

総務省「持続可能な電波有効利用のための基盤技術研究開発事業(FORWARD)」

山岳・中山間地域における通信上の孤立を防ぐレジリエントIoTシステムの研究開発



単 麟 SHAN LIN

信州大学 学術研究院(総合人間科学系) 准教授

情報・DX推進機構 DX推進センター 主担当

信州DX推進コンソーシアム 運営委員会委員

日本ドローンコンソーシアム(JDC) 地域推進委員会委員

京都府名誉友好大使

経歴

2008年 京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻修士課程修了

2012年 同大学院博士後期課程修了, 第四世代移動通信システム、適応無線資源割当

2012年 - 2013年 シンガポール科学研究庁インフォコム研究所(A\*STAR I2R) 研究員、信号処理、5G、IoT

2013年 - 2023年 (国研)情報通信研究機構(NICT) ネットワーク研究所 研究員・主任研究員 高信頼無線ネットワーク

2024年 - 国立大学法人信州大学 学術研究院(総合人間科学系)准教授、情報・DX推進機構 DX推進センター 主担当

謝辞:本研究開発は総務省FORWARD(受付番号JPMI250420001)の委託を受けたものです。

# 目次

---

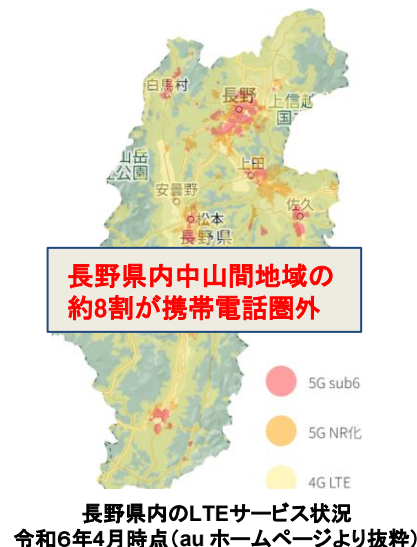
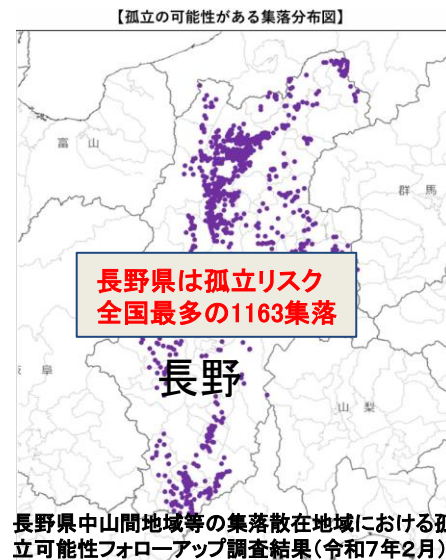
- 研究開発の背景と目的(地域課題・地域ニーズ)
- これまでの取組状況
- 提案システム
  - 要素技術概要
  - 提案システムによる周波数利用効率の向上効果
  - 地域課題解決のためのシステム実装
- 研究開発体制
- 実施計画、実用化の目途、波及効果

## 背景

- 中山間地域は日本の**国土の約70%**を占め、人口の約10%が居住、農業産出額・耕地面積の約40%を支え、一方で、急速な人口減少・高齢化により、災害時の脆弱性が顕在化
- 災害時に孤立する可能性がある集落が全国で**1万7千以上**(内閣府調査)。**長野県**は孤立可能性集落が**全国最多の1163**、地すべり、河川氾濫と土砂崩れが多発
- 長野県は中山間地域の**約8割が携帯電話圏外**、中越地震、能登半島地震、西日本豪雨、令和元年東日本台風災害などの経験から、衛星携帯・NTNなどの代替手段が整備されつつあるが、**運用やコストに課題**



図出典: [全国 孤立可能性マップ](#)



## 長野県内地域課題の調査実施

- 信州大学(情報・DX推進機構)は、信州DX推進コンソーシアムを設立・運営し(会員団体:80団体、自治体:26市町村、企業:52団体、教育機関:2団体)、地域課題の解決とDX人材育成に取り組む
- 本研究チームは県内26自治体と連携して地域課題・ニーズのヒアリング・解決策の提案・共通課題の整理を実施

### 地域課題・ニーズ1 山間部孤立リスク集落への支援

- ・山岳気象観測/土砂崩落監視/上流河川水位監視/水源取水口監視/登山道損傷情報把握
- ・継続的な各種センサーで災害の兆候モニタリングのため、低コスト通信インフラ必要
- ・獣害対策、野生動物捕獲用わな遠隔監視



### 地域課題・ニーズ2 登山者・林業者・高齢者見守り

- ・携帯圏外の山岳エリアでの登山者遭難発生や林業作業事故発生時の位置情報が必要
- ・SOS情報の発信や高齢者体調不良の遠隔検知



### 地域課題・ニーズ3 山岳部ドローン運用への支援

- ・携帯圏外山間部でのドローン・VTOL機利活用による、物質輸送実現のための機体位置情報常時把握が必要、通信遮断により映像共有や遠隔制御が困難
- ・必要な対応:リアルタイム連携可能な通信基盤、安全運航管理・訓練・空間モデル整備



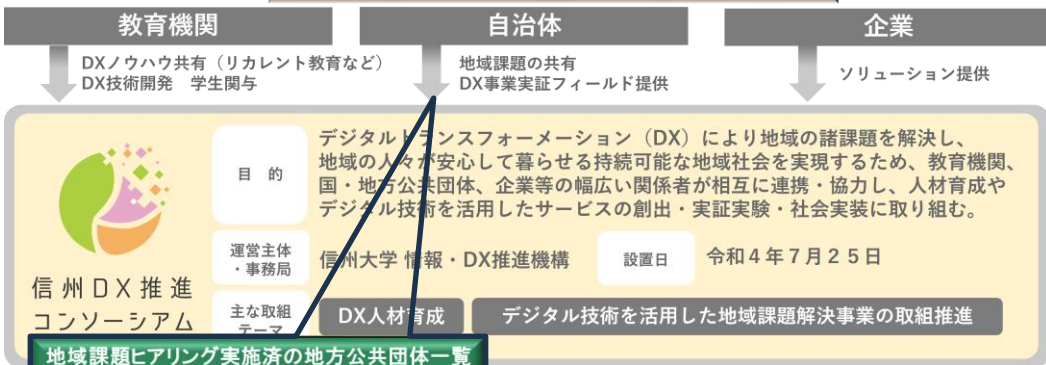


# 研究開発の背景と目的(地域課題・地域ニーズ)

3

- 地域課題調査実施: 信州大学、信州DX推進コンソーシアム(長野県内自治体26市町村、企業52団体、教育機関2団体)
- 本提案は松本市・伊那市の連携・協力のもと、通信・防災等の地域課題解決に資する研究開発を推進

## 信州DX推進コンソーシアムの事業概要



### 地域課題ヒアリング実施済の地方公共団体一覧

長野市	伊那市	松本市
東御市	駒ヶ根市	安曇野市
上田市	大町市	箕輪町
岡谷市	茅野市	木曽町
飯田市	塩尻市	松川町
諏訪市	佐久市	高森町
須坂市	千曲市	阿南町
天龍村	麻績村	小谷村
坂城町	山ノ内町	

### 地域課題解決の取組(一例)

・DX推進計画策定支援

・DX技術を活用したまちづくりの社会実装

防災DX 医療DX 環境DX 庁内DX スマートシティP/F

信大キャンパス内の実証フィールドを使ったDXの実証実験とその実装に向けた取組(文科省HPより抜粋)

## 松本市本プロジェクトの参加体制

令和7年2月18日

国立大学法人信州大学 理事(情報DX担当)

藤澤 晃 様

松本市長 臥雲 義尚

「山岳・中山間地域における通信上の孤立を防ぐレジリエントIoTシステムの研究開発と実装」プロジェクトへの参加について(回答)

立春の候、貴職におかれましては、益々ご清祥のこととお慶び申し上げます。  
また、日頃から本市のデジタル化の取組にご理解とご協力を賜り、厚く御礼申し上げます。  
さて、このたび貴学が取り組まれますプロジェクトに、本市として参加することとなりましたので、ご連絡いたします。

記

- プロジェクト名  
山岳・中山間地域における通信上の孤立を防ぐレジリエントIoTシステムの研究開発と実装
- 本市の体制  
通信および防災分野などの地域課題解決に寄与することが期待されるため、研究開発に協力する連携研究者として、以下の役割で参加します。
  - DX推進本部  
通信等の技術全般に関すること
  - 危機管理課  
危機管理防災に関すること

- **中山間地域における地域見守りシステムの構築、スマート農業実証**
  - 自治体・地域住民との連携による実証と実装、IoTセンサを活用した作物管理・効率化に貢献(須坂市・塩尻市など)
- **災害時通信確保に向けたローカル5G/LPWA導入実証、信州大学キャンパステストベッド構築**
  - 災害孤立集落対策として、災害リスク高い里山周辺の安全確保、自治体と連携し実証を実施(長野県内1件社会実装済み)

取組概要

所長 登山者見守システムにおける5Gとドローンの活用(長野県野沢町市)

令和元年度実証

### 5G、4Kカメラを搭載したドローンで遭難者の状況把握

(令和元年度5G総合実証試験)

**事業概要**

山岳登山ブームの中、遭難者の増加が問題となっている。この対策を急ぎ、登山者見守システムを開発している。このシステムは、登山者の位置ログを作成し、このログから遭難の発生の自動的・判別し、安全・迅速に救助することを目指すとしている。

遭難者システムとして山全体をカバーするLPWAと、特定の遭難者の状況を高精細映像で把握する5Gを組み合わせて採用している。

中央防災庁において、2018年7月からLPWAの実証を実施中であり、2019年10月には5Gの総合実証を実施した。

登山者見守システム機能概要

登山者見守システムは、登山者の位置ログを作成し、このログから遭難の発生の自動的・判別し、安全・迅速に救助することを目指すとしている。

登山者見守・状況確認フェーズ

遭難者検出フェーズ

登山者見守システム機能概要

登山者見守システムは、登山者の位置ログを作成し、このログから遭難の発生の自動的・判別し、安全・迅速に救助することを目指すとしている。

登山者見守・状況確認フェーズ

遭難者検出フェーズ

**事業名** 山岳・中山間エリアにおける地域課題解決サービス創出  
総務省 地域デジタル基盤活用推進事業（実証事業）

信州大学キャンパステストベッド構築—農学部西駒ステーション—  
西駒ステーションに設置した通信インフラ 様々な周波数の無線局を整備

# これまでの取組状況(実績例)

5

## 課題①

【対象者】

【内容】

a 山小屋  
管理者

物資輸  
送事業  
者

登山者

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無人機



(左) 試作機。川崎重工業HPより

[https://kawasakirobotics.com/jp/blog/story\\_15/](https://kawasakirobotics.com/jp/blog/story_15/)



- VTOL無人機 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)



## 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

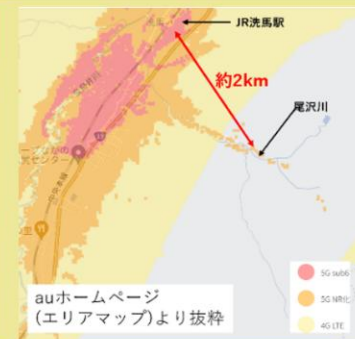
【対象者】 a 自治体、山小屋、登山者 等

【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

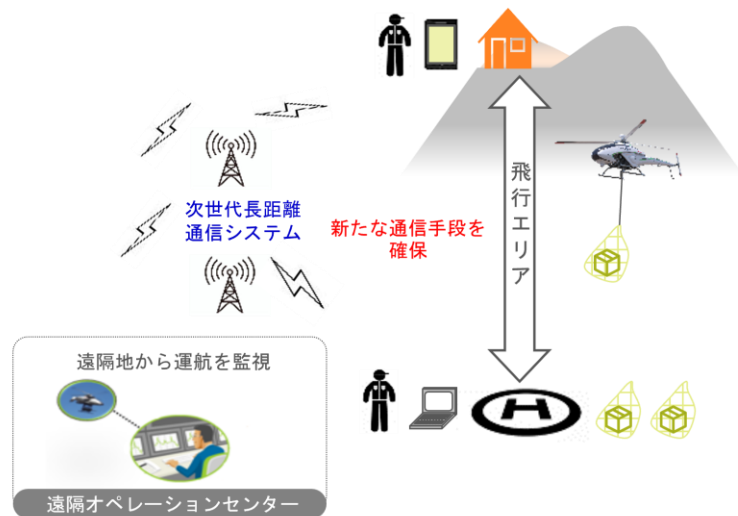
・長野県内の土砂災害発生状況について  
<https://www.pref.nagano.lg.jp/sabo/infra/sabo/dosha/kiroku/index.htm>

### 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

## 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)

## 実証① 高速移動体との通信で得られた成果（ヘリコプター）

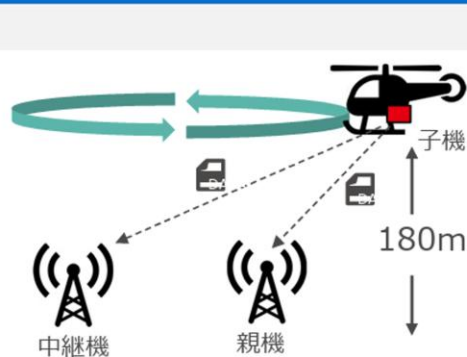
- ・機体への実装は、アンテナの長さが短い、429MHzが運用に適している。
- ・VTOL無人機に取り付け位置が確保できることを確認した。
  - ・150MHz用アンテナ（1/4波長） 約50cm （波長 約2.0m）
  - ・400MHz用アンテナ（1/4波長） 約18cm （波長 約0.7m）





## 実証①高速移動体との通信で得られた成果 (ヘリコプター)

子機を搭載し下図に示す範囲内において上空のデータ取得を実施



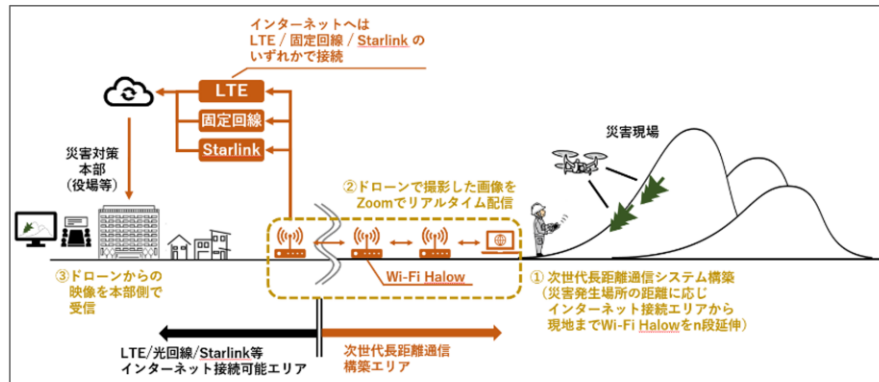
#	項目	試験内容
1	飛行条件	関連文書2を参照
3	飛行速度(km/h)	80/100/150

ログ取得

周波数	子機	親機	中継機
150MHz	○	○	○
429MHz	○	○	○
920MHz	○	○	×

#	項目	内容
1	調査日時	2023/10/24 10:52~13:50
2	調査員	(BSは搭乗なし)
3	ヘリ機体	-
4	測定器	MLR150/MLR429/ES920
5	親局位置	信州大学農学部 西駒ステーション (35.825844, 137.861842)
6	中継局位置	信州大学農学部演習林 (35.806217, 137.829903)

## 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。

## 実証②災害現場でのリアルタイム映像配信で得られた成果

### 考察

- ・Starlinkの設置、アンテナポール等を準備して、概ね60分以内に映像配信が開始できることが分かった。
- ・WiFi HaLowに供給する場合、モバイルバッテリーで24時間以上電源供給できるがわかった。



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 = 36.313 h



親機設置状況



中継機設置状況



子機設置状況

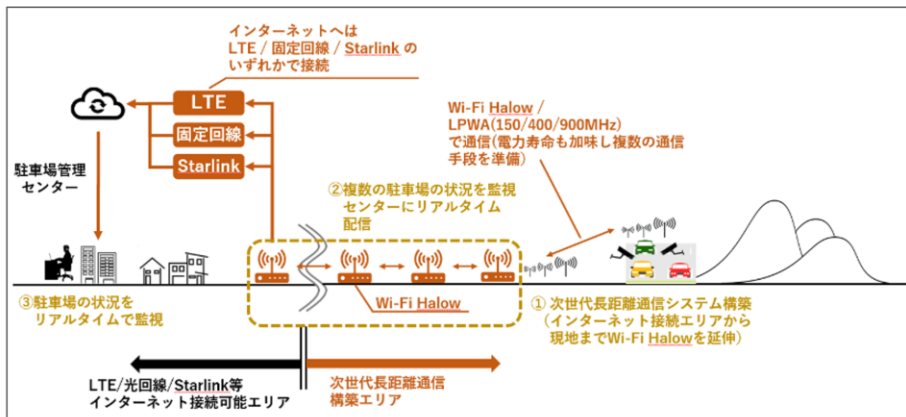


## 実証②災害現場でのリアルタイム映像配信で得られた成果

	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超の木々の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。



## 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

定性アウトカム

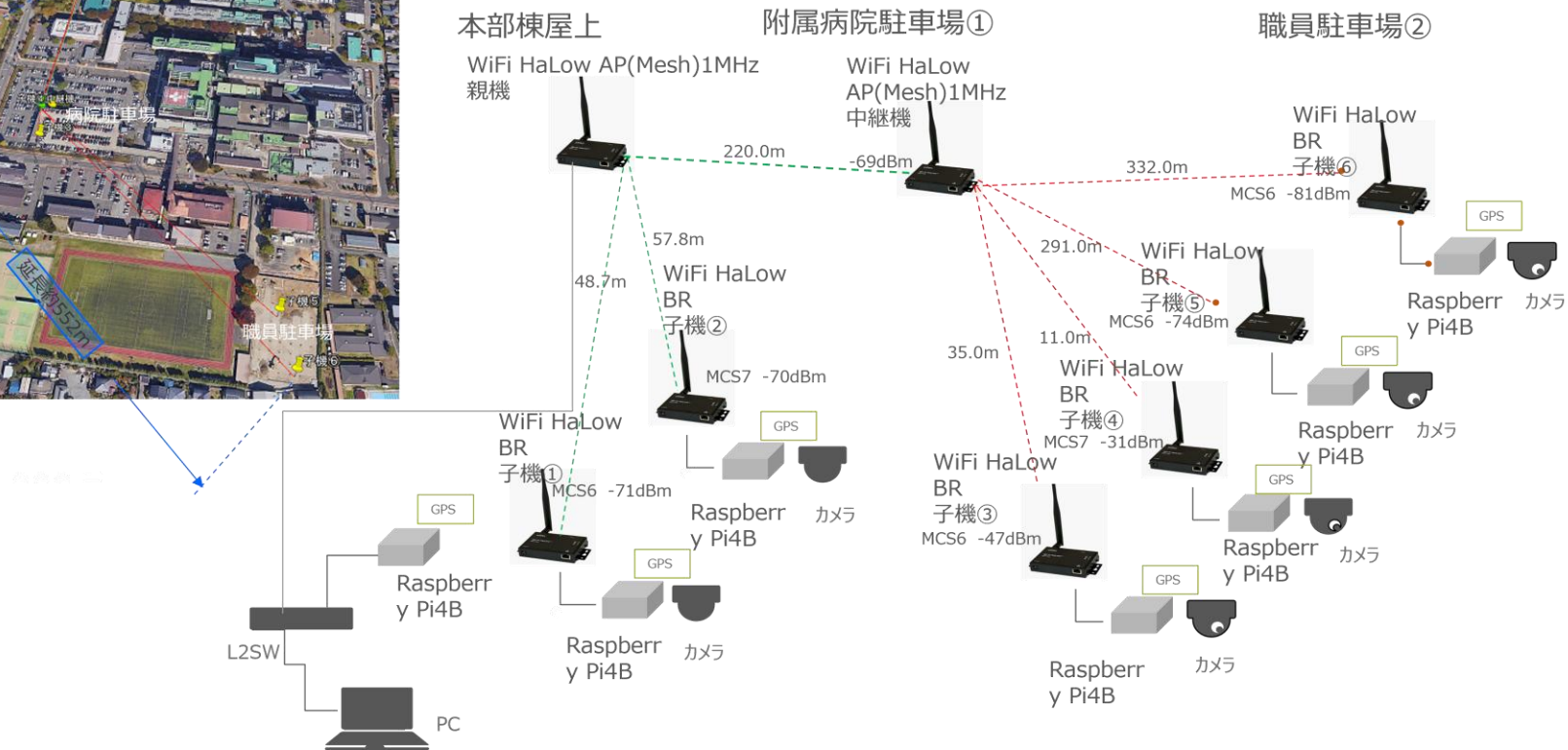
- LTE圏外の監視カメラからの画像データ同時受信数：6台以上の監視カメラからの同時取得

• -

## 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。

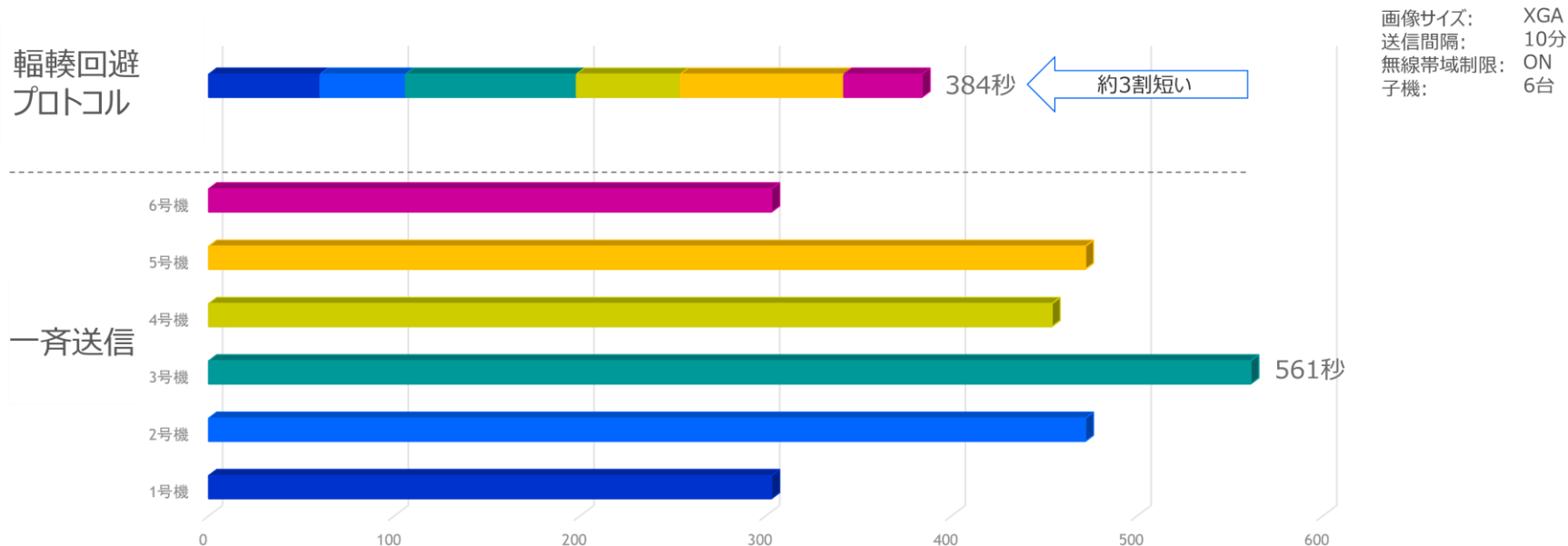
## 実証③駐車場監視で得られた成果(実証構成)





## 実証③駐車場監視で得られた成果（輻輳回避プロトコル） Wi-Fi HaLow

- ・時分割による輻輳回避プロトコルを使用することで、7分以内に6カ所の駐車場の画像（XGA）を伝送できることがわかった。
- ・一斉に画像を伝送する場合と比較して、輻輳回避プロトコルを使うことで、子機6台からの伝送時間を3割ほど短くできることがわかった。



## 実証③駐車場監視で得られた成果（輻輳回避プロトコル）LPWA 429MHz（一斉）

- ・輻輳回避プロトコルを使わず、6台の子機から一斉に画像を伝送した場合は、5台の子機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

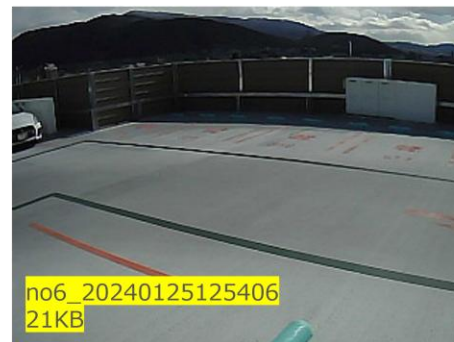
画像ファイルなし  
※サーバにて受信できなかった

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

## 実証③駐車場監視で得られた成果（輻輳回避プロトコル）LPWA 429MHz（時分割）

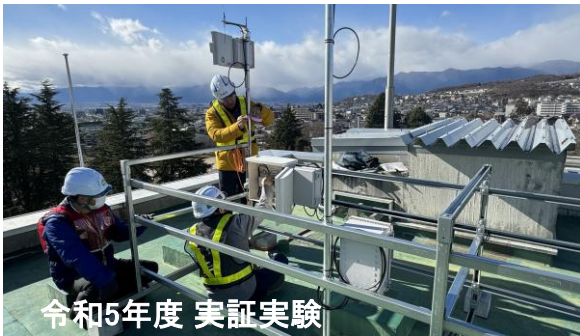
- ・輻輳回避プロトコル（時分割）を実装したLPWA（429MHz/FSK/2048bps）でQVGAの画像を6台の子機から伝送し、駐車場の混み具合を確認できる画質であることを確認した。



# これまでの取組状況(技術面の障壁と解決に向けた方向性)

- 既存通信技術の限界 (2023年度 実証実験結果より)
  - Wi-Fi HaLow(920MHz帯): 見通し1km以上可能だが、地形・樹木の影響で実距離は約300m
  - 低周波数帯(149MHz・429MHz帯): 長距離伝送は可能だが、通信速度が低速で映像伝送には不適
- デジタルインフラの構築・運用課題
  - 多様な周波数・機器(IoT端末・中継局・基地局など)の最適配置・保守が必要
  - 地形条件や利用目的に応じた柔軟な通信システム構成が不可欠
- 求められる技術要素と解決方向
  - 長距離・高信頼・多用途を両立する低コスト通信システム開発
  - 異種無線技術の統合設計(複数周波数+多目的通信用途の1局対応)
  - 災害時に強い、中央制御不要な自律分散ネットワークの実装

## 信州大学キャンパスICTテストベッド構築





## ● 「山岳電波灯台」構想

山岳・中山間地域の地理特性を活かした**低コスト・高効率通信インフラ構築**、平常時の利便性×災害時の即応性=**地域の安心・安全**

## ● システム構成

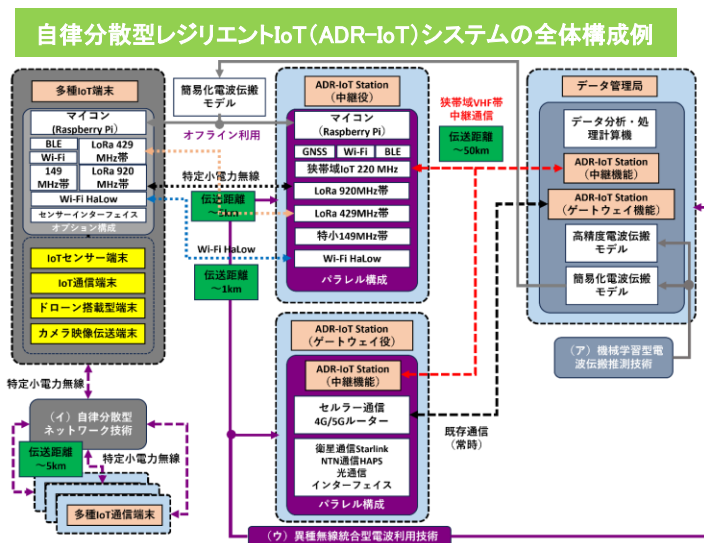
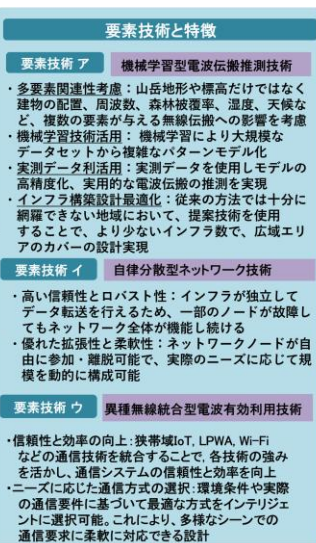
- ①多様な無線方式を備えた**ADR-IoT Station**(ゲートウェイ役、中継役)、②多様な**IoTセンサー端末**(加速度・水位・カメラなど)
- ③機械学習を用いた**高精度電波伝搬シミュレーター**

## ● 要素技術

(ア)機械学習型電波伝搬推測技術、(イ)自律分散型ネットワーク技術、(ウ)異種無線統合型電波利用技術

## ● システム統合実装(地域課題・ニーズ対応)

- ①水・土砂災害危険度の可視化システム、②登山者・林業者・高齢者見守りシステム、③ドローン運用支援システム



## 技術の特長

- 高度な機械学習手法により、**高精度・高汎用・軽量**な電波伝搬予測を実現
- 通信インフラ(基地局、中継局、端末局)の**最適配置**により、**電波有効利用**を実現

## システム開発内容

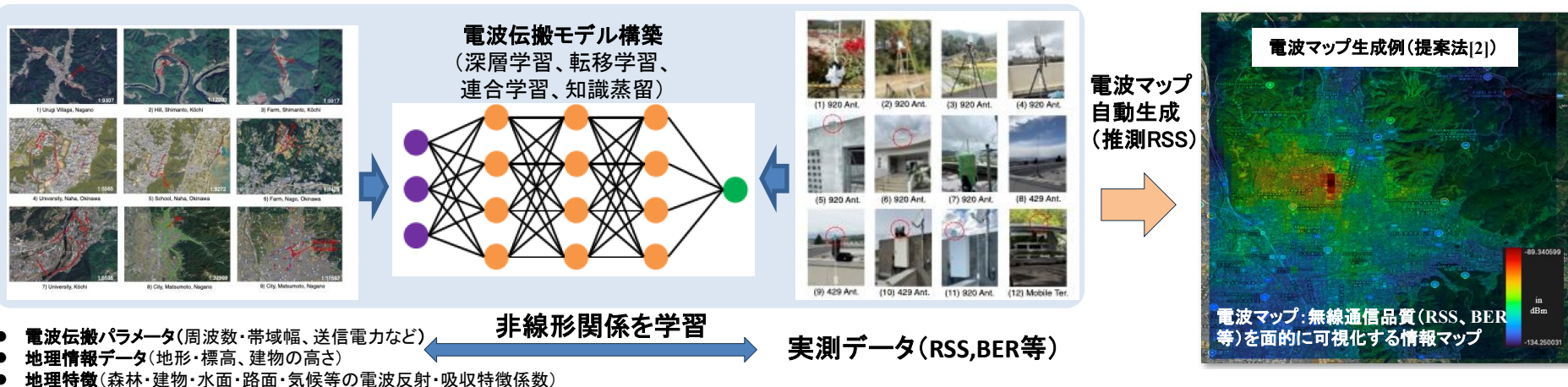
- 深層学習・転移学習・連合学習・知識蒸留の**強みを融合**し、高精度電波伝搬シミュレーターを開発

## 既存手法との比較(本手法の新規性)

- 既存手法と課題: (1)経験則手法: **精度が低い** (2)レイトレーシング手法: **広域エリア適用困難**  
(3)従来の機械学習手法: 地域固有データに依存し、**汎用性が低い**
- 提案技術の**新規性**:
  - ☑「**深層学習**」複雑な伝搬パターンの学習により**高精度化**
  - ☑「**転移学習**」学習モデルを異なる地域へ適用可能(**汎用性向上**)
  - ☑「**連合学習**」地域ごとの実測データ収集を**最小限に抑制**
  - ☑「**知識蒸留**」高精度モデルを**軽量化・実装容易化**

## 【実績例】

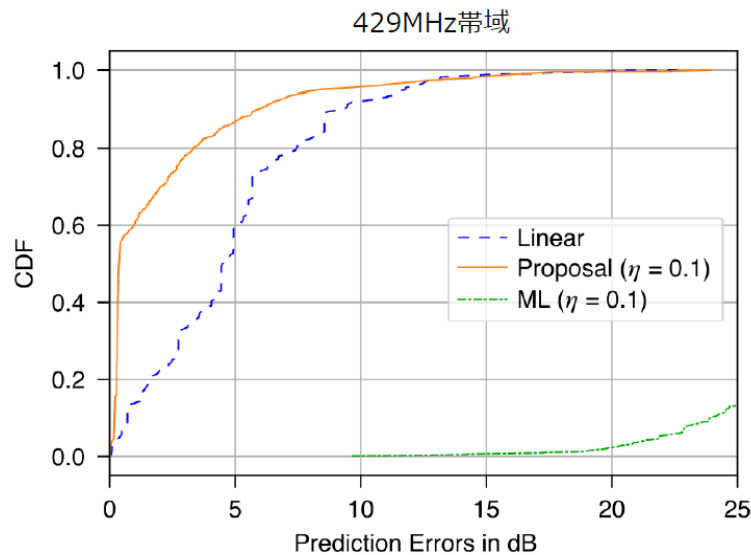
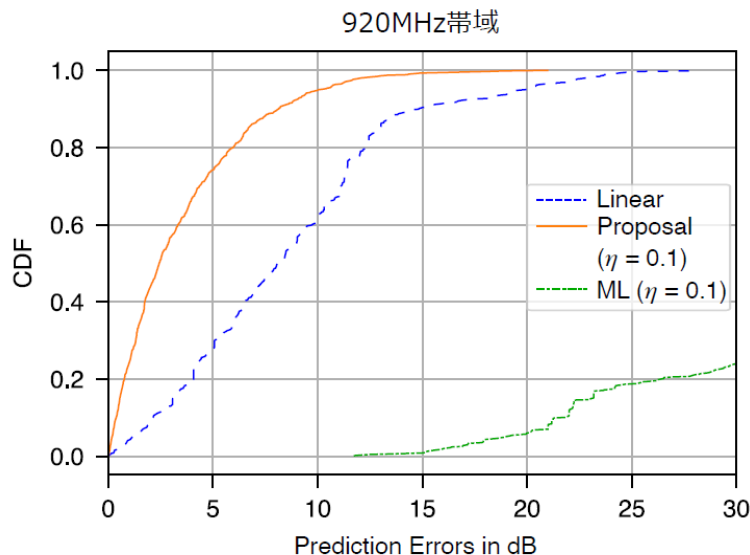
特許出願: 1件 [1]、  
誌上論文(投稿済み): 1件 [2]  
[1] 無線通信の品質を推定するための方法、プログラム及び装置、特願 2024- 177943, 2024.  
[2] 趙、単、李、松尾、不破、松村、  
Geographic Knowledge-Driven  
Transfer Learning for Enhanced RSS  
Prediction, accepted by IEEE TCCN,  
Nov. 2025 (IF 8.6 Q1).





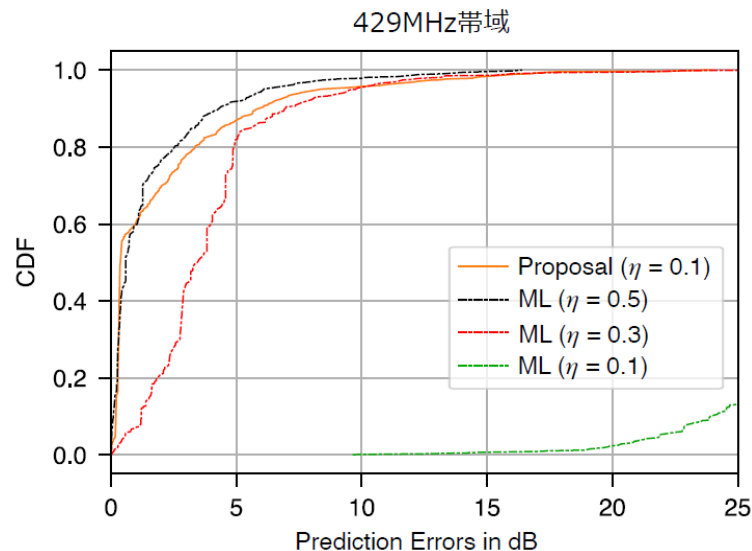
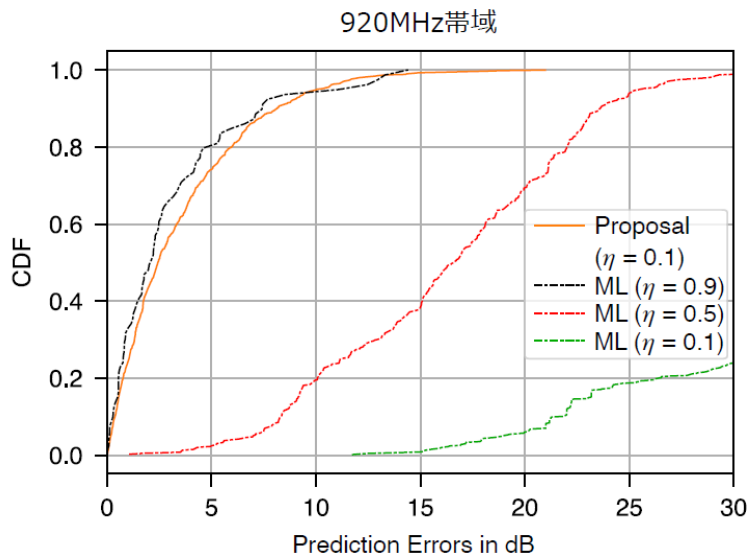
## 結果と分析:「深層学習」+「転移学習」

- 同一条件( $\eta = 0.1$ )下において、920MHz帯では予測誤差の50%を2.5dB以内、80%を6dB以内に抑える
- 429MHz帯では、これらの誤差がそれぞれ1dB以内と3dB以内
- 線形法および一般的な機械学習手法の精度は明らかに低い
  - 前者は複雑な環境への適応性に限界がある
  - 後者は大規模な訓練データセットへの依存性が原因



結果と分析:  $\eta$ が転移学習なしの機械学習に与える影響

- 920MHz帯では、 $\eta$ を0.1から0.5、さらに0.9へと増加させることで予測精度が大幅に向上し、 $\eta = 0.9$ では提案法と同等の性能が得られている。429MHz帯でも同様の傾向が見られ、 $\eta$ を0.1から0.5に上げることで同等レベルの精度向上が確認された。
  - 訓練データセットを拡大することでデータ分布のカバレッジが広がり、精度が向上する
  - $\eta$ を大きくすると予測用データセットのサイズが減少するという実用的なジレンマが生じる



## 技術の特長

- 中央制御が不要、**通信範囲内**の通信局・端末が所定プロトコルに沿って**自動接続**
- 自律分散アルゴリズムに基づいて通信局・端末間で**フレキシブルな通信リンク形成**

## システム開発内容

- ビーコン要求に基づく情報伝達により、重複送信を排除し、**周波数の無駄な使用を低減**
- 通信局・端末の役割を考慮したルーティング最適化により、**伝達効率を向上**
- SOS・緊急情報に対して、全ネットワークによる優先的な伝達により、**伝達成功率を確保**

## 既存手法との比較(本手法の新規性)

- **ビーコン要求機能の全端末への拡張**によるレジリエンス性を向上
- **マルチホップ**によるカバレッジ拡大
- **重複送信排除**による周波数利用効率と電力利用効率向上

## 【実績例】

誌上論文:2件 [1,2]、国際会議論文:1件 [3]、  
特許出願:1件 [4]、地域実証:4件、実装2件

[1] 李, 単, 不破, 松村: IEEE Access, vol.12, Sep. 2024.  
“Gathering Activities of Daily Living Data for Elderly Care in Network Deficient Environments”.

[2] 単, 李, 他, IEEE Access, vol. 8, Fed. 2020 “Local Information Sharing System with Wireless Device-to-Device Communications,”.

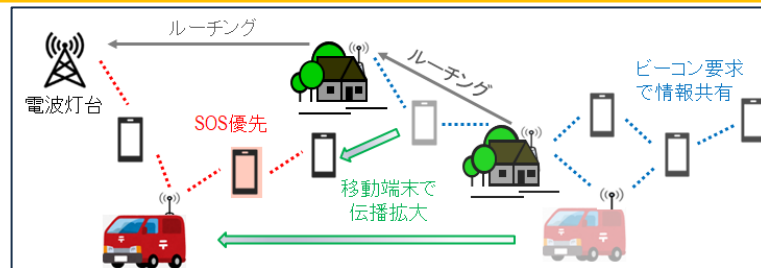
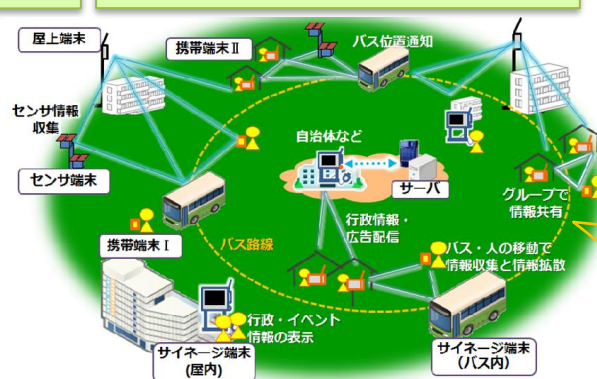
[3] 李, 松村, 他: ICSPCS'2024, Australia, December 2024. “Development and Deployment of A Distributed D2D System for Supporting Water Quality Monitoring”.

[4] 李, 松村, 他: 特願2021-208046端末間通信による情報共有方法を実現する端末機

## 【実証例】過疎地域における新たな情報収集・伝達手段として端末間通信の利活用[1]



## 【実証例】自律分散型地域内情報共有・災害対策実証とテストベッド構築[2]



## 実証評価テストベッド

東京都港区お台場地区

京都府精華町けいはんな地区

実施期間: 2014年~2018年

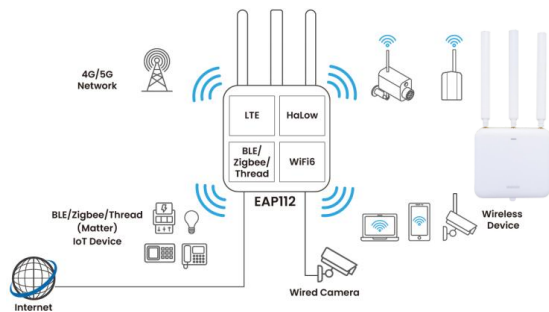
## 技術の特長

- 多様な無線方式を統合制御するネットワークオーケストレーション技術を開発
- 広帯域・狭帯域の無線資源を最適に活用し、センサー情報から映像伝送まで柔軟に対応
- 狭帯域IoT (220MHz)を活用した長距離中継により、少数の通信局 (ADR-IoT Station)で広域エリアをカバー

## システム開発内容

- ADR-IoT Stationゲートウェイ役: 4G/5G/NTN(HAPS)/Starlink等によるインターネットへ多様なアクセスインターフェイスを確保
- ADR-IoT Station中継役: 狭帯域IoT (220MHz)により長距離中継通信、LPWA (920/429/149MHz)/Wi-Fi/BLE等によりIoT端末とを連携
- 実装 (制御とデータ処理): 緊急時・災害時はEdge AIで情報伝達の優先度制御、Raspberry Pi等にPython/C++で低コストで実装  
(※狭帯域IoT (220MHz)通信機器提供: 株式会社スペースタイムエンジニアリング)

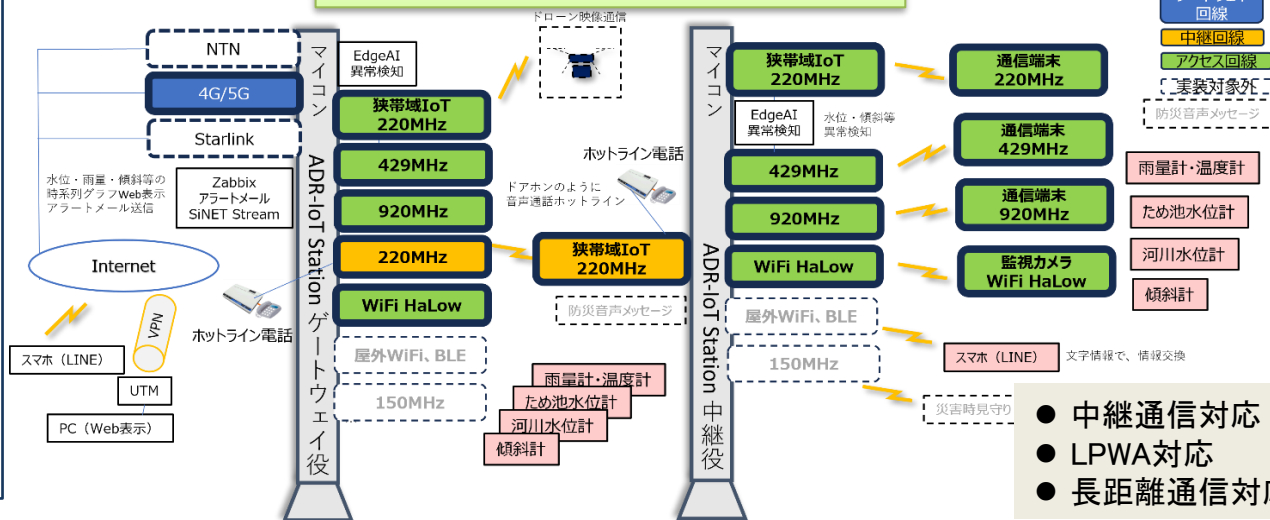
### 既存システム例: Wi-Fi6 IoTゲートウェイ



- 中継通信未対応
- LPWA未対応
- 長距離通信未対応

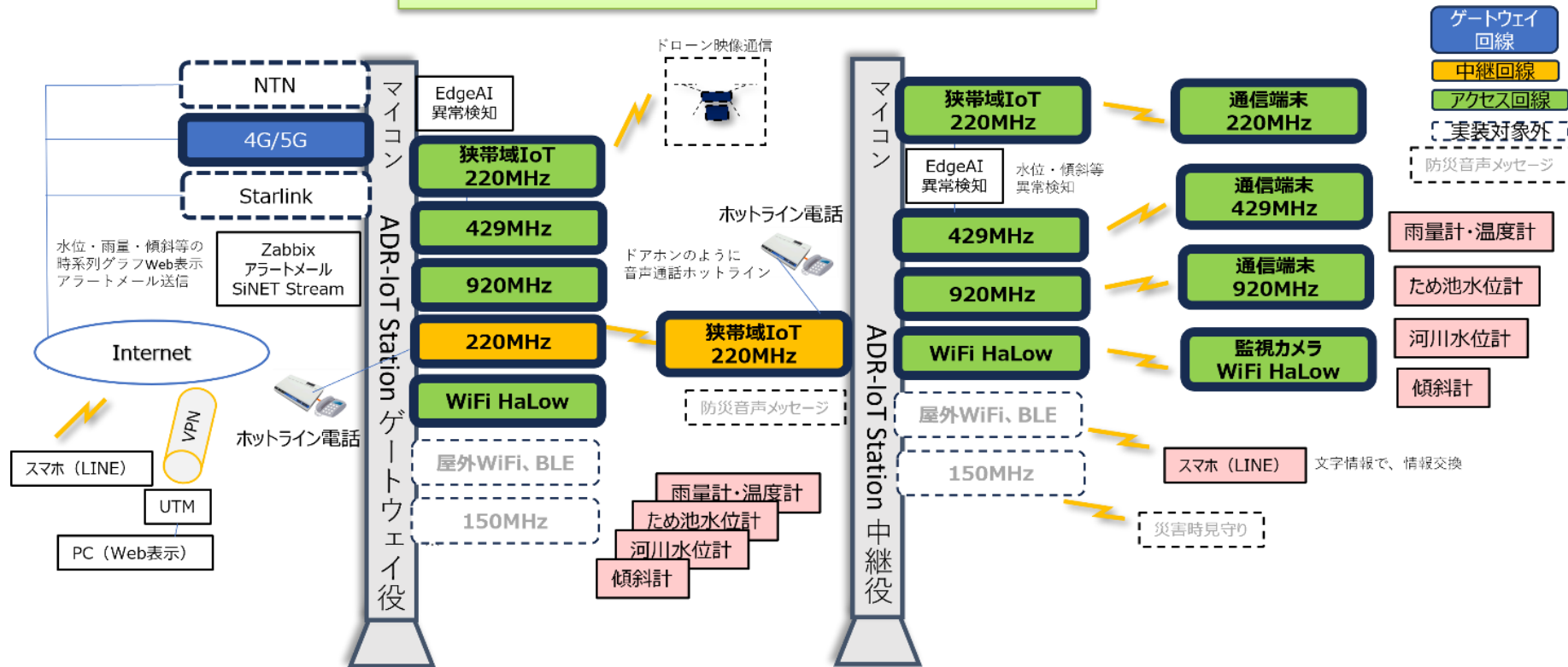
EAP112は、Wi-Fi 6、HaLow、BLE、ZigBee、Thread、LTEを搭載するIoTゲートウェイ  
www.edge-core.com

### 提案システム: ADR-IoT Stationの開発と実装例



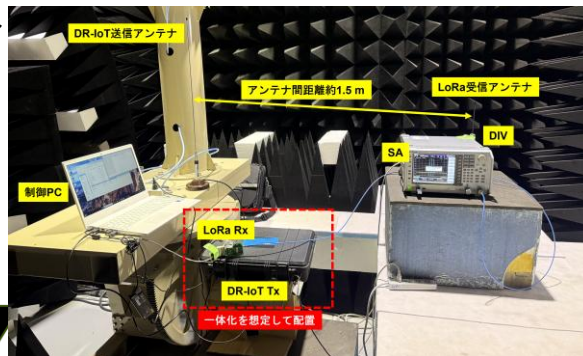
- 中継通信対応
- LPWA対応
- 長距離通信対応

## 提案システム: ADR-IoT Stationの開発と実装例

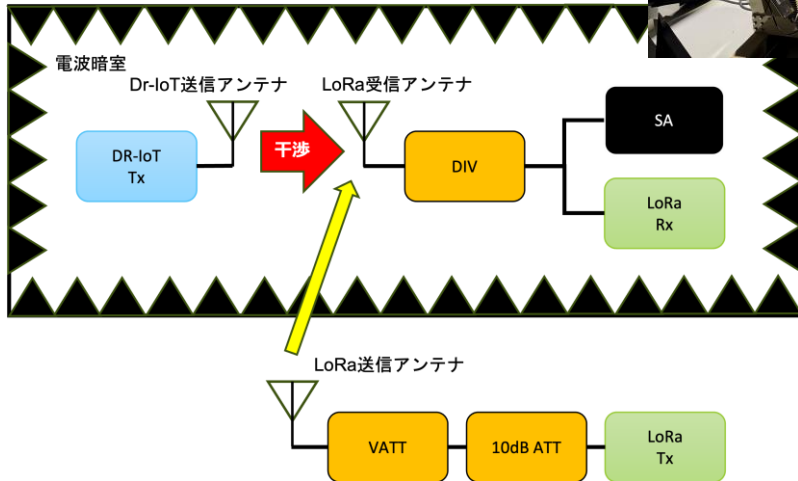


異種無線統合システム実装への基礎評価

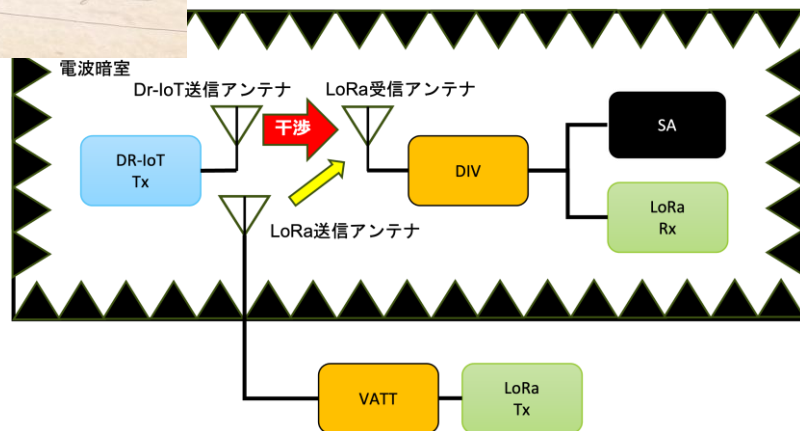
- 狭帯域IoT(DR-IoT)送信が429MHz帯LoRa受信に与える影響、狭帯域IoT送信が920MHz帯LoRa受信に与える影響をパケットロスから評価・検討
- DR-IoT送信電力は37dBmほど



DR-IoT対429MHz帯LoRaのブロック構成



DR-IoT対920MHz帯LoRaのブロック構成

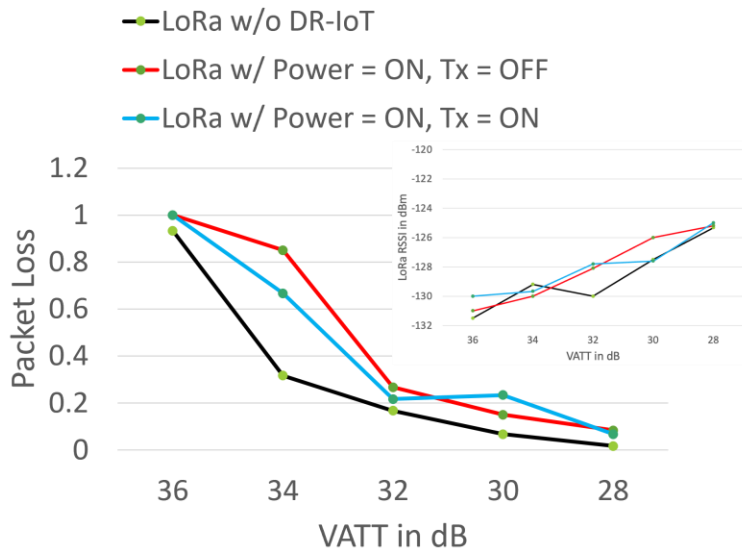




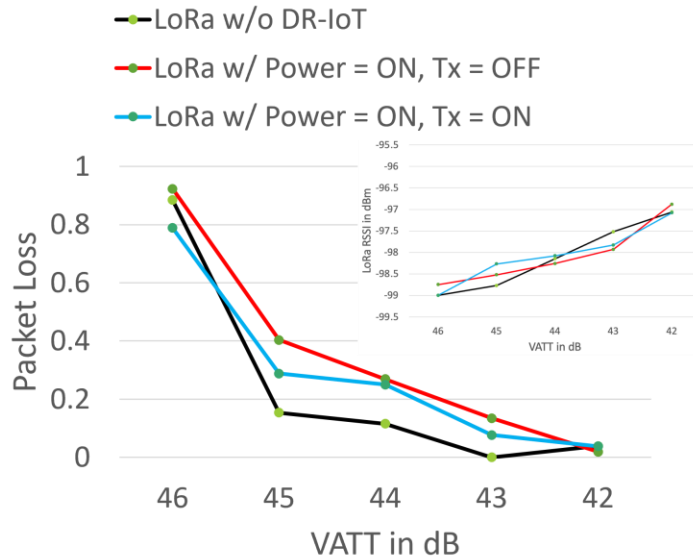
## DR-IoTとLoRa両システム間干渉に関する基礎評価

- DR-IoT変調信号を出しても出さなくても、電源ONだけでLoRaシステムに多少影響を与えた
- DR-IoTからの影響を受けてもLoRa受信レベルの変化はあまりないと観察した
  - DR-IoTアンプの雑音は原因と予想

DR-IoT対429MHz帯LoRaのパケットロス



DR-IoT対920MHz帯LoRaのパケットロス



# 提案システムによる周波数利用効率の向上効果

## 電波の有効利用の促進:【自律分散型レジリエントIoT(ADR-IoT)システム】

### (ア)機械学習型電波伝搬推測技術:

- 基地局・中継局・端末局の最適配置によって**カバー範囲の最大化**、周波数有効利用を実現
- 研究開発目標値:8割の受信電力レベル推測値の誤差5dBm以内

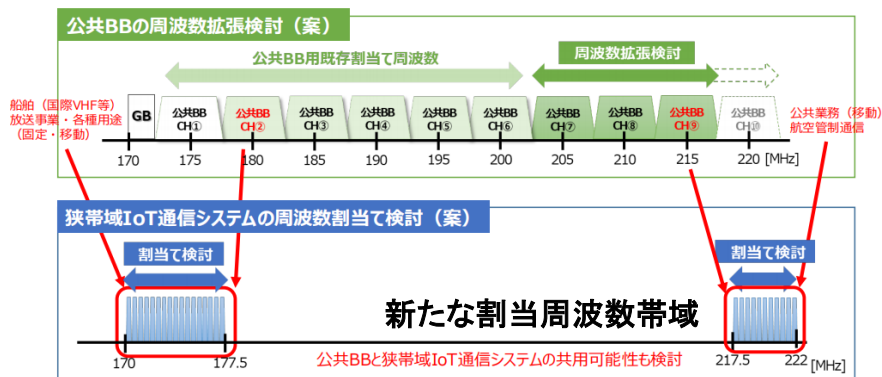
### (イ)自律分散型ネットワーク技術:

- ビーコン要求機能の強化によって**無駄な重複送信を排除**し、周波数利用効率と電力利用効率向上を実現
- 研究開発目標値:通信可能なIoT端末間での情報伝達率95%以上

### (ウ)異種無線統合型電波利用技術:

- 複数の周波数帯と無線方式(狭帯域IoT・LPWA等)を統合活用し、**少ない通信局数でより広いエリアをカバー**
- 研究開発目標値:ネットワーク通信成功率95%以上

## 本提案システムの新たな割当周波数帯域の利活用



## 狭帯域IoT通信システムの主な技術的条件(案)

項目	下側帯域	上側帯域
送受信周波数帯	170.0~177.5MHz	217.5~222.0MHz
空中線電力	20mW又は250mW以下(上空・海上利用はなし)	5W以下(上空利用は1W以下)
占有周波数帯幅	200kHz×N [単位ch:200kHz, N=1~6] (200, 400, 600, 800, 1,000, 1,200kHz)	200kHz×N [単位ch:200kHz, N=1~2] (200, 400kHz)
データ伝送速度	2,400kbps以下 (FSK:600kbps以下, OFDM:2,400kbps以下)	600kbps以下 (FSK:300kbps以下, OFDM:600kbps以下)
変調方式	FSK, OFDM FSK: IEEE802.15.4-2020 SUN FSK 19.3項規定及び、IEEE802.15.4aa-2022 SUN FSK 19.3項規定に準じる OFDM: IEEE802.15.4-2020 SUN OFDM 20.3項規定に準じる	
通信フレームフォーマット	FSK: IEEE802.15.4-2020 SUN FSK 19.2項規定に準じる OFDM: IEEE802.15.4-2020 SUN OFDM 20.2項規定に準じる	
受信感度	FSK: IEEE802.15.4-2020 SUN FSK 19.6.7項規定に準じる OFDM: IEEE802.15.4-2020 SUN OFDM 20.5.3項規定に準じる	
空中線利得	6dB以下(ただし、空中線電力の低減や給電線損失を補う分の増加は認められる。)	
隣接チャネル漏えい電力	空中線電力が20mW以下の場合には-25dBc以下、空中線電力が250mWを超える場合には-20dBc以下、空中線電力が20mWを超から250mW以下の場合には定義式 <sup>(1)</sup> による	
不要放射の強度の許容値	-30dBm/100kHz以下(等価等方輻射電力(ETRP))	
キャリアセンス	有(閾値:-80dBm, 送信時間制限:有)	
備考	IEEE802.15.4-2020 SUN FSK及びSUN OFDMに、IEEE802.15.4aa-2022で新たに規定されたチャネル間隔及び変調パラメータを追加し、V-High帯へ拡張したものと	

実装コンセプト:「つながる・知る・動く。つながることで地域が変わる、暮らしが変わる」

観点	主な目的	実装の方向性
① つながる	新通信インフラで集落がつながる、情報でつながる	山岳電波灯台、IoT・UAV等によるリスク監視、避難支援、通信の確保
② 知る	生活インフラ、道路や水路、河川、斜面の危険性、必要な情報がいつでも見える	地域の見える化、ダッシュボード化、平常時から維持する通信・交通・防災の情報ネットワーク
③ 動く	集落の移動、買い物、病院に安全に行ける、農業や産業、観光、鳥獣被害・山地保全、交流を促進	まちづくりと人づくり、生活環境の充実、生活の地産地消、安心安全、防災

本提案で構築するADR-IoTシステムによる地域課題の解決に向けた具体的な実装テーマ

地域課題1: **集落孤立対策**: 地域の水・土砂災害危険度の可視化システムの実装  
☒IoTとUAVによる統合型斜面モニタリングシステムと集落孤立の危険度評価用のシステム構築

地域課題2: **登山者・林業者・高齢者見守り**: 位置情報・SOS通信システムの実装  
☒GNSSや低消費電力通信を活用したリアルタイム位置追跡、緊急時のSOS通信機能の提供

地域課題3: **ドローン運用支援**: ドローンによる情報収集・支援システムの実装  
☒LPWA通信ドローンの飛行位置可視化、点群モデル構築、地形と電波環境に応じる飛行経路設計



## 地域課題 1

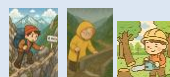
### 土砂災害等



家屋の裏山などの急傾斜地の状態を監視とEdgeAIによる通知を行うシステムの開発・実装

## 地域課題 2

### 登山者・林業者・高齢者見守り



電波不感エリアで端末間通信で救難情報や位置情報の共有を行い、LPWAエリアから見守り情報を送信するシステムの開発・実装

## 地域課題 3

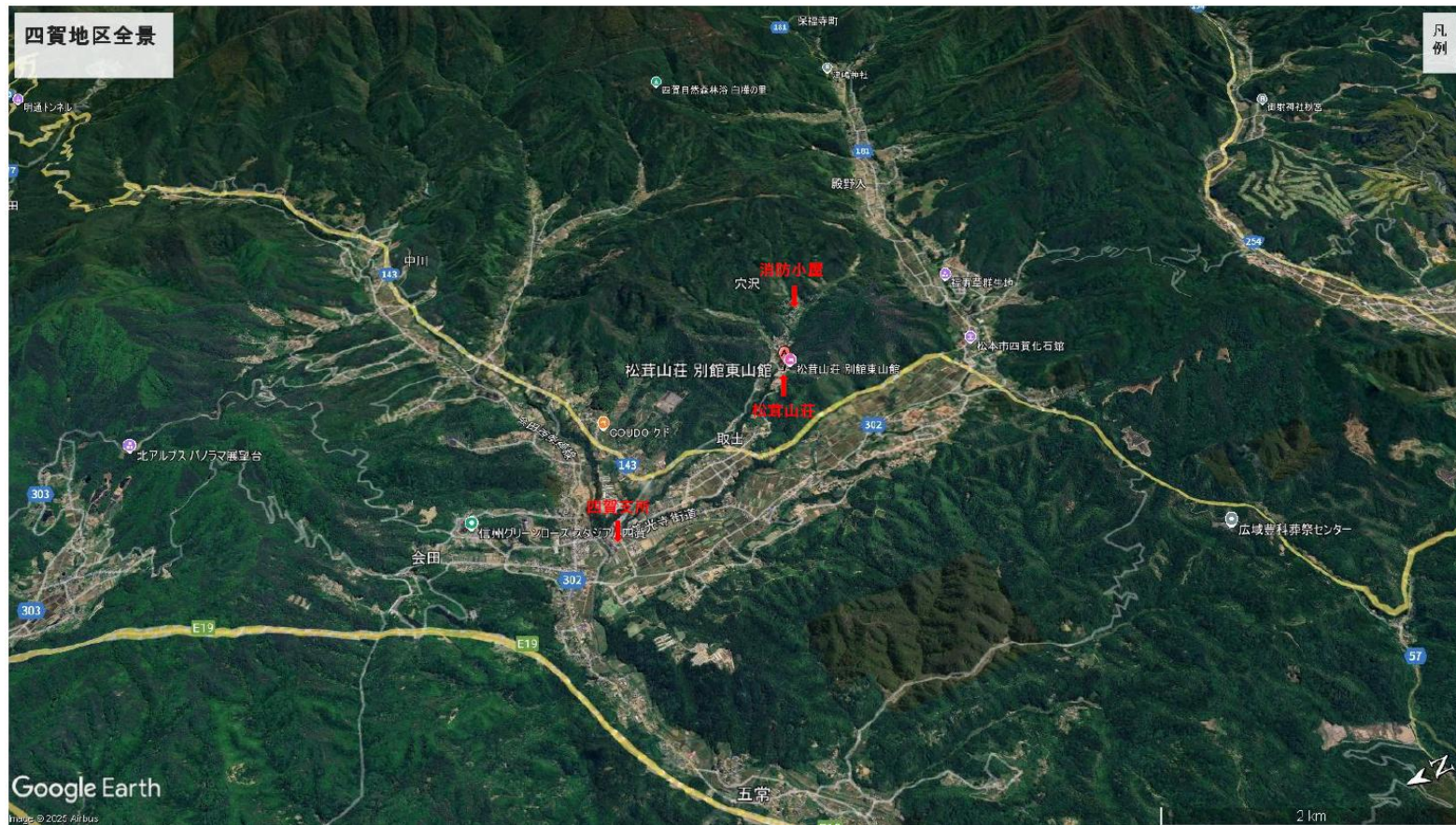
### 山岳ドローン映像伝送



山岳エリアに適した回折性の高いADR-IoT(狭帯域220MHz)を使った、映像伝送システムの開発・実装

・地域の課題を踏まえたソリューション実装例







# 実施計画：地域課題解決のためのシステム実装（松本市四賀穴沢地区）

穴沢地区全景

凡例

防災の観点で、地域全体の概況を把握して、適切なポイントでセンサーを配置する。  
タイムラプスカメラで概況を記録し、穴沢水位と四賀穴沢地区の交通状況を可視化する



消防小屋横（基地局候補）



松茸山荘（中継局候補）



市水道施設

穴沢

松茸山荘 別館東山館

タイムラプスカメラ候補地

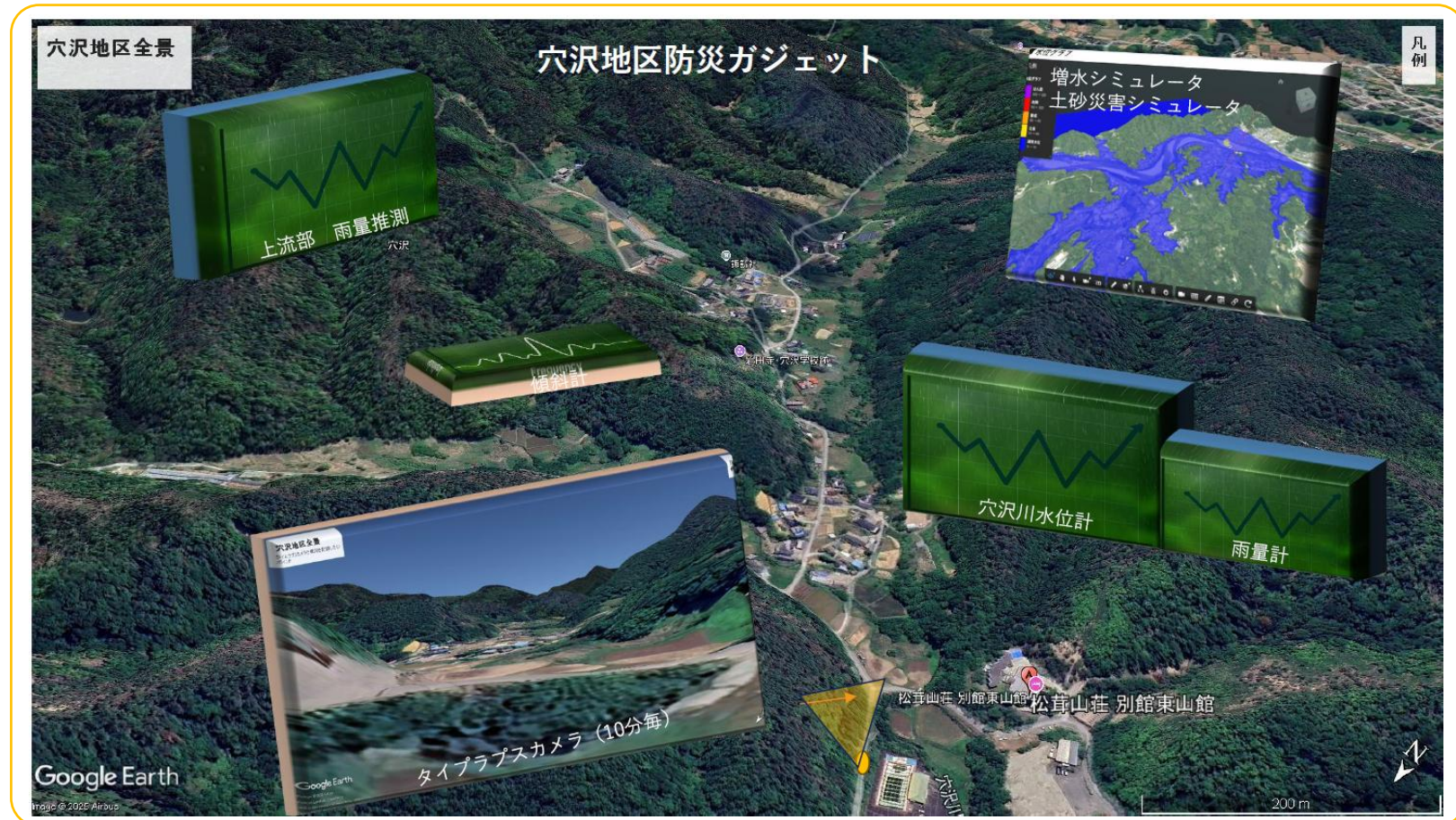
200 m

Google Earth

Image © 2025 Airbus



# 実施計画：地域課題解決のためのシステム実装例



- 本提案組織は地域貢献度全国2位大学、国唯一ICT研究機関、防災科学技術中核的機関、自治体及地域貢献・専門性高いコンソーシアムより構成
- 長野県内の多くの自治体より強い期待と全面的な協力を得て、山間部のデジタルインフラ構築・地域課題の解決を推進、成果を国内で事業化展開

## 研究開発分担・連携体制

研究分担研究者所属機関

連携研究者所属機関 ※: 主担当

運営委員会: 委員長・委員、受託者

### 【要素技術課題ア】機械学習型電波伝搬推測技術

※ 信州大学  
(情報・DX推進機構)

情報通信研究機構  
(ネットワーク研究所)

### 【要素技術課題イ】自律分散型ネットワーク技術

※ 情報通信研究機構  
(ネットワーク研究所)

信州大学  
(情報・DX推進機構)

### 【要素技術課題ウ】異種無線統合型電波利用技術

※ 信州大学(情報・DX推進機構)

無線通信メーカー: 日本無線(株)、サーキットデザイン(株)

### 【実証・実装】地域課題解決のためのシステム実装

#### ①集落孤立対策: 地域の水・土砂災害危険度の可視化システム

【実績】全国規模での斜面災害危険箇所IoT監視システムの構築

※ 防災科学技術研究所(水土砂防災研究部門)

信州大学(情報DX推進機構)

松本市(DX推進課本部、危機管理課)

信州DX推進コンソーシアム

伊那市(危機管理課)

信州大学(地域防災減災センター)

#### ②登山者・林業者・高齢者見守り: 位置情報・SOS通信システム

【実績】全国複数拠点でのLPWA・L5Gを活用した見守りシステムの構築

※ 情報通信研究機構(ネットワーク研究所)

信州大学(情報DX推進機構)

信州大学(理学部)

信州DX推進コンソーシアム

慶應義塾大学(安達研)

#### ③ドローン運用支援: ドローンによる情報収集・支援システム

【実績】中山間地域ドローン活用実証(物資輸送・災害対応通信・映像伝送)

※ 信州大学(情報・DX推進機構)

日本ドローンコンソーシアム

慶應義塾大学(安達研究室)

# 実施計画、実用化の目途、波及効果

- 地域課題解決のための自律分散型レジリエントIoTシステム無線技術確立
- 狭帯域IoT通信システムの標準化会合積極的に参与、取得知財を標準化に反映
- 2028年度以後、長野県内の山岳・中山間地域における「電波灯台」IoTインフラ事業化および  
全国他の中山間地域への横展開・活用

研究課題	研究開発項目	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2028年度以降
ア	機械学習型電波伝搬推測技術	電波伝搬モデル構築設計、試作、評価		二次設計、試作、評価		中山間地域「電波灯台」IoTインフラ事業化と横展開への連携・活用
イ	自律分散型ネットワーク技術	通信プロトコル設計、試作、評価		二次設計、試作、評価		
ウ	異種無線統合型電波利用技術	基本設計、システム試作、評価		二次設計、試作、評価		
エ	地域課題へのシステム統合実装 その①、その②、その③ (デジタルインフラ構築の実証・実装)	基本設計、試作、評価		各システム二次設計、総合試験、評価		
				地域事業者と連携、インフラ構築実用化推進		社会実装



## 「信州大学デジタルキャンパス構築」



信州大学デジタルキャンパス  
3Dアーカイブ化

- shanlin@shinshu-u.ac.jp