

# 農業分野の課題解決（農業ロボットによる農作業の自動化の実現）に向けたローカル5G等の技術的条件及び利活用に関する調査検討の請負報告書

---

## 概要版

令和3年3月31日

関西ブロードバンド株式会社  
(鹿児島お茶ローカル5Gコンソーシアム)

---

# 目次

---

I. 実証概要	2
II. 課題解決システムの実証	9
III. ローカル 5 G の性能評価等の技術実証	28
IV. 実装・横展開に関する検討	35
V. まとめ	42

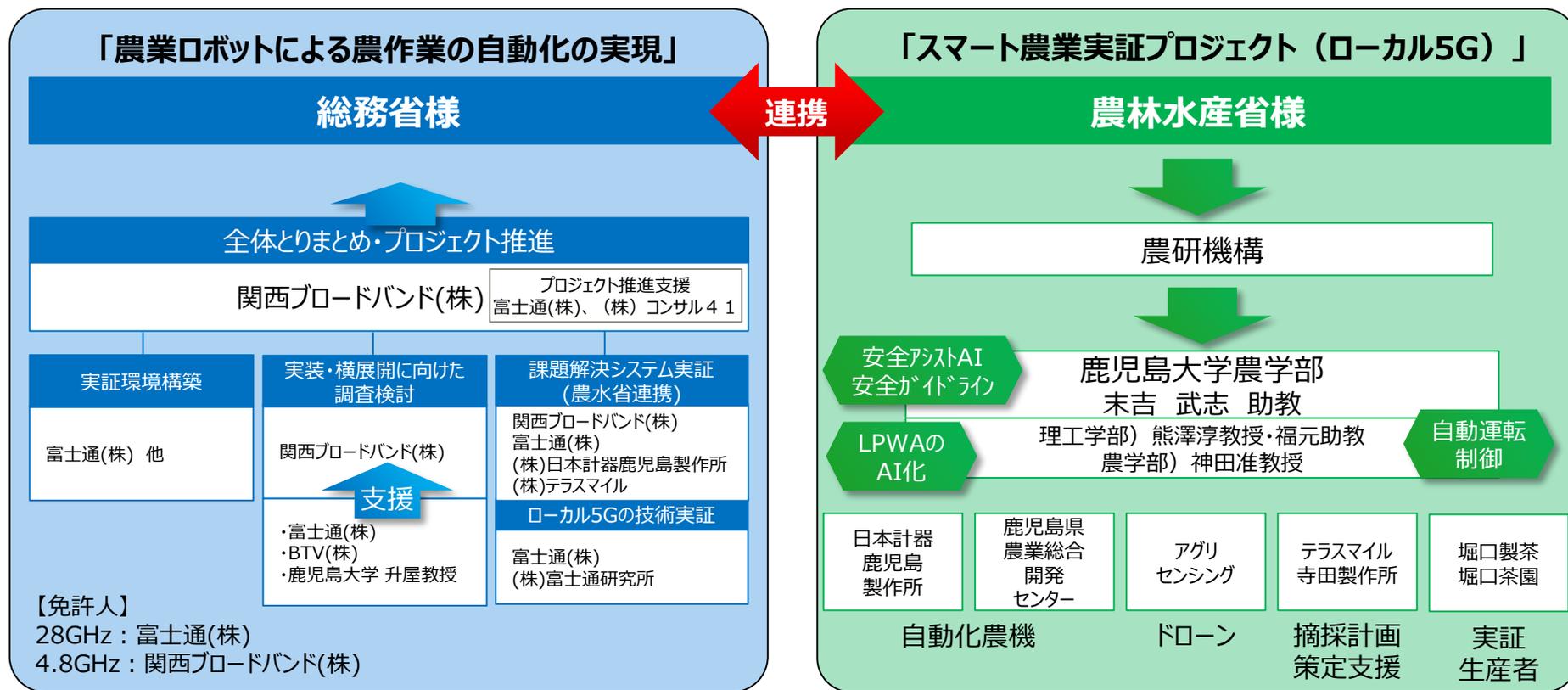
---

# I. 実証概要

# 1. 実証体制

本コンソーシアムでは、以下の実施体制にもとづき、農業分野におけるローカル5Gなどの導入促進を目指し、技術面・制度面・運用面からの課題抽出及び具体的なユースケースを検討し、その有効性を検証しました。また、ローカル5Gの電波伝搬特性や性能評価といった技術的検討を実施し、今後の普及展開に向けて評価報告書を取りまとめました。なお、農林水産省) スマート農業実証プロジェクトと十分に調整・連携して進めた。

## <鹿児島お茶ローカル5Gコンソーシアム>



## 2. 地域等課題及び本実証の課題解決システムとの関係性

### (1) 地域概要と地域課題

- ① 志布志市（しぶし）は、鹿児島県の東部に位置する市である。市の南部は志布志湾に面し、国の中核国際港湾である志布志港が整備されている。志布志港からは国内外へ複数の航路が設けられており、南九州地域での重要な役割を担っている。
- ② 人口は昭和50年代の55,000人程度をピークに減り続け、現在は30,690人程度で（令和2年10月31日現在）、平均年齢は48.96才である。65才以上の比率は31.25%で鹿児島県内43自治体中30位である。
- ③ 主な産業は農業、海運であり、お茶、ピーマン、いちご、メロン、食肉、ウナギなどが主要産業である。なお、畜産向け輸入飼料の大規模工場もある。
- ④ 農工商一体で町おこしに取り組んでいるものの、中山間地域などにおける人口減少や離農、気象災害などによる圃場への被害などにより、**農家数が年々減少しているため農産物の生産量は徐々に低下している状況**にある。
- ⑤ 茶業の振興ならびにお茶の文化の振興に関する取り組んでいるが、お茶の代替飲料である炭酸飲料、ミネラルウォーター類、コーヒーなどの消費量増加により、**全国的な茶葉の需要減少に伴う生産・流通量が低迷**している。



### 課題

- ・少子高齢化
- ・台風常襲地帯
- ・近年の異常気象
- ・リーフ茶の低迷
- ・コロナ対策
- ・働き方改革 etc

### (2) 課題解決システムとの関係性

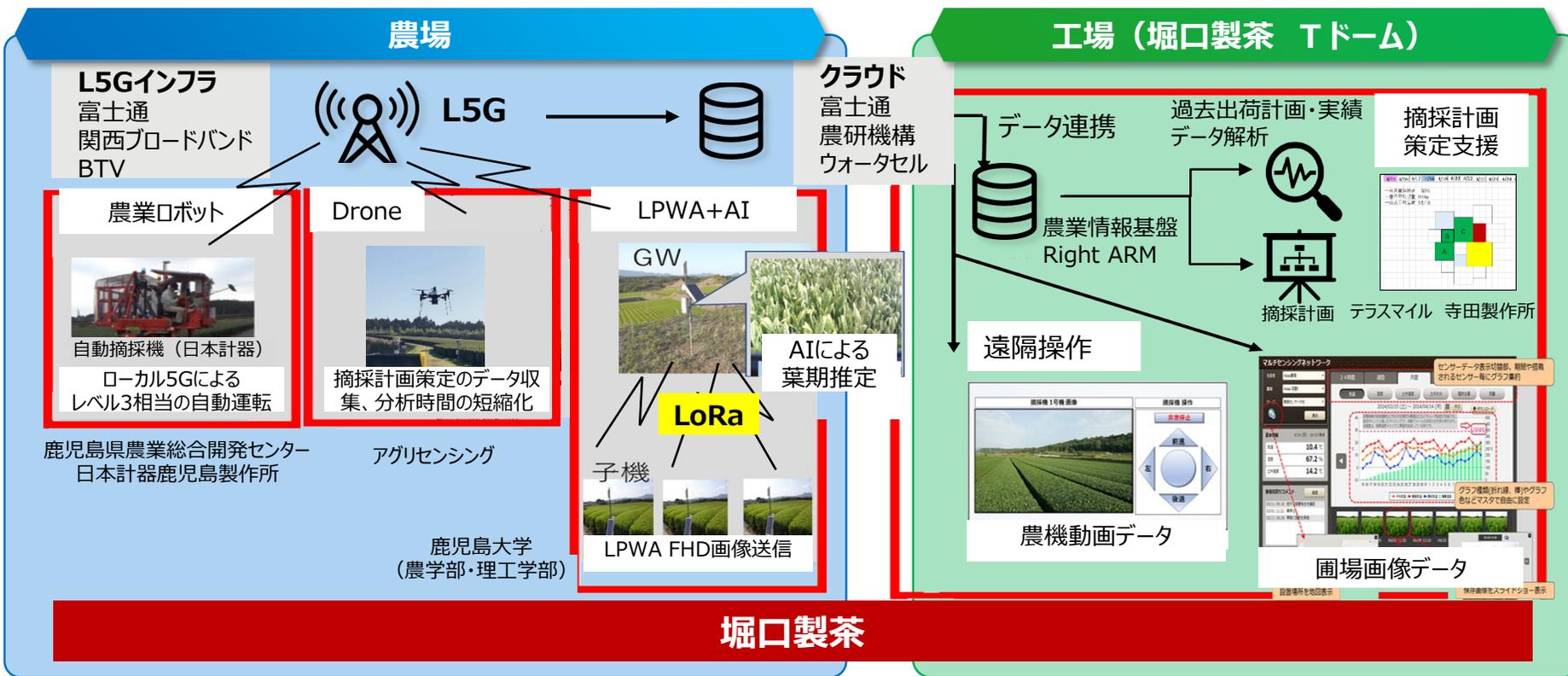
昨今の少子高齢化の波は茶業にも波及しており、高齢化による慢性的な担い手不足が深刻である。このため、スマート農業技術（農業ロボット・ドローン・AI・ローカル5G）の導入・実証により、**将来的な人手不足に対応した省力化や労働負荷の軽減を図る取り組みを開始することが重要**であり、さらには、**超高速・低遅延のローカル5Gを活用することで、地域課題（慢性的な労働力不足など）を解決することが可能**である。

本コンソーシアムでは、①無人状態で自動走行（レベル3相当）する農業ロボットによるローカル5Gを活用した遠隔操作制御の実現、②ドローンを活用した摘採計画策定にかかるデータ収集と分析時間の短縮化、③また地域における定住促進に向けた鳥獣被害対策における罠の監視と捕獲状況を画像判別AIにより自動判別することを実証しました。

# 3. 課題解決システムの全体像

農業ロボット（自動摘採機）の遠隔制御やドローンによる摘採計画策定のための高速画像転送及び画像解析技術のローカル5Gネットワーク環境を整備しました。また、遠隔作業拠点にて鳥獣監視をリモートで行うため、防災用カメラと鳥獣対策監視カメラを準備し、LPWAネットワークをフロントとし、ローカル5Gネットワークを介して監視する仕組みを構築しました。

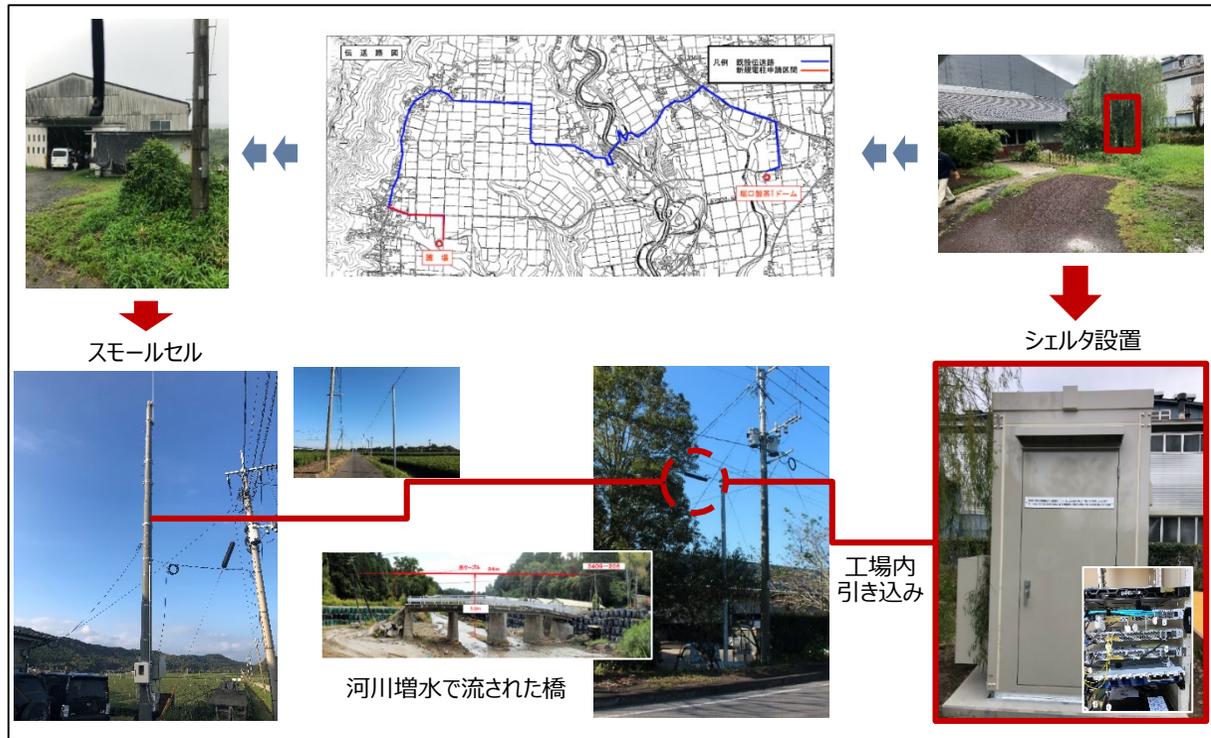
## L5Gを活用したスマート農業の実現



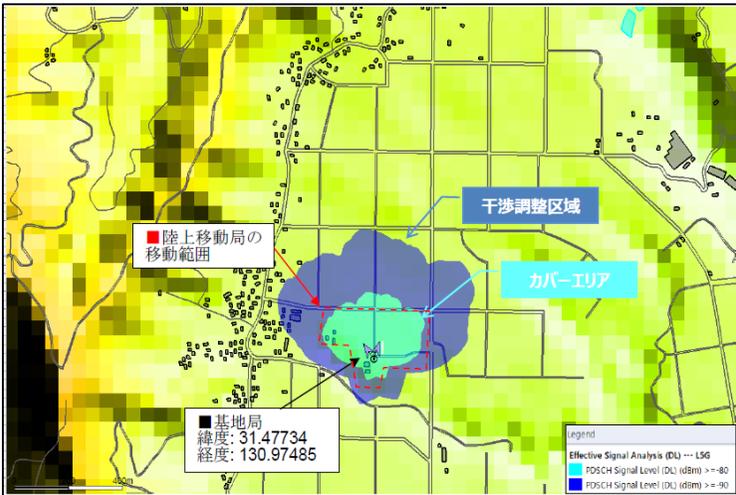
# 4. 課題解決システムの実証環境

## (1) 設置イメージ

### ① 線路設置イメージ



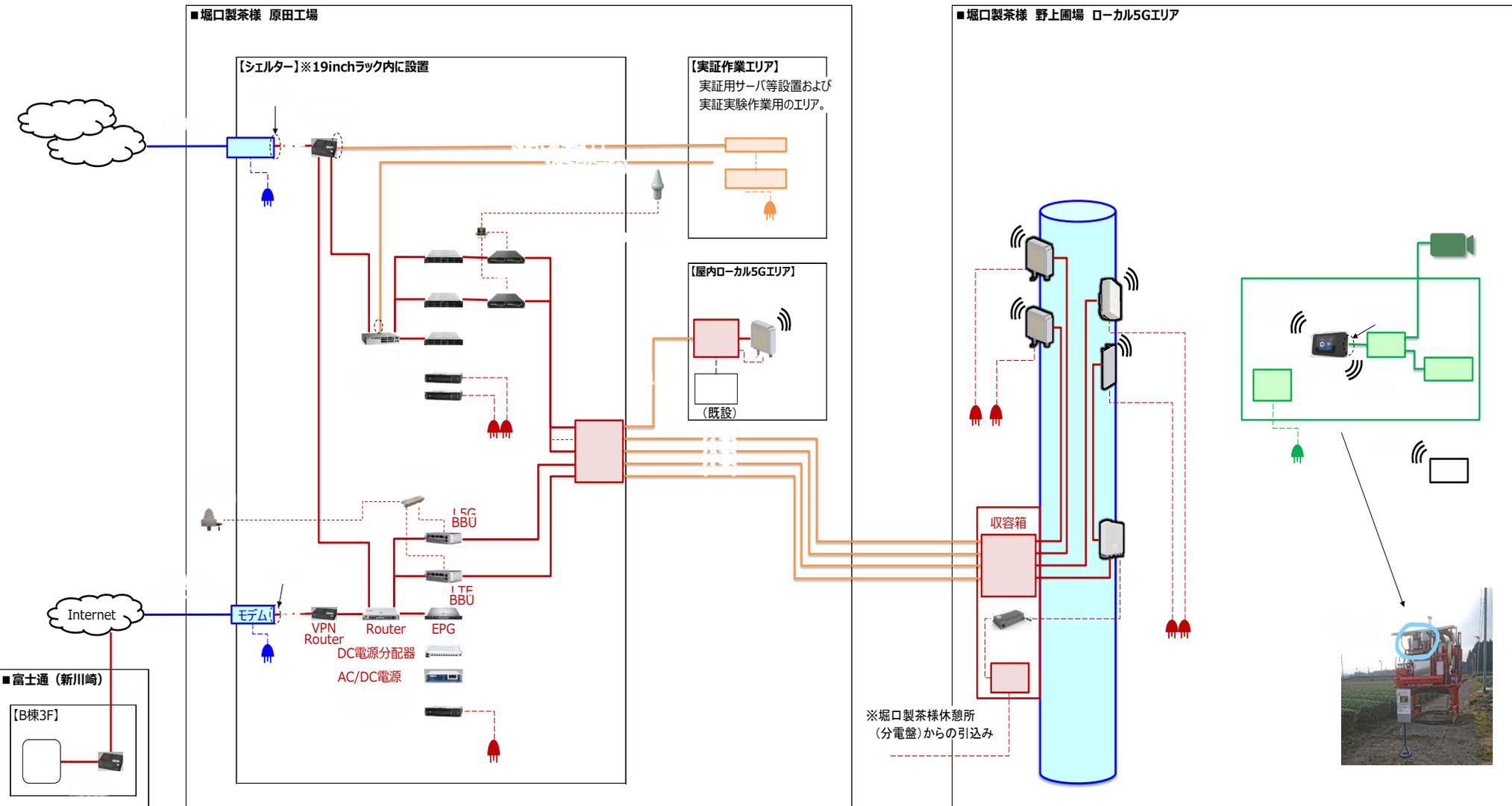
### ② L5Gにおけるカバーエリアのイメージ



圃場までの線路は、志布志市の回線と一束化して構築しました。  
異事業者が一束化を許可された極めて珍しい方法で、官民が協力して構築しています。

# 4. 課題解決システムの実証環境

## (2) ネットワーク構成図



## 4. 課題解決システムの実証環境

### (3) ローカル5Gシステムの主な技術諸元

#### ① ローカル5Gシステム（基地局）の概要

周波数帯	28GHz帯	4.7GHz帯
通信方式	TDD	TDD
システム種別	NSA	SA
UL周波数	28.2~28.3GHz	4.8~4.9GHz
DL周波数		
UL帯域幅	100MHz	100MHz
DL帯域幅		
UL中心周波数	28.25GHz	4.85GHz
DL中心周波数		
UL変調方式	64QAM	64QAM
DL変調方式		
MIMO	2×2MIMO	2×2MIMO

#### ② ローカル5Gネットワーク部の概要

	28GHz帯用EPC	4.7GHz帯用5G-Core
加入者数 / 同時接続数	最大 1000 UE	最大 100 UE
最大スループット	4Gbps	1.5Gbps
eNB接続数	320台	-
EPG最大数	20台	-
収容CU数	-	1台

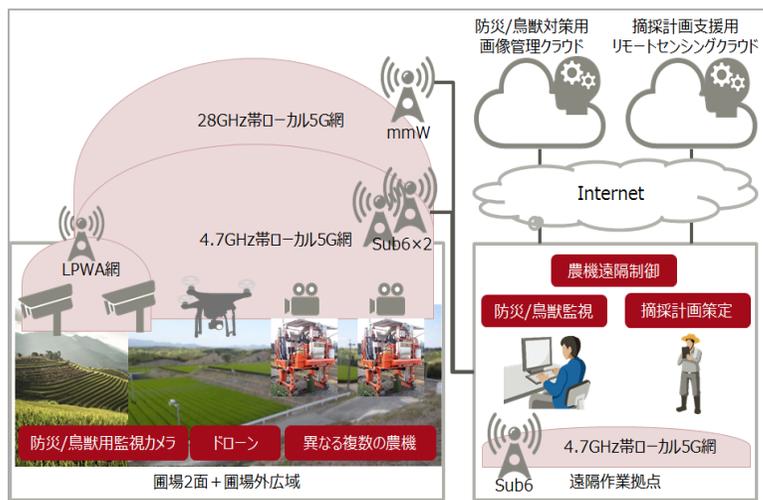
---

## Ⅱ. 課題解決システムの実証

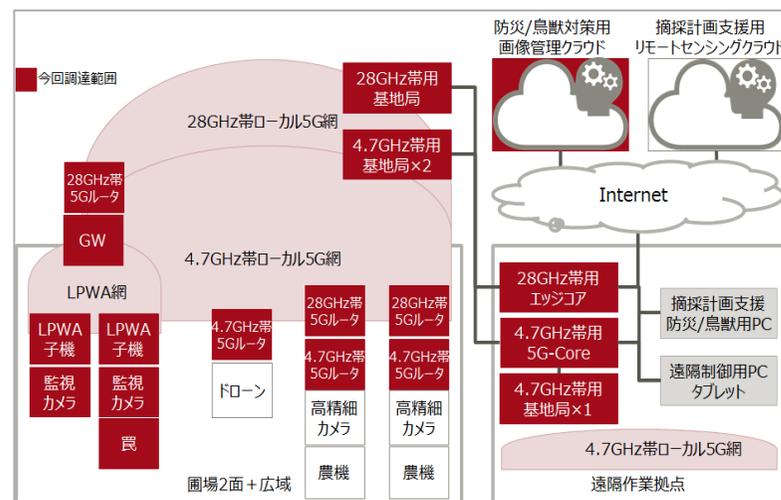
# 1. 課題解決システムの実証概要

本コンソーシアムでは、2つの圃場に周波数帯の異なる28GHz帯（mmW）と4.7GHz帯（Sub6）の2種類のローカル5G環境を構築しました。また、4.7GHz帯は室内施設にも設置し、電波測定を行いました。さらに、生活領域の実証目的でのLPWA環境も構築した上で、農機、カメラ、ドローン、クラウド等の各種課題実証を行うアプリケーション環境を整備しました。

<システム論理構成概要図>



<システム物理構成概要図>



	課題解決システム実証項目	実証目標	活用通信手段	活用IoTデバイス	活用クラウド
(1)	複数農機の自動走行（レベル3）による農作業自動化	茶業の生育管理・収穫等の農作業における「レベル3相当（遠隔監視下での無人状態での自動走行）」による農業ロボットの遠隔監視制御を実現する	ローカル5G（28GHz帯） ローカル5G（4.7GHz帯）	農業用ロボット及びカメラ	無
(2)	ドローン撮影画像のデータ伝送とデータ解析による時間短縮化	迅速かつ最適な農作業計画策定に資するリモートセンシング解析にかかる時間短縮化を実現する	ローカル5G（4.7GHz帯）	ドローン	摘採計画支援リモートセンシングクラウド
(3)	定住促進（防災用定点圃場監視/鳥獣対策）	ローカル5Gネットワーク等の通信インフラを有効活用して、地域住民の生活環境の改善・維持対策、担い手対策、就業促進、定住促進の実証を行い、社会実装を実現する	LPWA+ローカル5G（28GHz帯）	監視カメラ	防災/鳥獣対策用画像管理クラウド

# (1) 複数農機の自動走行（レベル3相当）による農作業自動化

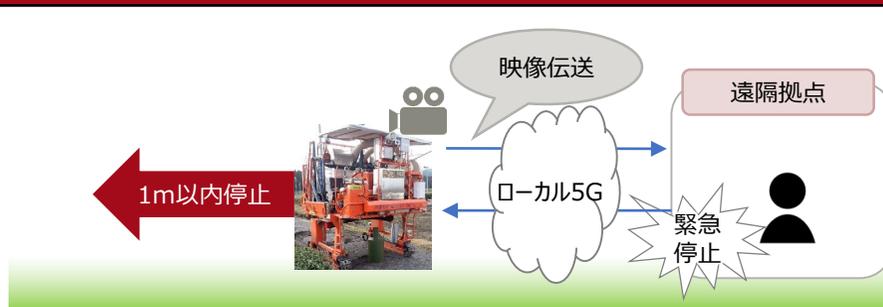
## ① 複数農機の自動走行（レベル3相当）における検証・評価方法

遠隔作業拠点から異なる複数のお茶用農業ロボットを制御（レベル3相当）する実証を実施しました。具体的には、農業ロボットに搭載されたカメラの映像をローカル5Gネットワークにおいてリアルタイムに監視しながら、遠隔作業拠点に配置したパソコン（もしくはタブレット）で複数台の農業ロボットを制御しました。なお、検証は28GHz帯、4.7GHz帯双方の周波数で行いました。



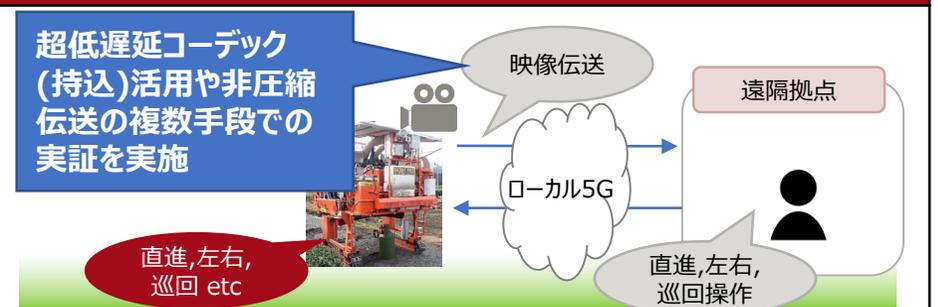
ユースケース	目的	走行パターン	活用通信手段
自動走行時の緊急停止	省人化による生産効率化	単独走行時	28GHz帯
			4.7GHz帯
複数同時走行時		28GHz帯	
		4.7GHz帯	
非自動走行時の制御（直進、左右、巡回、停止）	単独走行時	28GHz帯	
		4.7GHz帯	
	複数同時走行時	28GHz帯	
		4.7GHz帯	

### 農業ロボット自動走行時の遠隔からの緊急停止



実証目標 1 : 遠隔緊急停止指示から**1m以内、1.8秒以内**での停止（畝の端と公道間の大よそのスペースから緊急停止要件を定義）

### 非自動走行時の遠隔からの操作(直進、左右、巡回、停止)



実証目標 2 : 制御指示～映像受信まで**200ms以内**  
※農機の駆動時間（コマンド受信から動作完了まで）は除く

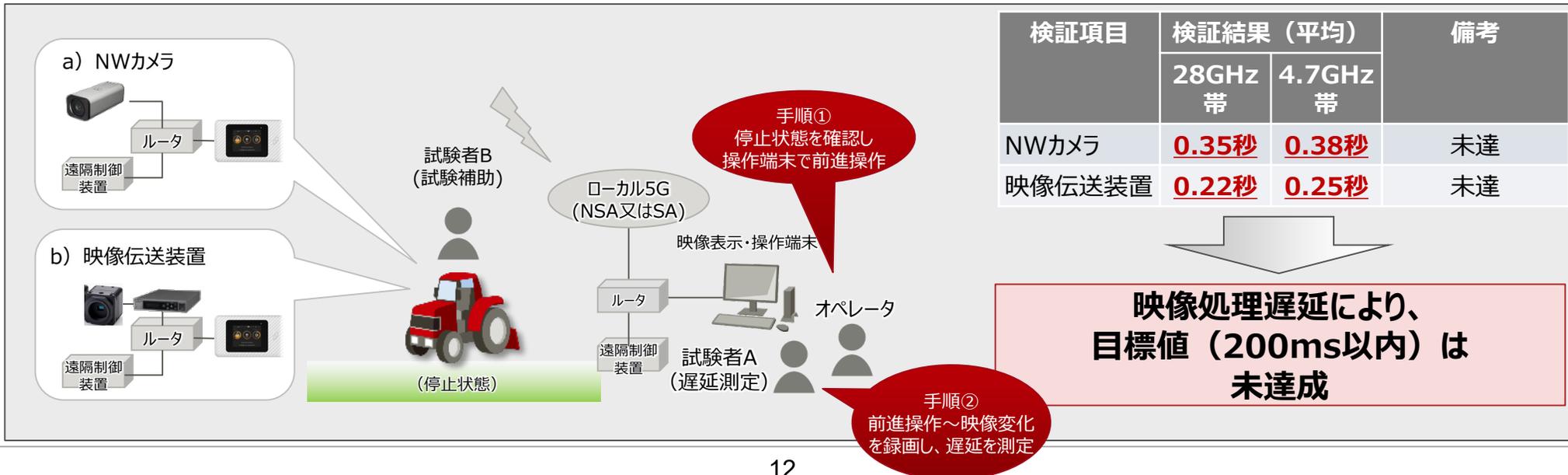
# (1) 複数農機の自動走行（レベル3相当）による農作業自動化

## ② 検証結果（課題解決システムに関する検証及び評価・分析）

【実証目標 1 :遠隔緊急停止指示から**1m以内、1.8秒以内**での停止】



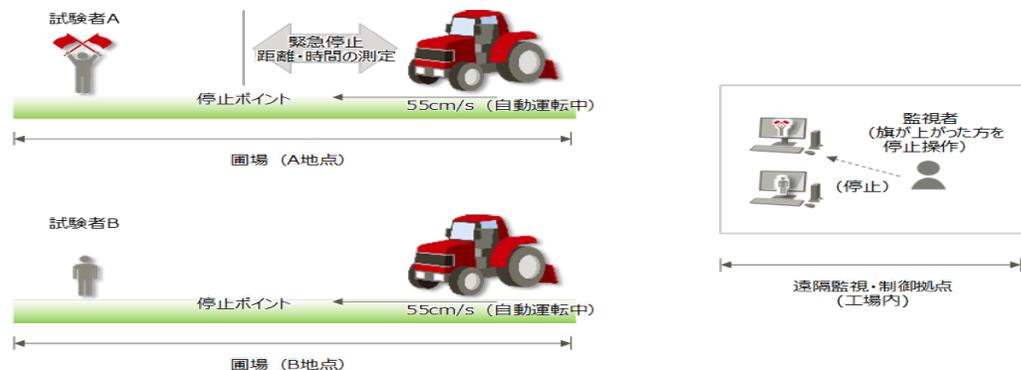
【実証目標 2 :制御指示～映像受信まで**200ms以内**】



# (1) 複数農機の自動走行（レベル3相当）による農作業自動化

## ③ 検証結果（課題解決システムに関する効果検証）

### 【複数台自動走行検証の概要図】



### 【コントロールセンタの画像（ローカル5G画像）】

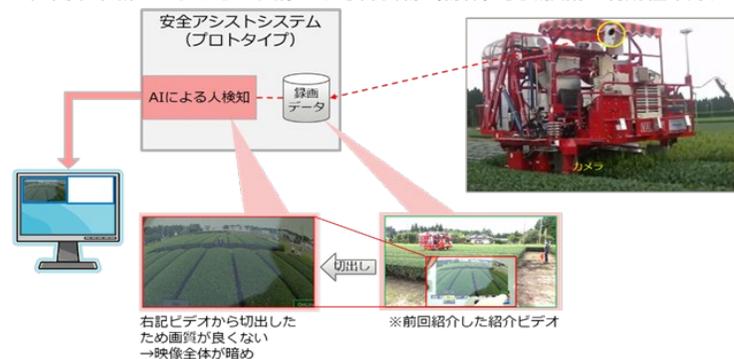


### 【実証結果】

	1台走行時	2台走行時
緊急停止距離	0.48m	0.74m
緊急停止時間	1.29秒	1.64秒

### 画像診断にAIによるアシスト機能を開発

今年度:車載カメラからの画像による障害物（物体）検知技術の有効性確認。



※車載カメラで撮影した映像での検知機能の検証およびチューニング

### ＜考察＞

	慣行		レベル2		レベル3相当		備考1	備考2	備考3
	1台	2台同時	3台	4台同時	1台	2台同時			
実作業時間	25分	13分	25分	13分	25分	13分	10畝あたり	10畝あたり畝は100メートル×5本とする	農機は秒速55センチメートル
圃場作業効率	100	100	100	50	45	22.5	作業効率とは人件費×時間とした。慣行の1台の場合を100とした。		
省力化	100	100	100	50	45	22.5	省力化を労働量×時間とした。慣行の1台の場合を100とした。		

# (1) 複数農機の自動走行（レベル3相当）による農作業自動化

## ④ 検証結果（課題解決システムに関する機能検証・運用検証）

### 【課題解決システムに関する機能検証】

- 各機能検証の結果、**概ね十分な機能を有することを確認**した。
- 生産者へのアンケート結果から、側面/後方の視界確保（カメラ追加など）、遠隔でのよりリアルな操作性の実現（ハンドルや農機状態表示など）が今後求められる。

機能項目	検証概要	検証結果
農機及び遠隔制御システム	遅延検証(遠隔制御システム10ms以下目標)	<b>超過(実測26ms)したが全体への影響は小さく問題なし。</b>
制御アプリ(UI)	操作性評価(生産者)	<b>概ね良好な評価結果だったが、カメラが前方のみで操作性に影響していることを確認。</b> 他、ハンドルがあれば安心、走行状態が分かるようにしてほしい等のコメントがあった。
映像システム	フルHD画質評価(生産者)	<b>フルHDで操作可能であった。</b>
ローカル5Gネットワーク	自営BWA・公衆網との比較(机上検証)	<b>帯域を占有可能で高スループットを両立するローカル5Gが最適である。</b>
警告機能	アンケート評価(生産者)	<b>概ね問題なしであった。</b>

### 【課題解決システムに関する運用検証】

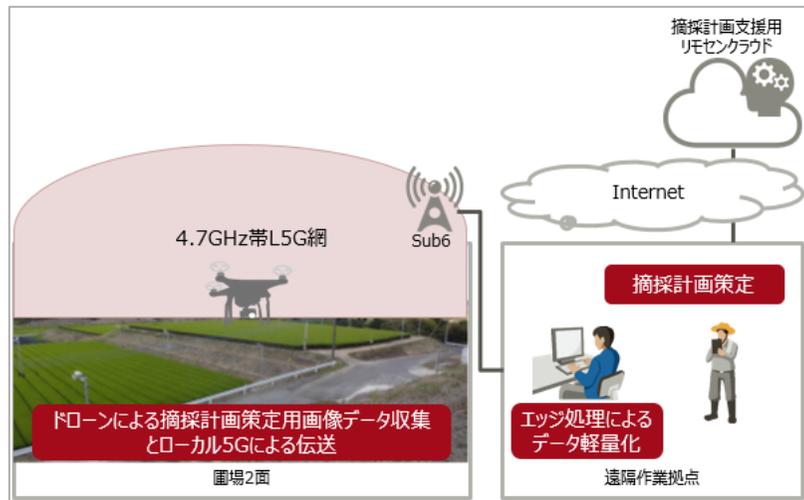
- 農機1～2台は特に問題なく運用可能なことを確認**した。
- 農機1台よりも2台運用時は監視者への負担が大きい傾向を確認しており、複数台運用に向け監視者の負担軽減策の検討が必要。

運用項目	検証概要	検証結果
業務運用	農機1台、2台運用時の運用性、軽労評価（肉体的疲労・精神的疲労）についてアンケート調査(生産者)	<b>業務運用に大きな支障はないことを確認</b> した。
システム運用	実証期間中のシステム運用の発生事象を通して、運用性を検証	<b>実証期間中においては特に問題なし</b> であった。 (発生事象1件)

## (2) ドローン撮影画像のデータ伝送とデータ解析による時間短縮化

### ① ドローン撮影画像伝送の時間短縮化における検証・評価方法

摘採計画策定に資するリモートセンシング解析に係る時間短縮化に関する実証を実施しました。具体的には、ドローンに搭載したカメラで上空からの撮影データを収集し、その膨大な画像データをローカル5Gにおける伝送と遠隔作業拠点に配置したエッジ処理サーバと組み合わせることで、摘採計画支援クラウドへのアップロードまでの時間短縮化を検証しました。



ユースケース	目的	通信手段
リモートセンシング解析に必要な撮影画像データ等のローカル5Gを活用した高速伝送	ドローン飛行による撮影からクラウドによる解析までの時間短縮による、摘採計画策定までの作業の効率化	ローカル5Gネットワーク（4.7GHz帯）活用

ドローンで撮影したマルチスペクトルデータ（約16Gybt/4圃場）をローカル5Gを用い、圃場からエッジ処理サーバまでの転送を30分以内とする実証を行いました。また、他の種類のドローン撮影データの伝送や農機の自動走行実証と同時間帯で実施するパターンも行いました。なお、**全体業務フローも含めて半日程度（3時間）でクラウド解析が完了できることを目標**としました。

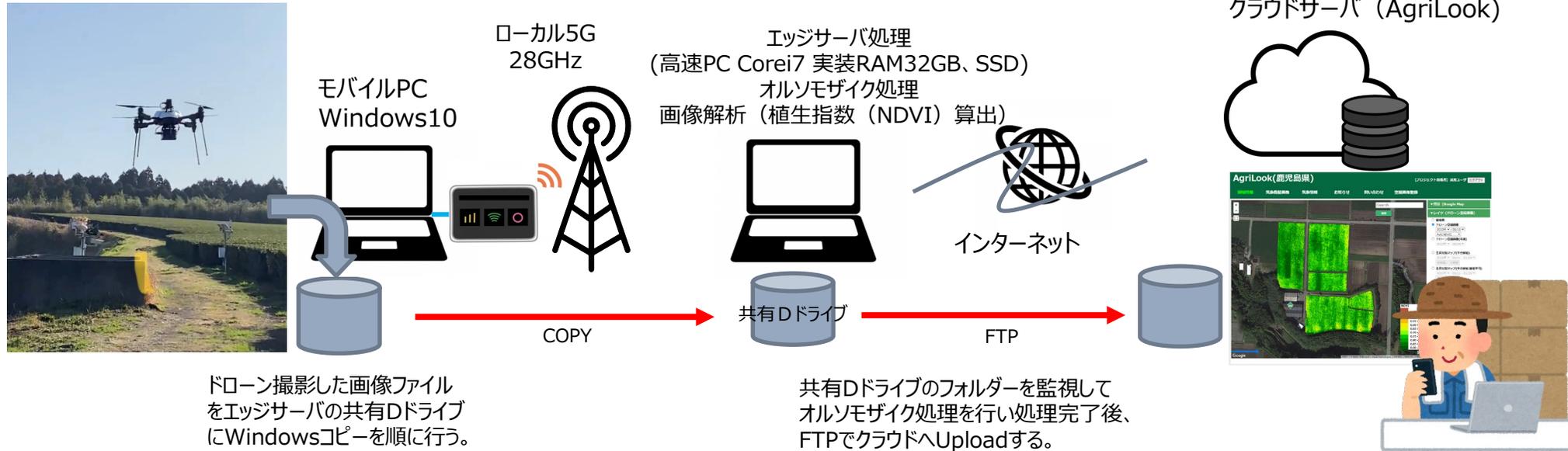
全体3時間程度（9時からの作業で12時に完了のイメージ）を目標



## (2) ドローン撮影画像のデータ伝送とデータ解析による時間短縮化

### ② ドローン撮影画像伝送の時間短縮化における評価結果

#### ローカル5Gによるドローンリモセン処理概要



圃場名	ドローン空撮データ (マルチスペクトルカメラ使用)		ローカル5G伝送 28GHz	エッジ処理サーバ (オルソモザイク処理)		AgriLook伝送	全体処理時間
	画像枚数	データ容量	モバイルPC 伝送時間	オルソモザイク 処理時間	オルソモザイク 画像	インターネット 伝送時間	
宮口北	293枚	4.2GB	8分23秒	23分	266MB	32秒	31分55秒
宮口中	115枚	1.65GB	3分36秒	12分	118MB	14秒	15分50秒
宮口南	436枚	6.2GB	14分32秒	57分	368MB	42秒	1時間12分14秒
堀口	285枚	4.0GB	7分49秒	21分	253MB	32秒	29分21秒
<b>合計</b>	<b>1,129枚</b>	<b>16.05GB</b>	<b>34分20秒</b>	<b>1時間53分</b>	<b>1,005MB</b>	<b>2分</b>	<b>2時間29分20秒</b>

## (2) ドローン撮影画像のデータ伝送とデータ解析による時間短縮化

### ③ ドローン撮影画像伝送の時間短縮化における効果検証

活用  
ローカル5Gネットワーク

ドローンフライト後、撮影画像をローカル5Gネットワークで伝送することで、エッジ処理サーバに34分で伝送することができ、実測結果として、2時間29分20秒でリモセンクラウドに解析を出力できた。

実測結果：全体2時間29分20秒（9時からの作業で12時に完了のイメージ）を目標達成



LTEネットワーク活用

圃場からの伝送に、LTEネットワークを利用して伝送すると約5.6時間かかる。全体処理時間は約7.5時間かかるため、当日での摘採計画でクラウド解析結果を活用することは難しい。

全体約7.5時間



セキュリティ  
安全性

ローカル5G用のモバイルルータを使用して安定的に伝送できた。セキュリティはモバイルルータのID、パスワードを入力し接続した。

## (2) ドローン撮影画像のデータ伝送とデータ解析による時間短縮化

### ④ ドローン撮影画像伝送の時間短縮化における機能検証

全体3時間程度（9時からの作業で12時に完了のイメージ）を目標



構成要素	機能	機能検証	備考
ドローンによる茶畑撮影	<ul style="list-style-type: none"> <li>飛行機能</li> <li>カメラ撮影機能</li> </ul>	エアロセンス社ドローン（AS-MC03-T）のフライト講習、フライトサポートを受け、マルチスペクトルカメラ搭載による撮影をトラブルなく計画通り実施することができた。	農水省事業で実施
ローカル5Gネットワークの活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>伝送性能</li> <li>安定性/セキュリティ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実測による検証 4圃場撮影画像1,129枚のデータ量16.05GB ローカル5Gネットワーク使用し、撮影現場から直接エッジ処理サーバに伝送する時間は34分20秒で完了した。</li> <li>他手段との比較評価を机上検証 ローカル5Gネットワークをせず、LTEネットワークを使い伝送する場合は、約5.6時間要した。</li> <li>安定性/セキュリティ ローカル5G用のモバイルルータを使用して安定的に伝送できた。セキュリティはモバイルルータのID、パスワードを入力し接続した。</li> </ul>	当事業で実施
エッジ処理サーバ	<ul style="list-style-type: none"> <li>オルソモザイク処理機能</li> <li>撮影データ軽量化機能</li> </ul>	オルソモザイク処理機能（処理時間：1時間53分） 撮影データ軽量化機能（約16Gbyteから約1Gbyte：1/16圧縮）	農水省事業で実施

## (2) ドローン撮影画像のデータ伝送とデータ解析による時間短縮化

### ⑤ ドローン撮影画像伝送の時間短縮化における運用検証

全体3時間程度（9時からの作業で12時に完了のイメージ）を目標  
圃場から伝送処理を実行するとクラウド解析まで全て自動処理をおこなう



#### 運用検証項目

- ・飛行と圃場の撮影
- ・飛行後の圃場からのデータ伝送
- ・エッジ処理サーバでのオルソモザイク処理
- ・クラウドへのアップロード

#### 運用検証

撮影現場のPCにローカル5Gネットワーク接続用モバイルルータ（28GHz）をケーブル接続し、撮影画像をエッジ処理サーバPCの共有フォルダーに画像データをコピーした。4圃場の画像は、1,129枚/16.05GBを34分20秒で伝送処理が完了した。これによりドローン撮影画像の伝送から農業リモートセンシングクラウド（AgriLock）から解析結果出力までは、約2時間半で処理が完了した。  
エッジ処理サーバ伝送からエッジ処理サーバでのオルソモザイク処理、クラウドへ伝送までを自動処理で行うよう、全て自動処理されるよう組み込みした。なお、操作は圃場での現場モバイルPCのドローン画像伝送処理起動のみで、他処理は自動処理する仕組みにより、操作性、作業効率は良好であった。

## (2) ドローン撮影画像のデータ伝送とデータ解析による時間短縮化

### ⑥ ドローン撮影画像伝送の時間短縮化における「まとめ」

#### (1) 準リアルタイムでのリモートセンシング情報の提供

圃場現場から直接、エッジ処理サーバ（オルソモザイク処理、WindowsPC）とネットワークにローカル5Gを活用することで、**4圃場のドローン空撮画像1,129枚/16.05GBを、34分20秒と高速で画像伝送**できた。また、収量推定・葉色推定等の摘採判定に必要な情報を**クラウドのWebGISを使い、2時間半で準リアルタイムに提供**できた。

#### (2) 茶摘採判定業務（生育調査）における作業時間短縮（農水省事業にて実施）

実証圃場において、生育調査を15地点（図の赤点）で、新芽数、新芽長、葉色（SPAD）を人手で調査を行う作業時間を計測し、ローカル5G、ドローン空撮及びリモートセンシング解析システム運用に要した作業時間と比較を行った。

##### ① 人手による生育調査時間

生育調査は各圃場、東西2か所と中央の5地点に30cm \* 30cm枠を置き、新芽数、上部から2葉目をSPAD（葉色計）、新芽長さの計測を1名が行い、台帳記録を他1名が、2名体制で、1地点、調査に約20分要した。

約20分 \* 15か所 \* 2名 = 10時間

##### ② ローカル5Gとドローンリモートセンシング解析による生育調査

ドローン空撮によるリモートセンシングでは、監視者とオペレータ2名で対応した。作業内容と作業時間は以下のとおりである。

ア) フライト準備 ドローン組立、フライトコース設定：30分

イ) フライトと4圃場空撮：2時間

ウ) フライト後片付けとパソコンにデータを取込み、リモセンクラウド処理起動。同時にドローン収納、後片付け：30分

全体で3時間 \* 2名 = 6時間

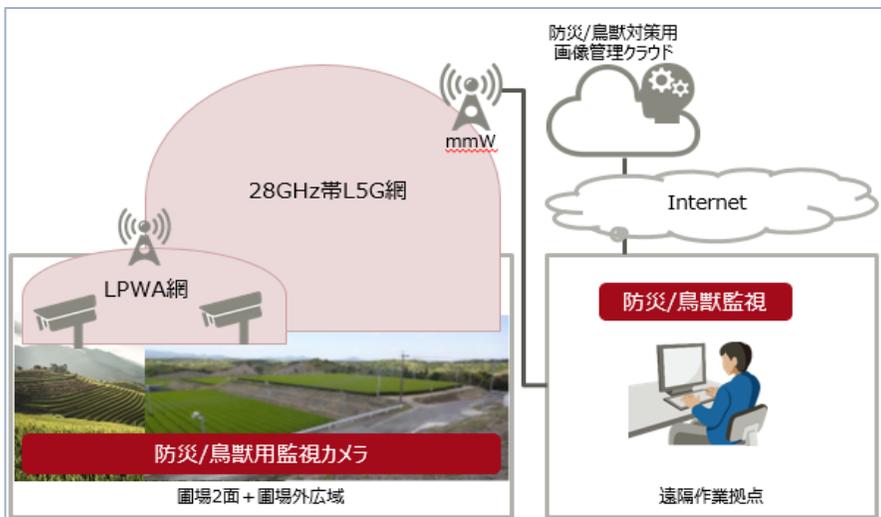
## 結論

4圃場の人手での生育調査時間は10時間、ドローンによる生育調査時間は6時間であることから、ドローンによる生育調査を行う事で4時間、作業時間の短縮ができる。

### (3) 定住促進（防災用定点圃場監視/鳥獣対策）

#### ① 定住促進における検証・評価方法（1/2）

地域における定住促進に向けたローカル5Gをはじめとした通信手段の有効活用において、具体的なユースケースを設定し、実証を行いました。本コンソーシアムでは、総務省事業である「鳥獣被害対策としての罌監視と捕獲状況の自動判別（AI活用）」を安価なLPWAネットワークをフロントで活用しながらローカル5Gをバックホール回線を活用し検証しました。



ユースケース	目的	通信手段
防災観点としての圃場の定点監視	農作物被害防止/巡回減による軽労働化 →離農・人口流出の防止  (お茶生育予測・総務省事業)	LPWAネットワークに加えて、ローカル5Gネットワーク（28GHz）をバックホール回線として活用
鳥獣被害対策としての罌監視と捕獲状況の自動判別（AI活用）	農作物被害防止/巡回減による軽労働化 →離農・人口流出の防止  <今回の実証範囲> (鳥獣調査・総務省事業)	LPWAネットワークに加えて、ローカル5Gネットワーク（28GHz）をバックホール回線として活用

静止画像をLPWAでも伝送できる画像圧縮技術を採用し以下観点で評価を実施しました。

項目	観点	実証内容
定量	通信観点	フルHD、VGA画質による静止画の伝送時間測定（LPWA子機～画像管理クラウド）
	AI観点	画像解析による罌開閉の判別
定性	農業生産者観点	防災観点、鳥獣被害観点で実運用に資するものになっているかの評価

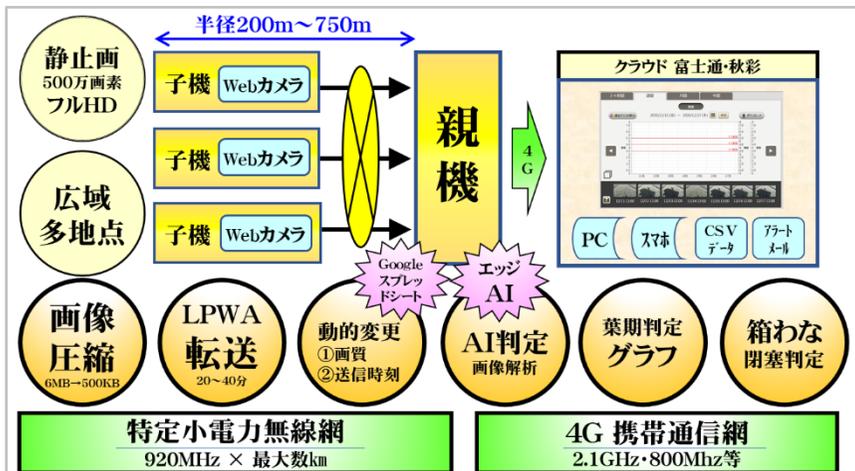
当該NWインフラは今回のユースケース以外にも、お茶の葉の画像解析等のスマート農業のNWインフラとしても活用可能と想定しました。



# (3) 定住促進（防災用定点圃場監視/鳥獣対策）

## ① 定住促進における検証・評価方法（2/2）

### スマートIoT遠隔監視システム



### 3つのオンリーワン機能

- ① 多地点のカメラで撮影した画像を圧縮後、最適なLPWA通信(特定小電力無線網)により、高解像度の画像を転送する機能。
- ② Googleスプレッドシートをクラウド制御マスタとする遠隔リモート操作により、上記①の撮影時刻と解像度を動的に制御できる機能。
- ③ 箱わなの入口部を定点撮影したカメラ画像内のARマーカーから、箱わなの閉塞をエッジAIで自動判定し、クラウドで画面表示する機能。

### LPWAカメラ 実機



### ヒアリングした地域課題

地域課題	ヒアリング先
鳥獣被害対策と見回り業務の軽減	志布志市様
スマート農業による従事者不足の省力化	堀口製茶様
異常気象対策とデータ農業・精密農業	JAあおぞら様
耕作放棄地対策と遠隔監視・自動省力化	志布志市様
データベース・AI化と複合経営への移行	堀口茶園様

### (3) 定住促進（防災用定点圃場監視/鳥獣対策）

## ② 定住促進における評価結果

【フルHD、VGA画質による静止画の伝送時間測定】  
（LPWA子機→LPWA親機→画像管理クラウド）



フルHD、VGA画像にかかるLPWA子機～画像管理クラウドまでの転送時間について、1回あたりの所要時間は、距離に応じ、フルHDで約40分・VGAで約15分であった。

【画像解析による罨開閉の判別（AI活用）】



LPWAにより伝送し受信した画像と、エッジAIによる箱わなの閉塞状況判定結果にもとづき、鳥獣害対策クラウドにおいて、「閉塞」、「検知」と結果表示された。

鳥獣被害対策としての罨監視と捕獲状況の自動判別（AI活用）では、LPWAとエッジAIの組み合わせにより、画像転送は2分程度（@1回）で完了したことに加え、鳥獣害対策クラウドにて「閉塞」、「検知」と結果表示することが出来た。  
堀口製茶様における圃場の見回り業務について、1圃場（1.7ha）あたりの所要時間は約15分で、全700圃場を見回するには、単純計算で約22人日（1日8H）も要する。このため、LPWAとエッジAIによる鳥獣被害対策は、鳥獣害対策クラウドにて罨の監視と捕獲状況の自動判別が可能であることから、実運用（見回り負荷軽減）に資するものと判断できる。

### (3) 定住促進（防災用定点圃場監視/鳥獣対策）

#### ③ 定住促進における効果検証

##### 【生産者などの利用者の意見】

###### 鳥獣の実害

- ① アナグマなどが、お茶の畝間に直径50cm×深さ20cmの穴を掘るため、お茶の畝の高さも段差が生じる。
- ② アナグマなどが、防霜スプリンクラーの温度センサーのケーブルを噛んで破壊する。

###### 防霜スプリンクラーへのニーズ

- ① 防霜スプリンクラーの障害が発生した圃場やスプリンクラーを特定したアラート通報が欲しい。
- ② 防霜スプリンクラーの水量計により、噴射口の目詰まりなどの水量異常値をアラート通報して欲しい。
- ③ 防霜スプリンクラーの放水の高さにより、防霜スプリンクラーの障害を自動AI判定して欲しい。

##### 【得られる効果と費用バランスの効果】

###### 広域・遠隔監視

- ① LPWA子機カメラを計3台で運用し、広域(170m×100m、1.7ha)・多地点(3地点)の圃場内をカバー。
- ② LPWA画像転送の特定小電力無線網は、許可申請なし。高額な通信装置やデータ通信料が発生しない。

##### 【導入によるデメリット】

###### 静止画カメラと従業員の踏査・目視との差異

- ① カメラ解像度は、500万画素のフルHDで高画質である。一方、現在、従業員が行う見回り業務は、実際の現場や樹勢・生育・病害などを目視で確認することが目的。
- ② カメラは、被写体を「接写(50cm～2m)」することが要件である。そのため、被写体の周辺情報や異なる画角(パン・チルト)・画像の深度(ズームイン・ズームアウト)を適宜、リアルタイムに変更して見ることができない。

##### 【考察】

###### スター型多地点ネットワークの定点カメラ撮影とLPWA画像転送の有用性や市場性はあるか？

LPWA通信は、現在の市場において、低容量（数十KB）のデータ転送に最適とされている。しかし、今回の画像圧縮技術による高解像度画像のLPWA画像転送は、**多地点・広域を従業員による踏査と目視で確認する従来の業務と同様の成果を、リーズナブルな初期投資額で実現でき、波及効果は大きい**と考える。

### (3) 定住促進（防災用定点圃場監視/鳥獣対策）

#### ④ 定住促進における機能検証

##### 【検証結果】

検証要素	検証項目属性	検証結果
LPWA子機/親機、ネットワークカメラ	①撮影機能	LPWA子機カメラは、500万画素・フルHDの静止画を撮影した。太陽光発電は、太陽光パネル20W・バッテリー12V7Ahで運用した。
	②撮影時刻指定機能	鳥獣調査で、6時から18時までの毎1時間毎に撮影した。
	③撮影インターバル時間指定機能	お茶葉期判定で、9時・12時・15時の3時間毎に撮影した。
検証要素	検証項目属性	検証結果
LPWAネットワーク	①伝送性能	LPWA静止画品質：解像度は、VGAの800×600px。データ容量は、150KB LPWA画像転送：転送距離は、17/95/115m。転送時間は、5～13分/8～9分/12分。未送信や写真欠けの異常画像は、無かった。
	②カバレッジ	お茶圃場1枚(170m×100m、1.7ha)の周辺3地点に、LPWA子機を計3台設置
検証要素	検証項目属性	検証結果
鳥獣罨の開検知	画像解析/機能	箱わなの入口部が閉塞後、入口部に貼付したARマーカをLPWA親機が画像解析し、閉塞の判定結果を鳥獣対策クラウドへアップロードした。
		鳥獣対策クラウド上で、AIの判定結果と撮影したカメラ画像を照会することができた。
		上記により、エッジAIの画像解析で自動判定することができた。

##### 【考察】

##### 今回未実証のリモートメンテナンスにかかる検討課題

LPWA画像転送は、転送距離が1km以上の場合、LPWA親機までの転送時間が、40～60分以上の見込である。また、子機が複数台・フルHDの解像度での運用は、7～17時までの運用回転率が重要で、子機1台の転送時間を把握することが必須となる。

今後、リモートメンテナンスは、次の要件を協議する必要がある。

① 現行のSIMカードは、動的グローバルIPアドレスで、通信料は月額約600円。固定IPやダイナミックDNSと比較し、コスト重視か、セキュリティ重視か。② CPUのログ情報だけを画面照会する単機能重視は、スマートフォンを運用・活用できるか。

### (3) 定住促進（防災用定点圃場監視/鳥獣対策）

#### ⑤ 定住促進における運用検証

##### 【考察】

##### 箱わなの入口部の閉塞画像を画像解析して、エッジAIで自動判定できたか

- ①箱わなの入口部が閉塞後、入口部に貼付したARマーカをLPWA親機が画像解析し、閉塞の判定結果を鳥獣対策クラウドへアップロードした。
- ②鳥獣対策クラウド上で、AIの判定結果と撮影したカメラ画像を照会することができた。
- ③上記により、**エッジAIの画像解析で自動判定**することができた。

##### 遠隔監視システムにより、圃場の見回り業務(回数や時間)を削減できたか

堀口製茶様が、**事務所から茶園へ社用車で移動し**、圃場1枚（1.7ha）の見回りを完了する所要時間は、**約25分〔＝社用車移動10分（片道）＋圃場踏査15分〕**である。同じ敷地には、**他3枚の圃場**があり、合計で全4枚（380m×260m、9.9ha）である。全4枚の見回り時間を単純計算すると、**約55分〔＝社用車移動10分（片道）＋圃場踏査15分×圃場4枚〕**である。堀口製茶様は、約300枚の圃場を人海戦術の目視で網羅する従来の方法を、遠隔監視システムに切り替えた場合、**大幅な見回り時間削減は、実現可能であり、波及効果は大きいと推察できる。**

##### 鳥獣の知的行動対策

堀口製茶様より連絡を受け、現場で次を目視確認した。アナグマなどが、箱わなに接近し、周辺の2箇所に、穴（直径が約30cm）を掘っていた。箱わなの中央部に配置した餌を、箱わなの外側から地面を掘って取ろうとしていたようである。箱わなの入口部は解放状態で、入口部からの鳥獣の侵入はなかった。このような**鳥獣の知的行動により、カメラや太陽光発電のケーブルなどの機器の配線が鳥獣に噛まれ断線した場合は、機器の稼働が停止する。**

##### 初期導入時のエッジAIの正確性

エッジAI判定について、初期導入時の判定結果の正確性をいかにして上げるかが課題である。今回実証で、少なくとも300枚のカメラ画像の機械学習が必要であったが、実際は約100枚程度と少ない枚数に終わった。設置工事前の前段階で、現地の天候などの変数を仮想現実で再現するか、または現地のリアルなカメラ画像を大人数でカメラ撮影するかなど、**ディープ・ラーニングの進め方を改善し、初期導入時から利用者に精度の高いAI判定結果を提供していくことが必要と考える。**

### (3) 定住促進（防災用定点圃場監視/鳥獣対策）

#### ⑥ 定住促進における「まとめ」

##### 【考察】

LPWA画像転送とエッジAI判定を組み合わせた遠隔監視システムによる高精度の画像解析及び自動判定が、離農・人口流出の防止に寄与可能か

今回、LPWA親機でLPWA子機から集信した箱わな入口部のARマーカーを撮影した画像をエッジAIで画像解析し、入口部の閉塞を自動判定した。

このエッジAIは、鹿児島大学様における最新の判定ロジックを採用し、カメラ撮影画像を機械学習した上で、その自動判定と精度アップに取り組んだ。

運用フローは、夜間に捕捉された鳥獣を朝7時30分にエッジAIで判定後、堀口製茶様の従業員が会社へ入社し、8時30分にクラウドで画面確認できる業務を本システムで支援した。

上記の結果、本実証の遠隔監視システムは、3地点のLPWA子機が、定点カメラで1日1枚または数枚の高解像度のカメラ撮影し、LPWA親機へ画像を転送後、**最新のエッジAIをデバイスに組み込んだLPWA親機は、画像解析と機械学習及びAI判定を行い、相乗効果を高めた。**

LPWA画像転送とエッジAI判定を組み合わせた遠隔監視に特化する「スマートIoTシステム」である。

次に記載する分野などの業種業態や**社会活動が取り組む少子高齢化対策や労働生産性対策、異常気象対策、担い手対策、安心安全対策などの対策ツールとして、導入実現性は、高いと言える。**

例えば、農業分野において、稲作の水門の開閉やお茶の防霜スプリンクラー・防霜ファンの停止、障害を捕捉後、アラート通報する仕組みは実現可能性が高い。

国などが推奨するスマート農業の先端事例として、堀口製茶様では、2021年度の作型で、摘採計画にAIの葉期判定を導入し精密農業を実証する。これに向け本実証では、「微気象・定点観測システム」を先行導入した。

気象庁のアメダス情報と微気象観測を比較し、一番茶収穫までの積算温度が約20℃～30℃の差異の場合は、収穫適期の約2日～3日の差異に相当する。定点・微気象観測システムの必要条件は、積算温度や積算地温を活用し、生育予測と収穫適期判断の精密農業を行うためのビッグデータの蓄積で、スマートIoTシステムの付加価値へ演繹される。

防災分野で、**台風・異常気象や運輸交通網の災害を捕捉後、アラート通報する仕組みが実現可能**である。一方、**医療・介護・子育て・定住利便性の分野でも、マーケットイン型のシステムが実現可能**であると考えられる。

---

## Ⅲ. ローカル 5 G の性能評価等の 技術実証

# 1. ローカル5Gの性能評価等の技術実証

所有者の異なる小さな圃場が隣接する環境でのローカル5G運用を想定し、まず、ユースケースに基づく性能評価を行い、様々な条件下での電波伝搬特性を把握し、ユースケースに求められるネットワーク要件について検証しました。また、事業者間干渉抑制対策の検証を実施し、最適なエリア構築のためのモデルを導出しました。さらに、トラフィック量変動時の性能について検証し、運用に求められるネットワーク要件について検証しました。

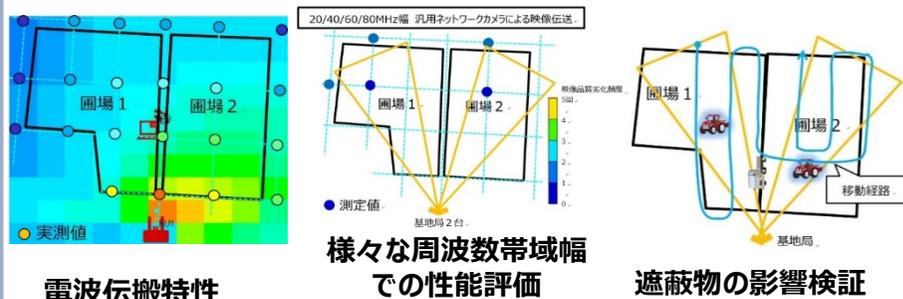
## 【実証目標】

背景となる技術課題	課題1) カバーするエリアが狭い上に、障害物の少なく良好な電波伝搬環境であることを考慮すると、特に隣接した圃場間では他者土地への干渉が懸念される 課題2) 各事業者の所要トラフィック量は通常時間帯によって変動するため、一時的にトラフィック量が増大することで所望の通信品質を満たせないこともある
技術基準の見直し等に資する知見	隣接する事業者間では干渉が避けられない場合において、基地局を共用し、さらに周波数帯域割り当てを動的に変更することで干渉を避けられる上に所要トラフィック量の変化にも対応できることを示した
その他ローカル5Gの提案理由	課題2) に対する一つの解として、事業者間での基地局共用の有効性検証

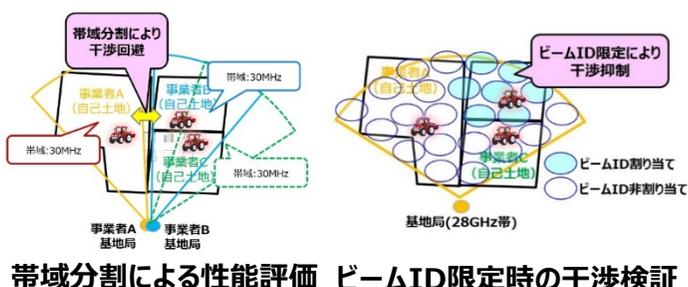
## 【ユースケース目標】

ユースケース	実証目標
農機に搭載した端末から送信したカメラ映像に基づいて農機を制御	ULスループット50Mbps以上、伝送遅延時間200ms以下

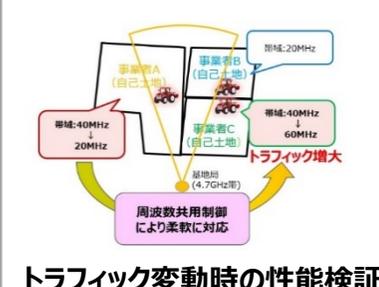
## ユースケースに基づく性能評価



## エリア構築における事業者間干渉抑制対策の検証



## 運用における柔軟性の検証



# 2. ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等の技術実証

## 電波伝搬特性の検証

圃場エリア全体でシミュレーションおよび実環境での測定を実施することにより、技術基準において用いられる干渉調整のための電波伝搬モデルの妥当性検証およびユースケースに基づく性能評価を実施しました。

### ユースケースに基づく性能目標に対する評価

(ULスループット50Mbps以上、伝送遅延時間200ms以下)

計測指標：DL/UL TCPスループット、伝送遅延時間

ULスループットについては50Mbpsを下回るものの伝送遅延時間については目標値を達成していることを確認

	DL TCP スループット	UL TCP スループット	伝送遅延 時間
28GHz	413.2Mbps	34.6Mbps	3.0msec
4.7GHz (屋外)	28.3Mbps	37.6Mbps	68.1msec
4.7GHz (屋内)	7.3Mbps	11.6Mbps	57.2msec

## 様々な周波数帯域幅での性能評価

映像伝送試験を実施し周波数帯域幅との適合性を評価しました。

計測指標：各装置の映像伝送品質（5段階評価）

各装置に応じた必要な帯域を確保する必要性を確認

☆映像伝送品質 映像伝送装置からの伝送には40MHzの帯域が必要

装置	20MHz	40MHz	60MHz	80MHz
映像伝送装置	1	4	3	3
NWカメラ	2	2.5	2.5	2.5

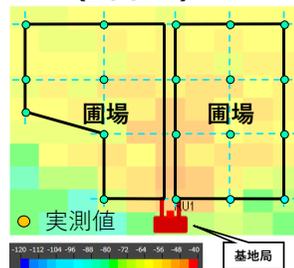
※映像品質を5段階評価

## 電波伝搬モデルの妥当性検証

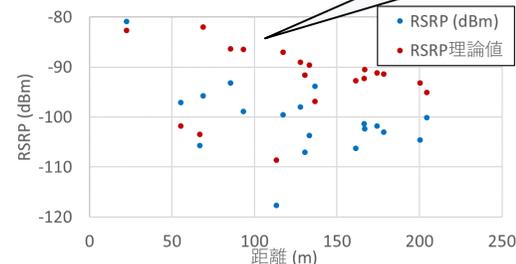
計測指標：RSRP

電波伝搬モデルがおおむね妥当であることを測定した受信電力とシミュレーションによる結果の比較から確認

### ☆ 受信電力マップ (28GHz)

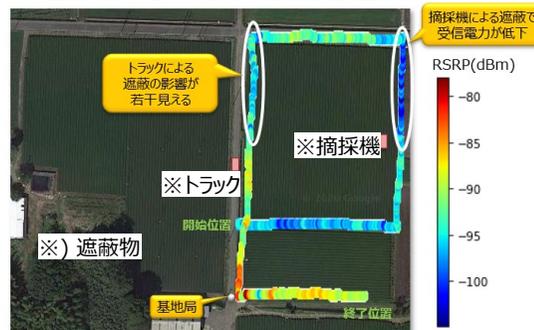


### ☆ 距離減衰特性 (28GHz)



伝搬モデルの結果と概ね一致

### ☆ 遮蔽物のある環境下での映像劣化分布 ~ 圃場内移動時の遮蔽物の影響検証 ~

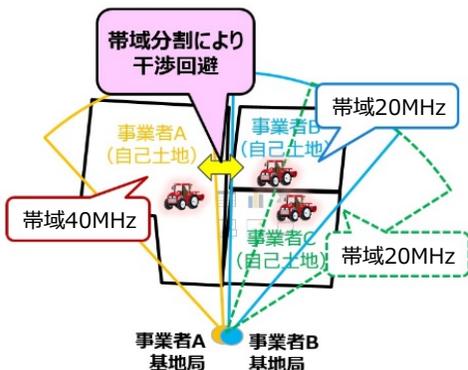


# 3. ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等 (1/2)

## エリア構築における圃場が隣接する事業者間の相互干渉を低減する対策の検証

### 4.6GHz帯：事業者毎に異なる周波数の割り当てる対策の検証

#### ■ 評価・検証方法



- 計測指標：受信電界強度 (RSRP, SIR)、スループット、遅延時間を評価
- 性能目標：干渉が無い場合と同等のスループットの実現

#### ■ 検証結果

エリア境界 (C列) 地点の特性

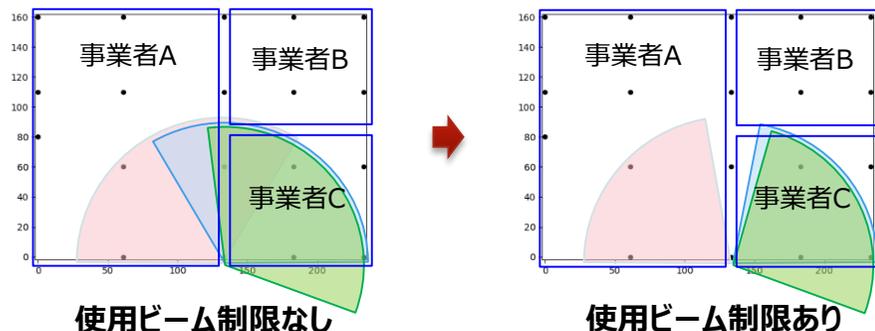
	SIR	スループット
帯域分割なし(80MHz)	-1.6dB	測定不可
帯域分割あり(40MHz)	18.5dB	23.1Mbps
干渉なし(40MHz)*	-	28.8Mbps

\* A2,B1,B2地点の平均

帯域を棲み分けて運用するため、事業者間の干渉は基本的にない (目標を達成)

### 28GHz帯：事業者毎に使用ビームを制限する対策の検証

#### ■ 評価・検証方法



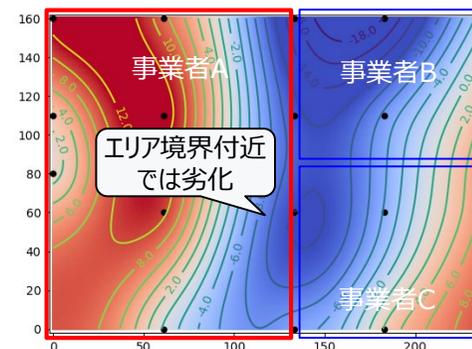
- 計測指標：受信電界強度 (SIR改善量) を評価
- 目標：本対策によるSIR改善効果の確認

#### ■ 検証結果

SIR改善量 (エリア平均)

A,B同時運用	A,C同時運用
圃場 A : 3.7dB	圃場 A : 0.2dB
圃場 B : 1.5dB	圃場 C : 2.6dB

SIR改善量の分布 (A,B同時運用時の圃場Aにおける改善量)



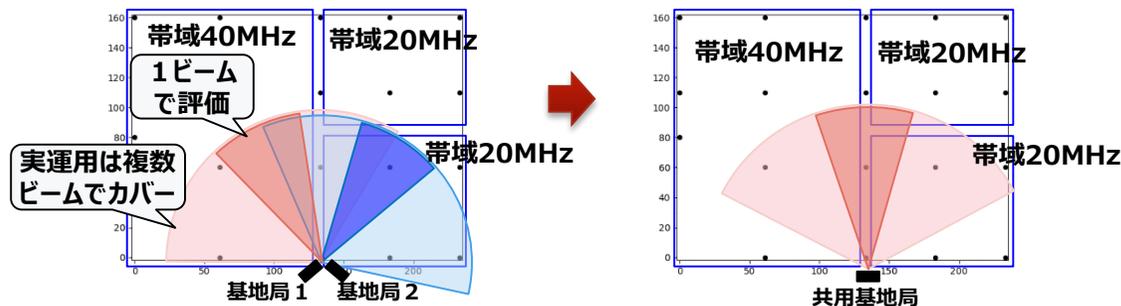
端末の位置によっては干渉抑圧が十分ではない場合があるが、エリア平均では効果あり

# 3. ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等 (2/2)

## 共通運用事業者による事業者間周波数共有の検証

### ■ 評価・検証方法

共用基地局を用いて複数事業者のエリア構築を行う場合の課題  
(カバレッジの減少)の影響を評価

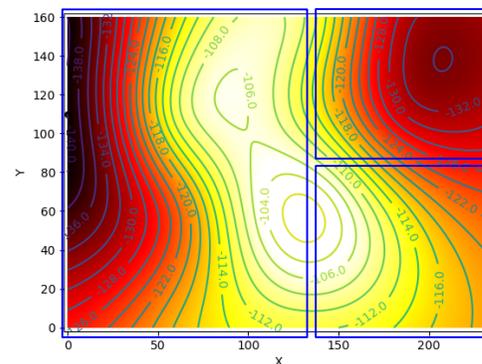


基地局の共用なし  
基地局1：事業者A  
基地局2：事業者B, C

事業者で基地局を共用  
基地局1台でカバー

- 計測指標：受信電界強度 (RSRP, SIR) を評価
  - 半値角度幅の小さい (26度) ビームでカバーした場合の電界強度を測定
  - 実際の運用で想定する複数ビームで圃場エリア全体をカバーした場合のカバレッジを推定
- 性能目標：事業者が個別に基地局を設置した場合と同等のカバレッジを実現できる可能性を確認

### ■ 検証結果



RSRPの分布  
(1ビームでのカバレッジ)



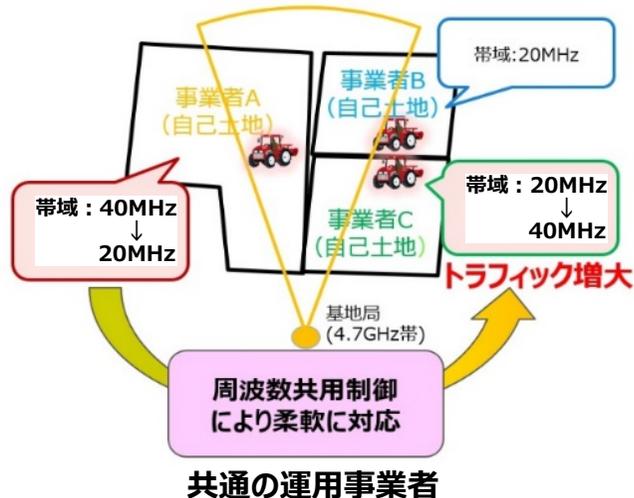
8ビームでカバーすればカバレッジ不足の問題はない (目標を達成)

# 4. その他ローカル5Gに関する技術実証

## 運用における柔軟性の検証：共通運用事業者による事業者毎トラフィック量変化への対応

### ■ 評価・検証方法

2つの事業者へ割り当てる帯域幅を変更した際のスループット、映像伝送品質を評価



各事業者に割り当てる帯域幅

	変更前	変更後
事業者A	40MHz	20MHz
事業者C	20MHz	40MHz

### 計測指標：

- ・ スループット
- ・ 映像 (6Mbps) の伝送品質 (5段階主観評価)

### ■ 検証結果

UDPスループット (下りリンク)

帯域幅割り当て (事業者A/C)	事業者A	事業者C
40 / 20MHz	23.6Mbps	20.0Mbps
20 / 40MHz	14.6Mbps	42.3Mbps

事業者Cへの割り当て帯域を増加

割り当て変更でスループット増大

所要トラフィック量の変化に柔軟に対応可能 (目標を達成)

映像伝送品質

帯域幅割り当て (事業者A/C)	事業者A	事業者C
40 / 20MHz	2.5	2
20 / 40MHz	2.5	2

映像伝送品質の差は検知できず

## 5. 考察

### ■ 検証項目 1 : ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等の技術実証

#### ■ 課題の解決方策 : 事業者間の干渉の制御

- 実施した電波伝搬試験より、敷地が隣接する事業者間での干渉が問題となることを確認

### ■ 検証項目 2 : ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証

#### ■ 課題の解決方策 : エリア構築における事業者間干渉制御方策の導入

- ・ 方策 1 : 事業者毎に異なる周波数の割り当て (4.6GHz帯)

- 事業者間の干渉は基本的になくなる

- ・ 方策 2 : 事業者毎に使用ビームを制限 (28GHz帯)

- 有効だが、場所によっては干渉抑圧効果が限定的。事業者毎に異なる周波数の割り当てる方策の併用も有効

#### ■ 更なる技術的課題 : 事業者間で使用帯域の調整作業が必要 (事業者の負担大)

#### ■ 課題の解決方策 : 共通運用事業者による事業者間周波数共用

- 基地局を共用してもカバレッジの確保は可能

#### ■ 更なる技術的課題 : 運用における柔軟性の低下 (所要トラフィック量の変化への対応) → 検証項目 3

### ■ 検証項目 3 : その他ローカル5Gに関する技術実証

#### ■ 課題の解決方策 : 共通運用事業者による事業者への帯域割り当て量変更制御

- 動的割り当て量変更の有効性を確認

#### ■ 更なる技術的課題 :

- ・ 共通運用事業者による個々の業務サービスに応じた柔軟なリソース配分をサポートするような制度整備
- ・ 共通の運用事業者において適切な周波数リソース制御を行い、事業者間での干渉や不公平性の問題が起こらないようにするための技術の確立

---

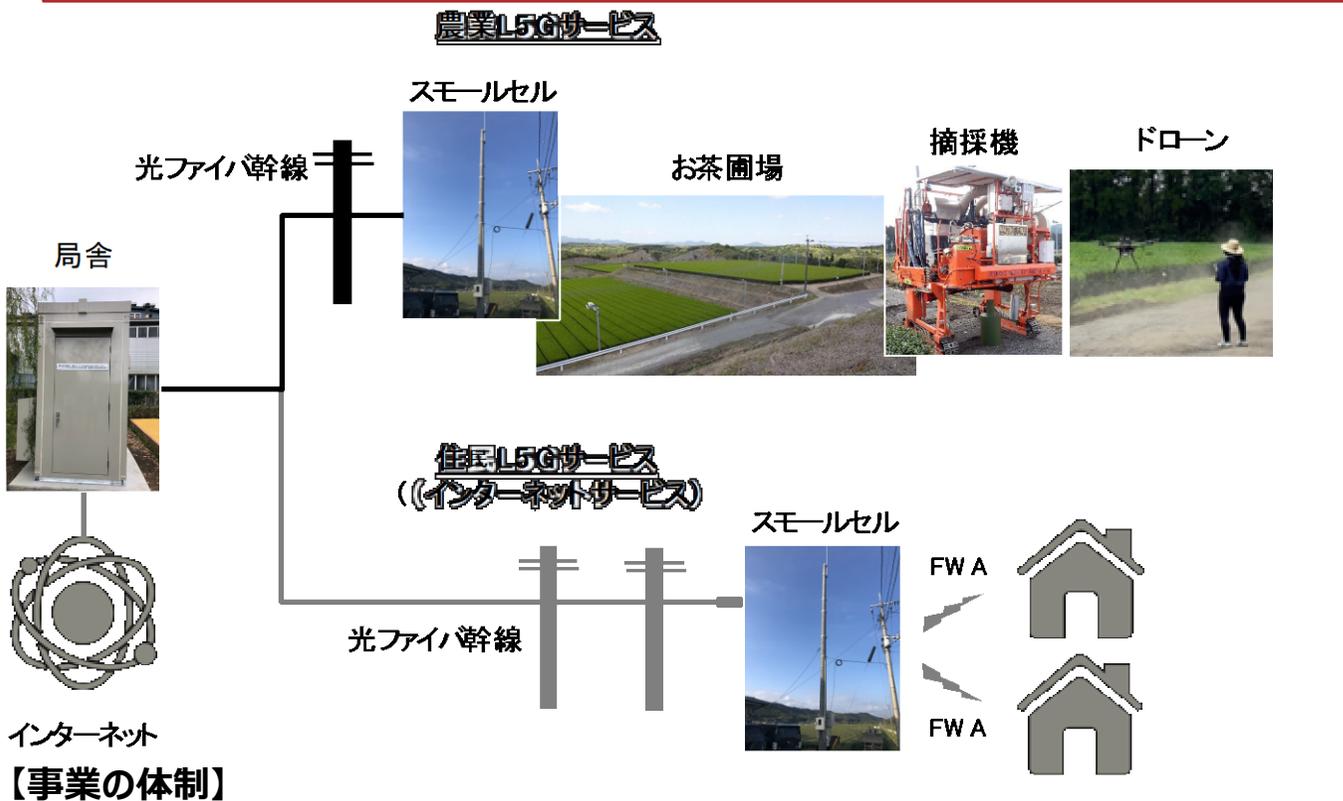
## IV. 実装・横展開に関する検討

# 1. 前提条件① 関係者の意向

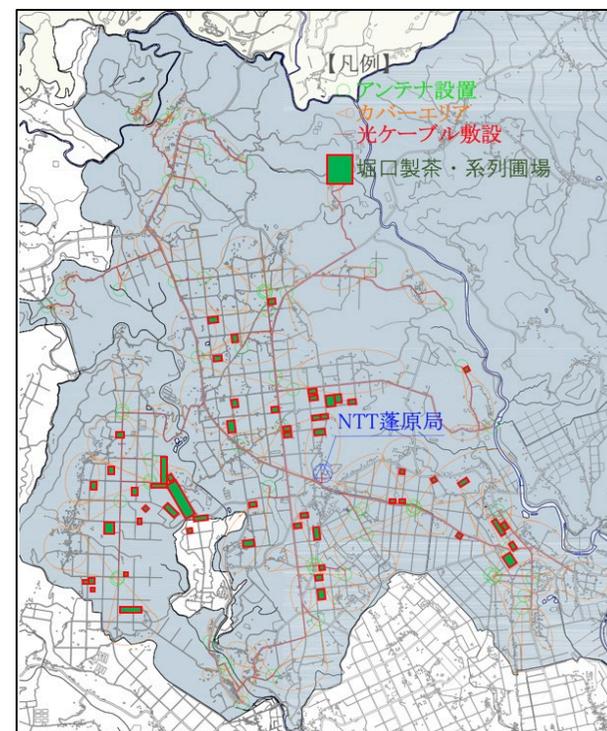
WG関係者	課題認識	事業への期待
関西ブロードバンド	実証実験エリアのみで収益が出ることが最大の課題であるが、費用対効果を通信キャリアとして、事業モデルを成立させるため、エリアやサービスの検討対象を拡大し、より事業性を高める方策の検討が必要	より高速になるローカル5Gサービスで地域の通信キャリアがスマート農業に貢献できるのであれば、事業領域は従前の住民向けのインターネットサービスより拡大する。専用線サービスとしてのコスト対効果を期待したい。
BTV	ローカル5Gを活用する事により、既存の光ファイバによるサービスとの差別化もしくは拡充が図れるのかどうか。また、ローカル5G設備構築には多額の初期投資額が掛かると思われるが、それに対する補助金等の行政支援の有無がどのようになるのかが、民間によるローカル5G普及の課題と考えている。	ローカル5Gを利用した無線サービスが、既存の光ファイバを用いる有線サービスではカバーできていない新たなターゲット層を作る事ができるのではないかと。また、併せてローカル5G設備構築にかかる初期費・保守費が既存設備にかかる諸費用と比較してどの程度のコスト感となるのか等のデータを得たい。
富士通	ローカル5Gを普及させるための機器コストの低減と普及を促進する補助制度などの行政支援が必要。	高度な5Gをキャリアに左右されず敷設できることが実証された。農業での5Gの利用価値も明らかになりつつあり、これからの農業や地域サービスに不可欠なインフラであると期待している。
日本計器	1台の摘採機を動かすのに3人の労働力が必要になる。今後の少子化や労働力不足に対応するために自動農機は必要。	松元機構さんも遅れている農業分野で農家が楽になるような機械を作っておられる。制御システムの組み込みも数が増えれば安く作れていく。将来的にお茶農業では紫外線カットバルーンを被せる作業なども自動化するなど、L5Gの活用と工業系の力で農業分野の課題を解決できると期待する。
テラスマイル	圃場の状態やお茶の状態は、現状の画像レベルでは解析が難しい。大容量、高速になればドローンでの空撮は役に立つ。	本年度はインプットデータを見定めている段階。 摘採計画に必要な情報をクラウド上にデータとして蓄積することで経営に役立てることができると考える。この実証実験の結果を生かすことができる。
アグリセンシング	1圃場あたり2Gの空撮データを送ることになりLTE回線では実現できなかったデータ伝送ができるかが課題。	空撮データが高速伝送でき、画像データの精度が上がれば、摘採計画に必要な見回り作業の省人化に生かすことができ、一人あたりの生産性を上げることができると考える。
堀口製茶	大規模になって労働力不足が発生しているが、入社していただける方は少ない。家族経営で農家をしているところも一経営あたりの圃場面積は増えており、同様に労働力不足は発生すると考える。	ドローンを活用して見回り要員の省人化50%は妥当性がある。農業機械の自動化も50%程度の省人化には妥当性があると考える。
JAあおぞら	堀口製茶のような大規模農家は志布志市でも少なく、20ha程度の小規模農家も多く、労働力不足は顕在化しており、耕作放棄地も増えている。 40-50haの農家は農機を使えるが、小さな茶畑も点在しており農機は使いにくい。お茶は高齢化の進展も著しく、繁忙期に人手不足が顕著になる。	JAでは農機具センターとして既に農機のシェアリング事業を行っている。小さな圃場に対してもエリアで貸し出すなど、無人摘採機になればシェアリングでの貸し出しを収益モデル化できると考えている。JAが中心となって3セク方式で効率のいいところから摘んでいくといった形で、個人所有からシェアリングへ向かい、地域での農業の最適化にL5Gは活用できると期待する。
志布志市 農政畜産課茶業振興係	地域として産地（産出量）を維持するための労働力不足は顕著。離農者も多い。お茶の場合、特に被覆作業などのピーク性のある労働力不足がある。最近では、コロナの影響で海外人材も減り、労働力不足に拍車がかかっている。	摘採機の省人化やドローンを活用した見回り作業の省人化は期待できる。将来的には同様の方式で農家を悩ませる草刈り機などに応用が進んで欲しい。志布志では酪農やイチゴ農家が多く、ハウスの炭酸ガスの制御や自動収穫ロボットなどに期待しているが、現状のLTEではライブカメラによる定点監視ですら動かないこともあり、L5Gの展開には期待する。
鹿児島大学 升屋教授	現状では農業地域に光回線が存在しない地域も多い。5G、6Gにこだわらず、圃場まで光回線がきていることが重要である。	圃場で高速ネットワークが利用できるメリットは大きい。

# 1. 前提条件② 事業モデル構築の検討

事業モデル構築の検討を今回の実証実験の範囲にとどめた場合、圃場の範囲とL5Gのネットワーク構築に必要な投資金額から、事業性に乏しいことは明白であり、より多数の圃場や農家が存在するエリアに検討対象を広げ、さらにインフラのシェアリングで割り勘効果を出すため、いわゆる一般的な住民向けの超高速インターネットサービスにまで事業を拡大し、それぞれの事業性を検討することにした。



対象エリア



対象サービス	スマ農事業提供者	L5G通信基盤提供	免許人	その他ステークホルダー
農業L5Gサービス	農機等ベンダー	関西BB	関西BB	JA（農機シェアリング）
住民L5Gサービス	農機等ベンダー	関西BB、地元CATV	関西BB	JA（農機シェアリング）

## 2. 持続可能な事業モデル ① 事業モデル比較

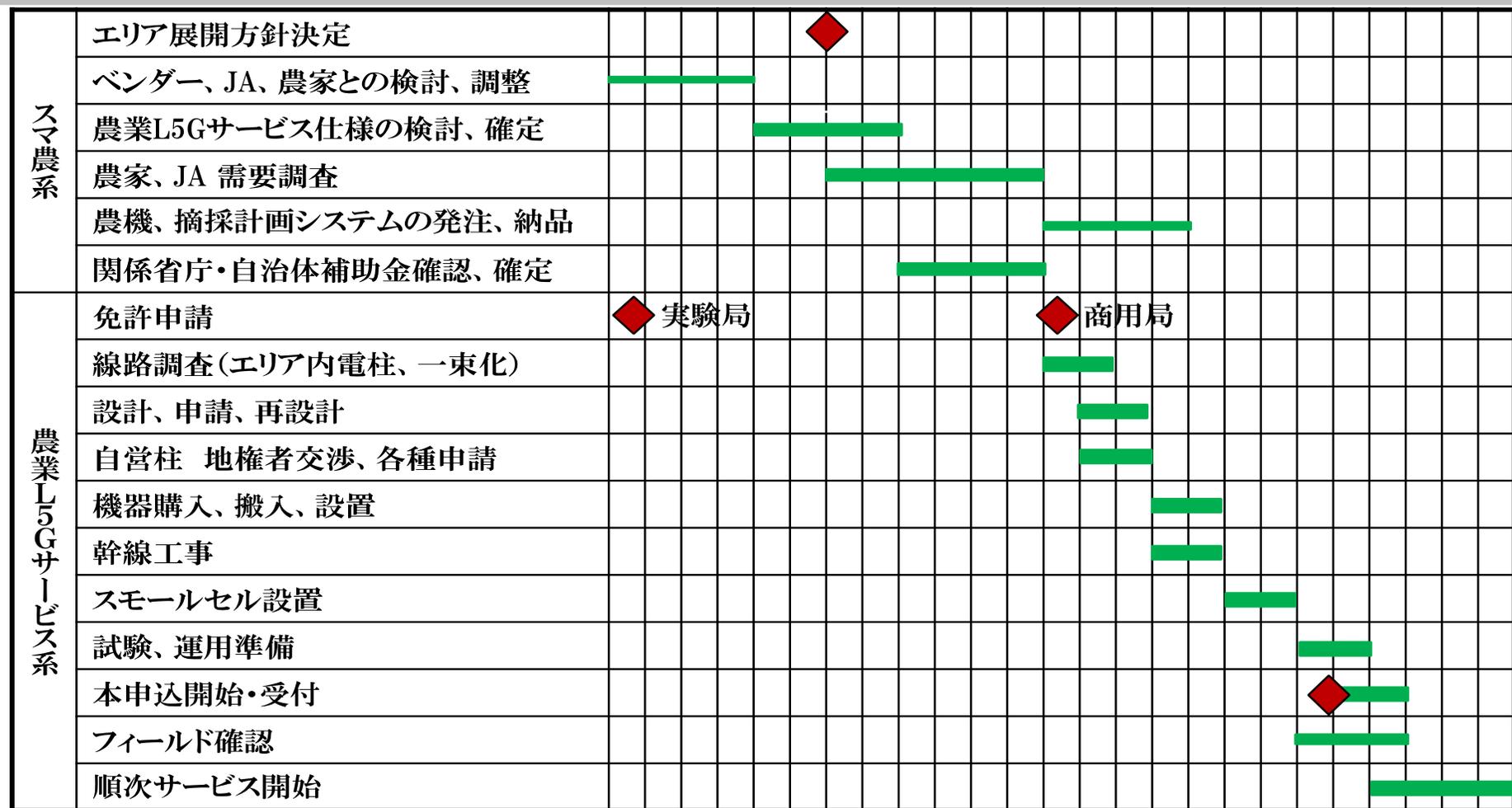
事業モデルの比較より、②は農家の利用者数が、③は農家の利用者数と住民利用者数が損益分岐点を越えれば事業性があり、検討対象になる

		①実証事業モデル	②農業ローカル5Gサービス事業モデル	③住民ローカル5Gサービス事業モデル
L5G通信 インフラ	対象エリア	堀口製茶圃場 (4.5ha)	蓬原局エリアお茶圃場(約907ha)	蓬原局エリアお茶圃場(907ha) 蓬原局エリア住民 (2,042世帯)
	機器仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>SA機器、付属機器 1対</li> <li>基地局設置 1局</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SA機器、付属機器 3対</li> <li>基地局設置 30局</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SA機器、付属機器 6対</li> <li>基地局設置 60局</li> </ul>
	線路仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>幹線長 6km</li> <li>19インチラック 1式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>幹線長 40km</li> <li>19インチラック 3式</li> <li>エッジサーバー 1式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>幹線長 50km</li> <li>19インチラック 6式</li> <li>エッジサーバー 1式</li> </ul>
	免許人 運営体制	関西BBまたは堀口製茶 関西BB インフラ維持・保守	関西BB及び/又はBTV社 関西BB及び/又はBTV社 インフラ維持・保守	関西BB及び/又はBTV社 関西BB及び/又はBTV社 インフラ維持・保守
ビジネス モデル	利用者	堀口製茶 実証実験圃場	蓬原局エリア お茶農家 72戸 (堀口製茶114ha、その他11ha×72戸)	蓬原局エリア お茶農家 72戸 (堀口製茶114ha、その他4.4ha×71戸) 蓬原局エリア 世帯加入率40%(816世帯)
	利用者利得	堀口製茶：労務費削減 1,628千円/年	農家：労務費削減 154,000千円/年 (損益分岐面積350ha) ※30.5%以上の農家の利用が必須	農家：労務費削減 127,600千円/年 (損益分岐面積290ha) ※22%以上の農家の利用が必須
	利用者費用	堀口製茶：L5G通信、スマ農 47,550千円/年	農家：L5G通信、スマ農 152,696千円/年 ・自動農機8台、自動中刈機7台等	農家：L5G通信、スマ農 127,600千円/年 ・自動農機7台、自動中刈機6台等
	利用者事業性	×	△ (利用率の制限は不安レベル)	△ (農家利用率と世帯加入率の制限あり)
	提供者利得	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器ベンダー：適正利益 機器、メンテ提供</li> <li>通信事業者：適正利益 線路・シェルト構築、保守役務</li> <li>スマ農事業者：適正利益 自動農機 摘採計画システム (ドローン、気象サーバ、 LPWA静止画監視含む)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器ベンダー：適正利益 機器、メンテ提供</li> <li>通信事業者：適正利益 線路・シェルト構築、保守役務</li> <li>スマ農事業者：適正利益 自動農機 摘採計画システム (ドローン、気象サーバ、 LPWA静止画監視含む)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器ベンダー：適正利益 機器、メンテ提供</li> <li>通信事業者：適正利益 線路・シェルト構築、保守役務提、 販管費</li> <li>スマ農事業者：適正利益 自動農機 摘採計画システム (ドローン、気象サーバ、 LPWA静止画監視含む)</li> </ul>
	提供者事業性	△ (通事業者の継続性のみ疑義あり)	○	○
備考	数年継続を前提としたL5G系の実質費用 通信事業者：11,080千円/年 16,500千円(撤去費用)	JAがシェアリング事業を行い、年間12,000千円の固定費が発生すると仮定した場合、損益分岐面積は400ha、36%以上の農家の利用が必須	<ul style="list-style-type: none"> <li>初期構築、更新費用に補助金が必要。</li> <li>機器費用、メンテ費用の削減努力が必要</li> <li>JAシェアリング費用が年間12,000千円必要と仮定した損益分岐農家利用率は30.5%</li> </ul>	

## 2. 持続可能な事業モデル ② 実装計画

農業ローカル5Gサービスで損益分岐点を超える農家の利用者数が存在する前提の実装計画は下記ようになる。

R3年 R4年 R5年 R6年 R7年 R8年 R9年  
4月 10月 4月 10月 4月 10月 4月 10月 4月 10月 4月



# 3. 横展開に資する普及モデルに関する検討 横展開計画

農業ローカル5Gサービスで損益分岐点を超える農家の利用者数が存在する前提で横展開を図る際の手順は次のとおり

## 【検討の条件・課題】

### 1. 対象となるシステム

複数のコア装置とスモールセルを結ぶ線路を対象エリアに構築し、農業ローカル5Gサービスを提供する

### 2. 想定されるターゲット

自動農機、監視センサーなど、スモールセルの先でスマート農業の課題解決システムを適用する農業法人

### 3. 体制、事業スキーム

スマート農業向けの線路を構築し、通信サービスを提供できる通信キャリアが免許を取得して当該インフラの維持・保守を行い、スマート農業ベンダーが、自動農機やセンサーなどのサービスを提供してJAがシェアリングを行うことを想定

### 4. 導入効果

本実証でも確認できた省人化、労務費の削減効果を狙う

### 5. 課題

損益分岐点を超える利用者の存在

## ①農業L5Gサービスのニーズ把握

自治体、JA、大規模農家、地域の研究機関等に、当該地域でのスマート農業への取り組み、過去の実績などについて確認する。例えば、当社が展開している地域でハウス栽培へのスマート農業を実践されている場合、その内容と通信環境を確認し、L5Gで改善できることを協議、検討する。

## ②L5Gのスマート農業への適用

L5Gを活用したスマート農業の仕様（機械、センサ、制御、プログラムなど）をスマート農業の専門家に確認し、通信事業者として、機器ベンダーと調整し、要求される仕様（コア装置、スモールセル、電波）などを確認する。

## ③免許取得

スモールセルの設置位置が確定したら免許申請に向け、地域の制約条件などの調査を行い、スモールセルの仕様を確定し、免許を申請する。

## ④線路設計、計画、構築

ハウス栽培エリアへの線路を、既存の光ファイバ網を最大限活用して敷設する方法を検討する。機器の発注、納品、必要な線路工事、試験・運用準備までを計画し、運用開始時期を特定し、それに合わせて構築を開始する。

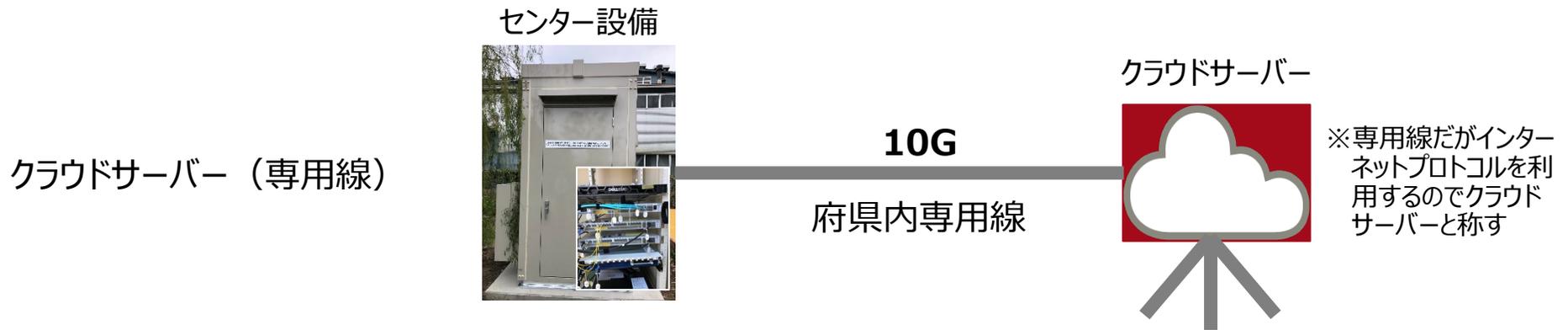
## ⑤農家への通知、開始

運用開始時期を事前に農家や利害関係者に通知し、申し込みを受け付ける。

# 4. 共同利用型プラットフォーム

今回の実証実験で利用し、共用検討が可能なシステムとして画像解析システム、摘採計画システムがあげられる。画像解析システムはエッジサーバーで共用、摘採計画システムはクラウドサーバーでの共用も可能なデータの送信量と想定している。エッジサーバーは通信速度を担保するため、ベストエフォート品質のインターネットを介さない専用線で、かつ、比較的近距离で速度を毀損しにくい府県内でのネットワーク上に設置することが望ましい。

共用可能なシステムのAPI仕様の例としては、下表のような仕様が考えられる。



共用検討が可能なシステム	API仕様 (例)		
	機能	入力	出力
② 画像解析システム	画像伝送	画像データ、日時等	DB格納通知、未格納通知
	解析結果	結果格納確認	解析結果
③ 摘採計画システム	解析結果伝送	解析結果	DB格納通知。未格納通知
	摘採計画	計画格納確認	摘採計画立案結果

---

## V. まとめ

# － まとめ －

スマート農業技術の導入・実証により人手不足解消という地域課題を解決するための本実証における3つの課題実証について、

- (1) 自動化農機においては、**当初目標とした1.8秒、1m以内の緊急停止が可能**であることが実証された。また、同一圃場で**複数農機が稼働した場合においても、1.8秒以内、1m以内での緊急停止が可能**であることが実証された。
- (2) ドローンにおいては、1圃場で6Gbyte程度のデータが生成されるが、これをフライト終了後に圃場～ローカル5Gを活用することで、15分程度で伝送完了する事が実証出来た。このことから、オルソモザイク処理を自動で行うエッジコンピュータと組み合わせることにより、従来2～3日かかっていた**リモートセンシングによる圃場解析は、2時間半程度で可能となり、素早い摘採計画への反映が可能**であることが実証された。
- (3) LPWAにおいて、困難であったFHD（フルハイビジョン）画像（1920×1080）のカラー画像をLoRaプロトコルにより伝送し、さらに、本画像を活用したAI診断が可能なる仕組みを構築した。本仕組みは安価なLoRaネットワーク（IoT）と画像解析AIを組み合わせ、**鳥獣対策にかかる箱わなの見回りや圃場巡回作業を劇的に減らせる可能性を実証出来た**。以上を鑑み、**お茶における圃場管理作業の人件費について、約40%の削減は可能である**という結論を得た。

また、本実証で利用した28Ghz及びSub6帯でのローカル5Gの技術実証では、隣接する事業者間でのユースケースにおいて、リソース分割における干渉回避の可能性を検証した。**より柔軟なリソース配分を可能とする無線周波数運用の制度化により、ローカル5Gの普及が進む**と考えられる結論を得た。

上記の結論を前提とした本実証の実装及び横展開での検討について、ローカル5Gやスマート農業におけるハード面やソフト面でのインフラ投資は、維持コストも含めた上で損益分岐点を超えるまで、異なる利用目的の利用者を拡大し、共同利用を進めることで有意義になる、という結論を得た。従って、**本実証の所与の課題の効果的で迅速な解決には、既存インフラの保有者の施設共用や、垣根を超えた利用者間での共同構築・共同利用を推進する施策、ならびに初期投資に対する国や自治体の柔軟な支援が肝要**である。