

令和3年度
課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証
富士山地域DX 「安全・安心観光情報システム」の実現

成果報告書概要版

令和4年3月25日

コンソーシアム名 : Fujisan DX
NPO法人 中央コリドー情報通信研究所

目次

実証の概要

- 実証の背景・目的
- 実証の概要

実証環境の構築

- 実施環境
- ネットワーク・システム構成
- システムの機能・性能・要件
- 無線局免許・各種許認可・その他要件
- 実証環境の運用

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)

- 課題解決システム利活用環境における技術的課題
- 実証目標
- 実証前の仮説
- 実証内容
- 実証結果と分析・考察

ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討(課題実証)

- 背景・実証概要
- 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標
- 実証環境
- 実証内容・結果

まとめ

実証概要

実証の背景・目的

本実証は、富士山という急峻な山岳地帯をフィールドとした技術実証、課題実証を行うことで、富士山周辺の安全・安心な観光の実現にむけてローカル5Gの活用が有効であることの検討・実証を通じて、安全・安心の登山観光の実現の足がかりとすることを目的としている。

本実証の背景	
安全・安心の登山観光の実現に向けて	<ul style="list-style-type: none">• 平時、有事に活用できるコミュニケーション手段の改善• 環境モニタリングによる危険状況の迅速な把握、人命救助の鍵となる登山者の動態把握• サイエンスビッグデータを活用した更なる火山防災研究
富士山周辺の安全・安心な観光の実現に向けて	<ul style="list-style-type: none">• 年間20～30万人の登山者が訪れる日本の象徴の富士山• 年間100人以上の遭難事故が発生• いつ噴火してもおかしくない状態（1707年の宝永噴火を最後に30年以上にわたり沈黙）• 富士山地域において、安心安全リアルタイム遠隔監視のための大容量通信と登山者・遭難者のライフラインとしての通信は、時期的・地理的な制限なく必須にもかかわらず脆弱

本実証の目的

- ✓ 富士山という急峻な山岳地帯をフィールドとしたローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討、実証
- ✓ 観光地としての火山を持つ自治体の基本的な課題の解決に向けて、ローカル5Gの活用が有効であることの検討・実証

実証の概要

実証目的の達成に向けて、本実証では、富士山地域「安全・安心情報システム」の実装と、「自治体が自走可能である、公共安全に資するユースケースへの適用の成功モデルケース」の確立をテーマとして技術実証と課題実証に取り組んだ。

実証テーマ	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5G・公衆5G連携に基づく情報通信民主化による、富士山地域「安全・安心情報システム」の実装 「自治体が自走可能である、公共安全に資するユースケースへの適用の成功モデルケース」の確立 	
実証分類	実証項目	実証内容
技術実証	山岳地帯におけるローカル5Gの電波伝搬特性等の測定	本実証で使用するネットワーク・システムが、課題実証で取り扱うDXソリューションの稼働に必要なスループット性能等の要求性能を満たしていることを確認する。
	電波伝搬モデルの精緻化	実装展開時に免許申請時の課題となり得る調整対象区域の算出精度を高める。
	準同期TDD の追加パターンの開発	複数の4Kカメラを用いて断続的に大容量の録画データをコアネットワーク側にアップロードするために、最大225Mbpsのアップリンクスループットの安定運用に向けてアップリンクへの無線リソース配分を増やした新たな準同期パターンの開発を行う。
課題実証	【情報収集】危険状況・災害要因可視化のための遠隔監視システムの構築	道路保全員やガイドが携帯する移動端末からの情報提供に加え、固定カメラに接続された固定端末からの映像をリアルタイム・常時監視するためのソリューションの確立に向けて、データ伝送・アプリケーションの観点から検証を行う。
	【情報交換】迅速かつ円滑なローカルコミュニケーションシステム	災害発生時の迅速な救出活動、避難誘導の実現に向けて、富士山関係者が、必要な情報を映像と音声によって、リアルタイムかつセキュアに共有できるよう、安定回線につながるシステムの実現性検証を行う。
	【サイエンスビッグデータ情報共有】ローカル5Gエッジコンピューティングによる大容量データの低遅延共有	様々なハザードの予測を、現場の位置と紐付けてわかりやすく可視化するソリューションの確立に向けて、一般的に入手利用可能な端末等と、ソフトウェアローカル5G基地局と隣接して設置するエッジクラウドを用いて実現性の検証を行う。

実証環境の構築

実施環境

当初本実証は富士山の吉田ルート5合目、6合目、7合目にローカル5G基地局を設置し、実証環境を構築する計画であったものの、実行体制全体の実証契約が11月となったために実証開始が計画より後ろ倒しとなった。その影響により、富士山が閉山時期に入ったことで実証環境が制限され、一部実証環境を他環境で実施する計画に変更したため、実証は以下7つの環境に分けて実施した。

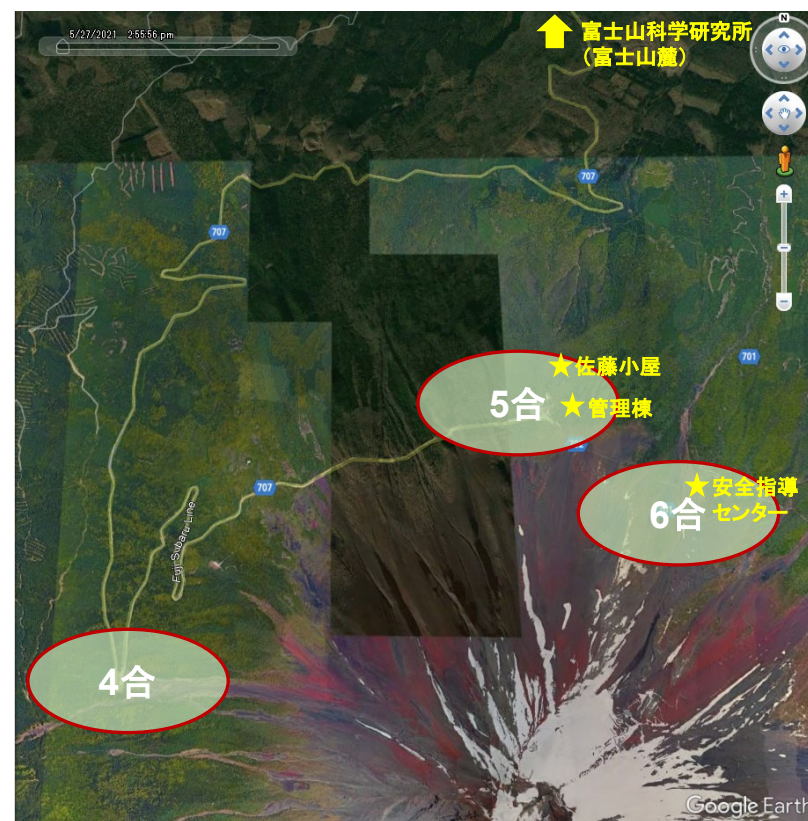
#	実証環境	実証内容	構成概要
①	富士山6合目	主に技術実証Ⅰの電波伝搬測定を行う。	<ul style="list-style-type: none">富士山6合目にローカル5G基地局、端末、測定器を配置
②	富士山5～6合目 富士山科学研究所	コンソーシアムメンバーを交え技術実証、課題実証の基本動作確認を行う。	<ul style="list-style-type: none">富士山5合目、6合目にローカル5G基地局を設置5合目と6合目の間は光ケーブルによる有線接続5合目とシステムの運用管理を行う山梨県富士山科学研究所はFWAによる無線接続5合目にはAI解析サーバ、ローカルコミュニケーションサーバ、サイエンスビッグデータサーバを設置各合目にカメラを配置しローカル5Gネットワーク上でシステムを構築
③	徳島県立工業技術センター	主に電波暗室にて技実実証Ⅲの電波伝搬等測定を行う。	<ul style="list-style-type: none">徳島県立工業技術センターにローカル5G基地局を設置し、端末、測定器を配置
④	富士山科学研究所ホール	②の補足実証としてコンソーシアムメンバー並びに本実証関係者を招致し主に課題実証における効果検証、運用検証、現地視察会を行う。	<ul style="list-style-type: none">富士山科学研究所ホールにAI解析サーバ、ローカルコミュニケーションサーバ、サイエンスビッグデータサーバ、カメラを配置し有線・無線LAN上でシステムを構築
⑤	NECネットエスアイ 基盤技術開発本部	技術実証、課題実証の検証施設として利用し、主に②の補足実証として課題実証の機能検証を行う。	<ul style="list-style-type: none">NECネットエスアイ基盤技術開発本部に、AI解析サーバ、ローカルコミュニケーションサーバ、サイエンスビッグデータサーバ並びにカメラを配置し、ローカル5G上でネットワークを構築
⑥	東京大学、IIJ	主にコアの相互接続の検証を行う事を目的とし、東京大学、IIJにローカル5G設備を設置し相互接続検証を行う。	<ul style="list-style-type: none">東京大学、IIJで異なるローカル5G(コア)のシステムを構築
⑦	富士山4合目	①の補足実証として電波伝搬測定を行う	<ul style="list-style-type: none">富士山4合目にローカル5G基地局を設置し、端末、測定器を配置

実施環境

技術実証・課題実証のテーマ別実証内容と実証環境の関係性は以下の通り。

実証分類	実証項目	実証環境
技術実証	山岳地帯におけるローカル5Gの電波伝搬特性等の測定	①、⑦
	電波伝搬モデルの精緻化	①、⑦
	準同期TDD の追加パターンの開発	③
課題実証	【情報収集】危険状況・災害要因可視化のための遠隔監視システムの構築	①、④、⑤、⑥
	【情報交換】迅速かつ円滑なローカルコミュニケーションシステム	②、④、⑤
	【サイエンスビッグデータ情報共有】ローカル5Gエッジコンピューティングによる大容量データの低遅延共有	②、④、⑤

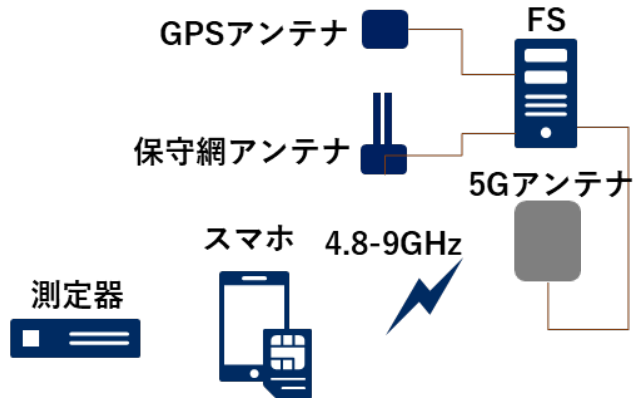
実証環境①・②・⑦における基地局エリアカバレッジ



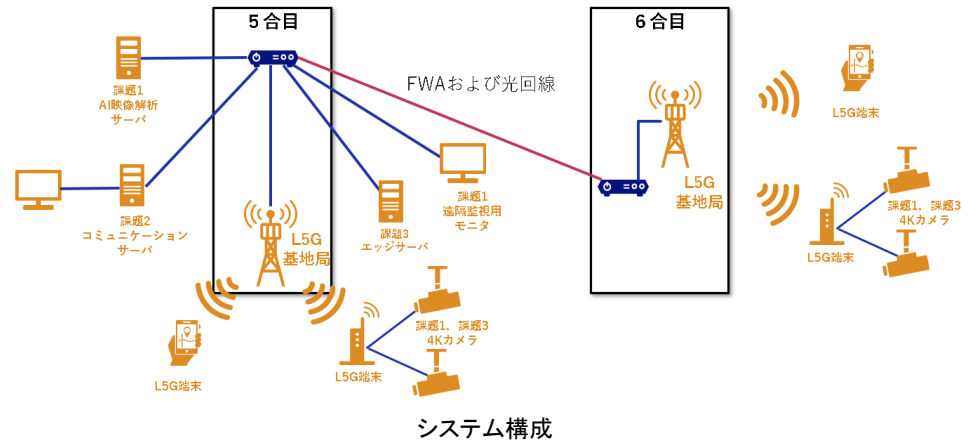
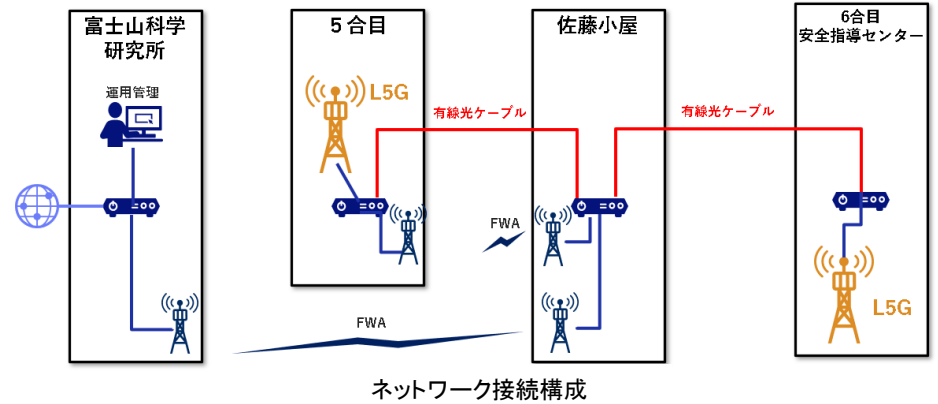
ネットワーク・システム構成

各実証環境におけるネットワーク・システム構成は以下の通り。

実証環境① 富士山6合目



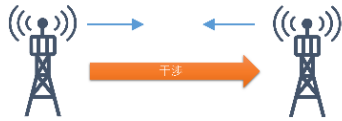
実証環境② 富士山5～6合目 富士山科学研究所



ネットワーク・システム構成

実証環境③ 徳島県立工業技術センター

基地局相当装置-基地局相当装置間干渉
(正対)



与干渉システム (基地局相当装置) 被干渉システム (基地局相当装置)

→ 主ビーム方向

基地局相当装置間の干渉 (空中線を正対させた場合)

基地局相当装置-基地局相当装置間干渉
(併設)

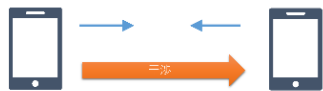


与干渉システム (基地局相当装置) 被干渉システム (基地局相当装置)

→ 主ビーム方向

基地局相当装置間の干渉
(空中線を併設、主ビームを平行にした場合)

移動局相当装置-移動局相当装置間干渉

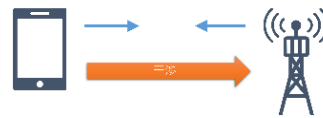


与干渉システム (移動局相当装置) 被干渉システム (移動局相当装置)

→ 主ビーム方向

移動局相当装置間の干渉

移動局相当装置-基地局相当装置間干渉

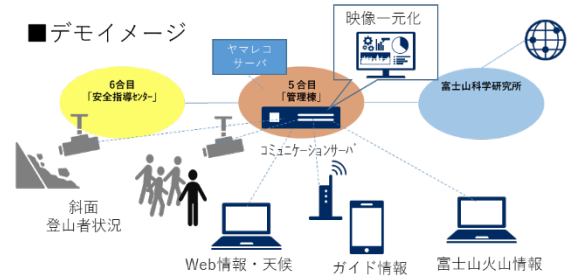


与干渉システム (移動局相当装置) 被干渉システム (基地局相当装置)

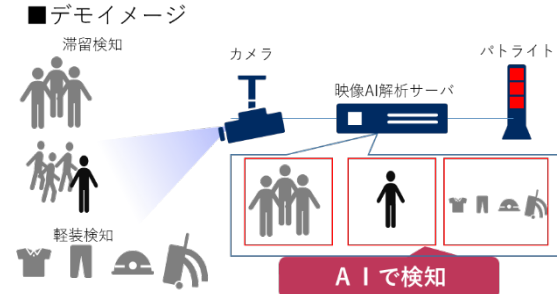
→ 主ビーム方向

移動局相当装置-基地局相当装置間の干渉

実証環境④ 富士山科学研究所ホール

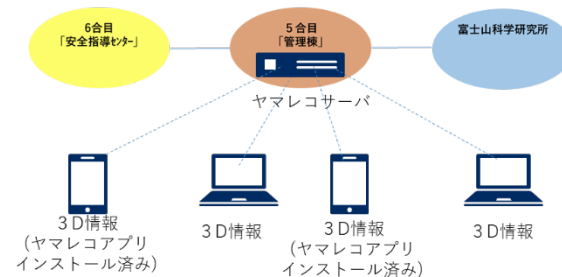


課題実証1【情報収集】危険状況・災害要因可視化のための遠隔監視システム



課題実証2【情報交換】迅速かつ円滑なローカルコミュニケーションシステム

■デモイメージ



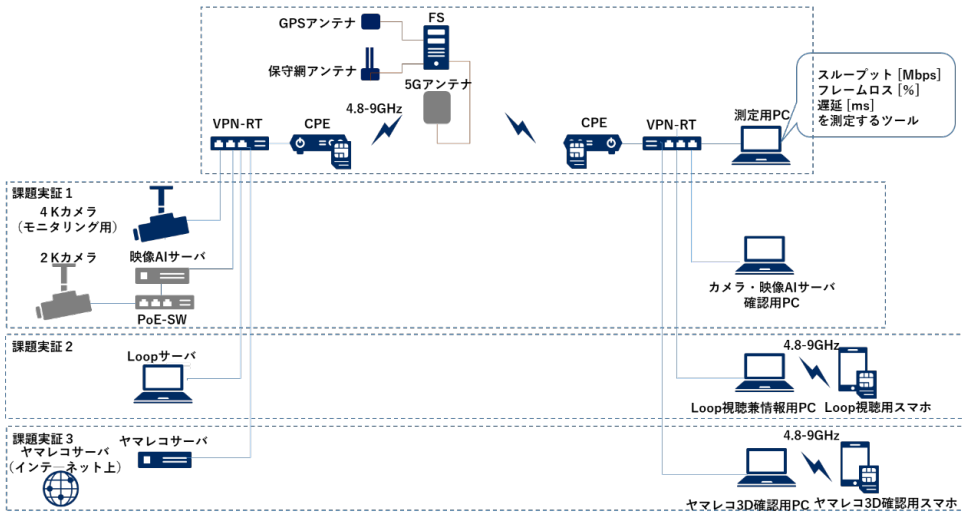
課題実証3【サイエンスビッグデータ情報共有】

ローカル5Gエッジコンピューティングによる大容量データの低遅延共有

ネットワーク・システム構成

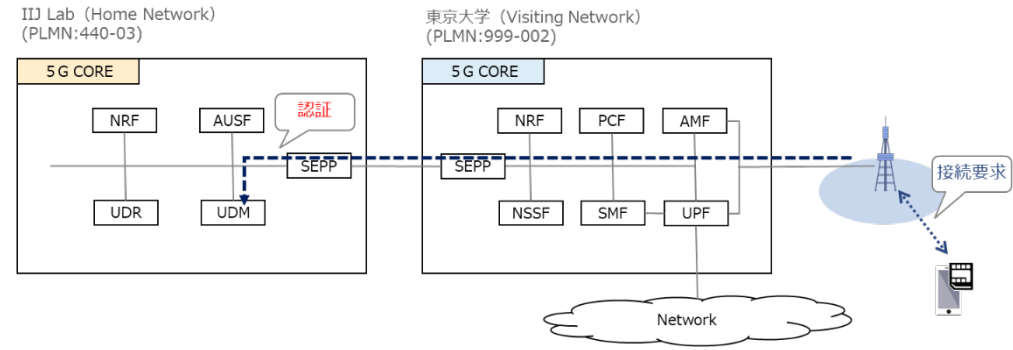
実証環境⑤

NECネットエスアイ基盤技術開発本部



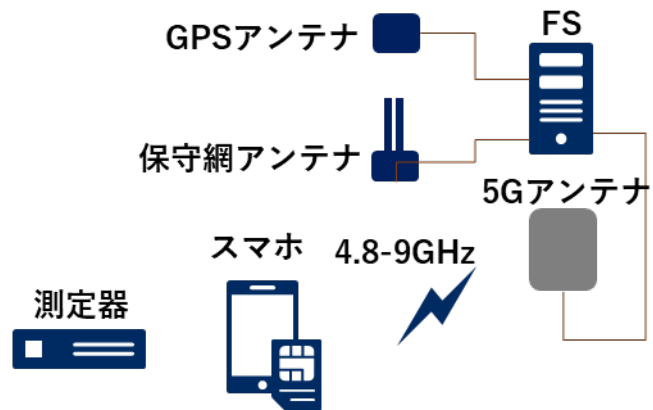
実証環境⑥

東京大学、IIJ

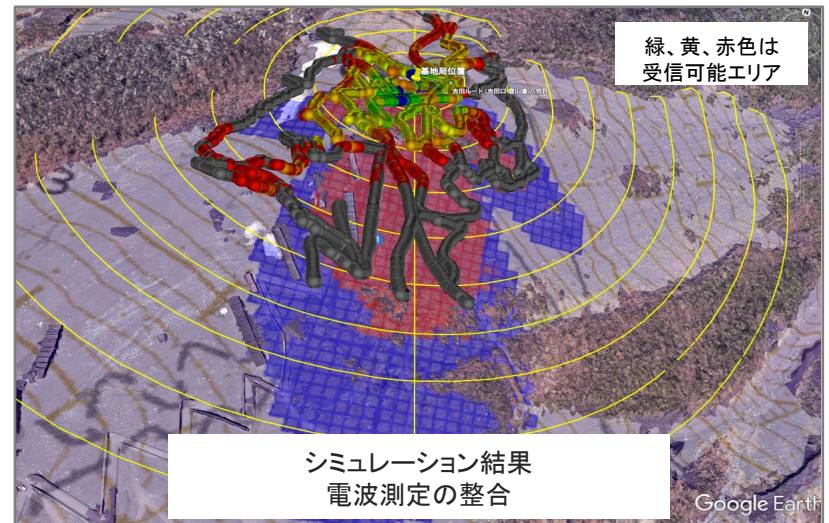
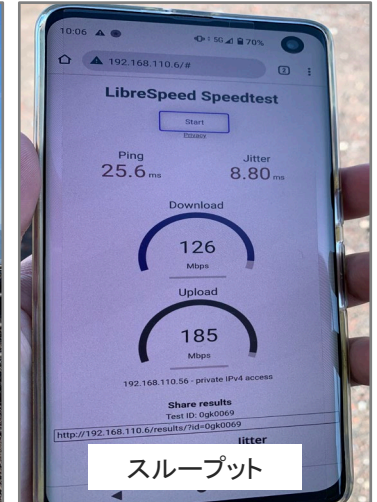


ネットワーク・システム構成

実証環境⑦ 富士山4合目



実証の様様



システムの機能・性能・要件

各実証環境のシステム機能・性能・要件は、技術実証および課題実証の遂行にあたり十分なカバーエリアを設計でき、かつ課題実証に必要な十分な伝送速度を有するように構成している。

要件導出の前提事項	伝送速度	<ul style="list-style-type: none"> 以下の全てのピーク値が重なったとして合計ダウンリンク225Mbps/アップリンク220Mbpsが必要 <ul style="list-style-type: none"> 4Kカメラ1回線につきアップリンク20Mbpsを最大10チャンネル分 映像音声コミュニケーション通信1ユーザにつきダウンリンク10Mbps/アップリンク5Mbpsを基地局当たり最大5ユーザ接続 サイエンスビッグデータ分のダウンリンク170Mbpsを1ユーザ分
	伝送遅延	<ul style="list-style-type: none"> 安全・安心モニタリングシステムでのライブ配信および映像音声コミュニケーションでの双方向通信が必要であることから、超低遅延は必要ないが一定の低遅延性能が求められる 各4Kカメラおよびローカル5G端末と5合目に設置されるサーバー間の伝送時間は100ms以下(エンドツーエンドのPingを使用したラウンドトリップタイム)が必要
	同時接続台数	<ul style="list-style-type: none"> 本実証で最多接続が想定されるシステムはローカルコミュニケーションサービスであり、アプリケーションのライセンス上の最大同時接続は20ユーザ 基地局当たりの同時接続台数は15台以上が必要

システム要件	アップリンク 伝送速度	アップリンク 接続数	ダウンリンク 伝送速度	ダウンリンク 接続数	伝送遅延
4Kカメラ	20Mbps	10	-	-	100ms
音声映像コミュニケーション	5Mbps	5	10Mbps	5	100ms
サイエンスビッグデータ	-	-	170Mbps	1	-
システム要件	225Mbps	15	220Mbps	6	100ms

無線局免許・各種許認可・その他要件

本実証の実施に当たって必要となる無線局免許やその他許認可の取得と、その他要件の充足への対応は以下の通りに行った。

無線局免許・各種許認可・その他要件

対応方法

無線局免許	<ul style="list-style-type: none"> 総務省関東総合通信局と調整を行い、ローカル5GおよびFWAの無線局免許申請を実施した。 必要な無線従事者を配置し、無線従事者選任届を提出したうえで運用を実施した。 	
その他の許認可	<ul style="list-style-type: none"> 富士山に通信機器等設置するにあたり、環境省、文化庁、山梨県林政部県有林課、山梨県県土整備部道路管理課、山梨県観光文化部世界遺産富士山課、山梨県富士吉田市外二ヶ村恩賜県有財産保護組合、富士吉田口旅館組合、及び各施設の利用許可が必要であるが、山梨県は知事を筆頭に本事業を推進した。 山梨県富士山科学研究所が多くの許認可実績があることから、本実証における機器の設置認可取得は山梨県富士山科学研究所が主体となり実施した。 	
その他の要件	サイバーセキュリティに関する対策	<ul style="list-style-type: none"> 使用した機器(基地局設備、コア設備)はサプライチェーンリスクを含むサイバーセキュリティ対策を施した。 無線ネットワーク部分はSIM認証を活用し、なりすましなどの不正アクセスを防止する対策を取った。 有線ネットワーク部分においてはファイアウォールやUTMを活用することにより外部ネットワークとの接続時のリスクを極力減らす対策を施したうえで実証を行った。 保守回線においてはインターネットVPNなどの手段で暗号化することにより攻撃を困難とする対策を施した。
	クラウドサービスの利用等、外部のネットワークへの接続やデータ伝送	<ul style="list-style-type: none"> 本実証において個人情報やカメラで撮影した人物等の画像となる。 画像は原則として本実証システムの内部にとどめることとし、クラウドサービス等の外部ネットワークには送信していない。
	開発を伴う機器	<ul style="list-style-type: none"> 本実証においては開発を伴う機器を使用していない。
	実証に用いる機材・システムの品質担保	<ul style="list-style-type: none"> コンソーシアムメンバーであるNECネットエスアイ株式会社所有の基盤技術センターラボにて5G設備についての検証を行い、実際に配置した際の動作等の確認を行った上で現地へ導入した。

実証環境の運用

本実証では、実証実施期間が開山期間と重複しなかったことから、実証環境を大きく現場環境と実験室環境に分けて実証を推進した。関係各所との調整等を山梨県富士山科学研究所及び山梨県防災局が、現場環境の構築は許認可や物理環境構築及び現地での技術実証をNESICが担当した。

ステークホルダーらとの実証内容体験型ワークショップは山梨県富士山科学研究所内のイベント用ホールにおいて実施し、実証内容の擬似環境構築をNECネットエスアイ及びヤマレコが、ワークショップの中継環境構築及び運用を山梨県富士山科学研究所がそれぞれ担当した。

	実証環境	運用関係者	役割
①	富士山6合目	<ul style="list-style-type: none"> 山梨県富士山科学研究所 山梨県防災局 富士吉田市 NECネットエスアイ 	<ul style="list-style-type: none"> 富士吉田市 : 鍵・施設提供 各関係者 : 連絡・調整 NECネットエスアイ:技術実証 測定
②	富士山5～6合目 富士山科学研究所	<ul style="list-style-type: none"> 山梨県富士山科学研究所 山梨県防災局 NECネットエスアイ 	<ul style="list-style-type: none"> 富士吉田市 : 鍵・施設提供 各関係者 : 連絡・調整 NECネットエスアイ:課題実証環境構築、動作検証
③	徳島県立工業技術センター	<ul style="list-style-type: none"> NECネットエスアイ 徳島県立工業技術センター 	<ul style="list-style-type: none"> NECネットエスアイ : 実証環境整備、実証実施 徳島県立工業技術センター : 鍵・施設提供
④	富士山科学研究所ホール	<ul style="list-style-type: none"> 山梨県富士山科学研究所 ヤマレコ NECネットエスアイ 	<ul style="list-style-type: none"> 山梨県富士山科学研究所 : 施設提供、参加者調整、会議中継 ヤマレコ : 実証環境整備、参加者への説明 NECネットエスアイ : 実証環境整備、デモ、参加者への説明
⑤	NECネットエスアイ 基盤技術開発本部	<ul style="list-style-type: none"> NECネットエスアイ 	<ul style="list-style-type: none"> NECネットエスアイ : 実証環境整備、実証実施
⑥	東京大学、IIJ	<ul style="list-style-type: none"> 東京大学 インターネットイニシアティブ 	<ul style="list-style-type: none"> 東京大学 : 実証環境整備、実証実施 インターネットイニシアティブ : 実証環境整備、実証実施
⑦	富士山4合目	<ul style="list-style-type: none"> 山梨県富士山科学研究所 山梨県有料道路管理事務所 NECネットエスアイ 	<ul style="list-style-type: none"> 山梨県有料道路管理事務所 : 鍵・施設提供 各関係者 : 連絡・調整 NECネットエスアイ:技術実証 測定

ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討 (技術実証)

課題解決システム利活用環境における技術的課題

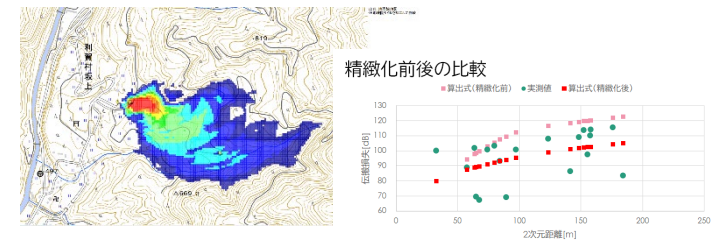
テーマ	技術的課題
ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定	ローカル5Gシステムの利用者を増やすためには基本的な電波伝搬測定(電波強度、スループット、遅延)の把握を行い、基礎データを作ることが必要。
電波伝搬モデルの精緻化	富士山のような急峻な山岳地域においてはフレネルゾーンの確保が容易ではない。ローカル5Gで使用する4.8GHz帯におけるフレネル半径は今回実証で想定される最大距離約1000mの距離の場合で約3.9mと決して大きくないものの、電波法関係審査基準に記載の電波伝搬モデルでは考慮されない地形の傾きが大きいこと、山頂に近くなるにつれて特に水平方向での見通しが利かなくなり山影となること、また強風などの環境への配慮から十分にアンテナ高を上げられないことにより、フレネルゾーンをクリアに確保できないことから電波法関係審査基準に記載の電波伝搬モデルよりもカバーエリア及び干渉調整区域が小さくなると推定され、今後実用化された際に実際の置局を行った際のエリアシミュレーション(机上設計)と実測値の差異が発生する可能性がある。同一のエリアで複数の主体が免許を申請し運用を検討する場合などに実際よりも大きな干渉調整区域となる事で無駄な干渉調整を必要としたり、予定したカバーエリアが実際にはカバーされていないことでシステム変更などの追加コストが発生し普及の妨げになることも想定されるため、エリア設計の精緻化が求められる。
準同期TDDの追加パターンの開発	5G回線は超高速ネットワークであるが、全国キャリアが展開する5Gサービスにおいてはダウンロードを中心としたコンシューマーサービスを想定しており、TDD方式においては設定で無線リソースの多くをダウンリンク側に割り振るため一般的にダウンロード方向と比較して、アップロード方向の通信速度は小さくなっている。ローカル5Gでは全国キャリアとの干渉を防ぐためTDDの同期パターンを原則キャリアの5G網に合わせたパターンとなっているが、監視カメラ等の活用期待が大きいローカル5Gではアップリンク側の無線リソースを増加させつつ全国キャリアとの干渉を抑制した準同期パターンでの運用が認められている。本実証においても複数の4Kカメラを用いて断続的に大容量の録画データをコアネットワーク側にアップロードする必要があり、アップリンクスループットは最大225Mbpsになる可能性がある。この値は、現在制度化されている準同期パターン(DL4:UL4)でも256QAMの変調や4x4MIMO等が使用可能でなければ理論的にもスループットが不足し、またフィールドにおいては、これらの環境を安定して得られる条件は実現が難しいため、安定した運用に向けてさらにアップリンクへの無線リソース配分を増やした新たな準同期パターンの開発が必要になる。



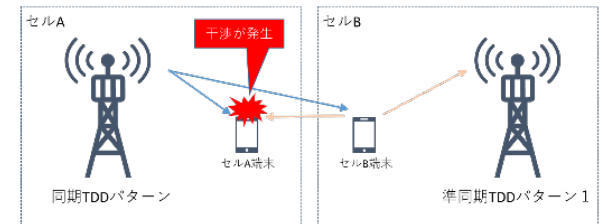
富士山6合目にて測定の様子

実証目標

テーマ	実証目標
ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定	基本的な電波伝搬測定（電波強度、スループット、遅延）の把握を行い、基礎データを作成する。
電波伝搬モデルの精緻化	電波法関係審査基準に記載の電波伝搬モデルでは考慮されない地形の傾きが大きいこと、山頂に近くなるにつれて特に水平方向での見通しが利かなくなり山影となることによりフレネルゾーンをクリアに確保できないことから電波法関係審査基準に記載の電波伝搬モデルよりもカバーエリア及び干渉調整区域が小さくなると推定され、今後実用化された際に実際の置局を行った際のエリアシミュレーション（机上設計）と実測値の差異が発生する可能性がある。予定したカバーエリアが実際にはカバーされていないことでシステム変更などの追加コストが発生し普及の妨げになることも想定されるため、エリア設計の精緻化が求められる。今回は電波法関係審査基準に記載の電波伝搬モデルの伝搬損失Lの中のK値を精緻化を目標とする。
準同期TDDの追加パターンの開発	本実証で活用するFLARE SYSTEMS製のソフトウェア基地局は既に準同期TDDの追加パターンを実現しており、新たな制度化に向けた実証を目的として、山間地帯という電波減衰しやすい樹木が生い茂るエリアにて準同期TDDの追加パターンの実証が可能である。実証場所としては、同期TDDシステムであるFLARE SYSTEMS製基地局と、準同期TDDパターンシステムであるFLARE SYSTEMS製基地局とを隣接させて実証を行うものとする。準同期パターンの開発はアップロード通信の高速化の検証と、ダウンロードとのバランスを取った3パターンで実証を行う。



スロット番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
同期TDD	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D
準同期TDD1	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D
準同期TDD2	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D
準同期TDD3	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	S



※セルAとセルBは同一周波数または隣接周波数
 ※スロット番号8の時点での状態を想定

実証前の仮説

テーマ	実証前の仮説
ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定	電波伝搬シミュレーションを実施し、シミュレーション結果との比較を行う。比較の結果差異が大きい場合は技術テーマ1の精緻化を行い、審査基準のアップデートに貢献する
電波伝搬モデルの精緻化	本実証の地域においては山岳地域であり測定結果により導出したK値の算入が必要になると考える。フレネルゾーンをクリアに確保できないことから電波法関係審査基準に記載の電波伝搬モデルよりもカバーエリア及び干渉調整区域が小さくなると推定される。S値については開放地である富士山5合目より高い場所においては、背の高い植物は存在しておらず、また、電波の妨害となる建築物についても存在していないため、開放地になると考えるが、これを実証する。
準同期TDDの追加パターンの開発	実証環境においては同期TDDパターンの基地局と準同期TDDパターンを個別に運用する場合と同時に運用する場合の運用方法を実施する。同期TDDパターンと準同期TDDパターンの違いは上りスロットの違いであり、準同期TDDパターンにおける上りスロットの送信中には同期TDDパターンの基地局からの下りスロット信号が準同期TDDパターンの基地局に干渉し、また、準同期TDDパターンの移動局の上りスロット信号が同期TDDパターンの移動局に干渉する可能性がある。これらの干渉は双方のシステムにおいてスループットの低下などの悪影響を及ぼす可能性があるが、十分な離隔距離を取ることにより実質的な影響を与えることなく双方が運用できると推定される。今回の実証ではこの必要な離隔距離を確認するとともに、相互のアンテナ方向の関係によるカバーエリアの制約や、準同期システム側のみに悪影響が発生する場合にそれを許容するなどの運用上の制約の必要性も検証する。

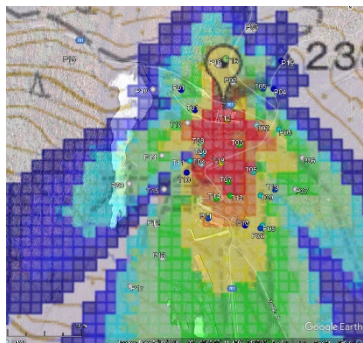
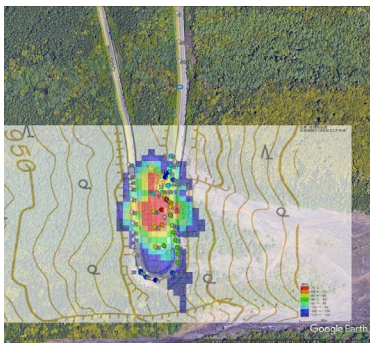
実証内容

テーマ	実証内容
ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定	<p>①受信電力 受信電力について事前に実施したシミュレーション値及び自由空間損失により距離毎に計算した値と比較し、差分を確認する。 3.3.1.1 実証目標の(1)実証を行うエリアで決定した地点において測定を実施し、電波法関係審査に記載の伝搬モデルと比較する。比較の差異は電波法関係審査の伝搬モデルは受信電力(RSSI)を用いているため、測定したRSRPとRSSIを変換したうえで比較、検証を行う。</p> <p>受信レベルを比較のうえ、テーマ1の電波伝搬モデルの精緻化にてパラメータのチューニングを行いモデルの精緻化を実施した。</p> <p>②その他の指標 通信品質であるスループット、遅延時間を測定し、RSRPとの相関が取れているかの確認を行い、システムに必要な性能が出せることを確認する。 加えて、SIRを測定し、外部からの干渉により通信品質が損なわれていないかどうかを確認し、RSRPと通信品質の相関に外部からの影響がないことを確認する。一方、外部からの干渉が発生しており測定値が影響を受けていると推定される場合には、干渉源が特定できる場合にはできるだけ干渉回避策を施し、回避困難な場合においては、実測されたRSRPから推定される無干渉時のスループット、遅延時間を参照して考察する。</p>
電波伝搬モデルの精緻化	<p>ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定”において測定したデータを流用したうえで、加えて、より連続的なデータを取得するため、エリアテストを用いて安全上・許認可上歩行可能な範囲を移動しながら基地局相当の無線局からの距離の異なる地点(アンテナ付近から干渉調査区域端まで)においてRSRPを測定する。(同時に測定可能なSIRについても参考のために記録する)但し、安全を優先し危険な場所や移動ルートでの測定は避ける事とする</p>
準同期TDDの追加パターンの開発	<p>同期TDDシステムと各準同期TDDパターンを採用したシステム間での干渉を評価する。評価にあたっては双方のシステムを独立して運用した状態と並行して運用した状態にてデータの取得を行った。 また、ラボにて事前の評価試験を行い、干渉が想定される干渉量を事前に確認した。 エリア設計で作図したシミュレーション図におけるカバーエリア、調整対象区域内において測定を行った。測定項目はRSRP、SIR、通信品質(スループット、遅延速度)を取得し、分析を行った。</p>

実証結果と分析・考察

(1) ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

RSRPやスループットの取得を行い、基礎データを取得した。



シミュレーション結果と実測結果の重ね合わせ (4合目)

シミュレーション結果と実測結果の重ね合わせ (6合目)

測定場所	RSRP(dBm)	DL伝送速度 (Mbps)	UL伝送速度 (Mbps)	伝送遅延 (ms)
4合目	-70.37	220.25	54.56	25.6
6合目	-76.74	172.56	52.26	26.0

受信電力が最大時のスループット・遅延の測定結果 (同期パターン)

(3) 準同期TDDの追加パターンの開発

追加準同期パターン(UL6:DL2)においては最大230Mbpsまでの通信を確認することが出来、近距離においては高速なアップロード通信が可能であることが確認できた。共用については同一周波数帯での干渉のため、空中線が正対する場合は離隔条件が厳しく運用に適さない場合が多い。現実的には高利得空中線同士が正対するケースは少ないため大きな問題とならないと考えられる。エリア設計の差異にセクタアンテナを使用し、ダウンチルトなど基地局無線装置同士が正対しないようにシステム設計を行うことが重要となると考えられる。

干渉計算結果と干渉試験の結果

正対併設	与干渉局	被干渉局	与干渉パターン	被干渉パターン	算出する距離1(m)	算出する距離2(m)	現地実施有無	現地での評価結果	備考
正対併設	基地局	基地局	同期	準同期3	65.49	44158.55	実施	スループットの低下が大きく実運用には不適	80m離隔での試験時スループットが低下するものの通信は可能
正対併設	基地局	基地局	同期	準同期3	65.49	3.51	実施	干渉量が小さいため実運用に適する	運用可能
正対併設	移動局	移動局	準同期3	同期	23.02	57.70			離隔距離が60m程度でありシステム配置を適切に行うことで運用可能と考えられる
正対併設	移動局	基地局	同期	準同期3	65.49	1289.76			離隔距離が大きく不適と考えられる
正対併設	移動局	基地局	同期	準同期3	65.49	11.50			離隔距離が10m程度でありシステム配置を適切に行うことで運用可能と考えられる

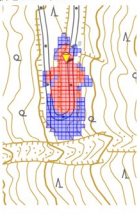
(2) 電波伝搬モデルの精緻化

対象エリアをそれぞれ勾配の上下や角度により4合目、6合目ともに2分割し精緻化を実施。実測値から下記表にK値を定めた。6合目では森林限界を超えており、ほぼ植生がなく地形によりK値が異なる。また傾斜のためフレネルゾーンが確保できなかった測定点が存在することも差異が出た要因と考えられる。4合目は森林限界よりも標高が低いため、森林においては影響と思われるが、今回は安全上の理由により森林での測定が不可のため、傾斜角の影響がK値にもたらず影響の要因となると考えられる。斜面の上り下りの別に影響することなく正の値となることが今回の実証結果から判明した。S値は開放地(32.5)が妥当と思われる。

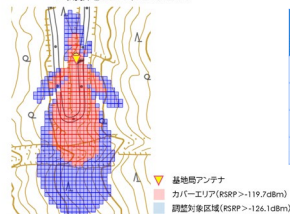
精緻化後の数値との比較シミュレーション図

本実証で設定するK値

精緻化前の仮説によるカバーエリア図
S:開放地32.5、K:0



精緻化後のパラメータによるカバーエリア図
S:開放地32.5、K:10.205



番号	エリア	上り/下り	傾斜角	精緻化K	前精緻化(後RMSE)
01	6合目 傾斜上側	上り	16.94	9.404	11.21 9.87
02	6合目 傾斜下側	下り	-8.03	12.313	15.29 11.84
03	4合目 傾斜上側	上り	2.33	17.958	18.10 2.00
04	4合目 傾斜下側	下り	-9.01	10.205	9.42 5.50

ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討 (課題実証)

実証概要

本実証では、富士山における情報通信環境が脆弱であるという課題をローカル5Gの整備により解消し、自治体の課題解決にローカル5Gが有効であることを示すことを目的とした。

富士山における情報通信環境が脆弱であることを改善

サイエンスからこの地域の理解を深め、防災に活用する。

管理者が被災時や遭難時における現場の状況の迅速な情報共有に活用する。

管理者が現場にてハザードマップをはじめとして、安全・安心の登山観光に有効なサイエンスビッグデータの確認に活用する。

大容量の高精細映像により遠隔モニタリングや環境センシングを行う。

被災時や遭難時における現場の状況の迅速かつ安全な情報共有を行う。

富士山の現場で移動しながら、富士山観光の安全を守る、管理者側で、迅速かつ見やすい形でビッグデータへアクセスする。

【情報収集】
危険状況・災害要因可視化のための遠隔監視システムの構築

【情報交換】
迅速かつ円滑なローカルコミュニケーションシステム

【サイエンスビッグデータ情報共有】
ローカル5Gエッジコンピューティングによる大容量データの低遅延共有

- ✓ 収集した画像の解析により、環境情報のリアルタイムモニタリング(天候の状況把握、登山者の状況把握、落石等の災害予測)ができるようになる。
- ✓ モニタリングの状況を大型モニタに映しだし登山者が確認できるようにする。

- ✓ 円滑な情報交換の観点で、山小屋、ガイド(パトロール)、山梨県、山梨県富士山科学研究所の協力者を同時接続し、映像及び音声によるコミュニケーション手段を確立する。

- ✓ エッジクラウドに蓄積されたハザードマップに代表されるデータを、3次元以上の高次元にて可視化し、現場の位置と紐付けて、様々なハザードの予測をわかりやすく可視化することで現場の要員が現状把握しやすくする。



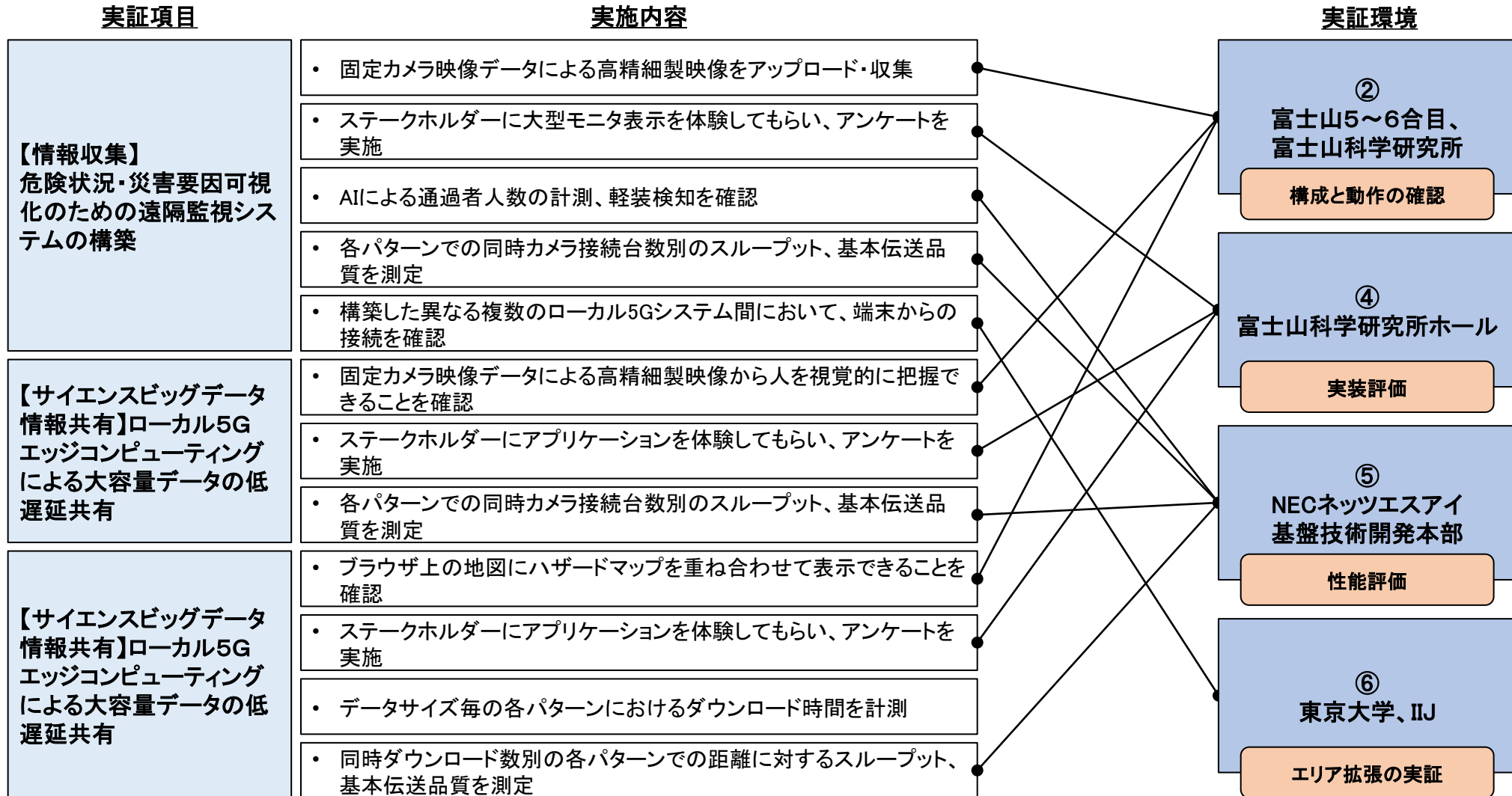
背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

本実証における背景となる課題を踏まえた実装シナリオについてローカル5Gの必要性から整理した上で、実証目標を設定した。

実証項目	実装シナリオ(ローカル5Gの必要性)	実証目標
<p>【情報収集】 危険状況・災害要因可視化のための遠隔監視システムの構築</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ ミッションクリティカルな情報収集通信のための通信の安定性 ・ 防災や危険回避の用途のためのセキュリティの確保 ・ 複数のカメラから、100Mbpsのアップリンク性能・通信品質の保証 ・ 一時的な認証によるローカル5Gのエリア拡張とアップリンクデータ伝送の実現 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 4Kカメラからの映像をフィールド上でリアルタイムに伝送するための、基地局からの距離・電波伝搬との関係性を明らかにする。 ・ 落石頻発地点などにおけるモニタリングソリューションを確立する。 ・ 天候などの環境モニタリングなどのリアルタイム映像を、登山用アプリ(ヤマレコ等)の携帯アプリで閲覧可能にする。 ・ AI画像認識による登山者の数、登山者の軽装検知を行う。 ・ 異なるローカル5Gのシステム間の接続手法を確立する。
<p>【情報交換】 迅速かつ円滑なローカルコミュニケーションシステム</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 有事の際に混線しない、プライベートネットワークによる通信の安定性 ・ 音声通信だけでなく、映像データ等も伝送できる多様性の確保 ・ 可能な限り広範囲で通信が行える、移動性の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ステークホルダーを同時接続し、高精細映像と音声によるリアルタイムなコミュニケーション手段を確立する。 ・ 最大DL50Mbps、UL25Mbpsのデータ伝送を行うシステムを構築する。
<p>【サイエンスビッグデータ情報共有】 ローカル5Gエッジコンピューティングによる大容量データの低遅延共有</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「大容量通信にて低遅延アクセス可能」かつ「統合的に」「現場で見ることが出来る」情報共有の実現に向けた、通信の安定性、200Mbpsから500Mbpsダウンリンク性能、セキュリティの確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 10TB以上の高速アクセスストレージを備えるエッジクラウドをローカル5Gの基地局に接続し、帯域200-500Mbpsの通信によって、サイエンスビッグデータ(10GB程度)を数分以内に情報共有する。 ・ Google Mapや Google Earth等にオーバーレイされたハザードデータを3次元で可視化するソリューションを確立する。

実証環境

本実証では、富士山が閉山期間に入ったとしても実証目標を達成できるように、各実証項目について実証内容別に実証環境を分けて実施した。



ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証

富士山の安全・安心な登山観光の実現に向けて、ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証として、3つの実証項目に対して効果・機能・運用の観点から検証を行った。

実証項目	効果検証の結果	機能検証の結果	運用検証の結果
<p>【情報収集】 危険状況・災害要因可視化のための遠隔監視システムの構築</p>	<ul style="list-style-type: none"> 天候や山肌、登山客等の状況をクリアに把握できるレベルの高精細映像のアップロード収集が可能 AIによる通過人数の自動計数、滞留アラートの発報・解除が可能 複数人同時の軽装検知が可能 	<ul style="list-style-type: none"> いずれの同期パターンでも必要十分なスループット、基本伝送品質が得られることを確認 画像解析によって集団の通過者人数、滞留、軽装の検出を確認 1枚のSIMカードで異なるローカル5GSAのネットワークの相互接続と認証連携ができることを確認 	<ul style="list-style-type: none"> 出された意見は概ね好評 AIカメラの判定精度について、運用上必要な検知対象に絞り学習効率を向上させることで、判定精度の向上が可能
<p>【情報交換】 迅速かつ円滑なローカルコミュニケーションシステム</p>	<ul style="list-style-type: none"> ローカルコミュニケーションシステムについて操作感についてネガティブな回答は無し コミュニケーションに必要なスループット、伝送品質の確保が可能 	<ul style="list-style-type: none"> いずれの同期パターンでも必要十分なスループット、基本伝送品質が得られることを確認 100m相当以上の距離において最大DL50Mbps、UL25Mbpsの伝送品質が確保できることを確認 	<ul style="list-style-type: none"> 出された意見は概ね好評 災害対策への有効性という観点から、可搬基地局と専用回線による構成について高く評価
<p>【サイエンスビッグデータ情報共有】 ローカル5Gエッジコンピューティングによる大容量データの低遅延共有</p>	<ul style="list-style-type: none"> サーバに置いたデータを取得して、2D・3Dの溶岩流ドリルマップに登山者の位置情報と災害発生状況、時系列の予測を可視化して表示することが可能 	<ul style="list-style-type: none"> いずれの同期パターンでも必要十分なスループット、基本伝送品質が得られることを確認 	<ul style="list-style-type: none"> 出された意見は概ね好評 土地勘のない登山者が、自分の位置と火口の位置の関係を理解できることについて高く評価

ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証

ローカル5G活用モデルの検証

公共安全への自営網通信の適用のサステナブルな運用の課題を解決する、「自走モデル」の確立を目指すローカル5G活用モデルとして、本実証のシステムについて以下の観点から検証した。

検証観点

検証結果

導入効果	➡	通信インフラが脆弱な山岳地域や河川への対応という点で、本実証のソリューションは幅広く展開可能であり、高い効果が得られる
想定される具体的な主体およびターゲット	➡	活火山を観光地として保有する県や市町村を対象に適用できる
実証地域やユーザ等の固有な要因や実証環境との関係等	➡	谷が多い山岳地域では、富士山以上にローカル5G活用への需要が高い可能性がある
体制・事業スキームモデル	➡	山岳地帯は国立公園内であっても私人の所有する土地であることも多いことから、運営事業者を置き、所有者から委任を受ける形で免許を取得するような形態が考えられる
ネットワーク・システムの横展開	➡	本実証において用いたネットワーク・システム構成は、汎用性の高い構成となっていることから、システムの横展開は比較的容易
ソフトウェア基地局の活用	➡	山岳地帯へのインフラ整備は、ネットワーク・システムの設置・施工にかかる費用が多くなることが想定されるため、低廉な導入、メンテナンスが可能なソフトウェア基地局の活用が有効である
自治体の観光収入による安全確保の自走モデル	➡	受益者による公平な負担という観点も踏まえると、入山協力金など別の名目の費用の中に、ソリューションにかかるコストを含む形で徴収することが最も実現性が高い

ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証 横展開にむけた検討事項

山岳地域でのローカル5G活用の推進に向けた検討事項について、コンソーシアムでの検討の結果得られた制度的課題の解決案を整理した。

山岳地域でのローカル5G活用の 推進に向けた検討事項

テンポラリーな利用に関する免許取得条件の調査と新規提案

ドローンへのUE搭載

過疎地における干渉調整

抽出した制度的課題の解決案

観測や監視対象の状況に応じて臨機応変に設置場所を変更できる可搬基地局を実現するために、制度の追加が必要である

ドローンは人が立ち入ることができないエリアへの防災対策について低コストで幅広く活用可能なため、飛行範囲の制限などがあっても、制度化を検討する価値がある

様々な事業者の電波伝搬測定結果を一元化してデータベース化することで、干渉調整をシステム化することができれば、ローカル5Gの導入検討、設計が容易となる

ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

本実証においては、実証目標に対する未達事項はなかったものの、実証を通して、今後の継続的な取り組みに向けて、以下の課題事項が明らかになった。

	課題事項	解決策
機器の設置環境と施工方法	<ul style="list-style-type: none"> 6合目の佐藤小屋に新規に設置するアンテナは支柱を十分に強固にしなければ風などによって破損してしまう他、現設備のままでは、アンテナのエレメントの短期間での破損は免れない。 冬季の運用については電源の確保が困難な上に、メンテナンスが行えないという問題がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 恒久的な設備の設置にあたっては、十分な強度を確保するための設計や施工が必要となる 電源確保の方法、物理的・論理的なメンテナンスのためのインフラ整備やそれにかかるコスト等についても検討する必要がある。
機器の低温対策	<ul style="list-style-type: none"> 低温による機器の不具合が発生した。電源を確保することができても暖房までではないという環境が多く、冬季の運用を行うためには、低温対策が重要になる。 	<ul style="list-style-type: none"> 簡易ヒーターなどを活用して周辺温度を高めた上で、エアキャップや断熱材で機器の温度低下を防ぎながら機器の起動を行う。 機器の起動後は、機器の自己発熱によって稼働が可能になる。
設置・施工作業員の高地への対応	<ul style="list-style-type: none"> ケーブル敷設などのネットワーク関連工事事業者が対応する領域については、山岳地帯のような高地における作業員の対応が困難である。 高所で作業を行う作業に関するマニュアルはあっても、高地で作業を行うマニュアルはない。 極地における対応を参考にしても、4000m超の高地の作業に関するマニュアルはあっても、主に低温への対策がメインになっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 設置・施工にあたっては平地の作業と比べてゆとりのあるスケジュールを組み、現地や山麓での宿泊など、作業員の高地への順応を行うなどが考えられる。
基地局の設置箇所の選定	<ul style="list-style-type: none"> 本実証においては、電波視認性の問題から富士山科学研究所から5合目ではなく、6合目の佐藤小屋に電波を飛ばしたが、冬の稼働は佐藤小屋が最も高いことが明らかになっている。 登山者や観光者が常に通過するところにネットワーク接続を確保することが重要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 季節を通して人流を考慮した上で基地局の設置場所を選定することが重要となる。

継続利用

□ 残設備の状況とネットワーク・システムの継続利用について

- 掘削や埋設行為についての認可(文化財法)が短期間で得られないため、多くの区間を撤去したが、冬季の環境に耐える設備を最大限残置した。
- 本実証で使用した可搬基地局は、山梨県富士山科学研究所内で保管・管理し、今後も必要に応じて設置・撤去を行うことで、柔軟に運用することが可能。

□ アプリケーションの実装について

- 本実証において使用した各アプリケーションは、ネットワーク・インフラ環境を整備することでいつでも利用可能な状態となっており、ソフト面における実装に向けたハードルは少ない。

□ 免許・許認可の状況

- ケーブル敷設やアンテナ設置等の許可について、自然公園法・文化財法に関しては令和6年6月まで認可済み。
- 恩賜林及び県有林への資機材設置についても基本的には令和6年6月まで許可を受けているが、一部の光ケーブル敷設区間については令和4年6月までの敷設許可を得ている。

実装計画

□ 関係省庁との調整について

- 本実証をきっかけとして、富士山周辺地域におけるローカル5Gの活用について、環境省、文化庁、国土交通省ならびに観光庁の注目を浴び、本プロジェクトの重要性を認識された。
- 恒久的な富士山地域DX「安全・安心観光情報システム」の実現に向けた協議段階のフェーズに入れることになり、実装に向けたアプローチについて具体的な検討を進めるための対話を開始している。

□ 今後の活動計画方針

- 令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証により、富士山地域DX「安全・安心観光情報システム」の実現が可能であることが証明された。
- 令和4年度以降は東京大学と富士山防災協定を締結している山梨県が中心となり本コンソーシアムメンバーと連携して、環境省、文化庁(文部科学省)、国土交通省および観光庁と協議し、光ケーブル敷設等の本格的な施設整備の在り方を検討し、富士山地域DX「安全・安心観光情報システム」を実現する計画である。
- 関係各省庁・県などからも本実証に対する関心は高いことから、令和8年度の年中運用を目指して、令和4年度から恒久構成の実現に向けて環境省や文化庁等との調整を開始する。
- 特に、富士山においては通信だけでなく電源の確保などのインフラ整備に必要な許認可の取得および予算の確保のための活動が重要となるため、年度ごとに課題を詳細化しながら推進していく。

まとめ

まとめ

本実証の実証・検証結果について、全体を以下に整理してまとめた。

実証分類	実証・検証項目	実証結果																																		
技術実証	山岳地帯におけるローカル5Gの電波伝搬特性等の測定	<ul style="list-style-type: none"> RSRPやスループットの取得を行い基礎データを取得した。各ポイントにおけるスループットを測定し、課題実証に用いる各システムが使用可能であることを確認した。 																																		
	電波伝搬モデルの精緻化	<ul style="list-style-type: none"> 本実証として算出するK値は右記の通りであった。 S値は開放地(32.5)が妥当と思われる。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>エリア</th> <th>上り/下り</th> <th>傾斜角</th> <th>精緻化K</th> <th>前)精緻化(後)RMSE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>6合目 傾斜上側</td> <td>上り</td> <td>16.94</td> <td>9.404</td> <td>11.21</td> <td>9.87</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>6合目 傾斜下側</td> <td>下り</td> <td>-8.03</td> <td>12.313</td> <td>15.29</td> <td>11.84</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>4合目 傾斜上側</td> <td>上り</td> <td>2.33</td> <td>17.958</td> <td>18.10</td> <td>2.00</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>4合目 傾斜下側</td> <td>下り</td> <td>-9.01</td> <td>10.205</td> <td>9.42</td> <td>5.50</td> </tr> </tbody> </table>	番号	エリア	上り/下り	傾斜角	精緻化K	前)精緻化(後)RMSE	01	6合目 傾斜上側	上り	16.94	9.404	11.21	9.87	02	6合目 傾斜下側	下り	-8.03	12.313	15.29	11.84	03	4合目 傾斜上側	上り	2.33	17.958	18.10	2.00	04	4合目 傾斜下側	下り	-9.01	10.205	9.42	5.50
	番号	エリア	上り/下り	傾斜角	精緻化K	前)精緻化(後)RMSE																														
01	6合目 傾斜上側	上り	16.94	9.404	11.21	9.87																														
02	6合目 傾斜下側	下り	-8.03	12.313	15.29	11.84																														
03	4合目 傾斜上側	上り	2.33	17.958	18.10	2.00																														
04	4合目 傾斜下側	下り	-9.01	10.205	9.42	5.50																														
準同期TDD の追加パターンの開発	<ul style="list-style-type: none"> 準同期パターンを用いることによりアップロードの速度を230Mbps程度まで高められることを実証した。 各準同期パターンが受ける同一周波数からの干渉について検証を行い干渉量と離隔距離を導出した。基地局正対の場合はkmオーダーの離隔が必要であるが、併設の場合は10m程度の離隔となり運用可能と考えられる。 																																			
課題実証	【情報収集】危険状況・災害要因可視化のための遠隔監視システムの構築	<ul style="list-style-type: none"> 天候や山肌、登山客等の状況をクリアに把握できるレベルの高精細映像のアップロード収集が可能 AIによる通過人数の自動計数、滞留アラートの発報・解除が可能 複数人同時の軽装検知が可能 1枚のSIMカードで異なるローカル5GSAのネットワークの相互接続と認証連携ができることを確認 																																		
	【情報交換】迅速かつ円滑なローカルコミュニケーションシステム	<ul style="list-style-type: none"> 100m相当以上の距離において最大DL50Mbps、UL25Mbpsの伝送品質が確保できることを確認 災害対策への有効性という観点から、可搬基地局と専用回線による構成について高く評価 																																		
	【サイエンスビッグデータ情報共有】ローカル5Gエッジコンピューティングによる大容量データの低遅延共有	<ul style="list-style-type: none"> サーバに置いたデータを取得して、2D・3Dの溶岩流ドリルマップに登山者の位置情報と災害発生状況、時系列の予測を可視化して表示することが可能 土地勘のない登山者が、自分の位置と火口の位置の関係を理解できることについて高く評価 																																		
	ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証	<ul style="list-style-type: none"> 通信インフラが脆弱な山岳地域や河川への対応という点で、本実証のソリューションは幅広く展開可能であり、高い効果が得られる。 本実証において用いたネットワーク・システム構成は、他の環境においても展開可能な、汎用性の高い構成となっていることから、システムそのものの横展開は比較的容易と考える。 山岳地帯は国立公園内であっても私人の所有地であることも多いため、ソリューションの実装にあたっては運営事業者を置き、所有者から委任を受けて免許を取得する形態が考えられる。 																																		