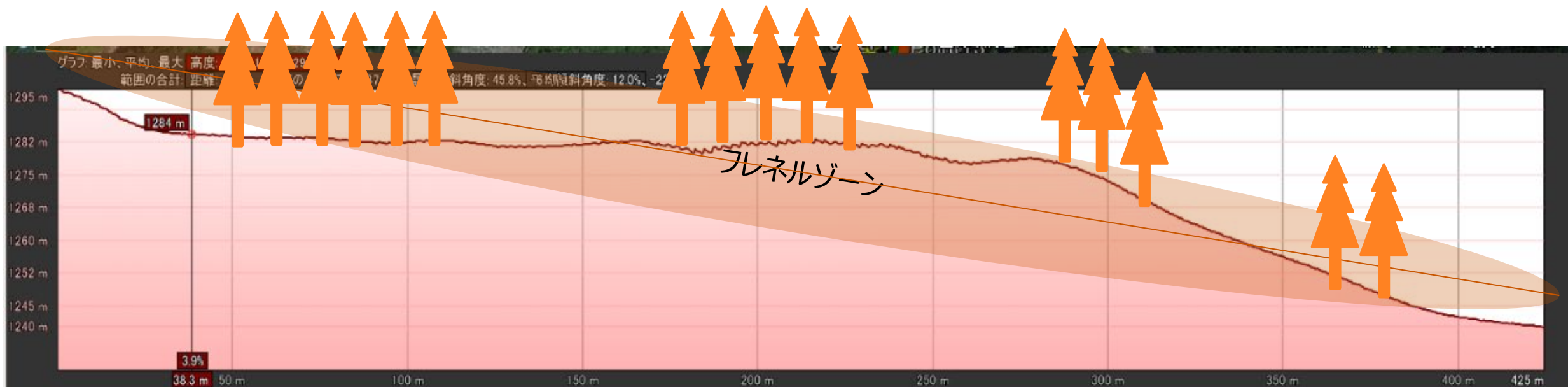
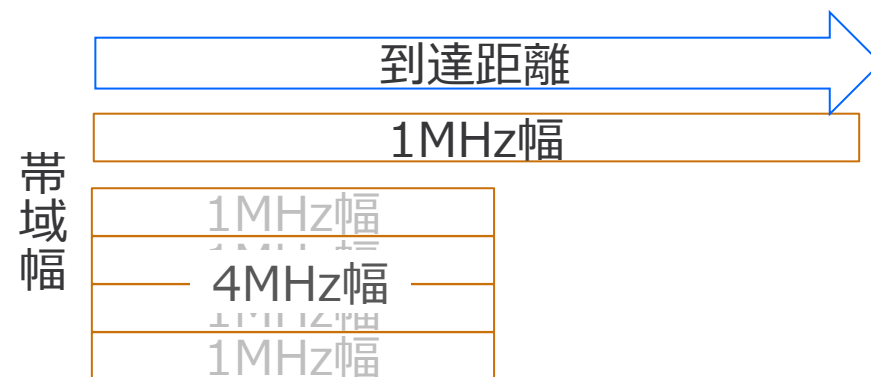


Zoom起動しない

② 実証で得られた成果（③結果詳細 b.実証②災害現場でのリアルタイム映像配信）

考察

- ・Zoom映像を伝送するためには、4MHz幅の帯域が必要なため、1MHz幅と比較して、到達距離が半分程度となっている。同じ距離を飛ばすには4倍の電力が必要になると想定される。
- ・見通しのない傾斜地で、樹高が20m近い環境では、フレネルゾーンが確保できない。

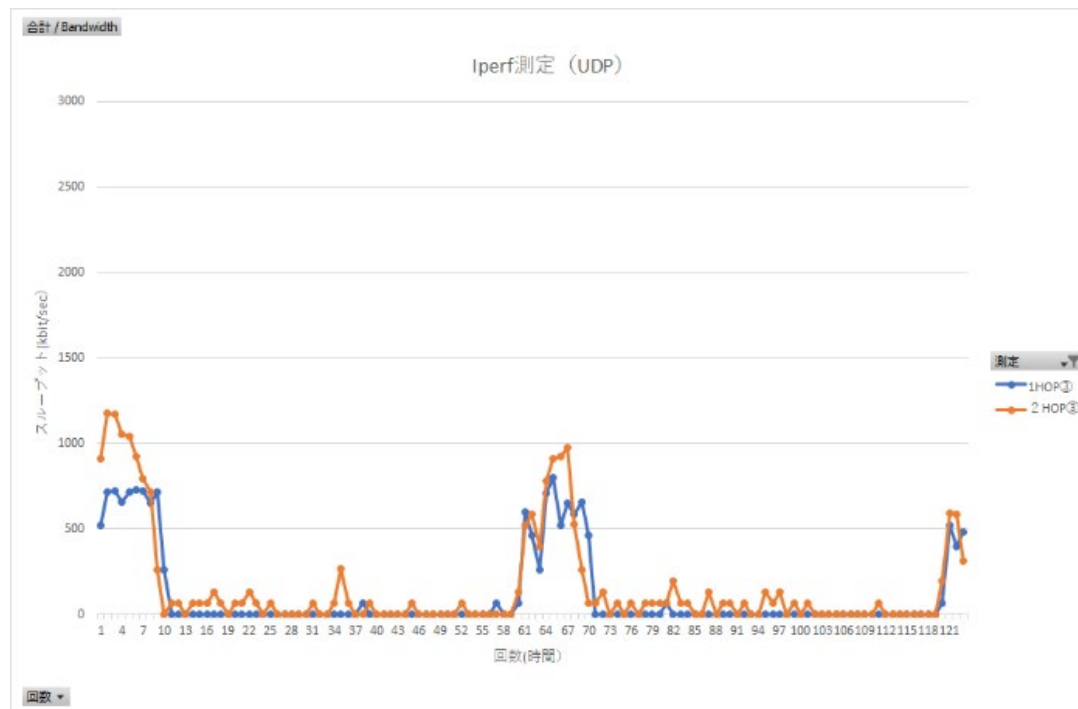
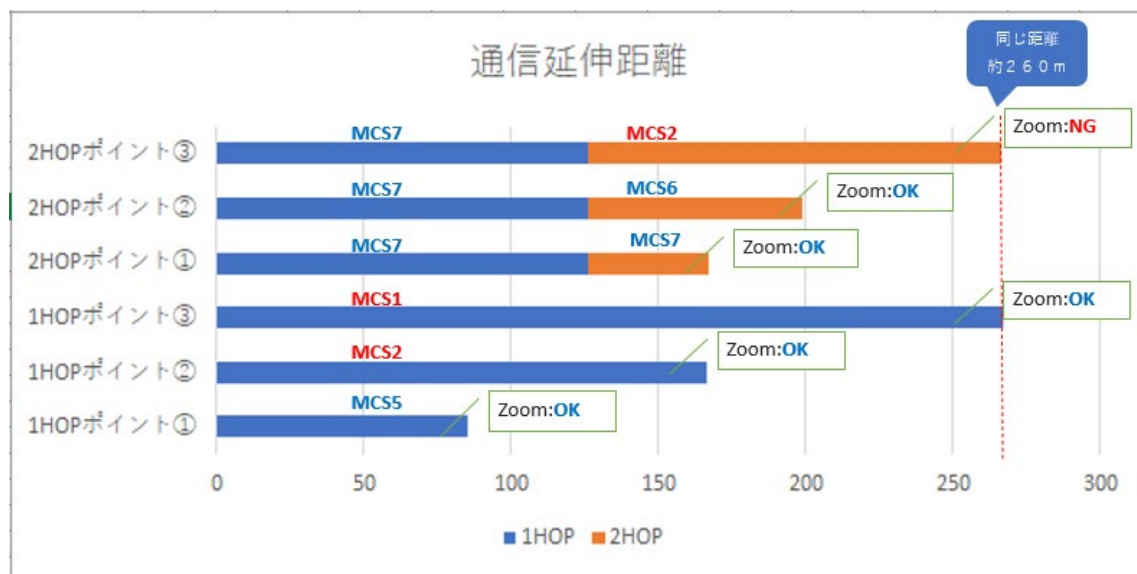


② 実証で得られた成果（③結果詳細 b.実証②災害現場でのリアルタイム映像配信）

考察

見通しの悪い山岳エリアでは、制約が大きく使いにくい。

- Hopが増えるとスループットが半分以上に低下する。
- 距離を伸ばすには、Hop数を増やす必要となる。
- Zoom起動時に必要な帯域800kbps～1Mbps程度を確保する必要がある。
- 見通しの悪い通信環境では、Hopすることで、通信速度が低下し、Zoomが起動できなくなる。



② 実証で得られた成果（③結果詳細 b.実証②災害現場でのリアルタイム映像配信）

考察

- ・3か所にポール立てる場合で、概ね60分以内に準備が完了できる。
- ・バッテリーは、WiFi-HaLowに供給する場合は、24時間以上持つことがわかった。



使用したドローン



Zoom端末

ポータブルバッテリー：容量：14.4V/2900mAh(41.76Wh)

- ・ WiFi-Halow消費電力 230mA （5V x 230mA = 1.15W）
エネルギー容量（Wh） ÷ 消費電力（W） = バッテリー駆動時間（h）
41.76Wh ÷ 1.15W = 36.313h



親機設置状況



中継機設置状況



子機設置状況



② 実証で得られた成果（③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証）

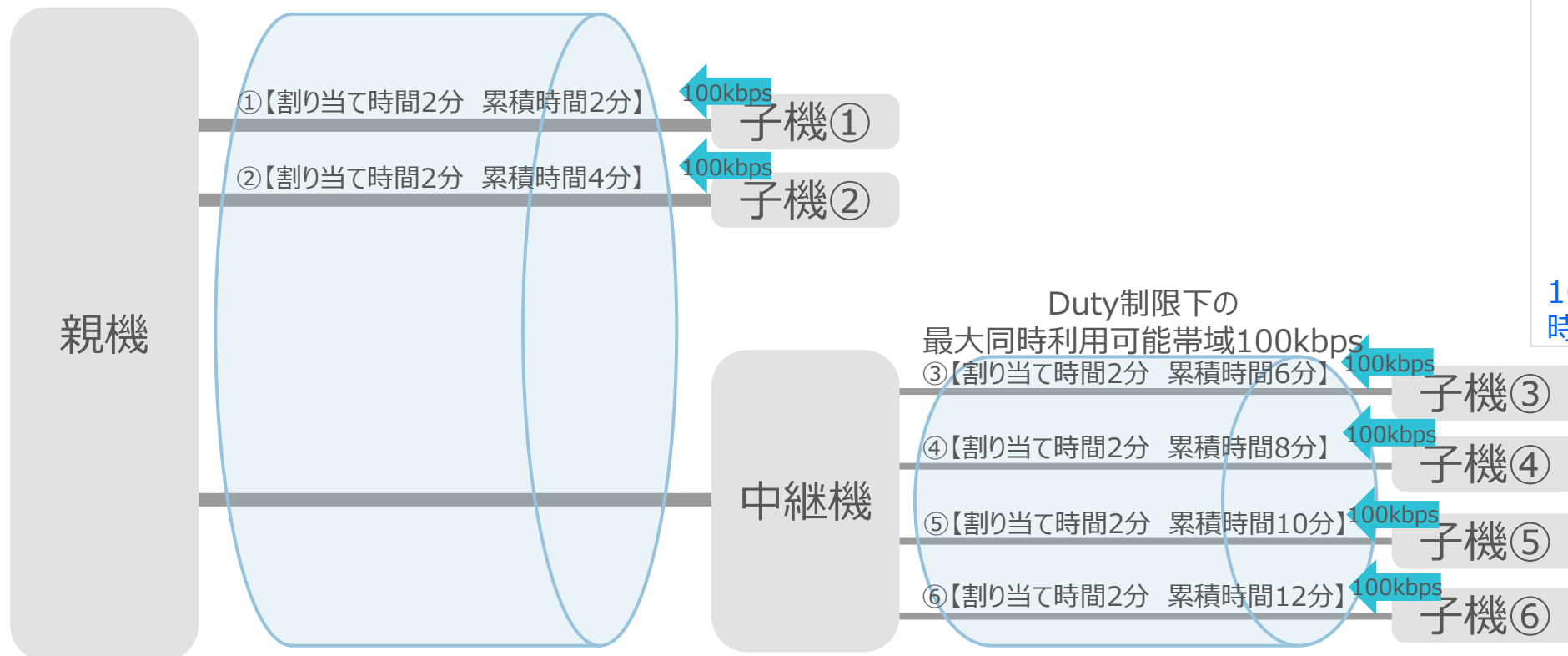
成果① Dutyによる制限がかからないよう帯域を管理（制限）する必要がある。

- ・親機—子機または中継機 200kbps
- ・中継機—子機 100kbps

成果② 親機、中継機、子機で構成する場合、中継機と子機間で使用できる帯域が半減する。

成果③ 時分割で送信時間を割り当てることで、輻輳を回避し効率的に画像が伝送できた。

成果④ 12分で6台のカメラ画像（XGA）を受信できた。

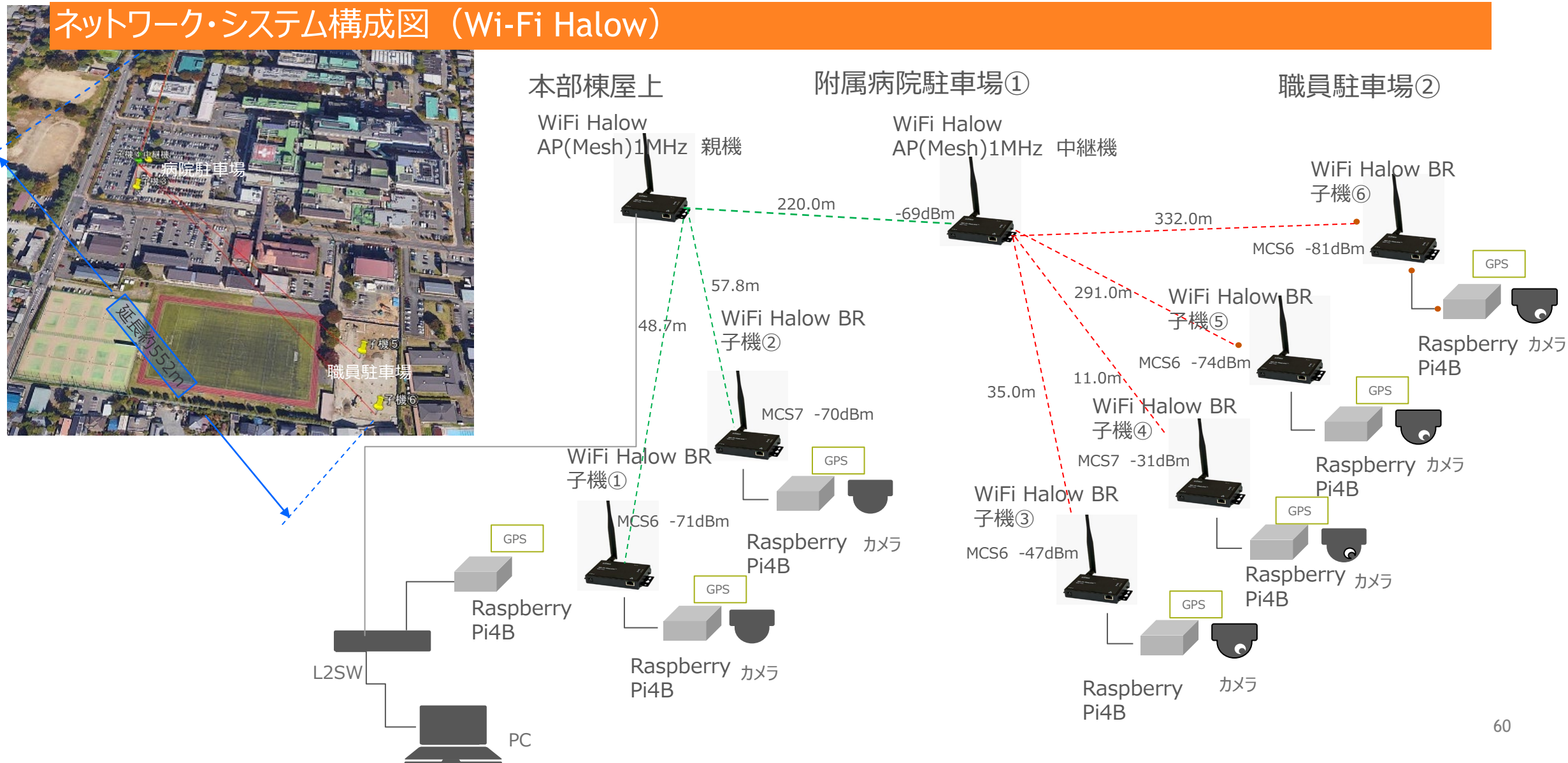


XGA相当の画像の転送時間
1MBytes=1024k*8bit
200kbpsで
 $1024k*8bit/200kbps \div 41秒$
安全係数を1.5とすると概ね1分
100kbpsで
 $1024k*8bit/100kbps \div 82秒$
安全係数を1.5とすると概ね2分

100kbpsの転送時間に合わせて
時分割する時間を2分と設定

② 実証で得られた成果 (③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証)

ネットワーク・システム構成図 (Wi-Fi Halow)



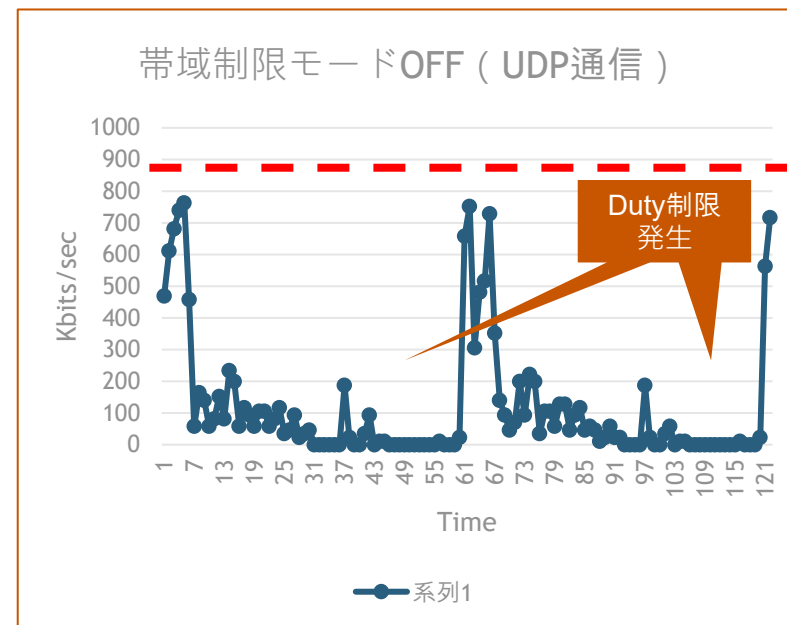
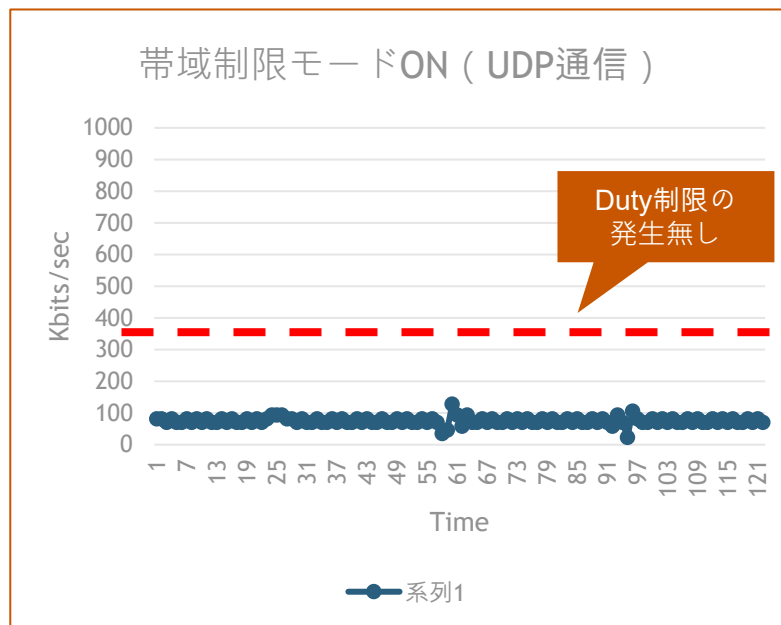
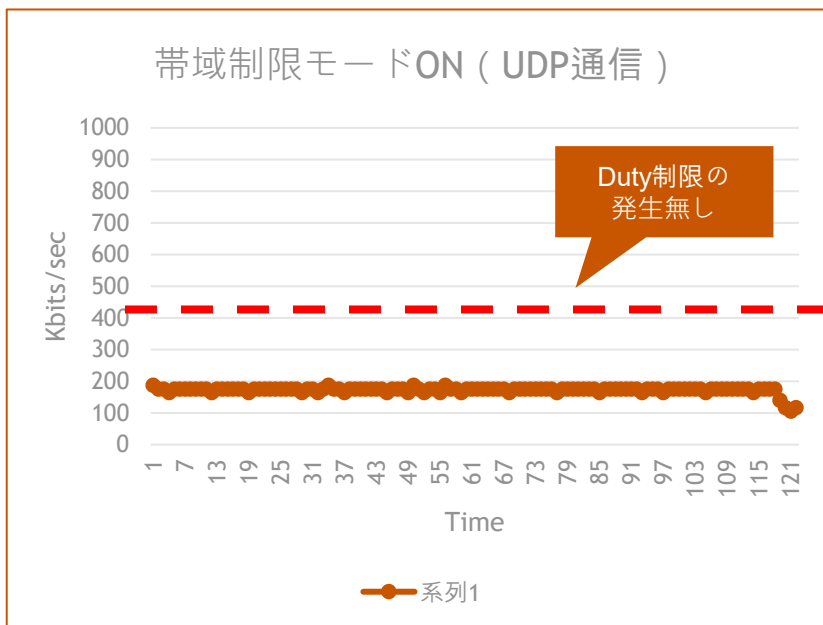
② 実証で得られた成果（③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証）

検証① Dutyによる帯域制限の検証

成果① 子機の設定を帯域制限ありとすることで、Dutyによる制限は発生しない。

- ・親機－子機または中継機 200kbps
- ・中継機－子機 100kbps

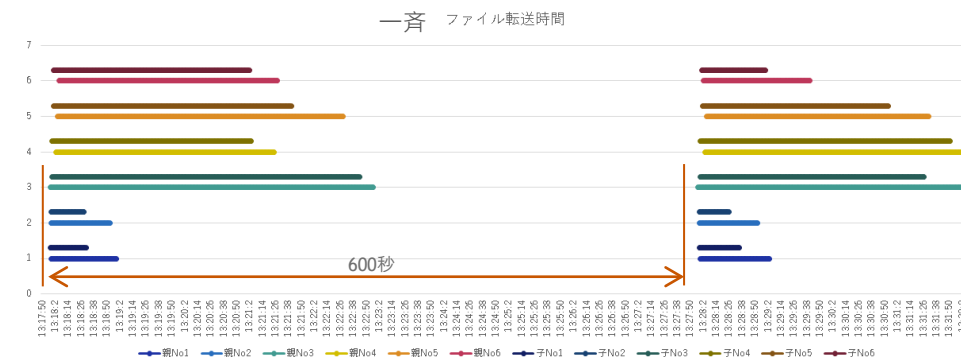
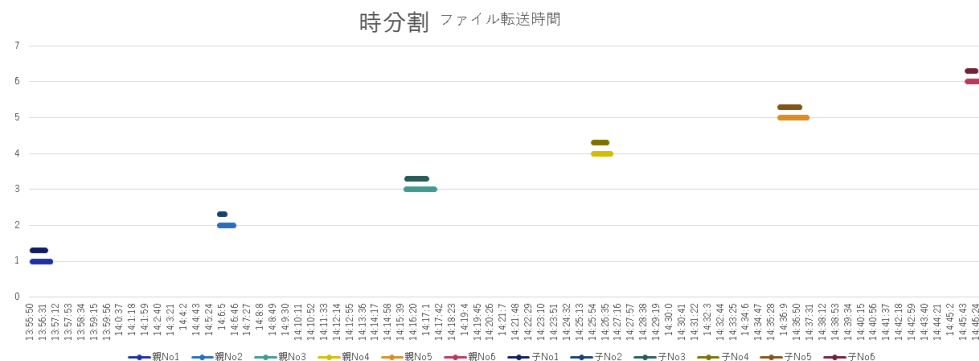
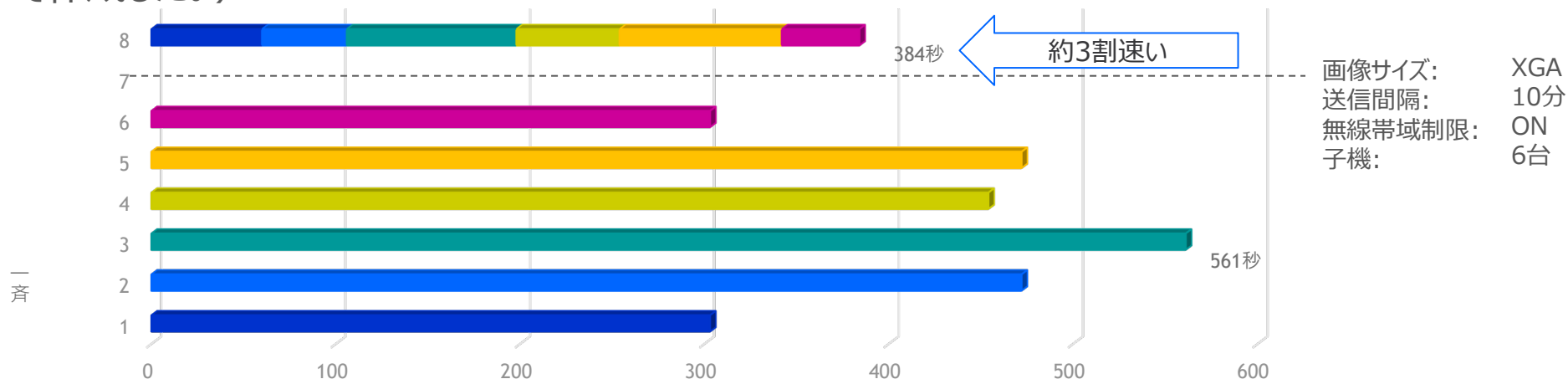
成果② 子機の設定を帯域制限なしとすると、使える最大帯域で通信し、その後、Dutyによる帯域制限に入る。



② 実証で得られた成果（③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証）

検証② 輻輳回避プロトコル有効性検証

時分割による輻輳回避プロトコルを使用すると、一斉に輻輳させる場合と比較し約3割速く画像を送信できた。
 （本実証では、時分割で送信完了後、次のタイムスロットが来るまで通信は待機状態となっている。下グラフは、通信待機時間を除いて作成した。）



② 実証で得られた成果（③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証）

検証② 輻輳回避プロトコル有効性検証

時分割でXGAサイズの画像を順番に受信できた。画像は、駐車場の混雑状況が把握できるレベルである。



子機①（本部棟下）



子機②（本部棟横）

② 実証で得られた成果（③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証）

検証② 輻輳回避プロトコル有効性検証



子機③（病院駐車場下）



子機④（病院駐車場下）

② 実証で得られた成果（③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証）

検証② 輻輳回避プロトコル有効性検証



子機⑤（職員駐車場）



子機⑥（職員駐車場）

② 実証で得られた成果（③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証）

検証③ LPWAを用いた輻輳回避プロトコル有効性検証

LPWA（429MHz、FSK）の電波強度を測定した。
子機⑤、⑥は、建物で遮蔽され直接見通しはないが、何とか受信可能な電波強度であった。



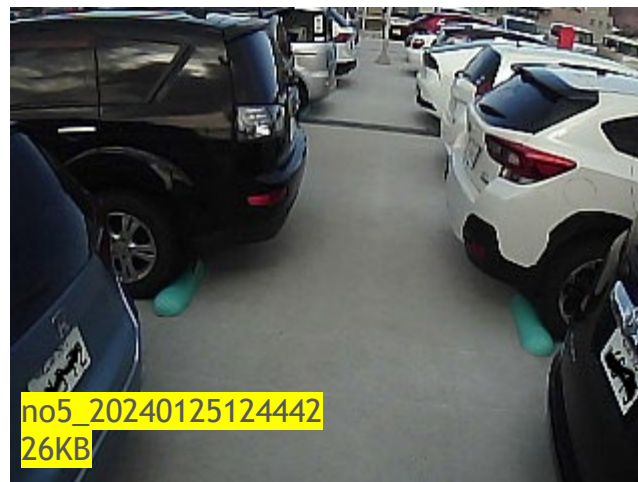
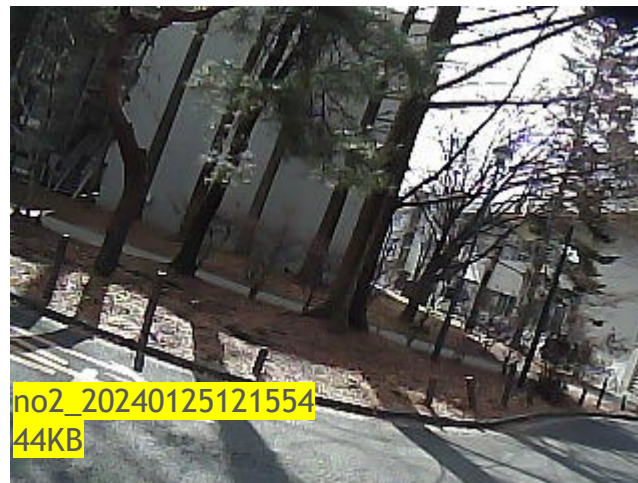
測定場所	距離	スペアナ測定結果
親機付近	5m	-58.74dBm
子機①付近	49m	-84.54dBm
子機②付近	58m	-84.06dBm
子機③付近	220m	-84.48dBm
子機④付近	255m	-89.11dBm
子機⑤付近	460m	-111.15dBm
子機⑥付近	506m	-113.33dBm

【参考：LPWA無線機受信感度】
-133 dBm (LoRa 128chip)
-115 dBm(FSK) TYP

② 実証で得られた成果（③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証）

検証③ LPWAを用いた輻輳回避プロトコル有効性検証

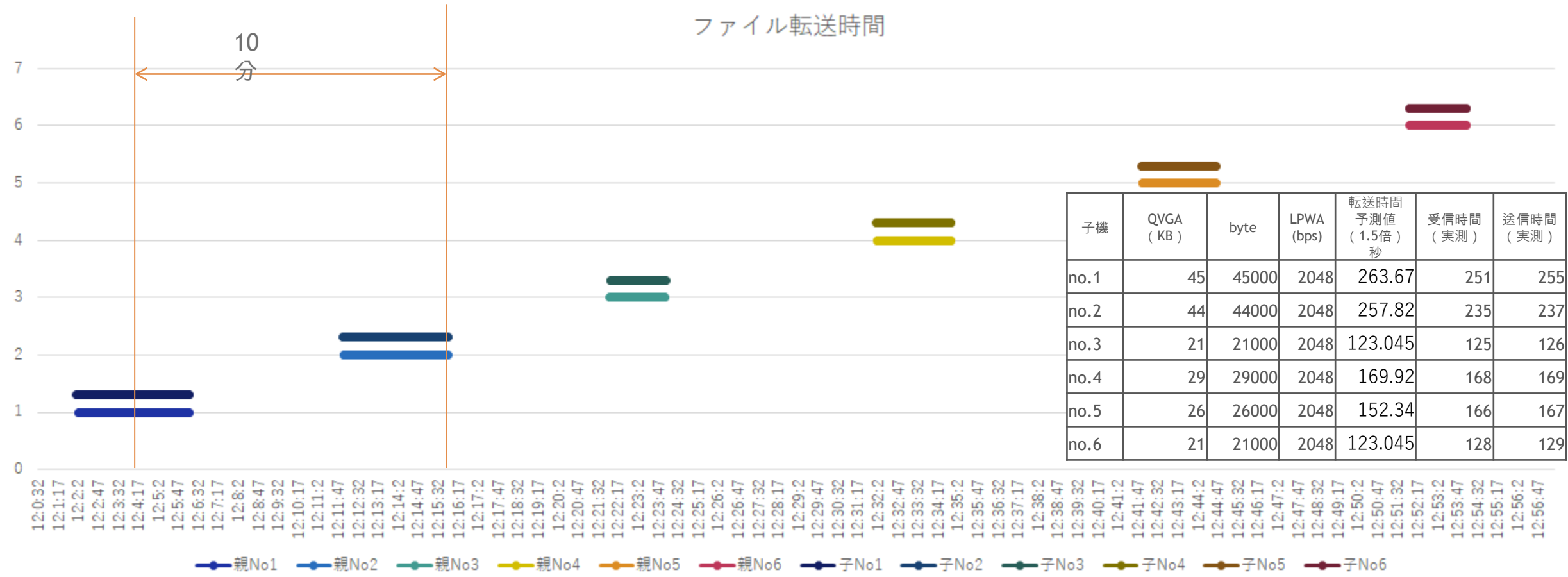
時分割による輻輳回避プロトコルを実装したLPWA（429MHz/FSK/2048bps）でQVGAの画像を6台のカメラから送信し、駐車場の混み具合がわかることを確認した。



② 実証で得られた成果（③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証）

検証③ LPWAを用いた輻輳回避プロトコル有効性検証

伝送効率を考慮して転送時間を1.5倍とすると概ね予測値と同等の時間で画像を転送できていることがわかる。



② 実証で得られた成果（③結果詳細 c.実証③駐車場監視実証）

検証③ LPWAを用いた輻輳回避プロトコル有効性検証

時分割による輻輳回避プロトコルを使わず、一斉に画像を送信した場合は、5つのカメラからの画像を受信することができなかった。



画像ファイルなし
※サーバにて受信できなかった

画像ファイルなし
※サーバにて受信できなかった

画像ファイルなし
※サーバにて受信できなかった

画像ファイルなし
※サーバにて受信できなかった

画像ファイルなし
※サーバにて受信できなかった

10分間隔で5回、6台のカメラから一斉に画像転送したところ、画像1枚だけを受信し他はすべて受信に失敗した。



3ソリューションの実装・展開に向けた主な課題と対応策

	残課題	対応策	対応する団体名	対応時期
実装に向けて	実証1 高速移動体との通信実証 - LPWA子機-親機間の見通しが確保できないとデータ送受信ができない。 - LPWA通信機器の小型化、温度耐性、防塵性などへの配慮が必要。 運用検証により判明した課題	- 運行想定エリアを費用対効果が最大となる基地局数でカバーできるよう、電波シミュレーターによる机上検証を実施。検証後はドローンなどを飛行させ現地評価したうえで、基地局の設置場所を決定する。 - 実証で制作した通信システムがVTOL無人機実機の荷揚げサービス実施時でも支障なく動作するよう、IoT製品開発企業による小型化、防塵性、温度耐性などを実施。	- 信州大学 - 機器本体の強化は、信州大学が実施、VTOL無人機に搭載した評価は信州大学、川崎重工業が共同実施。	2024年6月 2024年10月
	実証2 災害現場等のリアルタイム映像配信 - 山岳エリアでのHalow使用に関しては、地形の複雑さや樹木などの影響で260m程度までしか通信距離を延伸できない。 - 映像品質を高画質にすると、通信可能なデータ量が大きくなりdutyの影響で画質の劣化や配信の停止が発生する。 効果・技術検証により判明した課題	- 屋外用Wi-Fiと組み合わせた通信システムの実装環境により、屋外用Wi-Fiなどの通信システムの方が通信性能を得られる場合があることがわかった。複数の通信システムで確認し、適切な通信システムで配信する検討する。 - 通信距離の延伸の検討 Wi-Fi Halowの通信性能の低下を敷設ため、バルーンやドローンを用いてアクセスポイント同士の見通しがきく高さに上げて通信することを検討する。	信州大学	2024年度に検証実施
	実証3 駐車場監視実証 導入予定場所において、電源の確保に課題があることが判明。 運用検証により判明した課題	今後予定する、駐車場管理システムへの通信モジュール組み込みと併せて、電源の確保についても検討を進める。（ソーラーを活用する。電柱から電源を確保する等）	信州大学、安曇野市	2024年度上期に検証実施
横展開に向けて	全体共通 本実証で構築した通信システムを山岳エリアにおける様々な課題に応用・活用し、山岳エリアの通信課題解決を推進する	信州DX推進コンソーシアム参画団体への課題ヒアリングを実施し、地域課題解決プロジェクトを創出、社会実装に繋げる。	信州大学	毎年、通年で実施

① 実装計画・スケジュール

a. 実装に向けた具体的計画

実証①

2023	2024～2025	2026～
本実証	実用化に向けた準備	実用・横展開
LPWA通信システムを活用した高速移動体との通信検証 これまで国内の山岳・中山間地域では、ドローンやVTOL無人機による物資輸送の実証実験を行っている。 その課題として、山岳・中山間地域では、LTE通信が断絶するエリアが存在し、LTE通信の活用だけでは機体の状態監視をすることが困難となっている。LTE以外の既存通信技術では衛星通信が挙げられるが、送受信速度やコストが課題となり、ドローンやVTOL無人機を導入するにあたっての障壁となっている。 本実証では、LPWA通信システムを活用して高速移動体との通信が可能かを検証する。具体的に行う検証は以下のとおり。 - 電波強度、電波干渉 - パケットロスの確認	通信システム機能強化 飛行エリアにおける通信検証・評価 想定する飛行エリア（まずは中央アルプス・北アルプス周辺をターゲットとする）でのシミュレーション・通信検証を2024年度中に実施し、基地局設置場所の検証評価や導入コストなど精査する。（信州大学と川崎重工業で実施） LPWA通信システム機器の高度化 本実証で制作したLPWA通信システム機器を実運用に耐えられるものとするため、形状の小型化や軽量化を図るとともに、VTOL機に装着する。（2024-2025年に、信州大学と川崎重工業とで実施） 運用体制の構築 VTOL機の監視体制を構築する。（川崎重工業で実施） なお、並行してVTOL無人機の社内試験及び、量産に向けた試作機・量産機の開発を行う。（川崎重工業で実施）	長野県内での横展開 運行可能エリアを南アルプス・八ヶ岳などの県内山岳エリアに運搬可能領域を拡大し、山小屋への荷揚げなどのサービスを行う。また、山小屋への荷揚げ以外に山岳関係で荷揚げを必要とする事業者（林業や災害現場等）へのサービス提供を開始する。（川崎重工業で実施） 大学のもつネットワークや学会などを通じ信州大学が検証成果を報告し、他県への導入も進める。（信州大学が実施） 最終的には、山岳・中山間地において、安定的かつ経済的な通信網を構築し、ドローンやVTOL無人機などといった次世代エアモビリティを活用できる環境を整え、持続可能な物流インフラを形成する。

1 実装計画・スケジュール

a.実装に向けた具体的計画

2023	2024	2025~2027
本実証	実装	横展開
ネットワーク不良環境における災害映像のリアルタイム送信実証 LTE環境が整わない山岳・中山間地域での土砂災害発生を想定し、現場の状況をドローン等で撮影したものを本通信システム経由で災害対策本部にリアルタイム送信できるか、次の条件で検証する。 - 災害現場が、LTE/固定回線/Starlink使用不可エリアと想定し、本通信システムをインターネットが接続できるポイントから災害現場まで延伸して通信実証を行う。 - 災害現場では、固定カメラやドローンを使って現場確認すると想定し、各撮影データをリアルタイムで災害対策本部に送信する。 - 映像配信はzoomで実施する。 【実証目標】 災害対策本部に災害状況の映像を遅延なく（タイムラグ2分程度）伝送できること	実証結果に基づいた実装に向けた動き 塩尻市での通信システム検証・導入 信州大学が今回の実証で購入した機材を塩尻市に貸し出し、災害想定箇所利用できる通信機器を信州大学がアドバイスを行いながら選定する。（2024年度実施） 機器選定後は、塩尻市にて通信機器を調達し、リアルタイム通信システムを構築・運用する。（2024年度実施） 防災訓練などで運用の訓練を実施し、日常的に使用できるようトレーニングする。（2025年度実施）	県内山岳・中山間地域→県外山岳・中山間地域への横展開 本実証地域と同様、LTE環境が整わない山岳・中山間地域での土砂災害発生の可能性が高いと想定される、長野県内の自治体への横展開を見据え、信州大学が信州DX推進コンソーシアム参画団体に対して、導入結果の共有や優位性を伝えながら横展開を進める。また、大学のもつネットワークや学会などを通じ信州大学が検証成果を報告し、他県への導入も進める。 興味を持つ自治体がある場合には、信州大学が今回の検証で使用した機材の貸し出しと技術的アドバイスを行い、横展開に努める。

1 実装計画・スケジュール

a.実装に向けた具体的計画

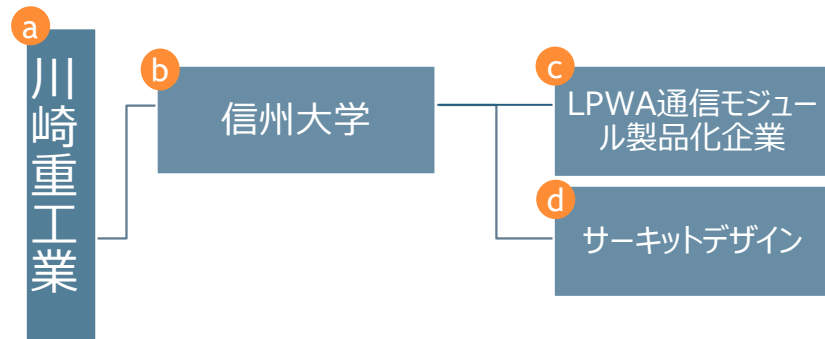
2023	2024~2025	2026~2027
本実証	実装	横展開
ネットワーク不良環境における駐車場画像のリアルタイム送信実証 LTE環境が整わない山岳・中山間地域の登山口などにおいて、本通信システムを使い駐車場の状況を監視できるか、次の条件で検証する。 - 複数のカメラを用いて駐車場を撮影し、駐車場の画像を1分間隔でクラウド上に送信する。 - カメラで撮影した画像をRaspberry Pi等によりクラウド上に保存する。 - カメラ何台分まで画像を安定的に送信できるか検証する。 - 輻輳管理プロトコル導入前後での変化も計測する。 【実証目標】 6台以上のカメラを使って駐車場の画像を遅延なく伝送できること	安曇野市での実装・サービス開始 安曇野市において、2024年度駐車場監視システムを選定し、選定したシステム上に本通信システムを組み込む。運用体制を確立の上、2025年度に社会実装する。 2024年の取り組み - 安曇野市において駐車場管理サービスを導入するエリアを決定する。 - 安曇野市が駐車場監視システムを構築する。構築するシステムの中に信州大学が駐車場管理システム業者と連携し長距離通信機能を組み込み・評価する。設置場所に応じたソーラーなどの電源モジュールも併せて調達・導入する。 2025年の取り組み - 駐車場管理システムサービス運用を開始する。安曇野市が登山者および駐車場管理者向けに駐車場混雑状況の映像配信を行う。	県内山岳・中山間地域→県外山岳・中山間地域への横展開 安曇野市が市内複数エリアの駐車場で本サービスの利用を拡大するか検討・決定する。拡大の場合は、駐車場管理システム導入業者と信州大学とが協力し環境を整備する。 また、構築した通信システムを別の用途で活用できないかどうかを安曇野市と信州大学とで検討し、新たなサービスの創出を目指す。 LTE環境が整わない山岳・中山間地域での登山口駐車場の駐車状況監視が困難と想定される、長野県内の自治体への横展開を見据え、信州大学が信州DX推進コンソーシアム参画団体に対する、駐車場管理サービスや通信システムの紹介・見学会を実施し、他の登山口駐車場への活用・展開を進めていく。また、大学のもつネットワークや学会などを通じ信州大学が検証成果を報告し、他県への導入も進める。

1 実装計画・スケジュール

b.実装の体制

実証①

実施体制図（実証1）



団体名

a 川崎重工業

b 信州大学

c LPWA通信モジュール製品化企業

d (株)サーキットデザイン

役割

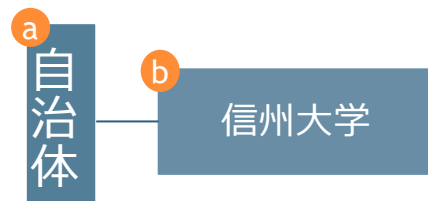
VTOL無人機開発
物資輸送サービス提供事業者

LPWA通信モジュール組み込み

LPWA通信モジュール製品化企業

429MHzLPWA通信モジュール販売
技術アドバイス

実施体制図（実証2）



団体名

3 自治体

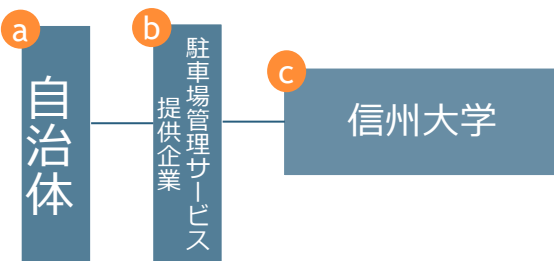
b 信州大学

役割

リアルタイム映像配信利用者
長距離通信システム検証・機材選定・運用

技術支援・アドバイス

実施体制図（実証3）



団体名

a 自治体

b 駐車場管理サービス提供企業

c 信州大学

役割

駐車場管理システム導入・運用者
導入エリア選定

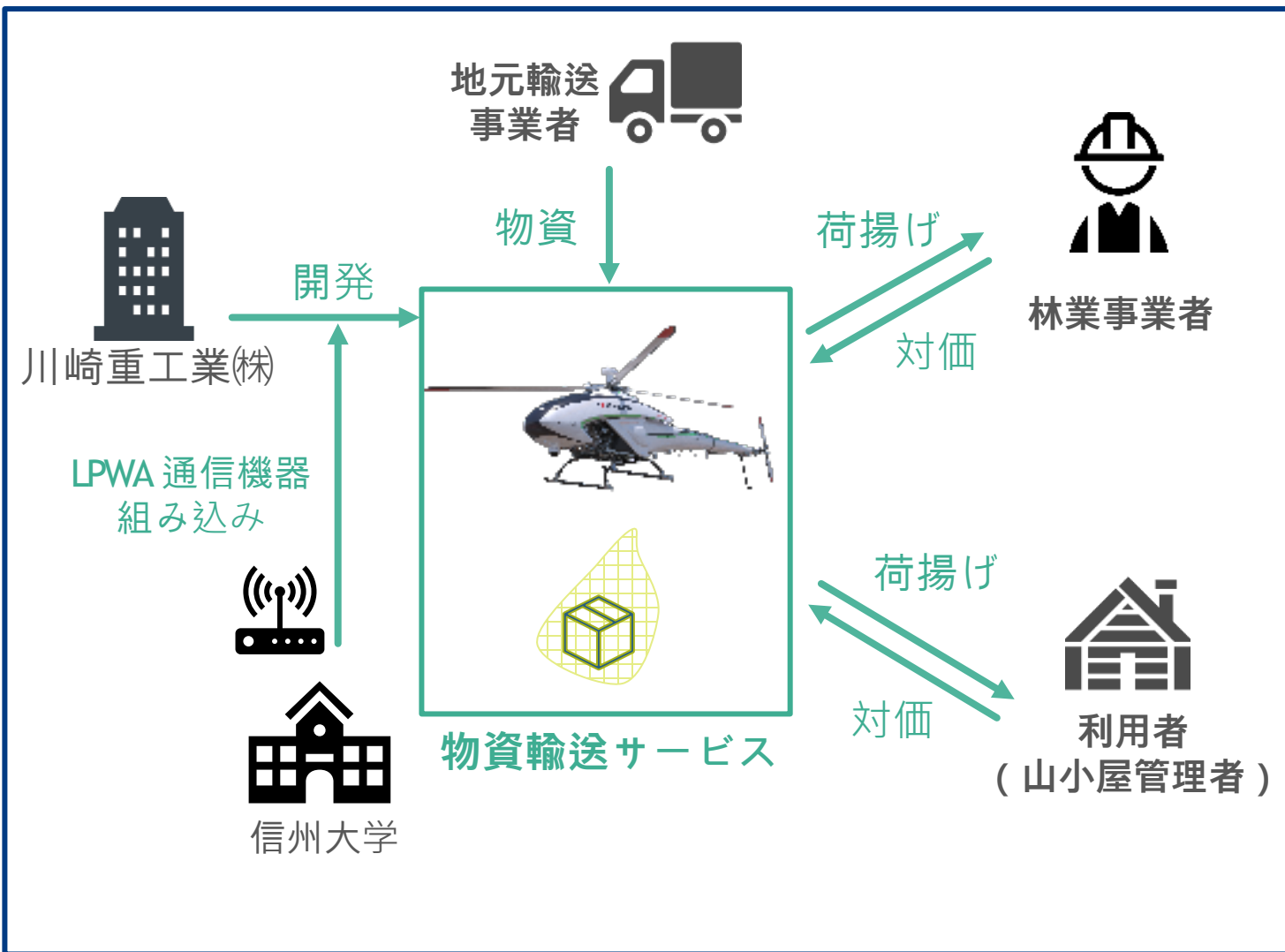
駐車場管理システム販売企業
長距離通信システム検証・組み込み

技術支援・アドバイス

① 実装計画・スケジュール

c.ビジネスモデル

実証①



概要

信州大学で開発したLPWA通信機器を川崎重工業(株)などの企業が開発する、VTOL無人機などの機体に組み込み、開発企業自身が山小屋への物資輸送サービスを行うビジネスモデルを構築する。

収益化モデル

信州大学は無人航空機開発企業から対価を得ながら航空機の形状に合わせた通信機材を開発する。

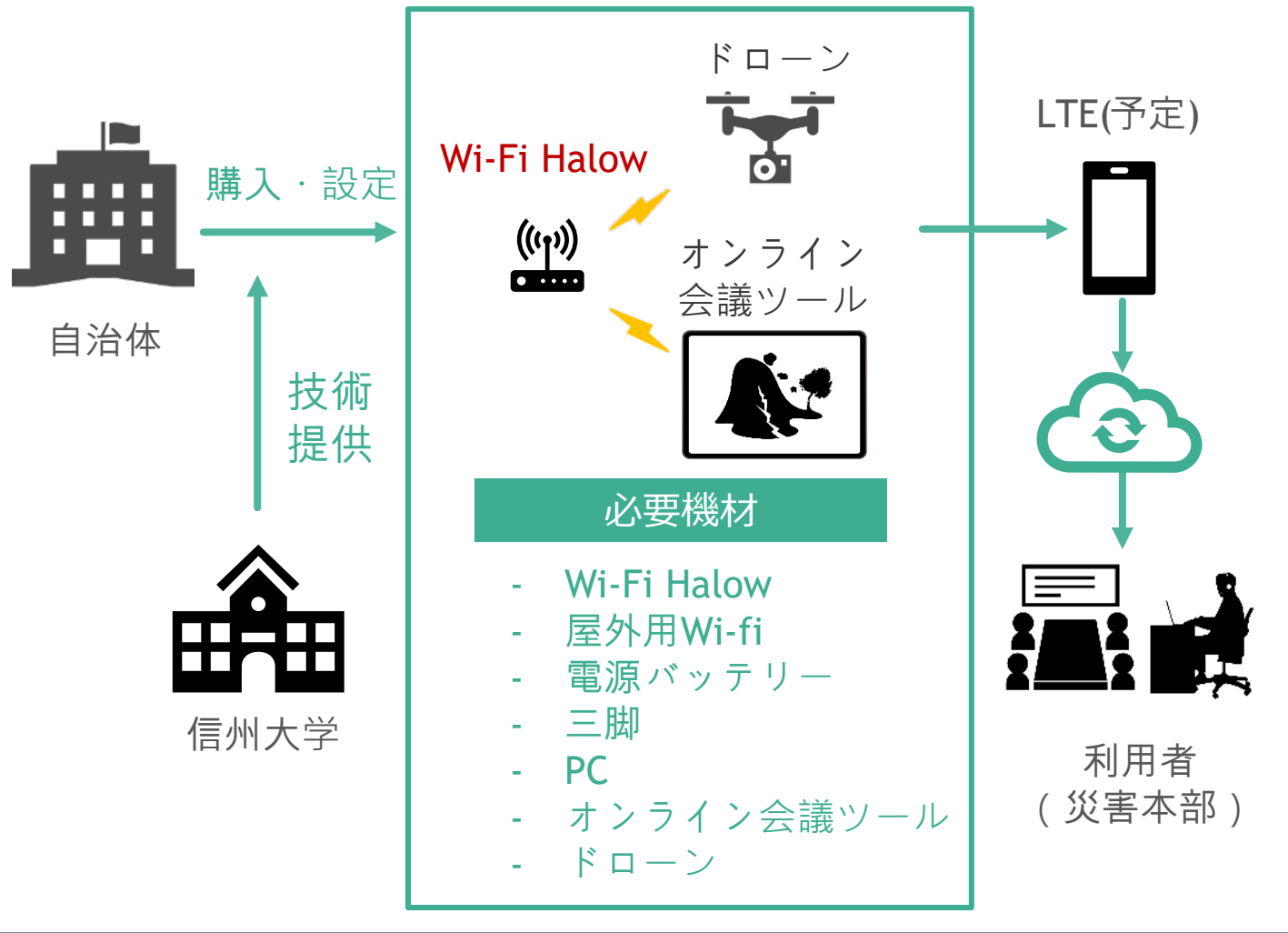
川崎重工業(株)などの無人航空機開発企業は、山間部で航空機を飛行できるようになる利点を生かして山小屋への物資輸送を行い、輸送事業者などの事業者から得ることで対価を得る。山林事業者などからの物資運搬などでも活用する。

現状は、物資輸送の中心はヘリコプターが中心だが、対価の設定次第で代替となるビジネスモデルになり得る。

① 実装計画・スケジュール

c.ビジネスモデル

実証②



概要

自治体が必要機材を直接購入し、設定・訓練を行った上で災害対応に利用するビジネスモデルを構築する。

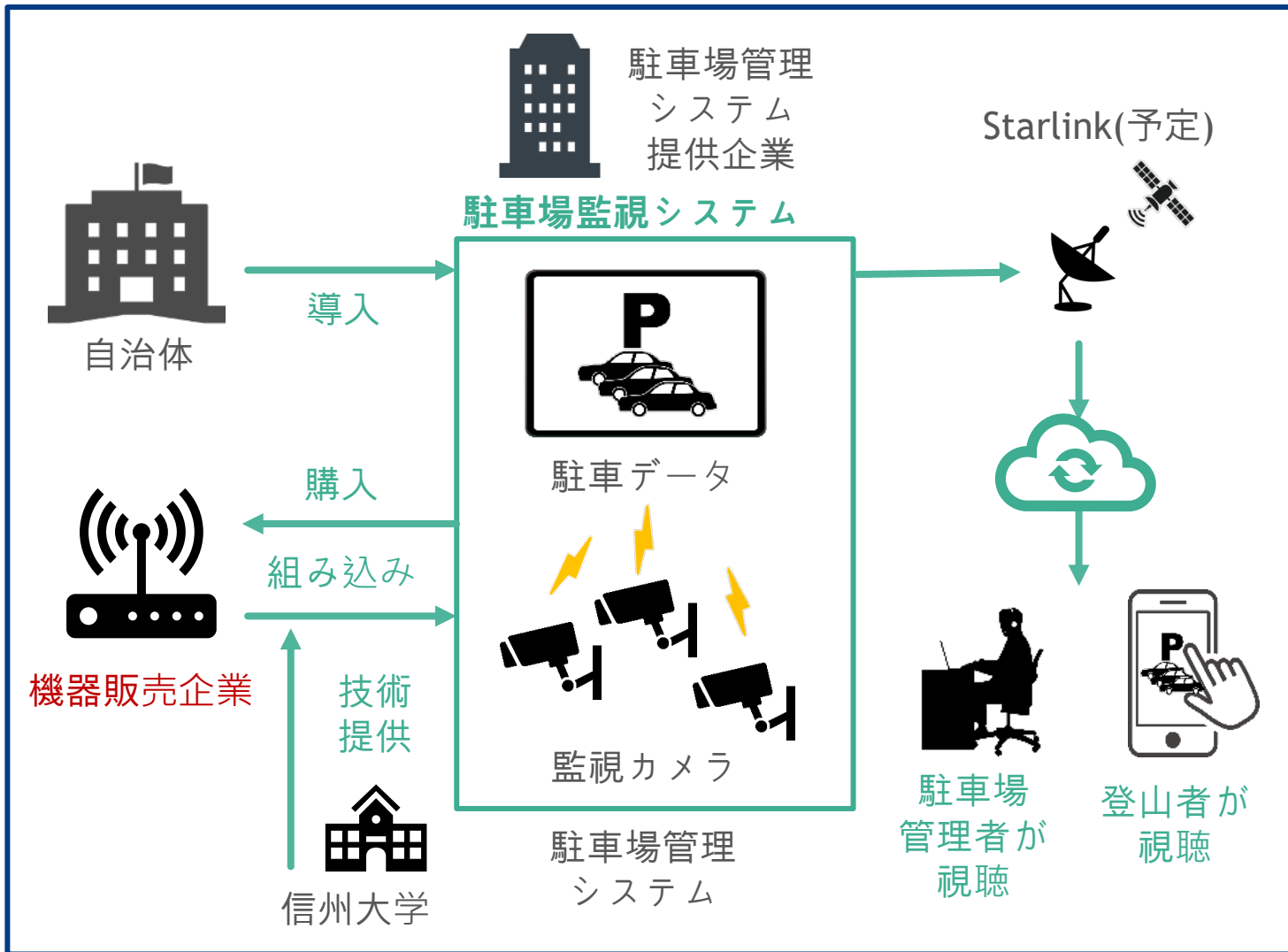
収益化モデル

- 信州大学は自治体への導入支援を行う。（対価の発生なし）
- 自治体は災害現場の迅速な確認を行えることにより、住民の迅速な避難誘導が可能となり、結果として住民満足度の向上が期待できる。また、Wi-Fi Halow以外の機材は通常業務で利用するものを転用するため、低コストでの運用が期待できる。

① 実装計画・スケジュール

c.ビジネスモデル

実証③



概要

企業が提供する駐車場管理システムの一部にWi-Fi Halowを利用した通信機能を組み込み、自治体がこれを導入し、山間部の駐車場で利用するビジネスモデルを想定。

収益化モデル

- 信州大学は駐車場管理システム提供企業への技術支援を行う。(対価の発生なし)
- 駐車場管理システムサービス提供会社は山間部での利活用を強みとしたサービス販売を行う。
- 駐車場管理システム導入自治体は、サービス導入により、誘導員人件の抑制や、道路修繕費の低減、駐車場今日の可視化による、利用客の増加につながるなどのメリットを得る。

③ 他地域への横展開の方策

対象 (地域・業界団体等)

効果の見立て

令和5年度取組み実績

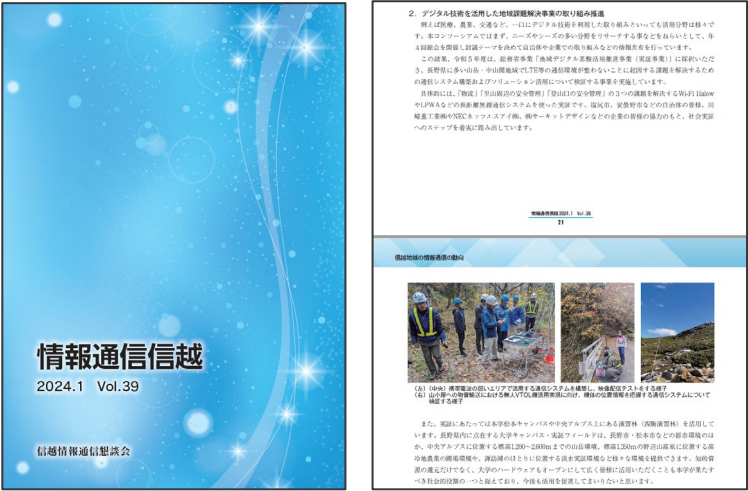
県内外 山岳・中山間地域

汎用性・親和性の高さ

ネットワーク環境の整わない山岳・中山間地域に対してネットワークを繋ぐ本通信システムは、カスタマイズは不要で、使用場所に依じて必要な機材数を購入するのみである。また、インターネット接続方法をLTE/固定回線/Starlink の3種類用意することで、どの地域でも利用可能なシステムを目指している。

また、ソリューションについて、通信システム上で動作するアプリケーションは、ユーザが日常的に使用するアプリケーションをそのまま利用することを想定している。コスト・ユーザビリティなどの点で、横展開時にこの汎用性・親和性の高さは優位に働くポイントとなり、地域のWell-Being向上に期待が持てる。

- ・信州DX推進コンソーシアムでの事業報告 3回
- ・信州DX推進コンソーシアム会員個別ヒアリング 15団体
- ・信州DX推進コンソーシアム会員限定の実証見学会開催 (2023/10/31)
- ・実証見学会開催 (2024/2/14)
- ・信越情報通信懇談会 (事務局:総務省信越総合通信局) 会報誌への掲載 (2024年1月)
- ・本学HPへの掲載 (<https://it-initiatives.shinshu-u.ac.jp/project/detail/?id=110>)



4 普及啓発活動

取組概要

信州DX推進コンソーシアムでの
情報共有・意見交換
コンソーシアム総会において、参画
団体に対して本実証に関する情報
共有・意見交換を行う

効果の見立て

横展開への布石
実証の課題と進捗を示すことで、
同様の課題を持つ県内自治体の
引き合いが見込まれる

令和5年度取り組み実績

- ・コンソーシアム総会での情報共有・意見交換
 - 2023/8/24
 - 2023/11/9
 - 2024/2/14
- ・コンソーシアム参画団体への個別ヒアリング
 - 15団体



2024/2/14 総会の様子

実証見学会の実施
コンソーシアム参画有無を問わず、
誰でも参加できる実証見学会を実
施する

横展開の提案
実証・ソリューションの有効性を示
すことで、同様の課題を持つ県内
外の自治体の引き合いが見込まれ
る

- ・コンソーシアム会員限定の実証見学会開催
 - 2023/10/31
- ・公開形式での実証見学会開催
 - 2024/2/14



2023/10/31 見学会の様子

本学広報誌への掲載
本学広報誌へ本実証に関する記
事を掲載する

県内外の関係団体へのアピール
当該広報誌を県内外へ送付・発
信することで、同様の課題を持つ
県内外の自治体の引き合いが見
込まれる

- ・信越情報通信懇談会（事務局:総務省信越総合通信局)会報誌へ
の掲載（2024年1月）
- ・本学HPへの掲載（<https://it-initiatives.shinshu-u.ac.jp/project/detail/?id=110>）

4 普及啓発活動

実証見学会（2024年2月14日開催）

概要

【開催日時】 2024年2月14日(水)
【場所】 信州大学松本キャンパス
 (〒390-8621 長野県松本市旭3-1-1)
【参加者】 51人
 (見学希望の企業・団体の皆様、
 実証関係者の皆様)

実施事項

- ・動画・ポスターを用いた本実証結果のご報告
- ・実証デモンストレーションの実施



2024/2/14 見学会の様子

見学会での質疑・回答など

ソリューション・実証実行

質疑

質疑に対する回答・今後の対策

高速移動体との通信	ヘリとして比較した場合のメリットはあるのか。 高度、特に冬の厳しい環境に耐えられるのか。 学術要素として取り組める内容なのか	霧の中でも運航できるため、可用性が高く、メリットは大きい。 防寒、防湿、防滴、電源の確保などの対策を講じていく。 電波伝搬モデルのシミュレーションなど論文のテーマとなる。
災害現場でのリアルタイム映像配信	デモで見たWiFi HaLowの映像は、かなり粗い画 質だが効果はあるのか。	Dutyの影響があり、映像配信の画質が粗いのは、通信 仕様であるため、改善は厳しい。屋外WiFiなどの通信手 段を組み合わせ実装していく。
駐車場監視	国立公園内では制約が多いのではないか	国立公園のルールに合わせて、カメラなどの設置場所を選ん で、対応していく。



総務省「令和5年度 地域デジタル基盤活用推進事業（実証事業）No.4

実証1 高速移動体との通信実証

01 実証背景

無線従属航空機の位置情報を把握する通信システムをつくりたい

近い将来、山小屋への物資輸送を担うであろう無線従属航空機の開発における課題の1つが、機体位置情報の把握です。現在はLTE網を利用して位置情報を監視していますが、山間部ではLTE環境が整わず、位置情報の特定に支障をきたすケースがあります。

山小屋への物資輸送の課題

- ・現在は有人ヘリが物資輸送を担っているが、パイロット/機体の確保が困難
- ・山間部は天候が変動しやすく、雲などの境界不良でスケジュールが遅れることが多くある

無線従属航空機開発・運行に向けた通信課題

- ・山間部では、機体を監視するための通信インフラが十分でない



開発中の無線従属航空機（VTOL無人機）「K-Racer X2」（写真提供：川崎重工様）

02 実証内容

① LPWAによる機体位置情報の取得可否の検証

上空の物体との通信が遠隔等なくできるか、速さ100km/h以上の移動体でドップラー効果の影響がないか中央アルプスで検証しました。

② 493MHzの周波数帯のLPWAを用いた検証

493MHz/429MHz/920MHzの3つの周波数帯のLPWAを用い、電波強度を測定し、山岳エリアで高速で移動する機体に最も有効性の高い周波数帯の通信システムを検証しました。



制作したLPWA子機（左側）と基地局（右側）（写真提供：山崎無線機）



制作したLPWA子機（左側）と基地局（右側）（写真提供：山崎無線機）

03 実証結果

① VTOL無人機の位置情報を確認

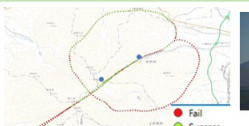
- ・時速150kmまでの実証範囲で、データの受信に影響はないことがわかりました。
- ・受信機から200m上空では欠損なくデータを受信できました。（無線従属航空機の巡航高度は最大高度150m）

② 受信機とVTOL無人機が見通せる飛行ルートでの設置が重要

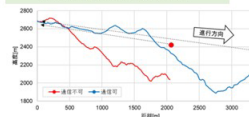
- ・送信機が受信機から被線の陰で見通しが取れなくなると、データの受信ができませんでした。（データ欠損率ほぼ100%）
- ・より広範囲の飛行ルートをカバーできる受信機の設置場所の選定が情報を常に把握するための重要なファクターとなります。

③ 429MHzが最適な通信システムであると判断

- ・149MHz/429MHzで良好な通信結果が得られました。
- ・149MHzの方が429MHzより山岳回折の効果がありました。
- ・149MHzはアンテナの形状に課題があり、機体への取り付けを考慮すると429MHzが最適と判断しました。



（上）位置情報確認結果（青●は基地局）



（上）機体への取り付け確認

04 今後の展望

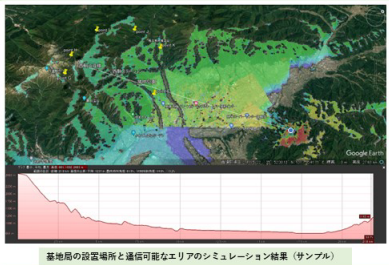
K-RACERとLPWAの電磁干渉試験を確認した上で機体位置情報を特定するためのバックアップ回線としての導入を見込んでいます（主回線はLTE）。2026年の社会実装に向け、次年度は主に次の検証を行う予定です。

① 基地局設置のシミュレーションと検証

- ・基地局設置場所と運航ルートが、もっとも合理的となる条件のシミュレーションを実施し、飛行実験を行います。シミュレーションは、中央アルプスエリア・北アルプスエリアを想定します。

② 通信機器の小型化、温度耐性などの検証

- ・今回制作した通信システムを小型化・軽量化し本環境で使用する形態にバージョンアップしなから、開発中無線従属航空機（VTOL無人機）に搭載し、問題なく動作するか検証します。



基地局の設置場所と通信可能なエリアのシミュレーション結果（サンプル）

実証連携企業・団体 川崎重工様、新井建設工業様、新井建設工業様、朝日航空機、南トラストネットワークス、新サイテックス、新サーキットデザイン



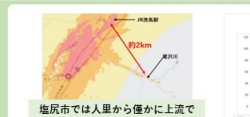
総務省「令和5年度 地域デジタル基盤活用推進事業（実証事業）No.4

実証2 災害現場等のリアルタイム映像配信実証

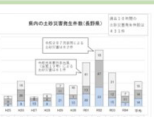
01 実証背景

増加傾向にある土砂災害に備えて災害対応の高度化を図りたい

近年多く発生する土砂災害、山間地での発生時は、地域住民の避難誘導など、行政側の迅速な対応が求められています。一方で、山間地は地形の影響でLTEの電波が届かず、トランシーバー等の音声でしか状況を伝えられません。その結果、対策本部側にリアルな情報が伝わらない、正確な判断が困難などの課題があります。



塩尻市では人里から僅かに上流で土砂災害が発生したことがある



長野県で増加する土砂災害（出典：長野県HP）

02 実証内容

① Wi-Fi HaLowによるリアルタイム映像配信

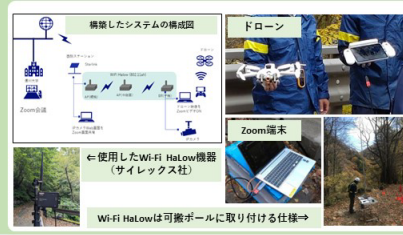
Zoomなど行政職員が平常時に利用する会議システムを利用し、災害現場の状況を一定の解像度で遅延なく災害対策本部に伝えられるか確認する映像配信検証を実施しました。

② 通信距離の延伸の検証

Wi-Fi HaLow機器が有するマルチホップ機能を使い、映像を配信できる最大延伸距離を検証しました。

③ 行政職員でも容易に構築可能な可搬型システム

現場到着後、すぐに通信環境を構築できるよう、行政職員でも構築可能な通信システムをコンセプトに機材を選定し、構築にかかる時間を検証しました。



03 実証結果

① 最大距離260mまで映像配信が可能

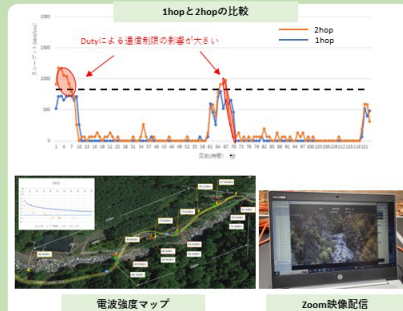
- ・見通しのきかない本実証では、最大260m程度の距離まで映像配信が可能でした。
- ・Zoom映像を伝送するためには、4MHz帯の帯域が必要で、1MHz帯と比較すると、到達距離が半分程度となります。
- ・Zoomは起動時に800kbps程度の通信が必要で、起動時の通信の可否が、映像配信の可否にも大きく関わります。
- ・見通しのきかない山間地での映像配信は、画質がかなり悪いか、映像配信ができません。

② マルチホップによる通信距離の延伸は困難

- ・ホップ機能を有効にすると、通信速度が半減します。
- ・Zoom起動に必要な通信が確立できず映像配信は困難でした。

③ 通信インフラ構築に必要な時間は約1時間

- ・Wi-Fi HaLowは小型で軽いため持ち運びは容易で、省電力性も有しているため、コンセント付きモバイルバッテリーによる起動が可能です。この結果、電源確保が容易で迅速な通信システム構築が可能となりました。



電波強度マップ



Wi-Fi HaLowと同等以上の性能が得られた屋外用Wi-Fi

04 今後の展望

① 屋外用Wi-Fiと組合わせた通信システムの実装

Wi-Fi HaLowのほか、屋外用Wi-Fiなど遠方遠所まで通信機器を使い分けて、塩尻市で社会実装を目指します。

② 通信距離の延伸の実現

- ・Wi-Fi HaLowの通信性能が低下しないよう、バルーンやドローン等を用いてWi-Fi HaLow機器同士が見通しがよく位置まで高さを上げて通信する実証を行います。
- ・複数ドローンでのマルチホップによる映像中継に挑戦します。

実証連携企業・団体 塩尻市、NECネットエスアイ株、南トラストネットワークス、新サイテックス、KDDI株、NTT東日本



総務省「令和5年度 地域デジタル基盤活用推進事業（実証事業）No.4

実証3 駐車場監視実証

01 実証背景

登山者に駐車場の混雑状況を知らせたい

アウトドアブームなどの影響で、登山向け駐車場が満車になる頻度が増えています。指定外区域への車両も増えており、緊急車両の通行が困難となるケースや、車の立ち往生、路肩損傷などの被害が生じています。また、登山口周辺はLTEの環境が整わず、平地と同等の駐車場監視サービスを利用することが難しい状況です。



安曇野市有明駐車場付近の指定外駐車状況

02 実証内容

① Wi-Fi HaLowによる駐車場混雑状況の監視

登山口周辺では、特に複数台の低遠端未端で発生しやすい混雑を回避するプロトコルの研究開発を行っています。今回の実証ではこの混雑回避プロトコルも試験的に導入し、有効性を検証しました。

② 輻輳回避プロトコルの有効性検証

信州大学では、特に複数台の低遠端未端で発生しやすい混雑を回避するプロトコルの研究開発を行っています。今回の実証ではこの混雑回避プロトコルも試験的に導入し、有効性を検証しました。



構築したシステムの構成図

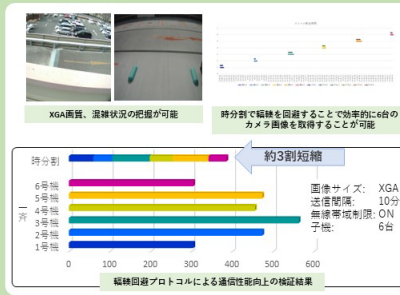
03 実証結果

① 7分以内にXGA画質の画像取得が可能

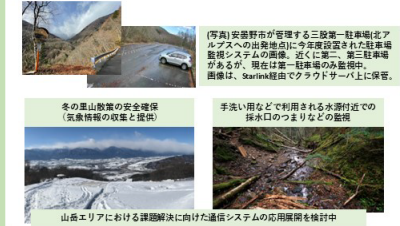
- ・輻輳回避プロトコルを導入しない状態でも、XGA(1024×768)画質の画像を6台の端末から6ファイルで7分以内に取得できました。
- ・マルチホップ機能の活用による通信距離の延伸を検証した結果、500m程度まで通信エリアを延伸できることがわかりました。通信速度は100kbps程度まで低下するため、データ送信には2分程度時間がかかりますが、目標とした15分以内に6台のカメラで駐車場状況の把握が可能です。

② 輻輳回避プロトコル導入で通信時間を3割削減

- ・輻輳回避プロトコル導入と無しの2パターンで6台のカメラ画像取得し、輻輳回避プロトコルの有効性を確認しました。
- ・検証の結果、輻輳回避プロトコル導入の場合、無しの場合に対して通信時間を3割程度削減できることを確認しました。
- ・端末数が増えても輻輳回避プロトコルがある場合、安定して画像を伝送できます。



XGA画質、遅延状況の把握が可能



輻輳回避プロトコルによる通信性能向上の検証結果

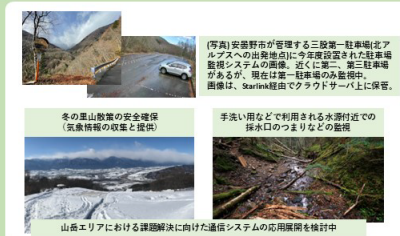
04 今後の展望

① 駐車場管理システムへの組み込み・評価

安曇野市様に、登山口駐車場の状況を把握するためのシステムを試験導入されています。次年度は本実証の成果を駐車場監視システムへ段階的に社会実装していくことを目指しています。

② 山岳エリアの課題解決に向けた応用・横展開

冬の山岳数などでは、気象情報（風速、気温）がイベント開催時の安全確保につながります。また、登山口駐車場では、湯水期の取水口からの排水状況の監視やトイレの汲み取り時期の把握など山岳エリアではいくつかのセンシング技術と組み合わせることによって課題が他にも存在しています。次年度は、山岳エリアの他の課題を解決する取り組みにも応用していきます。



安曇野市が管理する三股第一駐車場（北アルプスの山岳地帯に今年設置された駐車場管理システム）の画像

実証連携企業・団体 安曇野市、NECネットエスアイ株、南トラストネットワークス、新サイテックス、新サーキットデザイン、KDDI株、NTT東日本

実証報告書 付録資料

項目	フォルダ名・ファイル名
実証機器リスト	No.4信州大学_成果報告書(機器リスト)_20240416.xlsx
成果物概要版	成果物概要版_信州大学_20240415.pptx
高速移動体との通信 企業レポート（制作：川崎重工業(株) （実証計画書/実施報告書ほか）	フォルダ 実証1_高速移動体との通信実証_企業レポート
災害現場でのリアルタイム映像配信 企業レポート（制作：NECネットエスアイ(株) （実証計画書/実施報告書ほか）	フォルダ 実証2_災害現場等のリアルタイム映像配信実証_企業レポート
駐車場監視 企業レポート（制作：NECネットエスアイ(株) （実証計画書/実施報告書ほか）	フォルダ 実証3_駐車場監視実証_企業レポート
実証見学会資料 （会場ポスター、動画、参加者名簿ほか）	フォルダ 20240214_実証視察会