

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

# 高知県安芸地区におけるローカル5Gの 活用によるゆず生産スマート化実証

---

成果報告書概要版

令和5年3月

株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所

高知県安芸地区ゆずスマート農業実証コンソーシアム

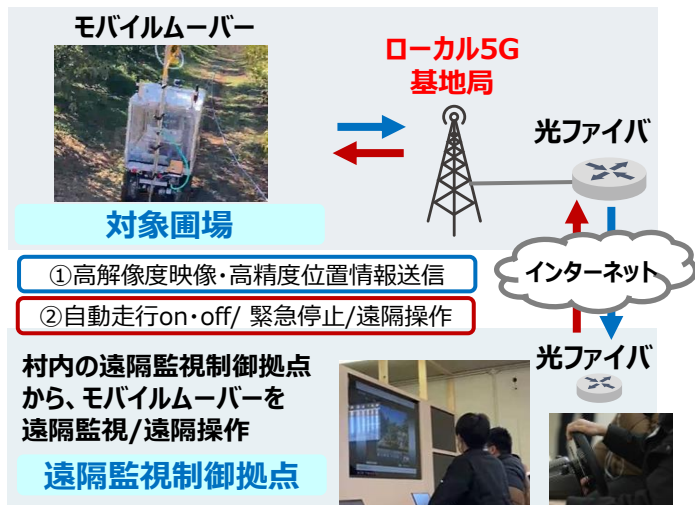
---

## 実証概要

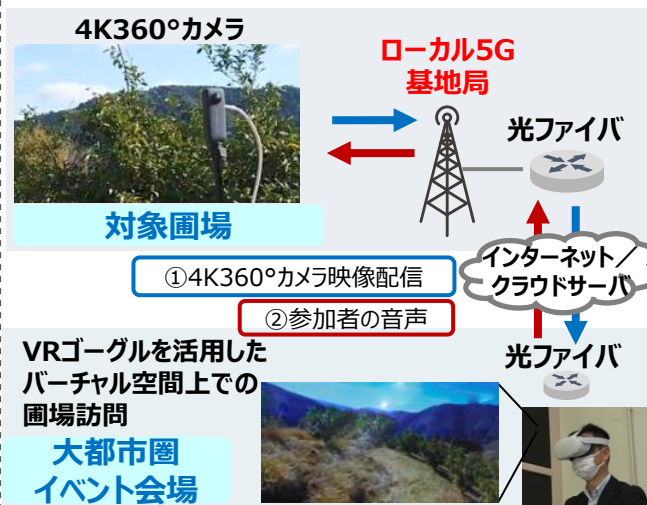
---

<b>実施体制</b> <small>(下線：代表機関)</small>	(株)エヌ・ティ・ティデータ経営研究所、エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ(株)、日鉄ソリューションズ(株)、(一社)日本の農村を元気にする会、(株)エムスクエア・ラボ、北海道大学、北川村、安芸市、高知県農業協同組合、高知県、(株)土佐北川農園、北川村管内個人ゆず栽培農家、安芸市管内個人ゆず栽培農家	<b>実施地域</b>	高知県北川村 (土佐北川農園 圃場)
<b>実証概要</b>	中山間地域の農業においては、傾斜地が多いことによる作業安全性の確保の困難さや、経営面積が小さいことによる平地と比較して厳しい営農条件などの課題が存在。 中山間地域に位置するゆず農園にローカル5G環境を構築し、モバイルムーバーの自動走行・遠隔監視制御による農薬散布、4K360°カメラを用いたバーチャル圃場訪問及びスマートグラスを用いた新規就農者遠隔指導の実証を実施。 ゆず生産における生産性向上・コスト低減に加え、新規就農者の確保を実現。		
<b>主な成果</b>	モバイルムーバーの自動走行・遠隔監視制御による農薬散布では、 <b>農薬散布にかかる作業時間を82%削減</b> 。10aあたり約1,550円の削減効果となった。 4K360°カメラを用いたバーチャル圃場訪問では、カメラから遠い風景は解像度が落ちるため、没入体験にはゆずの樹木近くにカメラを設置する等工夫が必要。 スマートグラスを用いた新規就農者遠隔指導では、指導者1名が作業員3名を遠隔指導した場合、 <b>合計指導時間を57%削減</b> 。		
<b>技術実証</b>	中山間地において、常緑樹の遮蔽に着目した電波伝搬モデルの精緻化や、広大な屋外環境における分散アンテナシステム(DAS)によるエリア構築を実施。 周波数：4.8-4.9GHz帯 (100MHz) 構成：SA方式 利用環境：屋外		
<b>主な成果</b>	電波伝搬モデルの精緻化は、 <b>平坦地では</b> 、遮蔽物の「ゆずの木」による影響で仮説S値12.3dBに対し <b>精緻化結果は18dB</b> 。 <b>急傾斜地においては</b> 、仮説S値32.5dBに対し <b>精緻化結果は19.5dB</b> 。傾斜地と平坦地との植生環境を同一とした場合、平坦地との差から斜面(15度)における精緻化値Kは1.5dB。 <b>オムニアンテナからDASへの変更で不感地帯の解消(約4.7km<sup>2</sup>)を図ることができ</b> 、エリア改善できたことを確認。		
<b>今後の展開</b>	令和5年度は運用性の課題や映像・音声品質の改善・検討を実施し、令和6年度はサービス展開に向けた体制強化や普及に向けた広報活動を行う。 <b>令和7年度以降に安芸地区の生産者への実装</b> を行う。		

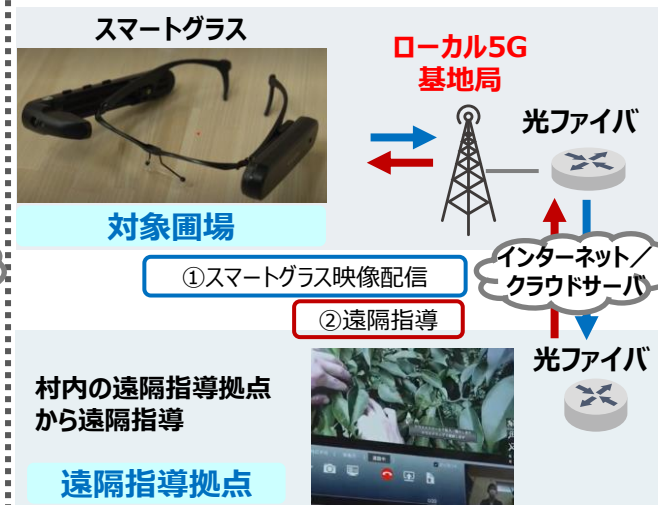
### モバイルムーバーの自動走行・遠隔監視制御による農薬散布



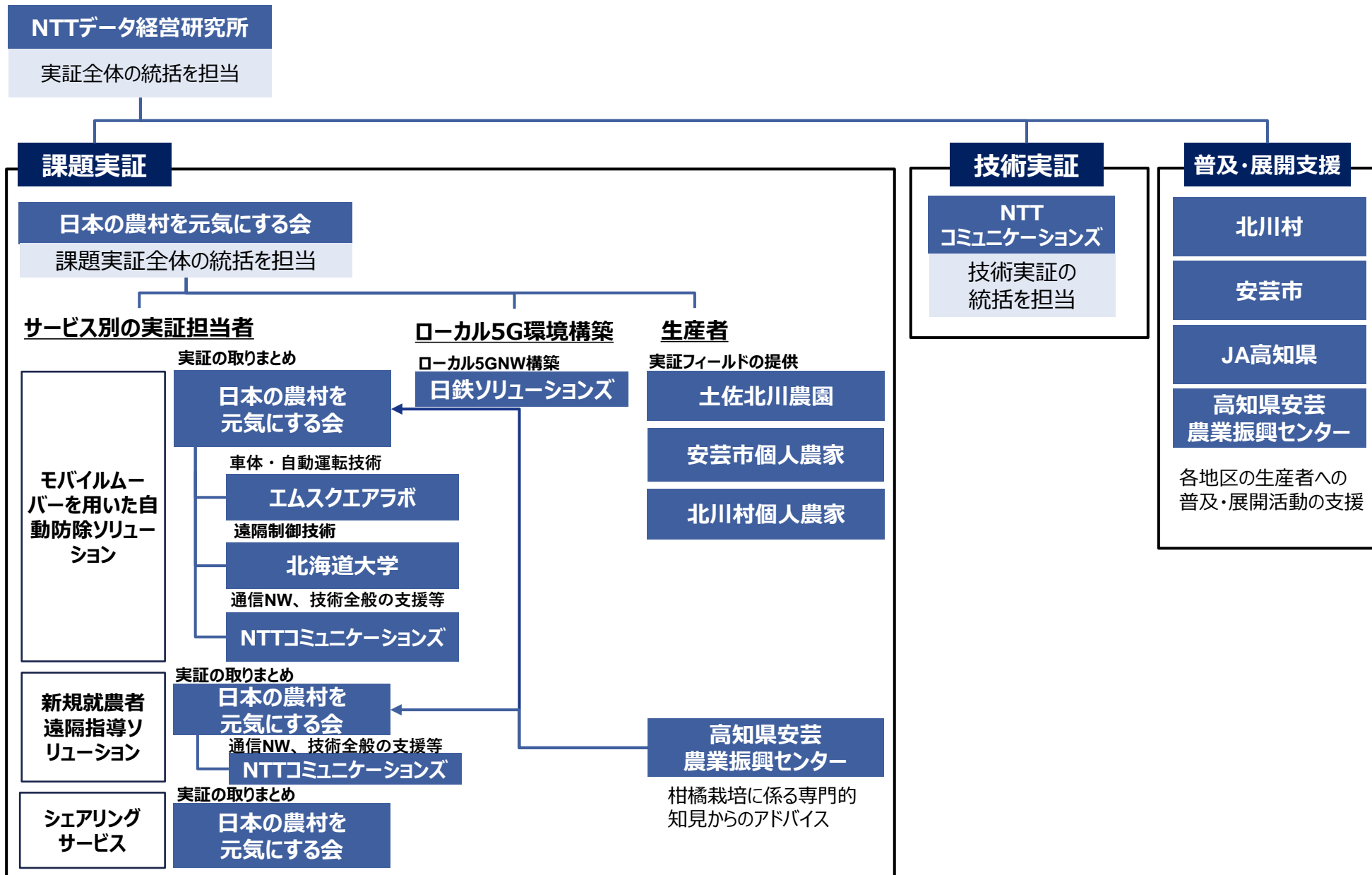
### 4K360°カメラを用いたバーチャル圃場訪問



### スマートグラスを用いた新規就農者遠隔指導



# 実施体制



---

## 実証環境

---

# 対象周波数帯と実証環境

## ■ 対象周波数帯

本実証のローカル5Gシステムでは以下の周波数帯を使用した。

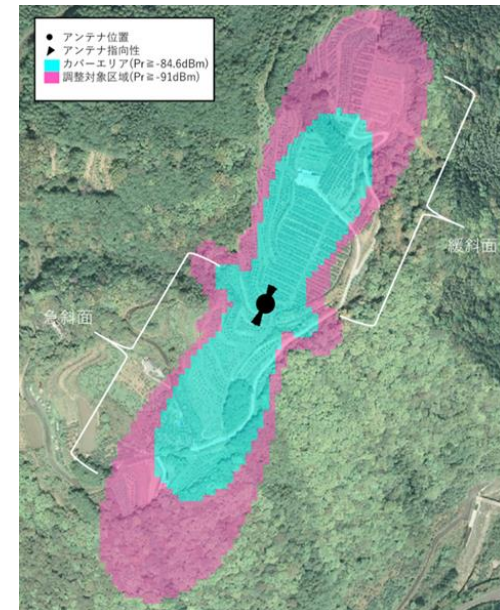
表 ローカル5Gネットワーク

項目名	値
5G NR Band	n79
中心周波数 (NR-ARFCN)	4849.98 MHz (723332)
周波数幅	100 MHz

## ■ 実証環境

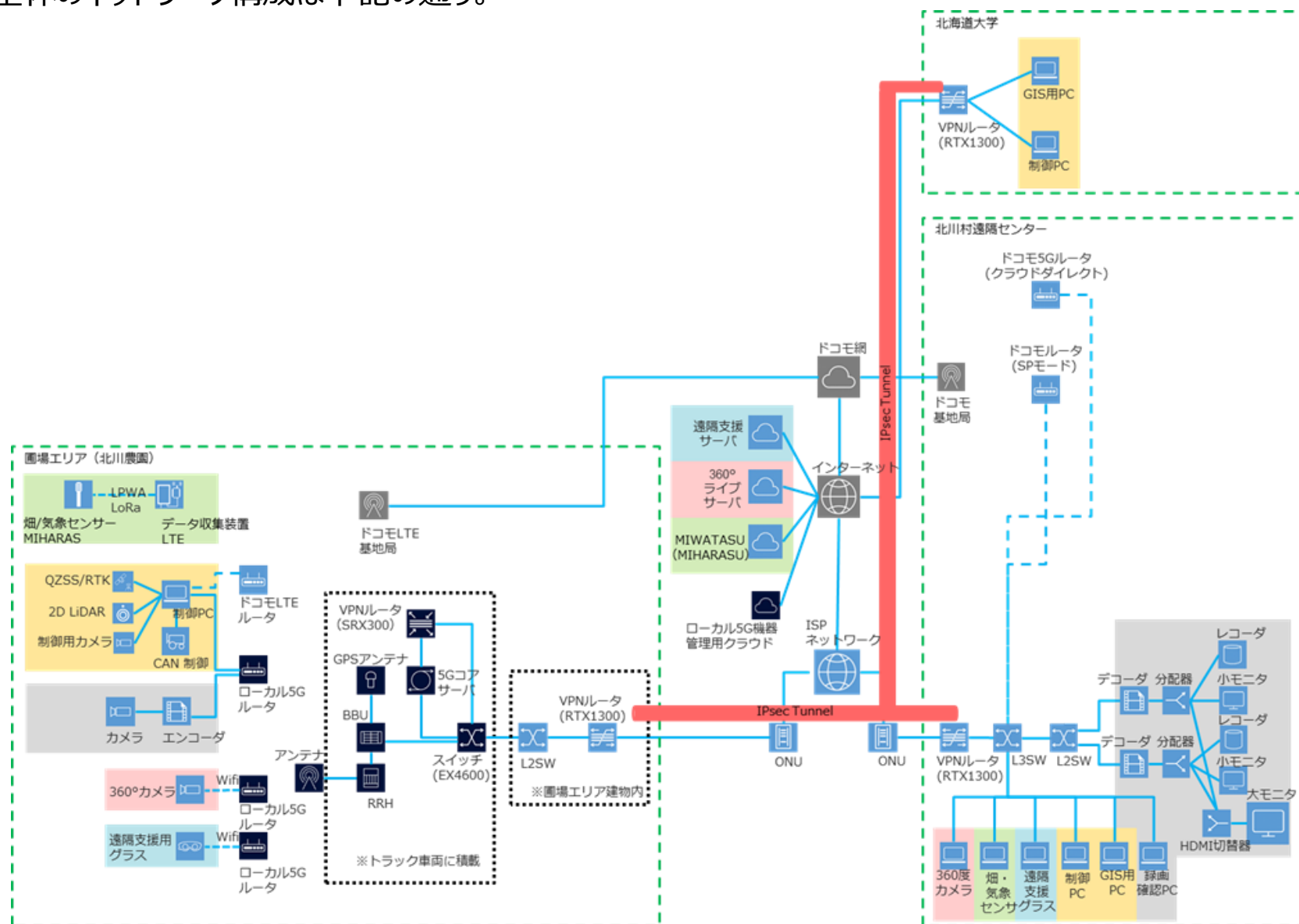
- 土佐北川農園の圃場エリア（屋外）に1つのローカル5G基地局を設置し、指向性のある平面アンテナを4つ接続した。
- 圃場所在地：〒781-6446 高知県安芸郡北川村西谷
- アンテナ設置場所：北緯33°28'47.1"/東経134°02'39.9"
- 分配器を使用することで1つの基地局で2つエリアを構成するPassive DAS構成を実現した。

図 アンテナ設置位置  
(出典：地理院地図を加工して作成)



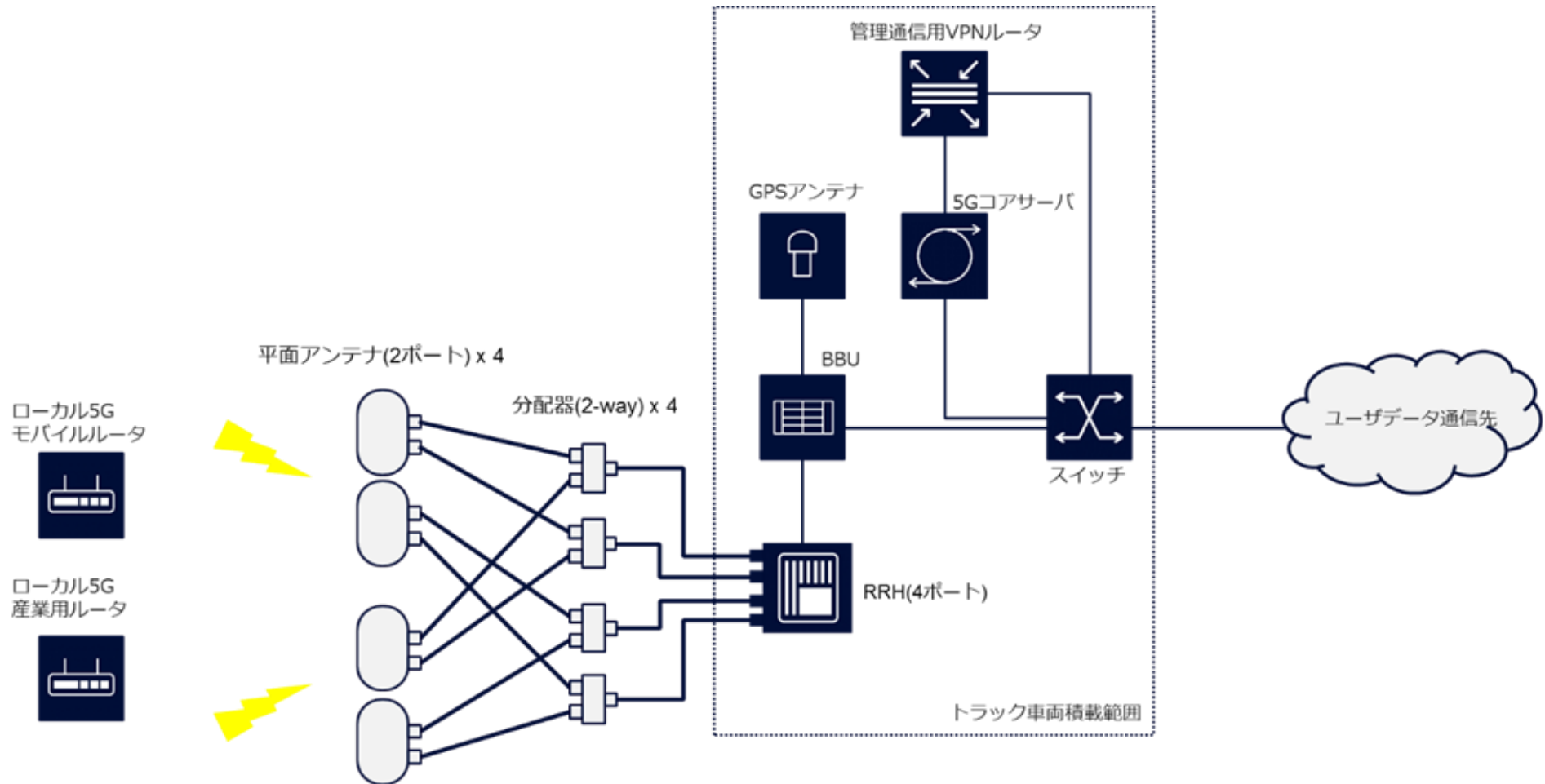
# ネットワーク構成図(全体)

本実証の全体のネットワーク構成は下記の通り。



# ネットワーク構成図(ローカル5G)

本実証のローカル5Gネットワーク構成は下記の通り。





# ローカル5G機器の仕様

本実証で使用したローカル5G機器の技術的諸元は下記の通り。

項目	基地局相当装置	移動局相当装置	
製造元	NOKIA	京セラ	IDY
台数	1	6	6
設置場所 (屋内/屋外)	屋外	屋外	
同期/準同期	同期	同期	
UL:DL比率	1:3.25	1:3.25	
SA/NSA	SA	SA	
UL周波数	4.8~4.9GHz	4.8~4.9GHz	
DL周波数			
UL帯域幅	100MHz (正確には99.96MHz)	100MHz (正確には99.96MHz)	
DL帯域幅			
UL中心周波数	4849.98 MHz	4849.98 MHz	
DL中心周波数			
UL変調方式	OFDMA (QPSK,16QAM,64QAM)	OFDMA (QPSK,16QAM,64QAM,256QAM)	
DL変調方式	OFDMA (QPSK,16QAM,64QAM,256QAM)	OFDMA (QPSK,16QAM,64QAM,256QAM)	
MIMO	4×4 MIMO(DL) 2×2 MIMO(UL)	4×4 MIMO(DL) 2×2 MIMO(UL)	

---

## 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)

---

# 技術実証テーマ I \_電波伝搬モデルの精緻化 (1/2)

精緻化の対象：精緻化パラメータ：S

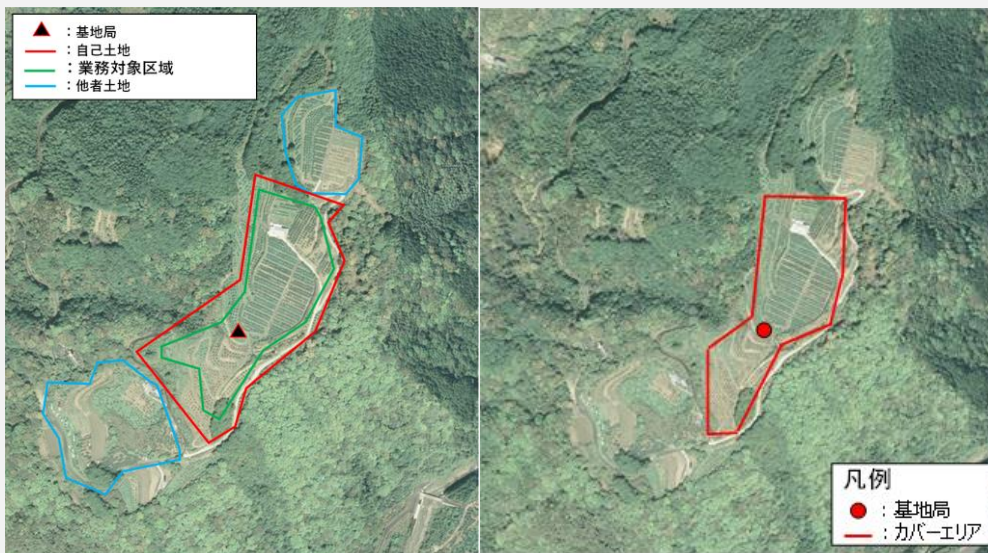
## 背景となる技術的課題と実証目的

- ・過年度の実証と比較して植生環境に差分があるため、地域や季節による影響についてデータの積み上げが期待できる
- ・中山間地域において地形的条件や環境条件で山間傾斜によりエリアを分類し、条件にあったパラメータ“S”を求めめる必要がある

## 実証目標

- ・実証環境における適切なS値を導く
- ・ローカル5G審査基準改定に繋がるように、実証環境における技術的課題を整理し、解決方策についても考察を行う

## 業務区域、カバーエリア、調整対象区域、自己土地、他者土地



業務区域、自己土地、他者土地図  
(出典：地理院地図を加工して作成)

カバーエリア  
(出典：地理院地図を加工して作成)

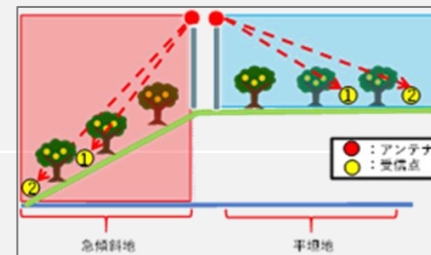
## 実証仮説

- ・多数のゆずの木が開拓、整地された土地に整列した状態で植生がされており、植生による電波遮蔽の影響が想定される
- ・8.5mの高さにアンテナを設置するが、防除・草刈りの位置に合わせて低い位置で実証予定のため吹き降ろすような形になるため、平坦地よりも急傾斜の方が開放地に近しいと考察し、S値の値を急傾斜地では32.5、平坦地では12.3と仮説値とした

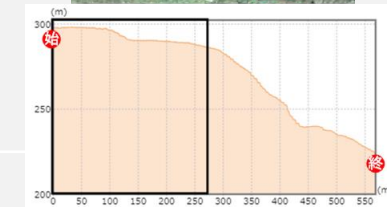
利用する周波数帯	精緻化の対象パラメータ	精緻化の方向性	実施環境の要件
4.7GHz帯	K <sup>0</sup>	斜面や植生、水面の影響の定量化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 基地局設置場所が屋外である</li> <li>● 基地局と測定点の距離が100m以上確保できる</li> <li>● 斜面や植生、水面等の地形情報データにより算出し難い地形の影響が存在する</li> </ul>
	S <sup>10</sup>	選択基準の詳細化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 基地局設置場所が屋外である</li> <li>● 基地局と測定点の距離が100m以上確保できる</li> </ul>
	R <sup>11</sup>	壁面の材質・厚さ別の定量化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 基地局設置場所が屋内である</li> </ul>
28GHz帯	hr <sup>12</sup>	選択基準の明確化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 基地局設置場所が屋外である</li> <li>● 基地局が見逃せない測定点を確保できる</li> </ul>
	R <sup>13</sup>	壁面の材質・厚さ別の定量化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 基地局設置場所が屋内である</li> </ul>



## 精緻化対象一覧と対象パラメータ



植物による電波遮蔽のイメージ



精緻化に向けた傾斜状況の把握  
(出典：地理院地図を加工して作成)



# 技術実証テーマ I \_電波伝搬モデルの精緻化 (2/2)

精緻化の対象：精緻化パラメータ：S

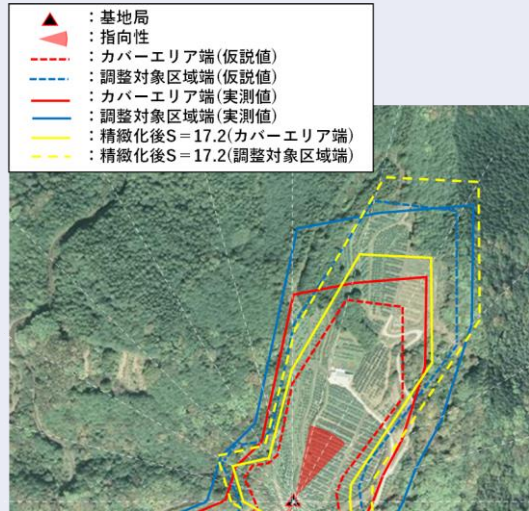
精緻化対象となる100m以上の測定点を抽出



測定点情報

(出典：地理院地図を加工して作成)

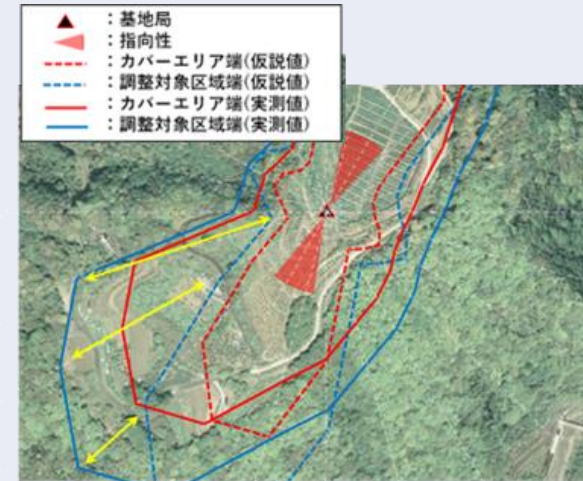
平坦地の仮説値検討



平坦地精緻化結果

(出典：地理院地図を加工して作成)

傾斜地の仮説値検討



傾斜地精緻化結果

(出典：地理院地図を加工して作成)

実証結果

実証の成果

- ・得られた知見
- ・課題解決への貢献

## 【平坦地】

仮説値12.3に対し、精緻化結果は18となった。

多数のゆずの木が開拓、整地された圃場エリアにおいては仮説値12.3に比べ、精緻化値が5.7大きい結果となった。

よって、ゆずの木による遮蔽影響は郊外地に比べ、小さくなると思われる。

## 【傾斜地】

仮説値32.5に対し、精緻化結果は19.5となった。

上記の結果から平坦地に比べ、精緻化の値が大きくなった。

平坦地と急斜値の植生環境を同一とした場合、平坦地との差分要因は斜面影響と考えられる。よって、傾斜地(約15度)における精緻化値“K”について、平坦地との差分から1.5となることが判明。

写真



測定用治具と測定風景(赤点は基地局位置)

# 技術実証テーマⅡ\_エリア構築の柔軟化 (1/2)

柔軟化の対象： ■ 不感地対策 ■ 他者土地への電波漏洩軽減

解決方策 ■ DAS

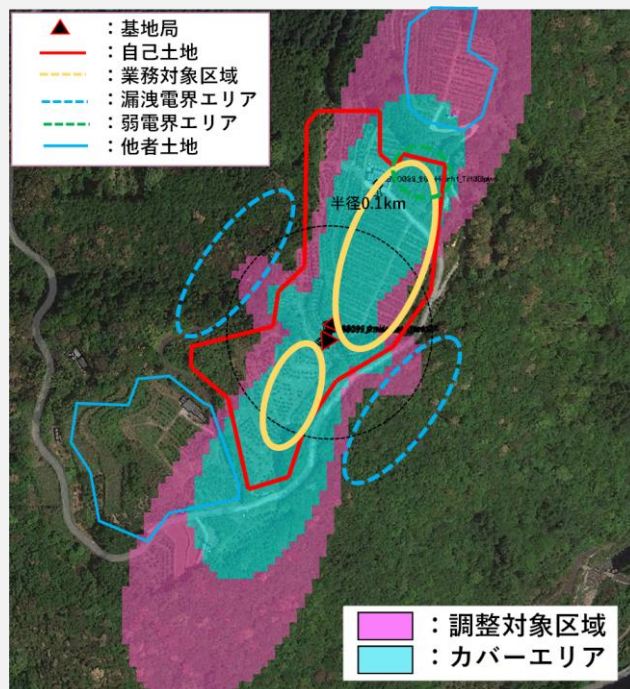
## エリア構築の課題 技術的課題

- ・周辺が森林等に覆われている切り拓いた敷地や植生が生い茂る環境かつ、急斜面と平坦地の山間部をエリア化する置局設計が必要
- ・急斜面地と平坦地に加え、他者土地が隣接するユースケースを前提とした場合、網羅的かつ効率的にエリア化をする必要がある

## 上記課題の 解決方策

課題解決前：オムニアンテナによるエリア構築  
課題解決後：PassiveDASによる対象エリア構築

## 業務区域、カバーエリア、調整対象区域、自己土地、他者土地



業務区域、自己土地、他者土地、エリアカバレッジ  
(出典：地理院地図を加工して作成)

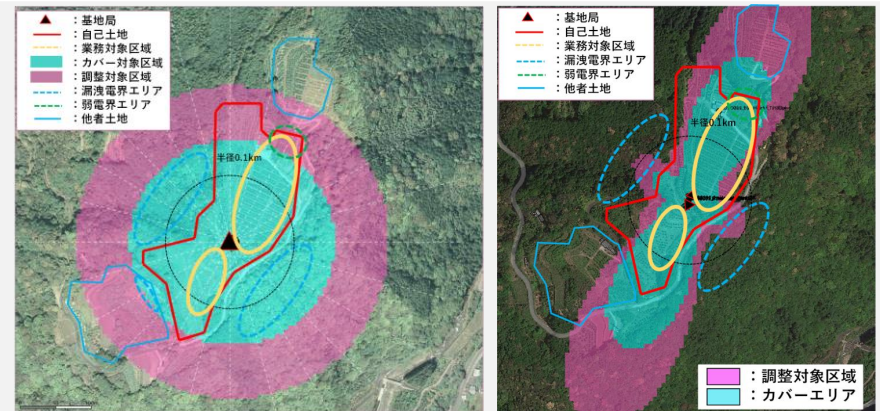
## エリア構築のシミュレーション

方法：[使用ツール名称、方法(手順)、主要なパラメータ]

◆使用ツール：Atoll(FORSK社製)

◆SIM手順：オムニアンテナ、DAS位置検討、諸元入力

◆主要パラメータ：基地局位置、アンテナ諸元、周波数、送信出力、ビーム幅等



オムニアンテナ、DAS検討シミュレーション  
(出典：地理院地図を加工して作成)

評価：[実用性、優れる点、留意点等]

◆標高データを元に地面から一定の高さにおける受信強度のシミュレーションが容易

◆分配器(PassiveDAS)を使用した構成もシミュレーション可能



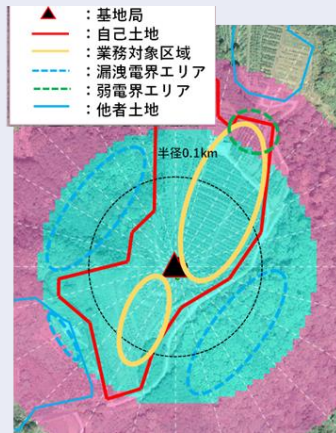
# 技術実証テーマⅡ\_エリア構築の柔軟化 (2/2)

柔軟化の対象： ■ 不感地対策 ■ 他者土地への電波漏洩軽減

解決策 ■ 反射板 ■ 中継器 ■ DAS ■ LCX ■ その他

## 実証結果

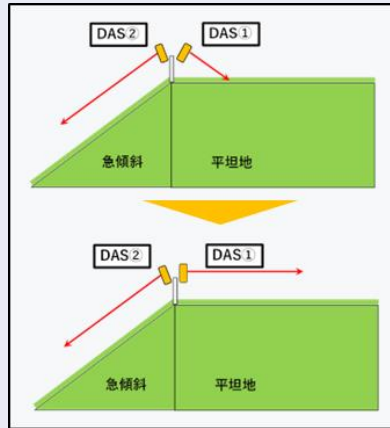
### 不感地対策の検討



検討状況  
(出典：地理院地図を加工して作成)

### <課題解決前>

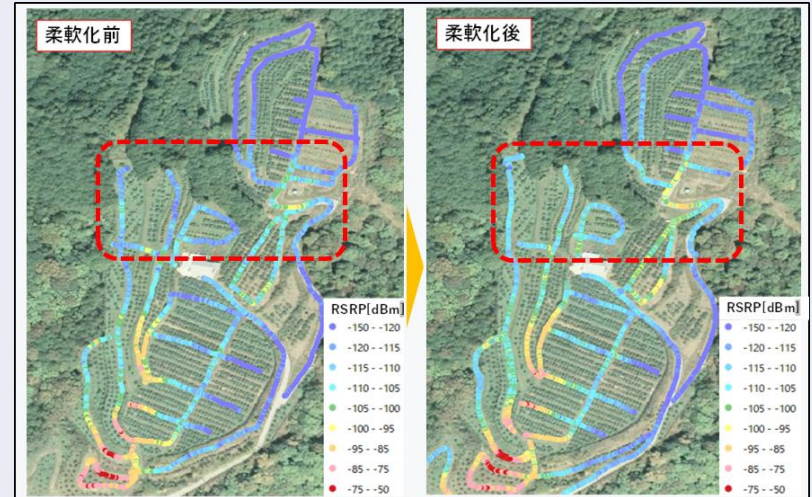
オムニアンテナを疑似したチルト角変更時の影響を確認



オムニアンテナ、DASによる  
置局状況比較

### <課題解決後>

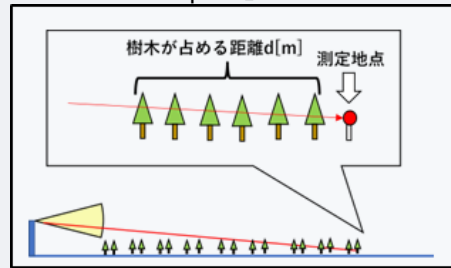
オムニアンテナ疑似とDASによるエリア比較によりDASによるエリア改善を確認



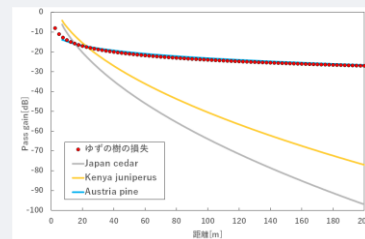
実測結果(出典：地理院地図を加工して作成)

## 実証の成果

- ・オムニアンテナからDASへの変更で、不感地帯の解消、他者土地漏洩の軽減に対する効果を得ることができた。
- ・中山間地における平坦地のゆず農園をモデルとした環境において、平坦地では $S=18$ 、急傾斜地(斜面約 $15^\circ$ )では $S=19.5$ の適用が望ましいことがわかった。
- ・本実証では、ゆずの木が与える遮蔽影響を調査した結果、ITU-R P.833-10の算出式に示す「Austria pine」に近似していることがわかった。

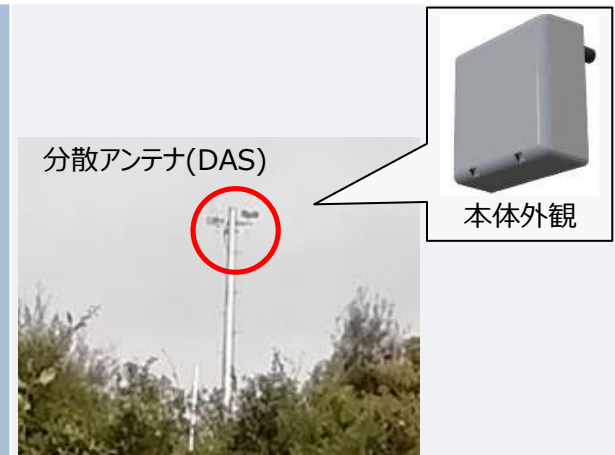


リンクバジェット算出手法



ITU-R P.833-10とゆずの木の比較

## 写真



---

## ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

---

# 実証概要

- 高知県安芸地区では、人口減少および高齢化に伴う労働力の減少、さらに高齢化に伴う生産力の低下が課題となっている。
- 安芸地区の生産者は、生産コストの低減、収益性の向上、新規就農者数の増加という課題解決に向けて、防除作業の効率化、新規就農希望者数の増加と新規就農者の受け入れ体制の強化が必要である。
- 生産コストの低減を主目的とした「モバイルムーバー（運転台車）を用いた自動防除ソリューション」および新規就農希望者の増加と農家サイドの受け入れ体制強化を目的とした「新規就農者遠隔指導ソリューション」の2ソリューションの検証を行った。

表 実証を行うソリューションの概要

生産者の課題/ニーズ	対応するソリューション/サービス
<p>草刈や防除等の作業に多くの時間を要している</p> <p>野外の作業において熱中症の危険がある</p>	<p><b>モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● モバイルムーバーをゆず圃場内で<b>自動で農薬散布</b>することで、防除作業に係る作業工数の低減と熱中症防止を行う</li> <li>● 自動走行機能とともに遠隔での緊急停止・発信、操縦機能を設けることで、安全性や障害物等の回避を可能にする</li> <li>● モバイルムーバーに草刈り用アタッチメントを取り付けることで防除作業と並行して<b>自動で草刈り</b>を行う機能を付加する</li> </ul>
<p>ベテラン生産者が若手の育成を行う際に、指導（モニタリング）できる時間が限られている</p> <p>品質向上に寄与する、土壌状態等のデータを、慣行の営農形態では把握できていない</p> <p>ベテラン生産者が若手の育成を行う際に、データに基づいた指導を行うことが難しく、経験則に頼った指導となっている</p> <p>若手生産者やアルバイトによる収穫時に、果実を傷つけてしまうことで青果率が低下している</p>	<p><b>新規就農者遠隔指導ソリューション</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 4 K360°VR技術により、ゆず農園と就農に関心のある人物に対して仮想的なゆず農園訪問を提供する（<b>バーチャル圃場訪問</b>）ことで、新規就農希望者の増加を目指す</li> <li>● スマートグラスを用いて遠隔地から複数人に対して的確な指導を実現することで、指導の効率化の検証を行う（<b>遠隔指導システム</b>）。</li> <li>● 指導の効率化により農家での新規就農者の受け入れ体制を強化し、バーチャル圃場と合わせて、新規就農者数の増加・定着を目指す。</li> </ul>



# 実証目標と実証環境

## ■ 実証目標

目標を以下のように設定して実証を行った。

項目	目標等
機能検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>スループット：36Mbps以上</li> <li>遠隔での停止距離：1m以内</li> <li>映像品質：平均評点4以上（5段階評価）</li> <li>走行精度：10cm以内</li> <li>伝送遅延：400ms以内</li> </ul>
運用検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>マニュアルの運用性：平均評点4以上（5段階評価）</li> <li>走行速度、ルート確定：感水紙が全て反応</li> </ul>
効果検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>防除作業時間：50%削減</li> <li>指導時間の削減</li> </ul>
経済性・市場性	<ul style="list-style-type: none"> <li>潜在的ユーザも含め、本ソリューションの市場性の把握を行う</li> </ul>
運用スキーム検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>シェアリングサービスについて収支の黒字化可否の検証を行う</li> </ul>

## ■ 実証環境

- 土佐北川農園は、平坦な土地から傾斜度13°程度の緩傾斜エリアと15°以上の急傾斜エリアに分かれている。
- 緩傾斜エリアのうち樹木間距離が1m以上確保可能なエリア（全体の約60%）をモバイルムーバー走行エリアと設定し、急傾斜エリア（全体の約40%）をドローン適用エリアとして設定して実証を行った。

図 土佐北川農園の実証エリア  
(出典：地理院地図を加工して作成)



## ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証(1/2)

各ソリューションの有効性検証の方法は以下の通り。

ソリューション名	評価・検証項目	検証方法
自動防除ソリューション	機能	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. モバイルムーバーの遠隔監視に必要なスループット</li> <li>2. モバイルムーバーの遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離</li> <li>3. モバイルムーバーの遠隔監視に係る映像品質</li> <li>4. モバイルムーバーの樹木間最小1mを通行可能とするための走行精度</li> <li>5. 伝送遅延の測定</li> </ol>
	運用	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. モバイルムーバーを3台同時に運行させた場合のスループット値の測定を行い、LTE通信時の最大スループットとの比較を実施。なお、本実証においては3台全てのモバイルムーバーの改良はできないため、3台同時運行時に必要となるカメラ台数で3台同時運行時の状態を疑似的に再現して検証を実施した。</li> <li>2. 路面状況（良好・悪路）、勾配（2-6度、8-13度）、作業（防除）のテスト条件で、遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離の測定を実施した。</li> <li>3. 遠隔監視センターの作業者を対象として、モバイルムーバーから伝送された映像品質のアンケート（5段階評価）を実施した。</li> <li>4. 路面状況（良好・悪路）、勾配（2-6度、8-13度）のテスト条件で、目標経路に対する実走行経路の偏差を車載のRTK-GNSSで測定した。</li> <li>5. 遠隔監視センターの制御PCからモバイルムーバーの制御PCまでの制御遅延を測定した。</li> </ol>
	効果	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. オペレータ向けマニュアルによる運用性</li> <li>2. 生産者向けマニュアルによる運用性</li> <li>3. 感水紙を用いた農薬散布状況の測定</li> </ol>
新規就農者遠隔指導ソリューション	機能	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. マニュアルに基づいて作業を実施した場合の運用性（準備・監視・撤収）について、遠隔監視センターのオペレータを対象としてアンケートを実施した。</li> <li>2. マニュアルに基づいて作業を実施した場合の運用性（準備・監視・撤収）について、土佐北川農園の従業員を対象としてアンケートを実施した。</li> <li>3. 樹木の上部・中部・下部に感水紙を設置して農薬散布を実施し、農薬のかかり具合を測定した。</li> </ol>
	運用	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 慣行の防除作業（準備・散布・撤収・調整）とモバイルムーバーを用いた防除作業（準備・撤収・調整）の所要時間を比較し、削減効果の算出を実施した。</li> <li>2. 慣行の草刈り作業（準備・草刈り・撤収・調整）とモバイルムーバーを用いた草刈り作業（準備・撤収・調整）の所要時間を比較し、削減効果の算出を実施した。なお、本実証期間中は草刈り作業が発生しないため、モバイルムーバーを用いた草刈りについては防除作業の時間をもとに机上で算出した。</li> </ol>
	効果	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遠隔指導システムに係る映像・音声品質</li> <li>2. バーチャル圃場訪問に係る映像・音声品質</li> </ol>
新規就農者遠隔指導ソリューション	機能	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 指導者と作業者の双方を対象として、映像・音声品質についてアンケート（5段階評価）を実施した。</li> <li>2. バーチャル圃場訪問イベントの参加者を対象として、映像・音声品質についてアンケート（5段階評価）を実施した。</li> </ol>
	運用	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. スマートグラスの操作性・遠隔指導システムの運用性</li> <li>2. 4K360°VRカメラの操作性、バーチャル圃場見学での運用性</li> </ol>
新規就農者遠隔指導ソリューション	効果	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. シナリオに沿って遠隔指導を実施し、作業者を対象として、スマートグラスの操作性やシステムの運用性についてアンケート（5段階評価）を実施した。</li> <li>2. シナリオに沿ってバーチャル圃場訪問を実施し、配信者および参加者を対象として、機器の操作性や運用性についてアンケート（5段階評価）を実施した。</li> </ol>
新規就農者遠隔指導ソリューション	効果	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遠隔指導システムの活用による慣行と比較した指導にかかる時間の削減効果</li> </ol>
新規就農者遠隔指導ソリューション	効果	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. スマートグラスを用いて指導者1人が複数人を同時に指導を行った場合の指導時間と、慣行のように1人ずつ指導を行った場合の指導時間を計測し、作業時間の削減効果の算出を実施した。</li> </ol>

## ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証(2/2)

- 運用・効果検証についてはおおむね目標は達成できた。
- 機能検証については、アンテナの向きが電波強度に影響することが明らかとなったため、アンテナの向き調整や異なるアンテナ機器の使用、2個の2ポートアンテナで水平角度を異なる状態で設置する等の対策について継続検討を行う。

ソリューション名	評価・検証項目	目標	検証結果	目標達成状況	考察および対応策	
自動防除ソリューション	機能	<ol style="list-style-type: none"> <li>モバイルムーバーの遠隔監視に必要なスループット</li> <li>モバイルムーバーの遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離</li> <li>モバイルムーバーの遠隔監視に係る映像品質</li> <li>モバイルムーバーの樹木間最小1mを通行可能とするための走行精度</li> <li>伝送遅延の測定</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>スループット：36Mbps以上</li> <li>停止距離：1m以内</li> <li>映像品質：5段階評価で4以上</li> <li>走行精度：10cm以内</li> <li>伝送遅延：400ms以下</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6地点中1地点のみ80.93Mbps</li> <li>悪路・勾配8-13度以外は1m以内</li> <li>6地点中2地点のみ評点4以上</li> <li>全てのパターンにて走行精度10cm以内</li> <li>6地点中2地点のみ400ms以下</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>△</li> <li>△</li> <li>△</li> <li>○</li> <li>△</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>アンテナ向きが電波強度に影響を与えていると判明。アンテナ向きの変更を実施するほか、異なるアンテナ機器の使用も検討予定。</li> <li>傾斜地と電波強度が弱い箇所が重複するため、アンテナの向き調整で停止距離を短くできる可能性はある。安全性確保のため傾斜地では停止距離が伸びることをマニュアルに記載する。</li> <li>評点4未満の箇所と電波強度が弱い箇所が重複するため、アンテナの向き調整で映像品質が改善する可能性がある。</li> <li>現時点でモバイルムーバーは十分な走行精度を満たしている</li> <li>伝送遅延が発生している箇所と電波強度が弱い箇所が重複するため、アンテナの向き調整で伝送遅延が改善する可能性がある</li> </ol>
	運用	<ol style="list-style-type: none"> <li>オペレータ向けマニュアルによる運用性</li> <li>生産者向けマニュアルによる運用性</li> <li>感水紙を用いた農薬散布状況の測定</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>運用性：5段階評価で4以上</li> <li>運用性：5段階評価で4以上</li> <li>上中下部全てが反応する速度・ルートの確認</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>平均評点4.4</li> <li>平均評点3.1</li> <li>1km/h片道・往復で上中下部が反応</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>×</li> <li>○</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>遠隔操縦では遅延によるタイムラグが発生するので、マニュアルだけでなくオペレータのトレーニングサービスの提供も検討を行う。</li> <li>電源仕様の改善や、防除ノズル位置の明確化を行う。</li> <li>農薬の種類でも適切な散布方法が変わるため、農薬に合わせた適切な速度・ルートの検証も継続して検討する。</li> </ol>
	効果	<ol style="list-style-type: none"> <li>モバイルムーバーの活用による慣行と比較した農薬散布にかかる作業時間の削減効果</li> <li>モバイルムーバーの活用による慣行と比較した草刈りにかかる作業時間の削減効果</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>作業時間：50%削減</li> <li>作業時間：35%削減</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>作業時間82%、10aあたり1542円の削減</li> <li>作業時間51%、10aあたり1917円の削減</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>最も時間を要する散布作業時間をゼロにできたことが大きく貢献していると考える。</li> <li>最も時間を要する草刈り作業時間を大幅に短縮できたことが大きく貢献していると考える。</li> </ol>
新規就農者遠隔指導ソリューション	機能	<ol style="list-style-type: none"> <li>遠隔指導システムに係る映像・音声品質</li> <li>バーチャル圃場訪問に係る映像・音声品質</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>映像・音声品質：5段階評価で4以上</li> <li>映像・音声品質：5段階評価で4以上</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>映像品質：4.93、音声品質：4.93</li> <li>映像品質：2.75、音声品質：3.63</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>×</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>現時点で遠隔指導システムは十分な映像・音声品質を有している。</li> <li>撮影機器の設置場所、PCスペック、收音方法が影響を与えることが判明したため、適切な方法を検討する。</li> </ol>
	運用	<ol style="list-style-type: none"> <li>スマートグラスの操作性・遠隔指導システムの運用性</li> <li>4K360°VRカメラの操作性、バーチャル圃場見学での運用性</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>操作性・運用性：5段階評価で4以上</li> <li>操作性・運用性：5段階評価で4以上</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>一部4未満の評点が見られた</li> <li>全ての項目で4以上</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>△</li> <li>○</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>画面上では樹木の立体感を捉えるのが難いため、作業者と指導者のコミュニケーション回数を増やしてカバーする必要がある。</li> <li>現時点でVRカメラは十分な操作性・運用性を有している</li> </ol>
	効果	<ol style="list-style-type: none"> <li>遠隔指導システムの活用による慣行と比較した指導にかかる時間の削減効果</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>作業時間：33%削減</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>全てのパターンで作業時間約49%以上の削減</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>○</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>全てのパターン（指導者1人に対し、作業者1～5名）において作業時間を削減できたが、運用検証の結果を考慮すると、指導者1人に対し作業者3人が最適な比率と考えられる。</li> </ol>

# ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証(1/3)

- 自動防除ソリューションおよび新規就農者遠隔指導ソリューション共にニーズがあることが確認できた
- 新規就農者遠隔指導ソリューションについては、リアルタイムで質問できる点も評価され、新規就農者側が利用料を支払ってもサービスを利用したいとの声も見られた
- 生産者の希望支払額でサービス展開を行っても、令和9年度には黒字化を達成できることも確認できた

評価・検証項目		検証方法	検証結果	考察および対応策
経済性・市場性	1. 潜在的なユーザも含めた市場性（ニーズ）調査 2. 本ソリューションの経済性（支払い可能額）調査	1. 安芸地区の生産者を対象として自動防除ソリューション（モバイルムーバー、ドローン）、遠隔指導への関心についてアンケート調査を実施（5段階評価） 2. 防除ソリューション、遠隔指導ソリューション（新規就農者の立場と指導者の立場で）を利用する際の希望支払額についてアンケート調査を実施	1. モバイルムーバー：平均4.0 ドローン：平均4.4 遠隔指導：平均3.6 2. 防除：平均3,550円/10a 遠隔指導(新規就農者側)：41,400円/年 遠隔指導(指導者側)：140,400円/年	1. 各ソリューション共に生産者のニーズがあることは確認できた 2. 防除作業については、まずは希望単価に近い価格で利用してもらい、作業負荷の低減等の利用価値を実感していただいた後であれば単価アップも見込めると想定。現状はJAが無償で行っている指導についても、ソリューションを活用してリアルタイムで質問できるのであれば利用料を支払う価値があるとの声もあり、JAと連携して個人で就農している新規就農者へのソリューション提供も検討する。
運用スキーム	1. シェアリングサービスの収支の黒字化可否を検証	1. 生産者へのアンケートで得られた希望支払額でシェアリングサービスを運用した場合の収支シミュレーションを実施	1. 生産者の希望支払額にて収支シミュレーションを実施した結果、令和9年度に+118,108円の黒字となった	1. 目標通りに生産者へサービス展開することができれば、黒字化を達成できることが確認できた（サービス提供する生産者の目標数：令和7年度で3件、令和8年度で6件、令和9年度で9件）



# ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証(2/3)

## ■ ローカル5Gの活用モデル

### ● ターゲット地域

優先順位1：高知県安芸地区管内、優先順位2：高知県内全域、優先順位3：四国各県の近隣エリア

※シェアリングでは遠方地へ機器を運搬するとコストが増大するため、拠点の北川村周辺を優先してサービス展開を実施

### ● ターゲット作物

優先順位1：ゆず、優先順位2：かんきつ類、優先順位3：その他作物

※モバイルムーバーが小型である点や防除性の観点でゆずに最適化して開発されているため、ゆず及びゆずと栽培方法が近いかんきつ類を優先してサービス展開を実施

### ● ビジネスモデル

元気会がサービス事業者となってサービス展開を行う。各ソリューションのビジネスモデルは下記の通り。

図 自動防除ソリューションと遠隔指導システムのビジネスモデル

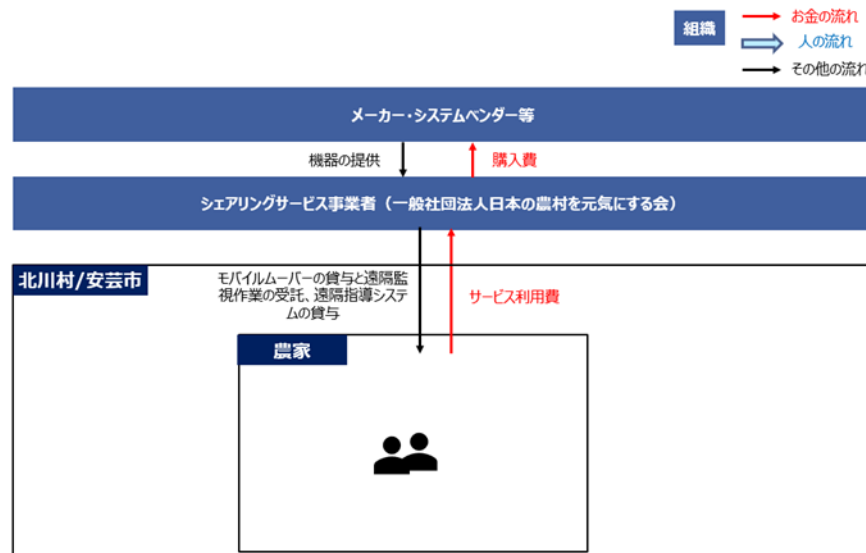
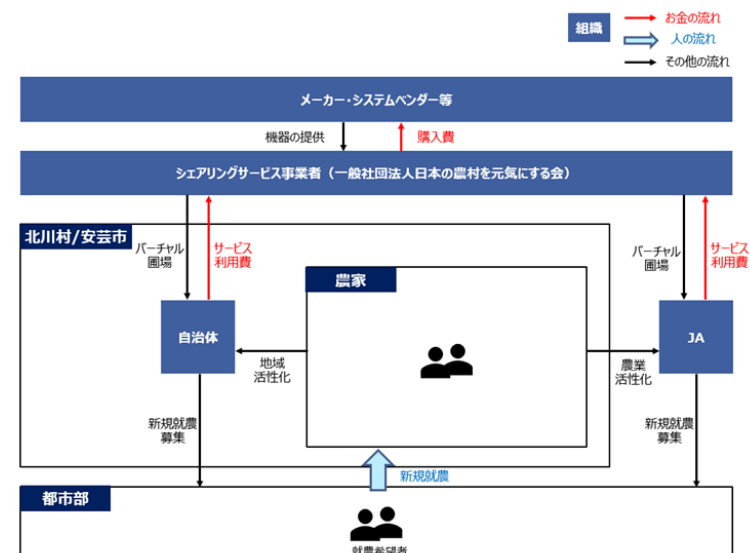


図 バーチャル圃場訪問システムのビジネスモデル



# ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証(3/3)

## ■ 実装性を高める手法の検討

自動防除ソリューションにおいては圃場の地形条件に応じてモバイルムーバーとドローンの使い分けを行う必要がある。ゆず圃場特有の地形特性への適合性も踏まえて、モバイルムーバーとドローンの使い分けについて生産者へアンケートを行った。

## ● モバイルムーバーとドローンの使い分け

- 現状保有しているモバイルムーバー3台とドローン1台での適正運用パターンについて検討を行った。
  - 原則としてモバイルムーバーを使用できる圃場については、コストの安価なモバイルムーバーを使用する
  - 圃場の傾斜が15度以上または崖付近等でモバイルムーバーが使用できない部分についてはドローンを使用する

図 圃場の地形特性とモバイルムーバー/ドローンの使い分け

		平坦地（傾斜15度未満）の圃場数			
		0	1	2	3
急傾斜（傾斜15度以上）または崖付近	なし	—	モバイルムーバー1台	モバイルムーバー2台	モバイルムーバー3台
	あり	ドローン1台	モバイルムーバー1台 ドローン1台	モバイルムーバー2台 ドローン1台	モバイルムーバー3台 ドローン1台

※モバイルムーバーとドローンの保有台数から、平坦地（傾斜15度未満）の圃場は3つ、急傾斜（傾斜15度以上）または崖付近の圃場は1つまで同時運用が可能

# ローカル5G活用モデルの実装に係る課題と解決策の検討

本実証にて明らかとなった実装に係る課題と、その解決策は下記の通り。

項目	課題	解決策
ローカル5Gのエリア構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>圃場内の一部実証箇所で十分な電波強度が得られていないため、ソリューションの提供が困難なエリアが存在する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アンテナの向きを変更、アンテナ機種・設置方法の適正化を検討することで必要なエリアで十分な電波強度が得られるようにする</li> </ul>
モバイルムーバー操縦（オペレータ）	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔操縦はタイムラグ等に慣れるのに時間がかかるため、マニュアルのみで技術を習得するのが難しい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本ソリューション導入前に、オペレータのトレーニング実習を行い安全な走行ができる技術を習得した上で業務に従事できるようにする</li> </ul>
モバイルムーバーの運用（生産者）	<ul style="list-style-type: none"> <li>モバイルムーバーの電源仕様が独特</li> <li>防除ノズルの取り付け位置が車体の下部にあり見つけにくい</li> <li>オペレータとの連絡手段が電話であることも生産者にとって不便</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電源作業をシンプルな仕様に変更する</li> <li>モバイルムーバー本体およびマニュアルに位置を明記する</li> <li>効率的な連絡手段（モバイルムーバーへのマイク・スピーカー搭載等）を検討する</li> </ul>
バーチャル圃場訪問の映像・音声品質	<ul style="list-style-type: none"> <li>カメラから遠い映像は解像度が落ちる</li> <li>録画映像を参加者全員で同時再生する際に正常に再生されない</li> <li>スマートフォンでの收音では音声が鮮明に聞こえない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高機能360度カメラの導入、見せたい物体に近接してカメラを設置する等の撮影方法を検討する</li> <li>通信環境が安定化するスペックを有するPCの導入を検討する</li> <li>マイク付きイヤホンの仕様を検討する</li> </ul>
バーチャル圃場訪問の運用	<ul style="list-style-type: none"> <li>バーチャル圃場訪問システムの特徴である没入感をより体感してもらえるコンテンツが必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リアルタイムの双方向コミュニケーションが行えるコンテンツ（新規就農者の要望に応えた情報提供等）の検討を行う</li> </ul>
遠隔指導の映像	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔指導のモニターからでは樹木の立体感を捉えることが難しく、選定対象の枝をすぐに識別することが困難</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>光の角度、枝のズーム、指導者から画角の指示を行うことで選定対象の枝の識別がしやすくなることが明らかとなったため、これら手法を詳細化しマニュアル化の検討を行う</li> </ul>

# ローカル5G活用モデルの実装・普及展開(1/3)

## ■ 実装・普及展開シナリオ

モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションと新規就農者遠隔指導ソリューションはシェアリングサービスとして社会実装、普及展開を図る。

### ● モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

- ✓ 令和5年度：本実証にて明らかとなった運用性の課題（電源仕様、防除ノズルの取り付け位置、オペレータとの連絡手段）について解決を図る
- ✓ 令和6年度：普及に向けた広報活動を民間（元気会）投資のもと、実施
- ✓ 令和7年度以降：シェアリングサービスにて安芸地区へ導入

### ● 新規就農者遠隔指導ソリューション

- ✓ 令和5年度：本実証にて明らかとなった映像・音声品質の課題について解決を図る
- ✓ 令和6年度：利用者の開拓やニーズ調査の実施（バーチャル圃場訪問）、産地内での横展開（遠隔指導）を行い、サービス体制の整備・強化を図る
- ✓ 令和7年度：シェアリングサービスにて安芸地区へ導入

### ● ローカル5G環境構築

- ✓ 令和5年度：本実証にて明らかとなった電波強度の課題について解決を図る
- ✓ 令和5年度以降：本実証で導入した機器を継続利用

### ● シェアリングサービス

- ✓ 令和9年度時点で黒字化することを目標とする
- ✓ サービス提供する生産者の目標数は、令和7年度：3生産者、令和8年度：6生産者、令和9年度：9生産者

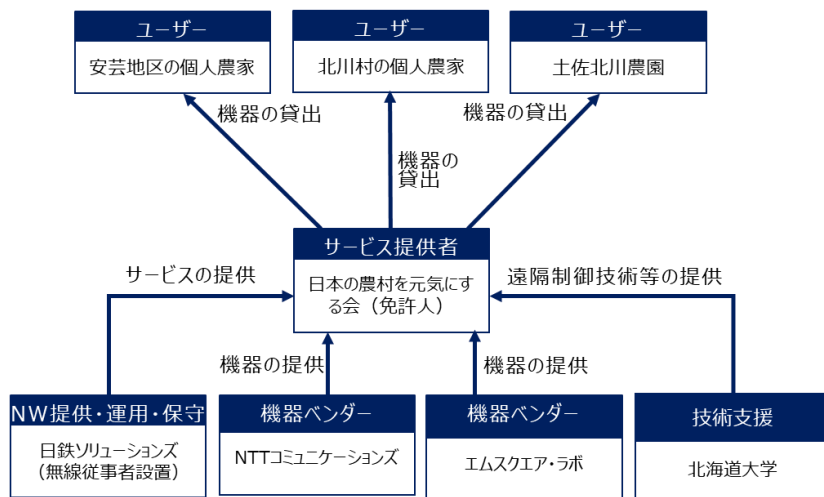


# ローカル5G活用モデルの実装・普及展開(2/3)

## ■ 実証計画の実施にあたっての実施体制

令和5年度（農水省事業で継続して実証を実施）と令和6年度以降（実証終了後）の実施体制は以下の通り。

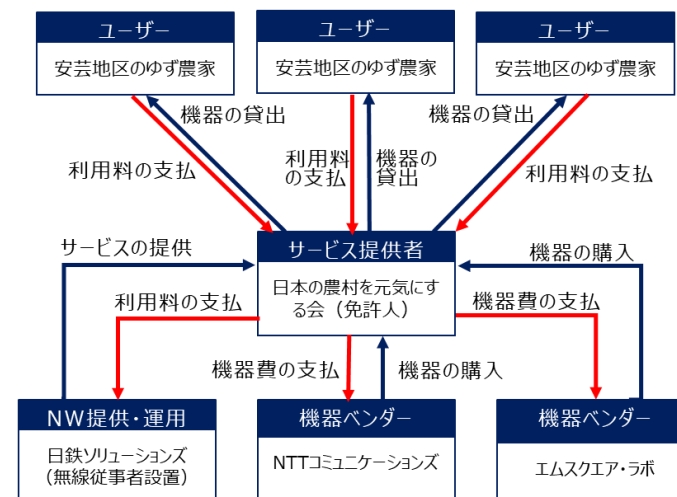
図 令和5年度（農水省事業での継続実証時）の実施体制



【備考】  
サービス提供者へ普及展開支援、ソリューションの助言等を元気会からの依頼に応じて実施

普及展開支援	普及展開支援	普及展開支援・ソリューションの助言	ビジネスモデル構築に関する助言
北川村	JA高知県安芸支所	高知県安芸農業振興センター	NTTデータ経営研究所

図 令和6年度以降（実証終了後）の実施体制



【備考】  
サービス提供者へ普及展開支援、ソリューションの助言等を元気会からの依頼に応じて実施

技術支援	普及展開支援	普及展開支援	普及展開支援・ソリューションの助言	ビジネスモデル構築に関する助言
北海道大学	北川村	JA高知県安芸支所	高知県安芸農業振興センター	NTTデータ経営研究所

# ローカル5G活用モデルの実装・普及展開(3/3)

## ■ 実装計画・支出計画

令和4年度から令和9年度までの実証計画および収支計画は下表の通り。

		令和4年度 (2022)	令和5年度 (2023)	令和6年度 (2024)	令和7年度 (2025)	令和8年度 (2026)	令和9年度 (2027)
実装計画	シェアリングサービス	自動防除ソリューション	開発実証	課題対応	民間投資による機能拡張、課題対応		
		新規就農者遠隔指導ソリューション	開発実証	課題対応	民間投資による体制強化	コンソ内実装	シェアリングによる北川村内への横展開
	ローカル5Gシステム	開発実証	実装				
ローカル5Gの費用低減後の収支計画(千円)	(1)ユーザから得る対価			0	2,735	3,880	5,025
	(2)補助金・交付金			0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))			0	2,735	3,880	5,025
	(4)ネットワーク設置費			0	0	0	0
	(5)ネットワーク運用費			2,732	2,108	1,628	1,258
	(6)ソリューション購入費			669	669	1,017	1,364
	(7)ソリューション開発費						
	(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))			3,402	2,778	2,645	2,622
	(9)収支((3)-(8))			-3,402	-42	1,236	2,403
収入、支出の算定根拠		<ul style="list-style-type: none"> <li>(1)は自動防除ソリューションと新規就農者遠隔指導ソリューションの利用料を合算</li> <li>自動防除ソリューションは「年間散布回数×総面積×単価」で算出し、単価は生産者の希望価格で設定</li> <li>新規就農者遠隔指導ソリューションの利用料も生産者の希望価格で設定</li> <li>ソリューション購入費は「オペレータ時給×全作業時間」で算出</li> <li>※全作業時間：直接作業時間（遠隔監視やドローン散布）、ドローン使用時の移動時間、保守作業時間</li> <li>ネットワーク運用費はローカル5Gのライセンス費用と電波利用料を合算</li> </ul>					

---

## まとめ

---

# まとめ

## 技術実証

- 検証成果
  - ・ エリア構築の柔軟化では、オムニアンテナからDASへの変更で不感地帯の解消、他者土地漏洩の軽減に対する効果を得た。
  - ・ ゆずの木が与える遮蔽影響はITU-R P.833-10の算出式に示す「Austria pine」に近似していることがわかった。
  - ・ 平坦地の精緻化値は18[dB]となり、急傾斜地については平坦地(18[dB])に対し、K値(1.5[dB])による補正を加えることで、ゆずに限らず一年を通して圃場の植生が常緑樹環境において汎用的に適用可能と考えられる。
- 今後の課題
  - ・ 中山間部での開放地以外のS値の仮説の検討や、シミュレーションにおける植生物の遮蔽影響についても検討をする必要がある。

## 課題実証

- 検証成果
  - ・ 自動防除ソリューションや新規就農者遠隔指導ソリューションによって、生産者の作業時間の削減（生産コストの削減）ができることが明らかとなった。
- 今後の課題
  - ・ 電波強度によってモバイルムーバーの機能性（停止距離、伝送遅延、映像品質）に影響を及ぼすことも明らかとなったため、アンテナ向き・設置方法・種類の適正化を行う必要がある。

## 実装・普及展開

- 実装計画
  - ・ **自動防除ソリューション**：令和5年度は本実証にて明らかとなった課題の解決を図る。令和6年度には普及に向けた広報活動を展開。令和7年度以降にシェアリングサービスによって安芸地区へ導入を目指す。
  - ・ **新規就農者遠隔指導ソリューション**：令和5年度は本実証にて明らかとなった課題の解決を図る。令和6年度はサービス展開に向けてオペレータ確保等の体制強化を図る。令和7年度以降にシェアリングサービスによって安芸地区へ導入を目指す。
  - ・ **ローカル5G環境構築**：令和5年度以降も本実証で導入した機器を継続利用する。令和5年度は電波強度に関する課題の解決を図り、令和6年度以降の継続利用に向けて環境整備を行う。
  - ・ **シェアリングサービス**：サービス提供する生産者の目標数を令和7年度：3生産者、令和8年度：6生産者、令和9年度：9生産者と設定して、サービスの普及展開を図る。