

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

ローカル5Gを活用した山間部林業現場での生産性向上および安全性向上のための
の実用化モデル検証

成果報告書概要版

令和4年3月25日

となみ衛星通信テレビ株式会社

実証概要

背景・目的

林業現場における課題と解決実証

課題

低い生産性

林業現場は4G電波が届かない場所も多いことから、IoTなどを活用した生産性向上の取り組みも、農業など比較し遅れており、事業の採算性も低い水準となっている。

低い安全性

全産業に比較し事故率が約10倍との統計もあり、新規参入や新規従事者の増加への障害となっている面もある。森林内で事故発生した場合、救急体制が脆弱であり安全対策を十分にとることができない現場も多く見受けられる。

課題解決

生産性向上

ローカル5G通信基盤と遠隔操作機能搭載フォワーダー（木材運搬作業車）を用いた遠隔操作システムを構築のうえ実証評価を行う

安全性向上

ローカル5G通信基盤と4K映像およびAIを用いた安全管理システムを構築のうえ実証評価を行う

課題解決システム

丸太運搬の作業車両の遠隔操作

- ・作業車両搭載の4K高精細カメラ映像を伝送
- ・作業車両を遠隔操作

高精細カメラとAIを活用した危険予知

- ・現地設置の4K高精細カメラ映像を伝送
- ・AIを活用し、ヘルメット着用有無、熊との遭遇通知等、危険予知判定を実施

実証の概要

【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)】

山間地斜面におけるローカル5G電波伝搬試験を行い、以下の4点の検証を行った。

- a 電波伝搬特性やモデルの精緻化
- b 反射板によるエリア構築の柔軟化
- c 準同期TDDの追加パターンの開発
- d ローカル5Gの再送信におけるエリア構築の柔軟化

【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)】

「高精細カメラとAIを組合せた危険予知」システム — 安全性向上分野

実証フィールド内に設置された高精細カメラ映像をもとに、AIを使った危険予知を可能とするシステム構築を行った。

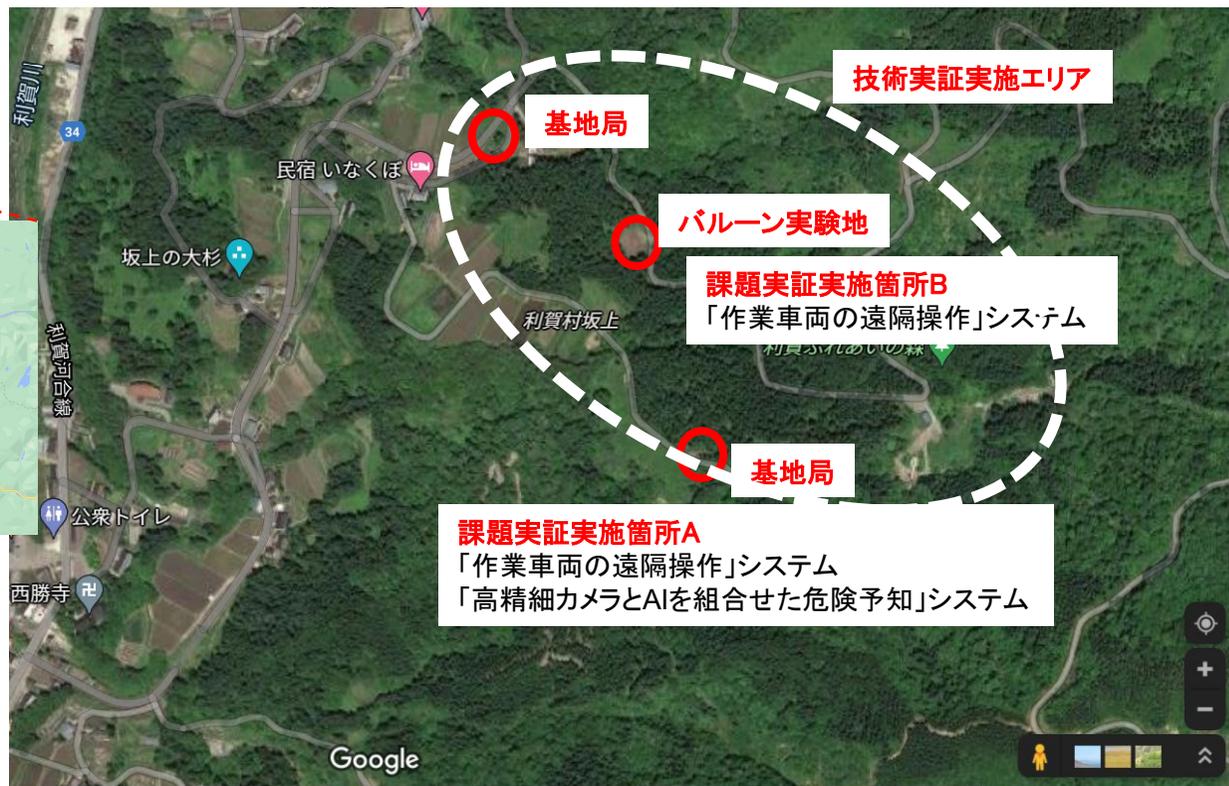
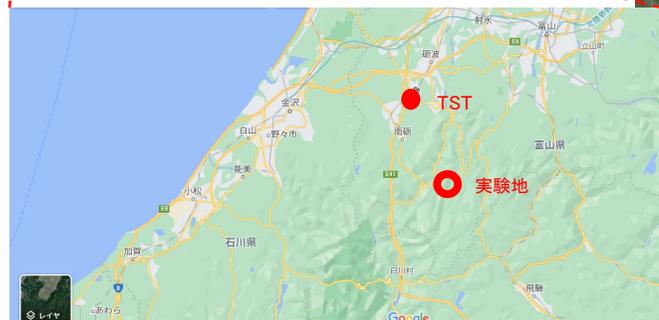
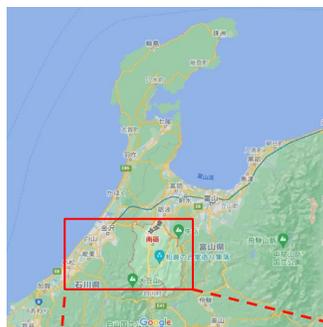
「作業車両の遠隔操作」システム — 生産性向上分野

作業車両に搭載した高精細カメラ映像および遠隔操作信号をローカル5Gのネットワーク経由で遠隔側に伝送し、作業員の安全を確保しつつ効率化を実現する作業車両の遠隔操作を可能にするシステムの構築を行った。

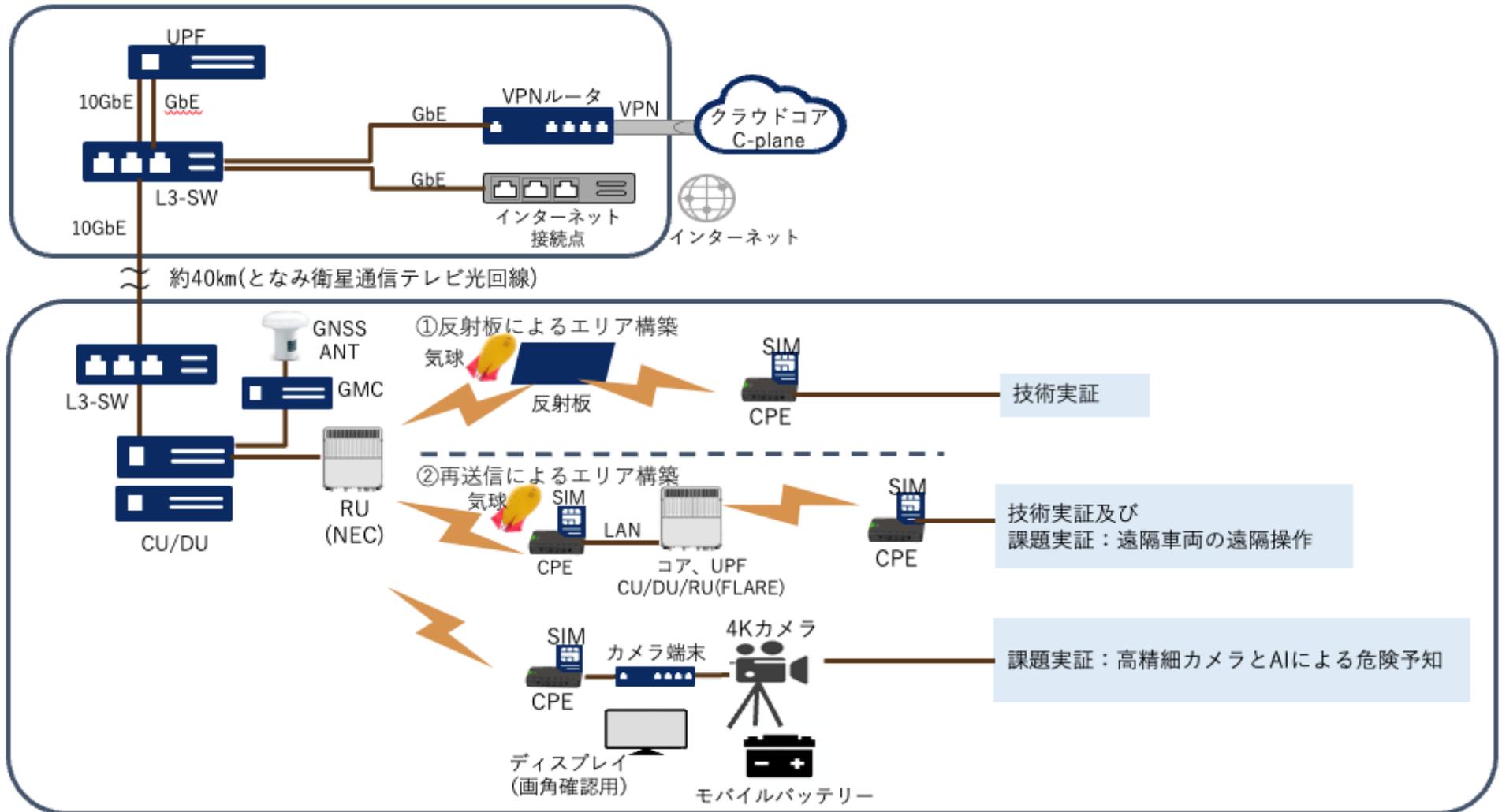
実証環境の構築

実施環境

本実証は林業分野における生産性や安全性の課題を解決するために、ローカル5Gを活用したシステムを富山県南砺市の利賀村(山林)に構築した。



ネットワーク・システム構成



システム機能・性能・要件

FLARE SYSTEMS ローカル5G基地局

FLARE SYSTEMS FW-L5G-1

対応周波数帯	4.7GHz-4.8GHz/4.8GHz-4.9GHz (本実証においては4.8-4.9GHz)
最大出力	23dBm(200mW)
空中線利得	12dBi
占有帯域幅	100MHz
MIMOレイヤ数	ダウンリンク 2x2 MIMO アップリンク 2x2MIMO
変調方式	最大256QAM
最大スループット	理論値 ダウンリンク800Mbps(同期TDD) アップリンク220Mbps(準同期TDD)
ネットワーク接続方式	1Gbps LAN
時刻同期方式	GPS同期方式
同期パターン	同期、準同期1, 2, 3
電源	AC100V



NEC ローカル5G基地局

NEC MB5420

対応周波数帯	4.8GHz-4.9GHz
最大出力	33.6dBm(2300mW)
空中線利得	17.5dBi
占有帯域幅	100MHz
MIMOレイヤ数	ダウンリンク 2x2 MIMO
変調方式	最大256QAM
最大スループット	理論値 ダウンリンク700Mbps(同期TDD) アップリンク65Mbps(同期TDD)
ネットワーク接続方式	10Gbps LAN
時刻同期方式	PTP同期方式
同期パターン	同期
電源	AC100V



免許及び各種許認可、その他要件、実証環境の運用

(1)無線局免許

無線局の免許人はとなみ衛星通信テレビ株式会社であり、総務省北陸総合通信局と調整を行い、ローカル5Gの無線局免許申請を実施した。またその際には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。

(2)その他要件

本実証ではNEC(日本電気株式会社)製とFLARE SYSTEMS社製の2つの基地局設備を使用した。

本実証で取り扱うシステムについては基本的に国際規格やオープンな技術に依拠し、普及段階において機能拡張が可能な設計になっている。また、必要に応じて機能改善が可能であり、横展開に向けて柔軟に対応することができる。

(3)実証環境の運用

以下のとおり役割分担及び責任を明確化することで、実証環境の運用を円滑に進めた。

実証環境全体統括責任:となみ衛星通信テレビ株式会社

基地局構築・運用責任:NECネットエスアイ株式会社

実証フィールド提供責任:株式会社島田木材

「作業車両の遠隔操作システム」構築責任:AZAPA株式会社

「高精細カメラとAIを組み合わせた危険予知システム」構築責任:株式会社loZ

項目	実証前	実証中
ローカル5G環境	設置箇所調整:となみ衛星通信テレビ 環境構築・要件定義:NECネットエスアイ	実証統括:となみ衛星通信テレビ 環境構築・運用:NECネットエスアイ サービス利用:島田木材
「作業車両の遠隔操作」システム	実証要件定義:となみ衛星通信テレビ システム構築:AZAPA株式会社	実証統括:となみ衛星通信テレビ システム構築・運用:AZAPA株式会社 サービス利用:島田木材
「高精細カメラとAIを組合せた危険予知」システム	実証要件定義:となみ衛星通信テレビ システム構築:株式会社loZ	実証統括:となみ衛星通信テレビ システム構築・運用:株式会社loZ サービス利用:島田木材

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

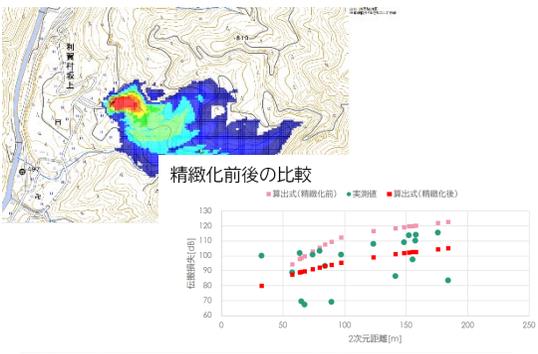
テーマ	技術的課題
電波伝搬モデルの精緻化	<p>本実証の山林地域においては斜面上に多数の樹木が生えている環境が特徴であり電波伝搬特性として一般的なモデルに当てはまらない可能性が高く、今後実用化された際に実際の置局を行った際のエリアシミュレーション(机上設計)と実測値の差異が発生する可能性がある。差異が発生した場合システム変更などのコストが発生し普及の妨げになることも想定されるため、エリア設計の精緻化が求められる。</p>
電波反射板によるエリア構築の柔軟化	<p>ローカル5Gに使用されるSub6帯、4.6-4.9GHzにおいてはキャリア移動通信システムなどで使われているサブギガヘルツ帯であるプラチナバンドなどの周波数と比べ回り込みが少ない。電波反射板を活用し無線装置を増やさずにカバーエリアを確保できるかを実証する。本実証においてはユースケースにて想定されるカメラでの映像伝送の際、光ファイバー網などが実証地まで届いていないため、ローカル5Gを活用する。ローカル5Gを用いた場合も見通し外になるため、電波反射板を用い散在するカバーエリアを少ない基地局でカバーすることが実証の目的となる。</p>
準同期TDDの追加パターンの開発	<p>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、「高精細カメラとAIを組合せた危険予知」及び「作業車両の遠隔操作」を実現するためには、複数の4Kカメラを用いて断続的に大容量の画像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100Mbpsになる可能性がある。この値を電波が減衰しやすい森林の中で安定して得るためには、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。</p>
ローカル5Gの再送信におけるエリア構築の柔軟化	<p>ローカル5Gは原則自己土地での自営ネットワークとなる。そのためサービスエリアがキャリア5Gよりも狭くなる。しかしながら今回の実証フィールドのように自己土地利用においても広大なエリアである場合も想定され、エリアの拡大が必要な可能性もある。エリア拡大に際し、今回のような山地のフィールドにおいては光ファイバー網によりバックホール回線を引くことが難しく、無線でのバックホール回線が必要となる。FWAのような固定回線でバックホール回線を引くこともできるが、今回はローカル5G回線をバックホール回線として活用することにより中継をしながらサービスエリアを拡大することを実証する。</p>



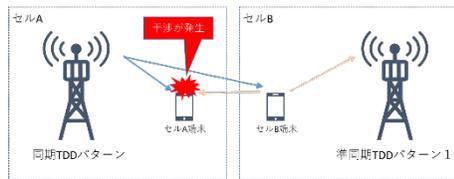
実証エリアの様子

実証目標

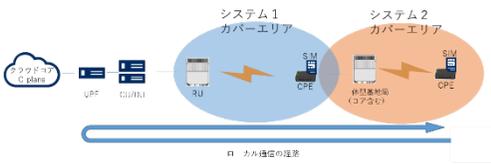
テーマ	実証目標
電波伝搬モデルの精緻化	電波法関係審査基準に記載の電波伝搬モデルの伝搬損失Lの精緻化を目標とする。具体的には、山の斜面等の影響を表すK、植生等の遮蔽物等による影響を表すSの精緻化を目標とする。
電波反射板によるエリア構築の柔軟化	電波反射板を用い伝搬範囲を拡大することを目標とする。基地局無線装置の数を減らし、システムの低廉化を図るとともに、バックホール回線が引けない場所や電源が確保できない場所においてもローカル5Gのエリアを確保する。 特に本実証においては、バックホールを引くことが難しい山岳地帯において、樹木により直接波が妨げられる地域に電波反射板を用いることによりローカル5Gの伝搬エリア拡大、ローカル5Gをバックホールとして活用できることを実証する。
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。
ローカル5Gの再送信におけるエリア構築の柔軟化	エリア中継の実証を行う際に2つのシステムを通ることによる遅延の発生やパルーンを用いたシステムにおける中継が可能かどうかを明らかにし、エリア中継が実現可能か、また運用に耐えるかの検証を行う。



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	S	U	U	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D
準同期TDD1	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D
準同期TDD2	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D
準同期TDD3	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U



※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	仮説
電波伝搬モデルの精緻化	本実証の地域においては傾斜の多い林業を営む地域である。そのためK値においては傾斜の影響が大きいことが考えられる、S値についてはルーラルエリアではあるが、樹木の影響により郊外地と市街地の両側面がありそのどちらの特性に近いかを評価する必要がある。本実証で得られた結果は他の森林地区にて応用できると考えられる。
電波反射板によるエリア構築の柔軟化	本実証において樹木伐採を行うエリアは見通し外となっており、かつ別の基地局相当装置を配置することがバックホール回線確保の観点から難しい。今回は地上設置とバルーン設置の2パターンで電波反射板を用いたエリア拡大ができるという仮説を検証した。
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リスロット数の違いであり、準同期パターンにおける上リスロットの送信中には同期パターンシステムへの干渉量が一定値を超えた場合に干渉し、スループットの低下などの実運用上に関わる影響をもたらす可能性がある。今回の実証では同期システムと準同期システムを同時に運用する際の運用上の制約および必要な離隔距離を確認する。
ローカル5Gの再送信におけるエリア構築の柔軟化	エリア中継を行う場合、2つの5Gシステムをまたぐため、ローカルでの通信を行う際にも遅延が発生することが予想される。また、同一周波数にて中継を行う際には電波干渉が発生する可能性もあり、システム1のUEとシステム2の基地局相当装置間の離隔を十分にするなどの対策が必要になると考えられるため、最終的なアプリケーションで使用する通信品質を確認する必要がある。

実証内容

テーマ	実証内容
電波伝搬モデルの精緻化	<p>受信電力(SS-RSRP)を56地点測定し、電波法関係審査に記載の伝搬モデルと比較した。測定地点を決めるにあたり基地局を中心として全周囲においてエリア測定器を用い想定エリアより広い範囲を測定し、机上計算と比較のうえ測定点を決定した。なお、比較の際は電波法関係審査基準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、検証を行った。</p> <p>受信レベルを比較のうえ、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する。精緻化の結果をフィードバックし再度机上計算を行い、比較することで精緻化の妥当性を検証した。</p>
電波反射板によるエリア構築の柔軟化	<p>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20地点の測定を行った。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、電波反射板の有効性を、バルーンに設置する場合と地上に設置する場合の2パターンで検証した。反射板は風での変位が考えられるため、想定角度から$\pm 3^\circ$の変位を想定して広域の測定を実施した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="385 658 1239 972"> <p>反射板 地上高 20m 標高 624m</p> <p>端末 地上高 1.5m 標高 626m</p> <p>基地局 地上高 1.5m 標高 626m</p> <p>樹木による遮蔽</p> </div> <div data-bbox="1265 658 2018 972"> <p>チルト角(5°)</p> <p>基地局 地上高(1.5m) 標高(583m)</p> <p>端末 地上高(1.5m) 標高(587m)</p> <p>反射板 地上高(0.5m) 標高(589m)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="513 982 1079 1043"> <p>検証環境1(バルーン設置)において想定される NLOSエリアとプロフィール図</p> </div> <div data-bbox="1390 991 1897 1052"> <p>検証環境2(地上設置)において想定される カバーエリアとプロフィール図</p> </div> </div>
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。</p> <p>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。</p> <p>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>
ローカル5Gの再送信におけるエリア構築の柔軟化	<p>再送信による2システムを経由した後の伝送品質を確認する。また、各ポイントにおいて受信電力(SS-RSRP)、スループット、伝送遅延の測定を行う。また、実際の遠隔運転アプリケーションにて問題なく遠隔運転が行えることを検証した。</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

K値: 点01と02においては樹木量が異なり、樹木が少ないエリア02よりも樹木が多い(密度の高い)エリア01の方がK値が低くなる傾向が確認できた。今回の結果からは斜度の違いだけがK値に影響を及ぼすとは考えづらい結果となった今後さらなる精緻化を行うためには伐採前後で電波伝搬の比較を行うなど樹木の影響値を評価することによりより精度の高い精緻化を行うことができると考えられる。

S値: 郊外地(12.3)が妥当と思われる。

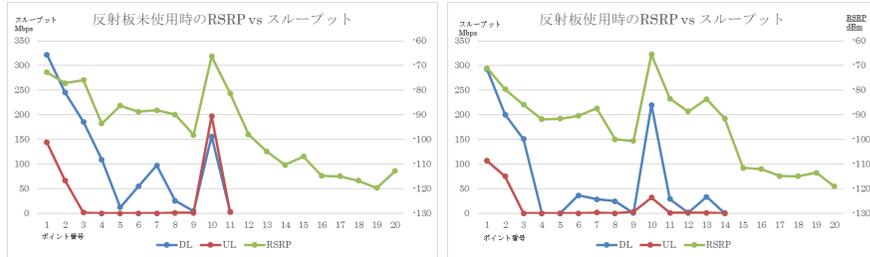
番号	エリア	上り/下り	傾斜角	S	精緻化K	RMSE前	RMSE後
01	南側	上り勾配	11.14	12.3	-1.239	10.14	10.06
02	北東側	上り勾配	7.18	12.3	8.299	8.36	4.05

本実証で精緻化したK値

(2) 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

地上設置: 不感地帯のうち右記グラフ地点11,12,13のRSRPが最大21.4dBm、SIRが最大5.36dB向上。スループット測定が可能となった。電波反射板の出射角(約3度)方向に対し非常に狭い範囲だがサービスエリアを構築。広範囲なエリア拡大は難しいが、今回のユースケースのような固定カメラのサービスエリア化などの用途では電波反射板が有効。

バルーン設置: 風等による変位が大きく、角度維持装置(電動ジンバル)のような方位を維持する仕組みが必要。



反射板未使用時のRSRPvsスループット

反射板使用時のRSRPvsスループット

(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240Mbpsまでの通信を確認でき、近距離で高速なUL通信が可能と確認できた。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。エリア設計の際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考えられる。

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	結果
正対	基地局	基地局	同期	準同期3	65.5	44158.6	実施	68.5m離隔でスループットが低下するものの通信可能
併設	基地局	基地局	同期	準同期3	65.5	3.51	実施	運用可能
正対	移動局	移動局	準同期3	同期	23.0	57.7		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
正対	移動局	基地局	同期	準同期3	65.5	1289.8	実施	68.5m離隔でスループットが低下するものの一部で通信可能
併設	移動局	基地局	同期	準同期3	65.5	11.5		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

干渉計算結果と干渉試験の結果

(4) ローカル5Gの再送信におけるエリア構築の柔軟化

エリア中継を行う場合2つの5Gシステムをまたぐため遅延が発生することが予想されたが、システム1UEとシステム2基地局相当装置間の離隔を十分に取ることが出来るため、電波干渉を受けずに中継可能であり、車両の遠隔運転を問題なく行うことができた。再送信を行うことで、バルーンの角度に依存せず広い範囲に中継システムを構築できることが検証された。バックホール回線の確保が難しい場合の有用性を確認した。



システム1 CPE(NEC基地局)とシステム2 一体型基地局(FLARE基地局)との中継

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)

課題実証概要、背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

課題実証概要:

スマート林業の社会実装を目的とし、ローカル5Gを用いて

①生産性の向上:遠隔操作による作業車両の移動や搬出作業効率化の検証

②安全性の向上:高精細映像とAIを組み合わせた作業員の山林現場での安全管理

実証目標:

①作業車の遠隔操作により、現場作業員の工数削減を明確化し
生産性向上への寄与度合いを評価・実証すること

②事前に準備したパターンと現場ライブ映像のAIによる比較解析による危険有無判定が、作業員の
安全性向上に寄与するか評価・実証すること

実装シナリオ及び達成度評価

高精細カメラとAIを組合せた危険予知については、2022年度中の実装、作業車両の遠隔操作は、現用の作業車の買い替えが必要となることから、実装には株式会社島田木材の実際の経営状況や計画などを十分に勘案しながら実装していくことを想定したシナリオとする。

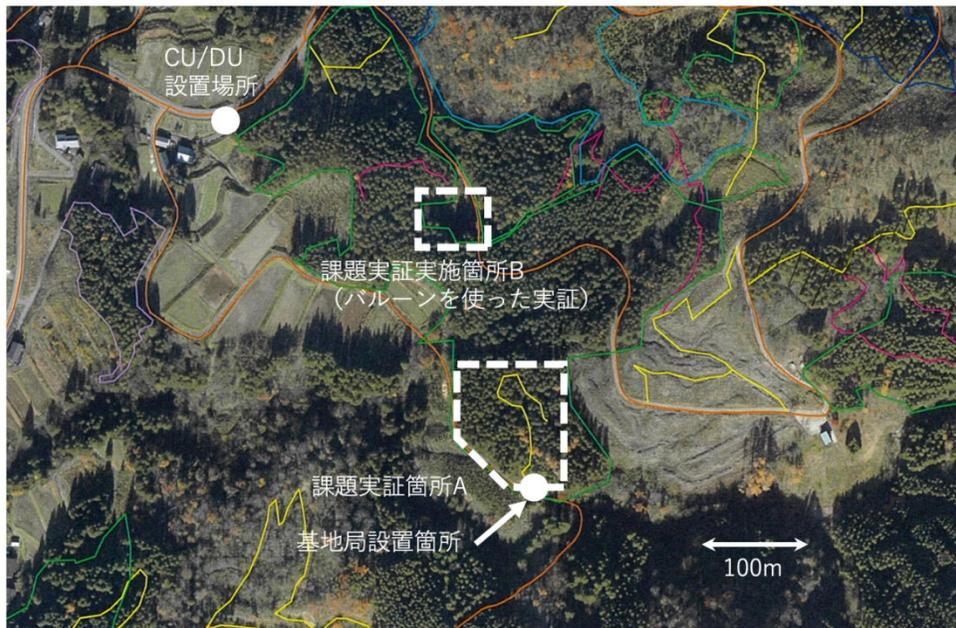
<高精細カメラとAIを組合せた危険予知>

設定した危険予知動作それぞれのAI判定精度について、80%達成を実用化の目標とする。

<作業車両の遠隔操作>

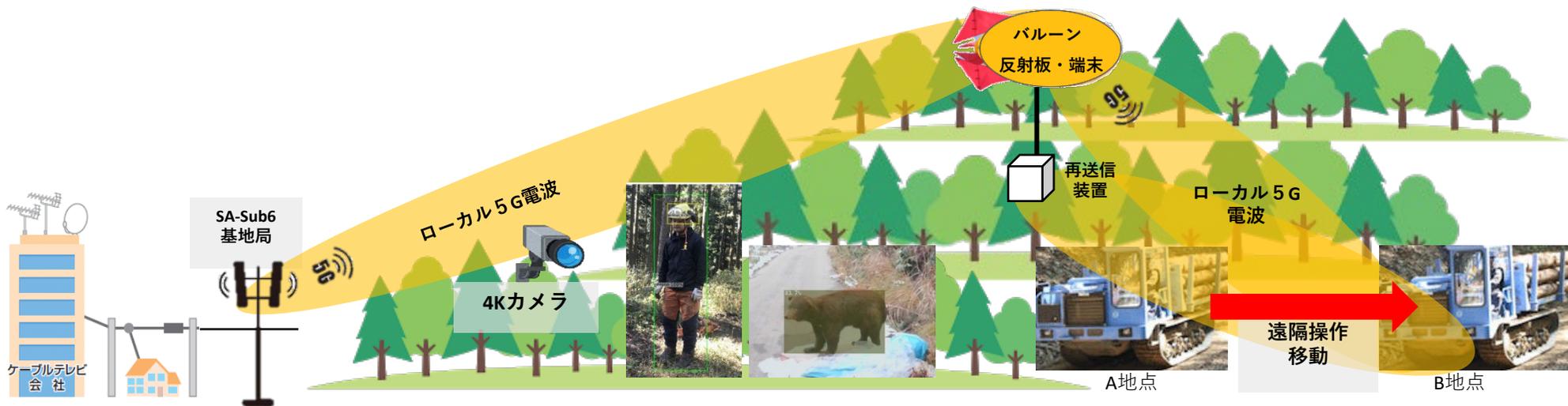
遠隔操作作業車の使用の有無による工数・所要時間を明確化し、削減された工数の数値を基に、達成度を評価する。

実証環境



南砺市にある実証フィールドは**キャリア4Gのエリア外**となっており、5Gのエリア化についても当面見通が立っていない状況。このような場所で大容量の5G技術を活用するために**ローカル5Gを構築した**。

ローカル5Gシステムはsub6対応でクラウドコア対応のシステムにて構築を行い、基地局を接続する。光回線はとらみ衛星通信テレビの光回線を用いて接続を実施した。



実証内容 有効性に関する検証

①生産性の向上:遠隔操作による作業車両の移動や搬出作業効率化の検証

遠隔操作を取り入れた場合の工数削減効果は全体で**約315分**となった。主な差分は以下の通り。

①作業工程を見直すことで現地に向かう人員を1人減らすことができた。(約495分減)

⇒作業車を運転する人員を遠隔地にて確保したため、現場に向かわずに必要なタイミングで作業することが可能となった。また、林道と討伐予定の木の確認を遠隔車両で行うことで工数削減が可能となった。

また、遠隔操作者について、遠隔作業時以外は、現場作業以外の業務を実施することができるため、この部分も工数として削減とした。

工数削減の観点のみならず、先述した通り、作業現場は危険に遭遇するリスクが大きい。危険に遭遇するリスクを1人分排除することができるため、安全性の確保にも寄与すると考える。

②作業車による運搬作業の工数が増加した。(約180分増)

⇒遠隔操作環境の準備が必要となるため、追加工数が発生した。また、遠隔操作時にカメラ映像の遅延が発生していることと不慣れであることが影響して、遠隔操作車両を使用する運搬作業が遠隔操作をしない時の約1.3倍の時間を使ってしまう。これらの課題は遠隔操作における通信遅延の解消と作業者の習熟度を上げることで工数増加を必要最低限まで抑えることが可能であるため、今後の技術発展や社会実装が進めば効率化に寄与すると考える。

②安全性の向上:高精細映像とAIを組み合わせた作業員の山林現場での安全管理

ヘルメット未着用検知では、カメラ距離が**20m以内**であれば、**4Kカメラで80%の判定精度**を達成できる事が実証された。

尚、周囲の照度を変化させた環境でも検証を実施したが、**夕方想定照度(1100ルクス)**であっても問題なく動作することが実証された。

また**HD、SDカメラを用いた場合だと、80%の判定精度が達成できない**ことから、本システムの動作には**4Kカメラが必須**となる。

熊との遭遇検知では、カメラ距離が**20m以内であれば、80%の判定精度を達成できる**事が実証された。また、熊の下半身を隠しての実証も行ったが、AI判定結果に変化は認められなかった。

作業禁止エリアへの侵入判定では、カメラ距離が**50m以内であれば80%の判定精度を達成できる**事が実証された。

上記結果を踏まえ、**対象物との距離が20m以下**となるようにカメラの配置を行えば、期待された危険予知を行うことが可能である。

実証内容 実装性に関する検証①

本実証にて得られた山林での電波伝搬モデルを基に、カバーエリア面積および、そのエリア内にて本システムが有効に動作する面積を割り出し、それらの面積で本システムを活用した場合、全体としてどの程度の工数削減が可能かシミュレーションを行った。

島田木材が1年間の間伐作業(50ha)にかかる工数

面積	工数	備考
50ha	125日	10haの面積を5回実施する試算

遠隔操作システムを導入する事により、削減される工数と費用

面積	削減される時間	削減される工数 (1日8時間として試算)	削減された工数分の費用 (1人日3万円で試算)
50ha	39,375日	82人日	2,460,000円

システム構築費用(イニシャルコスト)

システム	構築費用	備考
ローカル5Gシステム	2,100万円	
遠隔操作システム	2,295万円	
AI危険予知システム	135万円	
基地局追加コスト(追加分3台)	2,700万円	半径120mのカバーエリアから、林道240mで1基地局設置と想定。10haの林道が1km程度で、カーブしていることから、3箇所程度の追加が必要と想定
AI危険予知システム(追加分2台)	40万円	島田木材からのヒヤリングを受け、林道のスタート地点及び中間地点、最終地点の3か所の設置を想定して試算した。
合計	7,270万円	

保守費用(ランニングコスト)

システム	構築費用(年額)
ローカル5Gシステム保守費	100万円
基地局保守費	1,100万円
遠隔操作システム保守費	40万円
AI危険予知システム保守費	190万円
基地局保守費(追加分3台)	300万円
AI危険予知システム保守費用(追加分2台)	0万円
合計	1,730万円/年

上記で算出したシステム構築費用を、遠隔操作システム導入により削減された工数から算出された削減費用元手に回収する場合、29.5年必要となる。また上記期間の間、保守費用も発生する事となる。

上記から、遠隔操作システム導入により削減される費用にて設備投資回収をする事は現実的ではないため、導入が難しい結果となった。

実証内容 実装性に関する検証②

前述で試算した結果を基に、持続可能な実装を行うためのビジネスモデルの構築を以下の通り検討した。

設備投資回収が可能となる持続可能なビジネスモデルを構築するため、実際の商用サービス展開を想定した価格での試算を行った。(一定の前提条件を満たした上での量産化モデルの想定)

システム構築費用(イニシャルコスト)

システム	R3 構築費用	商用サービス 構築費用	コスト低減化ポイント
ローカル5Gシステム	2,100万円	900万円	一体型基地局を採用し、基地局以外の設備等のコストを削減
遠隔操作システム	2,295万円	515万円	今回採用した作業車両への搭載及び量産化を想定したパッケージを検討しコストを削減
AI危険予知システム	135万円	135万円	
中継局追加コスト(追加分3台)	2,700万円	480万円	L5G中継局採用を想定し、ハードコスト、工事コストを削減
AI危険予知システム(追加分2台)	40万円	40万円	
合計	7,270万円	2,070万円	

保守費用(ランニングコスト)

システム	R3 保守費用 (年額)	商用サービ ス保守費用 (年額)
ローカル5Gシステム 保守費	1,500万円	60万円
遠隔操作システム 保守費	40万円	40万円
AI危険予知システム 保守費	190万円	30万円
合計	1,730万円/年	130万円/年

今回のシステムを導入する事により削減される費用について以下の通り算出を行った。

項目	費用	備考
遠隔操作システム導入により削減された工数から算出された削減費用	2,460,000円	
AIカメラ危険予知システムの導入及び、作業車両の遠隔操作にてもたらされる安全性向上に関わる費用	2,800,000円	安全対策から得られる便益は目に見えない費用であり、定量化が困難であり、かつ経営者が過小評価しがちな傾向がある事から、これらを踏まえ、島田木材へのヒヤリングを実施し、削減費用を算出した。(作業員1名が事故により半年間作業ができない状態となった場合等を想定し試算を実施)
総額	5,260,000円	

遠隔操作システム導入により削減された工数から算出された削減費用を元手にシステム構築費用を回収する場合、3.9年必要となる。尚、上記期間の間、保守費用も発生する事となる。

一般的な設備投資回収期間は5年と設定すると、それ以内の回収が可能となる事から、本試算を基にしたビジネスモデルの展開が可能であると考えられる。尚、今回のコスト試算については前述の通り、実際の商用サービスが展開を想定した場合の(一定の前提条件※を満たした上での量産化モデルの想定)試算となっている。

※量産化モデル実現のための商用パッケージ導入規模や車両メーカーとシステム構築ベンダとの連携など。

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及び実装計画

【ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策】

- ①全頁に記載のビジネスモデル試算における量産化モデルや商用サービスの展開時期等の前提条件の解決（関係事業者との連携強化等）
 - ②検証結果では得られなかった遠隔操作車両の実用化に要するより広いエリアカバレッジを確保するための手段（リピータの使用等）
 - ③作業現場の変更に伴う基地局設置場所の移動に係る免許申請手続きへの対応（手続き支援等）
- 上記の解決及び商用化に向けた、林業現場でのニーズの継続的な掘り起こし及び、ニーズに合致する商用サービスの継続的な提案の実施を行う

【実装計画】

本実証を行った中小規模の林業業者の売上や利益率を想定した場合、現時点の商用サービスの想定費用を負担するには、1.3倍程度の間伐作業面積があれば導入の実現性が高くなる評価が得られた。R4年度中は、費用低減方策として、L5G設備の構築規模の効率化、2つのソリューションを組み合わせたパッケージ化によるシステム構築費の調整、林業分野の補助金等の活用等について継続検討する。他地域を含め面積規模の大きい事業者への訴求による横展開も含め、R5年度以降の実装可能性を目指す。

課題実証を実施して抽出された課題及び解決策

課題	原因			解決策
	技術	費用	運用	
商用サービス展開時期が未定	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ・林野庁への展開も含め、林業現場でのニーズの掘り起こしを継続して実施する。 ・今回検討した商用ベースでのビジネスモデルを用いたサービスの提案を継続して実施する。 ・商用サービス展開に向け、関係者と継続した情報交換を実施する。
ローカル5G電波特性による遠隔操作作業車の実用的なカバーエリアが小さい	○	○	○	5G基地局または5G中継局の追加によるカバーエリア拡大または、指向性アンテナによる放射角度の変更の検討
遠隔操作作業員の操作において現場作業員の技術習得に時間を要する			○	遠隔操トレーニングの実施
電源確保、ファイバ敷設を考慮した基地局設置箇所の選定		○		コスト低減箇所の選定
作業現場を変更するたびに基地局設置場所の移動が必要となる。その際の免許申請が煩雑となってしまう			○	免許制度の要件緩和の提言

まとめ

まとめ

■ 技術実証

- 電波伝搬の精緻化を行い、林業現場における水平展開を行う際の技術データを取得した。本実証として算出するK値、S値は右記の通りである。S値は郊外地が妥当と思われる。

番号	エリア	上り/下り	傾斜角	S	精緻化K	RMSE前	RMSE後
01	南側	上り勾配	11.14	12.3	-1.239	10.14	10.06
02	北東側	上り勾配	7.18	12.3	8.299	8.36	4.05

- 電波反射板を使用することで、不感地帯においてRSRPが最大21.4dBm、SIRが最大5.36dB向上し、スループット測定が可能となった。広範囲なエリア拡大は難しいが、固定カメラのサービスエリア化などの用途では電波反射板が有効と考えられる。
- 追加準同期パターン(UL6:DL2)において、最大240Mbps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。準同期パターンを活用することで、4Kカメラなどのアップリンクの速度が必要な環境においてローカル5Gの活用が可能であることを実証した。また、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干渉量と離隔距離を導出した結果から、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

- 遠隔操作による作業車両の移動や搬出作業効率化により生産性向上に寄与することが実証された。
- 高精細映像とAIを組み合わせた作業員の山林現場での安全管理を行う事によって作業員の安全性向上に寄与することが実証された。
- 上記実証の結果を受け、設備投資回収が可能となる持続可能なビジネスモデルを構築するため、実際の商用サービス展開を想定した価格での試算を行い、実装するための課題抽出及び解決策を策定した。
- 商用サービス展開に向け、R4年度中は、費用低減方策として、L5G設備の構築規模の効率化、2つのソリューションを組み合わせたパッケージ化によるシステム構築費の調整、林業分野の補助金等の活用等について継続検討する。他地域を含め面積規模の大きい事業者への訴求による横展開も含め、R5年度以降の実装可能性を目指す。