

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

成果報告書

2021年3月31日

関西ブロードバンド株式会社

# 目次

<b>1. 全体概要</b> .....	<b>1</b>
1.1 背景・目的.....	1
1.2 実施事項及び実証目標.....	1
1.3 実施体制.....	3
1.4 実証のスケジュール.....	9
1.5 免許申請の概要.....	9
<b>2. 実証地域</b> .....	<b>12</b>
2.1 実証地域の概要.....	12
2.2 実証環境.....	13
2.3 地域課題等.....	15
<b>3. 実証環境</b> .....	<b>17</b>
3.1 ネットワーク構成.....	17
3.1.1 システム構成.....	19
3.1.2 エリアカバレッジ.....	27
3.1.3 機器構成.....	29
3.1.4 構築スケジュール.....	32
3.2 システム機能・性能・要件.....	32
3.2.1 ローカル 5G システム(基地局)の概要.....	32
3.2.2 ローカル 5G コアネットワーク部の概要.....	32
3.2.3 ローカル 5G 端末の概要.....	33
3.2.4 システムの全体のスループット.....	33
3.2.5 システム全体の遅延.....	34
3.2.6 その他の機能・性能.....	34
3.3 実証環境の運用.....	35
3.3.1 実証参加者への研修.....	35
3.3.2 ヘルプデスク体制.....	40
3.3.3 障害管理.....	41
3.4 関連事業.....	41
<b>4. 課題解決システムの実証</b> .....	<b>49</b>
4.1 前提条件.....	49
4.1.1 農業領域(農機ロボットによる農作業の自動化).....	58
4.1.2 農業領域(画像データと AI 技術等を活用した農作業計画策定).....	65
4.1.3 生活領域.....	66
4.1.4 農水省事業・総務省事業との連携.....	71
4.2 実証目標.....	72
4.2.1 農業領域(農機ロボットによる農作業の自動化).....	72

4.2.2 農業領域（画像データと AI 技術等を活用した農作業計画策定）	73
4.2.3 生活領域	74
4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析	76
4.3.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）	76
4.3.2 農業領域（画像データと AI 技術等を活用した農作業計画策定）	131
4.3.3 生活領域	141
4.4 課題解決システムに関する効果検証	155
4.4.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）	155
4.4.2 農業領域（画像データと AI 技術等を活用した農作業計画策定）	172
4.4.3 生活領域	175
4.5 課題解決システムに関する機能検証	178
4.5.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）	178
4.5.2 農業領域（画像データと AI 技術等を活用した農作業計画策定）	184
4.5.3 生活領域	187
4.6 課題解決システムに関する運用検証	191
4.6.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）	191
4.6.2 農業領域（画像データと AI 技術等を活用した農作業計画策定）	200
4.6.3 生活領域	201
4.7 まとめ	205
4.7.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）	205
4.7.2 農業領域（画像データと AI 技術等を活用した農作業計画策定）	206
4.7.3 生活領域	208
<b>5. ローカル 5G の性能評価の技術実証</b>	<b>211</b>
5.1 前提条件	211
5.2 実証目標	217
5.3 ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価等	218
5.3.1 ユースケースに基づく性能要件	218
5.3.2 評価・検証項目	219
5.3.3 評価・検証方法	230
5.3.4 類似の調査	234
5.3.5 性能評価結果	239
5.3.6 技術的課題の解決方策	265
5.4 ローカル 5G のエリア構築やシステム構成の検証等	266
5.4.1 評価・検証項目	266
5.4.2 評価・検証方法	274
5.4.3 検証結果	281
5.4.4 技術的課題の解決方策	302
5.5 その他ローカル 5G に関する技術実証	303
5.5.1 評価・検証項目	303
5.5.2 評価・検証方法	304
5.5.3 検証結果、その他仕様書に個別に記載されている事項、個別の提案等	305

5.5.4 技術的課題の解決方策 .....	308
5.6 まとめ .....	308
<b>6. 実装及び横展開に関する検討実装及び横展開に関する検討 .....</b>	<b>311</b>
6.1 前提条件 .....	311
6.1.1 関係者の組成、課題整理 .....	311
6.1.2 事業モデルの対象事業の前提 .....	316
6.1.3 事業モデル構築の考え方と展開 .....	321
6.1.4 サービスのコンピュータ処理 .....	326
6.1.5 対象エリアの設定 .....	328
6.1.6 本事業と農水省事業との関係 .....	331
6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定 .....	332
6.2.1 実証事業モデル .....	332
6.2.2 農業ローカル 5G サービス事業モデル .....	335
6.2.3 住民ローカル 5G サービス事業モデル .....	339
6.2.4 事業モデル詳細の前提条件 .....	342
6.2.5 実装計画 .....	345
6.2.6 その他考察 .....	348
6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討 .....	349
6.3.1 普及モデル .....	349
6.3.2 推進対応方策 .....	354
6.3.3 横展開計画 .....	357
6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討 .....	360
6.4.1 本実証で利用した課題解決システム .....	360
6.4.2 5G ソリューション提供センター（仮称）が具備すべき機能 .....	360
6.4.3 5G ソリューション提供センター（仮称）を通じた横展開のあり方 .....	361
6.4.4 公開する API 仕様ないしは PF とのインタフェース仕様 .....	361
6.5 まとめ・結論 .....	362
<b>7. 会合等の開催（該当する活動がある場合） .....</b>	<b>363</b>
<b>8. まとめ .....</b>	<b>365</b>
<b>9. 参考資料 .....</b>	<b>366</b>
<b>10. （参考）記述ガイドライン（任意） .....</b>	<b>エラー! ブックマークが定義されていません。</b>



## 1. 全体概要

当社（関西ブロードバンド）はコンソーシアムを形成し（富士通、BTV、その他協力機関）、事業の求める農業分野の課題解決につながるローカル 5G 等の無線通信システムの具体的なユースケースを検討し、その有効性を検証するとともに、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、技術面・制度面・運用面からの課題抽出及び解決方策、当該実証モデルの今後の普及展開に向けた検討を行った。

### 1.1 背景・目的

お茶は常緑の作物であり、1年を通して栽培管理が必要である。露地作物としては比較的単価も高く、栽培管理に関して古くから多くの研究がなされている。

鹿児島県は静岡県に次いで栽培量が2位である。（2020年度に出荷高では1位になった。）

鹿児島県は戦後にお茶栽培が盛んになった経緯があり、静岡県が富士山の裾野を活用した斜面での圃場が多いのに比べて平地での開墾が多く行われてきた。

そのため、他県の産地に比べて機械化が早くから進んだ経緯がある。（鹿児島地場の松元機工製乗用摘採機がほぼ100%普及している）

この乗用摘採機については平成25年より鹿児島県農業総合開発センター茶業部と松元機工、日本計器鹿児島製作所が中心となって自動運転の開発を進めてきた。

令和元年度のスマート農業加速化実証プロジェクトにも採択されレベル2を達成している。

本プラットフォーム（自動運転レベル2を達成している松元機工製摘採機や類似機械）に

画像解析 AI/IoT の先進技術にローカル 5G を追加することで自動運転のレベル3相当（レベル2+遠隔監視による緊急停止機能）を実現する。また、それ以外にもお茶には生育状況を把握して正確な摘採計画を立てることが経営上の最重要課題とされている。そのために圃場の巡回・生育調査に多大な労力を費やしている。この生育調査をドローンで置き換え、調査で取得した画像データを圃場～ローカル 5G を活用して送信することで通常2～3日かかっていたリモートセンシング結果の入手を半日程度（4時間以内）にすることで翌日の摘採計画に反映できるようにする事を目指す。併せて、定点から LPWA をかつようした高精細画像（FHD）画像を収集して、AI において処理をすることで鳥獣対策に必要となる箱罟の開閉監視・判定を省力化させることを目的とする。

上記の取り組みにより、お茶生産の更なる高度化の取り組み（以後課題実証という）の検証や地域に定住を促進する取り組み（以後課題実証という）を検証することを目的とする。

また、ローカル 5G の電波特性を把握する実証を行い、今後の電波利活用の参考となるデータを取得・分析結果を取りまとめることを目的とする。

### 1.2 実施事項及び実証目標

#### (1) 実施事項

本プロジェクトでは、ローカル 5G による超高速、超低遅延といった特徴を最大限に生かし、2つの周波帯（28GHz 帯、4.7GHz 帯）による、遠隔作業拠点から複数のお茶用農業ロボットの自動走行（レベル3相当）を制御することに加え、自動走行時における映像伝送遅延の検証を実施する。

また、ローカル 5G (4.7GHz 帯) とエッジサーバとの組み合わせによるドローン活用したりリモートセンシング画像の解析にかかる時間短縮を検証し、摘採計画への有効性を検証する。

さらに、農村地域における移住・定住促進（防災向け圃場監視、鳥獣対策など）への貢献に向けて、安価な LPWA ネットワークとローカル 5G ネットワークを活用とした圃場の見回り負荷軽減の実現を検証する。

## (2) 実施目標

農業ロボットの自動化においては、自動化における高い安全性を担保するため、農機ロボット周辺で発生する異常状態（障害物、故障、横転など）に対し、速やかに緊急停止（緊急停止時間：1.8 秒以内、緊急停止距離：0.99m）することを目標とする。また、非自動走行時（遠隔操作時）においては、遠隔操作拠点からでも現場に近い操作性を担保することが必要であることから、操作から映像表示までの遅延（映像提示遅延）は一般的な映像遅延時間である 200ms 程度（FHD で 10 フレーム/sec）を目標とする。

ドローン空撮を活用したりリモートセンシング解析では、エッジ処理サーバによるオルソモザイク処理でデータ量を削減（16G⇒1GB 程度）することにより、画像提供から解析結果入手まで数日掛かっていたものを半日（4 時間程度）に短縮し、摘採計画に即座に反映する事を目標とする。（圃場～エッジサーバーまではローカル 5G を活用して伝送処理を行う）

一方、農村地域における移住・定住促進（防災向け圃場監視、鳥獣対策）においては、高圧縮エンコーダーアプリ（LINUX アプリ）による画像圧縮により、LPWA（LoRa 方式）通信仕様で静止画像の転送は可能か、また、転送にかかる時間を実測することで、圃場の巡回減による軽労働化（離農・人口流出の防止）に繋げることを目標とする。転送用画像を利用した AI 化にも取り組む。

カテゴリ	実証内容
農業領域 課題実証	「レベル 3 相当（遠隔監視下での無人状態での自動走行）」による農機（農業ロボット等）による複数の農作業の自動化
農業領域 課題実証	ドローン撮影画像のデータ伝送とエッジコンピュータ構築等に基づくリモートセンシング解析に係る時間短縮化（通常郵送を入れて 3 日→4 時間以下に短縮）
生活領域 課題実証	地域の定住を促す施策の実証（ローカル 5G と LPWA を活用した通信インフラと AI 化による利便性の向上） 施策：防災用定点監視、鳥獣被害対策
技術実証	ローカル 5G の性能評価や電波特性データの収集・分析検証
実装及び 横展開	実装及び横展開に向けた調査検討

### 1.3 実施体制

#### (1) 実証役割

- ① ローカル 5G 等の無線通信などの技術者、実証環境構築、電波伝搬試験実施：富士通(株)の協力を得て進めた。
- ② ローカル 5G 関連工事、LPWA 整備、施工管理：富士通ネットワークソリューションズ(株)、(株) ドリームワンカゴシマ、(株) 大協通信の協力を得て進めた。
- ③ 農機や農作業計画策定に係る関連機器・技術開発：(株) 日本計器鹿児島製作所、(株) テラスマイルの協力を得て進めた。
- ④ 実装及び横展開に向けた調査検討：ローカルキャリアとしての知見を持つ当社に加え、5G やクラウド・エッジ技術や利活用の知見を持つ富士通(株)、CATV 事業の知見を持つ BTV(株)、地域情報化の知見を持つ鹿児島大学升屋教授、地域情報化の知見を持つリード、(有) 青木通信電業社の協力を得て進めた。
- ⑤ ローカル 5G 技術実証：富士通ネットワークソリューションズ(株)、富士通九州ネットワークテクノロジーズ(株)、三和電子(株)、新日本テクトス(株)の協力を得て進めた。
- ⑥ システム開発：コンサル 4 1 /ユニバーサルソフト(株)の進捗管理のもと、鹿児島大学工学部の協力を得て進めた。
- ⑦ 本プロジェクトには事業の立ち上げや運営面でのコンサル 4 1 の経験のあるプロジェクトマネージャーを設置した。
- ⑧ 主管課及び関係課並びに課題実証全体調整事業者及び分野別課題実証調整事業者と調整・連携し、その連絡調整窓口を設置した。同様に、技術実証全体調整事業者との連携調整窓口等を設置した。
- ⑨ 「スマート農業実証プロジェクト(ローカル 5G)」及び「令和 2 年度スマート農業加速化実証事業」と連携することを目的に農林水産省と十分に調整・連携して進めた。

#### (2) 実施体制概要

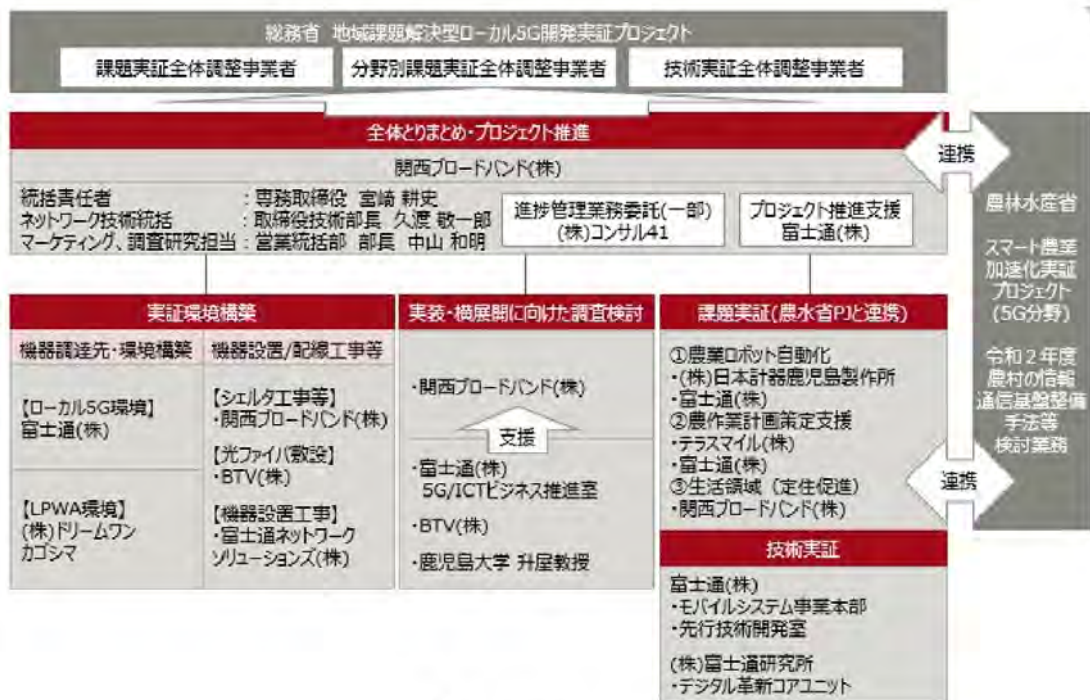


図 12.1-1 実施体制概要

(ア) コンソーシアムの参加企業・団体と役割

企業・団体名	役割
関西ブロードバンド株式会社	コンソーシアム主体
鹿児島大学	地域情報化・ネットワークに関する有識者
BTV 株式会社	CATV 事業の知見
株式会社日本計器鹿児島製作所	農機や農作業計画策定に係る関連機器・技術開発
テラスマイル株式会社	営農支援
富士通株式会社	5G およびクラウド・エッジ技術

(イ) コンソーシアム参加企業の責任者

企業・団体名	関西ブロードバンド株式会社
部署名・役職	役員・専務取締役
氏名	宮崎 耕史

企業・団体名	鹿児島大学
部署名・役職	情報基盤センター・教授
氏名	升屋 正人

企業・団体名	BTV 株式会社
部署名・役職	技術部・部長
氏名	福岡 三郎

企業・団体名	株式会社日本計器鹿児島製作所
部署名・役職	役員・専務取締役

氏名	加藤 正明
----	-------

企業・団体名	テラスマイル株式会社
部署名・役職	役員・代表取締役
氏名	生駒 祐一

企業・団体名	富士通株式会社
部署名・役職	モバイルシステム事業本部 モバイルソリューション事業部 第一ビジネス部 シニアマネージャー
氏名	木村 文

(ウ) コンソーシアム参加企業の主要メンバー

企業・団体名	関西ブロードバンド株式会社
部署名・役職	役員・専務取締役
氏名	宮崎 耕史
部署名・役職	技術部・取締役技術部長
氏名	久渡 敬一郎
部署名・役職	営業統括部・部長
氏名	中山 和明
実施概要	

企業・団体名	鹿児島大学
部署名・役職	情報基盤センター・教授
氏名	升屋 正人
実施概要	鳥獣対策向け画像診断 AI の開発（画像による檻の開閉診断）

企業・団体名	BTV 株式会社
部署名・役職	技術部・部長
氏名	福岡 三郎
部署名・役職	技術部・主任
氏名	岩切 壮志
部署名・役職	技術部
氏名	前之園 忠人
実施概要	志布志市におけるローカル 5G 構築のための光回線の敷設に必要な情報提供、引き込み工事、実装・横展開での地域ベンダーとしての顧客への調査

企業・団体名	株式会社日本計器鹿児島製作所
部署名・役職	役員・専務取締役
氏名	加藤 正明
部署名・役職	開発部・開発部長
氏名	山崎 淳一

企業・団体名	テラスマイル株式会社
部署名・役職	役員・代表取締役
氏名	生駒 祐一

企業・団体名	富士通株式会社
部署名・役職	モバイルシステム事業本部 モバイルソリューション事業部 第一ビジネス部・シニアマネージャー
氏名	木村 文
部署名・役職	モバイルシステム事業本部 モバイルソリューション事業部 第一ビジネス部・マネージャー
氏名	三重野 浩徳
部署名・役職	モバイルシステム事業本部 モバイルソリューション事業部 第一ビジネス部
氏名	一戸 俊孝
部署名・役職	モバイルシステム事業本部 モバイルソリューション事業部 第一ビジネス部
氏名	安田 力
部署名・役職	未来ネットワーク統括部 先行技術開発室
氏名	札幌 伸和
部署名・役職	富士通研究所 デジタル革新コアユニット 5G&映像解析プロジェクト・シニアリサーチエキスパート
氏名	二宮 照尚
部署名・役職	未来ネットワーク統括部 5G/ICT ビジネス推進室・シニアディレクター
氏名	森 大樹

#### (エ) 再委託事業者

企業・団体名	富士通ネットワークソリューションズ株式会社
部署名・役職	九州支店
氏名	田中 裕也
実施概要	富士通製ローカル 5G 機器の据え付け工事および実証試験に向けた、装置の操作習得及び、現地での装置操作、技術実証データ取得。

企業・団体名	株式会社ドリームワン鹿児島
部署名・役職	役員・代表取締役
氏名	五十百 裕之
実施概要	LPWA の提供を Dr. kakashi for LPWA という商品ラインナップで提供しており、今回はそこに FHD(フルハイビジョン) 画像 (1920 × 1080) を LoRa を活用して伝送し、富士通クラウドまで送信する仕組みを提供。また、GWに鹿児島大学と連携した AI を開発し、組み込んだ。加えて、お茶圃場内に定点観測機を設置

	し、気象及び土壌の環境データを観測。併せて、鳥獣対策・防災対策用の監視 LPWA を構築。鳥獣クラウドへ連携する仕組みを作り檻の開閉判断に AI を活用して有効性を検証。
--	---

企業・団体名	リード
部署名・役職	代表
氏名	山下 博美
実施概要	鹿児島県のシンクタンク機関である鹿児島県頭脳センターの専務を 20 年程勤め、行政面、技術面での知見がある。今回、実装及び横展開の検討に関する知見の提供とアドバイス。

企業・団体名	株式会社大協通信
部署名・役職	技術・部長
氏名	藤竹 正臣
実施概要	コア装置を入れるシェルタの敷設、シェルタ内ラックの設置、各種配線。

企業・団体名	有限会社青木通信電業社
部署名・役職	代表
氏名	青木 卓
実施概要	圃場への伝送路構築に必要な線路調査、共架申請、及び当社の線路構築の支援。

企業・団体名	株式会社コンサル 41
部署名・役職	役員・代表取締役
氏名	榎田 洋一
実施概要	鹿児島におけるプロジェクト管理や実行計画書の起草・作業項目詳細への落とし込み・進捗管理・テストの記録など現地での管理作業。 成果報告書作成業務において、取り纏めから提出までの全般支援。

企業・団体名	富士通九州ネットワークテクノロジーズ株式会社
部署名・役職	
氏名	浦田 昭一
実施概要	実証試験に向けた、データ整理ツール作成及び、技術実証データ取得のための現地測定器操作、課題実証のサポート。

企業・団体名	ユニバーサルソフト株式会社
部署名・役職	本社・主任
氏名	塩屋 恵太朗
実施概要	プロジェクトにおける進行管理の SE 部分を請け負う。開発業務タスク・WBS 可視化、開発業務スケジュール管理、開発業務品質管理、開発業務・予算管理等。

企業・団体名	扶桑電通株式会社
部署名・役職	システム本部 ICTイノベーション部 ICTマネジングコンサル室 課長代理
氏名	湯浅 智人
実施概要	プロジェクトにおける進行管理の成果報告書作成において、農業領域・生活領域・技術実証・実装及び横展開各領域別に作成されたものについて、領域ごとのバランスや粒度を調整し成果物納品への支援を担当。

企業・団体名	富士通エフネッツサービス株式会社
部署名・役職	所長
氏名	長谷川 圭一
実施概要	屋内機器のラック内搭載及び配線・接続。

企業・団体名	三和電子株式会社
部署名・役職	
氏名	川合 道雄
実施概要	実証試験に向けた、装置の操作習得及び、現地での装置操作、技術実証データ取得。

企業・団体名	新日本テクトス株式会社
部署名・役職	
氏名	伊藤 雄司
実施概要	実証試験に向けた、装置の操作習得及び、現地での装置操作、技術実証データ取得。



## 1.4 実証のスケジュール

来年度に向けて制度化が検討されている周波数帯において技術/課題実証を行うため、実験試験局免許を取得して実施した。

実証試験は、初めに技術実証を行い、課題実証はその測定データから実施が可能であることを確認した上で行うようにスケジュールリングをした。また、課題実証における 28GHz 帯と 4.7GHz 帯の同じ内容の試験については、続けて実施するようにした。

各周波数帯における技術/課題実証のスケジュールを図 1.4-1 に示す。

### ① 28GHz 帯

屋外利用可能な 28.2～28.3GHz（100MHz 幅）において実証を行った。

技術実証と課題解決システム実証を行い、実証完了後は、機器を撤収した。

### ② 4.7GHz 帯

屋外利用可能な 4.8～4.9GHz（100MHz）において実証を行った。

技術実証と課題解決システム実証を行いました。実証完了後も継続利用を視野に検討を行った。

### ③ 実装及び横展開に関する調査検討

ローカル 5G の事業モデル及び横展開に関する調査検討を行った。

また、共同利用型 SaaS プラットフォームを 5G 時代のインフラ構成のあり方も含めて調査検討を行った。

項目		2020年12月	2021年1月	2021年2月
28G帯実証試験	28G技術実証	12/7 → 12/9		
	28G課題実証	12/14	→ 1/19	
4.7G帯実証試験	4.7G技術実証		1/27	→ 2/19
	4.7G課題実証		1/29	→ 2/26

図 1.4-1.4-1 実証試験スケジュール

28GHz 帯技術実証においては、光ファイバ施設工事の遅延により試験開始が遅れたが、試験日程の予備日を使用して吸収することが出来ている。4.7GHz 帯実証試験においては、開発遅延により実証試験全体に遅延が発生していた。このため、28G 帯の課題実証を前倒しして、4.7GHz 帯の技術実証を後で実施するスケジュールに見直しを行うことで、予定通りの試験期間に収まるように対応を行った。

## 1.5 免許申請の概要

本実証試験では、28GHz の NSA システム+端末 3 台と、4.8GHz の SA システム+端末 3 台の 2 種類の実験試験局の免許申請を実施した。

表 1.5-1 28GHz NSA システム免許申請

項目	内容
1 免許人	富士通株式会社 ・富士通設備品を持ち込み、試験を行うため
2 申請先	関東総合通信局 ・常置場所を富士通新川崎テクノロジースクエア、移動先として鹿児島県志布志市を指定するため、関東総合通信局に申請を実施
3 申請概要	農業分野の課題解決に資する 28GHz 帯 および 2.5GHz 帯 ローカル 5G 無線通信システム (NSA) の具体的なユースケースを検討し、その有効性を検証するとともに、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、技術面・制度面・運用面からの課題抽出及び解決方策、当該実証モデルの今後の普及展開に向けた検討を行う。
4 事業者間調整	本実験試験局を運用するに当たり、2.5GHz 帯で隣接する携帯事業者様 (UQC/WCP)、および 28GHz 帯で隣接する携帯事業者様 (KDDI/Softbank) との間で事前に干渉調整を行い、合意済み。 地域 BWA 事業者およびローカル 5G・自営 BWA 事業者は対象エリア周辺にはおらず。(九州総通様へ確認済み)

表 1.5-2 基地局相当実験試験局の概要

項目	2.5GHz	28GHz
1 申請する局数	1 局	1 局
2 希望する周波数	中心周波数 2585.0MHz 帯域幅 20.0MHz	中心周波数 28250.04MHz 帯域幅 99.92MHz
3 定格出力	13dBm [20mW] (10mW×2 アンテナ) (EIRP=22dBm [158mW]、 アンテナ利得=12dBi)	19.2dBm [83.17mW] (0.866mW×96 アンテナ) (EIRP=42dBm [15.85mW]、 アンテナ利得=25.8dBi)
4 無線局の種別コード	E X	

表 1.5-3 移動局相当実験試験局の概要

項目	2.5GHz	28GHz
1 申請する局数	3 局	
2 希望する周波数	中心周波数 2585.0MHz 帯域幅 20.0MHz	中心周波数 28250.04MHz 帯域幅 99.92MHz
3 定格出力	23dBm [200mW] (100mW×2 アンテナ) (EIRP=25dBm [316mW]、 アンテナ利得=2dBi)	13dBm [20mW] (10mW×96 アンテナ) (EIRP=42dBm [15.85mW]、 アンテナ利得=25.8dBi)
4 無線局の種別コード	E X	

表 1.5-4 4.8GHz SA システム免許申請

項目	内容
1 免許人	関西ブロードバンド株式会社 ・実証後も含めて、関西ブロードバンドにてサービスを検討するため
2 申請先	九州総合通信局 ・常置場所を関西ブロードバンド鹿児島支店、移動先として鹿児島県志布志市を指定するため、九州総合通信局に申請を実施
3 申請概要	農業分野の課題解決に資する 4.8GHz 帯ローカル 5G 無線通信システムの具体的なユースケースを検討し、その有効性を検証するとともに、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、技術面・制度面・運用面からの課題抽出及び解決方策、当該実証モデルの今後の普及展開に向けた検討を行う為、実験試験局の開設を希望する。
4 事業者間調整	本実験試験局を運用するに当たり、4.8GHz で隣接する携帯事業者様 (NTT ドコモ) との間で事前に干渉調整を行い、合意済み。 その他、近隣エリアに調整すべき事業者はおらず。(九州総通様へ確認済み)

表 1.5-5 基地局相当実験試験局の概要

項目	基地局相当実験試験局	基地局相当実験試験局
1 申請する局数	2 局	1 局
2 希望する周波数	中心周波数 4850.01MHz 帯域幅 99.9MHz	中心周波数 4850.01MHz 帯域幅 99.9MHz
3 空中線電力	24.9dBm(77mW×4 アンテナ) (EIRP=39dBm、 アンテナ利得=14.3dBi)	24.9dBm(77mW×4 アンテナ) (EIRP=39dBm、 アンテナ利得=14.3dBi)
4 無線局の種別コード	E X	

表 1.5-6 移動局相当実験試験局の概要

項目	移動局相当実験試験局
1 申請する局数	3 局
2 希望する周波数	中心周波数 4850.01MHz 帯域幅 99.9MHz
3 空中線電力	23dBm(100mW×2 アンテナ)
4 無線局の種別コード	E X

## 2. 実証地域

### 2.1 実証地域の概要

今回の実証地域は鹿児島県の大隅半島の北部に位置する志布志市である。志布志市は志布志湾に面しており古くから海を糧に栄え、江戸時代には薩摩藩の直轄領となり、『志布志千軒町』と謳われる小江戸活況を呈していた。現在では飼料用穀物の輸入船の他、東京、大阪、沖縄を結ぶフェリーが運航されている。



図. 志布志市の位置 (小学館クリエイティブより引用)

人口は1955年の53,000人をピークに減り続け、2021年1月現在、約30,000人で鹿児島県内における第29位の自治体である。なお、65歳以上の割合が30.33%であることから、高齢化が進んでいる。

志布志市の農業における概要として、主要な産業は農業、畜産で、主にピーマン、イチゴ、メロン、茶葉、サツマイモ、うなぎ、食肉(牛、豚)などである。志布志市の総面積は290平方キロメートルで、農地は66平方キロメートルを占めており、そのうち、茶葉の作付面積は10平方キロメートルで、サツマイモと並んで志布志市で一番広い面積を占めている。なお、総農家数は2133戸で、生産額は412億円(平成27年)である。

志布志市におけるお茶の栽培の歴史は古く、享保11年(1726年)に志布志市有明町でお茶が生産された記録が残る。約300年の歴史を誇るお茶の名産地である志布志市は、全国2位の生産量を誇る鹿児島県の中でも、南九州市に次ぐ第2位のお茶の一大産地である。

一方、主要産業である農業従事者の高齢化、担い手不足にかかり、市では農業公社の設立やUターン、Iターン者への移住を対象とした住宅取得費用の補助金など、人口減少の解消と地域活性化に積極的である。しかしながら、根本的な労働力不足を補うためには、農作業の自動機械化・スマート化の積極的な導入推進が重要である。

## 2.2 実証環境

生産者の概要

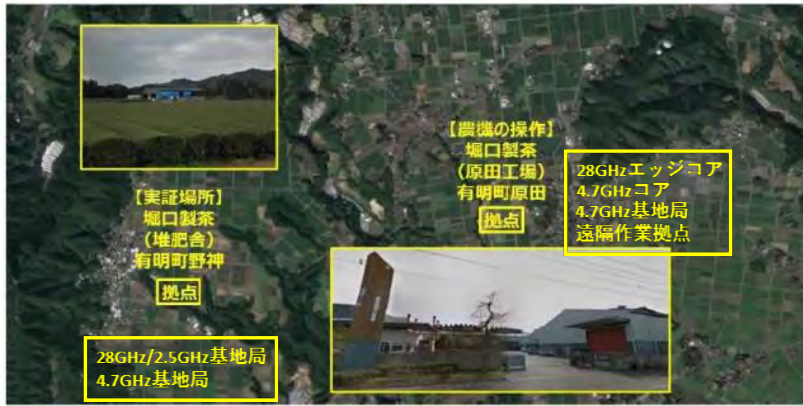
堀口製茶原田工場外観



煎茶製造ライン	240K 型	2 ライン	生葉最大処理量	100 t/day
碾茶ライン	300K 型	5 ライン	生葉最大処理量	30 t/day
発酵茶製造ライン	180K 型	1 ライン	生葉最大処理量	5 t/day

母体となる経営体	鹿児島堀口製茶有限会社
経営体の代表	代表取締役副社長 堀口 大輔
所在地	鹿児島県志布志市有明町蓬原758番地
経営面積	270ha（自社茶園 116ha）
主な雇用体制	社員62名、パート・アルバイト3名
直近の売上	138,824万円

実証を行う面積	4.5ha
実証を行う作目	茶
実証を行う農場	屋外試験：鹿児島県志布志市有明町野神付近堆肥舎付近圃場 屋内試験：鹿児島県志布志市有明町原田工場





## 荒茶製造工場(2006年3月完成)~No2~



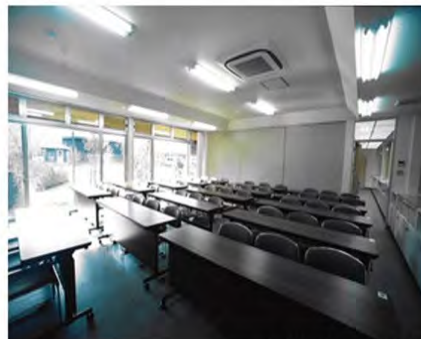
生葉受入コンテナの写真



工場内部の写真



仕上工程の写真



研修室の写真

### 2.3 地域課題等

志布志市は、南九州の温暖な気候と霧島山系由来の地下水がシラス台地を通して豊富に湧き出しており、農畜産物の生産にとって南九州随一の生育環境が整っている。一方では、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・鳥獣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。

志布志市の主要品目である茶業においては、農林水産大臣による「茶業及びお茶の文化の振興に関する基本方針」にかかり、茶業の振興ならびにお茶の文化の振興に関する取り組みを実施しているが、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。

一方、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ものの、諸外国における日本食ブームを背景にお茶の輸出量は増加傾向にあり、国内問題の解消、輸出促進を実現するために、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る。

志布志市における茶業は、早くから機械化に取り組んでおり、圃場の大規模化・規格化が進んでいることから、先人の築いたこうした資産を次世代の農業人へ引き継ぎ、ICT インフ

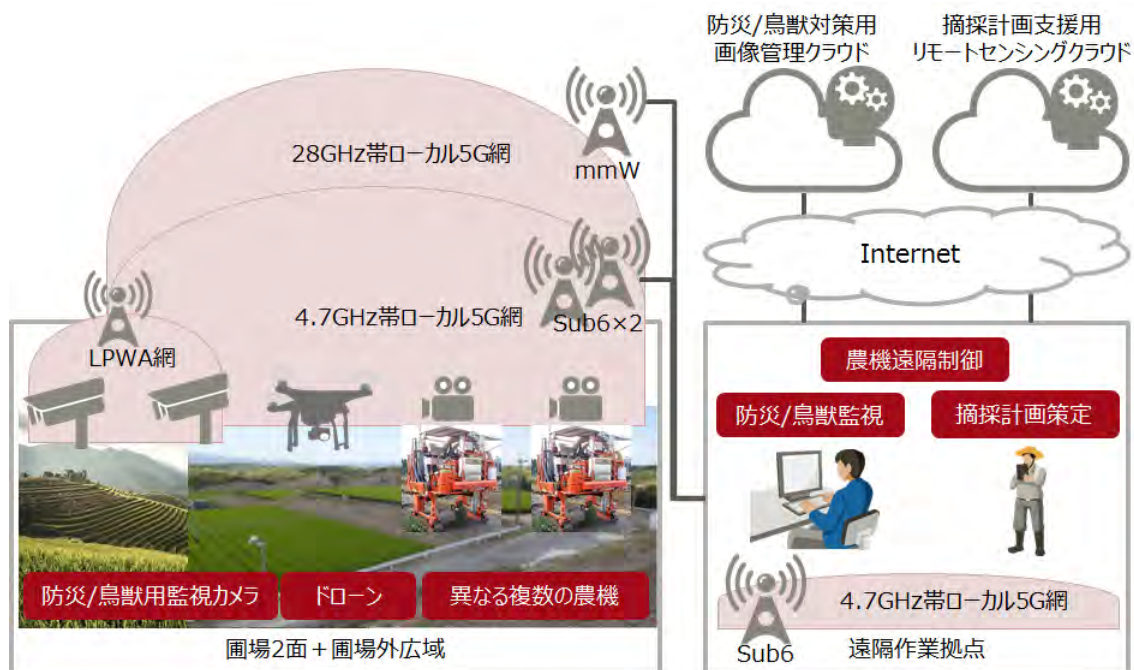
ラを活用して世界に通用する Made in JAPAN/Made by JAPAN を実現するべく取り組む。今回のプロジェクトでは、無人状態で自動走行（レベル3相当）する農業ロボットをローカル5Gを活用し遠隔操作制御を実現して大幅な省力化出来る土台を作る。並びにドローンを活用した摘採計画策定にかかるデータ収集と分析時間を短縮する。また、地域における定住促進に向けて、高圧縮した高品質画像を LPWA とローカル 5G の組み合わせることで画像転送する。また、圃場の定点観測、鳥獣被害対策における罠の監視と捕獲状況を画像判別 AI により自動判別することを実証する。





### 3. 実証環境

本実証を実現するネットワーク及び必要な機能を具備したシステムとして、構築するシステムの論理構成を図 3-1 に示す。



農業ロボット自動化や摘採計画策定のため、2つの圃場で農機の遠隔制御に必要なローカル 5G ネットワークを構築した。さらに、圃場に各種高精細カメラを搭載したドローンを配備し、そのカメラにより取得したデータを用いて、摘採計画を策定する摘採計画支援用リモートセンシングクラウドの環境を整備した。

また、遠隔作業拠点にて防災/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 網とローカル 5G 網を介して監視するネットワークを構築する。また、防災/鳥獣監視の画像を管理・分析する、防災/鳥獣対策用画像管理クラウドの環境を整備した。（防災と鳥獣監視は設定により使い分ける仕様であり、防災用は VGA 画像を 1 時間に 1 回送信し、AI 判定はしない。鳥獣監視は 1 日一回 FHD 画像で AI 判定行う（設定の変更はクラウド経由で動的に行う事が可能な仕様とする）。

#### 3.1 ネットワーク構成

本実証実験は、堀口製茶のお茶畑（野神圃場）にて実施する。使用する圃場は、ローカル 5G システムを設置する堀口製茶 原田工場から直線距離で約 2.5km 離れた場所に位置する。そのため、工場と圃場の間は、光ファイバを敷設し、ネットワークを構築した。

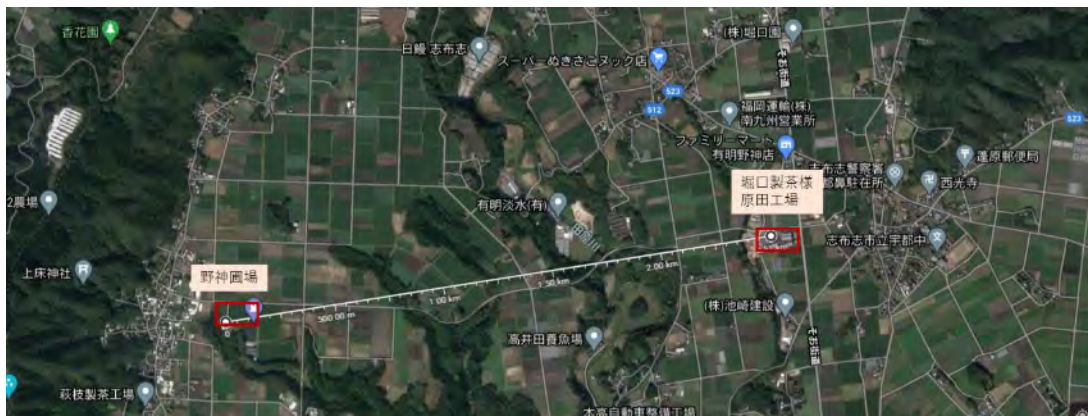


図 3.1-1 実証圃場位置

光ファイバの経路に関して、最短ルートに電柱が無いいため、既設電柱を活用するため図 3.1-2 に示すルートを使用することにした。結果、全長約 6km の光ファイバ敷設を行った。

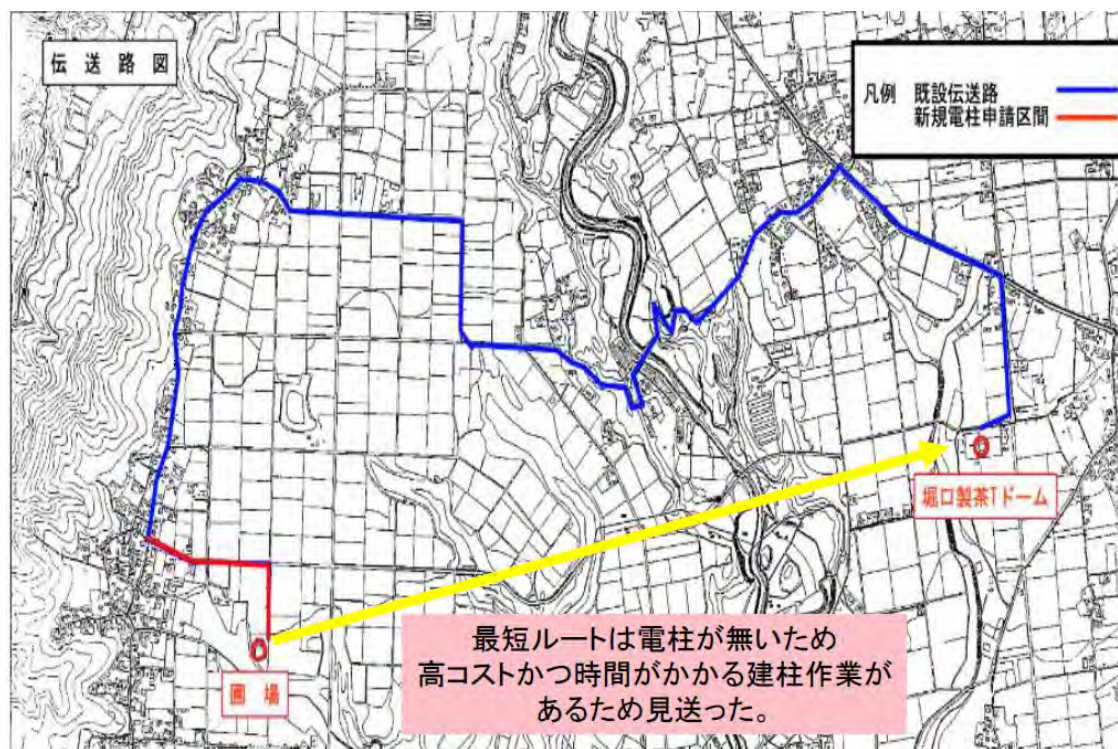


図 3.1-2 光ファイバ経路

### 3.1.1 システム構成

全体システム構成を図 3.1-3 に示す。野神圃場には、コンクリート柱を建柱し、ローカル 5G の 2 種類のアンテナ・RU を設置した。原田工場側には、屋外にシェルタを建設し、ローカル 5G のアンテナ・RU を除いたシステムを設置し、この間を敷設した光ファイバにて接続した。原田工場にも RU を設置し、シェルタ内のシステムに接続した。また、インターネット回線を 2 本準備し、1 本は、富士通 新川崎テクノロジースクエアに設置したコア装置と通信するため、もう 1 本は、クラウドへの接続に使用した。





図 3.1-4 に、野神圃場に建柱したコンクリート柱を示す。上から、NSA システム 2.5GHz アンテナ、NSA ミリ波 RU、SA RU#1、SA RU#2、NSA 2.5GHz 用 BBU の設置を行った。

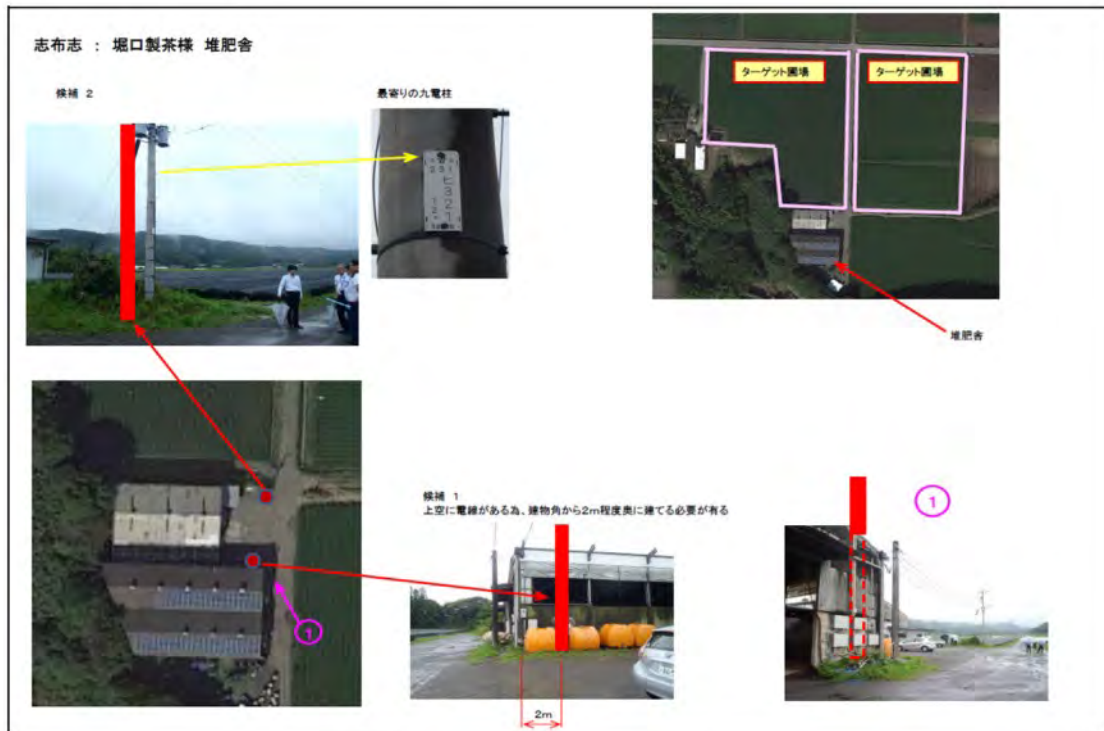


図 3.1-4 コンクリート柱に設置した機材

図 3.1-5 にシェルタ内に設置した、ローカル 5G システムを示す。



図 3.1-5 シェルタに設置した機材

図 3.1-6 に工場内に設置した RU を示す。

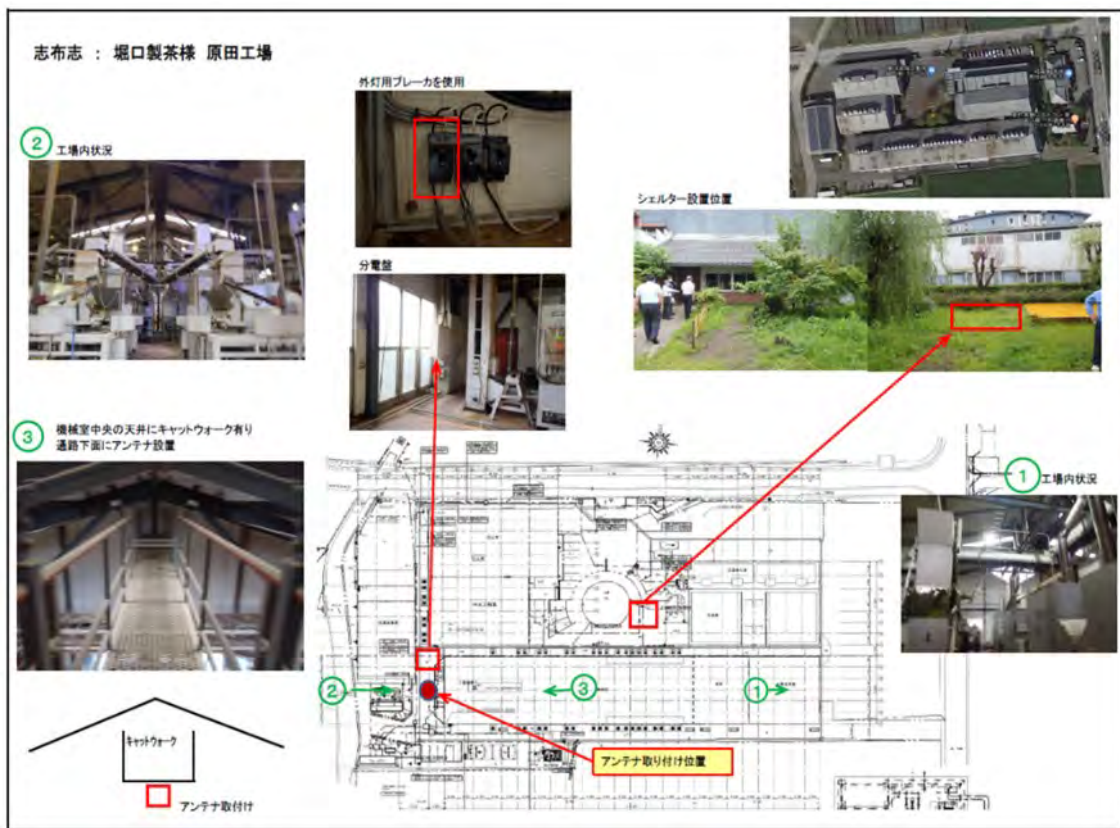


図 3.1-6 工場内の RU



図 3.1-7 に LPWA のシステムを示す。



《 LPWA親機・子機の配置 》





図 3.1-8 鳥獣クラウド画面



図 3.1-9 AI 判定用の箱罠 (AR マーカー)



## ■L5G事業：志布志市有明町圃場－2020/11/19開始

《 アグリマルチセンシングSaaS 週間 》



図 3.1-10 アグリマルチセンシング SaaS 画面（葉期管理）



図 3.1-11 LPWA 子機画像（葉期 AI 判定用）

変数	種別	鳥獣調査	防災監視	お茶葉期判定	注記
運用モード	フラグ	1	2	3	
カメラ撮影	開始時刻	7時00分	7時00分	9時00分	CPU:ラブパイ3
	終了時刻	7時00分	17時00分	15時00分	ドングル:PIX-MT100
	全時刻	7時	7・8・9・10・11・12・13・14・15・16・17時	9・12・15時	
	解像度	800×600px	800×600px	1920×1080px	
A I 判定	開始時刻	7時30分	無し	11時50分	CPU:ラブパイ4
	終了時刻	7時30分		17時50分	
	全時刻	7時30分		11時50分, 14時50分, 17時50分	
	1日回数	1回		3回	
LTE送信	開始時刻	8時25分	8時25分	8時25分	CPU:ラブパイ2
	終了時刻	8時25分	17時55分	17時55分	ドングル:MS2372h-607
	全時刻	8時25分	8時25分～17時55分	8時25分～17時55分	
	送信間隔	毎時25分及び55分	毎時25分及び55分	毎時25分及び55分	
	送信条件	①画像とA I 判定ファイルが存在する場合のみ、データ送信を行う ②データ送信後は、画像を削除する。	データ送信後は、画像を削除する。	データ送信後は、画像を削除する。	
クラウド	名称	鳥獣害対策クラウド		圃場管理クラウド	
	表示開始時刻	8時30分	8時30分	12時00分	
	表示終了時刻	8時30分	17時30分	18時00分	
	間隔	毎時00分及び30分	毎時00分及び30分	毎時00分及び30分	
	画面表示	①「写真が更新されました」のメッセージと画像 ②「わなが作動しました」のメッセージと画像		葉期 数値	葉期グラフ

図 3.1-12 カメラ制御仕様

### 3.1.2 エリアカバレッジ

#### 3.1.2.1 28GHz NSA システムエリアカバレッジ

28GHz NSA システムのエリアカバレッジを図 3.1-13 に示す。

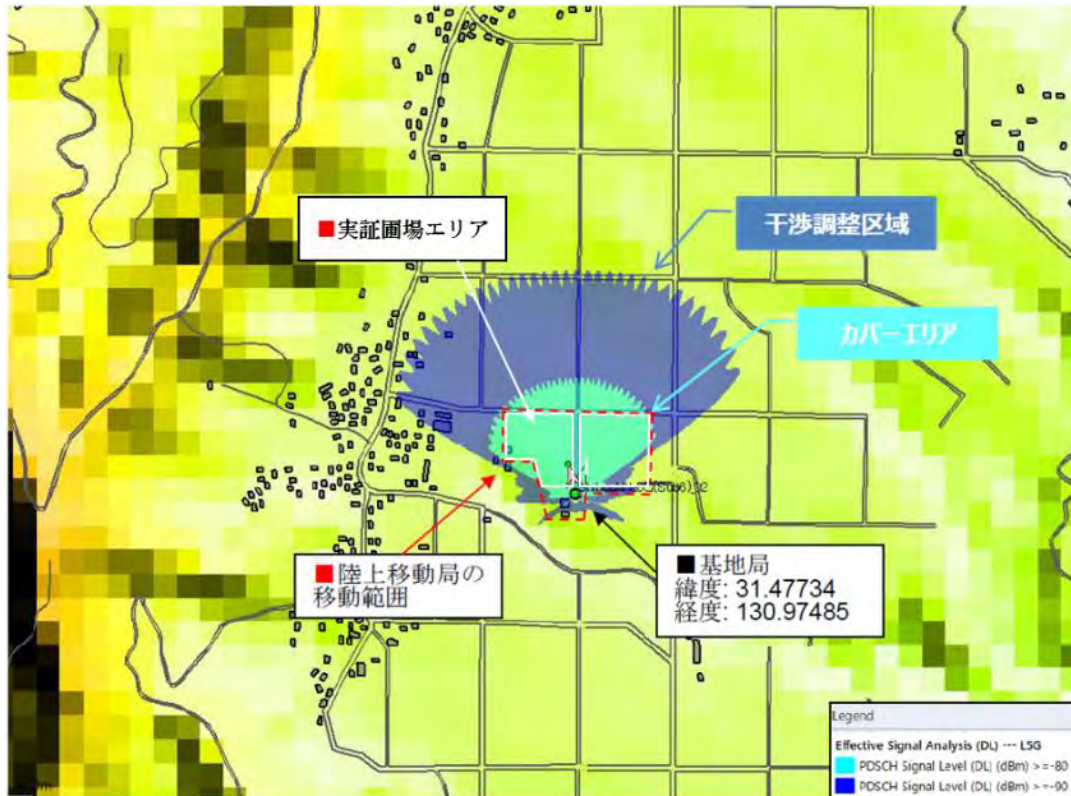


図 3.1-13 28GHz NSA システムエリアカバレッジ

#### 3.1.2.2 4.8GHz SA システムエリアカバレッジ

4.8GHz SA システムの圃場におけるエリアカバレッジを図 3.1-14 に示す。



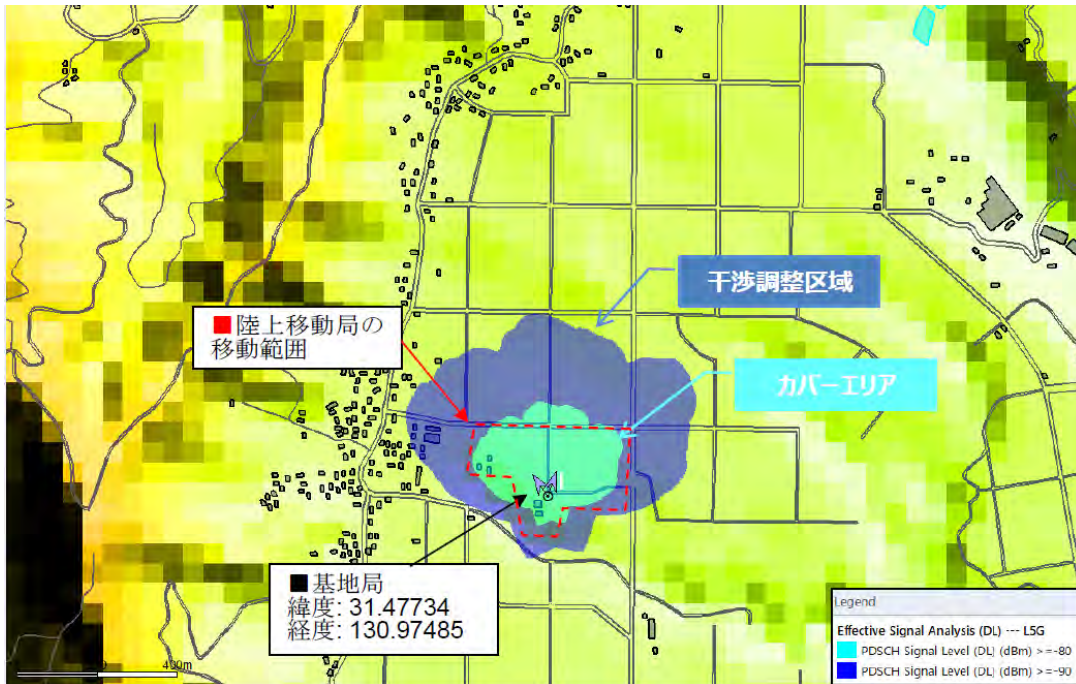


図 3.1-14 4.8GHz SA システムエリアカバレッジ (圃場)

4.8GHz SA システムの屋内におけるエリアカバレッジを図 3.1-15 に示す。

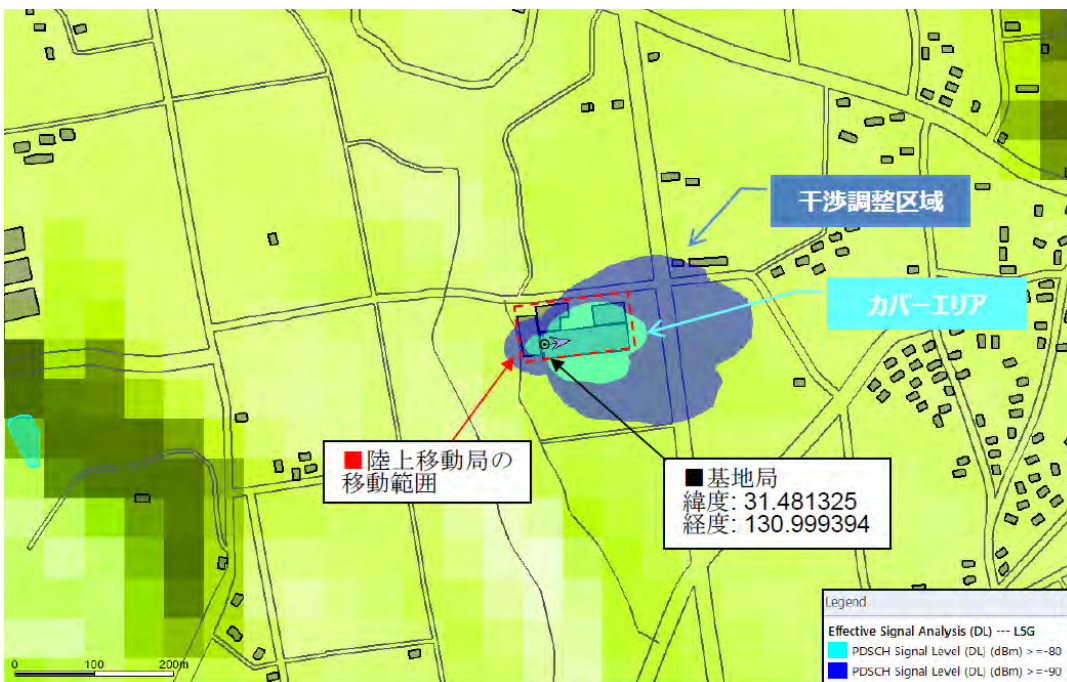


図 3.1-15 4.8GHz SA システムエリアカバレッジ (屋内)

### 3.1.3 機器構成

#### 3.1.3.1 28GHz NSA システム機器構成

28GHz 帯ローカル 5G 網の実証環境中、ローカル 5G のエッジコアと基地局は遠隔作業拠点に設置され、ローカル 5G の無線機は圃場に設置される。

28GHz 帯ローカル 5G 網の実証環境であるネットワークの構成を図 3.1-16 に示す。

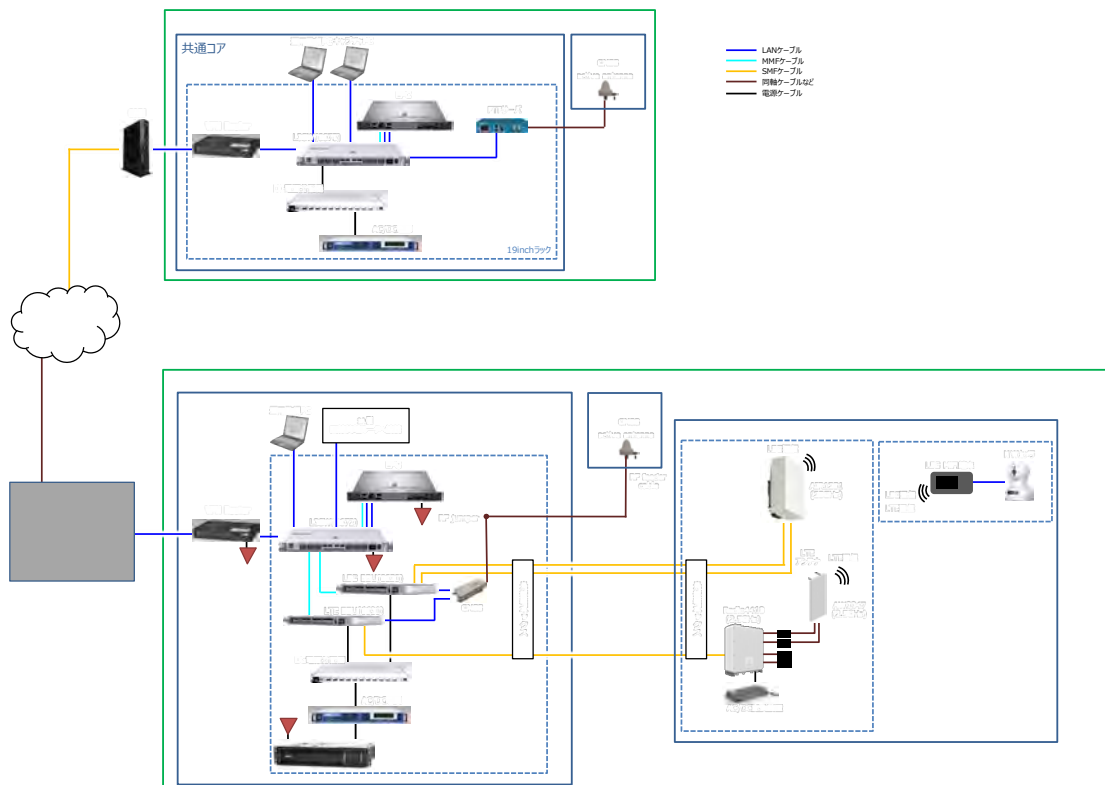


図 3.1-16 NSA システム構成

#### 3.1.3.2 28GHz NSA システム使用機器

28GHz 帯ローカル 5G 網のネットワーク構成で使用する機器の一覧を表 3.1.3-1 に示す。また、その使用機器一覧には、それらの機器に対する数量・設置形態（固定・可搬等）、調達先を示す。

表 3.1.3-1 28GHz NSA システム 使用機器一覧

No	設置場所	使用機器	調達先	数量	設置形態	備考
1	共通コア (富士通)	GNSS Active antenna	富士通	1	固定	
2		EPC	〃	1	〃	
3		L3SW(6675)	〃	1	〃	
4		DC 電源分配器	〃	1	〃	
5		AC/DC 電源	〃	1	〃	

6		PTP サーバ	〃	1	〃	
7		VPN Router	〃	1	〃	
8		ONU(光回線終端装置)	〃	1	〃	
9	遠隔作業拠点	GNSS Active antenna	〃	1	〃	
10		EPG	〃	1	〃	
11		L3SW(6672)	〃	1	〃	
12		ローカル 5G BBU(6630)	〃	1	〃	
13		LTE BBU(6630)	〃	1	〃	
14		DC 電源分配器	〃	1	〃	
15		AC/DC 電源	〃	1	〃	
16		GNSS receiver unit	〃	1	〃	
17		UPS	〃	1	〃	
18		VPN Router	〃	1	〃	
19		ブロードバンドルータ	〃	1	〃	
20		ケーブルモデム	〃	1	〃	
21		光接続ボックス ラック マウント型	〃	1	〃	
22		圃場 1/圃場 2	AIR1281	〃	1	〃
23	Radio4418(2.5GHz)		〃	1	〃	LTE RRH
24	AC/DC 電源変換器		〃	1	〃	
25	同軸 ATT		〃	4	〃	
26	L T E アンテナ		〃	4	〃	
37	光接続ボックス 壁掛け 型		〃	1	〃	
38	ローカル 5G MiFi 端末		〃	3	可搬	

### 3.1.3.3 4.8GHz SA システム機器構成

4.7GHz 帯ローカル 5G 網の実証環境中、ローカル 5G の 5G-Core と基地局は遠隔作業拠点に設置され、ローカル 5G の無線機は圃場と室内施設に設置される。

4.7GHz 帯ローカル 5G 網の実証環境であるネットワークの構成を図 3.1-17 に示す。

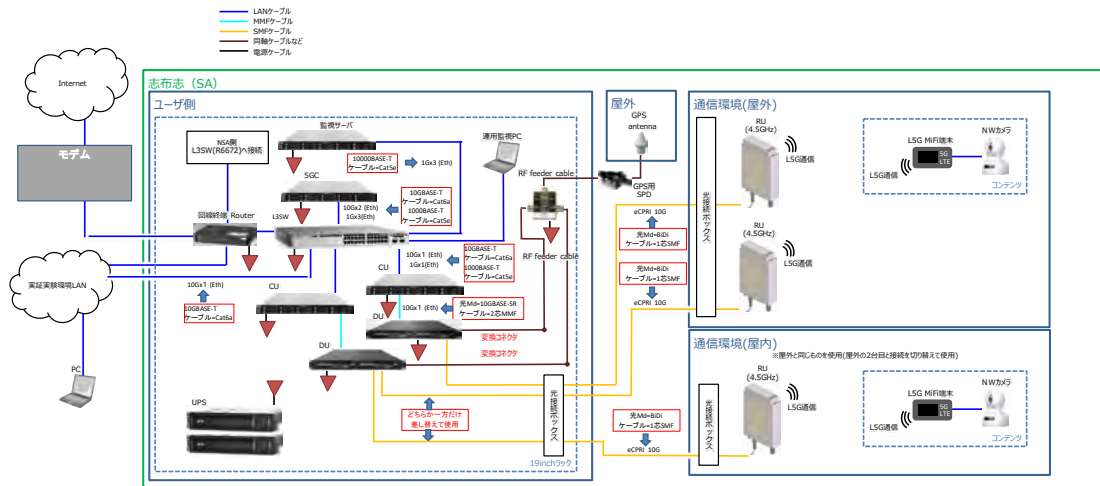


図 3.1-17 SA システム構成

3.1.3.4 4.8GHz SA システム使用機器

4.7GHz 帯ローカル 5G 網のネットワーク構成で使用する機器の一覧を表 3.1.3-2 に示す。また、その使用機器一覧には、それらの機器に対する数量・設置形態（固定・可搬等）、調達先を示す。

表 3.1.3-2 4.8GHz SA システム 使用機器一覧

No	設置場所	使用機器	調達先	数量	設置形態	備考
1	遠隔作業拠点	5G-Core	富士通	1	固定	
2		L3SW	〃	1	〃	
3		CU	〃	2	〃	
4		DU	〃	2	〃	
5		EMS	〃	1	〃	
6		UPS	〃	2	〃	Smart-UPSSMX 3000RMJ
7		GPS アンテナ	〃	1	〃	
8	圃場 1/圃場 2	RU(4.7GHz)	〃	3	〃	5G RU/アンテナ(屋外)
9	室内施設	ローカル 5G MiFi 端末	〃	3	可搬	圃場 1/圃場 2 の 3 台と室内施設の 3 台は同一設備

### 3.1.4 構築スケジュール

図 3.1-18 に示す構築スケジュールにて、システム構築を実施した。

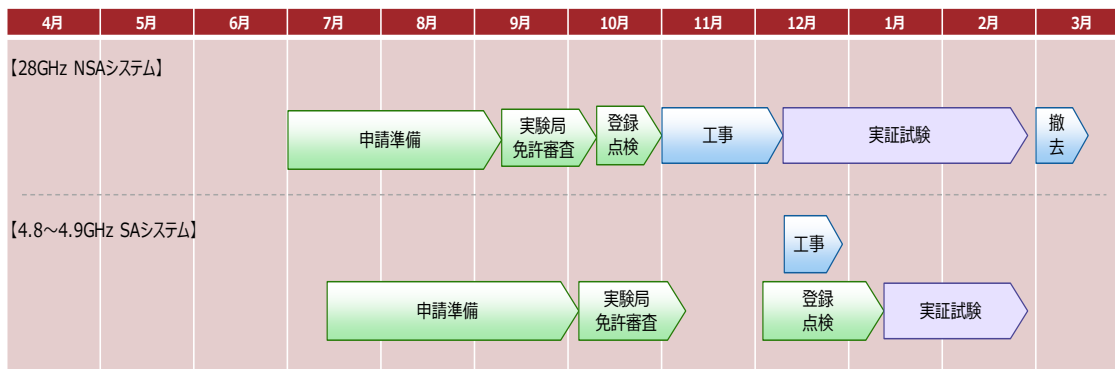


図 3.1-18 構築スケジュール

## 3.2 システム機能・性能・要件

### 3.2.1 ローカル 5G システム(基地局)の概要

本実証のローカル 5G の周波数帯は 28GHz 帯と 4.7GHz 帯の 2 種類である。そのローカル 5G システム(基地局)の主な無線部特性を表 3.2.1-1 に示す。

周波数帯域については、28GHz 帯は制度化が完了している 28.2~28.3GHz 帯を選定しており、4.7GHz 帯は屋外で電波発出が可能となる 4.8~4.9GHz 帯を選定している。

表 3.2.1-1 ローカル 5G システム(基地局)の主な無線部特性

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

### 3.2.2 ローカル 5G コアネットワーク部の概要

28GHz 帯ローカル 5G 網に適用されるコアネットワークは 28GHz 帯用 EPC で、4.7GHz 帯ローカル 5G 網に適用されるコアネットワークは 4.7GHz 帯用 5G-Core である。

本実証に用いるローカル 5G のコアネットワーク部の概要を表 3.2.2-1 に示す。

表 3.2.2-1 ローカル 5G コア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

### 3.2.3 ローカル 5G 端末の概要

28GHz 帯ローカル 5G 網で使用される端末は 3 台、4.7GHz 帯ローカル 5G 網で使用される端末は 3 台で、共に Compal 社の製品である。

本実証に用いるローカル 5G 端末の概要を表 3.2.3-1 に示す。

表 3.2.3-1 ローカル 5G 端末の概要

	ローカル 5G 28G 帯 使用端末	ローカル 5G 4.7G 帯 使用端末
機種	5G MiFi/Pocket Router (mmWave - JP Loca ローカル 5G)	5G MiFi/Pocket Router (Sub 6 - Global)
Vendor	Compal Electronics	Compal Electronics
Dimensions	119×72×23.5mm	119×72×23.5mm
Weight	235G	235G
5G NR	3GPP Rel15. Dec B41+n79+n257	3GPP Rel15. Dec N41, n77, n78, n79 and reframed sub6 bands
4G LTE	DL Cat20, UL Cat13	DL Cat20, UL Cat13
MIMO	DL=2x2MIMO UL=SISO または 2x2MIMO	DL=4x4MIMO UL=2x2MIMO
Modulation	64QAM (MAX QAM order for NR)	256QAM (MAX QAM order for NR)

### 3.2.4 システムの全体のスループット

圃場を使用する高精細カメラで取得した映像を遠隔制御端末やクラウドに送信するため、システム全体の UL スループットは 50Mbps 以上の性能が必要である。また、遠隔制御端末からの制御データを圃場や室内施設の農機ロボットへ送信するため、システム全体の DL スループットは数 Mbps 以上の性能が必要である。

本実証のシステムのスループットはローカル 5G の無線部に依存し、表 3.2.4-1 に示す通りである。当数値は上記要求条件を満たすシステムとなる。

また、LPWA のスループットは低速伝送を前提とした防災/鳥獣監視のシステムのため、最大で 250bps である。

表 3.2.4-1 システム全体のスループット

システム	周波数帯	DL スループット	UL スループット	条件
ローカル 5G	28GHz 帯	0.53Gbps 以上	0.1Gbps 以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>帯域幅 100MHz</li> <li>TDD DL:UL 比率=4:1</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>・MIMO2 レイヤー(UL/DL) とも</li> <li>・64QAM(UL/DL) とも</li> </ul>
	4.7GHz 帯	1.7Gbps 以上	0.2Gbps 以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・帯域幅 100MHz</li> <li>・TDD DL:UL 比率=4:1</li> <li>・MIMO2 レイヤー(UL/DL) とも</li> <li>・64QAM(UL/DL) とも</li> </ul>
LPWA	920MHz 帯	最大 250bps		LoRa 規格

### 3.2.5 システム全体の遅延

一般に、端末操作から遠隔地の操作状況表示までの遅延（映像提示遅延）は 200ms 程度が必要とされている。

本実証のローカル 5G システムの遅延は表 3.2.5-1 に示すとおりであり、上記要求条件を満たすシステムとなる。

表 3.2.5-1 システム全体の遅延

周波数帯	DL 遅延	UL 遅延	条件
28GHz 帯	最大 200ms		カメラ～制御端末の Round-Trip Time ※農機具の動作時間は除く
4.7GHz 帯			

### 3.2.6 その他の機能・性能

以下機器を活用して、高精細カメラを用いた映像伝送（上り回線）及び農機ロボットの遠隔制御機能について検証できる伝送帯域及び遅延等の性能を具備したシステムを構築する。

#### (1) 映像システム

表 3.2.6-1 映像システムの適用機器一覧

カメラ	映像システム	品名	主要スペック
NW カメラ	NW カメラ	VB-H730F Mk II (Canon 製)	映像圧縮方式：H.264 解像度：1920x1080 フレームレート：最大 30fps
	映像表示端末	Dell Precision T3630 (Dell 製)	CPU：Core i5-8500 メモリ：8GB SSD：512GB グラフィックボード： Radeon Pro WX 2100 OS：Windows 10 Pro
非圧縮カメラ	非圧縮カメラ	XCG-CG240C (Sony 製)	映像圧縮方式： 非圧縮 (Bayer 8bit) 解像度：1920x1080

			フレームレート：～41fps
	映像表示端末	Dell Precision T3630 (Dell 製)	※NW カメラと同じ端末を使用。
映像伝送装置	映像伝送装置 (エンコーダ装置、デコーダ装置)	IP-HE950 (富士通製)	映像圧縮方式：H. 265 解像度：1920x1080 フレームレート：59.94fps
	3G-SDI カメラ	STC-HD203SDI (オムロンセンテック製)	解像度：1920x1080 フレームレート：59.94fps 出力：3G-SDI 他
	3G-SDI モニタ	SH1560S (ADTECHNO 製)	解像度：1920x1080 入力：3G-SDI 他

## (2) 遠隔制御システム

表 3.2.6-2 遠隔制御システム

遠隔制御システム	品名	主要スペック
遠隔制御装置	Raspberry Pi 4 Model B	SoC：Broadcom BCM2837B0 OS：Ubuntu 20.04.1 LTS ROS：ROS2 Foxy

## 3.3 実証環境の運用

### 3.3.1 実証参加者への研修

実証参加者に対して、以下を実施している。

#### (1) 技術実証参加者

11月に日本計器鹿児島製作所、鹿児島県農業開発総合センター茶業部、富士通にて、実証実験に関する事前リハーサルを実施し、試験シナリオや役割分担の共有を実施している。

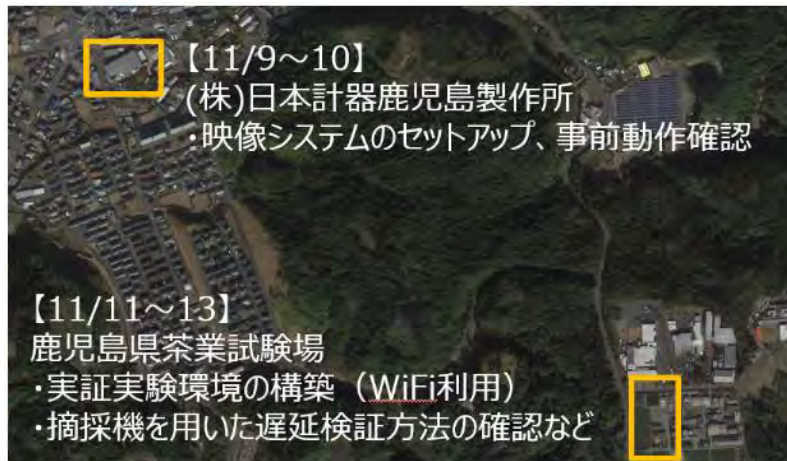
#### 【リハーサル実施概要】

自動化農機の遅延検証に対する機器の接続方法、検証方法に関して、事前にリハーサルを実施した。

#### ・日時・場所

令和2年11月9日(月)～13日(金)

鹿児島県南九州市知覧町



- ・参加者
  - 日本計器様、鹿児島県農業開発総合センター様、松元機工様、富士通
- ・リハーサル項目
  - ① 実証実験環境の構築・動作確認
    - 映像システム 3 種を含めた全体環境構築、動作確認
  - ② 遅延検証方法確認
    - ア) 緊急停止距離・時間の検証方法の確認
    - イ) 遠隔操作時の映像提示遅延の検証方法の確認
    - ウ) その他検証方法に関する実機確認（映像録画方法など）
- ・リハーサル内容
  - 実証実験に向け、日本計器様開発中の遠隔制御システム等を用いて、WiFi での擬似的な実証実験環境の構築、合同検証の方法等の確認・認識合わせを行った。
- ・リハーサル風景





#### 実証実験環境の構築・動作確認

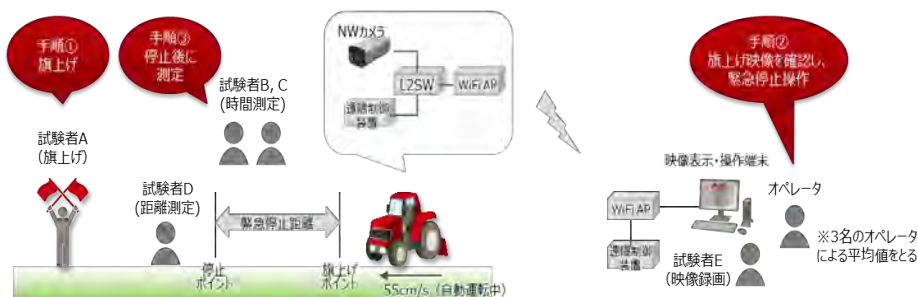
中項目	小項目	確認結果	備考
1.1.実証実験環境構築	1.1.1.NWカメラ	問題なし	
	1.1.2.非圧縮カメラ	問題なし	
	1.1.3.映像伝送装置+3G-SDIカメラ	問題なし	
1.2.動作確認	1.3.1.自動運転中の緊急停止	問題なし	
	1.3.2.遠隔操作	問題なし	
1.3.摘採機環境確認	1.2.1.機材設置・電源確保	問題なし	一部継続検討(*1)
	1.2.2.作業性(スペース等)	課題あり	搭乗人数の削減を検討中。

(\*1) 摘採機側の電源容量がひっ迫していることを確認した。機器の運用方法(不要な機材の電源OFF)やバッテリー追加等の対策を検討中である。

#### 遅延検証方法の確認

中項目	小項目	確認結果	備考
2.1.緊急停止	2.1.1.緊急停止距離・時間検証手順	問題なし	2.1項参照
2.2.遠隔操作	2.2.1.映像提示遅延検証手順	問題なし	2.2項参照
2.3.その他	2.3.1.映像録画方法	問題なし	
	2.3.2.映像編集方法	問題なし	

## ■ 測定手順概要



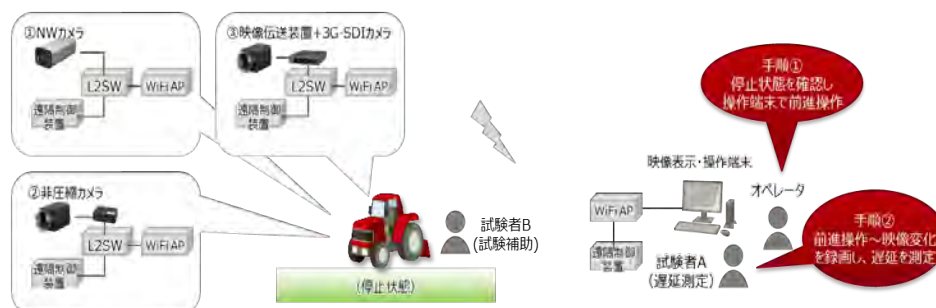
## ■ 測定結果 (参考値)

検証項目	測定結果				(ご参考) 従来システム ※商用LTE使用
	A(50歳代)	B(70歳代)	C(40歳代)	平均	
1 緊急停止距離	0.30m	0.45m	0.34m	<b>0.36m</b>	約1.6m
2 緊急停止時間	1.03秒	1.34秒	1.06秒	<b>1.14秒</b>	約2.9秒

- 実際の構成（ローカル5Gシステムを含むネットワーク構成）での検証は必要ですが、従来システムよりも緊急停止時間が短縮される見込みであることを確認しています。（\*1）(\*2)

(\*1) 従来システムは、システム仕様の都合上、空走時間を測定しています。一方今回の緊急停止距離・時間は、空走距離・時間と制動距離・時間の合計値です。  
(\*2) 緊急停止距離・時間のうち、制動距離・時間（ブレーキ開始から停止まで）の測定方法は継続検討中です。（日本計器様）

## ■ 測定手順概要



## ■ 測定結果 (参考値)

検証項目	測定結果 (3回測定結果の平均値)		
	①NWカメラ	②非圧縮カメラ	③映像伝送装置
1 映像提示遅延	0.78秒	0.70秒	0.72秒

- 上記測定とは別に、各映像システムの映像処理時間(コーデック等)は、それぞれ異なりますが300ms以下程度であることを確認しています。  
そのため今回の上記測定結果は、映像処理部分よりも遠隔操作部分（特に、摘採機制御により動作するまでのメカニカルな動作）の時間がより支配的な状況であると想定しており、この動作時間の測定方法について、日本計器様にて継続検討中です。

### (2) 堀口製茶

1月に、ローカル5Gの概要、問題発生時の連絡体制等の研修を行った。自動農機に関

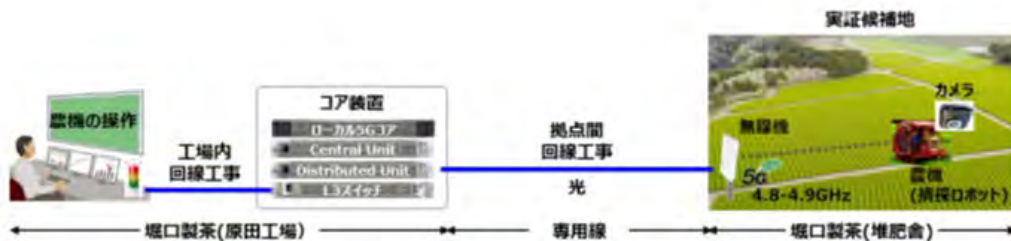


しては、これまでの農水プロジェクトにて操作者研修実施済みであり、操作者の認定を実施している。

【説明会実施概要】

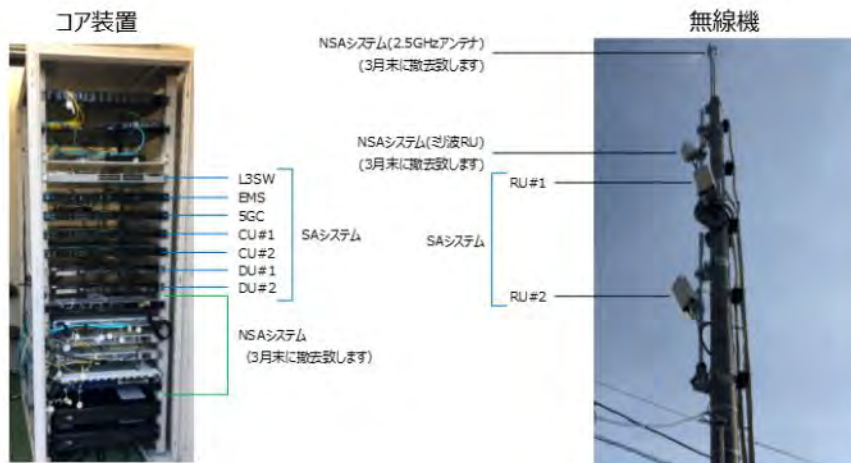
堀口製茶様にご提供のローカル 5G SA システムの概要および SA システムにおける装置管理システムによる警報表示方法の説明を行った。

- ・日時・場所
  - 令和 3 年 1 月 29 日(金)
  - 鹿児島県志布志市原田工場
- ・参加者
  - 堀口製茶) 堀口(俊)様、小牧様、入来様
- ・説明内容
  - ①堀口製茶様にご提供のシステムについて
    - ア) ネットワーク構成



茶畑で撮影した画像を、圃場にある無線機を通してコア装置に送信し、コア装置内でデータ処理を行って農機の操作システムに転送することが出来る。また、操作システムからの農機操作は、コア装置を通して無線機から農機に伝えられるが、超高速、超低遅延の性能を活かして、安全に操作を行うことが出来る。

イ) システム構成



SA システム機器の設置写真およびシステム構成図を用いて、堀口製茶様における SA システムの概要を説明した。

②SA システムの装置管理について

SA システムの装置管理は、SA システムの構成品である EMS (監視サーバ) により提供さる。EMS では、以下の 4 通りの管理が提供される。

- ・構成管理
- ・コンフィグ管理
- ・インベントリ管理
- ・警報管理

SA システムにおいて障害が発生した場合、上記管理の警報管理に表示される。発生した警報を確認する警報表示手順について、EMS の装置管理システムである ODLUX システムを使用する場合の手順を説明した。

・質疑応答

説明会にて頂きました質疑応答の内容を以下に示す。

項	質問	回答
1	問題があった場合はリモートでの対応が可能か。	実証期間中はリモートでの対応を考えている。
2	監視端末の近くに置いておくマニュアルがほしい。	マニュアルを用意する。
3	アラーム時の堀口製茶側での対応内容、復旧見込み時間の情報がほしい。	ご要望について検討する。
4	連絡体制を明確にしてほしい。	連絡体制を明確にする。
5	どのようなアラームがあるのか。	マニュアルにアラーム一覧を記載する。

### 3.3.2 ヘルプデスク体制

保守管理体制を図 3.3-19 に示す。



図 3.3-19 保守管理体制



### 3.3.3 障害管理

表 3.3.3-1 に実証期間中に発生した、障害発生状況を示す。

表 3.3.3-1 発生事象一覧

発生日時	発生事象	原因
2021年2月3日	(同)アグリセンシング ドローンで空撮した画像をモバイルPCと28GHzモバイルルータをWiFi接続してエッジ処理サーバに送信したところ相当な時間がかかった。 このため、モバイルPCと28GHzモバイルルータ間をケーブル接続に変更した結果、送信速度が早くなり、4圃場の空撮画像16.05GBが34分24秒でエッジ処理サーバに伝送完了できた。	モバイルPCと28GHzモバイルルータをWiFi接続すると伝送速度はかなり遅かった。

### 3.4 関連事業

令和2年度農水省スマート農業加速化実証事業と連携している。

課題番号 5GH03

課題名 ローカル5Gに基づく超高速・超低遅延による自動運転（レベル3相当）およびドローン/LPWA等による圃場センシング・AIなど営農・栽培データ解析による摘採計画の最適化体系及びシェアリングの実証

図 3.4-1 プロジェクト間の購入機器類のすみわけ

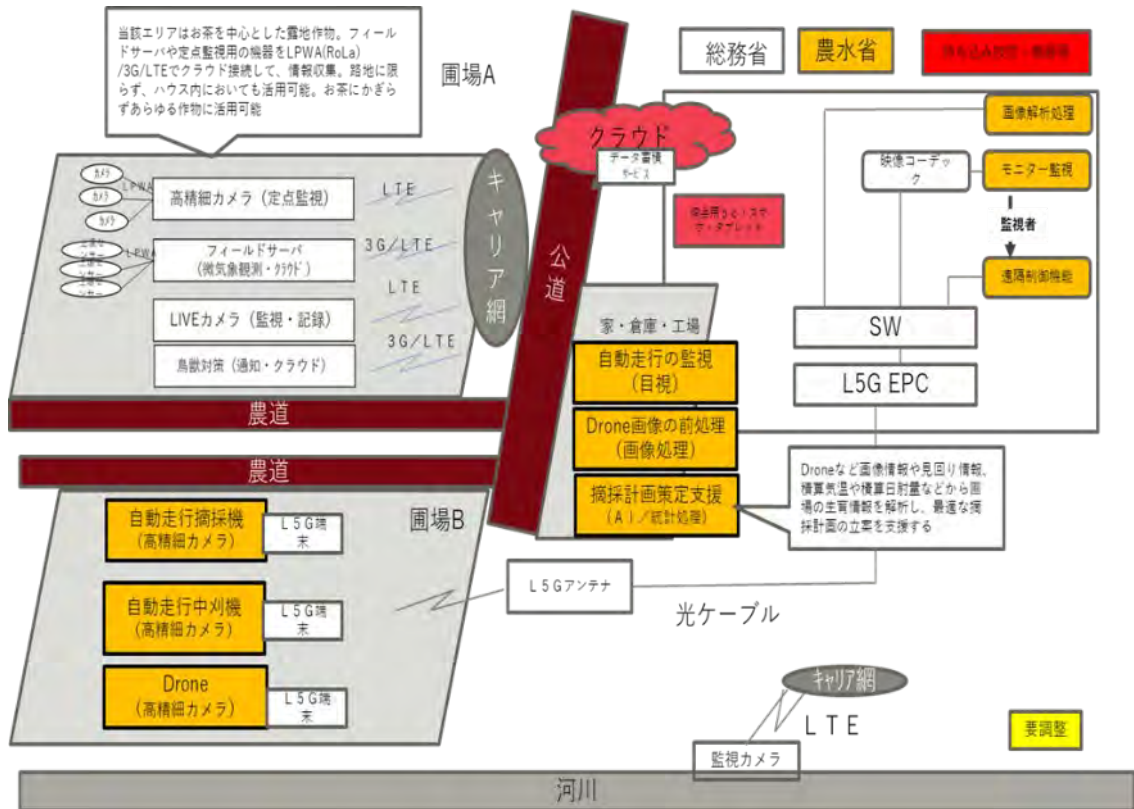
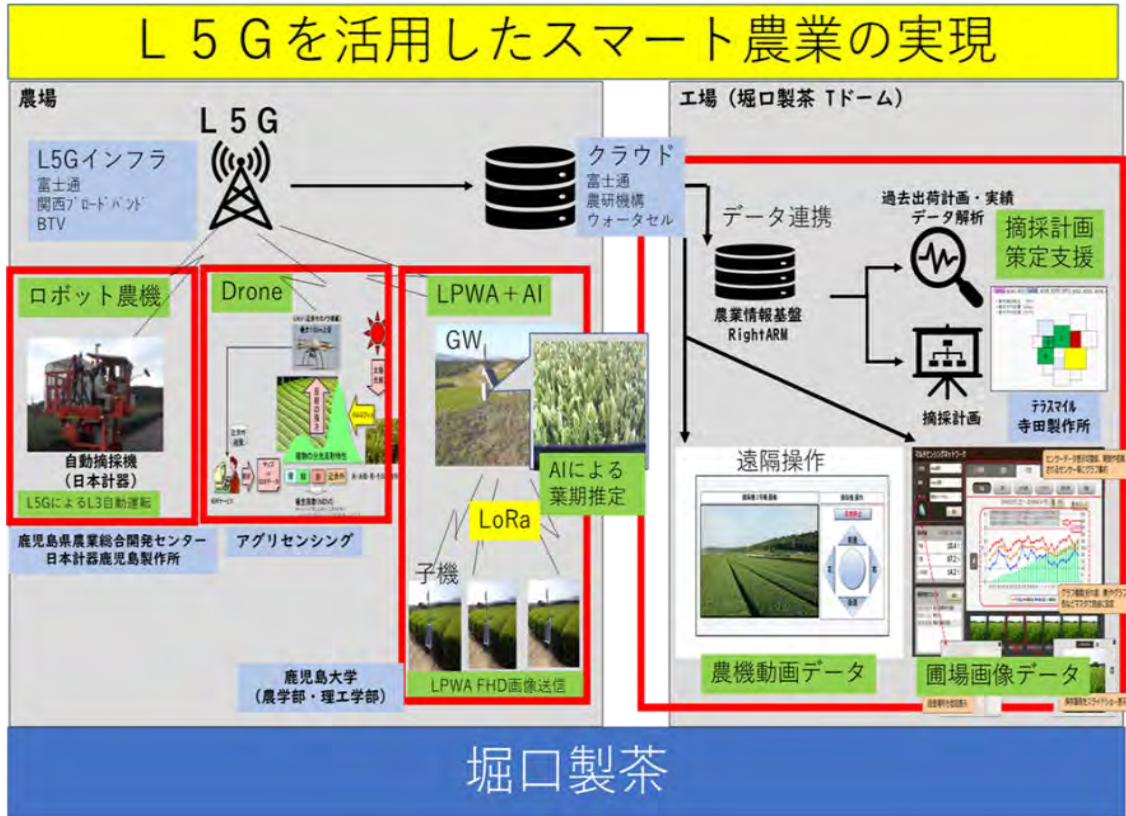


表 3.3.4-1 総務省事業と農水省事業における検証項目・費目概要整理表

課題解決システム (仕様書上の番号)	実施事業	検証項目 (概要)	予算支出項目 (概要)
ア-1	総務省	<p>ア 検証・評価分析:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①農機の単独/複数走行それぞれの1.8秒以内での緊急停止</li> <li>②農機の前後左右の遠隔操作検証</li> <li>③上記①に関する28GHz/4.7GHz帯それぞれの検証</li> <li>④上記①に関する非圧縮映像/超低遅延コーデック搭載パターンによる検証</li> </ul> <p>イ 効果検証:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・同時時間帯による複数台遠隔制御による対応人数の検証 (省人化切り口)</li> <li>・安全性の検証</li> </ul> <p>ウ 機能検証:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・農機の遠隔制御に必要なシステム機能の検証</li> </ul> <p>エ 運用検証:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・農機の遠隔制御に必要な運用面での検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・課題実証作業 <ul style="list-style-type: none"> <li>→ローカル5Gネットワーク検証作業 (遅延計測)</li> <li>→ネットワーク側の遅延を短くするチューニング作業</li> <li>→非圧縮映像/超低遅延コーデック搭載パターンによる検証 (フルHD以外の伝送パターンの検証)</li> </ul> </li> </ul>
	農水省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農機搭載のカメラから送られる画像を人間が目視で圃場から離れた場所で遠隔監視し、緊急事態 (今回はテスト用に人間が旗を掲げる) 発生から緊急停止するまで、1.8秒 (1m以内) を目標とする。</li> <li>・監視員をアシストするAIを開発するなど安全対策ガイドラインの考察を行う。</li> <li>・農機シェアリング検証 (複数農家間での機器のシェアリング効果・作業的課題を検証する) 【複数農機の遠隔制御とは違う切り口】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・茶摘ロボット (農機) の購入</li> <li>・遠隔制御用カメラ (ロボット搭載用) の購入</li> <li>・遠隔制御用アプリ設計/開発費</li> <li>・安全対策時間の人件費換算作業や資材費用など</li> <li>・安全対策用のAI開発</li> <li>・実証に係る農機の移動・操作・オペレータ作業費</li> <li>・実証に係る全体計測作業費、制御時間を短くするための制御アプリ側の対応費</li> </ul>
ア-2	総務省	<p>ア 検証・評価分析:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行後のドローン撮影データの映像伝送時間検証</li> </ul> <p>イ 効果検証:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・摘採計画策定までの時間削減 (労働時間削減切り口)</li> </ul> <p>ウ 機能検証:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・摘採計画策定に必要なNW及びシステム機能の検証</li> </ul> <p>エ 運用検証:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・摘採計画策定に必要な運用面での検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・課題実証作業 <ul style="list-style-type: none"> <li>→実証におけるローカル5Gネットワーク検証作業</li> <li>→撮影データ伝送を早めるためのチューニング作業</li> </ul> </li> </ul>
	農水省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローンに分光計を搭載し、約50点/1件茶畑スペクトル計測を行い、フライト終了後すぐに測定データをクラウドへ送信する。</li> <li>・送信データから植生指数 (NDVI値) を推定して、圃場の生育状態 (葉期) を推定するモデルを実証する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドローンの購入</li> <li>・ドローンの操作習得 (講習会の受講)</li> <li>・ドローンフライト (熊本から専門のオペレータのアサイン)</li> <li>・ドローン撮影データの転送作業とクラウド解析までの全体実測</li> <li>・ドローンの保守/損害保険料</li> <li>・ドローン解析のための目視による基礎調査・データ収集作業</li> <li>・茶葉の収穫量と解析結果の付け合わせ、データベース作成</li> <li>・摘採計画用分析クラウドアプリ設計/開発費</li> </ul>
ア-1・2 共通	総務省	実証環境の構築	NW機器、受信端末購入費用全般 NW設計・環境構築関連費用全般
	農水省		

図 3.4-2 農水省事業の概要



ローカル 5G を活用した自動化農機の開発・検証（電波伝搬試験を除く）による経営効果の検証及びドローンによる圃場調査の手法、LPWA インフラを活用した取得画像の AI 解析などを活用して『摘採計画策定支援システム』を構築するプロジェクトである。

図 3.4-3 推進体制

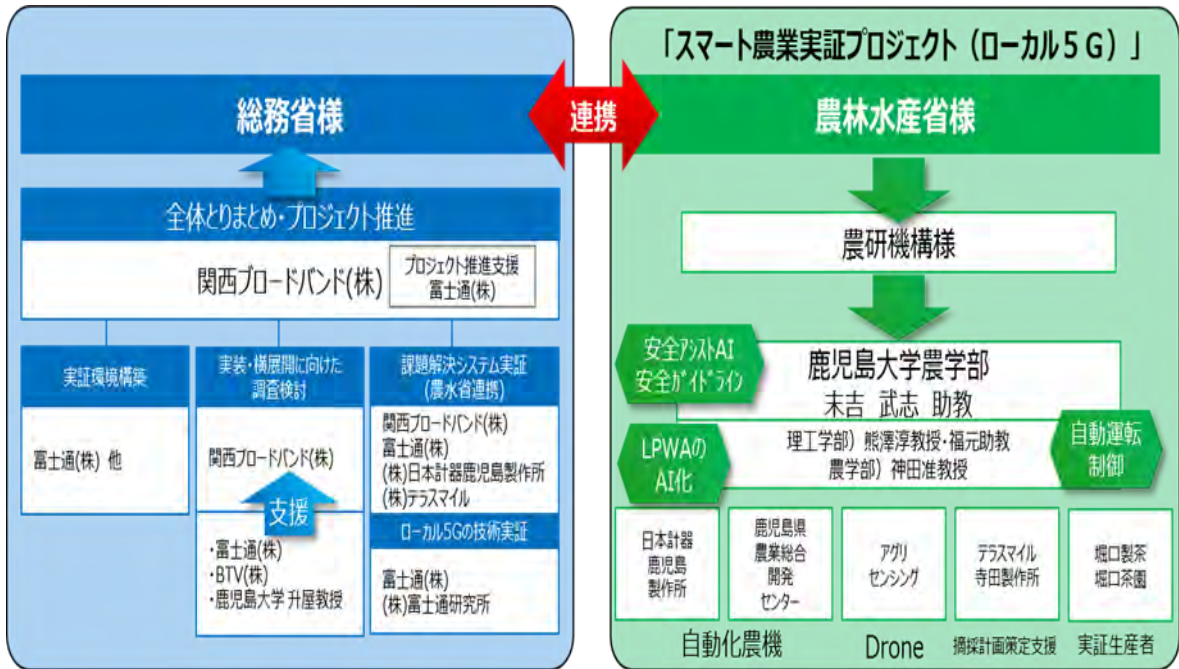
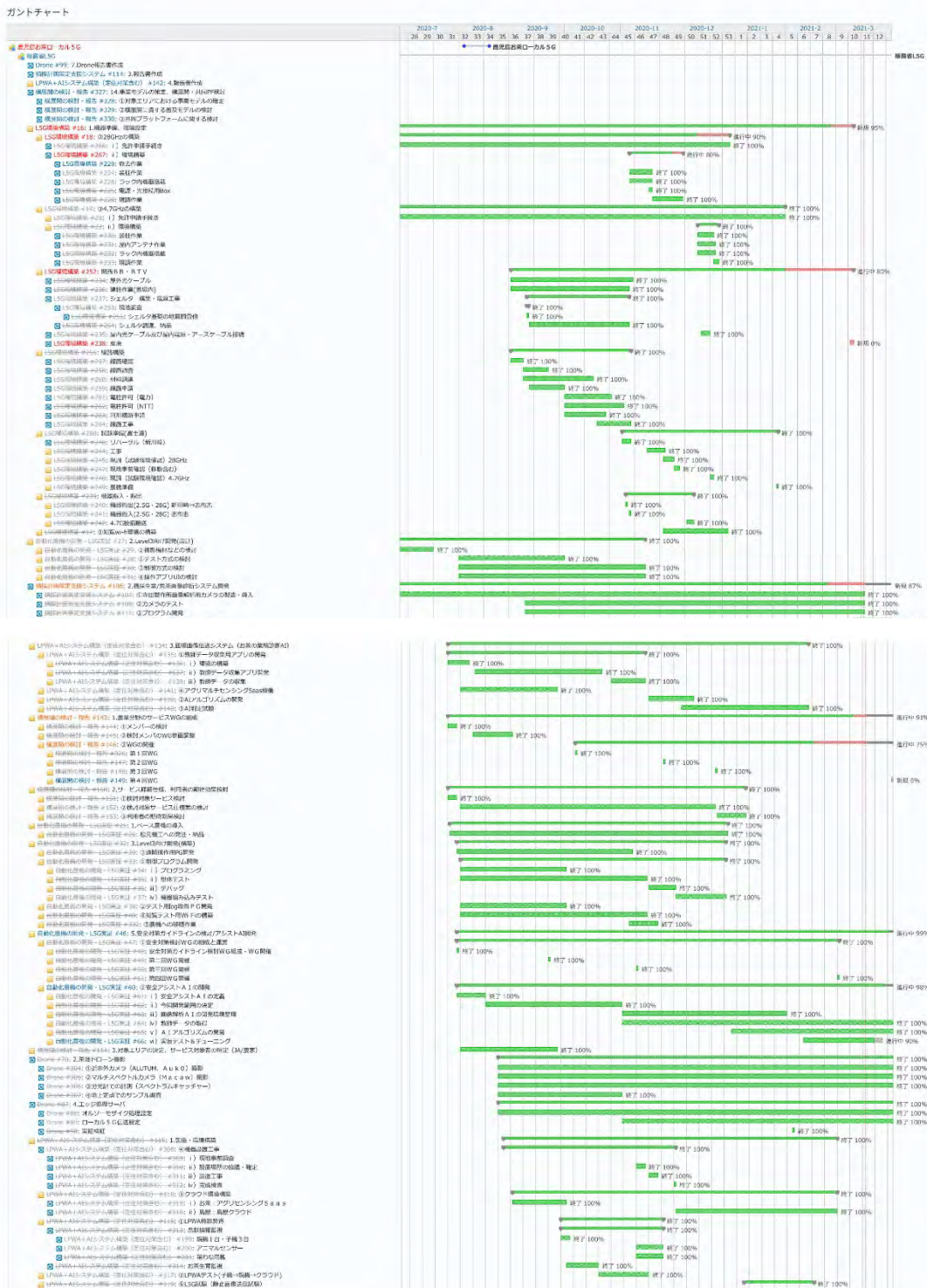






図 3.4-5 作業実績









#### 4. 課題解決システムの実証

##### 4.1 前提条件

実証前に実証地域の農業生産者をはじめとした関係者へのヒアリングを行うことで地域課題を整理し、解決に資する効率的なシステム構築を行いました。スマート農業実証プロジェクト（ローカル 5G）「鹿児島大学・堀口製茶レベル 3 自動化農機スマート農業実証コンソーシアム」と連携して活動しました。

##### (1) ヒアリング対象

- ① 地元の JA（JA あおぞら茶事業部様及びアンケートでお茶部会への間接的ヒアリングを行う）→ヒアリングを実施した（2021 年 2 月 4 日 総務省事業）
- ② 生産者様（堀口製茶様 副社長、取締役、担当部長様などからヒアリング）→ヒアリングを実施した（2021 年 2 月 4 日 総務省事業）。
- ③ 地元自治体様（志布志市農政課様のご担当へヒアリング）→ヒアリングを実施した（2021 年 2 月 4 日 総務省事業）。
- ④ 鹿児島大学）升屋教授からアドバイスをいただく→アドバイスをいただいた（2021 年 2 月 4 日 総務省事業）。
- ⑤ 日本機器鹿児島製作所様から農機の共同利用サービスについてヒアリング→ヒアリングを実施した（総務省事業）。  
テラスマイル様から摘採計画策定支援システムのクラウドサービスの可能性についてヒアリング  
→ヒアリングを行った。（総務省事業）。

##### (2) ドローン操作における検証

- ① 圃場の生育状況（NDVI）と収量の相関関係における検証  
→2020 年 9 月～2020 年 12 月にかけて調査実施し、相関関係を検証しました（農水省事業）。

	日時	撮影場所	カメラ	近赤外	マルチバンド	北大 携帯分光計
1	8月18～21日	宮口	○			○
2	9月4日	宮口	○			
3	9月10日	宮口	○	○		
4	9月11日	宮口				○
5	9月26日	宮口	○	○		
6	10月2日	宮口	○	○	○	○
7	10月29日～30日	伊崎田中野	○RTK		○	○

図 4.1-1 空撮実績

	日時	新芽本数	芽長さ	SPAD	ビデオ撮影
1	9月4日	○			
2	9月10日	○	○	○三葉目	
3	9月25～26日	○	○	○二・三葉目	
4	10月1日～3日	○	○	○二・三葉目	
5	10月29日	○	○	○二・三葉目	摘採機○

図 4.1-2 生育調査実績

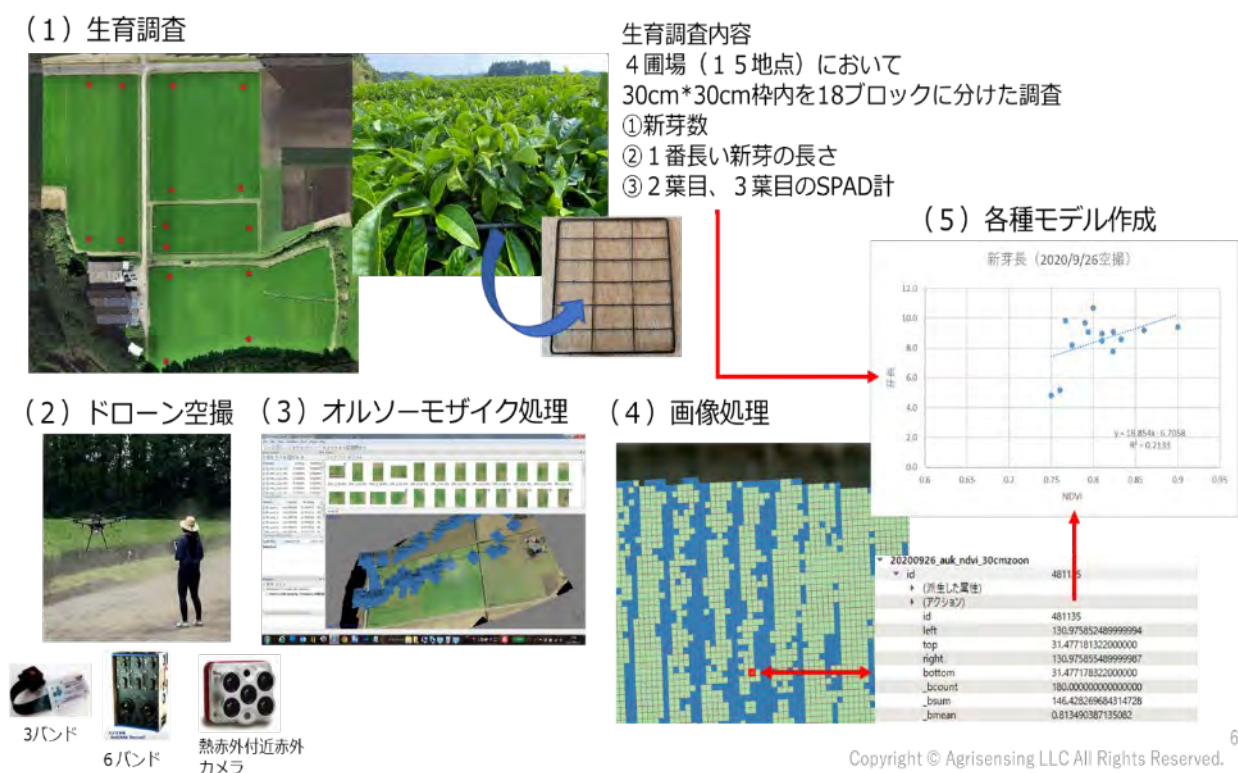


図 4.1-3 ドローンと生育長の推定フロー

② 生育情報の取得にかかる労力・スキルの検証（農水省事業）

→上記ドローン空撮、圃場調査の実績を踏まえて省力化のための道筋は検証できた。

③ 取得した生育情報の圃場からの伝送（ローカル 5G 活用）における検証

→2021年2月5日 ローカル 5G(28GHz)を活用した伝送試験を行い6.2Gbyteの伝送で15分の実測値を得た。（2021年2月5日 総務省事業）



### 3. L5Gによるドローンリモセン処理概要

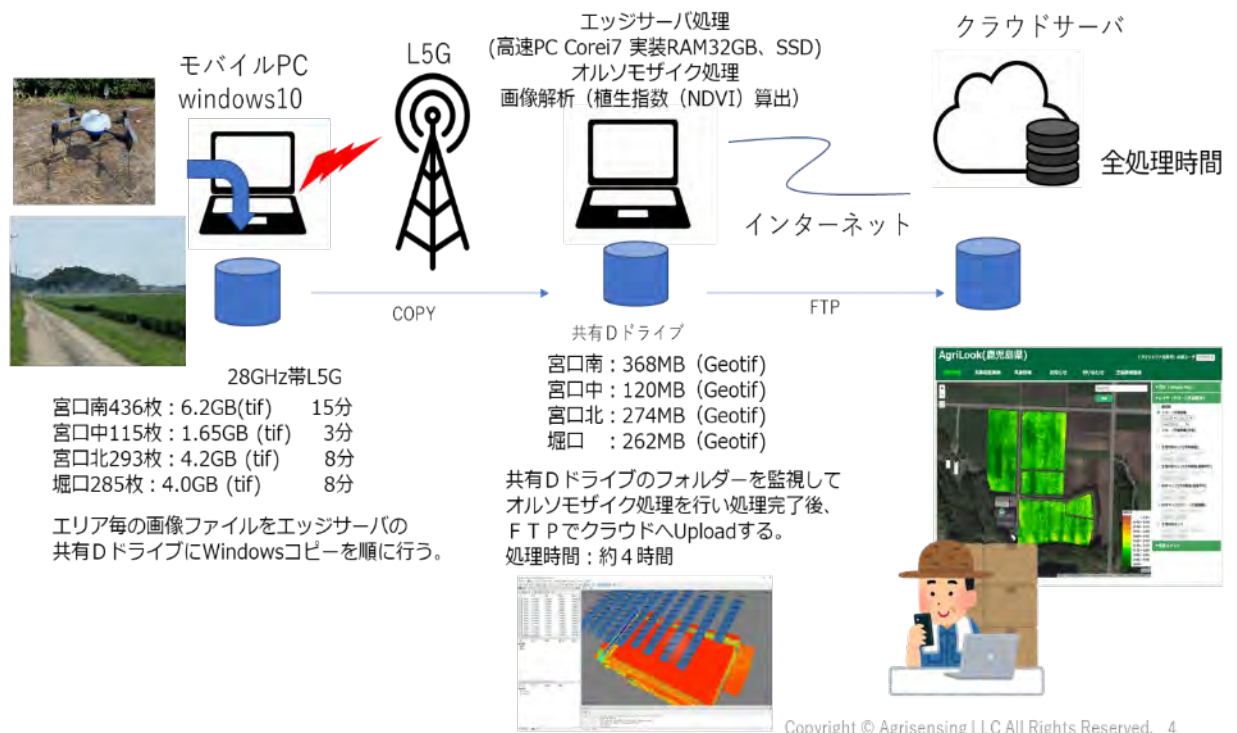


図 4.1-4 ローカル 5G によるドローンリモセン処理概要

- ④ 圃場から送られた生育情報のエッジコンピュータにおける処理の検証 (2021年2月5日 総務省事業。エッジコンピュータの構築は農水省事業)。
- ⑤ エッジコンピュータで処理した情報のクラウド送信の検証。  
→上記④⑤を圃場からの伝送処理と合わせて行い、処理を確認した (2021年2月5日 総務省事業)。
- ⑥ クラウド処理 (AgriLock : 農業リモートセンシング解析クラウドを活用) 結果の収量との相関関係の検証 (農水省事業)  
→相関関係分析を行い、R二乗検定で0.6程度の相関を得た (リモートセンシングではこのレベルで相関が確認できたとしている)。

新芽数、SPAD、新芽長とドローン搭載AUKによるNDVIの相関を分析

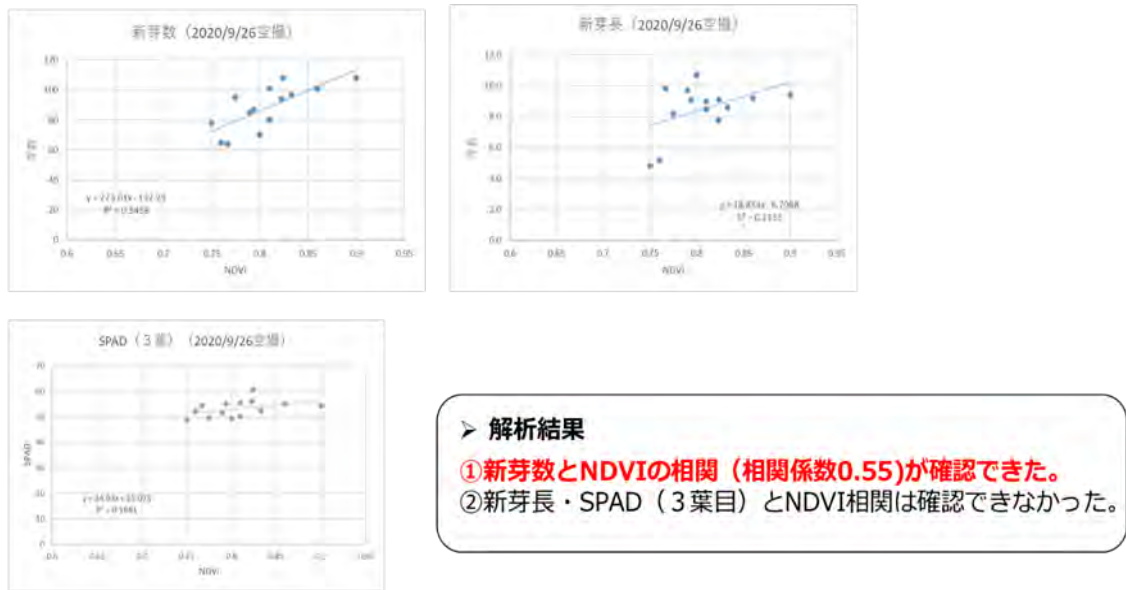


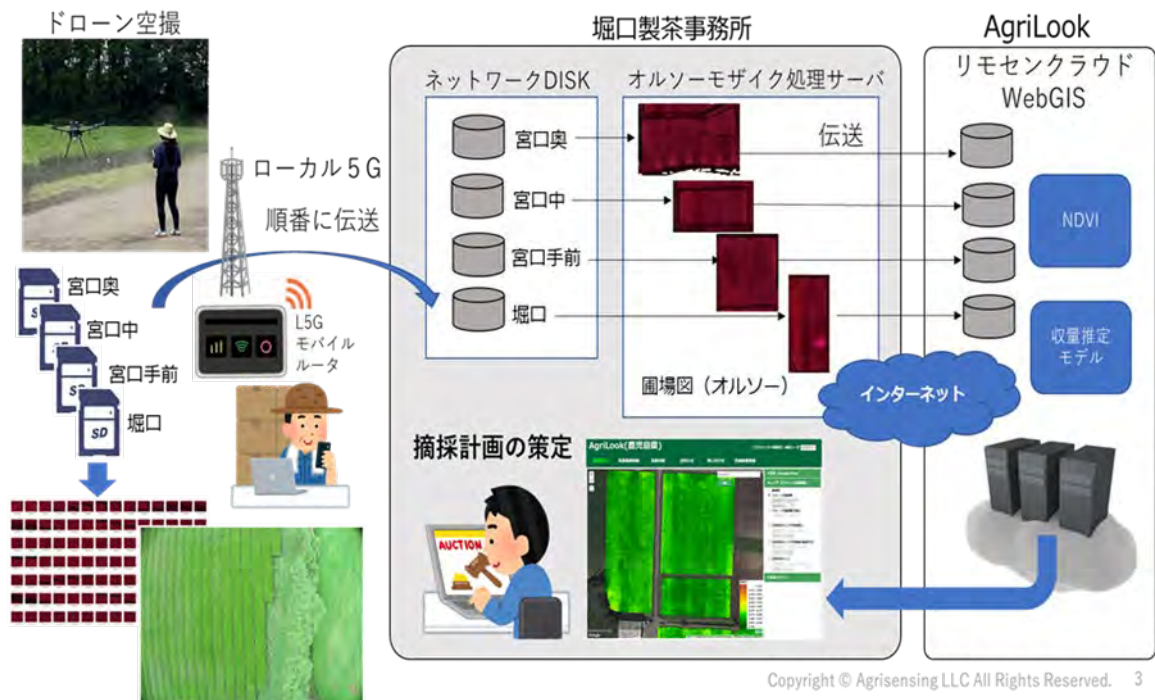
図 4.1-5 相関関係分析

- ⑦ クラウド処理結果を摘採計画支援システムに取り組み検証  
→摘採計画支援システムへのファイル送信を確認した。

図 4.1-6 ローカル 5G ネットワークによるドローン空撮とリモートセンシング

## 2. L5Gネットワークによるドローン空撮とリモートセンシング

ドローン空撮画像をローカル5Gによりリモセンクラウドへ高速伝送、準リアルタイムで解析結果を提供



(3) 摘採計画支援システムにおける検証（今後行う、農水省事業）

従来の巡回により収集していたデータの整理工数にかかる削減幅の検証（2021年3月中旬より開始・農水省事業）

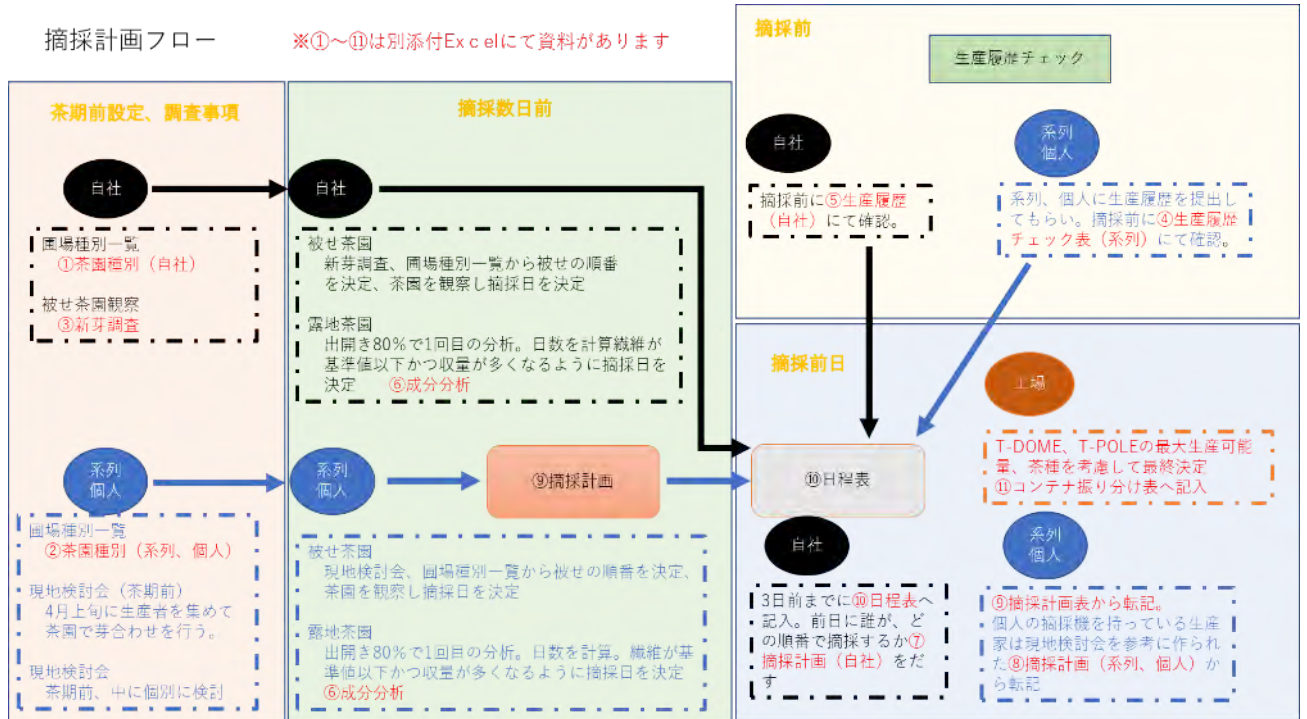


図 4.1-7 摘採計画への反映・省力化効果の検証（農水省事業）

摘採計画を作成する際には以下を令和3年度の農水省事業で検証する。

- ① 萌芽期、出開き（萌芽が圃場の70%以上に達した日）、葉期などを基準日に摘採日を推定する。今回は葉期で診断するため、葉期基準で行う。  
（今後の拡張形として萌芽や出開き診断なども出来るように拡張を検討し、最終的には園相診断までを目標とする）

葉期は萌芽期を基準日に以下を目途としているが、圃場特性、品種、微気象、茶種などにより異なることが課題である。

- 1 葉期から2葉期まで（10日）
- 2 葉期から3葉期まで（7日）
- 3 葉期から4葉期まで（5日）
- 4 葉期から5葉期まで（3日）

⇒どこで刈るかは茶種（深蒸し、被せ深蒸、碾茶など）によりタイミングが違う（茶種毎のタイミングは今後入手）。

また、茶の品種（やぶきた、さえみどりなど）により摘採時期は違いがある（品種毎の判定パラメータは今後ヒアリング）。

- ② また、繊維率が23%に達した日を収穫適期とする判断基準を持っていて繊維率は各圃場を見回る専任の担当者により茶葉を収集する。  
収集した茶葉は堀口製茶内の専任の茶葉の分析班により分析する。分析内容は繊維やアミノ酸などの成分分析である。

⇒この成分分析がドローンで収集する NDVI との連動が一つの目的になる。  
繊維率は1日0.5%増加すると想定されており（実際は樹齢、品種、圃場の地力や日当たり、微気象により異なる）、調査日から0.5%ずつ増えて23%に達する日を収穫適期と推定する。

③ 巡回は毎日専任の職員（この職員様は1年中圃場の巡回・圃場の状態把握を行う職人）が行う。

⇒この職員の巡回に同行し、教師データの収集業務行う。

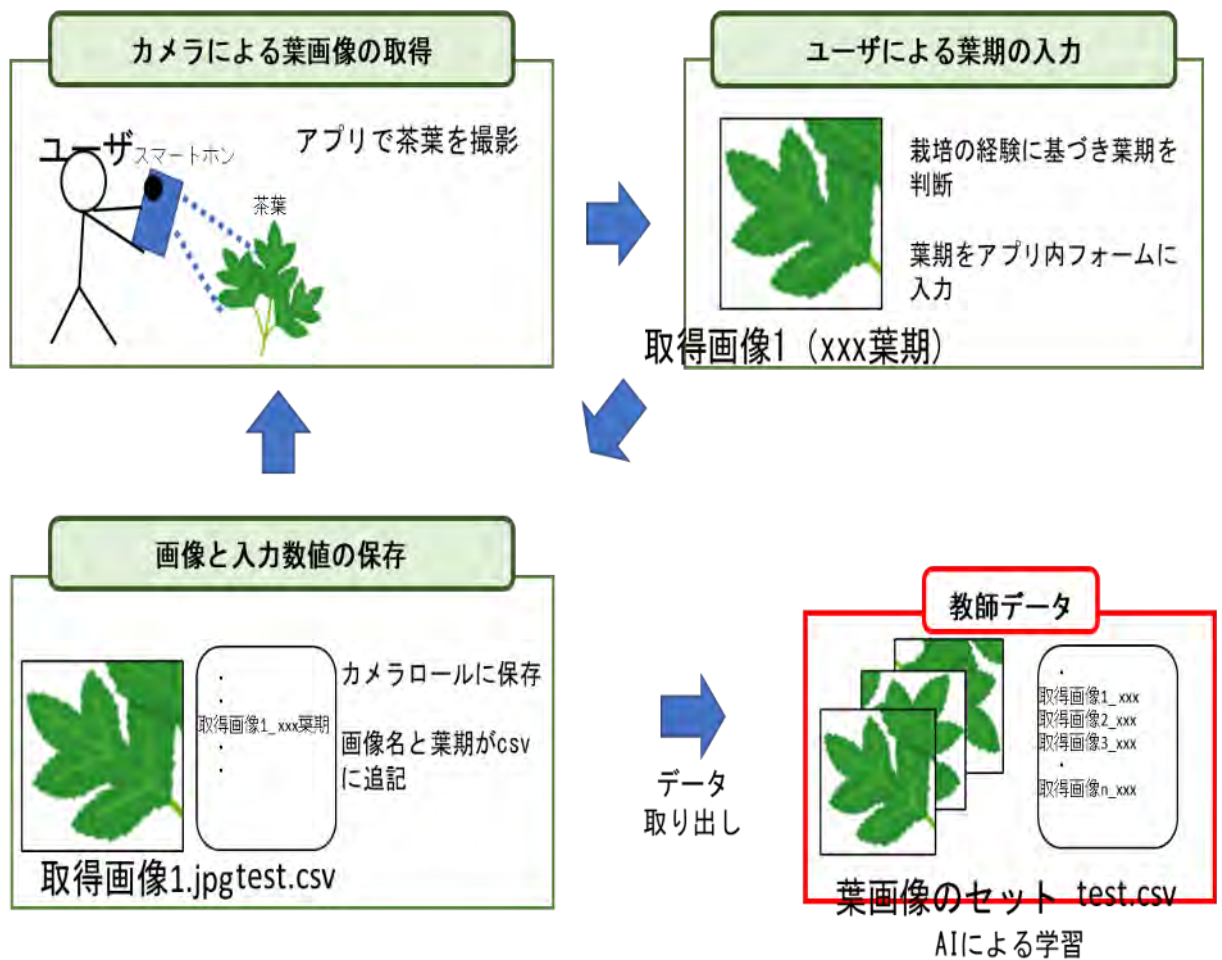
（2021年3月初旬から中旬にかけて、また2021年3月下旬から4月中旬の2回を予定）

④上記③で収集した教師データ（葉期診断）を収集する。（3月中旬から4月下旬）⇒解析結果をAI化⇒LPWA/アグリマルチセンシング Saas へ5月中旬実装予定である。

⑤2番茶～4番茶までこのサイクルを繰り返す（1番茶で作成したアルゴリズムを実装して運用しながらアルゴリズムは微調整を繰り返すイメージ）。

⑥上記④⑤の判定にLPWAの葉期判定、ドローンのNDVI解析が代替できるよう実装を進める。

⑦クラウドで実装して関係者に閾値をメール送信する仕組みを実装し、テラスマイル様の摘採計画システムへの取り込み連携を検討する。



60

図 4.1-7 AI 用教師データ収集アプリ運用イメージ (農水省事業)

(4) 収集データを活用した摘採計画策定支援システムの効果検証 (2021年4月以降)

① 鳥獣クラウドの検証

a) 従来見回りをしていた圃場の巡回時間の削減幅の検証  
→2021年2月20日以降検証 (総務省事業)

ア) 設置工事日時

・2021年2月20日(土)13時~2月21日(日)17時 (D、E、G地点に設置)





イ) 設置場所

ーD 地点

- ・ 設置方法：単管パイプ地中埋込方式
- ・ 設置内容：箱わな、AR マーカー、アニマルセンサー(夜のみ検知)、餌誘因(キャットフード)





—E 地点

- ・設置方法：単管パイプ地中埋込方式
- ・設置内容：箱わな、AR マーカー、アニマルセンサー(夜のみ検知)、餌誘因(キャットフード)



—G 地点

- ・設置方法：可動式台車、太陽光パネルは東向き
- ・設置内容：箱わな、AR マーカー、アニマルセンサー



ウ) 経過の確認が必要な事項

ーG 地点

- ・G 地点は、奥側が林のため、太陽光の受光が東向きの午前のみである。
- ・太陽光発電とバッテリー電圧の経過を確認する。

ー従来未対応であった鳥獣対策の効果（被害状況）の検証  
→2021年2月20日以降検証（総務省事業）

#### (5) 課題解決システムの実証目標

	項目	実証内容	目的
1	農業領域	「レベル3（遠隔監視下での無人状態での自動走行）」による農機（農業ロボット等）による複数の農作業の自動化	・省人化 ・軽労働化
2	農業領域	ドローン撮影画像のデータ伝送とAI/BI技術等に基づくリモートセンシング解析に係る時間短縮化	・効率化
3	生活領域	地域の定住を促す施策の実証（ローカル5GとLPWAを活用した通信インフラによる利便性の向上）。施策：防災用定点監視、鳥獣被害対策	離農・人口流出の防止

#### 4.1.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）

実証前に実証地域の農業生産者をはじめとした関係者へのヒアリングを行うことで地域課題を整理し、解決に資する効率的なシステム構築を行います。スマート農業実証プロジェクト（ローカル5G）「鹿児島大学・堀口製茶レベル3自動化農機スマート農業実証コンソーシアム」と連携して活動します。

##### (1) 関係者様へのヒアリング状況

###### ① 堀口大輔堀口製茶副社長

・地域の人手不足が課題のため、無人機（レベル2）の導入に早くから協力してきている。無人機の開発は平成25年に鹿児島県、松元機工、日本計器鹿児島製作所で始まったが、早くからの協力生産者としてレベル2を既に4台（摘採機2台、中刈り機2台）を導入済みであり、自動機の運用リテラシーを備えている。

・お茶需要の低迷（特にリーフ茶）に危機感を持っており、早くから堀口製茶では輸出に取り組んでいる。お茶を輸出するために無農薬栽培やIPM栽培（鹿児島県が推奨する多面的防除）に取り組みまた、地域のJA（JAあおぞら）と連携してハラル認証にも取り組んだ経緯がある。

HACCP対応の輸出対応工場を整備するなどして、大手コーヒーチェーン向け抹茶ラテの原料輸出を行っている。また、伊藤園と契約栽培をして需要の安定に取り組んでいる。

###### ② 堀口晃（堀口茶園代表）

・やはり人手不足にどう対応していくかが課題である。お茶は比較的后継ぎが安定して

おり、若い世代に引き継がれているものの、規模の拡大に伴い安定した雇用の確保が難しくなっている。お茶は繁忙期と農閑期の差が激しいため、複合経営（お茶以外の作物を手掛けるなど）に取り組み、1年を安定して労働需要を生み出すような取り組みが経営課題である。

③ 取違様（JA あおぞら茶業センター長）

・やはり地域の課題は人手不足である。JA あおぞら管内（志布志市有明町地区）ではお茶、牛、いちごやピーマンなどが特産品であり、産業のほとんどは農業であるが、高齢化の進展が著しい。お茶は繁忙期に大量の人手が必要であるが、農閑期はそうでもないという差が激しい。そのため、繁忙期のピークにどうしても人手不足の状態が起きるので、このピーク対応が課題である。

また、最近の異常気象の頻発により従来の暦だのみの農業が通用しなくなってきている。そこで圃場毎に微気象を観測して積算気温を調べたり、圃場の状態を頻繁に見回ったりする必要が増大しており、フィールドサーバなどの精密農業へのシフトが急務である。営農指導もデータに基づく指導に転換しなければいけない。

④ 柿元様（志布志市農政課係長）

・やはりピーク時の人で不足が課題である。また、自治体においては、耕作放棄地の増大や鳥獣対策が課題である。近年の異常気象の多発による災害対策も大きな課題となる。

⑤ 升屋教授（鹿児島大学有識者）

・5G や 6G と行った無線インフラは時間とともに変化していくため、5G だからというのでは無く、まずインフラとして光回線を圃場まで敷設していくべきであり、個々の利用価値の創出は、そこから出てくるものである。

(2) ローカル 5G 必要性の整理

ヒアリング課題		発言者	解決策（案）	ローカル 5G の必要性	備考
(a)	人手不足	堀口茶園、JA あおぞら、志布志市	自動化農機などスマート化による省力化	遠隔制御による1人の人間による同時複数台の監視・制御を実現したい。	AIによる人間のアシスト機構など安全対策が課題である。
(b)	輸出対応	堀口製茶	無農薬栽培・有機栽培などの栽培へのシフト（外国では日本茶の農薬を使って育てたお茶を輸出できない）	手間のかかる無農薬栽培・有機栽培をスマート化する事で省力化したい。	お茶向け無農薬栽培技術の確立や普及が課題である。
(c)	複合経営へのシフト	堀口茶園	お茶の農閑期を埋める作物などの複合経営	複合経営には1人の人間に複数の仕事をこなす能力が必要になるが、ここをスマート農業	ノウハウのデータベース化やAI化が必要。お茶農家の複合化品目としては繁殖牛、大葉、ケールなどが志布志地区では考えられる。



				で補いたい (スマートグラス など)。	
(D)	繁忙期と 農閑期の 人手需要 差が大き い	JA あおぞら	需要の平準化とピ ーク対応量の強化	人手需要を平準化 させるための複合 経営化とピークの 無人化対応のため スマート農業化を 進めるためにロー カル 5G が必要で ある	経営体の意識改革 (複合経営へのシ フト) やスマート化に向けたノウハ ウのデータベース化や AI 化が必要 である。
(E)	異常気象 対策 (従 来のノウ ハウが使 えない)	JA あおぞら	微気象観測やド ローンによる圃場の 状態解析などによ る精密農業・デー タ農業の実践	圃場で大量に発生 するデータを素早 く送れる伝送イン フラが不可欠であ る。	収集したデータを正しく活用する知 見やデータ処理基盤が必須である。
(F)	耕作放棄 地対策	志布志市	小規模な生産者が 後継者不在などか ら廃業・耕作放棄 地化するが、堀口 製茶のような地元 のメガ生産者に引 き継ぎの依頼	メガ農家が従業員 を増やさずに耕作 面積を増やせる仕 組みとしてローカ ル 5G を活用した スマート農業が必 要である。	遠隔監視による自動化は人手を増や さずに耕作放棄地を減らす切り札で ある。
(G)	鳥獣対策	志布志市	志布志市における 鳥獣被害が深刻化	箱罾による駆除を 進めるほかない が、見回り業務の 負荷が高いため、 LPWA+ローカル 5G+AI で解決す る。	鳥獣駆除のための箱罾監視 AI も必 要である。
(H)	光回線の 整備	鹿児島大学) 升屋教授	5G・6G にこだわる のではなく圃場ま で光回線が来とい ることが重要	光回線が来してい れば 5G・6G と進歩 しても問題なく高 速ネットワークが 利用できる。	インフラとして圃場まで光回線を敷 設する。

(3) 圃場の条件／ネットワークなど

① 実証生産者の概要



② 製茶施設の概要

煎茶製造ライン	240K 型	2 ライン	生葉最大処理量	100 t / day
碾茶ライン	300K 型	5 ライン	生葉最大処理量	30 t / day
発酵茶製造ライン	180K 型	1 ライン	生葉最大処理量	5 t / day

母体となる経営体	堀口製茶
経営体の代表	代表取締役副社長 堀口 大輔
所在地	鹿児島県志布志市有明町蓬原758
経営概要	
・ 経営面積及び作目	270ha (茶)
・ 主な雇用体制	社員62名、パート・アルバイト3名
・ 直近の売上げ	138,824万円 (2017年1月～2017年12月)

③ 実証を行う圃場の概要

実証を行う面積	4.5 <sup>㍍</sup>
実証を行う作目	茶

■ 堀口製茶様施設

鹿児島県志布志市有明町原田工場及び、野神付近の圃場

■ 屋外試験は、堆肥舎付近圃場、屋内試験は、原田工場で実施。

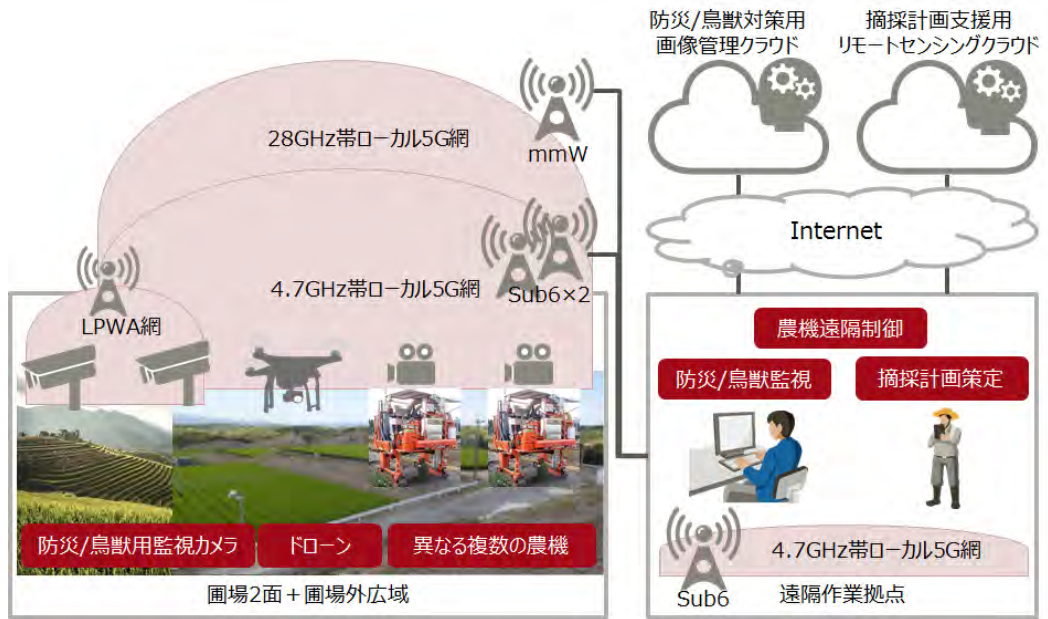


【志布志堀口製茶堆肥舎付近圃場】 ※無線機設置位置は変更になる可能性があります



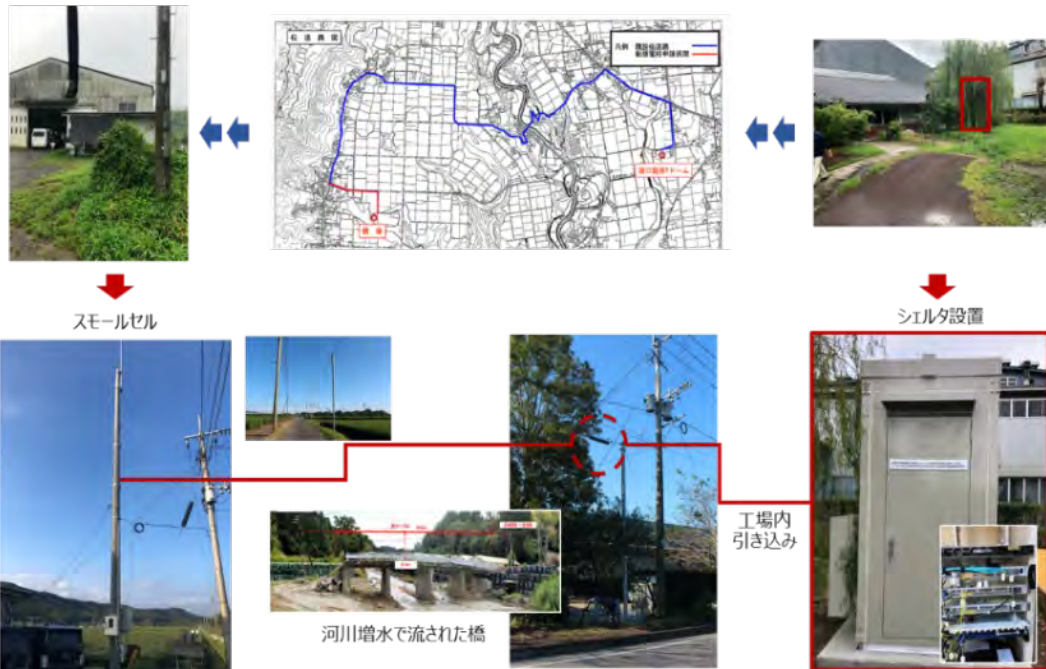


(4) ネットワーク環境図



(5) 物理環境

圃場までの線路は、志布志市の回線と一束化して構築。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。



(6) 監視ルーム



#### 4.1.2 農業領域（画像データとAI技術等を活用した農作業計画策定）

安定した品質のお茶の生育・生産や生産時期の効率的な工場稼働のためには、摘採時期の適正な判断や管理が重要とされている。生産者は、日々変化する収量を予測し、製茶工場の処理能力と収量確保を考えながら、摘採計画を立てている。そのため、専任担当者が、各圃場でいつでもどれくらいの収量が得られるか、発芽から生育期間中、毎日、各圃場を見廻り、採摘調査や成分分析測定等に多大なる作業時間と労力をかけている。また、摘採時期の判定や収量、品質の判定は担当者の「経験と勘」に大きく依存している。このため、ドローンによるリモートセンシング技術を活用することで、広範囲に高速でかつ正確に収量（10a当たりの収量、新芽数）や品質推定が行えるため、実用化に向けた取り組みが積極的に進められている。しかし、ドローンによるリモートセンシング解析を行うためには、写真測量レベルの圃場写真図（オルソ画像）作成が必要になるため、ドローン空撮ではオルソモザイク編集ソフトウェアの空撮条件に従い重複して撮影を行わなければならない。このため、1圃場あたり数百枚の多量の画像が発生し3G/LTE通信では、空撮した画像を空撮現場から直接、処理サーバに伝送すると相当の時間がかかり、現実的ではない為、現状は郵送で対応している。その結果、生産者が解析結果を得るまでには数日かかるという課題がある。特に、お茶の摘採時期の判定や、病害虫防除等の情報は早い解析結果の入手が必要条件とされている。（早く入手できれば出来るほど情報の価値は上がる）

今回の実証では、ローカル5Gネットワークを使い、空撮現場から直接、エッジ処理サーバ（オルソモザイク処理）に高速に画像を伝送し、収量推定・葉色推定等の生育情報をリモートセンシングクラウドのWebGISで準リアルタイムに生産者に提供する実証を行った。

##### お茶栽培でドローン・ローカル5G活用の目的

安全・安心なお茶の栽培、安定的な収量確保  
製茶工場の処理能力に合わせた摘採

課題：お茶の生育診断は摘み採り調査ため多大なる調査労力、  
時間・コストが必要

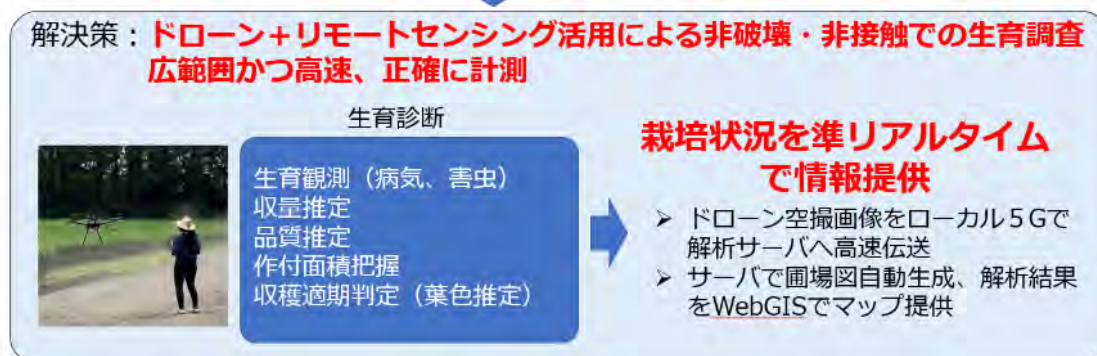


図 4.1.2-1 ドローンによるリモートセンシングとローカル5G活用目的

収量を推定するのはお茶を経営する上で非常に重要な業務であるが、多くの労力を要する業務でもある（出展:木村塾）。ここをドローンになどスマート農業機器や手法に置き換える。



## 枠摘み収量

茶園の芽数を知るためには、枠摘み調査をします。枠摘み調査とは、20cm×20cmの枠内にある芽数や収量で、普通で60～70本、少ないと40～50本、多い場合には80本以上です。この本数に仮定の1芽重をかけて収穫面積に換算すれば、収量の予測を立てることができます。

※調査では正確な数値を求めるべきですから、摘採刃にかからないような小さな芽はカウントしません。枠摘み収量の調査の時は、収穫の対象となる芽(有効芽)だけをカウントすること。

### 推定収量の計算方法

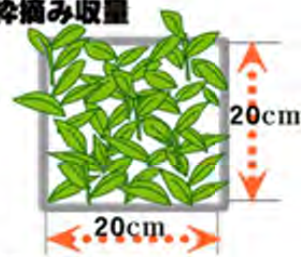
枠摘み収量を10aに換算するときには、摘採面積率100%の場合で25,000倍になります(10a÷400cm<sup>2</sup>)。たとえば、枠摘み芽数が60本としたら、10aあたりになると150万本ということになり、1芽重が0.5g(予測)であれば、およその推定収量は750kg/10aとなります。この収量に摘採面積率をかけて概算の収量予測とします。

### 有効芽数

一芯二葉になる芽、摘採の対象となる芽のことを有効芽数と呼びます。経済的生産を目的に行う茶業においては、摘採の対象となる芽を対象とすべきです。また、芽の生育段階の観察において有効芽かどうかを判断することは、プロの茶業者として大切なことです。



### 枠摘み収量



#### 推定収量の計算

- 10a÷400cm<sup>2</sup>=25,000
- 枠摘み本数×25,000=推定芽数/10a
- 推定芽数/10a×芽重=推定収量

#### 推定収量算出の事例

例：枠摘み芽数60本、芽重0.5gとして

60本×25,000=150万本/10a

150万本×0.5÷1,000=750kg/10a

図 4.1.2-2 お茶の収量推定方法

## 4.1.3 生活領域

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。

具体的には、フィールドサーバと言われる微気象観測機(気温・湿度・風向・風速・雨量・明るさ・土壌水分・土中温度・定点画像)を10分おきに採取(定点画像は1日4回)し、日平均気温などを精密に収集することで、圃場毎に作物の成長速度(DVRという)が違う事象を精密にモニタリングした(「微気象観測」と言う。成長速度は、有効積算温度や日長時間などにより決まる)。

また、LPWAではフルHD(1920×1080px)のカラー写真(500万画素)を定点撮影し、生産者の見回り負荷を減らすとともに、AI判定により、「お茶」の「葉期」を自動判定する。(令和3年度農水事業)これにより、お茶生産者にとって、1年で最も重要な作業である1番茶の摘採適期を把握する作業の自動化を目指した(ドローンや摘採計画策定支援システムと連携する)。

お茶の摘採適期を判定するため、専門の職員が、3月上旬の萌芽期から4月中旬の摘採開始時期まで、毎日巡回した巡回記録に基づき、どの圃場をいつ摘採することが一番効率が良いかを推定する。お茶には、50品種程度あり、品種毎に成長速度が違う。また、茶種という

露地、被せ、被せ露地、碾茶など栽培方式により違いがあるため、工場のラインのキャパや摘採機の稼働状況、オペレータの勤務状況や天気、注文状況に応じて、フレキシブルに摘採計画を変更・実践・管理する必要がある。このため、圃場のお茶の状態が精密にデータ化されることでの生産の効率化インパクトは大きいと考えている。



図 4.1.3-1 LPWA カメラの設置写真-GW



図 4.1.3-2 LPWA カメラの設置写真-子機及びカメラ





図 4.1.3-3 LPWA カメラの撮影写真

《 LPWA親機・子機の配置 》



図 4.1.3-4 LPWA カメラの機器配置状況





図 4.1.3-5 アグリマルチセンシング SaaS 月間画面



図 4.1.3-6 アグリマルチセンシング SaaS からダウンロードした写真

また、お茶の圃場においては、アナグマなどの小動物によるケーブル類や電源などの破損行為を受け、多くの被害が出ているため、圃場周辺の駆除対策が欠かせない。しかし、現状は、見回り負荷高く、軽労化や作業効率の向上などが課題である。

また、多発する異常気象などから、大雨時の被害状況の素早い把握・調査などが、課題となっている。上記の状況が、カメラ写真で確認できる今回の LPWA システムに対する期待は大きいと考える。



図 4. 1. 3-7 鳥獣対策 (アニマルセンサーLITE)

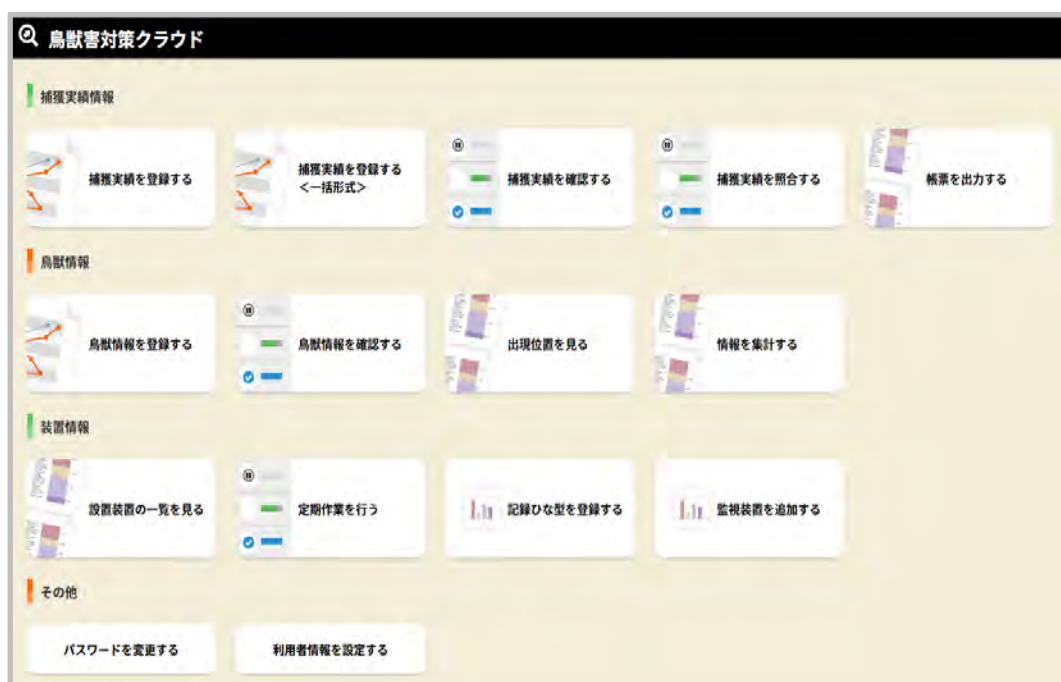


図 4. 1. 3-8 鳥獣害対策クラウドメインメニュー画面

今回実証の前提条件や社会背景として、『鳥獣被害』の背景には、地方が抱える3つの社会課題(少子高齢化による地域の衰退、耕作放棄地の増加、温暖化)がある、と想定している。

今回実証においてLPWAカメラは、(1) LPWA画像転送による多地点・遠隔監視システム、(2) クラウド制御マスタ、(3) 機械学習によるAI判定の3つの基本機能により、『鳥

『鳥獣被害対策』を実現するもので、直接的なベネフィットは、『見回りの省力化』が基本である

しかしながら、本システムの上記機能を差別化して、次の3点へ切り込めた場合、地域ごとの成果と継続性が地方の衰退の歯止め、またはユニークな『地方創生』につながると考えている。

①『鳥獣被害対策』にAI判定を取り入れることで、今後、駆除すべき鳥獣と保護すべき野生動物を識別した対策（『錯誤捕獲対応』）を実現することができる。
②今回実証の遠隔監視システムを『耕作放棄地』に導入し、『鳥獣被害』の拡大を防止する。
③今回実証のGoogle スプレッドシートによるクラウド制御マスタを活用し、河川などの『防災監視システム』へ拡充することができる。特に『温暖化』による台風などの勢力規模や発生被害が拡大傾向にあり、河川の水位などをきめ細かく監視することができる。

#### 4.1.4 農水省事業・総務省事業との連携

実証目標：農水省で進めているスマート農業加速化実証事業の課題番号：5GH03

課題名：ローカル5Gに基づく超高速・超低遅延による自動運転（レベル3）およびドローン/LPWA等による圃場センシング・AIなど営農・栽培データ解析による摘採計画の最適化体系及びシェアリングの実証

今回の総務省事業におけるローカル5Gの構築を通して自動化農機の遠隔制御やドローンデータの圃場からの伝送、LPWAの画像データの送信実験を行い、社会実装に向けた課題を検証中である。

28GHzにおいてUP Load速度で80Mbyte/secを実現しており、フルハイビジョンの動画データ（30フレーム/sec）の伝送もストレスフリーである。（カメラは圧縮型。非圧縮カメラは伝送負荷であった）。

また、ドローンデータ（6GByte）の非圧縮伝送試験を行い、15分程度の実測値を得た。これは実用上全く問題ないレベルであり、今後圧縮対応などを行いさらなる高速化を実現させる。



## 4.2 実証目標

### 4.2.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）

レベル3相当（遠隔監視下での無人状態での自動走行）」での農機（農業ロボット等）による複数の農作業の自動化を行い、省人化・軽労働化を目指す。

農機の自動運転レベル3相当の実現にあたっては、異常発生時、監視者がすみやかに検知して緊急停止できるようにする監視制御機能が必要となる。この機能の監視部分について、省人化・軽労働化の観点で遠隔からの監視の実現性を検証するため、2019年にインターネット回線（商用LTE回線）を用いて映像伝送を行う試作システムの開発を行った（以降、従来システムと記載）。この結果、遠隔監視機能の実現性を確認することができたが、一方で従来システムでは異常発生から監視者による認知・反応操作までに平均2.9秒の時間を要することを確認した。この間、農機は、異常発生中のまま動作し続ける可能性があるため、安全性向上のためにはより短い時間で遠隔監視できるようにする仕組みが求められる。

本実証では、この従来システムでの検証結果を踏まえ、自動運転レベル3相当実現に向けた遠隔監視制御（遠隔監視カメラ映像を用いた緊急停止、前進・後退・左右・停止操作）の実装にあたり、ローカル5Gを活用し、農機・遠隔監視拠点間の映像・制御データをローカルに伝送する構成を採用した。より高速・低遅延でかつエリア内無線リソースを占有可能なローカル5Gを用いたローカルネットワークで接続することにより、高解像度（フルHD）・高フレームレート（30フレーム/sec。目標は10フレーム/sec）映像を低遅延かつエリア内で安定的に伝送可能とし、監視者の認知性向上（監視者の反応時間改善）・映像伝送時間の短縮等を図り、従来システムよりも短時間に監視者の認知・反応操作を可能にするシステムの開発・実証を行った。開発にあたっては、遠隔監視制御（緊急停止、前進・後退・左右・停止操作）の処理時間に関して、本ユースケースの観点から以下の具体的な活動目標を定めた上で、遠隔監視制御の構成要素（ネットワークや映像システム等）それぞれの目標処理時間に細分化し、その達成に向けた実装・検証を進めた。（活動目標の具体的な内容は4.3.1.1（1）参照）

表 4.2.1-1 本実証システム開発における活動目標

項目	活動目標	備考
(1) 自動走行中の緊急停止	緊急停止距離 1m 以下 緊急停止時間 1.8 秒以下	茶畑の畝を出たところ（まくら地）での緊急停止ユースケースに基づき設定。
(2) 非自動走行中の制御（前進・後退・左右・停止）	映像提示遅延 200ms 以下 ※農機の駆動時間（コマンド受信から動作完了まで）は除く	農機のような低速域の遠隔操作において十分な操作性を確保する観点で設定。

#### 4.2.2 農業領域（画像データとAI技術等を活用した農作業計画策定）

以下の(1)を実証目標として、(2)と(3)は、農水事業の目標として検証した。

- (1) マルチスペクトルカメラによるドローン空撮で収集した画像データを撮影現場の圃場からローカル5Gを活用して、オルソモザイク処理とリモートセンシング解析のオンサイト化などを組み合わせて、通常2～3日かかっていた解析処理を半日程度に短縮することを目指す。
- (2) ドローンとローカル5Gを活用し、茶畑毎の生育状況と摘採適期の圃場と生茶の収量推定等を迅速に生産者へ情報提供を行い、迅速な摘採計画策定の実施により適期摘採を行い早摘みや刈り止め等を削減し実証圃場の収量を5%増加させる。
- (3) ドローンとローカル5Gを活用した生育状況、圃場毎の収量推定情報等の提供により、圃場の巡回調査にかかる作業時間の10%削減を図る。



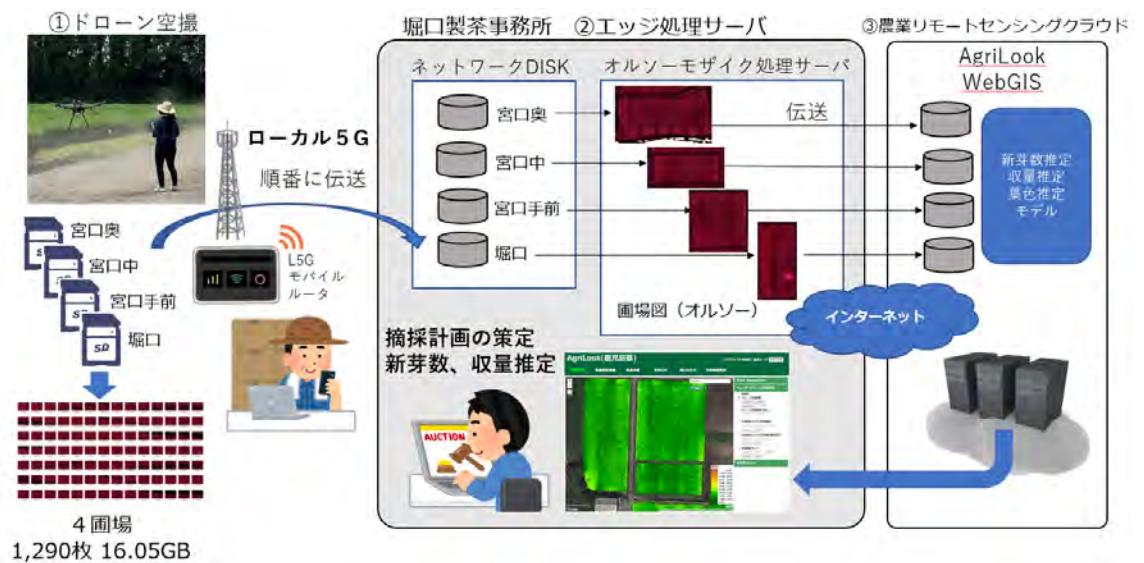


図 4.2.1-1 リモートセンシングシステム概要

実証を行う4圃場を、ドローンに近赤外カメラ(3バンド、赤、緑、近赤外)、またはマルチスペクトルカメラ(6バンド、490nm、550nm、680nm、720nm、800nm、900nm)を搭載して空撮を行う。ドローン空撮では、オルソモザイク画像作成のために、重複撮影を行う必要があるため、4圃場を撮影すると約1,290枚、約16.05GBの画像データが発生した。1~2圃場撮影後、SDカードを回収し、モバイルPCから、堀口製茶事務所に設置したエッジ処理サーバ(オルソモザイク処理)に空撮画像データをローカル5Gネットワークで伝送する。その後、エッジ処理サーバでオルソモザイク処理を行った後、インターネットを経由し、農業リモートセンシングクラウド(AgriLook)へ伝送する。農業リモートセンシングクラウド(AgriLook)には、あらかじめ、新芽数と収量推定モデル、葉色推定モデル等の開発を行い組み込みされており、新芽数と収量推定、葉色推定マップが自動的に処理されWebGISで摘採判定業務担当者に情報提供される。なお、図4.2-1①、②、③は農水省事業において構築したシステムで、①ドローン空撮と②エッジ処理サーバ間をローカル5Gネットワークで接続し実証を行った。

#### 4.2.3 生活領域

地域における定住促進では、離農・人口流出の防止を目的に、LPWAの通信手段が有効活用できることを次のユースケースにもとづき、実証を行った。

「防災観点としての圃場の定点監視」(お茶葉の生育予測・農水省事業)

「鳥獣害被害対策としての罫監視と捕獲状況の自動判別」(鳥獣調査・総務省事業)

実証では、次の(1)(2)を実証目標とした。

(1)LPWA子機カメラ3台の撮影を運用でき、広域・多地点の圃場内を遠隔監視する。

- ①お茶圃場 1 枚(170m×100m、1.7ha)の周辺 3 地点に LPWA 子機を設置し、カメラ撮影を行う。
- ②LPWA 親機は、3 地点の LPWA 子機から集信した画像を鳥獣対策クラウドへアップロードする。
- ③鳥獣対策クラウド上で、撮影したカメラ画像を照会する。
- ④上記により、広域・多地点の圃場内を遠隔監視することができる。

(2)箱わなの入口部の閉塞について、カメラ撮影画像を画像解析し、エッジ AI で自動判定する。

- ①箱わなの入口部が閉塞後、入口部に貼付した AR マーカーを 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する。
- 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る。
- 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る。

#### 4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

##### 4.3.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）

###### 4.3.1.1 評価・分析概要

圃場2面をカバーするローカル5Gの二つの周波数帯（28GHz帯、4.7GHz帯）それぞれをエリア化し、遠隔作業拠点から複数のお茶用農業ロボット（\*1）（\*2）を監視しながら遠隔制御（緊急停止、並びに前進・左右・後退・停止操作）をする実証を行った。

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の緊急停止、並びに前進・左右・後退・停止操作を行った。

検証については、安全性の面、適切な生育管理・収穫等を実現する観点から、28GHz帯、4.7GHz帯それぞれの周波数帯で同様の検証を行った。

（\*1）お茶用農業ロボットは、摘採機と中切機を使用した。

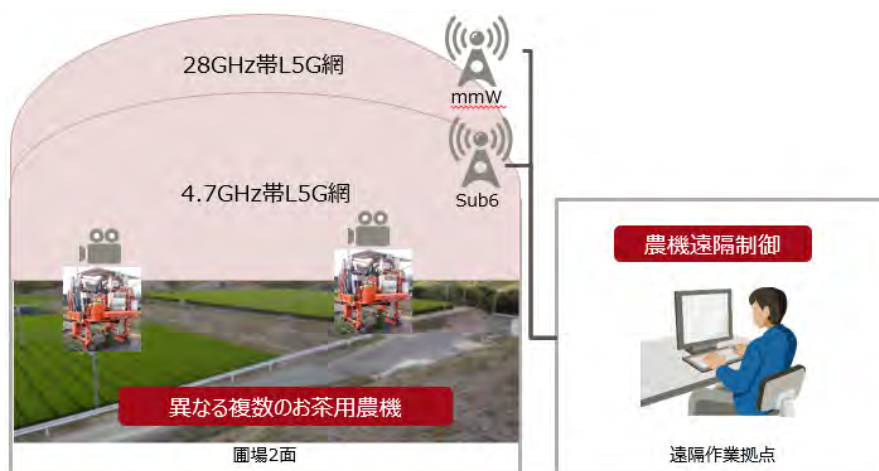
摘採機：お茶を摘む機械。

中切機：お茶の枝を切る機械。アタッチメントを変えることにより肥料の散布や中切り、秋整枝（来年に備えてお茶の枝を深く刈る事）など多用途に活用。

（\*2）自動化は複数の農機を少数の人間が遠隔監視して初めてコスト的メリットが出る。

そのため、遠隔監視の複数同時制御は必須機能であり、ローカル5Gを活用することで、一人のオペレータで複数の農機を監視した場合の緊急停止の実現性（緊急停止時間1.8秒以内）を検証する。

（\*）生産者による利用時期は、摘採機は4月～10月、中切り機は主に4月～11月、ドローンは3月～10月、摘採計画策定支援システムは4月～10月、鳥獣クラウドは1年中、LPWAは主に3月～10月ではあるが、それ以外の季節も活用する場合もある。



### 図 4.3.1-4.3-1 農業ロボットによる農作業の自動化実証概要

本実証では、下記検証を行った

- (1) 自動走行時の農業ロボットの緊急停止（農業ロボットが茶畑の畝を出たところでの緊急停止ユースケース）
- (2) 非自動走行時の農業ロボット制御（直進、左右、後退、停止）

(\*1) 上記(1)は単独走行時及び複数ロボット同時走行時の両方で検証を行った。

（検証内容は、4.3.1.4 (2) 1) 項を参照）

(\*2) 28GHz 帯及び 4.7GHz 帯の両方で上記検証を行った。

(\*3) 自動走行は、農機が自律的に走行している状態を指す。

非自動走行は、農機が自律的には走行せず、遠隔操作で走行する状態。

検証項目の全体像は以下の表のとおりである。

表 4.3.1-1 検証項目の概要

ユースケース	走行パターン	周波数パターン	実証数値目標	実証方法
自動走行時の緊急停止	単独走行時	28GHz帯	1.8秒以内 (畝から公道までのスペースで停止ができる範囲)	圃場の現場に監視員を配置して万が一の実証中の事故防止につとめながら、遠隔作業拠点に配置したパソコン（もしくはタブレット）に搭載した制御アプリケーションで遠隔からの農業ロボット制御を行います。
		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、後退、停止)	単独走行時	28GHz帯	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	
		4.7GHz帯		

また、遠隔制御の制御アプリケーションUIについて、操作性に関する定性的評価（使いやすさなど）を実施した。（4.5.1.3 参照）

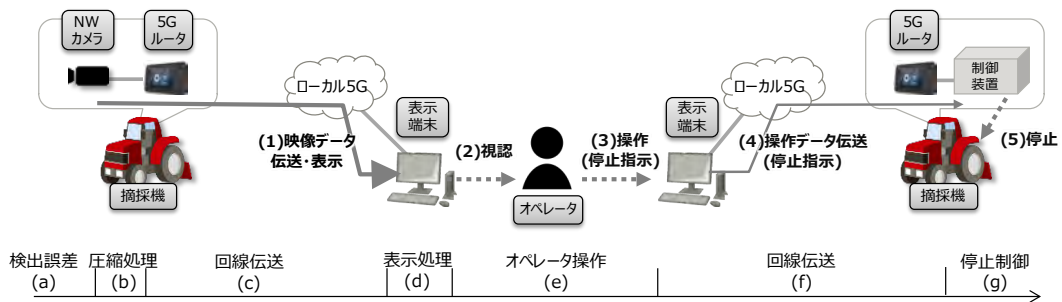
#### (1) 活動目標

農機ロボット制御の実証にあたって、同制御機能を実現する上で重要な要素である遅延に関して、以下の通り活動目標を定めた。

1) 自動走行中の緊急停止

自動運転時の高い安全性を担保するためには、自動化農機周辺で異常な状況が生じた場合、速やかに緊急停止を実施できることが求められる。特に圃場周囲での事故防止の観点から、茶畑の畝を出たところでの緊急停止を想定し、異常な状況が発生してから摘採機・中刈機の制動までの緊急停止距離を1m以下（農機速度最大55cm/secのため、1m走行時間概算  $1m \div 0.55m/sec \approx 1.8sec$ ）とする活動目標を定めた。

その上で、実証システムにおける緊急停止機能の各構成要素（下図(a)～(g)）について、緊急停止距離1mを実現するための目標時間をそれぞれ設定し、対策を検討の上、実現性の検証を行った。



構成要素	内容	実証システムにおける対策	目標時間
(a) 検出誤差	画像の取り込みにおける誤差。	・フレームレート10fps以上	50ms以下
(b) 圧縮処理	H.264等のエンコード処理に要する時間。	・映像圧縮方式の最適化 ・高性能カメラの導入	400ms以下 ((b)+(d)合計値)
(c) 回線伝送(上り)	エンコードされた映像データをネットワーク伝送する時間	・ローカル5Gによる転送時間削減	20ms以下
(d) 表示処理	H.264等のデコード処理並びに表示処理時間。	・映像圧縮方式の最適化 ・高性能端末の導入	400ms以下 ((b)+(d)合計値)
(e) オペレータ操作	端末表示を認識し、停止制御操作を行うまでの時間	・高解像映像 (FHD) ・UIの工夫(操作性)	0.75s (想定値(*2))
(f) 回線伝送(下り)	停止指示情報をネットワーク伝送する時間	・ローカル5Gによる転送時間削減	20ms以下
(g) 停止制御	停止制御装置が停止制御を実行し、農機へ伝達する時間	—	10ms以下
(合計(*1))			平均1.25s以下

図 4.3.1-4.3-2 緊急停止機能の構成要素と目標時間



(\*1) 摘採機・中刈機における速度を 55cm/sec、制動距離を 30cm と仮定した場合の、緊急停止距離目標 1m の実現にあたっての上記(a)～(g)合計時間 1.25 秒以下 ( $(1m-30cm) \div 55cm/秒 \approx 1.27$  秒) を達成するための目標時間として、(e)オペレータ操作時間 0.75s(想定値)を除いた区間合計 0.5sec とした。

(\*2) オペレータが画像を注視した状況における想定値を 0.75sec とした。

## 2) 非自動走行中の制御

レベル 3 自動運転の実現に向けた遠隔からの制御（直進、後退、左右、停止）の実装にあたっては、遠隔地からの映像伝送・表示に起因する遅延を抑え、遠隔からでも現地に近い操作性を確保する必要がある。一般に、操作から映像表示までの遅延（映像提示遅延）は 200ms 程度以内が必要とされている。

(\*）映像提示時間 200ms は、低速域の農機の遠隔操作において十分な操作性を確保する観点で、参考文献(1) (2) (4.3.1.6) を参考にした。

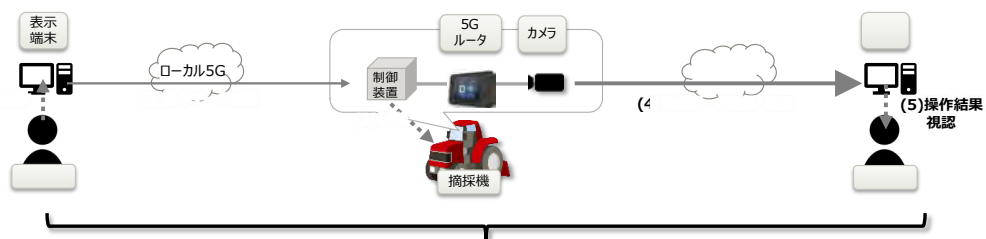
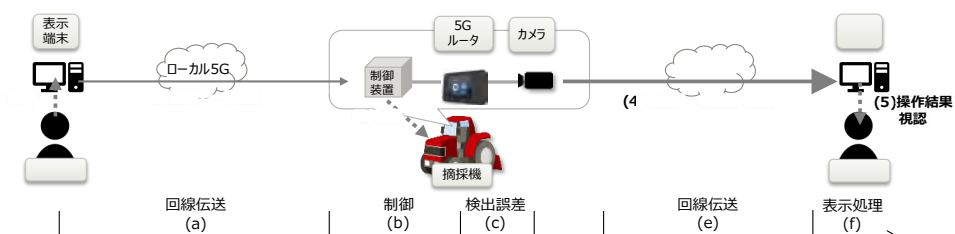


図 4.3.1-4.3-3 非自動走行時の制御における映像提示遅延

一方、農機制御が反映される時間（制御情報が農機側へ伝達されてから、メカニカルな動作を経て制御結果が得られるまでの時間）は、農機によって異なることから、本実証実験では、本ユースケース以外への横展開を考慮し、この反映時間を除いて、映像提示遅延 200ms 以下とする活動目標を定めた。

その上で、実証システムにおける制御機能の各構成要素（下図(a)～(f)）について、映像提示遅延 200ms を実現するための目標時間をそれぞれ設定し、対策を検討の上、実現性の検証を行った。



構成要素	内容	実証システムにおける対策	目標時間

(a)	回線伝送 (下り)	制御情報をネットワーク伝送する時間	・ローカル5Gによる転送時間削減	20ms以下
(b)	制御	制御装置が制御を実行し、農機へ伝達する時間	—	10ms以下
(c)	検出誤差	画像の取り込みにおける誤差。	・フレームレート10fps以上	50ms以下
(d)	圧縮処理	H. 264等のエンコード処理に要する時間。	・映像圧縮方式の最適化 ・高性能カメラの導入	100ms以下 ((d)+(f)合計値)
(e)	回線伝送 (上り)	エンコードされた映像データをネットワーク伝送する時間	・ローカル5Gによる転送時間削減	20ms以下
(f)	表示処理	H. 264等のデコード処理並びに表示処理時間。	・映像圧縮方式の最適化 ・高性能端末の導入	100ms以下 ((d)+(f)合計値)
(合計)				平均200ms以下

図 4.3.1-4.3-4 映像提示遅延の構成要素と目標時間

また本実証において、オペレータの操作性に影響する映像提示遅延は、コスト及びスループット（圧縮率）とトレードオフの関係（映像提示遅延を小さくすると、コスト・必要スループットが大きくなる）にあると考えられることから、ローカル5G性能を踏まえ、本ユースケースに必要十分な映像提示遅延（処理時間）を実現する映像伝送方法を比較検証するため、市販の映像伝送システムの中から、想定される処理時間、圧縮率の異なる下表の3パターンを抽出し、評価を実施した。

表 4.3.1-2 映像伝送方法

映像伝送方法		映像圧縮方式	想定処理時間（コーデック等）	想定スループット（上り）	備考
(a)	汎用ネットワークカメラ	H. 264	数100ms程度	～数Mbps	遠隔停止で使用するカメラ。
(b)	非圧縮カメラ	非圧縮	100ms程度	～数100Mbps	CameraRAW方式
(c)	映像伝送装置	H. 265	100ms程度	～数10Mbps	富士通製品（持込み）カメラ・モニタの遅延量は別。

(2) 実証環境開発内容

1) 構築システム

a) 構成図

構築システムの全体図を図 4.3.1-5 に示す。

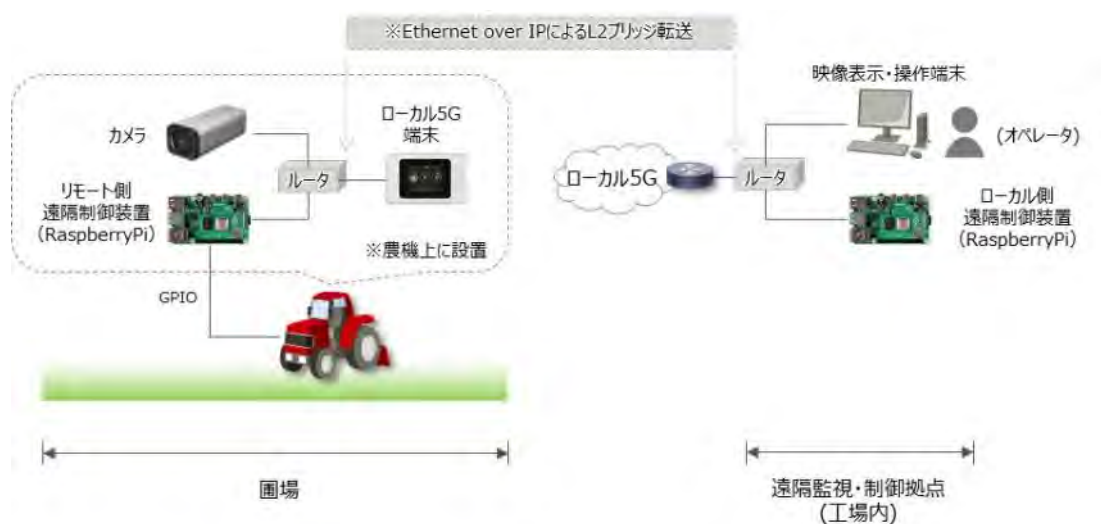


図 4.3.1-4.3-5 構築システム (全体図)

遠隔制御装置間通信 (ローカル～リモート側 RaspberryPi 間の通信) においてマルチキャスト IP 転送が必要であった一方、ローカル 5G システムはマルチキャスト転送について未サポートのため、本実証システムでは Ethernet フレームをブリッジする構成とした。



図 4.3.1-4.3-6 構築システム：農機側 (1/3)



図 4.3.1-4.3-7 構築システム：農機側 (2/3)





図 4. 3. 1-4. 3-8 構築システム：農機側（3/3）



図 4.3.1-4.3-9 構築システム：事務所側

b) システム動作概要

自動走行中の緊急停止、非自動走行中の制御それぞれのシステム動作概要について以下に示す。

A) 自動走行中の緊急停止

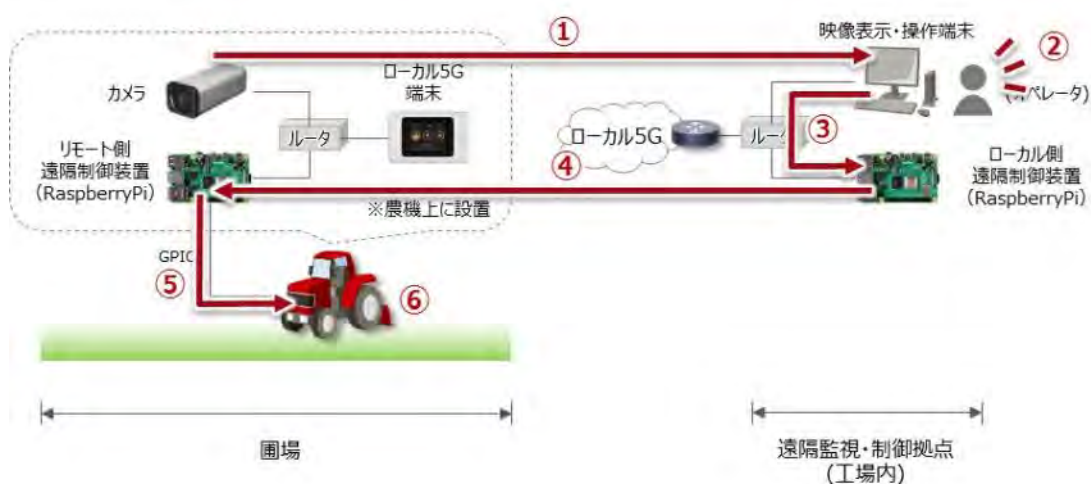


図 4.3.1-4.3-10 システム動作（自動走行中の緊急停止）

<システム動作の流れ>

- ① カメラ映像が映像表示・操作端末へ伝送・表示される。
- ② オペレータは、カメラ映像に異常を確認した場合、制御アプリ（UI）の緊急停止ボ

タンを押下。

- ③ 緊急停止操作を、遠隔制御装置（ローカル側）で受け付け。
- ④ 遠隔制御装置（ローカル側）は、操作情報を遠隔制御装置（リモート側）へ通知。
- ⑤ 遠隔制御装置（リモート側）は、操作情報を受信し、その情報に沿った制御情報をGPIO経由で農機（シーケンサ）へ通知。
- ⑥ 農機（シーケンサ）は、受信した制御情報に基づいて操作（制動動作）を行い、農機が緊急停止。

## B) 非自動走行中の制御

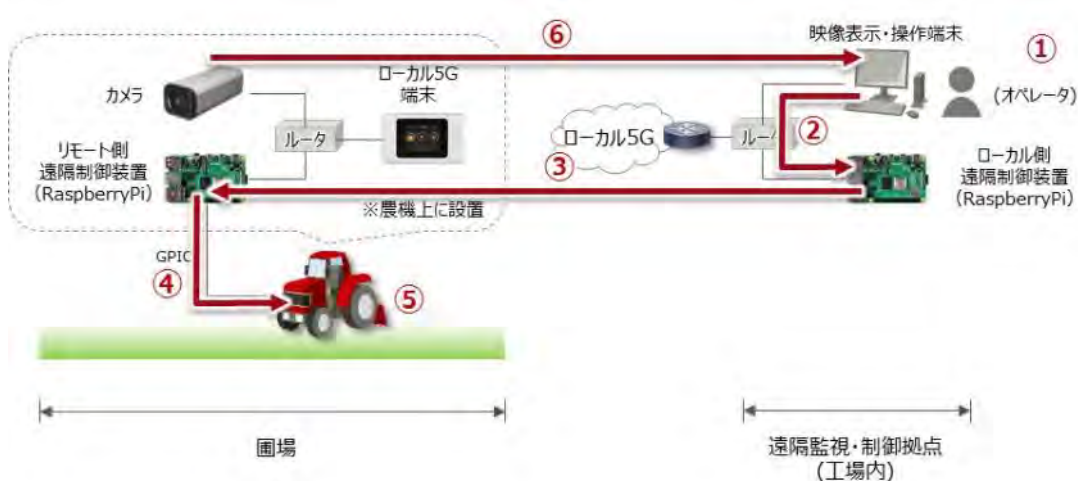


図 4.3.1-4.3-11 システム動作（非自動走行中の制御）

### <システム動作の流れ>

- ① オペレータは、制御アプリ（UI）を用いて遠隔操作（前進、左右、後退、停止）を行う。
- ② 遠隔操作を、遠隔制御装置（ローカル側）で受け付け。
- ③ 遠隔制御装置（ローカル側）は、操作情報を遠隔制御装置（リモート側）へ通知。
- ④ 遠隔制御装置（リモート側）は、操作情報を受信し、その情報に沿った制御情報をGPIO経由で農機（シーケンサ）へ通知。
- ⑤ 農機（シーケンサ）は、受信した制御情報に基づいて操作し、農機が動作（前進、左右、後退、停止）。
- ⑥ 農機の動作結果が、カメラ映像として映像表示・操作端末へ伝送・表示される。

## 2) 構成要素

### a) 映像システム

映像システムの選定にあたっては、緊急停止における下記要件に基づいて、カメラおよび表示端末を選定した。なお、映像処理時間（400ms以下目標）について、選定段階での確認は困難（カメラおよび表示端末を用いた検証が必要）であったことから、選定にあたっては、カメラ・表示端末単体の性能を検討の上、検証において実測することと

した。

表 4.3.1-3 緊急停止のための映像システム要件

項目	要件	備考
フレームレート	10fps 以上	緊急停止距離 1m 以内を実現するため ( (1) 1) 項参照)
解像度	フル HD	一般に広く普及している解像度を選択。

上記要件に基づいて選定したカメラおよび表示端末を以下に示す。

表 4.3.1-4 映像システム (NW カメラ)

映像システム	品名	主要スペック
ネットワークカメラ (以降 NW カメラと記載)	VB-H730F Mk II (Canon 製)	映像圧縮方式 : H.264 解像度 : 1920x1080 フレームレート : 最大 30fps
映像表示端末	Dell Precision T3630 (Dell 製)	CPU : Corei7-8700 メモリ : 8GB SSD : 512GB グラフィックボード : Radeon Pro WX 2100 OS : Windows10 Pro

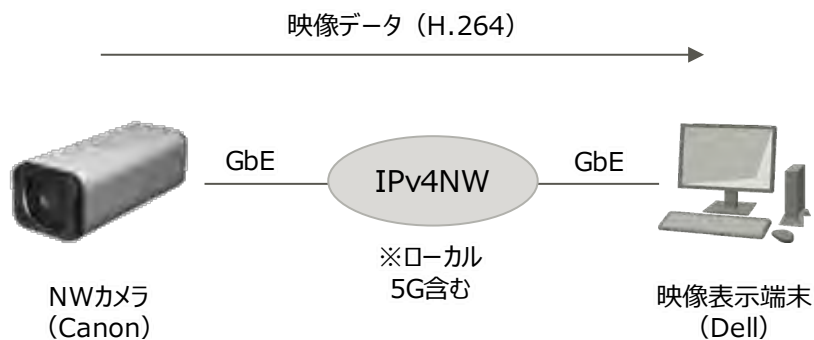


図 4.3.1-4.3-12 映像システム構成概要 (NW カメラ)

非自動走行時の制御については、本ユースケースにおける必要十分な映像提示遅延を検証するため、表 4.3.1-2 に記載の通り、上記のネットワークカメラに加え、映像処理時間の異なる（より低遅延と想定した）非圧縮カメラ、映像伝送装置を用い、4.3.1.1 (1) 2) 項に記載する目標値の実現性の検証を含めた実証を行った。

表 4.3.1-5 映像システム（非圧縮カメラ）

映像システム	品名	主要スペック
非圧縮カメラ	XCG-CG240C (Sony 製)	映像圧縮方式： 非圧縮 (Bayer8bit) 解像度：1920x1080 フレームレート：～41fps
映像表示端末	Dell Precision T3630 (Dell 製)	※ネットワークカメラと同じ端末を使用。

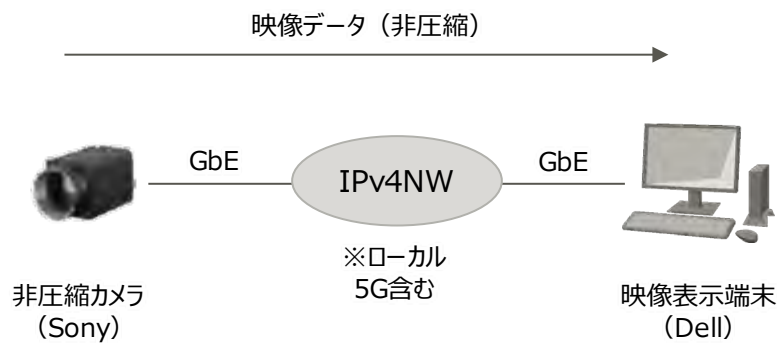


図 4.3.1-4.3-13 映像システム構成概要（非圧縮カメラ）

表 4.3.1-6 映像システム（映像伝送装置）

映像システム	品名	主要スペック
映像伝送装置 (エンコーダ装置、 デコーダ装置)	IP-HE950 (富士通製)	映像圧縮方式：H. 265 解像度：1920x1080 フレームレート：59.94fps
3G-SDI カメラ	STC-HD203SDI (オムロンセンテック製)	解像度：1920x1080 フレームレート：59.94fps 出力：3G-SDI 他
3G-SDI モニタ	SH1560S (ADTECHNO 製)	解像度：1920x1080 入力：3G-SDI 他



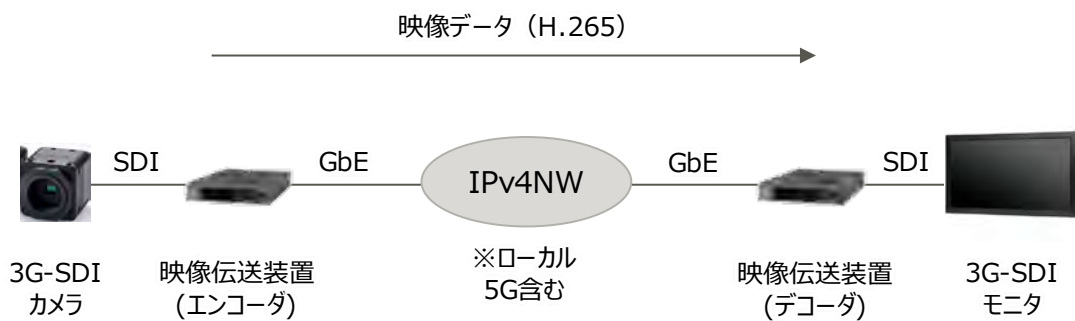


図 4.3.1-4.3-14 映像システム構成概要（映像伝送装置）

b) 遠隔制御システム

遠隔制御システムは、横展開が容易に実現可能となる仕組みとして各農機メーカーに簡易に取り付けられるアタッチメント方式による開発を行うとともに、安価に製造できるようにオープンソースを組み合わせる方針のもと、小型・安価な Raspberry pi モデル 4B (OS:ubuntu) を採用した。

表 4.3.1-7 遠隔制御システム

遠隔制御システム	品名	主要スペック
遠隔制御装置	Raspberry Pi 4 Model B	SoC : Broadcom BCM2837B0 OS : Ubuntu 20.04.1 LTS ROS : ROS2 Foxy

(3) 実証実験場所

本実証実験は、鹿児島堀口製茶(有)煎茶工場(鹿児島県志布志市有明町原田 1202-1)を遠隔制御拠点とし、約 2.5km (直線) 離れた自社圃場にて自動化農機を運転した際の監視・遠隔制御を行った。

地図上の位置関係を図 4.3.1-15 に示す。



図 4.3.1-4.3-15 実証実験場所

出典 : google map



図 4.3.1-4.3-16 工場側（事務所内）の様子



出典：google map



図 4.3.1-4.3-17 圃場の様子 (1/2)



出典：google map



図 4.3.1-4.3-18 圃場の様子 (2/2)

(4) 使用機器 (遠隔制御関連)

表 4.3.1-8 使用機器 (遠隔制御関連)

項番	機器名	機種	台数
1	映像表示端末	Dell Precision T3630	1
2	ディスプレイ	Dell U2520D	1
3	NW カメラ	VB-H730F Mk II	1
4	非圧縮カメラ	XCG-CG240C	1
5	映像伝送装置	IP-HE950	1
6	3G-SDI カメラ	STC-HD203SDI	1
7	3G-SDI モニタ	SH1560S	1
8	遠隔制御装置	Raspberry Pi 4 Model B	2

4.3.1.2 評価・分析項目

(1) 自動走行中の緊急停止

本実証システムにおける緊急停止時間に関する対策の有効性を評価するとともに、2つの周波数帯域 (28GHz 帯、4.7GHz 帯) における無線接続品質・カバレッジの観点でアプリケーション (緊急停止) への影響を検証した。また、実証地域において従来から導入・実証されている類似のシステムとの比較による効果確認を行った。

表 4.3.1-9 緊急停止時間に関する検証項目

検証項目	検証内容 (概要)
① 実証システム検証 1 (28GHz 帯)	2つの周波数帯それぞれ、下記検証を実施。 A) 緊急停止時間の検証

②	実証システム検証2 (4.7GHz帯)	B) 緊急停止時間の構成要素毎の処理時間の検証 C) 農機移動中のアプリケーション品質の検証
③	従来システムとの比較による効果確認	従来システムにおける緊急停止時間、および構成要素毎の処理時間との比較を実施。

(2) 非自動走行中の制御

表 4.3.1-2 に示す各映像伝送方法による遅延量並びに操作性への影響（遅延観点）を評価するとともに、2つの周波数帯域（28GHz帯、4.7GHz帯）における無線接続品質・カバレッジの観点でアプリケーション（遠隔操作）への影響を検証した。

表 4.3.1-10 映像提示遅延に関する検証項目

検証項目		検証内容（概要）
①	実証システム検証1 (28GHz帯)	2つの周波数帯それぞれ、下記検証を実施する。 A) 映像提示遅延の検証
②	実証システム検証2 (4.7GHz帯)	B) 映像提示遅延の各構成要素における処理時間の検証 C) 農機移動中のアプリケーション品質の検証

(3) 実証システムにおける安全性確保に関する検証

1) 予想される事故

横転、衝突等の事故等の安全性確保の観点から、予想される事故等の概要を整理し、解決策の検証を行った。

表 4.3.1-11 予想される事故概要

	原因	異常パターン	解決策
直進	障害物	人が侵入	警告ランプ、画像による目視・緊急停止、障害物センサー（異物検知）、警告看板の設置、通信断発生時の農機停止
		異物の放置	
		その他	
停止	停止せず	ブレーキの故障	
		センサーの故障	
		緊急停止装置の故障	
転回	転回せず	転回の失敗	
		転回以上（停止）	
		転回しすぎ	
横転	横転した	ぬかるみ	
		正常動作せず	
左右調整		制御不能	

a) 警告機能（視覚的装置）

供試機は視覚的な警告機能として状態表示灯を機体左右上方に備えている。畝内を自動走行中は機体右上方の青色の状態表示灯が点滅し、畝内から退出して枕地で旋回し次の畝へ侵入する間は同青色状態表示灯に加え機体左上方の黄色の状態表示灯が点滅する仕様とした。



図 4.3.1-4.3-19 警告機能（視覚的装置）

なお供試機は視覚的な警告機能を有し、自動運転開始時、および畝内から退出し枕地で旋回、次の畝へ侵入する間、後進時にブザー音が断続的に発する。

b) 監視補助装置（モニター）

供試機は監視補助装置として供試機前方に装着カメラを設置し、その映像を送信し、タブレット端末にてモニターすることができる仕様とした。圃場作業も補助的に監視を行うケースを想定し、圃場作業者が、自動運転中の農機が正常に動作しているか、移動先に危険がないか等確認できるようにするものである。





図 4.3.1-4.3-20 監視補助装置（モニター）

c) 障害物センサーによる安全装置(\*)

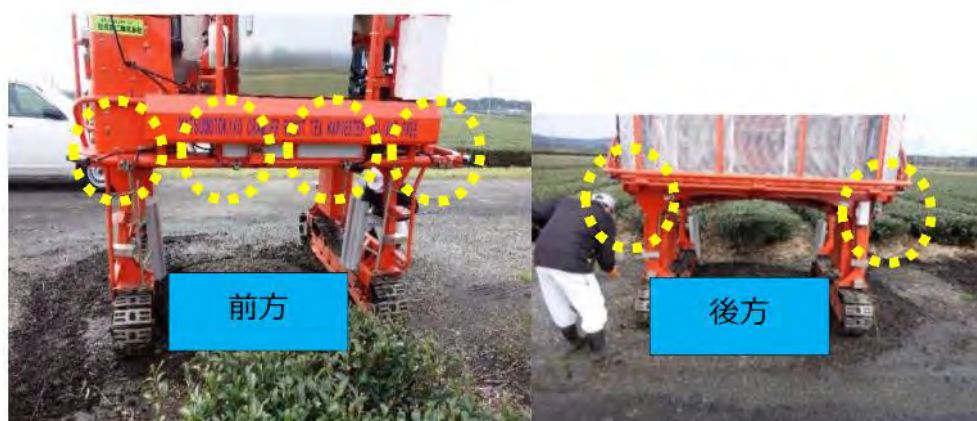


図 4.3.1-4.3-21 超音波センサー設置箇所例

(\*) 車などに使われているソナーセンサーを使用

d) 警告看板



図 4.3.1-4.3-22 警告看板

e) 通信断発生時の農機停止

遠隔制御システム間で通信断が生じた場合は、農機側で検知して自動停止する機能を実装した。

2) 検証項目

表 4.3.1-12 安全性確保に関する検証項目

検証項目		検証内容 (概要)
a)	警告機能(視覚的装置)	農機に付けている、表示等がつくかの検証 自動走行時:青色点滅 枕地旋回時:黄色点滅
b)	監視補助装置 (モニター)	タブレットにて、映像が表示されているかの検証
c)	障害物センサーによる安全装置	農機についている障害物センサーが動作した時、農機が停止するかの検証
d)	警告看板	周知できるか、ヒアリングによる検証
e)	通信断発生時の農機停止	農機自動停止の検証

4.3.1.3 評価・分析方法

(1) 自動走行中の緊急停止

前述の検証項目 (表 4.3.1-9) につき、評価方法を以下に示す。

1) 実証システム検証 1 (29GHz 帯)

a) 緊急停止時間の検証

実証システムにおける、茶畑でのイレギュラー発生時から農機制動までの時間を測定した。



図 4. 3. 1-4. 3-23 緊急停止時間の測定方法

自動で往復作業中の摘採機に対し、試験者（イレギュラー挿入者）が旗を上げ（旗上げを第三者の侵入とみなす）、遠隔監視装置にて監視を行う監視者が、試験者の旗挙げをモニター上で認知することで緊急停止操作を行った。記録者は、試験者の旗上げから摘採機が停止するまでの時間を測定した。

検証場所については、本ユースケースは畝から枕地に出たところでの緊急停止を想定しているが、畝の中では距離測定作業をすることが難しいことから、枕地で測定を実施することとし、その上で無線環境の良好なエリアとして以下の場所を選定した。



図 4. 3. 1-4. 3-24 検証実施場所（自動走行中の緊急停止）

出典：google map

また、2 台の農機を同時利用するユースケースに基づき、1 名の監視者が農機 2 台の監視を行う場合についても、同様に遅延検証を実施した。

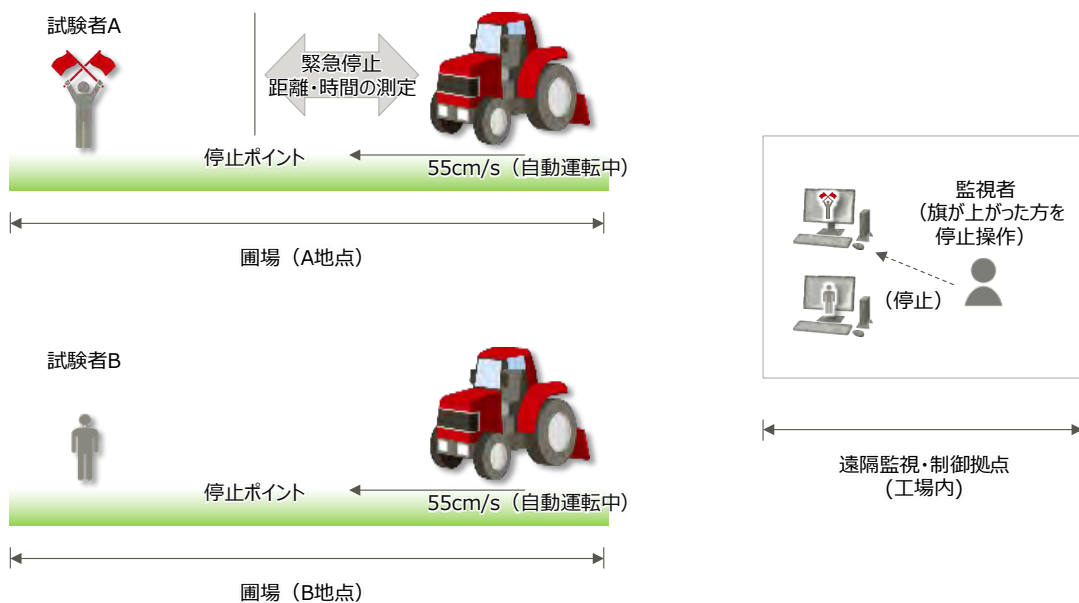
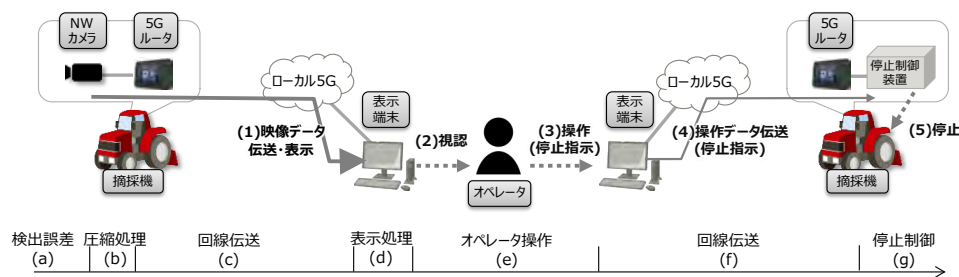


図 4.3.1-4.3-25 緊急停止時間の測定方法 (2台走行時)

上記のように A、B 地点で自動走行する 2 台の摘採機を 1 名で監視している状況において、一方の農機で旗上げ (イレギュラー挿入) を行った場合の緊急停止距離・時間を測定した。

b) 緊急停止時間の構成要素毎の処理時間の検証

実証システムにおける緊急停止機能の構成要素毎の処理時間を測定し、対策についての検証を実施した。各構成要素の測定方法を以下に示す。



	構成要素	測定方法	備考
(a)	検出誤差	カメラの FPS 設定から算出	
(b)	圧縮処理	(b)+(d) 合算で算出。 (a)~(d)間の測定を行い(b)+(d)以外を減算	
(c)	回線伝送 (上り)	現地でのローカル 5G 伝送時間(端末~コア間)を測定	
(d)	表示処理	(b)+(d) 合算で算出。	



		(a)～(d)間の測定を行い(b)+(d)以外を減算	
(e)	オペレータ操作	全体時間(a)～(f)からオペレータ操作以外の時間を引くことで算出	
(f)	回線伝送(下り)	現地でのローカル5G伝送時間(端末～コア間)を測定	
(g)	停止制御	停止制御装置における停止信号の受付から、農機への停止指示までの時間を内部ログとして記録。	

図 4.3.1-4.3-26 緊急停止時間の測定方法（構成要素毎）

なお、検証場所は、図 4.3.1-24 と同一の場所を実施した。

(a)～(d)間の測定方法（以降、映像処理・伝送時間と記載）

場所の離れた2地点間（圃場側と工場側）での測定が必要となるため、両地点で時刻同期（NTP）したPCを用いて映像処理・伝送時間の測定を行った。①圃場側で、NTP同期した時刻を表示したPCを摘採機に搭載するNWカメラで撮影し、②その撮影映像をリアルタイムにローカル5G経由で工場側のPC（映像表示・操作端末）へ伝送・表示するとともに、③同PCのNTP同期した時刻、及び10ミリ秒単位で表示されるストップウォッチをあわせて表示し、これらを同一映像の中で動画撮影した。撮影した動画をフレーム単位で確認し、2つの時刻（圃場側PC、工場側PC（映像表示・操作端末）の表示時刻）の時間差から、遅延時間を測定した。

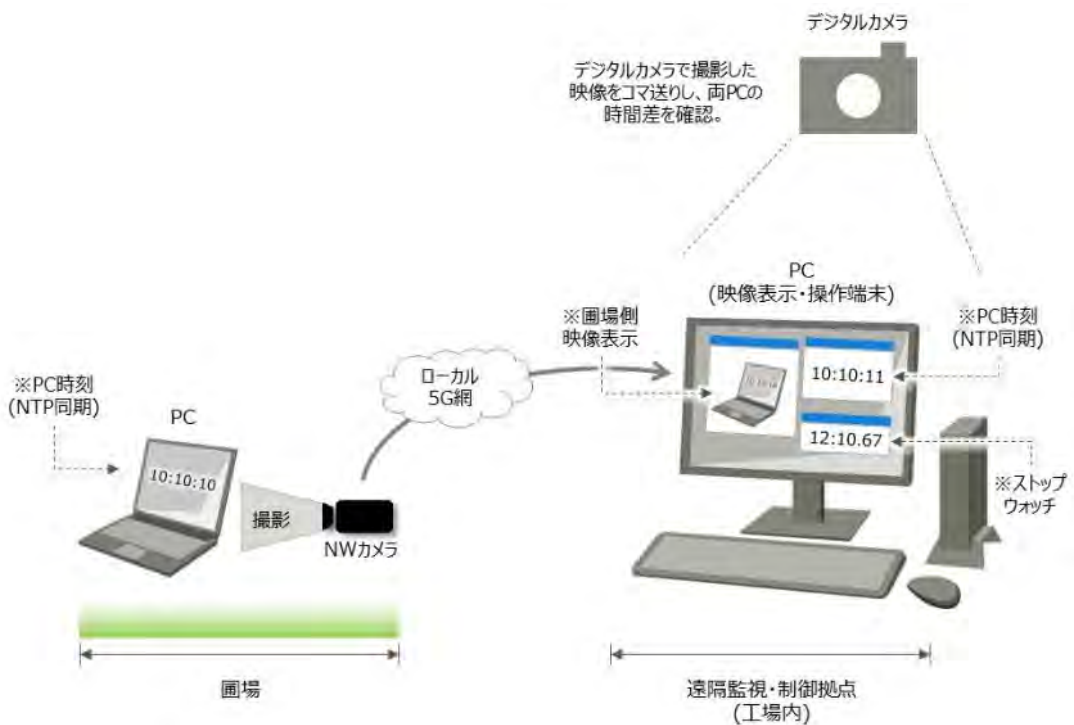
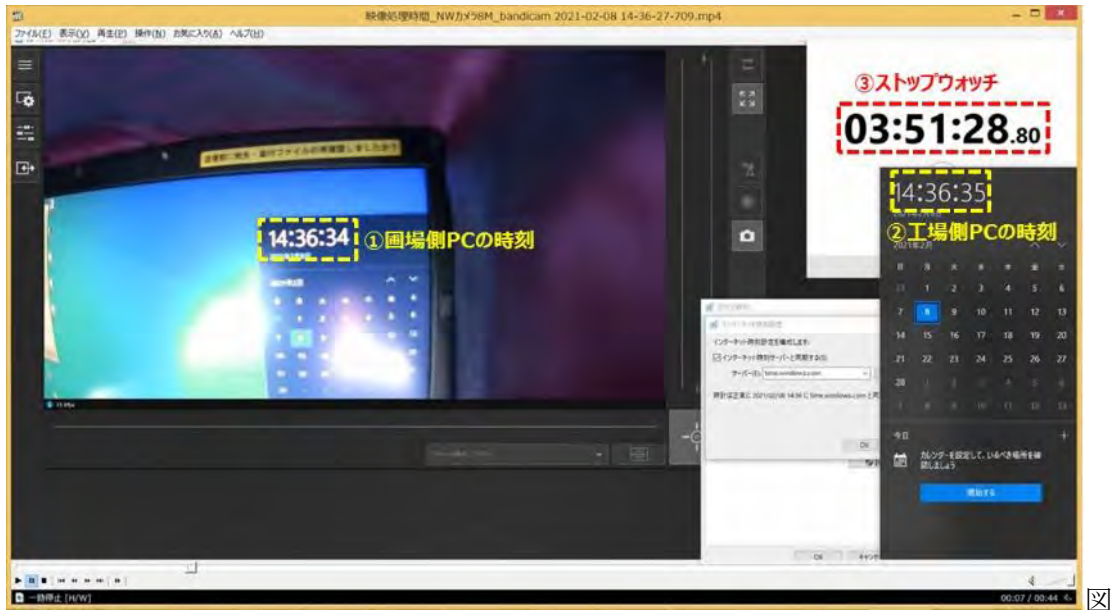


図 4.3.1-4.3-27 映像処理・伝送時間（(a)～(d)間）の測定方法





4. 3. 1-4. 3-28 実証実験で撮影した映像

(c)、(f)の測定方法

測定器を用いてラウンドトリップタイム（以降 RTT と記載）を 3 分間測定した。（上り下り時間は 1/2 で算出）

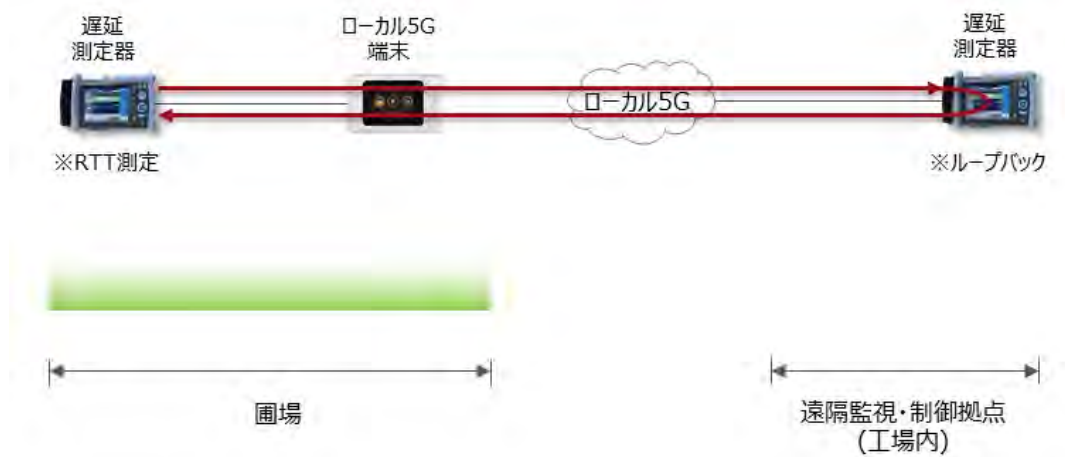


図 4. 3. 1-4. 3-29 回線伝送時間測定

表 4. 3. 1-13 測定器

機器	品名	主要スペック
遅延測定器	AQ1301 (横河計測製)	測定ポート：RJ-45(*1) 試験レイヤー：L2、L3(*1) 試験モード（遅延測定）： ループバック試験、PING 試験(*1)

(\*1)測定は GbE(フレーム長 512byte)、L3-IPv4、ループバック試験(レート 1Mbps)で実施。

また、2 台の農機が同時走行するケースでの遅延影響を確認するため、ローカル 5G 端末 2 台を同時利用した状態での回線伝送時間を測定した。

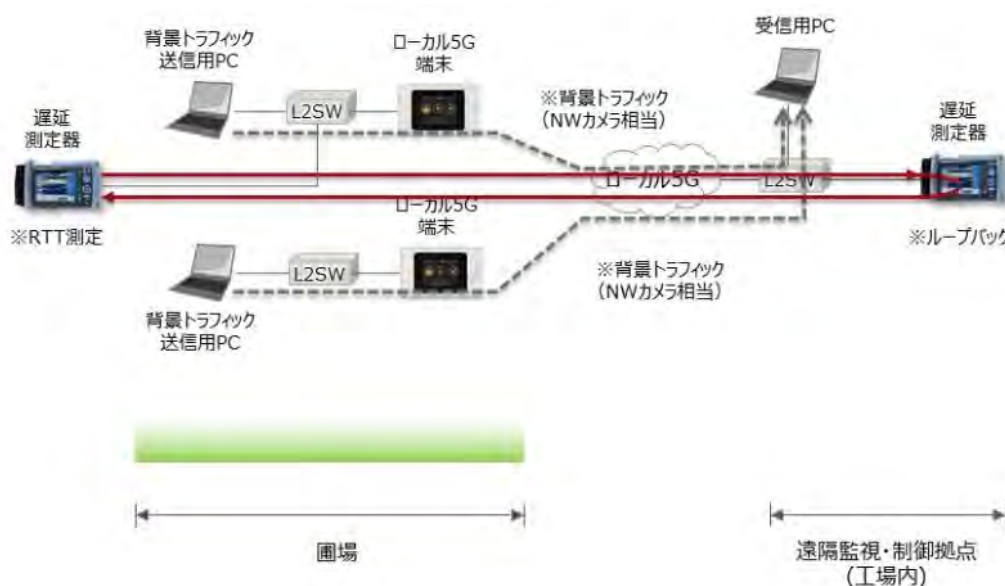


図 4.3.1-4.3-30 回線伝送時間測定 (端末 2 台利用時)

c) 農機移動中のアプリケーション品質の検証

農機移動中、遮蔽やセル端等の影響による無線レイヤーのリンク断等の発生状況を収集し、その際の映像配信状況 (配信遅延・停止) と緊急停止動作の正常性について確認した。

技術実証の試験結果から無線品質の劣化している地点を 3 か所抽出し、その地点付近の録画映像 (技術実証試験中のカメラ伝送映像の録画データ) から映像配信状況を確認すると共に、同一地点付近で緊急停止制御を実施し、動作の正常性について確認を行った。

映像配信状況については、良好なポイントでの映像と比べて遠隔監視機能に支障がないかという観点で以下の 5 段階評価のアンケートを実施した。アンケートは農業生産者を始めとし、複数の関係者に実施した。

表 4.3.1-14 5 段階評価基準 (映像配信状況の評価)

評点	評定	評価基準
5	非常に良い (Excellent)	良好なポイントと同様の映像品質
4	良い (Good)	良好なポイントよりも多少映像の乱れはあるが問題のない品質
3	普通 (Fair)	やや映像の乱れは認められるが、利用上ほぼ支障ない品質
2	悪い (Poor)	映像品質が断続的に劣化しており、利用影響がある
1	非常に悪い (Bad)	継続して映像品質が悪く、利用は難しい



図 4.3.1-4.3-31 農機移動中のアプリケーション品質（検証地点）

## 2) 実証システム検証2（4.7GHz）

実証システム検証1と同一の試験を実施した。

なお、4.7GHz帯システムに関しては28GHz帯システムとカバーエリアが異なるため、検証場所は下記地点で実施した。（4.7GHz帯システムのエリアカバー状況に関しては、5.3参照）



図 4.3.1-4.3-32 検証実施場所 (4.7GHz 帯システムの場合)



図 4.3.1-4.3-33 農機移動中のアプリケーション品質 (検証地点 (4.7GHz 帯の場合))



3) 従来システムとの比較による効果確認

緊急停止機能については、類似する従来システムにて検証済みの検証データとの比較分析を実施した。

従来システムは、将来的な自動運転レベル3を想定し、遠隔監視の実現性等を確認することを目的に試作された遠隔監視システムで、農機に搭載したNWカメラの映像を商用LTE回線で伝送し遠隔監視端末に表示するものである。構成を以下に示す。

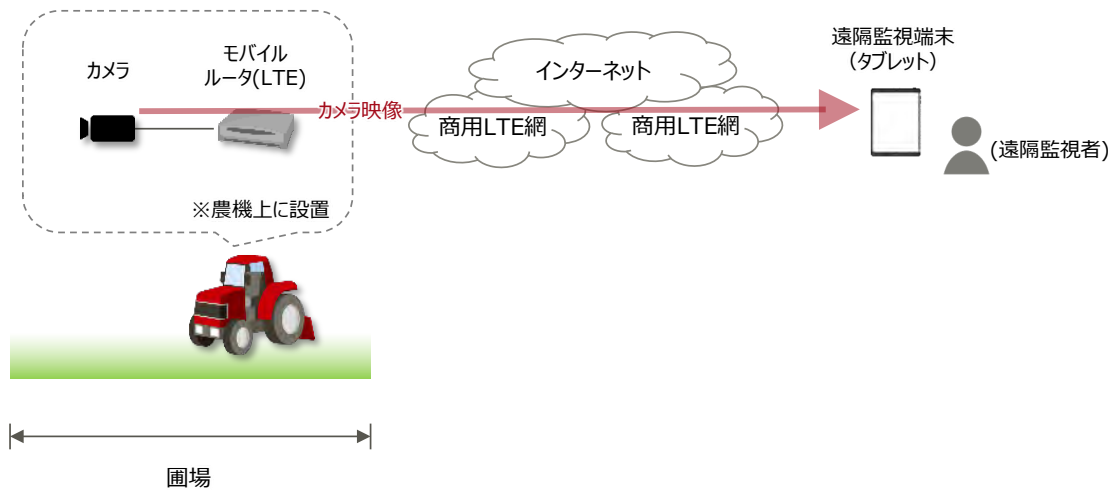


図 4.3.1-4.3-34 従来システム構成



図 4.3.1-4.3-35 従来システム (農機)





図 4.3.1-4.3-36 従来システム（遠隔監視端末）

上述の通り、従来システムは遠隔監視機能のみを実装したものであるため、本検証では、本実証システムにおける遠隔監視機能（図 4.3.1-26(a)～(e)）と従来システムの比較分析を行った。

## (2) 非自動走行時の制御

前述の検証項目（表 4.3.1-10）につき、評価方法を以下に示す。

### 1) 実証システム検証 1（28GHz 帯）

#### a) 映像提示遅延の検証

表 4.3.1-2 に示す各映像伝送方法を用いた場合の映像提示遅延の測定と、オペレータによる操作性への影響について検証した。  
検証場所は、図 4.3.1-24 と同一の場所を実施した。

#### 映像提示遅延の測定方法

遠隔での制御から、制御結果となる映像表示までをデジタルカメラで連続撮影し、時間差を測定した。

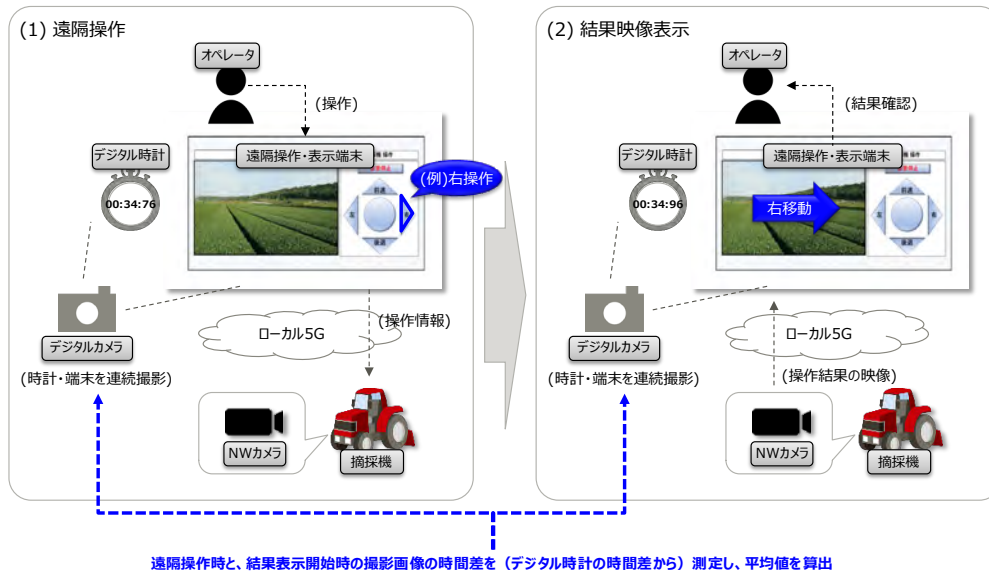


図 4.3.1-4.3-37 映像提示遅延の測定方法

・ オペレータによる操作性検証方法

農機の操作経験を有する農業者が、それぞれの映像伝送方法における遠隔からの制御を通して、映像提示遅延に関する体感遅延の大きさ、遅延による具体的な操作影響について評価を行った。体感遅延とそれによる操作影響については、以下の評価基準（5段階評価）を定めた上で、農機操作の有スキル者が操作・評価することでデータ化した。

表 4.3.1-15 5段階評価基準（体感遅延・操作性（遅延影響）の評価）

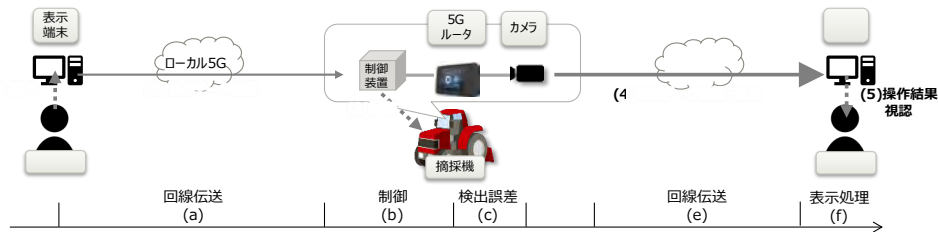
評点	評定	体感遅延	操作性（遅延影響）
5	非常に良い（Excellent）	遅延小	遅延影響は全くない
4	良い（Good）		遅延影響はほぼなく、問題なし
3	普通（Fair）		多少遅延を感じるが、十分操作可能
2	悪い（Poor）		遅延影響で多少操作に支障がある
1	非常に悪い（Bad）	遅延大	遅延影響が大きく、遠隔操作は困難

b) 映像提示遅延の各構成要素における処理時間の検証

映像提示遅延につき、構成要素ごとの処理時間の検証を実施した。

非自動走行時の制御における映像提示遅延に関し構成要素と測定方法を以下に示す。

検証場所は、図 4.3.1-24 と同一の場所を実施した。



	測定箇所	測定方法	備考
(a)	回線伝送 (上り)	現地でのローカル 5G 伝送時間(端末～コア間)を測定	
(b)	制御	制御装置における制御信号の受付から、農機への制御指示までの時間を内部ログとして記録。	
(c)	検出誤差	カメラの FPS 設定から算出	
(d)	圧縮処理	(d)+(f) 合算で算出。 (c)～(f)間の測定を行い(b)+(d)以外を減算	
(e)	回線伝送 (下り)	現地でのローカル 5G 伝送時間(端末～コア間)を測定	
(f)	表示処理	(d)+(f) 合算で算出。 (c)～(f)間の測定を行い(b)+(d)以外を減算	

図 4.3.1-4.3-38 映像提示遅延の構成要素と測定方法

(c)～(f)間 (映像処理・伝送時間) の測定方法  
緊急停止における測定方法と同様の方法で測定した。

(a)、(e)の測定方法  
緊急停止における測定結果を使用した。

#### c) 農機移動中のアプリケーション品質の検証

農機移動中、遮蔽やセル端等の影響による無線レイヤーのリンク断等の発生状況を収集し、その際の映像配信状況 (配信遅延・停止)、制御動作の正常性について確認した。

技術実証の試験結果から無線品質の劣化している地点を 3 か所抽出し、その地点付近の録画映像 (技術実証試験中のカメラ伝送映像の録画データ) から映像配信状況を確認すると共に、同一地点付近で非自動走行時の制御を実施し、動作の正常性について確認を行った。

検証場所は、図 4.3.1-31 と同一の場所を実施した。

## 2) 実証システム検証 2 (4.7GHz 帯)

実証システム検証 1 と同一の試験を実施した。

なお、4.7GHz 帯システムに関しては 28GHz 帯システムとカバーエリアが異なるため、検証場所は緊急停止の際と同様、図 4.3.1-32、図 4.3.1-33 の地点で実施した (4.7GHz 帯システムのエリアカバー状況に関しては 5.3 参照)。

## (3) 使用機器 (遠隔制御関連)

前述の検証項目 (表 4.3.1-12) に記載する方法で、評価を実施した。

なお、同表 e) 項 (通信断発生時の農機停止検証) については、農機を自動運転状態にて、ローカル 5G 回線を抜いて、疑似的に通信断の状態を作り、農機が自動で停止することを確認した。

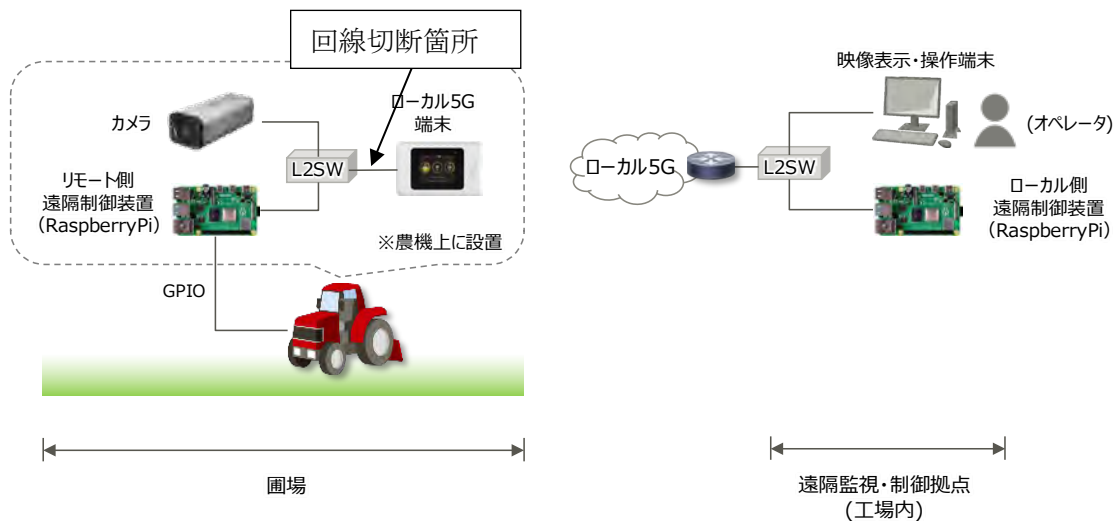


図 4.3.1-4.3-39 通信断発生時の農機停止検証



#### 4.3.1.4 評価・検証結果

##### (1) 自動走行中の緊急停止

###### 1) 実証システム検証 1 (28GHz 帯)

###### a) 緊急停止時間の検証

1 台走行時における緊急停止動作を検証した結果、正常動作を確認した。

動作確認時における緊急停止時間、緊急停止距離の測定結果を表 4.3.1-16 に示す。  
活動目標（緊急停止距離、緊急停止時間）の達成を確認した。

表 4.3.1-16 測定結果（緊急停止時間（1 台走行時）、28GHz 帯）

	測定結果	備考
緊急停止距離	0.48m	
緊急停止時間	1.29 秒	

2 台走行時においても特に問題なく動作することを確認した。緊急停止時間、緊急停止距離の測定結果を表 4.3.1-17 に示す。1 台走行と比べ、緊急停止距離・時間共に増加した。

表 4.3.1-17 測定結果（緊急停止時間（2 台走行時）、28GHz 帯）

	測定結果	備考
緊急停止距離	0.74m	
緊急停止時間	1.64 秒	

2 台走行時の緊急停止距離・時間の増加について、1 台の場合と比べて処理時間に影響する構成要素としては回線伝送時間、オペレータ操作時間（表示映像の認知～緊急停止操作までの時間）が考えられる(\*)が、回線伝送時間は後述（表 4.3.1-19 及び表 4.3.1-20）の通り 1 台・2 台による違いは十分小さいことを確認している。従って、1 台走行時と比べて 2 台走行時の緊急停止距離・時間が増加した要因は、オペレータ操作時間の影響によるものと考えられる。4.3.1.5 (1) 2) a) にて考察する。

(\*)本実証システムでは、映像システム（カメラおよび映像表示・操作端末）および遠隔制御システム（ローカル側・リモート側 RaspberryPi）は農機ごとに独立して構成するため、2 台走行によるこれらの処理時間への影響はない（1 台走行と同等）と考えた。

###### b) 緊急停止時間の構成要素毎の処理時間の検証

圃場の NW カメラ映像が工場側の映像表示・操作端末に表示されるまでの時間（映像処理・伝送時間）の測定結果を表 4.3.1-18 に示す。

表 4.3.1-18 測定結果（映像処理・伝送時間（NW カメラ）、28GHz 帯）

	測定結果	備考
映像処理・伝送時間	0.32 秒	

圃場・工場間の回線伝送時間の測定結果を表 4.3.1-19 に示す

表 4.3.1-19 測定結果（回線伝送時間（1 台接続時）、28GHz 帯）

	測定結果	備考
回線伝送時間	0.013 秒	測定結果はラウンドトリップ タイム。

2 台接続時における圃場・工場間の回線伝送時間の測定結果を表 4.3.1-20 に示す

表 4.3.1-20 測定結果（回線伝送時間（2 台接続時）、28GHz 帯）

	測定結果	備考
回線伝送時間	0.016 秒	測定結果はラウンドトリップ タイム。

停止制御時間の測定結果を表 4.3.1-21 に示す。

表 4.3.1-21 測定結果（停止制御時間）

	測定結果	備考
停止制御時間	0.025 秒	

制動距離、時間の測定結果を表 4.3.1-22 に示す。

表 4.3.1-22 測定結果（制動距離、制動時間）

	測定結果	備考
制動距離	0.18m	
制動時間	0.415 秒	

以上より、構成要素毎の処理時間に関する測定結果（全体）を図 4.3.1-40 に示す。活動目標で設定した目標値（下図青色で記載）に対して、概ね達成出来ていることを確認した。

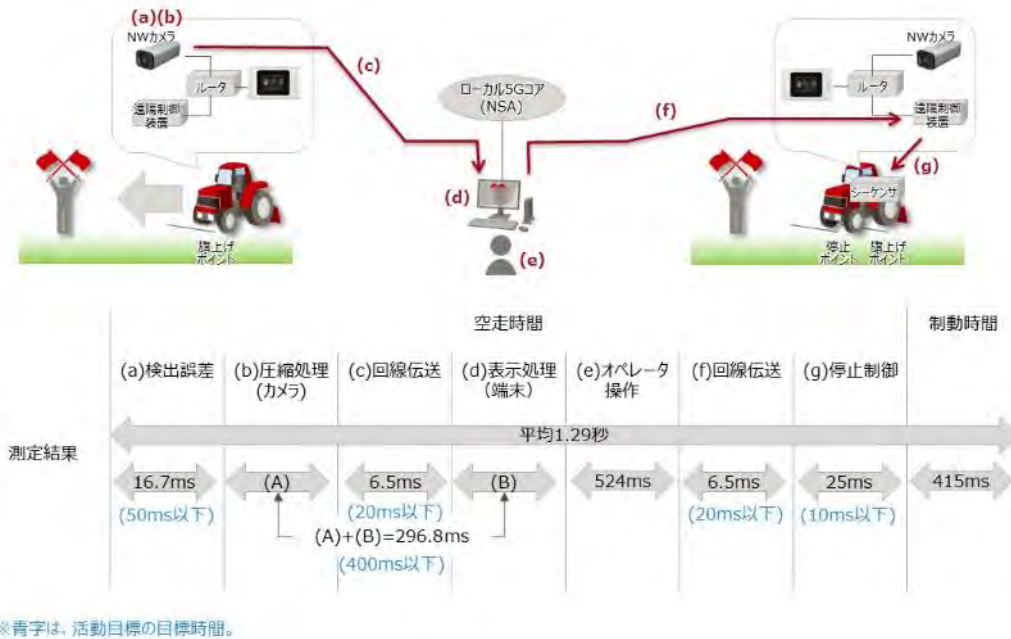


図 4.3.1-4.3-40 緊急停止機能の構成要素毎の処理時間測定結果（28GHz 帯）

c) 農機移動中のアプリケーション品質の検証

無線品質劣化ポイント 3 か所の各地点で緊急停止機能確認を実施した結果、全ての地点で正常動作することを確認した。その際の緊急停止時間の測定結果を表 4.3.1-23 に示す(\*)。

(\*)緊急停止時の緊急停止距離は、圃場内での計測作業が困難なため測定不可である。

表 4.3.1-23 測定結果（無線品質劣化地点での緊急停止、28GHz 帯）

	品質劣化 ポイント①	品質劣化 ポイント②	品質劣化 ポイント③	品質良好 ポイント
RSRP	-97.0dBm	-105.0dBm	-94.0dBm	-87.0dBm
回線伝送時間	0.016 秒	0.017 秒	0.014 秒	0.013 秒
緊急停止時間	1.65 秒	1.29 秒	1.45 秒	1.29 秒

また、上記の品質劣化ポイントにおける、映像配信状況に関する 5 段階評価のアンケート結果を表 4.3.1-24 に示す。

表 4.3.1-24 測定結果（無線品質劣化地点での映像配信状況（NW カメラ）、28GHz 帯）

	品質劣化 ポイント①	品質劣化 ポイント②	品質劣化 ポイント③	品質良好 ポイント
映像配信状況の 評価(5 段階評 価)	2.8	3.8	2.3	(5)

(\*) 農業生産者（堀口製茶）はじめ、計 6 名に対するアンケート結果の平均値。

品質劣化ポイント（特に①③）では多少の映像の乱れが発生しており、品質良好ポイントと比較した5段階評価は概ね「3：普通」（表 4.3.1-14）前後の結果となった。同ポイントにおいては緊急停止時間も増加（表 4.3.1-23）しており、主にこの要因による影響（配信映像の乱れにより遠隔監視者による事象の認知時間が増加したもの）と考えられる。

## 2) 実証システム検証 2 (4.7GHz 帯)

### a) 緊急停止時間の検証

1 台走行時における緊急停止動作を検証した結果、正常動作を確認した。

緊急停止時間、緊急停止距離の測定結果を表 4.3.1-25 に示す。28GHz 帯システムと同様、活動目標（緊急停止距離、緊急停止時間）を達成した。

表 4.3.1-25 測定結果（緊急停止時間（1 台走行時）、4.7GHz 帯）

	測定結果	備考
緊急停止距離	0.59m	
緊急停止時間	1.31 秒	

2 台走行時においても問題なく動作することを確認した。緊急停止時間、緊急停止距離の測定結果を表 4.3.1-26 に示す。28GHz 帯システムでの検証結果と同様、1 台走行と比べ、緊急停止距離・時間共に増加傾向にあることを確認しており、主に監視者の反応時間の影響と考えられる。（4.3.1.5 (1) 2) a) 参照）

表 4.3.1-26 測定結果（緊急停止時間（2 台走行時）、4.7GHz 帯）

	測定結果	備考
緊急停止距離	0.79m	
緊急停止時間	1.76 秒	

### b) 緊急停止時間の構成要素毎の処理時間の検証

圃場の NW カメラ映像が工場側の映像表示・操作端末に表示されるまでの時間（映像処理・伝送時間）の測定結果を表 4.3.1-27 に示す。

表 4.3.1-27 測定結果（映像処理・伝送時間（NW カメラ）、4.7GHz 帯）

	測定結果	備考
映像処理・伝送時間	0.34 秒	

圃場・工場間の回線伝送時間の測定結果を表 4.3.1-28 に示す。

表 4.3.1-28 測定結果（回線伝送時間（1台接続時）、4.7GHz帯）

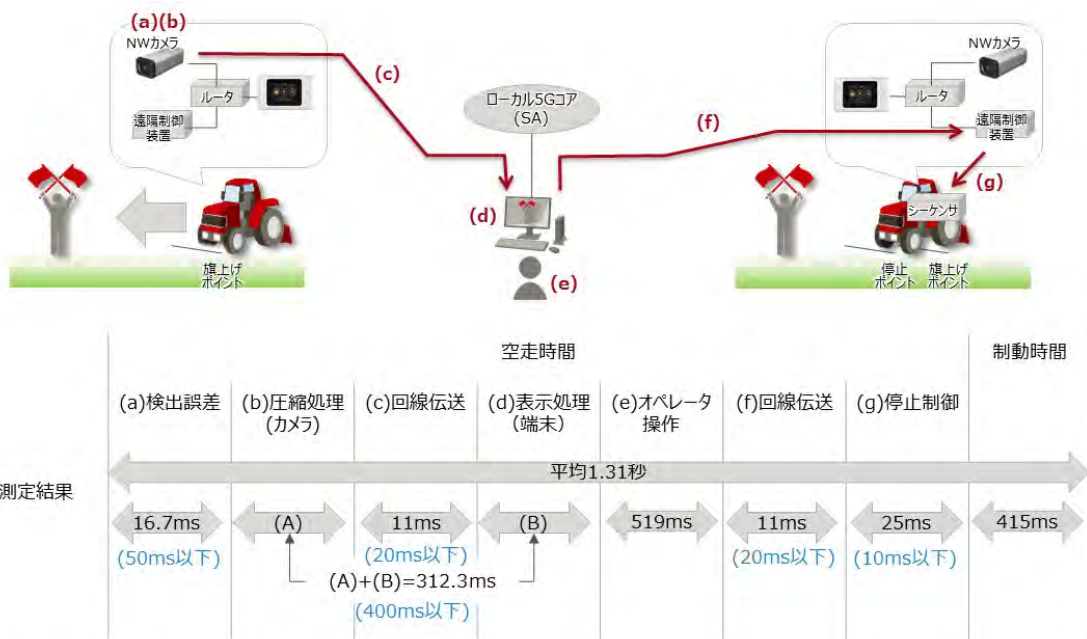
	測定結果	備考
回線伝送時間	21.9ms	測定結果はラウンドトリップタイム。

2台接続時における圃場・工場間の回線伝送時間の測定結果を表 4.3.1-29 に示す。

表 4.3.1-29 測定結果（回線伝送時間（2台接続時）、4.7GHz帯）

	測定結果	備考
回線伝送時間	24.6ms	測定結果はラウンドトリップタイム。

以上より、構成要素毎の処理時間に関する測定結果（全体）を図 4.3.1-39 に示す。活動目標で設定した目標値（下図青色で記載）に対して、概ね達成出来ていることを確認した。



※青字は、活動目標の目標時間。

図 4.3.1-4.3-41 緊急停止機能の構成要素毎の処理時間測定結果（4.7GHz帯）

### c) 農機移動中のアプリケーション品質の検証

無線品質劣化ポイント 3 か所の各地点で緊急停止機能確認を実施した結果、全ての地点で正常動作することを確認した。その際の緊急停止時間の測定結果を表 4.3.1-30 に示す(\*)。

(\*)緊急停止時の緊急停止距離は、圃場内での計測作業が困難なため測定不可である。



表 4.3.1-30 測定結果（無線品質劣化地点での緊急停止、4.7GHz 帯）

	品質劣化 ポイント①	品質劣化 ポイント②	品質劣化 ポイント③	品質良好 ポイント
RSRP	-107.0dBm	-99.0dBm	-109.0dBm	-88.4dBm
回線伝送時間	35.1ms	22.1ms	85.6ms	21.9ms
緊急停止時間	1.66 秒	1.33 秒	1.93 秒	1.31 秒

また、上記の品質劣化ポイントにおける、映像配信状況に関する 5 段階評価のアンケート結果を表 4.3.1-31 に示す。

表 4.3.1-31 測定結果（無線品質劣化地点での映像配信状況（NW カメラ）、4.7GHz 帯）

	品質劣化 ポイント①	品質劣化 ポイント②	品質劣化 ポイント③	品質良好 ポイント
映像配信状況の 評価（5 段階評 価）	3.1	3.0	2.4	(5)

(\*）農業生産者（堀口製茶）はじめ、計 7 名に対するアンケート結果の平均値。

無線品質劣化ポイントでの緊急停止時間の測定の結果、28GHz 帯システムと同様の傾向を確認した。28GHz 帯システムと同じく、無線品質劣化ポイントでは配信映像の乱れ（映像品質「3：普通」程度の配信状況）により監視者の認知時間が遅れ、そのことが緊急停止時間に影響したものとする。なお、品質劣化ポイント③の評価値が比較的低い（評価値 2.4）点については、同ポイントでは回線伝送時間が増加していること（品質良好ポイントと比べて約 60ms 強の増加）が影響していると考えられる。回線伝送時間の増加が、映像伝送方式として TCP を利用している NW カメラの映像品質をより劣化させ、その結果緊急停止時間の増加に繋がったものとする。

### 3) 従来システムとの比較による効果確認

#### a) 従来システムの緊急停止時間

従来システムでは、遠隔監視者による反応（クラクション操作）までの時間を計測しており(\*1)、平均 2.9s（最大 5.5s）(\*2) 要することを確認した。

(\*1) 従来システムにおける遅延測定方法について

茶畑でのイレギュラー発生時から監視者の反応までの時間を確認した。

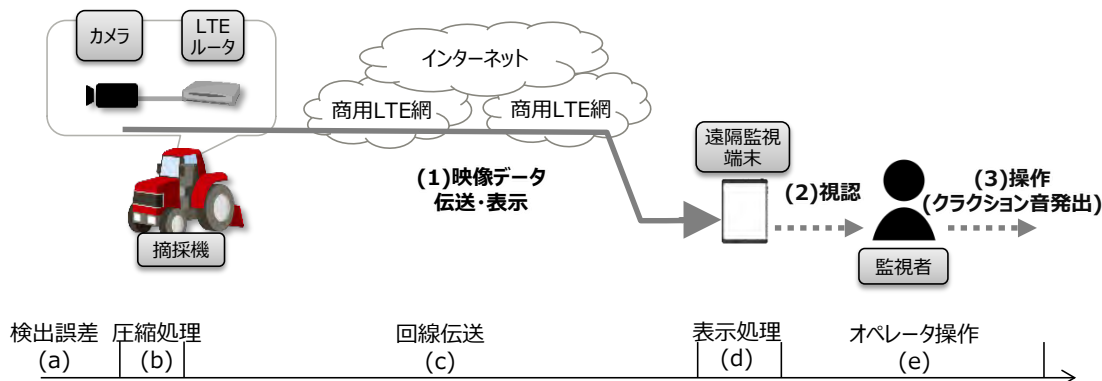


図 4.3.1-4.3-42 従来システムの測定方法

自動で往復作業中の摘採機に対し、試験者（イレギュラー挿入者）が旗を上げ（旗上げを第三者の侵入とみなす。）、摘採機近傍に配置した乗用車内において遠隔監視端末にて監視を行う監視者が、試験者の旗上げをモニター上で認知することで乗用車のクラクションを鳴らす。記録者は、試験者の旗上げからクラクション音が発生するまでの時間を測定した。

(\*2) 農機の最大速度は 55cm/s の為、距離換算すると旗上げ（異常発生）から監視者の操作まで約 1.6m（最大約 3m）の進行に相当する。

構成要素毎の処理時間について検証した結果を図 4.3.1-43 に示す。



構成要素		内容	従来システム検証結果
(a)	検出誤差	画像の取り込みにおける誤差。	約 500ms
(b)	圧縮処理	エンコード処理に要する時間。	約 1.13s ((b)+(d)合計値)
(c)	回線伝送	エンコードされた映像データをネットワーク伝送する時間	約 60ms
(d)	表示処理	デコード処理並びに表示処理時間。	約 1.13s ((b)+(d)合計値)
(e)	オペレータ操作	端末表示を認識し、停止制御操作を行うまでの時間(*1)	約 1.21s
(合計)			約 2.9s

図 4.3.1-4.3-43 従来システムにおける各構成要素の処理時間（空送時間）

(\*1) オペレータ操作時間は、全体平均約 2.9s から (a)～(d) 時間の測定結果を減算することで算出した。

b) 実証システムとの比較

従来システムの構成要素毎の処理時間と、実証システムにおいて対応する構成要素の処理時間の比較を図 4.3.1-44 に示す。

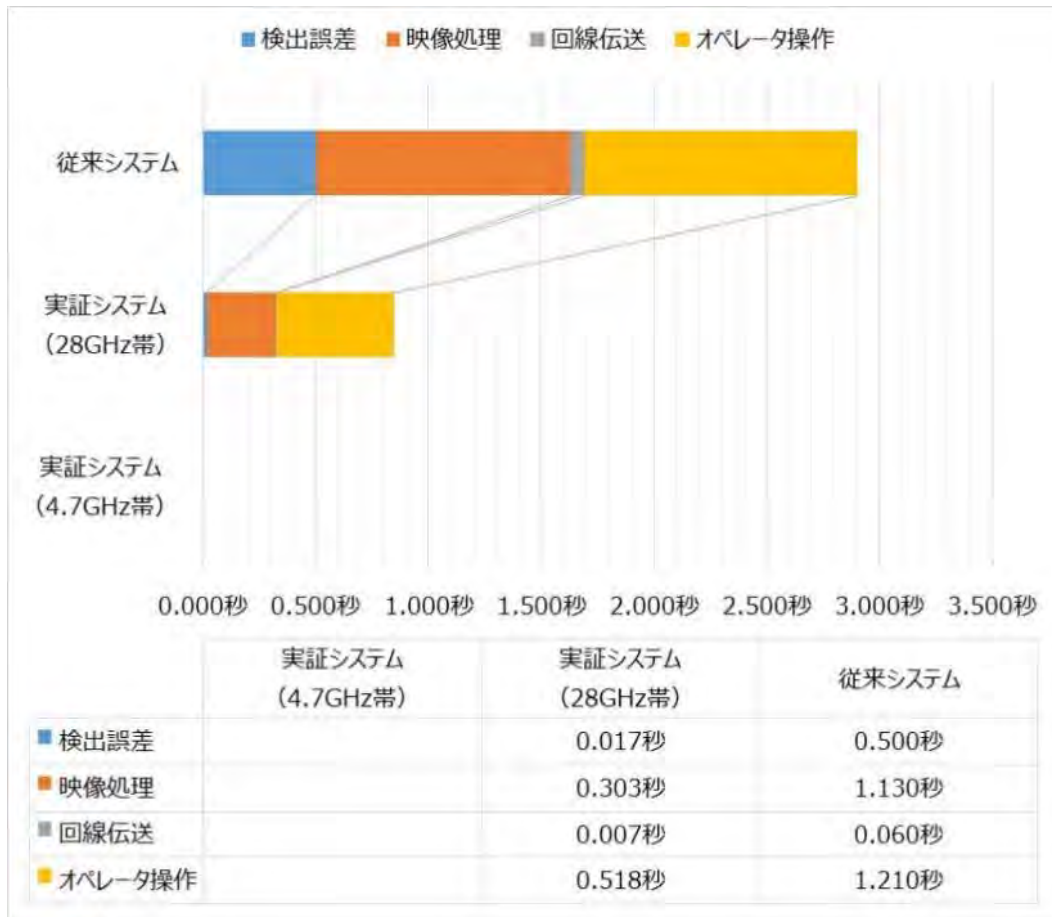


図 4.3.1-4.3-44 従来システムと実証システムの比較

(2) 非自動走行時の制御

1) 実証システム検証 1 (28GHz 帯)

a) 映像提示遅延の検証

遠隔操作（停止・前進・後退・左右の各操作）の動作検証の結果、正常動作を確認した。動作確認時における映像提示遅延の測定結果を表 4.3.1-32 に示す。

なお、映像提示遅延の比較検証のために NW カメラのほかに準備した非圧縮カメラ、映像伝送装置（表 4.3.1-2）のうち、非圧縮カメラについては 28GHz 帯システムの上り方向レート（理論値 0.1Gbps（表 3.2.4-1 参照）、実測値最大 63.1Mbps（UDP。5.3.5.2（2）参照））よりもトラフィックレートが高い（フル HD/10fps 約 180Mbps 強）ため、動作確認の結果映像表示されないことを確認した。そのため、28GHz 帯システムでの検証は NW カメラと映像伝送装置で実施した。

表 4.3.1-32 測定結果（映像提示遅延（農機反応時間を含む）、28GHz 帯）

	映像提示遅延 （農機反応時間(*)を含む)	備考
NW カメラ	0.80 秒	
非圧縮カメラ	—	測定未実施(上り方向レート不足の為)
映像伝送装置	0.65 秒	

(\*) 制御情報が農機側へ伝達されてから、メカニカルな制御を経て結果（前進などの動作）が得られるまでの時間である。

動作確認できた上記 2 種のカメラを用いて、遠隔操作の体感遅延の大きさと操作性への遅延影響について、農機の操作スキルを持つ農業生産者が 5 段階で評価した結果を表 4.3.1-33 に示す。

表 4.3.1-33 測定結果（遠隔操作の体感遅延・操作性(遅延影響)、28GHz 帯）

	体感遅延の大きさ	操作性（遅延影響）
NW カメラ	2.7	3.0
映像伝送装置	3.7	3.7

(\*) 農業生産者計 3 名に対するアンケート結果の平均値。

上記より、映像提示遅延の大きさが一定程度操作性に影響していると思われるものの、どちらのカメラについても、概ね本ユースケースにおいては、操作可能なレベルの遅延量であると考えられる。

このほか、操作性に関して以下のコメントがあった。

- ・ カメラが前しか見れない。遠隔操作なので農機の状態が分からない。(農業生産者 A)
- ・ カメラが 360° 見えなく、操作しづらい。(農業生産者 B)

- ・見える範囲が狭い。(農業生産者C)

b) 映像提示遅延の構成要素毎の処理時間の検証

圃場のカメラ映像(映像伝送装置)が工場側の映像表示・操作端末に表示されるまでの時間(映像処理・伝送時間)の測定結果を表 4.3.1-34 に示す(なお、NWカメラに関しては表 4.3.1-18)。

表 4.3.1-34 測定結果(映像処理・伝送時間(映像伝送装置)、28GHz 帯)

	測定結果	備考
映像処理・伝送時間	0.19 秒	

制御時間の測定結果を表 4.3.1-35 に示す。

表 4.3.1-35 測定結果(制御時間)

	測定結果	備考
制御時間	0.026 秒	

以上より、構成要素毎の処理時間に関する測定結果(全体)を図 4.3.1-45 (NW カメラの場合)、図 4.3.1-46 (映像伝送装置の場合)にそれぞれ示す。

なお、農機反応時間(図中③)は、全体の映像提示遅延から、各構成要素の処理時間(①、②、④~⑦)を減算し算出した。

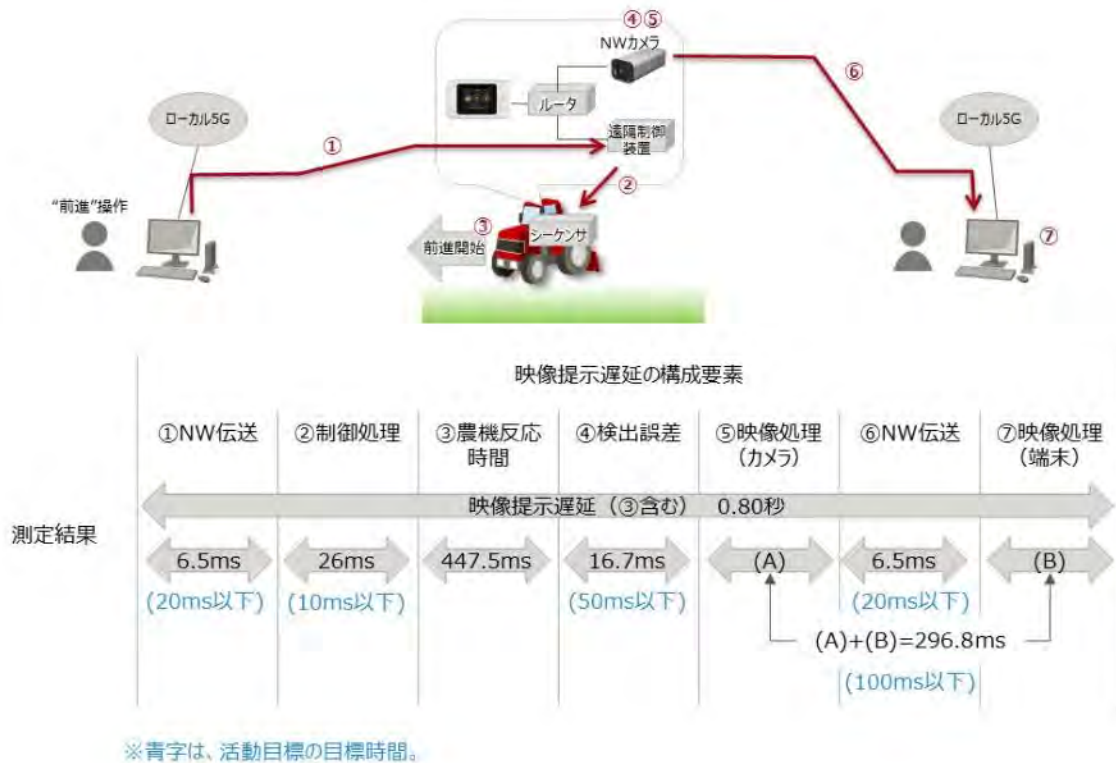


図 4.3.1-4.3-45 映像提示遅延の構成要素毎の処理時間測定結果(NWカメラ、28GHz)



帯)

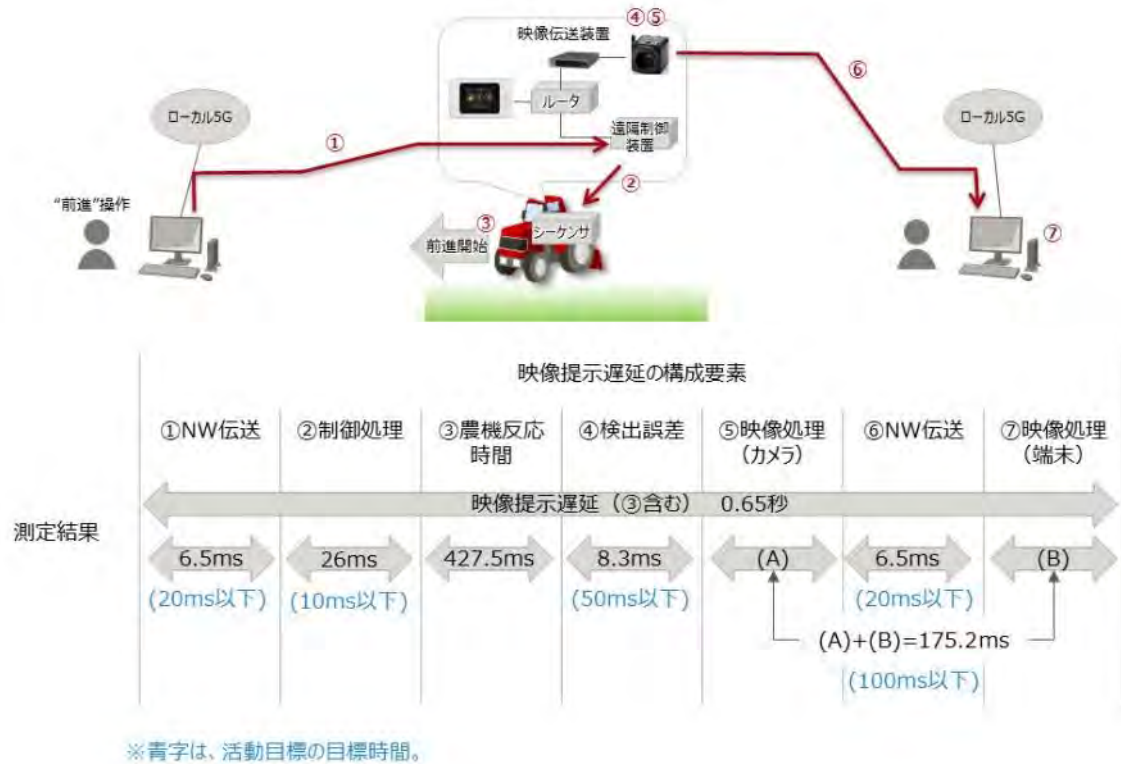


図 4.3.1-4.3-46 映像提示遅延の構成要素毎の処理時間測定結果 (映像伝送装置、28GHz 帯)

活動目標としている農機反応時間を除いた映像提示遅延は以下の通りとなり、目標値 200ms 以下は達成できなかった。映像提示遅延に関しては当初から映像システムの処理時間が支配的と考えており、検証からもその傾向を確認したが、目標値以上に映像処理 (カメラ・表示端末) の時間が大きい結果となった。

表 4.3.1-36 測定結果 (映像提示遅延 (農機反応時間を除く)、28GHz 帯)

	映像提示遅延 (農機反応時間を除く)	備考
NW カメラ	0.35 秒	
映像伝送装置	0.22 秒	

c) 農機移動中のアプリケーション品質の検証

無線品質劣化ポイント 3 か所の各地点で遠隔操作の機能確認を実施した結果、全ての地点で正常動作することを確認した。その際の映像提示遅延の測定結果を表 4.3.1-37 に示す。

表 4.3.1-37 測定結果 (無線品質劣化地点での映像提示遅延、28GHz 帯)

	品質劣化 ポイント①	品質劣化 ポイント②	品質劣化 ポイント③	品質良好 ポイント
RSRP	-97.0dBm	-105.0dBm	-94.0dBm	-87.0dBm
回線伝送時間	0.016 秒	0.017 秒	0.014 秒	0.013 秒
映像提示遅延 (NW カメラ)	1.16 秒	1.14 秒	1.29 秒	0.80 秒
映像提示遅延 (映像伝送装置)	0.64 秒	0.64 秒	0.63 秒	0.65 秒

また、上記の品質劣化ポイントにおける、映像配信状況に関する 5 段階評価のアンケート結果を表 4.3.1-38 に示す（映像伝送装置の場合。NW カメラは表 4.3.1-24 を参照。）。

表 4.3.1-38 測定結果（無線品質劣化地点での映像配信状況（映像伝送装置）、28GHz 帯）

	品質劣化 ポイント①	品質劣化 ポイント②	品質劣化 ポイント③	品質良好 ポイント
映像配信状況の 評価(5 段階評 価)	3.8	1.7	3.8	(5)

(\*) 農業生産者（堀口製茶）はじめ、計 6 名に対するアンケート結果の平均値。

映像配信について、品質劣化ポイントのうち①③では、概ね良好な評価結果となったが、②では付近で一時的な映像停止が生じたため評価値が大幅に低下した。映像伝送装置は UDP で映像伝送を行っている（同レイヤーでの送達確認や再送動作が無い）ことから、表 4.3.1-37 の通り品質劣化ポイントにおいても遅延影響はあまりみられないものの、映像処理の遅延を最大限抑えるためにデコーダの受信バッファサイズを最小値（1ms）に設定していることもあり、パケット欠損やジッタ発生の頻度が一時的に増加した場合に、品質劣化ポイント②でみられたような一時的な映像停止が発生したものとする。

## 2) 実証システム検証（4.7GHz 帯）

### a) 映像提示遅延の検証

4.7GHz 帯の遠隔操作（自動走行の発進、および停止・前進・後退・左右の各操作）の動作検証の結果、正常動作を確認した。動作確認時における映像提示遅延の測定結果を表 4.3.1-39 に示す。

なお、非圧縮カメラは高レートのため 4.7GHz 帯システムでも上り方向レート不足で映像表示されないことを確認した。その為、28GHz 帯システムと同様、NW カメラと映像

伝送装置を用いて以降の検証を実施した。

表 4.3.1-39 測定結果（映像提示遅延（農機反応時間を含む）、4.7GHz 帯）

	映像提示遅延 （農機反応時間(*2)を含む）	備考
NW カメラ	0.96 秒	
非圧縮カメラ	—	測定不可（上り方向レート不足の為）
映像伝送装置	0.76 秒	

(\*2) 制御情報が農機側へ伝達されてから、メカニカルな制御を経て結果（前進などの動作）が得られるまでの時間である。

動作確認できた上記 2 種のカメラを用いて、遠隔操作の体感遅延の大きさと操作性への遅延影響について、農機の操作スキルを持つ農業生産者に 5 段階で評価頂いた結果を表 4.3.1-40 に示す。

表 4.3.1-40 測定結果（遠隔操作の体感遅延・操作性（遅延影響）、4.7GHz 帯）

	体感遅延の大きさ	操作性（遅延影響）
NW カメラ	3.0	3.3
映像伝送装置	3.0	3.3

(\*) 農業生産者計 3 名に対するアンケート結果の平均値。

上記より、28GHz システムでの検証結果と同様、映像提示遅延の大きさが一定程度操作性に影響していると思われるものの、どちらのカメラについても概ね、本ユースケースにおいては操作可能なレベルの遅延量であると考えられる。

#### b) 映像提示遅延の構成要素毎の処理時間の検証

圃場のカメラ映像（映像伝送装置）が工場側の映像表示・操作端末に表示されるまでの時間（映像処理・伝送時間）の測定結果を表 4.3.1-41 に示す（なお、NW カメラに関しては表 4.3.1-27）。

表 4.3.1-41 測定結果（映像処理・伝送時間（映像伝送装置）、4.7GHz 帯）

	測定結果	備考
映像処理・伝送時間	0.21 秒	

以上より、構成要素毎の処理時間に関する測定結果（全体）を図 4.3.1-47（NW カメラの場合）、図 4.3.1-48（映像伝送装置の場合）にそれぞれ示す。

なお、農機反応時間（図中③）は、28GHz システムでの評価時と同様、全体の映像提示遅延から、各構成要素の処理時間（①、②、④～⑦）を減算し算出した。

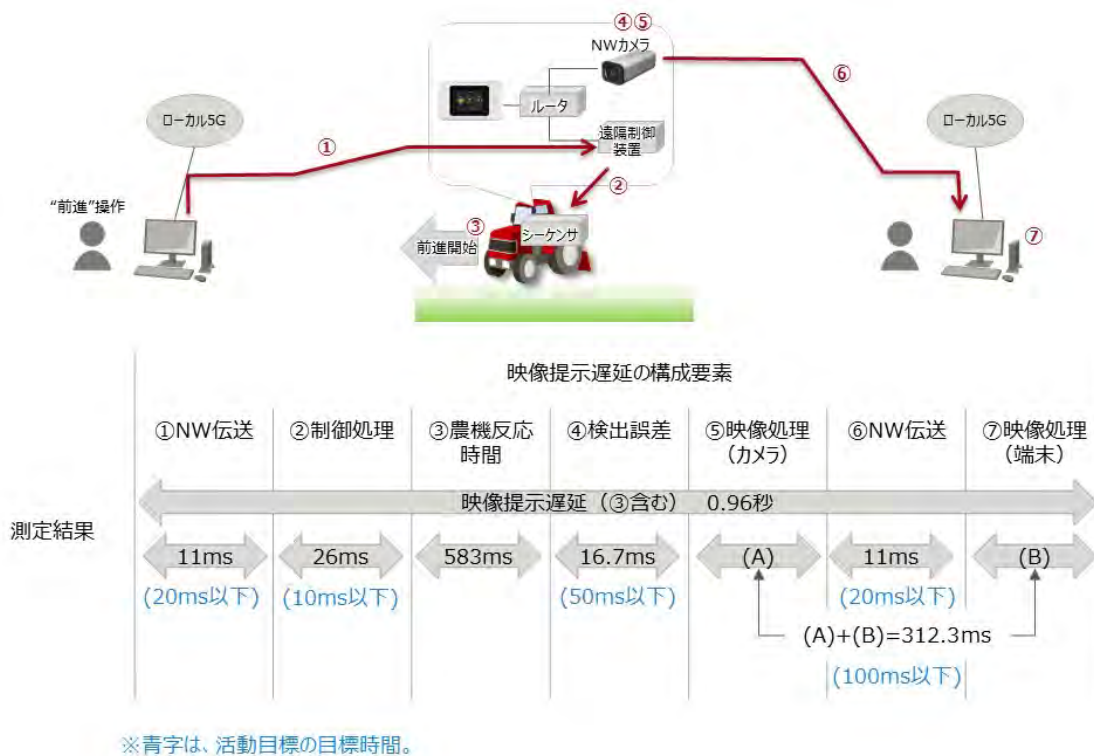


図 4.3.1-4.3-47 映像提示遅延の構成要素毎の処理時間測定結果 (NW カメラ、4.7GHz 帯)

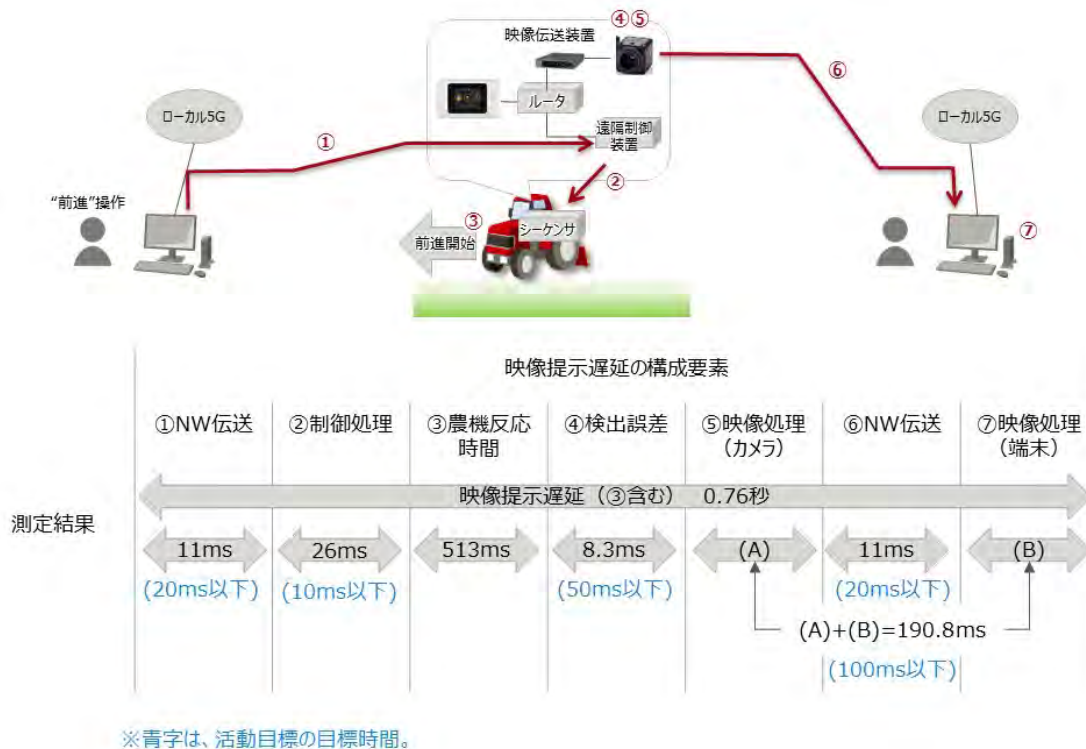


図 4.3.1-4.3-48 映像提示遅延の構成要素毎の処理時間測定結果 (映像伝送装置、4.7GHz 帯)



活動目標としている農機反応時間を除いた映像提示遅延を表 4.3.1-42 に示す。28GHz 帯での検証時と同様、想定よりも映像処理（カメラ・表示端末）に時間を要し、目標値 200ms 以下は達成できなかった。

表 4.3.1-42 測定結果（映像提示遅延（農機反応時間を除く）、4.7GHz 帯）

	映像提示遅延 （農機反応時間を除く）	備考
NW カメラ	377.0ms	
映像伝送装置	247.1ms	

c) 農機移動中のアプリケーション品質の検証

無線品質劣化ポイント 3 か所の各地点で遠隔操作の機能確認を実施した結果、NW カメラに関しては全ての地点で正常動作することを確認した。測定結果を以下に示す。

表 4.3.1-43 測定結果（無線品質劣化地点での映像提示遅延、4.7GHz 帯）

	品質劣化 ポイント①	品質劣化 ポイント②	品質劣化 ポイント③	品質良好 ポイント
RSRP	-107.0dBm	-99.0dBm	-109.0dBm	-88.4dBm
回線伝送時間	35.1ms	22.1ms	85.6ms	21.9ms
映像提示遅延 (NW カメラ)	1.42 秒	1.10 秒	1.53 秒	0.96 秒
映像提示遅延 (映像伝送装置)	測定不能	0.79 秒	測定不能	0.76 秒

また、上記の品質劣化ポイントにおける、映像配信状況に関する 5 段階評価のアンケート結果を表 4.3.1-44 に示す（映像伝送装置の場合。NW カメラは表 4.3.1-31 を参照。）。

表 4.3.1-44 測定結果（無線品質劣化地点での映像配信状況（映像伝送装置）、4.7GHz 帯）

	品質劣化 ポイント①	品質劣化 ポイント②	品質劣化 ポイント③	品質良好 ポイント
映像配信状況の 評価(5 段階評 価)	2.6	3	2.4	(5)

(\*) 農業生産者（堀口製茶）はじめ、計 7 名に対するアンケート結果の平均値。  
NW カメラでの測定結果は概ね 28GHz 帯システムと同様の傾向であったが、映像伝送

装置に関しては品質劣化ポイント①③で映像停止の頻度が高く、映像提示遅延の測定が難しい状況であった。この原因については、両ポイントは良好ポイントや品質劣化ポイント②と比較して回線伝送時間が大きいことを確認しており、無線品質の影響により遅延変動（ジッタ）の発生頻度が高い状況が想定されること及び映像伝送装置は処理遅延を最小限にするためデコーダの受信バッファサイズを最小値（1ms）に設定していたことが影響していたものと考えられる。両ポイントにおいては、無線品質の影響によるジッタ発生頻度の上昇により映像伝送装置側で（受信バッファサイズ最小値のための）映像データの取りこぼしが生じ、映像停止の頻度が高くなっていったものとする。

### (3) 実証システムにおける安全性確保に関する検証

- 1) 警告機能（視覚的装置）  
自動走行時青色点滅し、枕地旋回時に黄色点滅することを確認した。
- 2) 監視補助装置  
圃場にて、タブレットでの映像が表示されていることを確認した。
- 3) 障害物センサーによる安全装置  
農機に人が近づきすぎると、農機が停止することを確認した。
- 4) 警告看板  
ヒアリングを行った結果、表示についてはわかりやすく、LEDによる点滅、ブザー音があり、評価は高かった。
- 5) 通信断発生時の農機停止検証  
ローカル 5G 回線が 3 秒途切れた場合に、農機が停止することを確認した。

#### 4.3.1.5 考察

##### (1) 自動走行中の緊急停止

- 1) 28GHz 帯システムでの検証結果  
検証の結果、活動目標としていた緊急停止距離 1m・時間 1.8 秒の達成を確認できた。また、ローカル 5G カバーエリア内は無線品質が劣化したポイントでも緊急停止機能が正常動作することを確認した。  
なお、無線品質劣化ポイントにおいて、緊急停止時間が平均 0.18 秒増加（良好ポイント 1.29 秒に対し、劣化ポイント 3 カ所平均 1.47 秒）した点について、4.3.1.4 (1) 1) c) に記載のとおり同ポイント付近では、配信映像の乱れが多少発生していた。その際の映像伝送状況をアンケート調査した結果「3：普通」（表 4.3.1-14 参照）前後の結果であったことから、この影響（無線品質良好ポイントと比較して、無線品質劣化ポイントは配信映像の乱れにより遠隔監視者による事象の認知時間が多少増加したもの）

と考える。

無線環境では、パケット欠損や遅延・ジッタ増加等により、このような配信映像の乱れが生じ得ると考えられるが、本実証システムではそれが緊急停止時間（及び緊急停止距離）に直接的に影響している点で課題があると思われ、認知機能のAI化による性能向上や、無線品質劣化時の自動化農機速度抑制制御による緊急停止距離（特に空走距離）の短縮など、無線環境に適応した安全性確保の施策について検討が必要と考える。

## 2) 4.7GHz 帯システムでの検証結果

検証の結果、28GHz 帯システムと同様に活動目標の達成を確認するとともに、ローカル 5G カバーエリア内では無線品質が劣化したポイントでも緊急停止機能が正常動作することを確認した。無線品質劣化ポイントでの緊急停止時間の増加傾向も、28GHz 帯システムと同様の要因（無線品質影響により映像配信品質が劣化することで、遠隔監視者による事象の認知時間が増加したため）と考えられ、改善に向けては無線環境に適応した安全性確保の施策検討が必要と思われる。

## 3) 従来システムとの比較による効果確認結果

比較検証の結果、28GHz 帯・4.7GHz 帯システムによらず、各構成要素において従来システムよりも実証システムの時間が小さく、全体的に処理時間が改善していることを確認した。ローカル 5G 利用により、従来システムよりも高解像度・フレームレート（従来システム VGA/1fps に対し、本実証システムフル HD/30fps）の映像伝送が可能となったことで、従来システムにおける検出誤差、オペレータ反応時間を大幅に短縮できたこと、および映像システムの性能向上（映像処理時間の短縮）が主な要因と考える。

## 4) 28GHz 帯/4.7GHz 帯利用によるアプリケーション影響について

周波数帯の違いによるアプリケーション（緊急停止機能）への影響について、無線品質が良好なポイントで測定した緊急停止時間と、無線品質が劣化したポイントで測定した緊急停止時間を、使用したローカル 5G 周波数帯で比較したグラフを以下に示す。

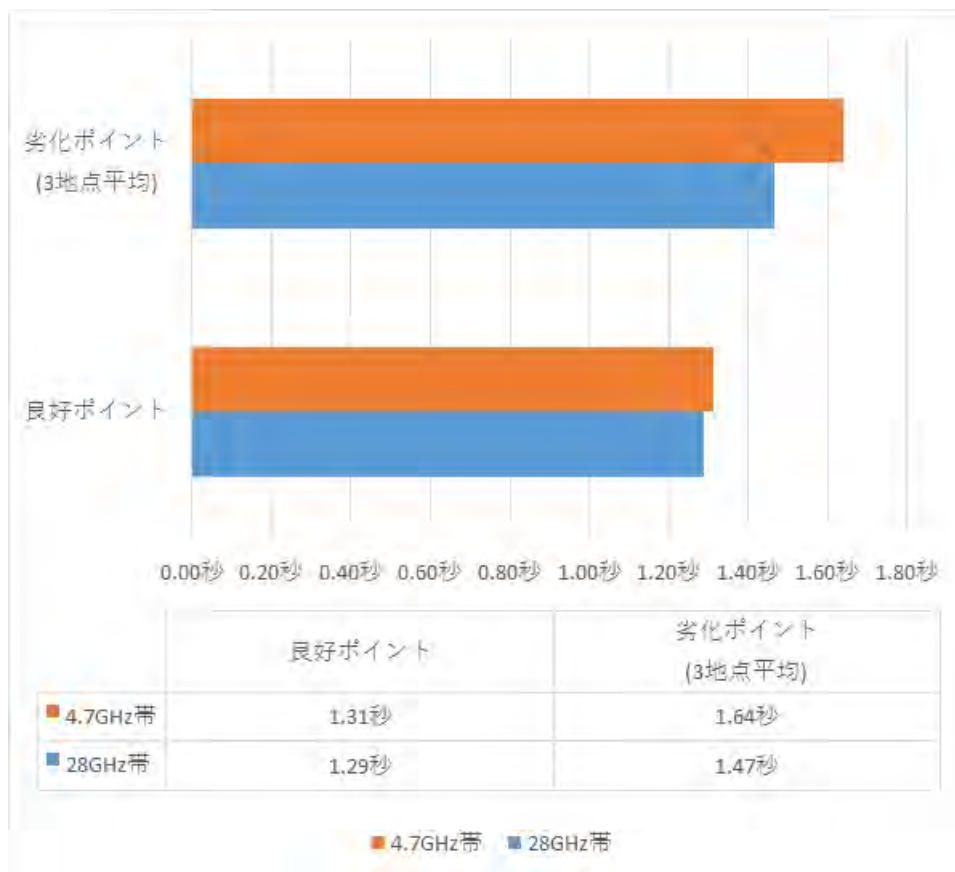


図 4.3.1-4.3-49 周波数帯による緊急停止時間への影響

無線品質良好ポイントでは、利用周波数帯による差異はみられなかったが、無線品質劣化ポイントにおいては、4.7GHz 帯システム利用時のアプリケーション影響がやや大きい（28GHz 帯システム時と比較して緊急停止時間が平均 0.17 秒増加）ことを確認した。これについては、28GHz 帯システムでは見られなかった回線伝送時間の増加（～約 60ms 増加）が TCP 伝送を用いている NW カメラの映像品質に影響し、緊急停止時間の増加につながったと考えられ、回線伝送時間の増加は 4.7GHz 帯システムのエリア品質の影響と想定される（ローカル 5G の性能評価結果は 5.3 参照）。

また、本ユースケースで生じうる遮へい物（トラックや他農機）の影響（受信電力・無線リンク切断状況）に関しては、5.3.5 のとおり両周波数帯とも影響が小さいことを確認していることを踏まえると、エリア品質が改善されれば、本ユースケースにおける利用周波数帯によるアプリケーション影響は十分小さいものと推測される。

#### 5) 実証実験で確認された課題について

##### a) 2 台走行時の緊急停止距離・時間の増加

2 台走行時は、1 台走行時と比べて緊急停止距離・時間が増加する傾向を確認した。今回の実証実験の構成および検証結果から、この傾向は主にオペレータ操作時間（オペレータが映像から異常事象発生を認知し、緊急停止操作を完了するまでの時間）の増加により生じたものと考えている（表 4.3.1-17 以降参照）。2 台走行の場合、本実証シス

テムにおいては 1 人のオペレータが 2 画面を監視しつつ異常発生した農機側の操作盤上で緊急停止操作を行う必要があるが、監視者にとって 1 台走行時と比較してオペレータの監視操作インタフェース（画面、操作盤）が増加するため、監視者の反応時間の遅れにつながっているものと思われる。今回確認されたこの傾向は、台数増加に伴って更に高まるものと想定され、複数台の運用に向け安全性確保の観点でこの課題解決が重要である。監視者の反応時間遅れへの対策として、異常認知機能の高度化（AI 等）などの検討が今後必要と考える。

## (2) 非自動走行時の制御

### 1) 28GHz 帯システムでの検証結果

検証の結果、活動目標として設定した映像提示遅延 200ms 以下（農機反応時間を除く）は達成できなかったが、本ユースケースにおいて実用レベルの遅延量であることを確認することができた。また、緊急停止機能時と同様、ローカル 5G カバーエリア内の無線品質劣化ポイントでも機能することを確認している。

なお、無線品質劣化ポイントで映像伝送装置を用いた場合に、正常に映像表示されていれば映像提示遅延の変動は小さいものの、一時的な映像停止が発生することがあった。これについては 4.3.1.4 (2) 1) a) のとおり、映像伝送装置は UDP で映像伝送を行っている（同レイヤーでの送達確認や再送動作が無い）こと、映像処理遅延を最大限抑えるためデコーダの受信バッファサイズを最小値（1ms）に設定したことが要因と考えられる。また、パケットロスやジッタ発生が低頻度であれば映像への影響は小さいが、一時的に頻度が高まると映像停止に至ってしまう動作になっているものと思われる。一方 NW カメラの場合、映像停止までは至らないものの、無線品質劣化ポイントでは配信映像の乱れにより映像提示遅延が増加することを確認している。NW カメラは、TCP 映像伝送でパケットロスや遅延・ジッタ増加が（再送制御・送達確認による）配信映像の遅延・レート低下に影響しやすいため、無線品質劣化ポイントにおける映像提示遅延の増加につながっていると考えられる。無線品質劣化ポイントにおいてもより安定した映像品質を実現するためには、ネットワーク・映像システム双方からの解決に向けた検討が必要と思われる。

### 2) 4.7GHz 帯システムでの検証結果

検証の結果、28GHz 帯システムと同様、活動目標は達成できなかったものの、概ね実用可能な水準の映像提示遅延であることを確認した。一方、無線品質が劣化したポイントにおいては、NW カメラは 28GHz 帯システムと同等の正常動作を確認したが、映像伝送装置に関しては、映像停止の頻度が比較的高く映像提示遅延の測定が困難な場所があった。この場所においては、回線伝送時間が大きいことを確認しており、無線品質の影響により遅延変動（ジッタ）の発生頻度が高い状況が想定されること及び映像伝送装置は処理遅延を最小限にするためデコーダの受信バッファサイズを最小値（1ms）に設定していたことが影響し、映像停止の頻度上昇につながったものとする。これについても、28GHz 帯システムと同様に、無線品質劣化ポイントにおいてもより安定した映像品質を実現するための対策の検討が今後求められる。



3) 28GHz 帯/4.7GHz 帯利用によるアプリケーション影響について

周波数帯の違いによるアプリケーション（遠隔操作）への影響について、無線品質が良好なポイントで測定した映像提示遅延と、無線品質が劣化したポイントで測定した映像提示遅延（農機動作時間を除く）を周波数帯で比較したグラフを以下に示す。

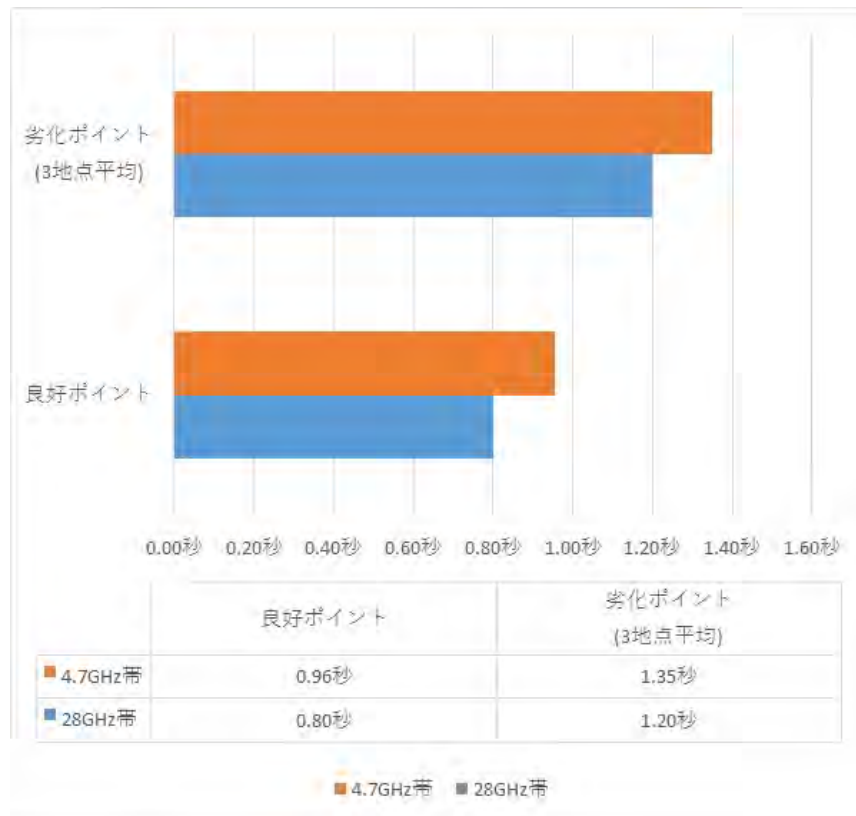


図 4.3.1-4.3-50 周波数帯による映像提示遅延への影響（NW カメラ）

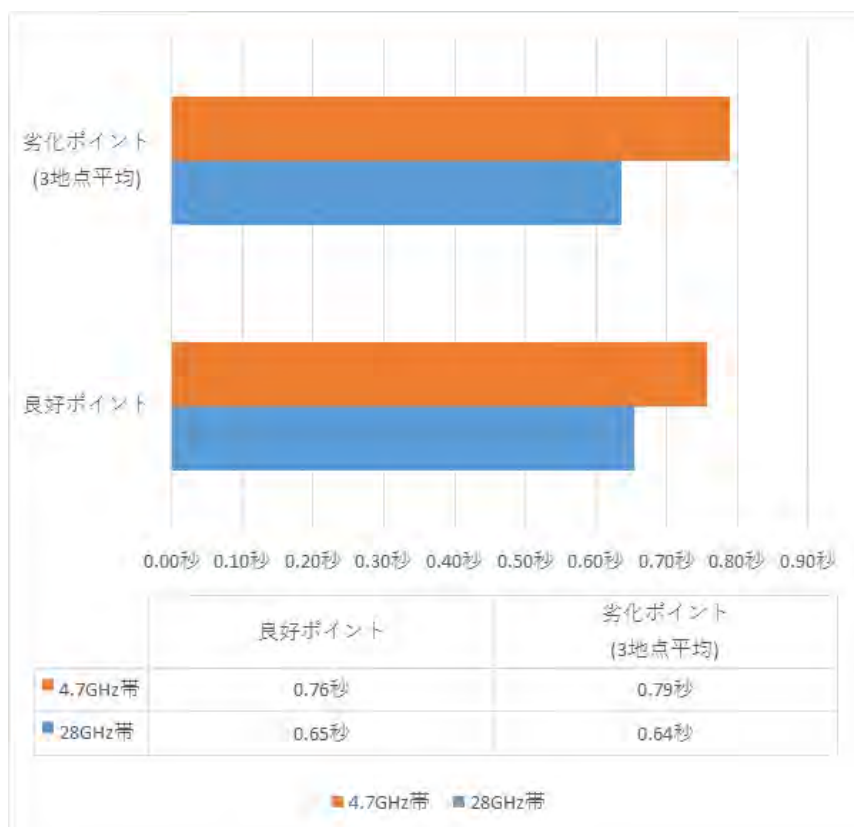


図 4.3.1-4.3-51 周波数帯による映像提示遅延への影響（映像伝送装置）  
 (\*）映像伝送装置に関しては、4.7GHz 帯は劣化ポイント 1 地点の測定結果。

検証結果から、以下 2 点についてアプリケーション影響の相違がみられた。

a) 映像提示遅延の測定結果の違いについて

上図の通り、映像システム（NW カメラ・映像伝送装置）に関わらず、4.7GHz 帯システムの試験結果が 100ms～150ms ほど遅延量の大きい結果となった。これは、良好ポイントにおける構成要素毎の処理時間の確認結果から、主に農機反応時間の差で生じていると考えられる（28GHz 帯システム試験時は農機反応時間約 400ms 強～450ms 弱に対し、4.7GHz 帯システム試験時は約 500ms 強～600ms 弱）。この農機反応時間の差は 28GHz 帯システムと 4.7GHz 帯システムの試験日が異なっていることが影響していると考えており、試験時の農機の動作環境の違い（圃場の路面状況（天候による乾燥状態の違い等）や農機のキャタピラ内の状態（嵌合部の土石付着状態等）、農機に使用する油圧ポンプの温度特性等）により、メカニカルな動作時間が変化したものと想定している。

b) 映像伝送装置の映像停止頻度について

映像伝送装置の場合、無線品質劣化ポイントでは周波数帯によらず映像停止が発生することを確認しているが、4.7GHz 帯システムの場合は映像停止の頻度が高くなり、映像提示遅延の測定ができないような無線品質劣化ポイントを 2 か所確認した。これ

については前述の通り、4.7GHz 帯システムのエリア品質の影響と考えられる。(4.3.1.5 (2) 2) 参照)

上記 a)、b) の通り、本実証では主に 4.7GHz 帯システムのエリア品質の影響で測定結果に差異が生じたと考えられる。同等のエリア品質が確保されれば、利用周波数帯によるアプリケーション影響は十分小さいものと推測される。

なお、映像システムの影響度合いが異なる点（利用周波数帯によらず、NW カメラの場合は無線品質良好ポイントよりも無線品質劣化ポイントのほうが映像提示遅延が増加する一方、映像伝送装置ではその影響が小さい）に関しては、映像伝送方式の違いによるものと考えられる。(4.3.1.5 (2) 1) 参照)

#### 4) 実証実験で確認された課題について

##### a) 映像提示遅延（農機反応時間を除く）目標値未達

映像提示遅延の活動目標（農機反応時間を除き 200ms）実現に向け、映像処理（カメラ・表示端末）及びカメラ検出誤差（フレームレート）が全体の映像提示遅延の中で支配的である。NW カメラでは、実現が難しいことを想定して事前検討した結果、映像伝送装置・非圧縮カメラの 2 種を加えて比較検証を行った。しかし、検証の結果、追加した 2 機種のうち、映像伝送装置は処理時間の目標値を超過し、一方、非圧縮カメラはローカル 5G 伝送レート実測値が非圧縮カメラの必要レート（約 180Mbps）を下回ったため、映像伝送できなかった。

- ・映像伝送装置は、事前検討段階で同装置諸元に基づく映像処理時間とカメラ検出誤差の合計を 150ms 以下程度と見積もっていた（目標値 150ms）。しかし、実際にはカメラ及びモニターの処理時間が加算され、結果合計 200ms 弱の処理時間だった（カメラ及びモニター処理時間の考慮が漏れた）。
- ・非圧縮カメラに関しては、事前検討において約 180Mbps 超のスループットが必要となるため 4.7GHz 帯システムの上り方向レート理論値 0.2Gbps に近い環境でのみ測定可能と想定していたが、検証の結果、フィールド環境では 5.3.5.1 (2) の通り 73.6Mbps（上り UDP）が実測上の上限だったため、レート不足で映像伝送ができなかった。なお、参考値としてローカル 5G を経由しない Ethernet 構成（非圧縮カメラと映像表示端末（PC）を Ethernet ケーブルで接続）で測定した結果、1080p/10fps で約 150ms（映像処理及びカメラ検出誤差の合計目標値 150ms 以内を達成可能な見込み）であることを確認した。

上記の通り、本実証では映像提示遅延の活動目標を達成できなかったが、一方で、農業生産者による遠隔操作の遅延影響の評価結果からは、NW カメラ及び映像伝送装置を用いた操作で「3：普通」程度の操作性を実現していることを確認している。

当初、活動目標値の設定にあたっては、参考文献(1) (4.3.1.6) より農機反応時間含む映像提示遅延は 800ms 以下であれば十分に操作可能と想定し、そのうちの農機反応時間を除いた時間について、参考文献(2) (4.3.1.6) を参考に 200ms と定めたものの、参考文献(1)は車速 10km/h における映像遅延時間の許容値を検討した。しかしながら、

本ユースケースの遠隔操作時の車速（1km/s 以下）とは条件が異なっており、本実証により、本ユースケースの遠隔操作において、映像提示遅延が 800ms 以上であっても一定の操作性を確保し得ることを確認できたものとする。

本ユースケースについて、今回採用した映像システムで支障はないと考えられるが、車速等の条件により求められる映像提示遅延の水準は異なってくるものと考えられる。従って、様々な要件に対応する上では映像提示遅延の短縮が必要であり、映像伝送方式（SRT 等）を含めた低遅延な映像システムの検討、ローカル 5G 上り広帯域化（準同期・非同期含む）による非圧縮方式の採用などの検討が今後求められる。

#### b) 遠隔操作時のカメラ映像（視野）について

農業生産者による遠隔操作の操作性評価（遅延影響）について、評価した農業生産者から、視野が狭い（360° 欲しい）とのコメントが多数あった。本実証システムでは前方のカメラのみであったため、畝を出たところで一旦自動運転を停止し次の畝へ遠隔操作で転回するケースや、遠隔操作で後退するケースにおいて、進行方向の映像を確認できない問題が発生した。この課題については、カメラの複数台設置、360° カメラ等の検討、ローカル 5G 上り広帯域化が必要と考える。

#### (3) 実証システムにおける安全性確保に関する検証

安全性確保に向けた各機能について正常動作を確認することができた。

なお、警告看板に関して、現状は LED 表示やブザー音のため電池を利用しているため、交換忘れ等で動作しなくなることが予想される。これについては、今後に向けて改善の余地があると考えられる。

#### 4.3.1.6 参考文献

(ア) 水島知央、神蔵貴久、大前学：遠隔型自動運転システムにおける遠隔操作時の映像遅延が操舵の操作に与える影響の評価、自動車技術会論文集 Vol. 50/No. 3、2019 年 3 月

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsaeronbun/50/3/50\\_20194372/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsaeronbun/50/3/50_20194372/_pdf)

(イ) 矢向高弘：視聴触覚フィードバック遠隔操作における装飾期の性能評価、科学研究費助成事業データベース、2010/3/31

<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-20300079/>

#### 4.3.2 農業領域（画像データとAI技術等を活用した農作業計画策定）

##### 4.3.2.1 評価・分析概要

お茶の摘採計画策定において必要な茶畑毎の新芽数と生葉の摘採取量の推定値、生育状況をマップ化して迅速に情報提供を行うため、ドローン空撮から、ローカル 5G ネットワークを利用し画像データをエッジ処理サーバに伝送、リモートセンシング解析結果の出力表示までの処理を自動化し、3 時間以内でユーザーに摘採計画に必要な新芽数、収量、葉色推定マップを情報提供するシステム構築し評価分析を行った。

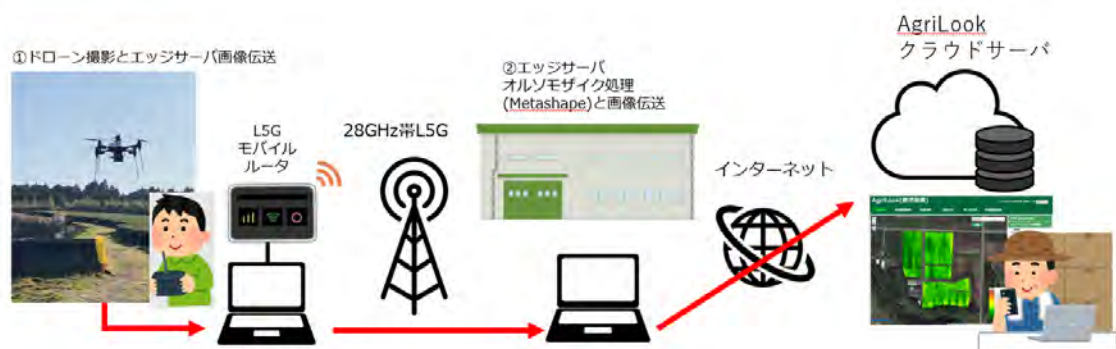


図 4.3.2-1 リモートセンシングシステム処理概要

##### 4.3.2.2 評価・分析項目

ローカル 5G ネットワークを活用したリモートセンシングシステムを構築し、ドローン空撮からリモートセンシング解析、クラウド出力表示まで、①伝送するデータ量、②処理毎の処理時間、③新芽数と収量推定の推定誤差を検証した。

##### 4.3.2.3 評価・分析方法

検証を行うためのシステム構成と処理詳細を以下に述べる。

ドローンで撮影後、撮影現場でドローン撮影画像をモバイル PC (Windows10) に画像データを取込み、ローカル 5G 用モバイルルータ (28GHz) を有線接続し、エッジ処理サーバ (Windows10) のネットワーク共有ディスクにコピーする。エッジ処理サーバでは、共有ディスクを常時監視しており圃場毎の撮影データが取り込まれと、オルソモザイク処理 (アプリはオルソモザイク処理用アプリ : Agisoft/Metashape 使用) と画像の植生指数演算処理をおこない農業リモートセンシングクラウドへインターネット経由 (FTP) で伝送する。この一連の処理は、圃場現場のモバイル PC で処理起動することですべて自動処理される。



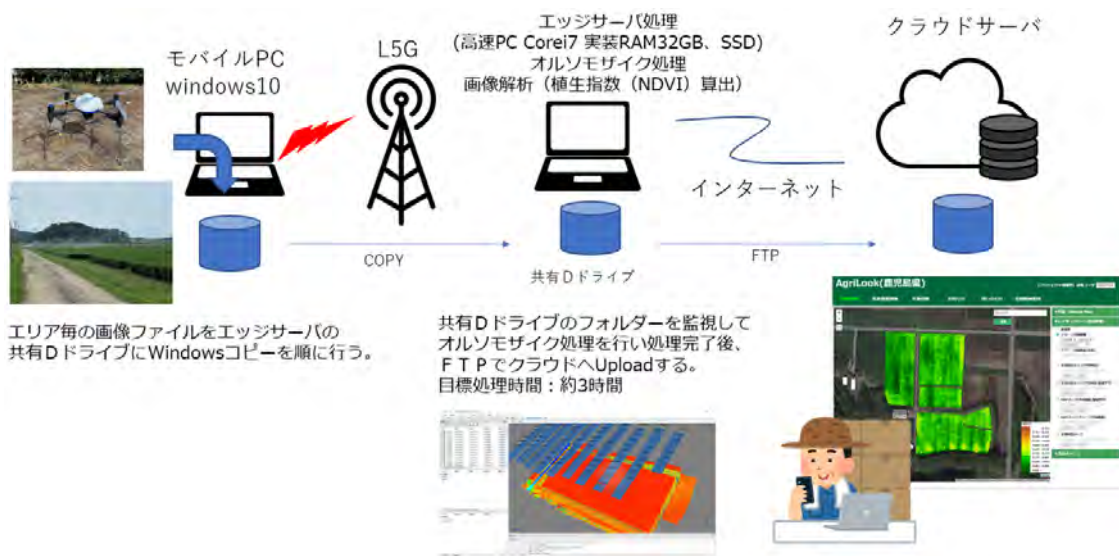


図 4.3.2-2 リモートセンシングシステム概要

評価・分析方法は以下3点とした。

- (1) ドローン撮影後にモバイルPCに画像を取込み、ローカル5Gネットワーク経由、エッジ処理サーバへの伝送処理時間と伝送するデータ容量を計測した。
- (2) エッジ処理サーバから農業リモートセンシングクラウドへインターネットへの伝送処理時間と伝送するデータ量を測定した。
- (3) ドローン空撮とリモートセンシング解析により新芽数と収量の推定誤差の計測を行った。(※農水省事業報告から抜粋)

#### 4.3.2.4 評価・検証結果

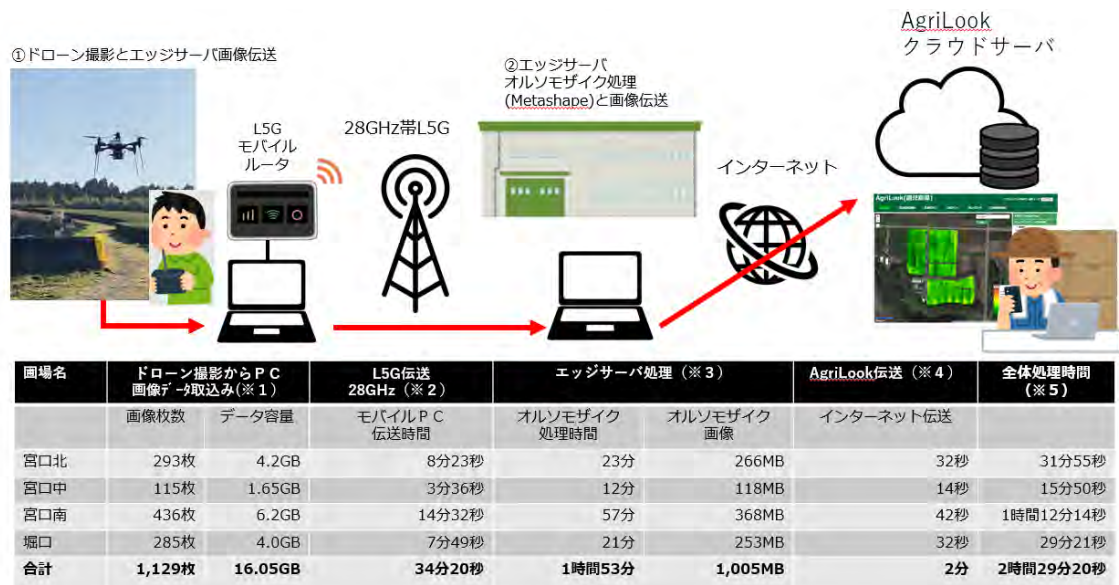


図 4.3.2-3 処理時間とデータ量

## (1) 伝送するデータ容量

### ① ドローン撮影から PC 画像取込み (図 4.3.2-3)

実験 4 圃場の撮影は、ドローンにマルチスペクトルカメラ (Macaw 490nm、550nm、680nm、720nm、800nm、900nm) を搭載し実施した。撮影高度は 40m、フライト速度 2 m/秒、オルソモザイク処理をおこなうためドローン撮影条件として、縦方向 40%・横方向 60%で、重複して撮影を行くことが条件とされるため、4 圃場、1,129 枚、約 16GB の撮影画像が発生した。なお、ドローン、マルチスペクトルカメラ (Macaw6)、空撮画像を伝送するモバイル PC は、農水省事業で導入したものである。



エッジ処理サーバで、オルソモザイク処理、画像演算処理 (植生指数) を行くと、4 圃場の植生指数演算済み圃場図画像 (Geotiff) が約 1GB に圧縮される。圧縮したファイルは、インターネット経由でクラウドへ伝送する。なお、エッジ処理サーバは農水省事業で導入したものである。

## (2) データ伝送と処理時間

### ① ローカル 5G 伝送 28GHz (図 4.3.2-3)

ドローン撮影現場にて空撮した 4 圃場の画像データをモバイル PC とローカル 5G モバイルルータとケーブル接続をおこない、エッジ処理サーバに 34 分 20 秒で伝送が完了した。

### ② AgriLook 伝送 (図 4.3.2-3)

エッジ処理サーバでオルソモザイク済みの植生指数演算された画像データを農業リモートセンシングクラウド (AgriLook) へインターネットで伝送し、約 2 分で伝送完了した。リモートセンシングクラウド (AgriLook) は農水省事業で導入したものである。

### ③ 全体処理時間 (図 4.3.2-3)

4 圃場でのドローン撮影からリモートセンシングクラウド (AgriLook) の WebGIS に収量推定マップ、植生指数マップ等の出力表示は、2 時間 29 分 20 秒で参照できた。

## (3) リモートセンシング解析内容 (※農水省事業報告書から抜粋)

摘採計画で必要な新芽数推定、収量推定情報をマップ化して提供するために秋冬番茶の圃場を対象として、新芽が成長開始する 8 月 18 日から 10 月 30 日までドロー

ン空撮7回と生育調査5回、以下の日程で実施し、リモートセンシング解析を行った。

### ①ドローン空撮実績

	日時	撮影場所	カメラ	近赤外	マルチバンド	北大 携帯分光計
1	8月18~21日	宮口	○			○
2	9月4日	宮口	○			
3	9月10日	宮口	○	○		
4	9月11日	宮口				○
5	9月26日	宮口	○	○		
6	10月2日	宮口	○	○	○	○
7	10月29日~30日	伊崎田中野	○RTK		○	○

### ②生育調査実績

	日時	新芽本数	芽長さ	SPAD	ビデオ撮影
1	9月4日	○			
2	9月10日	○	○	○三葉目	
3	9月25~26日	○	○	○二・三葉目	
4	10月1日~3日	○	○	○二・三葉目	
5	10月29日	○	○	○二・三葉目	摘採機○

画像解析ではドローン空撮画像からオルソモザイク画像を作成、植生指数 (NDVI) を算出し生育調査データとの相関分析により、新芽数と収量推定モデル、葉色推定では葉色計 (SPAD) 推定モデルの開発を行った。そして、モデルを使用した新芽数推定、収量推定、葉色推定等を行い実際の生葉摘採重量との誤差を確認した。

### ③リモートセンシング解析手順

ドローン空撮、生育調査からオルソモザイク処理、モデル開発等の画像処理手順を以下に述べる。実証実験圃場は、以下の4圃場を対象とした。圃場写真図は、圃場名と面積を表示している。



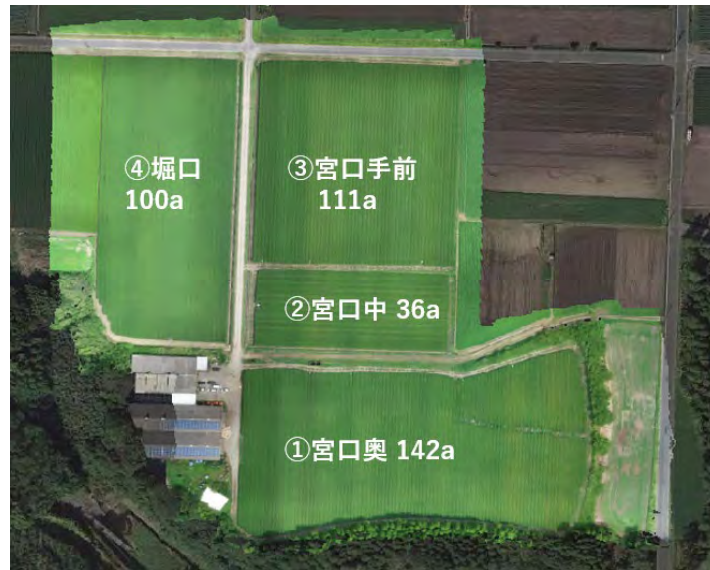


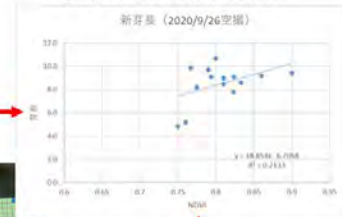
図 4.3.2-4 実証圃場と面積

ア) 生育調査



生育調査内容  
 4圃場（15地点）において  
 30cm\*30cm枠内を18ブロックに分けた調査  
 ①新芽数  
 ②1番長い新芽の長さ  
 ③2葉目、3葉目のSPAD計

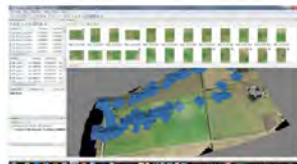
(5) 各種モデル作成



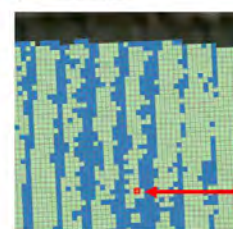
イ) ドローン空撮



ウ) オルソーモザイク処理



エ) 画像処理



20200926_auk_ndvi_30cmzoom	
id	48115
name (アタラシ)	130.97593249999994
left	31.47718132000000
right	130.97593249999998
bottom	31.47718132000000
top	180.00000000000000
_bcount	180.00000000000000
_tcount	180.00000000000000
_jname	0.81346888719362

図 4.3.2-5 リモートセンシング解析の流れ

ア) 生育調査

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葉目または3葉目SPAD（葉色計）、新芽長さの計測を行った。2名\*2班体制で、1地点、調査に約20分要した。4圃場の中に15地点、正確な位置決め（何畝目の何m地点等）生育調査を実施した。

イ) ドローン空撮

ドローン空撮は、近赤外カメラ（Auk、3バンド、赤、緑、近赤外）とマルチスペクトルカメラ（Macaw、6バンド、490nm、550nm、680nm、720nm、800nm、900nm）、ALTUM（6バンド、青、緑、赤、レッドエッジ、近赤外、熱赤外線）をドローンに搭載し、フライト高度40m、フライト速度2m/秒、縦方向40%・横方向60%での

重複撮影を実施した。

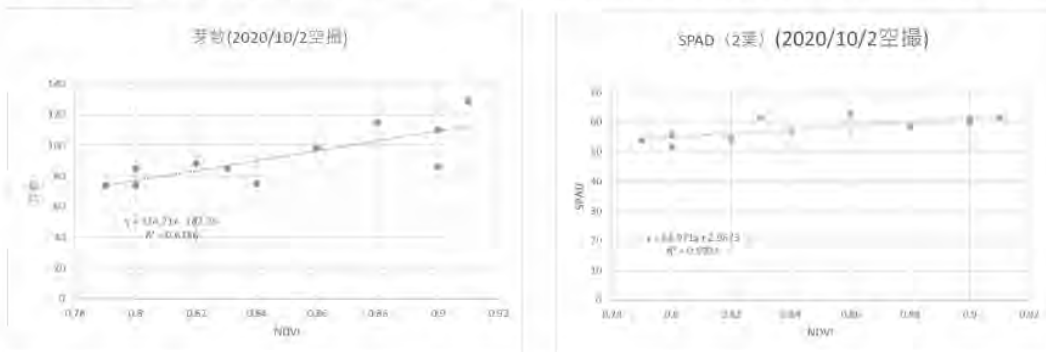
ウ) オルソモザイク処理 (エッジ処理サーバ処理)

堀口製茶事務所に設置しているエッジ処理サーバ (アプリはオルソモザイク処理用アプリ: Metashape 使用) にて4圃場、順番にオルソモザイク処理を行った。1圃場、数100枚画像(Geotiff)を入力とし、処理時間は1時間以内でオルソモザイク圃場図が出力できた。

エ) 画像処理と収量モデル (新芽数推定)、葉色モデル開発 (AgriLook 処理)

オルソモザイク画像を入力としてリモセン画像処理ソフトで植生指数マップを作成した。生育調査した地点と植生マップ上の同位置の植生指数を拾い出して相関分析を行い、新芽数、葉色 (SPAD) 推定モデルを開発した。いずれも植生指数との相関係数が0.6以上と高い相関があることを確認した。開発したモデルを AgriLook に組み込み、自動で解析マップを WebGIS で情報提供を行った。

### 新芽数、SPAD(2葉目) ドローン搭載AUKによるNDVIの相関を分析



#### ➤ 解析結果

- ・新芽数とNDVIの相関 (相関係数0.62)が確認できた。
- ・SPAD (2葉目) とNDVI相関 (相関係数0.6)が確認できた。
- ・芽長、SPAD (3葉目) とNDVI相関 (相関係数0.1)は確認できなかった。

以下のマップは、開発した新芽数推定モデルを元にマップ作成した。



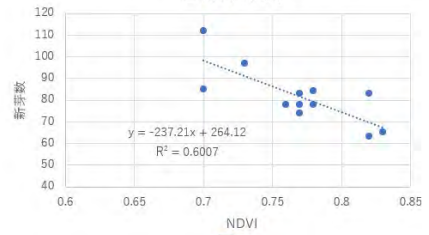
9月10日空撮 新芽数推定マップ



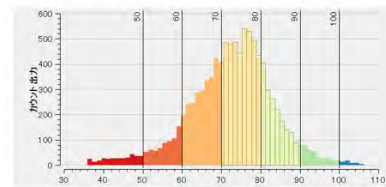
※グリッド：1.8m\*1.8m

➤ 解析結果  
新芽数とNDVIの相関（相関係数0.60）が確認できた。

30cm\*30cm枠での新芽数（実測）とNDVI相関



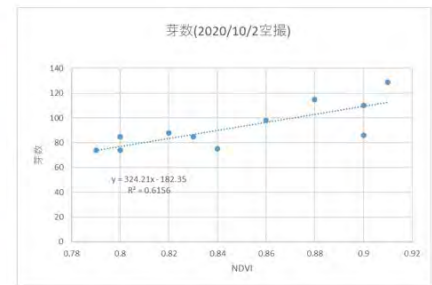
**新芽数 = 237.21 \* NDVI + 264.52**



2020年10月2日空撮 新芽数推定マップ



➤ 解析結果  
新芽数とNDVIの相関（相関係数0.62）が確認できた。



**新芽数 = 324.21 \* NDVI - 182.35**

同上モデルより、各種主題図（新芽数推定マップ、葉色推定マップ）等を作成し、リモートセンシングクラウド（AgriLook）に伝送後、WebGISにより解析結果を出力表示した。

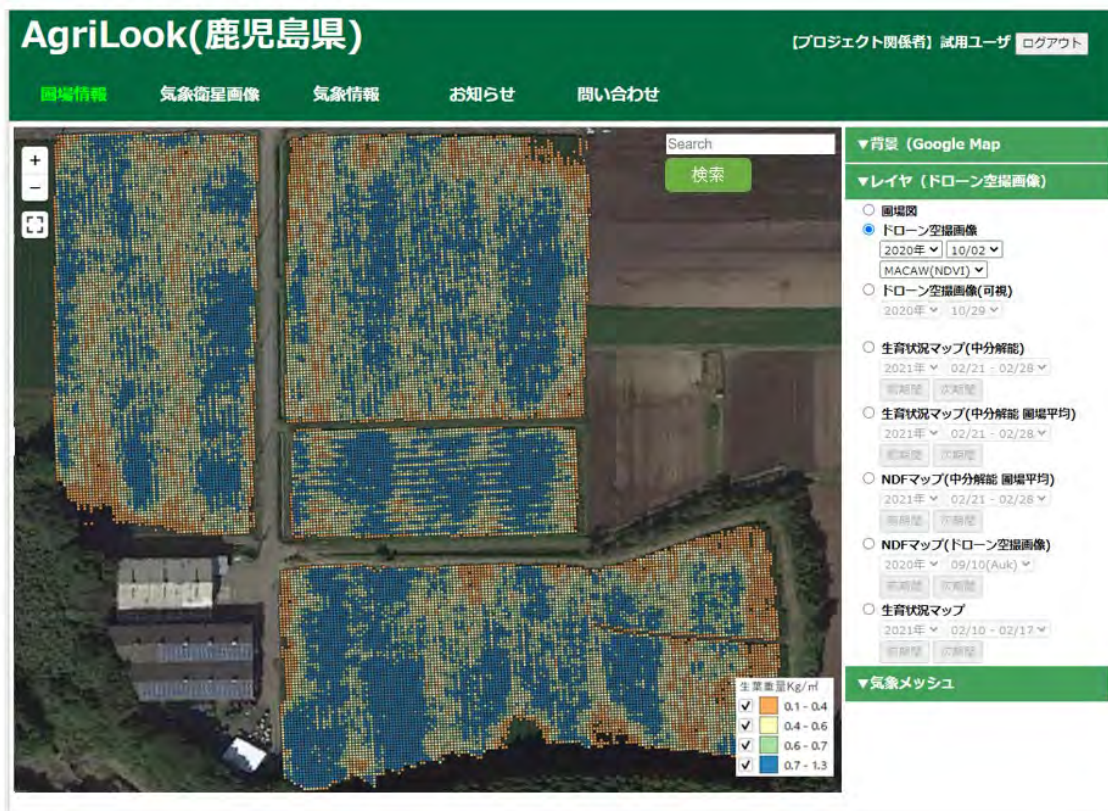


図 4.3.2-6 リモートセンシングクラウド (AgriLook) で表示例  
10月2日空撮による収量推定マップをリモートセンシングクラウド (AgriLook) で表示

(4) 新芽数、収量推定モデルによる推定値と実際の生葉摘採重量の誤差について

ア) 収量推定モデル、葉色推定モデルによる推定誤差計測

2020年9月10日、2020年10月2日の空撮画像と新芽数推定モデルにより10a当たりの新芽本数を算出した。1芽重あたり平均0.5gとした場合、2020年10月19日～23日までの実際の摘採重量と比較すると、「-12～20%程度」の誤差範囲で推定ができた。秋冬番茶摘採の場合、圃場毎の芽長毎に摘採の長さを変えるため、1芽重を圃場毎に変えることで精度向上が図れると推察できる。

実証圃場別の新芽数推定と収量推定

圃場ID	表示面積	空撮面積	2020/9/10空撮				2020/10/2空撮				
			植生指数平均	新芽数合計・本数(推定)	新芽数10a本数	新芽平均本数(推定)30cm*30cm	植生指数平均	新芽数合計・本数(推定)	新芽数10a本数	新芽1本当たり0.5g計算10a kg	新芽平均本数(推定)30cm*30cm
宮口奥	142a	126	0.8	11,194,709	888,469	76	0.84	12,887,817	1,022,843	511	94
宮口中	36a	39.6	0.81	3,193,485	806,436	75	0.84	4,138,773	1,045,145	523	99
宮口手前	111a	112	0.82	8,809,516	786,564	73	0.85	10,956,384	978,249	489	95
NO4	—	103	0.85	7,375,847	716,102	67	0.83	9,832,881	954,649	477	94

圃場別の実測生葉収量と収量推定 (1芽重0.5g計算)

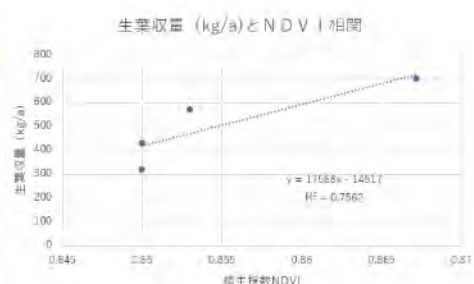
圃場名	摘採日	生葉収量kg(10/19~22)	推定新芽数(10/2)	推定新芽数*1芽重予測0.5g	収量差	誤差
宮口奥	10/23	4,528	12,887.817	6,443.9	-1,915.9	-29.7% ※摘採長さが異なる
宮口中	10/19	2,521	4,138.773	2,069.4	451.6	21.8%
宮口手前	10/19	6,327	10,956.384	5,478.2	848.8	15.5%
堀口	10/22	4,290	9,832.881	4,916.4	-626.4	-12.7%

イ) 2020年10月19日~23日までの実際の摘採重量と2020年10月2日の空撮画像による圃場毎のNDVI平均値と相関分析すると、相関係数「0.76」と高い相関があることが確認できた。

実測生葉圃場別収量とNDVI相関(相関係数0.76)

圃場名	摘採日	生葉収量kg	面積(a)	生葉収量(kg/10a)	圃場平均NDVI
宮口奥	10/23	4,528	142	318.9	0.85
宮口中	10/19	2,521	36	700.3	0.8672
宮口手前	10/19	6,327	111	570.0	0.8530
堀口	10/22	4,290	100	429.0	0.85

※令和2年農林水産統計生葉収量10aあたり538kg



ウ) 2020年10月19日の実際の畝別の摘採重量と2020年10月2日の空撮画像による畝別のNDVI平均を相関分析すると、相関係数「0.75」と高い相関があることが確認できた。



## 畝別の実測生葉収量データ (kg/m<sup>2</sup>) とNDVI相関による収量推定

堀口製茶様からの畝別収量データ

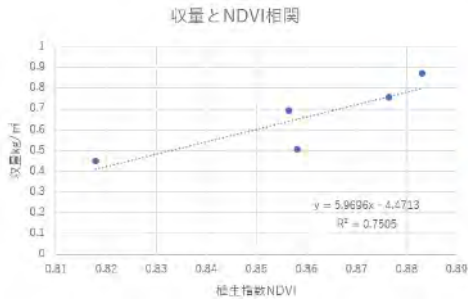
	生葉収量kg	畝面積m <sup>2</sup>	生葉収量kg/m <sup>2</sup>	畝平均NDVI※
宮口中①	133	176	0.755682	0.8766
宮口中②	126	145	0.868966	0.8832
宮口中③	108	156	0.692308	0.8567
堀口茶園①	133	264	0.503788	0.8583
堀口茶園②	128	285	0.449123	0.818
堀口茶園③	105	280	0.375	0.872

※10/2撮影画像

宮口中(10/19摘採)



堀口茶園(10/22摘採)



相関係数0.75

生葉収量 (kg/m<sup>2</sup>) = 5.9696 \* NDVI - 4.4713

圃場名	生葉収量 (kg)	モデル式による生葉収量 (kg)	差	誤差
宮口奥	4,528	6,227	-1,699	-27.3%
宮口中	2,521	2,172	349	16.1%
宮口手前	6,327	5,378	949	17.6%
堀口茶園	4,290	4,941	-651	-13.2%

※摘採長さが異なる

以上の解析結果から、ドローン空撮による植生指数 (NDVI) と実際の摘採による生葉重量の相関高く収量モデルにより収量推定が行えることが確認できた。

### 4.3.2.5 考察

ドローン搭載のマルチスペクトルカメラで空撮した画像データを撮影現場の圃場からローカル 5G を活用することで、堀口製茶様の事務所にあるエッジ処理サーバ (オルソモザイク処理) に 34 分 20 秒で伝送できた。また、エッジ処理サーバでの処理後は、画像データが 1/16 に圧縮されたことにより、リモートセンシングクラウドへの伝送処理を約 2 分で送信完了した。このため、ドローン空撮画像伝送から農業リモートセンシングクラウド (AgriLock) の解析結果表示は、2 時間半で完了することができた。

これら処理は、全て圃場現場のモバイル PC で送信処理を起動するだけで、全てのサーバが連動し自動処理されるよう、簡易操作で処理完結する仕様とした。今回、圃場モバイル PC から順番に、4 圃場の撮影画像伝送を実施したが、複数圃場の撮影画像を同時伝送することができるため、トータルの処理時間はさらに短くすることも可能である。

当システム運用イメージとして、午前中は、ドローンで 1~2 圃場の空撮毎に、現場のモバイル PC からローカル 5G ネットワークを用い、エッジ処理サーバへ画像を伝送する。午後は、ドローン空撮と生育調査等現場作業を完了した状態で事務所に帰所すると、伝送した画像すべての解析処理が完了しており、農業リモートセンシングクラウド (AgriLock) を参照しながら、摘採計画作業に活用することが、実現可能となった。

なお、2020 年度の農水事業では、生葉収量推定のモデル開発を行い、収量推定情報を提供開始するが、2021 年度農水事業では、さらにお茶の品質を決めるアミノ酸、中性デタージェント繊維 (NDF) の推定モデルを開発する計画で、摘採適期時期推定で活用していただける様に継続して開発を進める計画である。

### 4.3.3 生活領域

#### 4.3.3.1 評価・分析概要

地域における定住促進では、離農・人口流出の防止を目的に、LPWA の通信手段が有効活用できることを実証するため、2つのユースケースにもとづき実証を行った。

＜ユースケース＞

(1) 「防災観点としての圃場の定点監視」(お茶葉生育予測・農水省事業)
(2) 「鳥獣害被害対策としての罫監視と捕獲状況の自動判別」(鳥獣調査・総務省事業)

なお、本成果報告書においては、上記(2)にかかる実証結果を記載するものとする。

※上記(1)は、2021年度作型の2021年3月中旬より、クラウド制御マスタとエッジAI判定によるお茶葉生育予測の実証を開始する。

今回の上記(1)の実証にかかり開発したシステムは、他社にない3つのオンリーワン機能を実現した。

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。
②Google 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。

#### 4.3.3.2 評価・分析項目

今回の実証では、次の地域ヒアリング課題の解決を前提とした。

表 4.3.3-1 地域課題

地域課題	ヒアリング内容	ヒアリング先
鳥獣被害対策と見回り業務の軽減	鳥獣被害が深刻で、箱わなによる駆除促進と見回り業務負荷を軽減する必要性	志布志市様
スマート農業による従事者不足の省力化	人手不足が深刻で、スマート IoT 機器による遠隔監視及び省力化が必要	堀口製茶様
異常気象対策とデータ農業・精密農業	異常気象対策として、従来のノウハウに代わるデータ農業や精密農業が必要	JA あおぞら様
耕作放棄地対策と遠隔監視・自動省力化	耕作放棄地対策として、遠隔監視や自動省力化の必要性	志布志市様
データベース・AI化と複合経営への移行	繁忙期と農閑期の格差、複合経営への移行を推進するため、ノウハウのデータベース化やAI化が必要	堀口茶園様 JA あおぞら様

実施計画書にもとづき、次の検証項目(有効性等)を実証した。



(1) LPWA 画像転送

表 4.3.3-2 LPWA 画像転送の検証項目

検証項目	属性
LPWA システム運用	①子機カメラ台数 ②カメラ撮影時刻 (1 時間、3 時間単位) ③システム運用時刻 ④太陽光発電(太陽光パネル、バッテリー)
LPWA 静止画品質	①解像度(フル HD、VGA) ②データ容量
LPWA 画像転送	①転送内容(距離、時間) ②転送時間 ③正常稼働率(正常画像数、未送信や写真欠けの異常画像数)
クラウド制御マスタ	Google スプレッドシートを活用して、カメラ撮影を行う次の設定①②を動的に変更する仕組み。 ①カメラ撮影時刻 ②解像度(フル HD、VGA)

(2) エッジ AI 判定

表 4.3.3-3 エッジ AI 判定の検証項目

検証項目	属性
カメラ撮影方法	①撮影水平角：右 45 度、真正面、左 45 度 ②撮影距離：1・2・3m
判定指標	箱わなの入口部に AR マーカーを貼付
判定内容	箱わなの入口部の自動閉塞
教師データ	現地設置後のカメラ撮影画像(約 300 枚以上)
クラウド画面表示	判定結果のフラグ情報をクラウドへ送信し、箱わなの入口部が閉塞した場合は、「閉塞」(タグの表示)・「わなが作動した」(メッセージ文の表示)を画面表示。非閉塞の場合は、「検知」(タグの表示)・「写真が更新されました」(メッセージ文の表示)を画面表示。

(3) LPWA 子機及びカメラの設置場所を年間の営農ステージに応じ、一人で動かすことが可能である。

表 4.3.3-4 可動式台車の検証項目

検証項目	属性
可動式台車の開発	晴天・曇天・雨天時に、圃場内を円滑に走行可能とする。

#### 4.3.3.3 評価・分析方法

システム構成は、次の仕様で実証した。

表 4.3.3-5 評価・分析方法のシステム構成

項目	内容	図No.																
LPWA システム運用	①子機カメラ台数は、3 台 ②カメラ撮影時刻は、6 時から 18 時の毎 1 時間毎 ③システム運用時刻は、5 時から 19 時 ④太陽光発電(太陽光パネル、バッテリー)は、親機が 20W・12V20Ah、子機が 20W・12V7Ah。	図 4.3.3-1 ①②③																
LPWA 静止画品質	①解像度は、VGA の 800×600px ②データ容量は、150KB	図 4.3.3-2																
LPWA 画像転送	①転送距離は、17m (D 地点)・95m (G 地点)・115m (E 地点) ②転送時間は、5~13 分 (D 地点)・8~9 分 (G 地点)・12 分 (E 地点) ③未送信や写真欠けの異常画像は、無かった。	図 4.3.3-3																
クラウド制御マスタ	Google スプレッドシートを活用し、カメラ撮影時刻と解像度 (フル HD、VGA) を遠隔操作で変更可能とした。	図 4.3.3-4																
エッジ AI 判定	①カメラ撮影方法(撮影水平角、撮影距離) <table border="1" style="margin: 5px 0;"> <thead> <tr> <th>属性</th> <th>D 地点</th> <th>E 地点</th> <th>G 地点</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>距離-長辺</td> <td>2m</td> <td>1m</td> <td>2.8m</td> </tr> <tr> <td>距離-短辺</td> <td>50 cm</td> <td>80 cm</td> <td>80 cm</td> </tr> <tr> <td>撮影水平角</td> <td>14 度</td> <td>39 度</td> <td>16 度</td> </tr> </tbody> </table> ②判定指標は、箱わなの入口部に AR マーカーを貼付した。 ③判定内容は、箱わなの入口部の自動閉塞を判定した。 ④教師データは、現地設置後の 77 枚のカメラ撮影画像を取得した。 ⑤クラウド画面表示は、判定結果のフラグ情報をクラウドへ送信し、箱わなの入口部が閉塞した画像は、「閉塞」(タグの表示)・「わなが作動した」(メッセージ文の表示)を画面表示した。非閉塞の場合は、「検知」(タグの表示)・「写真が更新されました」(メッセージ文の表示)を画面表示した。	属性	D 地点	E 地点	G 地点	距離-長辺	2m	1m	2.8m	距離-短辺	50 cm	80 cm	80 cm	撮影水平角	14 度	39 度	16 度	図 4.3.3-5
属性	D 地点	E 地点	G 地点															
距離-長辺	2m	1m	2.8m															
距離-短辺	50 cm	80 cm	80 cm															
撮影水平角	14 度	39 度	16 度															
可動式台車	G 地点に設置した。可動式台車の中心基礎部に、LPWA 子機の構造体を挿入して垂直に直立する方式を採用した。 現地駐車場から G 地点までの約 95m を一人で動かして運び、設置した。	図 4.3.3-6																

本評価・分析方法にかかるシステム構成にかかるシステム構成は、以下の図の通りである。

図 4.3.3-1 ① : システム構成図

LPWA 子機のカメラ撮影画像を特定小電力無線網で LPWA 親機に集信後、4G 通信で富士通クラウドへデータ送信した。

本システムの特徴機能は、以下の6つである。

- ①静止画 500 万画素
- ②多地点でカメラ撮影
- ③画像圧縮
- ④LPWA 画像転送
- ⑤クラウド制御マスタ
- ⑥エッジ AI で画像解析

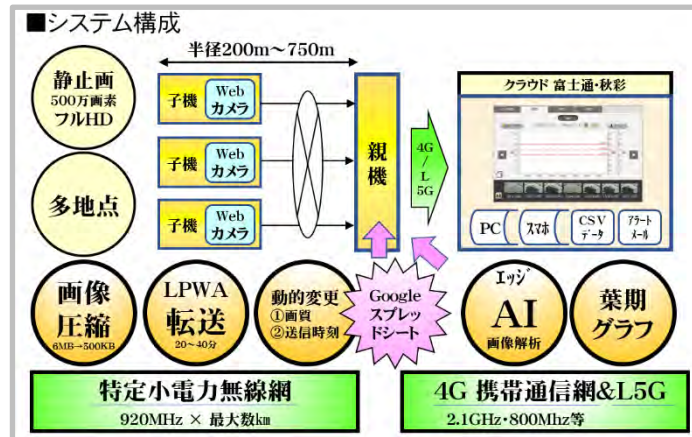


図 4.3.3-1 ② : LPWA 親機

写真右端が、LPWA 親機。太陽光パネルは 20W。バッテリーは 12V20Ah。

制御装置に 3CPU (ラズパイ 4 で AI 判定→ラズパイ 3 でカメラ撮影と PWA 画像転送→ラズパイ 2 でクラウドへ LTE データ送信) とした。

右上のアンテナは、LPWA 通信 LoRa 方式の受信機 (地上高は約 220cm)。

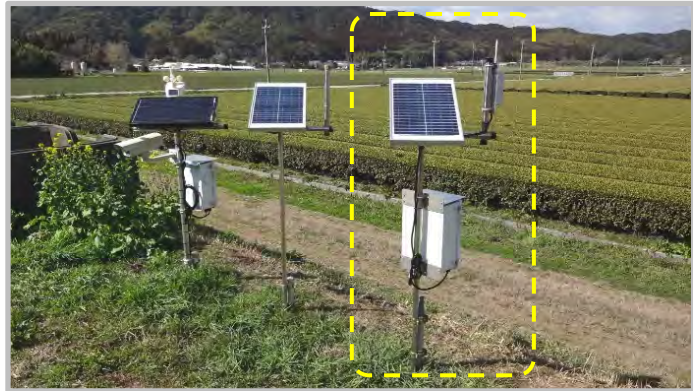


図 4.3.3-③ : LPWA 子機

写真左端が、LPWA 子機。太陽光パネルは 20W。バッテリーは 12V7Ah。

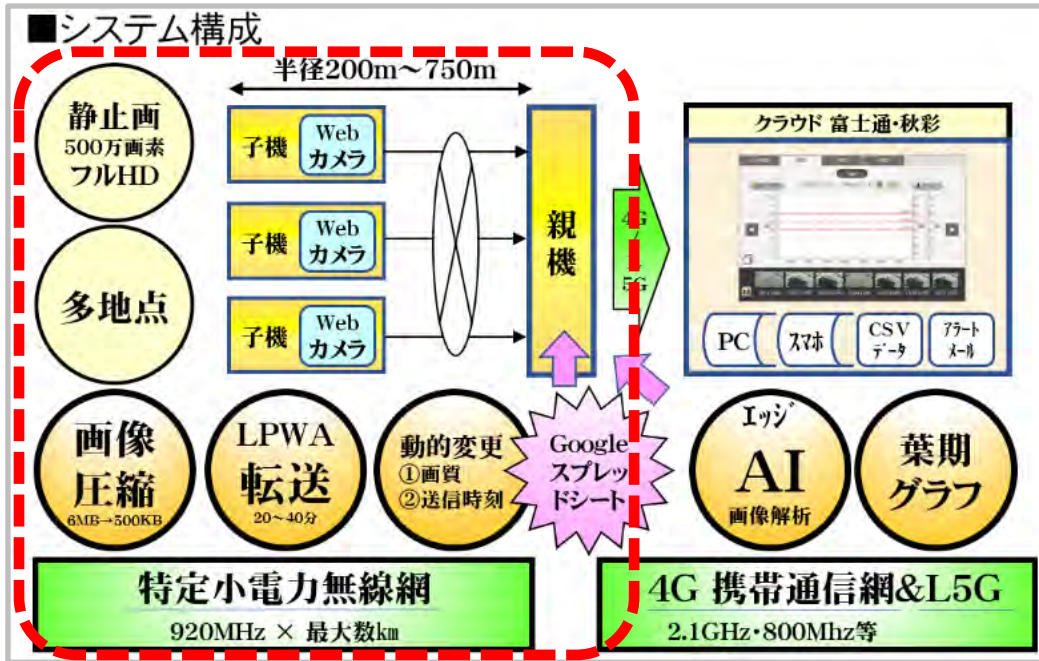
LPWA 受信機を構造体の左上段、カメラ BOX を中段、制御装置 BOX を下段に配置。

写真右端が、箱わなとアニマルセンサー、餌誘因のキャットフード。アニマルセンサーは、夜間に鳥獣の温度や距離を検知した場合、箱わなの入口部を自動で閉めた (閉塞)。



図 4.3.3-2：LPWA 静止画品質

LPWA 画像転送のシステム構成は、下記チャート図の左側の赤枠点線箇所である。



画像圧縮の仕様は、次の通りである。

①	Web カメラより USB を経由して画像を取得し、JPEG 画像として保存する (※1)。
②	上記①の(※1)は、圧縮率が低いため、高圧縮エンコーダーを用意する。
③	高圧縮を実行する。
④	PEG の TIFF ヘッダーに撮影時刻を後書きする。

LPWA 通信の仕様は、次の通りである。

特定小電力無線機	送信電力 200mW (13dBm) 、 最大受信電力 (感度) -118dBm
設定変数	LoRa 変調モード、帯域幅 500KHz、拡散率 SF6、 Coding Rate4、通信速度 約 23Kbps。



図 4.3.3-3 : LPWA 画像転送

鳥獣調査では、LPWA 親機を右図の水色の●印地点に、LPWA 子機は、D・E・G 地点に設置した。

LPWA 通信距離は、17m (D 地点) ・95m (G 地点) ・115m (E 地点) である。

補足情報：2020 年 5 月に鹿児島市松元町のお茶団地で行った通信試験では、最大約 750m までを検証した。

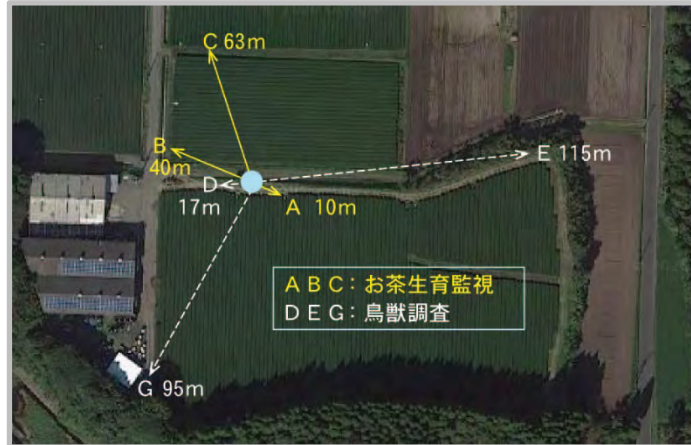


図 4.3.3-4 : クラウド制御マスタ

クラウド制御マスタとして Google スプレッドシートを使用し、LPWA 親機の自動起動時間や解像度などを設定した。設定内容は、以下の通りである。

①カメラ撮影時刻

今回、6/7/8/9/10/11/12/13/14/15/16/17/18 時に設定した。

理由として、より多くの現地撮影画像を AI 判定の教師データとするためである。なお、安定稼働後は、朝 7 時のみの撮影へ変更予定である。

②画像の解像度

今回は 800×600px の VGA に設定した。

パラメーター	設定値
nodes	B1,B2,B3
prefix	???
camera_resolution	800x600
sleep_alarm	5 tomorrow
ftp_expires	14 days
ftp_cleanup_interval	0 10 1 **
take_picture	6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18
transfer	15
discovery	30
setting	40
shutdown	19
upload_interval	*/30 ****



図 4.3.3-5 : エッジ AI 判定

- ①鳥獣対策クラウドで、地点別（D・E・F 地点）の箱わなの閉塞状況と更新時間を画面に表示する。
- ②LPWA 親機からクラウドの画面表示までの情報の流れは、まず、LPWA 親機により、エッジ AI 判定後、判定結果フラグ情報をクラウドへ送信する。
- ③クラウドは、受信した画像と判定結果フラグ情報を基に、箱わなの入口部が閉塞している事象は、「閉塞」（タグの表示）・「わなが作動した」（メッセージ文の表示）を画面に表示する。一方、箱わなの入口部が非閉塞の事象は、「検知」（タグの表示）・「写真が更新されました」（メッセージ文の表示）を画面に表示する。



図 4.3.3-6 : 可動式台車

G 地点に設置した可動式台車で、台車の中心基礎部に、LPWA 子機の構造体を挿入して垂直に直立する方式を採用した。

現地駐車場から G 地点までの約 95m を一人で動かして運び、設置した。



#### 4.3.3.4 評価・検証結果

表 4.3.3-6 評価・分析結果項目の一覧

項目	内容	図No.
LPWA 画像転送	LPWA 子機は、箱わなの入口部をカメラ撮影した静止画を LPWA 通信により、LPWA 親機へ画像転送し、正常稼働した。	図 4.3.3-7 ①②
クラウドへのデータ送信	LPWA 親機は、多地点の LPWA 子機のカメラ画像を集信後、7 時 55 分から 18 時 50 分まで、30 分間隔で、画像と AI 判定フラグが存在する場合、鳥獣対策クラウドへ画像と AI 判定フラグをアップロードし、正常稼働した。	図 4.3.3-8
カメラ撮影仕様の動的変更制御	システム管理者は、クラウド制御マスタ (Google スプレッドシート) を遠隔リモートから設定変更し、カメラ撮影の撮影時刻や解像度 (フル HD・VGA) を動的に切り替え、正常稼働した。	図 4.3.3-9
エッジ AI 判定	LPWA 親機は、エッジ AI を実装し、箱わなの閉塞をカメラ撮影画像内の AR マーカーを読み取り、毎日 7 時 30 分に判定後、その結果をクラウドへ送信し、正常稼働した。	図 4.3.3-10
鳥獣対策クラウド	箱わなの撮影画像とエッジ AI で判定した入口部の閉塞メッセージを表示し、正常稼働した。	図 4.3.3-11 ①②
可動式台車	LPWA 子機の設置構造体は、可動式台車を開発し、現地圃場内において一人で移動が可能とし、正常稼働した。	図 4.3.3-12

図 4.3.3-7① : LPWA 画像伝送後のクラウド表示写真

右の写真は、富士通クラウドの アグリマルチセンシング SaaS の鳥獣対策クラウドに 2 月 28 日 (日) 8 時 27 分にアップロードされた D 地点の写真である。

箱わなの入口部に貼付した AR マーカーを捕捉した。

カメラまでの距離は、長辺 2m・短辺 50cm (直角三角形の頂点) である。

同様に E 地点は長辺 1m・短辺 80cm。G 地点は長辺 280cm・短辺 80 cm。



図 4.3.3-7 ② : LPWA 画像転送

LPWA 画像転送時の LPWA 親機の CPU ログは、下記写真の通りである。

- ①画像の解像度は、VGA の 800×600px。データ容量は、約 150KB。
- ②転送距離は、17m (D 地点) ・95m (G 地点) ・115m (E 地点)。
- ③転送時間は、5～13 分 (D 地点) ・8～9 分 (G 地点) ・12 分 (E 地点)
- ④未送信や写真欠けの異常画像は無かった。



LPWA 画像転送後、LPWA 親機の picture フォルダに格納後、保存された画像の一覧は、下記写真の通りである。各 jpg ファイルには、LPWA 子機のノード ID 情報と撮影日時のタイムスタンプがファイル名に付与された。





図 4.3.3-8 : クラウドデータへの送信

毎日、朝 7 時 55 分～18 時 55 分の間 30 分ごとに、4G でデータ送信を行った。

1 回あたりのジョブの所要時間は、約 2 分である。

セッション履歴

時刻 (UTC +09:00)	イベント	IMEI	MCC	MNC	国・地域	キャリア	通信方式	工
2021/2/23 12:55:17	Created	867023030122919	440	10	Japan	NTT Docomo	LTE	369
2021/2/23 12:55:17	Deleted	867023030122919	440	10	Japan	NTT Docomo	LTE	369
2021/2/23 12:25:17	Created	867023030122919	440	10	Japan	NTT Docomo	LTE	369
2021/2/23 12:25:17	Deleted	867023030122919	440	10	Japan	NTT Docomo	LTE	369
2021/2/23 11:55:17	Created	867023030122919	440	10	Japan	NTT Docomo	LTE	369
2021/2/23 11:55:17	Deleted	867023030122919	440	10	Japan	NTT Docomo	LTE	369
2021/2/23 11:25:17	Created	867023030122919	440	10	Japan	NTT Docomo	LTE	369
2021/2/23 11:25:17	Deleted	867023030122919	440	10	Japan	NTT Docomo	LTE	369
2021/2/23 10:55:17	Created	867023030122919	440	10	Japan	NTT Docomo	LTE	369
2021/2/23 10:55:17	Deleted	867023030122919	440	10	Japan	NTT Docomo	LTE	369

図 4.3.3-9 : カメラ撮影仕様の動的変更制御

クラウド制御マスタとして Google スプレッドシートを使用し、LPWA 親機の自動起動時間や解像度などを設定した。

設定内容は、以下の通りである

- ①カメラ撮影時刻は、6/7/8/9/10/11/12/13/14/15/16/17/18 時に設定した。理由として、より多くの現地撮影画像を AI 判定の教師データとするためである。安定稼働後は、朝 7 時のみの撮影へ変更予定である。
- ②画像の解像度は、800×600px の VGA に設定した。

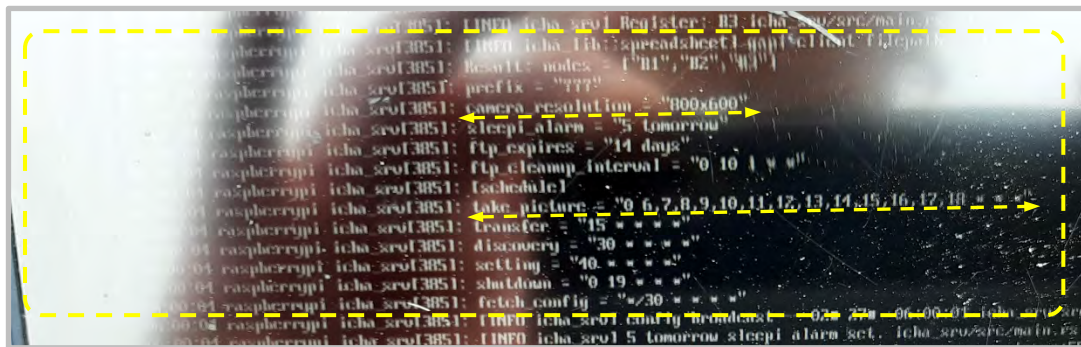


図 4.3.3-10 : エッジ AI 判定

箱わなは、中型鳥獣のアナグマを想定し、天板にアニマルセンサーを配置した。夜間検知モードで、鳥獣の体温と距離を検知した場合は、入口部を引っ張る紐を自動で外し、箱わなの入口部が閉塞する。入口部には、AI 判定用の AR マーカーを貼付した。鳥獣の餌誘因にキャットフードを配置した。

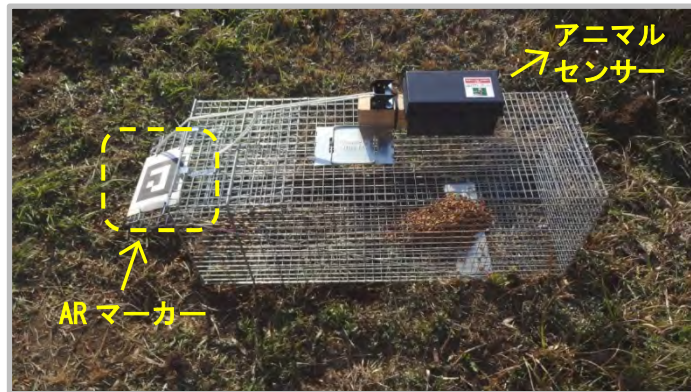


図 4.3.3-11① : 鳥獣対策クラウド

①鳥獣対策クラウドで、地点別（D・E・F 地点）の箱わなの閉塞状況と更新時間を画面に表示した。

②LPWA 親機からクラウドの画面表示までの情報の流れは、まず、LPWA 親機において、エッジ AI 判定後、判定結果フラグ情報をクラウドへ送信した。

③クラウドは、受信した画像と判定結果フラグ情報を基に、箱わなの入口部が閉塞している事象は、「閉塞」（タグの表示）・「わなが作動した」（メッセージ文の表示）を画面表示した。一方、箱わなの入口部が非閉塞の事象は、「検知」（タグの表示）・「写真が更新されました」（メッセージ文の表示）を画面表示した。

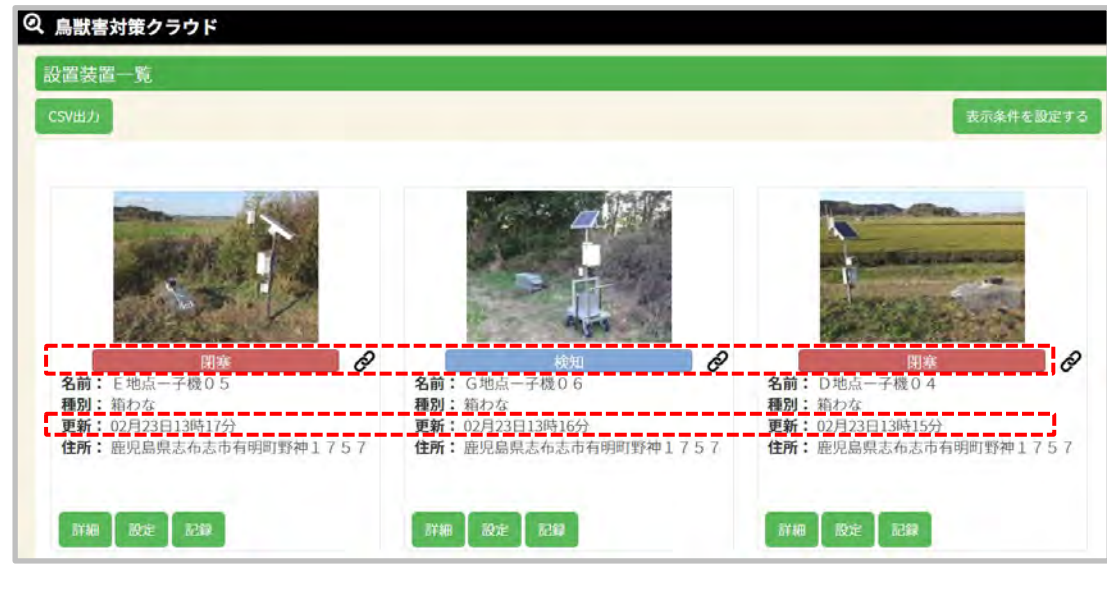




図 4.3.3-11②：鳥獣対策クラウド

D 地点の稼働ログ画面で表示内容は、「写真が更新されました。」または「わなが作動しました。」のメッセージ表示とカメラ撮影写真が表示された。

装置名 D地点-子機04  
装置種別 わな  
住所 鹿児島県志布志市有明町野神1757  
緯度 31.4778068  
経度 130.9759997  
備考

稼働ログ

日時	詳細	写真
02月21日(日) 08:26:28	わなが作動しました	
02月21日(日) 00:39:31	リセットしました	
02月15日(月) 09:26:45	わなが作動しました	
02月15日(月) 09:26:42	写真が更新されました	

図 4.3.3-12：可動式台車

G 地点に設置した可動式台車で、台車の中心基礎部に、LPWA子機の構造体を挿入して垂直に直立する方式を採用した。

現地駐車場から G 地点までの約 95m を一人で動かして運び、設置した。



#### 4.3.3.5 考察

前述した地域課題と本遠隔監視システムの主機能(多地点カメラ、エッジ AI、クラウド)との波及効果を次の表で整理する。

表 4.3.3-7 地域課題における検証項目別評価

地域課題	多地点カメラ	エッジ AI	クラウド
鳥獣被害対策と見回り業務の軽減	◎	◎	○
スマート農業による従事者不足を省力化	◎	◎	○
異常気象対策とデータ・精密農業	◎	◎	○
耕作放棄地対策と遠隔監視・自動省力化	◎	◎	○
データベース・AI化と複合経営への移行	◎	◎	○

- (1) LPWA 子機カメラ 3 台の撮影を運用後、広域・多地点の圃場内を遠隔監視できたか
- ①お茶圃場 1 枚 (170m×100m、1.7ha) の周辺 3 地点に LPWA 子機を設置し、カメラ撮影を行った。
  - ②LPWA 親機は、3 地点の LPWA 子機から集信した画像を鳥獣対策クラウドへアップロードした。
  - ③鳥獣対策クラウド上で、撮影したカメラ画像を照会することができた。
  - ④上記により、広域・多地点の圃場内を遠隔監視することができた。
- (2) 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 マーカーを 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。
- (3) 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 枚の圃場を大規模経営しており、見回り業務の高生産性化は、生産高の収益性と同様に、会社の最重要な経営効率指標である。会社全体で約 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。
- (4) 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?
- 今回の実証により、堀口製茶様の圃場 1 枚 (170m×100m、1.7ha) の 3 地点で、スター型多地点ネットワークの定点カメラ撮影を LPWA 画像転送で実証した。
- 画像転送では、500 万画素の高解像度画像を圧縮する技術を開発し、フル HD (約 400KB) や VGA (約 150KB) の画像を LPWA 通信で転送した。

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が、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。

#### 4.4 課題解決システムに関する効果検証

##### 4.4.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）

###### (1) 開発の背景

日本計器鹿児島製作所、鹿児島県農業開発総合センターを中心とする開発グループは松元機工製摘採機、中刈り機、農薬散布機など「乗用」と言われる人間が乗車して操作するタイプの茶園作業機械（それ以前は「バリカン」と言われる電動ハサミを人間が手に持ち、刈り取った茶葉を背中に担いで集めるという超重労働であった。）を平成 25 年ごろから自動化できないか研究をスタートさせ、令和元年度の「スマート農業加速化実証事業」でレベル 2 をほぼ達成した。今後は省力化を目指してレベル 3 相当（遠隔監視・緊急停止の複数同時可動）を目指して開発を進めることとなったのでその効果を検証する。

###### ① ロボット走行時の実装機能のポイント

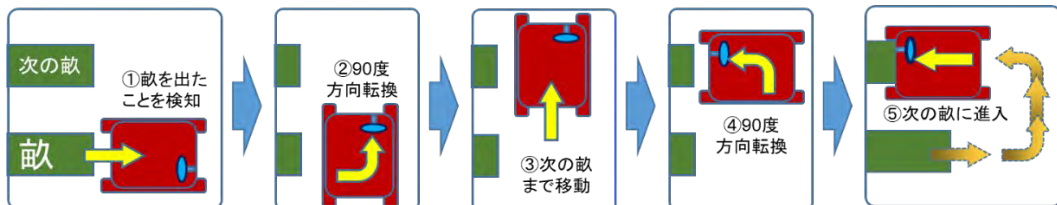
###### ・ 畝の中を走行時（お茶摘み時）:



【理想】畝の中央部を一定速度で真っ直ぐ走行。

【現実】地面のデコボコや畝の形に沿って細かくハンドル調整 【ベテランの技】

###### ・ 畝から畝への移動時:



【理想】次の畝に向け、速やかに方向転換→移動→進入

【現実】現場に合わせて回転角度や移動距離を速やかに微調整 【ベテランの技】

## ② 自動化農機の搭載センサーなど



## ③ 主要な操作機能（レベル2）

- ア) タッチパネルで2項目を入力
  - ・最初に曲がる方向を入力： 右か左か
  - ・何列摘採するかを入力： 1～10まで 又は無限
- イ) 指定された畝数が終了したら畝外において
  - ・後ろ向き回転停止
- ウ) 途中でカゴが満杯になった場合
  - ・摘採をやめ畝から出て、後ろ向きに回転停止
- エ) 異常があった場合、監視者によるリモコンで
  - ・緊急停止機能あり

→今回はレベル3相当になるよう制御システム、ブレーキシステムなどを改良した。  
また、カメラの搭載、ルータの搭載など電源（バッテリー）の見直しも行った。



④ 傾斜地、蛇行した茶園でも自動走行可能



⑤ 摘採コンテストでも優勝

南九州市摘採競技大会 (H29/7/6開催) でベテラン操縦者  
10名を上回り総合1位 (総合96.5点/100点)

切葉量20点/20点、切跡差14点/15点、  
切跡達観(ちぎれ等)9.5点/10点  
安全運転性20点/20点、その他33点/35点



4.4.1.1 検証項目一覧

表 4.4.1-1 検証項目一覧

項番	カテゴリ	項目	検証概要
1	課題解決に資する導入効果 その他業務面・生活面 における変化 (労働時間の削減、農機 ロボットの地域シェアリ ングによるコスト削減を	複数台の農機遠隔制 御	同時間帯の複数台遠隔制 御による対応人数の検 証。 ロボット農機の作業デー タから、実作業時間、圃 場作業効率等を算出し、

	含む生産性等の向上等)		省力化を評価。
2	5G等の最新のICT環境を用いた遠隔監視制御における安全性確保	自動運転レベル3相当の安全性	自動運転レベル3相当に関して、以下の項目について、有人運転時、自動運転レベル2時との比較検証を行う。 ・安全性に関する課題 ・安全性向上メリット
3	農業領域（農業ロボットによる農作業の自動化及び画像データとAI技術等を活用した農作業計画策定）の社会実装による地域産業の持続性確保	農業ロボット	・得られる効果と費用バランスの検証

#### 4.4.1.2 複数台の農機遠隔制御

##### (1) 検証方法

農機2台走行時の緊急停止時間・距離の測定を実施し、1台走行時との比較を通して、複数台での遠隔制御の実現性についての検証を行った。

農機2台走行における緊急停止時間・距離の測定方法を以下に示す。

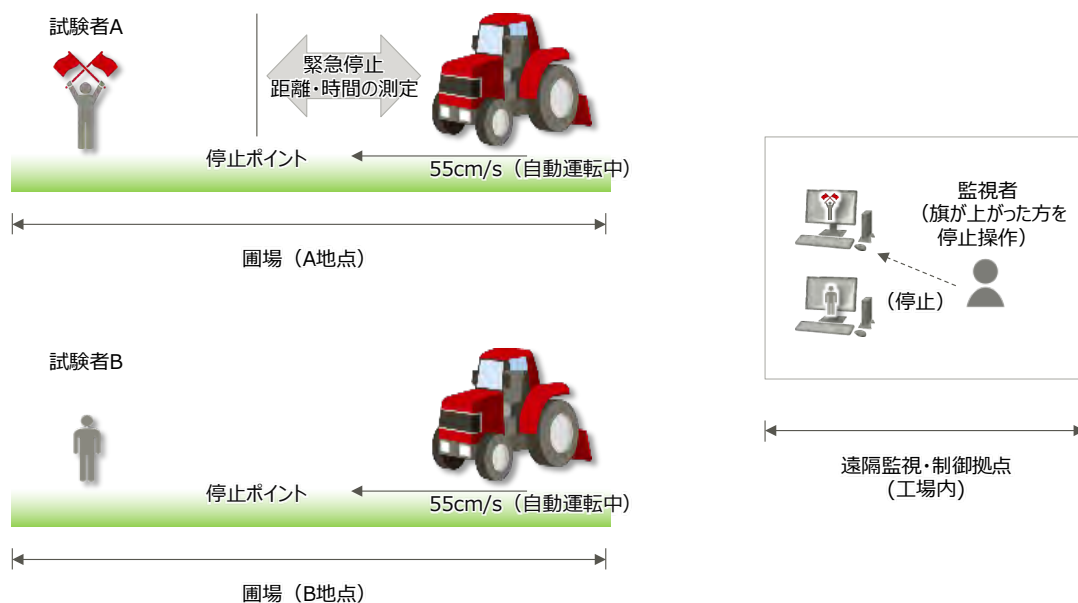


図 4.4.1-1 農機2台走行における緊急停止時間・距離の測定方法



図 4.4.1-2 2 台走行時の監視の様子

(2) 検証結果 (KPI・SLA 等の達成状況)

農機 2 台走行時の緊急停止時間・距離の測定結果を以下に示す。

	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

(\*) 上表は 28GHz 帯システムでの測定結果 (4.3.1.4 (1) 1) a) 参照)。なお 4.7GHz 帯システムでもほぼ同様の測定結果を確認している (4.3.1.4 (1) 2) a) 参照)。

2 台走行においても、1 台走行時における活動目標値 (4.3.1.1 (1) 1) 参照) を達成し、安全性が確保されていることを確認した。(なお、1 台走行時と比べて緊急停止時間・距離共に増加傾向となっている点に関する考察は 4.3.1.5 (1) 5) a) 参照)

- ・ 同時間帯の複数台遠隔制御による対応人数の検証  
 ロボット農機の作業データから、実作業時間、圃場作業効率等を算出し、省力化を評価した。  
 →実際の摘採業務は 4 月中旬以降開始されるため、本事業においては検証しない。令和 3 年度のスマート農業加速化実証事業において検証するものであるが、机上の考察は可能であることから、以下に考察する。

	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	1 台	2 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 ไร่あたり	10 ไร่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 慣行とは、自動化農機の母体である松元機工製摘採機に人間が登場して操縦するタイプである。

※2 レベル 2 とは松元機工製摘採機に日本計器鹿児島製作所製自動運転オプションを搭載して、自動走行するタイプである。ローカル 5G による遠隔監視・緊急機能がないため、人間は圃場から離れることが出来ないという規制がある。

※3 レベル 3 相当はレベル 2 にローカル 5G による遠隔監視・緊急停止機能を搭載したモデルである。本機能により操作者は、圃場を離れて遠隔で監視・操縦する事が可能となるため、複数を 1 人の人間が監視・操縦できるようになり作業効率が向上する。

※4 レベル 2 1 台を運用する場合とレベル 3 相当 1 台を運用する場合では 10%程度の効率化にすぎないと想定した。

※5 レベル 3 相当では複数台運用しても 8 台程度までは 1 人の人間で運用できるようにアシスト AI を構築する予定であるため、運用・監視人員は増えないと想定した。

※6 令和 3 年度の「スマート農業加速化実証事業」にて検証予定である。

#### 4.4.1.3 自動運転レベル3の安全性

##### (1) 検証方法

- 安全を脅かす場合

	原因	異常パターン	解決策	実証結果
直進	障害物	人が侵入	警告音、警告ランプ、画像による目視、超音波センサー（遺物検知）、警告看板の設置	旗上げで代替。遠隔画面での認識及び緊急停止が想定内の制動距離であることを確認した。
		異物の放置		同上（死角の場合は対応は困難）
		その他		豪雨、霧、夕暮れなど目視しづらい環境（過酷環境）での試験は追加が必要。またアシスト AI 機能によるアシスト効果の検証も必要（令和3年度実施予定）
停止	停止せず	ブレーキの故障		試験せず。動作開始前にブレーキの故障を検知する仕組み、もしくは目視による確認が必要
		センサーの故障		同上
		緊急停止装置の故障		ネットワーク遮断時は3秒で停止する機能を新規に開発・搭載してテストの完了
転回	転回せず	転回の失敗		遠隔監視での停止操作で対応
		転回以上（停止）		同上
		転回しすぎ		同上
横転	横転した	ぬかるみ		遠隔監視での目視で対応
		正常動作せず		同上
左右調整		制御不能		遠隔監視での目視で対応

- 主な追加機能

①自動運転中にネットワークが切れて制御不能になる事象が発生したため、ネットワークが3秒以上切れると自動停止する機能を開発した。実際にルータの電源を人為的

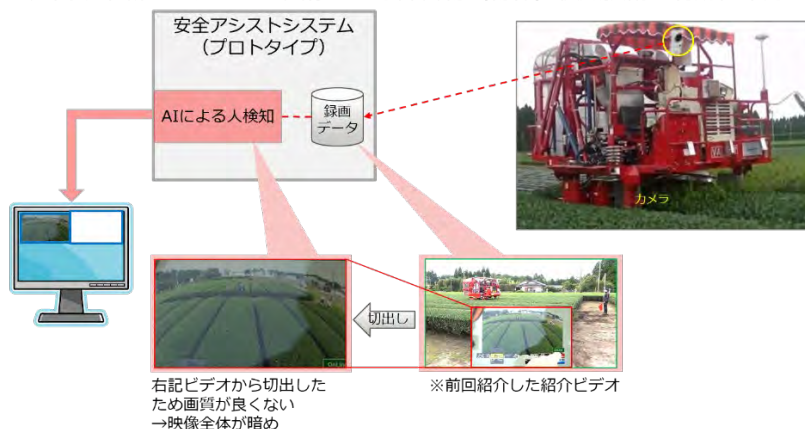


に抜くなどしてネットワークを遮断して、3秒経過後に自動停止するか確認テストを行った。

②人間が長時間遠隔監視を行う集中力を保ち続けるには限界があるため、AI画像認識機能を盛り込み、画像から人間の検知が可能なAIアルゴリズムを開発した。人間の画像を検知できるか、アルゴリズム上の確認テストを行った。

- AIにより障害物（人間）を検知する機能を開発

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

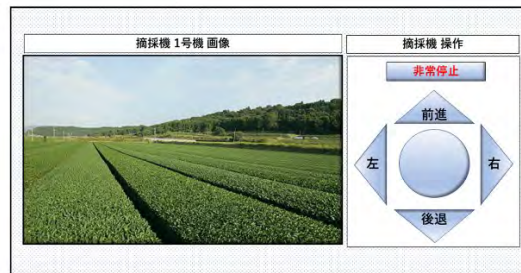
- 人間検知（旗揚げ）及び周辺の人間を検出



③自動化農機搭載のセンサーでは圃場の周辺に雑草が生い茂っている場合にセンサーが誤検知して畝の終着点を誤認識して直進し続ける事例があったため、ローカル5Gを活用して、人間が画像を監視して、1.8秒（1m）以内に緊急停止できるかどうか検証した。

人間の反応時間を短くするために画面タッチ方式から物理ボタン方式を追加した。また、ブレーキシステムの見直しを進め、従来のレベル2時点よりも50%程度制動距離を短縮した。

- ・ タッチパネル方式で開発



- ・ 物理ボタン方式を追加

## システム構成(最終)



- ④自動化農機にレーザーセンサーを搭載して障害物がある場合に自動的に検知・停止する機能を搭載しており、実際に正しく動作するか検証した。
- ⑤自動化農機にスピーカーを搭載して、動作中に警告音を鳴らしながら走行させた。圃場に侵入した人間が危険を感知できるか実際に圃場でテストし安全を確認した。
- ⑥自動化農機を動作させる圃場に危険告知の看板、コーンを設置して、自動化農機の動作を知らない人間が危険を察知できるか検証した。

## ①圃場進入対策

検討事項	検討内容
ポール種類	ポール、コーン、看板等3種類程度
警告音有無	人が接近した時の警告音
ロープ有無	圃場入口等、人が入りやすい所を対象
設置間隔	20~50m(3段階程度)
時間帯・天候	作業時状況
設置時間	準備・回収時間



## ②AIアシスト状況

検討事項	検討内容
イレギュラー因子	圃場内で想定されるイレギュラー要素を挿入(雑草の塊、子供~大人程度の大きさの物体や人形等)
挿入距離	イレギュラーの距離(30~5m)
時間帯・天候	作業時状況

6

## 警告対象



### 外乱要素

- ・侵入者
- ・ほ場・道路等の作業環境に関するもの※
  - ・雑草繁茂・倒木
  - ・作業路の陥没・隆起・流出等
  - ・作業路から路肩・公道までの距離等

※ロボット農機遠隔監視による作業条件として、事前に作業圃場のチェック、整備を行う

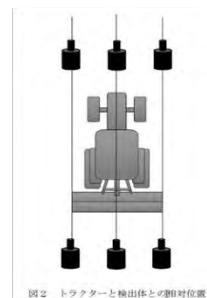


図2 トラクターと検出体との相対位置

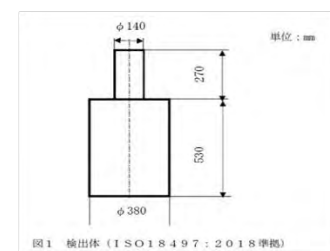


図1 検出体(ISO18497:2018準拠)

引用: 富士通作成資料(に追記)

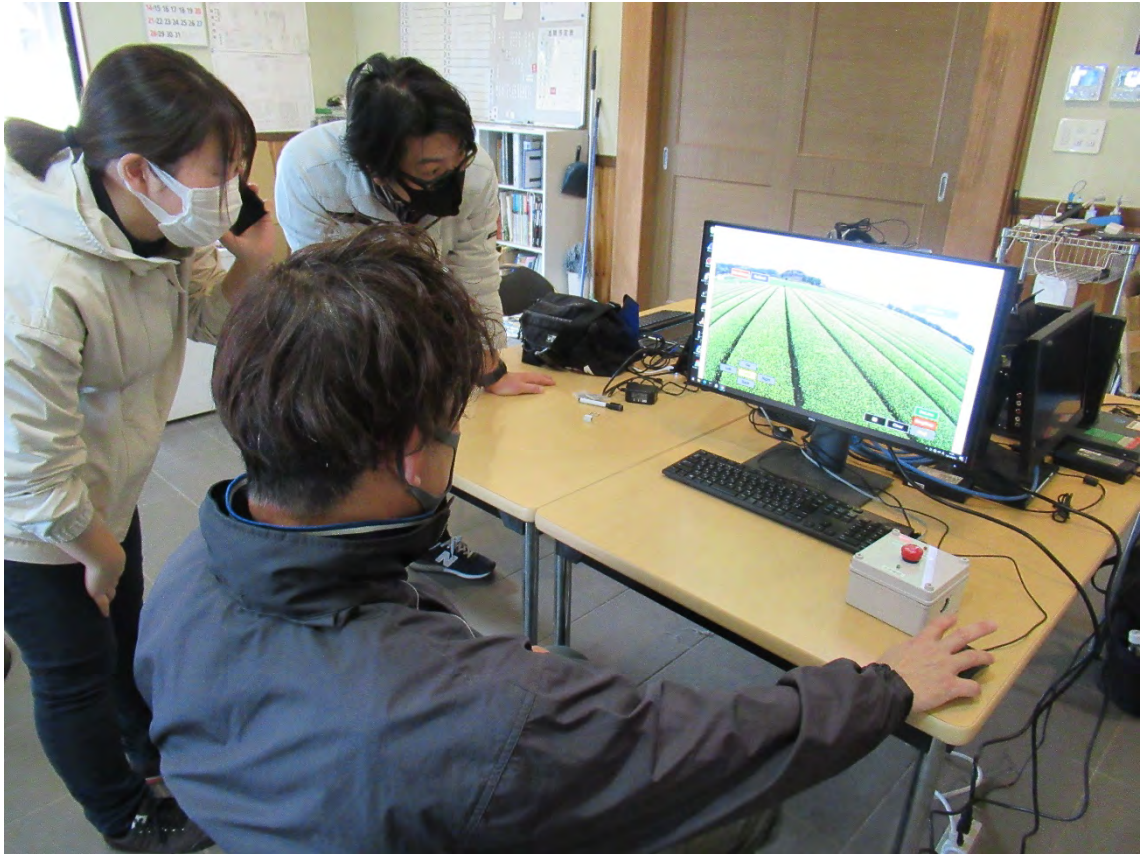


(2) 検証結果 (KPI・SLA 等の達成状況)

- ① ネットワークを人為的に遮断後、3 秒後に停止するかを検証し、正しく 3 秒後に停止することを確認した。
- ② AI で人間を検知 (一般物体認識) することを確認した。今後、逆行、雨天、夕暮れ、夜間などの過酷環境でのテストを令和 3 年度は追加していく。
- ③ ローカル 5G の画像を監視センターで監視して、旗揚げのタイミング (議事的に危険を検知したタイミングとした) で緊急停止を行い 1.8 秒、1メートル以内での停止を確認した。

・ 遠隔監視による緊急停止試験の様子





④自動化農機の前に障害物を置いて自動的に停止するか試験を行い、停止を確認した。

- ・ センサーの搭載場所



⑤自動化農機を稼働中にパトランプで危険を告知しながら走行することで、何も知らない人間が何か危険な作業をしていることを察知する事を確認した。



- ・ パトランプ



⑥自動化農機稼働中の圃場の入り口付近に危険を告知する看板・コーンを設置し、何も知らない人間が何か危険な作業をしていることを察知できるか検証した。

- ・ 圃場侵入禁止の告知風景









#### 4.4.1.4 農業領域（農業ロボットによる農作業の自動化）の社会実装による地域産業の持続性確保

##### (1) 検証方法

ローカル 5G を活用したレベル 3 相当の自動化農機による面的な検証（多くの農地を実際に稼働させて実証する）は、今の環境ではできないため、300ha を机上でカバーしたという前提のもと、シミュレーションを行った（300ha は堀口製茶の約 700 圃場のすべての合計の 10%増しの面積であり、NTT 西日本の蓬原局カバーエリアの面積に相当する）。

##### (2) 検証結果（KPI・SLA 等の達成状況）

①平成 18 年度の農水省の鹿児島県における慣行区の 10 ไร่あたりの生産効率

	販売農家平均	構成比
<b>物財費</b>	166,803	60%
肥料費	42,784	15%
農業薬剤費	21,394	8%
光熱動力費	13,937	5%
土地改良費及び水利費	156	0%
賃借料及び料金	7,641	3%
農機具費	54,104	20%
その他物財費	26,787	10%
<b>労働費</b>	109,652	40%
うち家族労働	90,805	33%
うち雇用労働	18,847	7%
<b>費用合計</b>	276,455	100%

資料：農林水産省「農業経営統計調査」

(参考) 静岡、鹿児島県の荒茶生産量(平成18年)

静岡県	40,000トン(43.6%)
鹿児島県	23,300トン(25.4%)
全国	91,800トン(100%)

10 ไร่あたりの労働費は 109,652 円である。

お茶の生産費は

- ・ 肥料などの物財費が60%
- ・ 労働費が40%

を占めており、労働費の80%以上は家族労働費であるが、今後は雇用に求めざるを得ない状況にある(単価増が見込まれる)。

また、生葉生産に関する人件費は、以下の5つから構成されており、費用削減と担い手不足・経験不足の両面からの課題解決が求められている。

- ・ 見回り時間(生育管理、防霜、防除など)
- ・ 栽培管理(農薬散布、生産履歴など)
- ・ 摘採(刈り取り、中刈など)

- ・ 摘採計画立案など計画作業
- ・ その他作業（会議や寄り合いなど）

なお今回、実証するスマート農業機器では、

- ① 定点監視、ドローンによる見回り時間の削減（最大50%）
  - ② 栽培管理→自動化農機で潜在的には対象であるが、今回は含まない（2021年7月以降の作業のため）
  - ③ 摘採（レベル3相当）ロボットにて実証（最大50%減）  
（将来的には8台を1人の監視員で監視できる自動化を想定）
  - ④ 摘採計画策定支援システムによる計画立案作業の効率化（最大50%程度削減）
- などを見込んでおり、人件費全体では、約40%程度の削減を見込んでいる。

平成18年のレートで10㍻あたりの人件費は、109,652円であることから、43,860円程度（109,652円×0.4）の削減が見込まれる。

今回の実証生産者である堀口製茶では、300㍻ほどあり、今回のシステムを全面適用した場合、人件費削減効果は、131,582,400円/年（43,860円×3,000㍻）の削減が見込まれる。

#### （経営データの最新化は2021年度のスマ農検証で行う）

- ・ 今後の普及時点でのコスト試算イメージ（300㍻規模）

以下のイメージは、300ha/700圃場をカバーするために、今回開発した機材の必要数量・運用コストを想定したものである。ローカル5Gについては社会実装されているものとして、5,000円/月（容量無制限）とした。

機器	単価	必要台数	合計	償却	単年度計上額	備考
自動摘採機	13,500,000	7	94,500,000	7年	13,500,000	Level3自動機
自動摘採機維持費用	180,000	7	1,260,000	1年	1,260,000	Level3自動機メンテ費用、保険料（重油など燃料費は除く）
自動中刈機	14,500,000	6	87,000,000	7年	12,428,571	Level3自動機
自動中刈機維持費用	180,000	6	1,080,000	1年	1,080,000	Level3自動機メンテ費用、保険料（重油など燃料費は除く）
自動化農機監視員	350,000	1人×12	4,200,000	1年	4,200,000	1人で13機の農機の自動運行を監視。（同時はmax8台同時を想定）
Drone	6,000,000	2	12,000,000	5年	2,400,000	カメラ含む
Drone運航人件費	2,000,000	1	2,000,000	1年	2,000,000	運航費用（人件費・保険）
Drone解析クラウド	100,000	12	1,200,000	1年	1,200,000	agrilook利用料
簡易分光計	250,000	4	1,000,000	5年	200,000	スマホ型分光計
気象サーバ	1,000,000	6	6,000,000	4年	1,500,000	微気象観測・GW機能（6地区に設置）
気象サーバ用4G/3G通信費	324	6×12	23,328	1年	23,328	SORACOM SIM利用
LPWA静止画監視（葉期診断AI）	450,000	200	90,000,000	4年	22,500,000	FHD画像のAI処理（圃場の200/500に設置。GW費用含む）
LPWA GW用用L5G/4G/3G通信費	5,000	20×12	1,200,000	1年	1,200,000	GWは子機10機につき1台（送信システムに改造が必要）
摘採計画策定支援システム	60,000,000	1	60,000,000	5年	12,000,000	年間600万円の維持メンテ費含む
クラウド	40,000	12	480,000	1年	480,000	1年分の利用料（クォーターセル/富士通）
L5G/4G/3G通信費	5,000	16×12	960,000	1年	960,000	1年分の利用料
			362,903,328		76,931,899	

※1 自動化農機については1人の監視員が最大8台の同時稼働を監視できると想定した。

(AI開発前提)

この仮説が正しいかの検証について、本事業では実施しない（自動化農機は最大2台しかないため）。

※2 LPWAにおける圃場監視は200/500圃場を監視することによりほぼ500圃場すべてを監視するのと同等の効果が得られると想定している。この仮説が正しいかの検証は、本事業内では検証できない（LPWAは1圃場分しかないため）。

※3 通信費用を1人あたり5,000円/月とした。

※4 それ以外にも多くの要素が想定に基づく試算である。このため、今後実証を積み重ねることで、試算精度を高める。

10㍻あたりの人件費が109,652円とした場合、300haに換算すると3,000倍であることから、328,956,000円（109,652円×3,000㍻）となる。

最大40%の人件費が削減できると仮定した場合、年間で131,582,400円（328,956,000円×0.4）の人件費削減効果が見込まれる。

この効果に対し、必要な設備投資額、ランニング費用は約77百万円であることから、年間55百万円近いコストメリットが創出できる計算であることに加え、人手不足対応、熟練者の補完、精密農業による収量、品質の向上や軽労働化などの効果も期待できる。

#### 4.4.1.5 考察

自動化農機化は複数台を同時に稼働させることでコスト効果が大きくなる性質がある。

今回、ローカル5Gを活用して1つの圃場で同時に複数台の稼働が可能であることが実証出来た意義は大きいと考える。

堀口製茶で現在6台の摘採機を保有しており、今後、300ha規模で7台程度が同時に稼働する事が考えられるが、（同一圃場では2～3台）ローカル5Gで自動化農機の圃場における無人化が進めば大きな効率化が期待できる上に、摘採業務の稼働時間延長なども視野に入れることも可能である。

もともと、お茶は摘採に適した期間が短いため、規模拡大の上での最大の課題は、ピーク対応である（人手の確保、稼働時間の延長、圃場毎の適期の把握、工場の処理能力に見合った摘採など）。

こうした課題を大きく改善できる可能性を秘めた自動化農機の遠隔監視システムの普及は、お茶生産の現場を劇的に変革するポテンシャルを秘めており、今回の検証における実証結果（効果）は、社会実装に向けて大きく前進したと理解できる。



#### 4.4.2 農業領域（画像データと AI 技術等を活用した農作業計画策定）

##### 4.4.2.1 検証項目

以下の項目について検証した。

表 4.4.2-1 検証項目一覧

構成要素	機能	備考
ドローン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行機能</li> <li>・カメラ撮影機能</li> </ul>	農水省事業で実施
ローカル 5G ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・伝送性能</li> <li>・安定性/セキュリティ</li> </ul>	実測による検証を行う
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>	農水省事業で実施
リモートセンシングクラウド	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像データアップロード機能</li> <li>・画像データ蓄積機能</li> </ul>	農水省事業で実施

##### 4.4.2.2 検証方法

以下の検証方法を実施した。

表 4.4.2-2 検証方法一覧

構成要素	機能	検証方法
ドローン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行機能</li> <li>・カメラ撮影機能</li> </ul>	農水省事業で実施
ローカル 5G ネットワーク	<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</li> <li>・他手段との比較評価を机上検証</li> </ul>
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>	農水省事業で実施
リモートセンシングクラウド	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像データアップロード機能</li> <li>・画像データ蓄積機能</li> </ul>	農水省事業で実施

#### 4.4.2.3 検証結果

検証結果は以下の通りである。

表 4.4.2-3 検証結果一覧

構成要素	機能	検証方法
ドローン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行機能</li> <li>・カメラ撮影機能</li> </ul>	農水省事業で実施
ローカル 5G ネットワ ーク	<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</li> </ul> <p>4.3.2.4 評価・検証結果に記述した通り、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約 34 分で伝送することができ、結果として約 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・他手段との比較評価を机上検証</li> </ul> <p>ローカル 5G ネットワークを使用せず、LTE ネットワークを利用し伝送する場合は、約 5.6 時間かかる。※ 詳細は、4.4.2.3(1) 参照</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・安定性/セキュリティ</li> </ul> <p>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。</p>
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>	農水省事業で実施
リモート センシ ングクラ ウド	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像データアップロード機能</li> <li>・画像データ蓄積機能</li> </ul>	農水省事業で実施

(1) ローカル 5G ネットワークを使用せず、LTE ネットワークを使いエッジサーバへの画像伝送時間にかかる机上検証について

- ① LTE モバイルルータ (使用機種:FUJISOFT FS030W)
- ② 伝送速度(スピードテストでの実測値) : ダウンロード約 15Mbps
- ③ アップロード :  $6.39\text{Mbps} \div 8 = 0.79\text{Mbyt/秒}$
- ④ ドローン撮影画像 4 圃場 : 16,050MB をクラウドへアップロード。
- ⑤  $16,050\text{MB} \div 0.79\text{Mbyt/秒} = 20,316 \text{ 秒}$  (5.6 時間)

ローカル 5G ネットワークを使い、4 圃場画像データをエッジ処理サーバへの伝送

は、34分で完了した。LTE モバイルルータで伝送すると「5.6時間」も必要であるため、急ぎで新芽数や収量推定結果を参照するケースの場合は、空撮後、都度、エッジ処理サーバがある事務所に画像データを車で運搬し処理することになる。このため、リモートセンシング処理が遅れ、急ぎで解析結果を参照するニーズには対応できないと推察できる。

(2) 摘採判定業務への準リアルタイムにおけるドローンによるリモートセンシングサービスの適用について

多量の画像データ処理が必要なドローンによるリモートセンシング解析では、ローカル 5G の利用により準リアルタイムで情報提供できることで、急ぎで情報提供が要求される摘採業務や病虫害防除等への活用が可能になる。

4.4.2.4 考察

当システム運用イメージとして、午前中は、ドローンで1～2圃場の空撮毎に、現場のモバイル PC からローカル 5G ネットワークを用い、エッジ処理サーバへ画像を伝送することを想定している。今回の検証によりローカル 5G ネットワークを使用することで現実的になった。

もし、同様処理を LTE ネットワークで実現しようとするとうエッジ処理サーバへの伝送に 5.6 時間もかかるため、摘採判定実務での当システム適用は難しいと考える。

#### 4.4.3 生活領域

##### 4.4.3.1 検証項目

検証項目は、以下の通りである。

表 4.4.3-1 検証項目

構成要素	機能	検証方法
農村地域への移住定住促進の貢献	防災/鳥獣対策	生産者など利用者の意見
		得られる効果と費用バランスの効果
		導入によるデメリット (例：人が実際に見回る監視効果が損なわれる等)

##### 4.4.3.2 検証方法

検証方法は、以下の通りである。

表 4.4.3-2 検証方法

構成要素	機能	検証方法
農村地域への移住定住促進の貢献	防災/鳥獣対策	生産者など利用者の意見
		得られる効果と費用バランスの効果
		導入によるデメリット (例：人が実際に見回る監視効果が損なわれる等)

##### 4.4.3.3 検証結果

###### (1) 生産者など利用者の意見

堀口製茶様は、レインフォレスト・アライアンス認証を取得しているため、鳥獣とは共存の方針である。

鳥獣が起こす実害について、堀口製茶様にヒアリングした結果、以下の2つが提示された。

鳥獣の 実害	①アナグマなどが、お茶の畝間に直径 50 cm×深さ 20 cmの穴を掘るため、地面の高さに段差が生じ、お茶の畝の高さも比例して段差が生じる結果、茶園が異様な形状となる。
	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。

堀口製茶様が、本 LPWA カメラシステムに期待する効果は、鳥獣の心理への「抑止力」である。上記の実害の発生を軽減したいニーズは大きいと推察できる。

一方、防災観点として、堀口製茶様が、お茶の防霜対策に対する期待度は、鳥獣への「抑止力」効果より、さらに大きいと考える。

一番茶の防霜監視は、3月中旬から収穫直前の4月下旬まで、3人1組のエリア別当番制を組み、当番班が夜間に圃場を巡回している。特に、天気予報で霜注意報が発令された当日



の夜間は、気の抜けない緊張感を持った見回り業務となる。

圃場巡回は、主に制御装置の温度計(現在温度・止水温度)や防霜スプリンクラーの放水状況をチェックする。

防霜スプリンクラーは、会社全体で約 300 枚の圃場の約 9 割に設置し、栽培面積が 1a の圃場 1 枚当たりで、100 本以上の防霜スプリンクラーを設置している。なお、防霜スプリンクラーの障害は、噴射口の目詰まりや配管の断線などである

防霜スプリンクラーにかかる堀口製茶様のニーズは、以下の通りである。

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発生時、障害が発生した圃場や、さらには防霜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、例えば、1,000 リッターの放水が 900 リッターしか放水されていない場合は、噴射口の目詰まりなどの障害の可能性があり、上記の水量の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。

#### (2) 得られる効果と費用バランスの効果

本実証で、LPWA 子機カメラの撮影を計 3 台で運用し、広域(170m×100m、1.7ha)・多地点(3 地点)の圃場内を遠隔監視することができた。

上記のカメラ撮影画像を転送した LPWA 通信は、特定小電力無線網を許可申請なく、また高額な通信装置やデータ通信料が発生することなく、広域を遠隔監視できた。

また、箱わなの入口部の閉塞画像を画像解析して、エッジ AI で次の自動判定できた。

(A) 箱わなの入口部が閉塞後、入口部に貼付した AR マーカーを 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。

(B) 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。

(C) 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。

#### (3) 導入によるデメリット

本実証のカメラ解像度は、500 万画素のフル HD のスペックで、高画質である。

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である。

本実証のカメラは、被写体を「接写」(50 cm~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点が、デメリットである。

#### 4.4.3.4 考察 (今後の課題など)

##### (1) 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？

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 枚の圃場を大規模経営しており、見回り業務の高生産性化は、生産高の収益性と同様に、会社の最重要な経営効率指標である。会社全体で約 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。

(2) 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

今回の実証により、堀口製茶様の圃場 1 枚 (170m×100m、1.7ha) の 3 地点で、スター型多地点ネットワークの定点カメラ撮影を LPWA 画像転送で実証した。

画像転送では、500 万画素の高解像度画像を圧縮する技術を開発し、フル HD (約 400KB) や VGA (約 150KB) の画像を LPWA 通信で転送した。

LPWA 通信は、現在の市場では、低容量 (数十 KB) のデータ転送に最適とされているが、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。

#### 4.5 課題解決システムに関する機能検証

##### 4.5.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）

##### 4.5.1.1 機能一覧

表 4.5.1-1 機能一覧

項番	構成要素	機能	検証概要
1	農機及び遠隔制御システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・センサーによる自動走行機能</li> <li>・自動走行時の緊急停止機能</li> <li>・非自動走行時の制御機能（直進, 後退, 左右, 停止）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農業生産者による操作性評価（遅延許容度）</li> <li>・実測での遅延検証</li> </ul>
2	制御アプリ（UI）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・映像受信機能</li> <li>・制御ボタン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農業生産者による操作性評価（アプリのUI評価）</li> <li>・その他機能の必要性に関する農業生産者からのヒアリング</li> </ul>
3	映像システム	・撮影機能の解像度	・農業生産者による画質評価（操作に耐えうる）
		・画像圧縮機能	・農業生産者による操作性評価（遅延許容度）
4	ローカル5Gネットワーク	<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>・遅延と伝送量の検証（実測で検証）</li> <li>・他手段（自営 BWA、公衆網）との比較評価を机上検証</li> </ul>
5	その他	・他者にわかる警告機能など	・その他機能の必要性に関する農業生産者からのヒアリング

##### 4.5.1.2 農機及び遠隔制御システム

###### (1) 検証項目一覧

表 4.5.1-2 検証項目一覧（農機及び遠隔制御システム）

項番	項目	備考
1	農業生産者による操作性評価（遅延許容度）	
2	遅延検証	

###### (2) 農業生産者による操作性評価（遅延許容度）

農業生産者による操作性評価（遅延許容度）については、4.3.1.3 (2) に記載の検証

方法にて検証を実施し、4.3.1.4 (2) の検証結果を得ており、こちらの結果を参照する。

(3) 遅延検証

遅延検証については、4.3.1.3 (2)に記載の検証方法にて検証を実施し、4.3.1.4 (2)の検証結果を得ており、こちらの結果を参照する。

(4) 考察

農機及び遠隔制御システムについて、正常動作を確認した。遅延検証の結果、遠隔制御システムに関しては停止制御時間の活動目標値 10ms 以下は超過(実測結果 25ms~26ms)したもの、全体の活動目標に大きな影響を与えるものではなく、概ね目標レベルの性能を達成することができたと考える。

4.5.1.3 制御アプリ (UI)

(1) 検証項目一覧

表 4.5.1-3 検証項目一覧 (制御アプリ UI)

項番	項目	備考
1	農業生産者による操作性評価 (アプリ UI 評価)	
2	農業生産者からの必要機能ヒアリング	

(2) 農業生産者による操作性評価 (アプリ UI 評価)

1) 検証方法

4.5.1.2 (2) (農業生産者による操作性評価 (遅延許容度)) 検証時の操作者 (農業生産者 (堀口製茶)) に、下記の評価基準(5段階評価)を定めた上で、UI アプリ評価を実施してもらいデータ化した。また、操作状況見学者にもアンケート回答頂いた。

表 4.5.1-4 5段階評価基準 (アプリ UI の評価)

評点	評定	評価基準
5	非常に良い (Excellent)	遠隔操作する上で全く問題のない操作性・配置
4	良い (Good)	遠隔操作する上で影響のない操作性・配置
3	普通 (Fair)	遠隔操作は、可能 操作性・配置
2	悪い (Poor)	操作しにくく、遠隔操作に影響がある
1	非常に悪い (Bad)	遠隔操作が困難である

## 2) 検証結果

下記アンケート結果となった。概ね良好な結果が得られた。

表 4.5.1-5 アンケート結果 (アプリ UI の評価)

項目	結果	備考
アンケート対象者	回答者 6 名 農業生産者 (堀口製茶) 鹿児島県農業開発総合センタ ー 大隅地域振興局畑かんセンタ ー	
アプリ UI 評価 (5 段階評価)	平均 3.5	

## (3) 農業生産者からの必要機能ヒアリング

上記(2)検証の操作者並びに操作状況見学者にアンケート回答を頂きました。

### 1) 検証結果

上記(2)と同様の対象者へ自由形式でアンケート記入を依頼した結果、操作インターフェース (GUI) に関して下記のコメントがあった。

- ・ ボタンだけの操作なので、感覚がない。運転ハンドルの様なものがあつたら安心する。
- ・ 無音なので、機械トラブルや周囲の状況が全くわからない
- ・ 人に近づいたときなど、遠隔監視者に警告音と画面上の表示で知らせる機能がほしい
- ・ スタートをクリックして摘採機を走行させたら、走行中/停止中なりの表示がほしい (画面上で動いているか、どうかは、確認出来るのだが、風景が同じ様に見えるため)

## (4) 考察

検証の結果、5段階評価の評価値は概ね良好な結果 (評価値平均 3.5) を得る事が出来た。アプリ UI の視覚的な分かりやすさが一定の評価に繋がったものと考えられる。

一方、実証を通じて以下の課題を確認した。

### 1) 農機上での操作と GUI 操作の操作感の違い

操作性に関しては、4.3.1.4 (2) 1) a) において視界の確保が課題であることを確認したが、加えて本検証により、農機上での操作との操作感覚の違い (ボタンだけの操作、無音) が大きいことがわかった。農機におけるハンドル操作と、画面上のボタン操作では操作インターフェースが大きく異なること、圃場周囲の音が聞こえないため臨場感に欠けることなどが要因と考えられ、従来、農機上で操作している方ほど扱いにくいと感じたのではないかとと思われる。現在のアプリ UI のボタン操作に加え、主に従来から農機操



作を行っている方向へのボタン操作とは別な操作手段の実現や、圃場周囲の音声の伝送などが必要と思われる。

## 2) 遠隔監視者への監視補助機能

必要機能のヒアリング結果から、遠隔監視者の監視をサポートする情報（農機の走行状態、危険検知）のニーズを確認できた。農機の運行状態（走行状態や速度など）の収集・表示や、AIを用いた映像等からの危険の検知などの対応が今後求められると考える。

(4.5.1.2 (5) 参照)

### 4.5.1.4 映像システム

#### (1) 検証項目一覧

表 4.5.1-6 検証項目一覧（映像システム）

項番	項目	備考
1	農業生産者による画質評価（操作に耐えうる）	
2	農業生産者による操作性評価（遅延許容度）	

#### (2) 農業生産者による画質評価（操作に耐えうる）

##### 1) 検証方法

4.5.1.2 (2)（農業生産者による操作性評価（遅延許容度））検証時、フルHD映像(\*)で遠隔操作に支障がないか、アンケートを実施した

(\*)NWカメラ映像で検証した。

##### 2) 検証結果

下記アンケート結果となった。概ね良好な結果が得られた。

表 4.5.1-7 アンケート結果（画質評価）

項目	結果	備考
アンケート対象者	農業生産者（堀口製茶）3名	
画質評価 （アンケート回答）	問題がある：0件（0%） 問題なし：3件（100%）	

#### (3) 農業生産者による操作性評価（遅延許容度）

本検証は4.5.1.2 (2)（農業生産者による操作性評価（遅延許容度））と同様のため、こちらの検証結果を参照。

(4) 考察

映像システムの画質については、フル HD で問題ないことを確認した。本ユースケースに関しては、畝や周囲の人・物の様子が判別出来れば十分であり、微細な映像（人物の表情等）までは不要なためであろうと考えられる。

4.5.1.5 ローカル 5G ネットワーク

(1) 検証項目一覧

表 4.5.1-8 検証項目一覧（ローカル 5G ネットワーク）

項番	項目	検証概要
1	システム遅延・伝送量	ローカル 5G システムの遅延・スループットを検証(4.3.1.4 (2) 項、並びに 5.3 項の検証結果を引用)
2	自営 BWA、公衆網との比較（机上検証）	実証システムでの検証結果から、本ユースケースに適した無線ネットワークについて、自営 BWA ならびに公衆網との比較を通して机上検証

(2) システム遅延・伝送量

28GHz 帯システム、4.7GHz 帯システムそれぞれの実測結果を以下に示す。（システム遅延は 4.3.1.4 (1) 1) b)、4.3.1.4 (1) 2) b)、並びに伝送量は 5.3.5.1 (2)、5.3.5.2 (2) 参照）

表 4.5.1-9 ローカル 5G システム遅延・伝送量

項目		28GHz 帯システム	4.7GHz システム
伝送量	下り	最大 511.8Mbps	
	上り	最大 77.4Mbps	
システム遅延 (RTT)		13ms	

(3) 自営 BWA、公衆網との比較（机上検証）

本実証システムにおいては、映像による遠隔制御を実現するために、①安定した映像伝送レート（上り方向の一定レート）の確保、②リアルタイム映像伝送（低遅延）が可能な無線ネットワークが求められている。このうち①の観点については、今回、フル HD 映像を前提に選定した 3 種類のカメらはそれぞれ下記の映像伝送レートで緊急停止・遠隔操作（前進・後退・左右・停止）の検証を行った。

表 4.5.1-10 検証時のカメラ映像伝送レート

カメラ	映像伝送レート (フル HD)	備考

NW カメラ	約 6Mbps	
映像伝送装置	約 15Mbps	
非圧縮カメラ	約 180Mbps	

最もレートの小さいNWカメラでは約6Mbpsほどの通信レートで映像伝送が可能であり、公衆網（3G/LTE エリア内上り平均 35.6Mbps（最大 55Mbps、最小 3Mbps\*））や BWA（上り最大 10Mbps(2x2MIMO)）であれば十分に伝送可能と想定される。しかし、一方で本実証システムにおける公衆網・BWA の採用には以下の課題があり、本ユースケースにはローカル 5G がより適したネットワークであろうと思われる。

- ・ 公衆網は、ベストエフォートのため他者利用により必要な通信レートを確保できない可能性があり、また電波の不感地帯による通信レート低下・切断等の懸念がある。自動化農機の安全性確保のため安定した接続性・通信レートが必要不可欠な本実証システムにとって、これらは運用上の大きなリスクになる。
- ・ 自営 BWA は、自エリア内であれば無線リソースを占有可能でかつ不感地対策等を自営で行い得るため、公衆網のような安定性に関するリスクは十分小さいと言える。一方、上り最大 10Mbps 程度のため、本ユースケースのように複数台のカメラ映像を使用するには通信レートが不足している。

(\*）実効速度計測結果（NTT ドコモ。下記 URL）の鹿児島県鹿児島市内 70 ポイントの上り平均速度からポイント平均値を算出した。

[https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/area/effective\\_speed/android.pdf?ver=20180330](https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/area/effective_speed/android.pdf?ver=20180330)

次の②リアルタイム映像伝送に関しては、検証の結果、本ユースケースでは 300ms～400ms ほどの映像伝送時間であれば操作可能であることを確認している（4.3.1.4 (2) 参照）。そのため、公衆網や BWA を用いた同様の要件（フル HD/30fps、300～400ms 程度の映像伝送時間）のリアルタイム映像伝送であれば、映像システム・伝送方式等含めた検討の余地は十分であろうと思われる。ただ、ローカル 5G よりも回線伝送時間を要するネットワークを用いる場合（主に公衆網）、映像システム側により低遅延対応が求められることから、その点でローカル 5G のほうが映像システム選定の柔軟性は高いと考えられる。

#### (4) 考察

実証システムでの検証結果から、本ユースケースに適した無線ネットワークについて、自営 BWA ならびに公衆網との比較を通して机上検証を行った。自動化農機の安全性確保に必要な遠隔制御（緊急停止、前進・後退・左右・停止操作）を実現する上では、自エリア内での安定した接続性と通信レートの両立が必要であり、従来技術よりもローカル 5G が適していると考えられる。

#### 4.5.1.6 その他機能

##### (1) 警告機能（農業生産者からの必要機能ヒアリング）

###### 1) 検証方法

農業生産者に、警告機能に関して必要な機能などについて自由形式でのアンケート調査を実施した。

###### 2) 検証結果

農業生産者へのヒアリングの結果、概ね、必要な警告機能は具備されているとの回答だったが、音声機能（圃場の作業者と、遠隔監視者の間での音声通信機能）が欲しいとのコメントがあった。マイク・スピーカーを用いて、例えば遠隔監視側から農機周囲の人向けの注意喚起（発進時や緊急停止時など）、また逆に農機周囲の人から遠隔監視側へ注意を促す（第三者の接近など）上で有用と思われる。

###### 3) 考察

検証の結果、端末（スマートフォン）を使用した一対一通話とは別に、遠隔監視場所と農機周辺の場所を結ぶ音声通話のニーズがあることを確認した。遠隔監視観点でも音声の必要性については指摘されており（4.5.1.3 参照）、安全性確保のためには重要な機能と思われることから、今後音声システムの検討が必要と考える。

#### 4.5.2 農業領域（画像データとAI技術等を活用した農作業計画策定）

##### 4.5.2.1 検証項目

機能一覧は以下のとおり、検証を行った。

表 4.5.2-1 検証項目一覧

構成要素	機能	検証方法	備考
ドローン	<ul style="list-style-type: none"> <li>飛行機能</li> <li>カメラ撮影機能</li> </ul>	ドローン操作性評価	農水省事業で実施
ローカル 5G ネットワーク	<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</li> <li>他手段との比較評価を机上検証</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>	実測による検証	農水省事業で実施
リモートセンシングクラウド	<ul style="list-style-type: none"> <li>画像データアップロード機能</li> <li>画像データ蓄積機能</li> </ul>	実測による検証	農水省事業で実施

##### 4.5.2.2 検証方法

機能一覧と検証方法は、以下のとおりである。

表 4.5.2-2 検証方法一覧

構成要素	機能	検証方法	備考
ドローン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・飛行機能</li> <li>・カメラ撮影機能</li> </ul>	農業生産者による操作性評価	農水省事業で実施
ローカル 5G ネットワーク	<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</li> <li>・他手段との比較評価を机上検証</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>	実測による検証	農水省事業で実施
リモートセンシングクラウド	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像データアップロード機能</li> <li>・画像データ蓄積機能</li> </ul>	実測による検証	農水省事業で実施

#### 4.5.2.3 検証結果

検証結果は、以下のとおりである。

表 4.5.2-3 検証結果一覧

構成要素	機能	検証結果	備考
ドローン	<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	<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</li> <li>4.3.2.4 評価・検証結果参照</li> <li>4 圃場撮影画像 1,129 枚のデータ量 16.05GB</li> <li>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</li> <li>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 時間要する。詳細は 4.4.2.3 検証結果を参照</li> <li>・安定性/セキュリティ</li> <li>ローカル 5G 用のモバイルルータを使用し、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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実測による検証</li> <li>4.3.2.4 評価・検証結果</li> </ul>	農水省事業で実施



	・撮影データ軽量化機能		
リモートセンシングクラウド	・画像データアップロード機能 ・画像データ蓄積機能	実測による検証 4.3.2.4 評価・検証結果	農水省事業で実施

#### 4.5.2.4 考察

ドローンに近赤外カメラやマルチスペクトル等を搭載し、ローカル 5G によるエッジ処理サーバへの画像伝送、エッジ処理サーバのオルソモザイク処理、リモートセンシングクラウド (AgriLook) での WegGIS での結果表示まで一連の処理実行を行い、各処理の機能が正しく稼働することに加え、結果出力ができる事を確認できた。また、ドローン空撮した画像から算出された植生指数と新芽数と収量、葉色値は高い相関があり、開発した収量推定モデルによる推定値と、実際の摘採生葉重量とを比較すると、推定誤差が最大 20%以内になることを確認できた。

摘採判定業務での当システムの運用イメージとして、午前中は、ドローンで 1~2 圃場の空撮毎に、現場のモバイル PC からローカル 5G ネットワークを用い、エッジ処理サーバへ画像を伝送する。午後は、ドローン空撮と生育調査等現場作業を完了した状態で事務所に帰所すると、伝送した画像すべての解析処理が完了しており、農業リモートセンシングクラウド (AgriLock) を参照しながら、摘採計画作業に活用することが、実現可能となった。今回の検証により、ローカル 5G ネットワークを使用することで現実的になった。もし、同様処理を LTE ネットワークで運用しようとするとうエッジ処理サーバへの伝送に 5.6 時間もかかるため、摘採判定実務での当システムの適用は難しいと考える。

#### 4.5.3 生活領域

##### 4.5.3.1 LPWA 子機/親機/ネットワークカメラ

実施計画書に設定した検証項目は、以下の通りである。

表 4.5.3-1 検証項目

機能要素	機能	検証方法
(1) LPWA 子機/親機、ネットワークカメラ	①撮影機能 ②撮影時刻指定機能 ③撮影インターバル時間指定機能 ④撮影データ一時格納機能 ⑤死活監視機能 ⑥リモートメンテナンス機能(ハングアップやフリーズ時) ⑦送信情報表示機能	実検証
(2) LPWA ネットワーク	①伝送性能 ②カバレッジ	①実測による検証 ②他手段との比較評価を机上検証
(3) ローカル 5G ネットワーク	①伝送性能 ②安全性/セキュリティ	①実測による検証 ②他手段との比較評価を机上検証
(4) 画像管理クラウド	①画像表示機能 ②画像蓄積機能 ③鳥獣管理機能 ④鳥獣害登録機能 ⑤ユーザー管理機能	実検証
(5) 鳥獣害の開閉検知	①画像解析/AI 機能	実検証

##### 4.5.3.2 検証方法

実施計画書に設定した検証方法は、以下のとおりである。

表 4.5.3-2 検証方法

機能要素	機能	検証方法
(1) LPWA 子機/親機、ネットワークカメラ	①撮影機能 ②撮影時刻指定機能 ③撮影インターバル時間指定機能 ④撮影データ一時格納機能 ⑤死活監視機能 ⑥リモートメンテナンス機能(ハングアップやフリーズ時) ⑦送信情報表示機能	実検証
(2) LPWA ネットワーク	①伝送性能 ②カバレッジ	①実測による検証 ②他手段との比較評価を机上検証
(3)	①伝送性能	①実測による検証

ローカル 5G ネットワーク	②安全性/セキュリティ	②他手段との比較評価を机上検証
(4) 画像管理クラウド	①画像表示機能 ②画像蓄積機能 ③鳥獣罨管理機能 ④鳥獣害登録機能 ⑤ユーザー管理機能	実検証
(5) 鳥獣罨の開閉検知	①画像解析/AI 機能	実検証

#### 4.5.3.3 検証結果

(1) LPWA 子機/親機、ネットワークカメラ

表 4.5.3-3 検証方法

検証項目属性	検証結果
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。
④撮影データ一時格納機能	LPWA 親機のマイクロ SD カードに一時格納した。
⑤死活監視機能	通信キャリアが提供するダッシュボード上で、SIM カードの通信ログを遠隔監視した。また、上記の情報より、CPU の稼働状況を捕捉した。
⑥リモートメンテナンス機能 (ハングアップやフリーズ時)	今回は未実装のため、今後の検討課題である。
⑦送信情報表示機能	静止画のファイル名にタイムスタンプなどを実装した。ファイル名「20201128150001000.jpg」は「2020年11月28日」の「15時」に撮影した情報を組み込んだ。

(2) LPWA ネットワーク

表 4.5.3-4 検証方法

検証項目属性	検証結果
①伝送性能	a) LPWA 静止画品質 ア) 解像度は、VGA の 800×600px イ) データ容量は、150KB  b) LPWA 画像転送 ア) 転送距離は、17m (D 地点) ・95m (G 地点) ・115m (E 地点) イ) 転送時間は、5～13 分 (D 地点) ・8～9 分 (G 地点) ・12 分 (E 地点) ウ) 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 台設置し、カメラ撮影を行った。

(3) ローカル 5G ネットワーク

表 4.5.3-5 検証方法

検証項目属性	検証結果
①伝送性能	今回は未実証のため、今後の検討課題である。
②安全性/セキュリティ	今回は未実証のため、今後の検討課題である。

(4) 画像管理クラウド

表 4.5.3-6 検証方法

検証項目属性	検証結果
①画像表示機能	「アグリマルチセンシング SaaS 鳥獣対策クラウド」に表示した。
②画像蓄積機能	「アグリマルチセンシング SaaS 鳥獣対策クラウド」に蓄積した。
③鳥獣罾管理機能	「アグリマルチセンシング SaaS 鳥獣対策クラウド」で運用した。
④鳥獣害登録機能	クラウドに提供メニューはあったが、今回は未運用である。
⑤ユーザー管理機能	「アグリマルチセンシング SaaS 鳥獣対策クラウド」で管理した。

(5) 鳥獣罾の開閉検知

表 4.5.3-7 検証方法

検証項目属性	検証結果
①画像解析/AI 機能	<p>a) 箱わなの入口部が閉塞後、入口部に貼付した AR マーカーを 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。</p> <p>b) 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。</p> <p>c) 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。</p>

4.5.3.4 考察(今後の課題など)

(1) LPWA 子機カメラ 3 台の撮影を運用後、広域・多地点の圃場内を遠隔監視できたか

- ①お茶圃場 1 枚 (170m×100m、1.7ha) の周辺 3 地点に LPWA 子機を設置し、カメラ撮影を行った。
- ②LPWA 親機は、3 地点の LPWA 子機から集信した画像を鳥獣対策クラウドへアップロードした。
- ③鳥獣対策クラウド上で、撮影したカメラ画像を照会することができた。
- ④上記により、広域・多地点の圃場内を遠隔監視することができた。

(2) 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 マーカーを 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。

(3) 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 枚の圃場を大規模経営しており、見回り業務の高生産性化は、生産高の収益性と同様に、会社の最重要な経営効率指標である。会社全体で約 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。

(4) 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

今回の実証により、堀口製茶様の圃場 1 枚 (170m×100m、1.7ha) の 3 地点で、スター型多地点ネットワークの定点カメラ撮影を LPWA 画像転送で実証した。

画像転送では、500 万画素の高解像度画像を圧縮する技術を開発し、フル HD (約 400KB) や VGA (約 150KB) の画像を LPWA 通信で転送した。

LPWA 通信は、現在の市場では、低容量 (数十 KB) のデータ転送に最適とされているが、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。

(5) 今回未実証のリモートメンテナンスについて、検討課題を記述する。

LPWA 画像転送は、遠隔監視システムのカメラ画像を特定小電力無線網 (LoRa) で収集する LAN 側の基幹機能である。

今後の拡販で、転送距離が 1 km 以上となる場合、LPWA 親機までの転送時間が、40 分から 60 分以上かかる見込みである。

また、子機を複数台数で運用する場合、さらには、フル HD の解像度で運用する場合は、転送時間に加え、日中の朝 7 時から夕方 17 時までの時間内に LPWA 画像転送を何回転送させるかの運用回転率についてシステム構成を基本設計する際は、重要な指標となる。

従って、運用管理者は、子機 1 台の個別ノード毎に転送時間を把握することが必須となる。

今回の実証では、堀口製茶様の現地圃場を往訪時に、LPWA 親機の CPU ログをモニタリングし、ノード別に転送開始時刻と転送終了時刻から転送時間を手動で計算した。

今回のシステム改修時に、リモートメンテナンスを検討する際は、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 アドレスを通信キャリアから取得している。また、通信料は、月額で約 600 円である。これを固定 IP の月額料金と比較し、コスト重視か、セキュリティ重視かを協議する。

② 上記①の固定 IP の対案として、ダイナミック DNS も協議する。

③ リモートメンテナンスの業務内容として、CPU のログ情報だけを画面照会する単機能重視の場合は、スマートフォンのアプリ開発または既存のアプリを活用し、スマートフォンにおいて運用できないか協議する。



#### 4.6 課題解決システムに関する運用検証

##### 4.6.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）

###### 4.6.1.1 運用作業一覧

表 4.6.1-1 運用作業一覧

項番	項目	運用作業
1	業務運用	・農業ロボットの遠隔監視ならびに遠隔制御作業（緊急停止・遠隔操作）
2	システム運用	・システム稼働監視ならびに障害時切り分け・交換・復旧確認作業 ・セキュリティ運用 ・ネットワーク性能監視

###### 4.6.1.2 業務運用

###### (1) 検証項目一覧

表 4.6.1-2 検証項目一覧（業務運用）

項番	項目	検証概要
1	1つの圃場での農機1台の自動走行時の緊急停止・非自動走行時の制御運用	実検証と農業生産者による評価
2	2つの圃場それぞれでの農機2台の同時時間帯自動走行時の緊急停止・非自動走行時の制御運用	実検証と農業生産者による評価
3	3つ以上の圃場それぞれでの農機3台以上の同時時間帯自動走行時の緊急停止・非自動走行時の制御運用	上記の実検証をベースとした机上検証と農業生産者による評価

###### (2) 検証方法と結果

試験者（農業生産者）が表 4.6.1-2 の試験パターン（項番 1, 2）の農機の監視・遠隔制御を実施した上で、実運用に支障がないか、下記 5 段階評価でのアンケート調査を実施した。

表 4.6.1-3 5段階評価基準（運用性評価）

評点	評定	評価基準
5	非常に良い (Excellent)	大変利用しやすく、実際の運用でも、全く問題のない優れたシステム
4	良い (Good)	十分に利用でき、業務において支障はなく利用可能なシステム
3	普通 (Fair)	多少課題はあるが、運用に大きな支障はなく利用可能なシステ

		ム
2	悪い (Poor)	扱いにくく、運用上業務に影響がある
1	非常に悪い (Bad)	実運用は困難なシステム

また、同運用中における軽労評価（肉体的疲労・精神的疲労）について、下記 5 段階評価でのアンケート調査を実施した。

表 4.6.1-4 5 段階評価基準（軽労評価）

評点	評定	評価基準
5	非常に良い (Excellent)	非常に楽
4	良い (Good)	楽
3	普通 (Fair)	普通
2	悪い (Poor)	きつい
1	非常に悪い (Bad)	非常にきつい

更に、改善すべき点について、自由形式でのアンケート調査を実施した。

1) 1 圃場・1 農機での自動走行中の緊急停止・非自動走行時の制御運用

試験者に、2 台の農機の監視の実施、並びにうち 1 台の異常発生時(\*)の緊急停止操作及び非自動走行時の制御（緊急停止後の遠隔制御による発進）を実施してもらい、上記アンケート調査を実施した。

(\*)試験者(イレギュラー挿入者)が旗を上げることで、異常発生とみなす。

2) 2 圃場・2 農機での自動走行中の緊急停止・非自動走行時の制御運用

試験者に、2 台の農機の監視の実施、並びにうち 1 台の異常発生時(\*)の緊急停止操作及び非自動走行時の制御（緊急停止後の遠隔制御による発進）を実施してもらい、上記アンケート調査を実施した。

(\*)試験者(イレギュラー挿入者)が、どちらか一方の農機の旗を上げることで、異常発生とみなす。

3) 3 以上圃場・3 以上農機での自動走行中の緊急停止・非自動走行時の制御運用（机上検証）

上記検証結果に基づき、3 台以上のケースにおける運用性について机上検証を行った。

(3) 検証結果

1) 1 圃場・1 農機での自動走行中の緊急停止・非自動走行時の制御運用

農業生産者（堀口製茶）への運用性・軽労評価アンケートの結果を以下に示す。

表 4.6.1-5 アンケート結果（1 圃場・1 農機の運用性・軽労評価）

項目	評価結果	備考
----	------	----

運用性評価	平均 2.7	
軽労評価 (肉体的疲労)	平均 3.0	
軽労評価 (精神的疲労)	平均 2.0	

a) 運用性評価結果について

運用性評価の理由について、以下のコメントがあった。

- ・ 実際現場に居ないので、カメラが 360° 見えないと障害物などがわからない。傾斜も分かりにくい。
- ・ 画面が揺れて気持ち悪い。
- ・ 機械周りが見えなく、機械の動きが確認できないので、動かすのが怖い。

b) 軽労評価結果について

軽労評価の理由について、以下のコメントがあった。

- ・ 見ることができない部分が多く、大丈夫か心配で疲れる。
- ・ 画像が見えにくくて、目が疲れるしストレスになる。
- ・ 画面が見えない所は心配になる。

2) 圃場・2 農機での自動走行中の緊急停止・非自動走行時の制御運用  
農業生産者（堀口製茶）への運用性・軽労評価アンケートの結果を以下に示す。

表 4.6.1-6 アンケート結果（2 圃場・2 農機の運用性・軽労評価）

項目	評価結果	備考
運用性評価	平均 2.5	
軽労評価 (肉体的疲労)	平均 3.4	
軽労評価 (精神的疲労)	平均 3.0	

a) 運用性評価結果について

運用性評価の理由について、以下のコメントがあった。

- ・ 2 台同時だと作業がしにくい
- ・ 左右とバックする時が危険である

b) 軽労評価結果について

軽労評価の理由について、以下のコメントがあった。

- ・カメラでの遠隔監視、操作に関しては、画面上で、一点を集中して見ているので、非常に目が疲れた
- ・機械の振動によって、画像が横に揺れてしまうので、カメラ映像の乱れが生じ、強いストレスを感じた
- ・画面上の操作だけでは、注意力など必要で、やはり気を使う

### 3) 3以上圃場・3以上農機での自動走行中の緊急停止・非自動走行時の制御運用（机上検証）

1台・2台運用検証の結果、2台運用の場合は1台運用時と比較して運用のしやすさを示す運用性評価値は0.2ポイント減少（1台運用平均2.7、2台運用平均2.5）し、軽労評価値は逆に増加（1台運用時平均3.0/2.0、2台運用平均3.4/3.0）した。

運用性評価値の減少は、評価者コメント（2台同時のほうが1台よりも作業しづらい）のとおり、2台運用の場合は自動走行中の農機2画面を注視し、かつ必要に応じて一方の緊急停止・制御操作（しながらもう一方を監視）を行うことになるため、1台のときよりも監視者への運用負担が高まることが要因として考えられる。一方、軽労評価に関しては、評価値自体は上昇しているものの、評価者コメントにはほぼ差が無く（画面に映っていない場所が心配・画面のみから危険を察知する必要があり疲れる）、アンケート取得時期の違い（1台走行は2/5、2台走行は3/8に実施）もあって主観評価の数値上のバラつきが大きく出てしまったものと思われる。

評価者コメントや運用性評価結果を踏まえると、台数増加による疲労度は変わらないか、むしろ運用性評価と同様（台数増加により疲労度は高まる）と捉えるべきであろうと思われる。

以上より、本実証システムで3以上の圃場・3以上の農機運用を行った場合、以下のような状況になるものと想定される。

- ・ 運用台数増により、監視者への運用負担・疲労度はより高まる。  
また4.3.1章の緊急停止時間の検証結果から、農機台数の増加は、監視者の反応時間の遅れ（緊急停止距離が延びることによる安全性低下）に繋がると考えられ（4.3.1.5（1）5）a参照）、運用負担も含めてこれらを運用上で回避するためには監視者の増員が必要となるが、その場合運用効率が頭打ちとなる。
- ・ 緊急停止・制御の実施中は、監視者はその農機の操作に集中するため、他の農機の監視時間が大きく減少する。運用上、その対応として1台の緊急停止・制御中は他の全てを一旦停止することは可能だが、台数増加によりその頻度が高まり、停止時間が増加する為運用効率が低下する。（監視者の増員で対応する場合も運用効率に影響する）

### (4) 運用面に関する課題と解決策

本実証システムで農機台数を増やして運用する場合、以下の課題を確認した。

1) 台数増に伴う運用負荷増・安全性低下

検証の結果、本実証システムは監視者への運用負荷が高く台数増加に伴ってその傾向が更に強まること、また、複数台監視は1台あたりの監視時間を減少させることにより反応時間を長くし(4.3.1.5 (1) 5) a) 参照)、安全性が低下することを確認した。解決に向けては、AIを用いた危険検知など、監視者による遠隔監視をサポートし、監視負荷を低減するための機能の検討が必要と考える。

2) 監視者による遠隔制御対応中の、他農機の運用

監視者が複数台の遠隔監視中、ある農機で異常を検出した場合、その農機の対応(緊急停止・制御)に集中するために、その他の農機の監視が困難になる課題がある。他の全農機の一時停止、或いは監視者の増員などで対応可能であるが、その場合は、運用効率の問題が生じることになる。これについても、前述の解決策の方向性(遠隔監視サポート機能の充実)が有効であろうと思われる。

(5) 考察

業務運用検証の結果、監視者にとって本実証システムの運用負荷は比較的高く、運用する農機の台数を増やすほど負担がさらに強まる傾向にあることを確認した。(4)で示した本実証システムの運用課題は、共通して、監視者が遠隔監視画面の情報を注視し続けて異常を検出する必要があることに起因しているものと思われる。そのため、長時間の画面の注視による監視者への高い負担、複数台運用の場合の1台あたりの監視時間減少による安全性低下を引き起こしていると考えられる。従って、課題解決に向けては監視者による画面注視を軽減する仕組み(遠隔監視サポート機能)の検討が重要と考える。

4.6.1.3 システム運用

(1) 検証項目一覧

表 4.6.1-7 検証項目一覧(システム運用)

項番	項目	検証概要
1	稼働監視	映像システム、遠隔制御システム、ローカル5Gの稼働監視について、実証期間中の運用を通して妥当性を検証。
2	障害対応	障害発生時の対応フロー(切り分け・復旧)に関して、実証期間中の運用を通して妥当性を検証。
3	セキュリティ運用	映像システム、遠隔制御システム、ローカル5Gのセキュリティ運用について、実証期間中の運用を通して妥当性を検証。
4	ネットワーク性能監視	ネットワーク性能監視(スループット監視)について、実証期間中の運用を通して妥当性を検証。

1) 稼働監視

平時における稼働監視については、実証システムの利用中、以下の通り稼働状況確認



を行った。

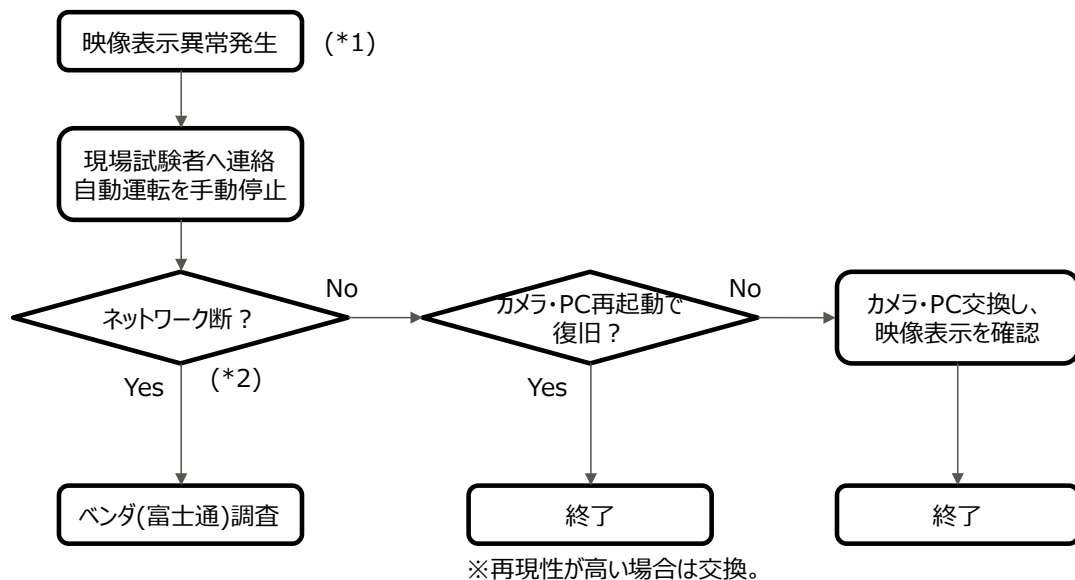
表 4.6.1-8 稼働監視

項番	項目	監視方法
1	映像システム	映像表示端末での映像表示を目視確認
2	遠隔制御システム	Web コンソールへのセッション断を目視確認
3	ローカル 5G	EMS での監視

## 2) 障害対応

本実証システムの場合、障害発生の場合として映像表示異常（映像が映らない）、遠隔制御異常（操作が反映されない）、EMS からの警報（ローカル 5G システムの異常）が想定されるため、それら事象が発生した場合の運用者（試験者）の対応フローを定めた。

### a) 映像表示異常

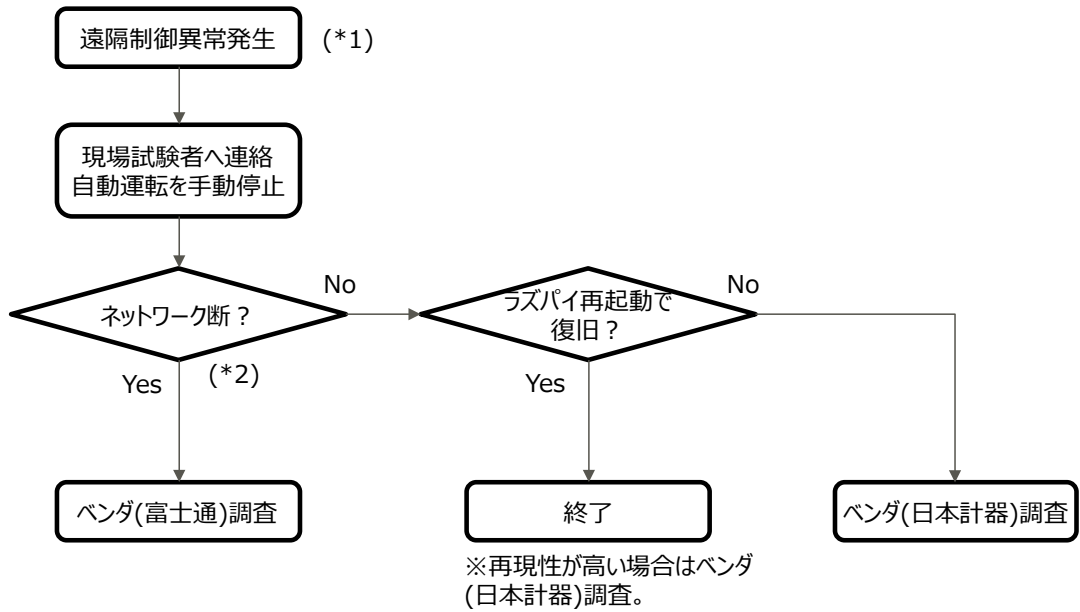


(\*1)主に画面表示停止・消失等のケースを想定

(\*2)農機側および工場側へのping疎通確認、およびN6インタフェースのレート超過確認。

図 4.6.1-1 対応フロー（映像表示異常時）

b) 遠隔制御異常



(\*1)緊急停止ならびに遠隔操作が、農機動作へ反映されない場合。  
 (\*2)農機側および工場側へのping疎通確認、およびN6インタフェースのレート超過確認。

図 4.6.1-2 対応フロー (遠隔制御異常時)

c) EMS からの警報

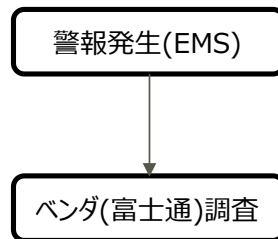


図 4.6.1-3 対応フロー (EMS からの警報時)

3) セキュリティ運用

運用にあたっては、システムの脆弱性対策として定期的な更新確認を実施すると共に、状況により必要な場合には都度対策を検討することとした。

表 4.6.1-9 各システムの脆弱性対策

	対応内容	頻度
映像システム	OS(Windows10)アップデート	月1回
	クライアントソフト更新要否確認(Webサイト確認)	月1回
遠隔制御システム	OS(ubuntu)アップデート	月1回
ローカル 5G システム	ベンダ(富士通)への更新要否確認	月1回

#### 4) ネットワーク性能監視

本実証システムにおけるピークレートに対して十分な上り・下り容量を確保できているか確認するため、実証試験期間中、ローカル5Gシステムの上位インターフェースにおけるトラフィック情報を収集し、異常事象発生時に確認できるようにした。

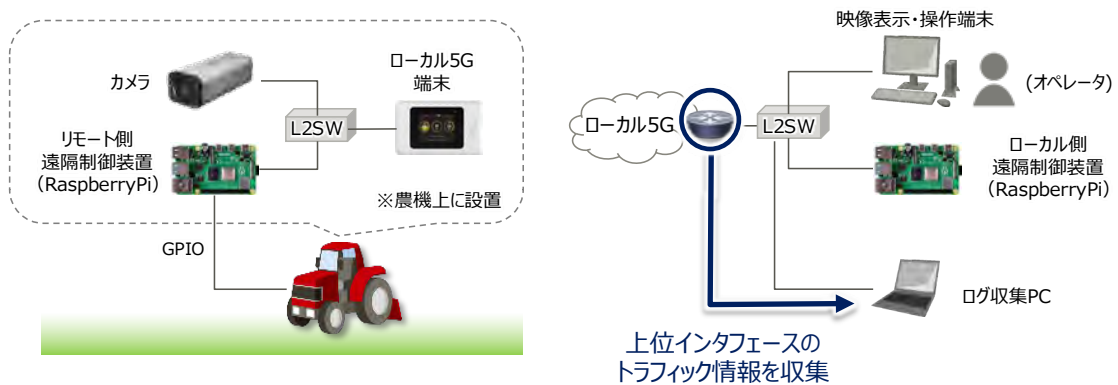


図 4.6.1-4 ネットワーク性能監視

#### (2) 検証方法

実証期間中、前述の運用を通して発生・対応した事象を作業記録シート(表 4.6.1-6)に記載し、その記録から各運用内容に関する有効性、効率性を検証した。

作業記録シートのフォーマットは以下に示す。

表 4.6.1-10 作業記録シート

##### 作業記録シート

件名			
発生事象	発生日時	内容	記入者
検出契機	分類	検出方法	検出者
対応記録	No	内容	対応者
	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
対応結果	完了日時	内容	記入者

(3) 検証結果

本実証システムの正常動作確認以降、運用フェーズ（各種検証実施中）において、以下の事象が発生した。

表 4.6.1-11 システム運用における発生事象

No.	発生事象	発生原因	対策
1	農機のエンジン再起動後、監視映像が表示されなくなった	ルータ設定不備により工場側ルータとの状態不一致が生じ、接続不可状態を継続していた。	工場側ルータの設定変更

上表 1 項の作業記録シートを以下に示す。

表 4.6.1-12 作業記録シート（発生事象 No. 1）

作業記録シート

件名	農機のエンジン再起動後、監視映像が表示されなくなった		
発生事象	発生日時	内容	記入者
	2020/12/23 15:20	日本計器・富士通と合同で、遅延検証に向けた事前動作確認を実施していたところ、摘採機のエンジントップによりNWカメラの映像停止後、エンジンを再起動しても映像停止状態のままになっていた。	富士通安田
検出契機	分類	検出方法	検出者
	稼働監視中	工場側での監視映像の確認により検出。	富士通安田
対応記録	No	内容	対応者
	1	安田（工場側）から、山崎（圃場側）へ電話連絡。山崎は摘採機が停止状態であることを確認。	富士通安田（工場） 日本計器山崎（圃場）
	2	ローカル5Gは映像停止中も接続利用中（5Gモバイルルータ配下のPCから工場内へ接続中）だったことから、NWカメラ～映像表示端末間のネットワークを含む機器の切り分けのため、工場の映像表示端末から、pingでの疎通確認を実施。 ①NWカメラ：ping疎通NG ②農機側ラズパイ：ping疎通NG ③農機側ルータ：ping疎通NG ④工場側ルータ：ping疎通OK この状況から、ネットワーク（ルータ）被疑と判断して富士通担当者へ電話連絡。	富士通安田（工場）
3	富士通担当者からの依頼により、農機側ルータ、工場側ルータの状態確認を行った結果、Ethernet over IPトンネル状態の不一致（工場側ルータが前状態を保持）を確認。 試験続行のため、農機側・工場側ルータの再起動を実施。復旧を確認。	富士通安田（工場）	
対応結果	完了日時	内容	記入者
	2020/1/21 16:00	1/6入手の対処版ルータ設定を投入し、動作確認を実施。農機側ルータの電源再起動時、正常にEthernet over IPトンネルが復旧し、疎通することを確認。	富士通安田

上記は映像表示異常に該当する事象であり、本件では映像表示異常時の対応フロー（図 4.6.1-1）に沿って対応した結果、被疑箇所を特定し、その後の復旧～対処まで完了できたことを確認した。

#### (4) 運用面に関する課題と解決策

本実証システムのシステム運用に関しては、以下の課題を確認した。

##### 1) 遠隔からの異常検知方法について

本実証期間中は、上述の通り映像表示異常の事象が発生し対処を行ったが、この際、工場側における監視映像の停止だけでは、映像停止が正常動作（農機エンジン停止中）によるものか、異常動作かを判断できなかった。今回は実証実験中で圃場側試験者と随時電話でのやりとりをしていたため直ちに認識することができたものの、実際の運用では、異常検知の遅れにつながりかねないと思われる。これについては、遠隔監視側で、映像以外に圃場側の農機の状況が分かるように各種情報を見える化するなどの検討が必要と考える。

#### (5) 考察

本実証では、本実証システムにおけるシステム運用内容を定義し、実証期間中の運用を通して運用性に関する検証を行った。運用期間が短期間なこともありサンプルは少なかつたものの、発生した事象に関しては概ね有効性が確認することができた。今後に向けては、先に示した通り、異常検知の方法等について検討が必要と考える。

### 4.6.2 農業領域（画像データとAI技術等を活用した農作業計画策定）

#### 4.6.2.1 検証項目

運用検証項目は、以下のとおりである。

**表 4.6.2-1 検証項目一覧**

運用検証項目	
・飛行と圃場の撮影	農水省事業で実施
・飛行後の圃場からのデータ伝送	当事業対象
・エッジ処理サーバでのオルソモザイク処理	農水省事業で実施
・クラウドへのアップロード	農水省事業で実施

#### 4.6.2.2 検証方法

運用検証方法は以下のとおりである。

**表 4.6.2-2 検証方法一覧**

運用検証項目	検証方法
・飛行と圃場の撮影	圃場からエッジ処理サーバへの伝送処理においてローカル5Gを使用し、検証した。 その他は農水省事業で実施した。
・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	



#### 4.6.2.3 検証結果

検証結果は以下の通りである。

**表 4.6.2-3 検証結果一覧**

運用検証項目	検証結果
・飛行と圃場の撮影	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) を有線で接続し、撮影画像をエッジ処理サーバ PC の共有フォルダ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、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った。なお、コマンド入力をするだけで自動処理されるよう組み込みした。操作は現場モバイル PC のドローン画像伝送処理起動のみ、他処理は自動処理する仕組みで、操作性、作業効率は良好であった。
・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	

#### 4.6.2.4 考察

摘採判定業務での当システムの運用イメージとして、午前中は、ドローンで 1~2 圃場の空撮毎に、現場のモバイル PC からローカル 5G ネットワークを用い、エッジ処理サーバへ画像を伝送する。午後は、ドローン空撮と生育調査等現場作業を完了した状態で事務所に帰所すると、伝送した画像すべての解析処理が完了しており、農業リモートセンシングクラウド (AgriLock) を参照しながら、摘採計画作業に活用することが、実現可能となった。今回の検証により、ローカル 5G ネットワークを使用することで現実的になった。

### 4.6.3 生活領域

#### 4.6.3.1 検証項目

運用検証項目は、以下のとおりである。

**表 4.6.3-1 検証項目**

課題解決システム	項目	運用検証項目	検証方法
防災/鳥獣対策	業務運用	①遠隔での定期的な画像確認 ②悪天候時の圃場見回り ③罨閉の画像判断後の捕獲対応	実検証と農業生産者による評価
共通	システム運用	①稼働監視・装置監視 (ローカル 5G、LPWA 等) ②障害時の切り分け (カメラ、ネットワーク、インターネット、クラウド) ③不具合装置の交換	机上でシステム運用項目を洗い出し、妥当性を検証

		④復旧確認 ⑤セキュリティ運用 ⑥ネットワーク性能監視	
--	--	-----------------------------------	--

#### 4.6.3.2 検証方法

運用検証項目方法は、以下のとおりである。

**表 4.6.3-2 検証方法**

課題解決システム	項目	運用検証項目	検証方法
防災/鳥獣対策	業務運用	①遠隔での定期的な画像確認 ②悪天候時の圃場見回り ③畝閉の画像判断後の捕獲対応	実検証と農業生産者による評価
共通	システム運用	①稼働監視・装置監視（ローカル 5G、LPWA 等） ②障害時の切り分け（カメラ、ネットワーク、インターネット、クラウド） ③不具合装置の交換 ④復旧確認 ⑤セキュリティ運用 ⑥ネットワーク性能監視	机上でシステム運用項目を洗い出し、妥当性を検証

#### 4.6.3.3 検証結果

##### (1) 防災/鳥獣対策－業務運用

**表 4.6.3-3 検証結果**

運用検証項目	検証結果
①遠隔での定期的な画像確認	PC やタブレット端末、スマートフォンからカメラ画像を照会した。
②悪天候時の圃場見回り	遠隔監視で箱わなの状況をモニタリングした。
③畝閉の画像判断後の捕獲対応	現地を往訪後、鳥獣を自然へ戻す対応を想定していたが、実証内で上記の対応はなかった。

##### (2) 共通－システム運用

**表 4.6.3-4 検証結果**

運用検証項目	検証結果
①稼働監視・装置監視（ローカル 5G、LPWA 等）	LPWA 親機の CPU 稼働や LTE 通信及びシステム運用時刻などをログで確認した。
②障害時の切り分け（カメラ、ネットワーク、インターネット、クラウド）	a) 通信ログやクラウド表示情報による遠隔監視上で、CPU や通信状況を 1 次判断した。 b) 現地往訪時は、CPU のログをモニタリングし、フリーズドしている箇所を特定した。 c) 手動再起動で、復旧しない場合は、予備機で切り分けを実施した。
③不具合装置の交換	現地オンライン保守で予備機と交換対応を想定した。
④復旧確認	現地オンライン保守後、通信とクラウドの稼働を遠隔モニタリングする対応を想定した。
⑤セキュリティ運用	CPU 及びクラウドへのログインは、ログイン ID とログ

	インパswードの運用を行った。
⑥ネットワーク性能監視	LPWA 網は、CPU のログ上で確認した。LTE 網は、通信キャリア提供サービス上で、通信ログを遠隔モニタリングした。

#### 4.6.3.4 考察(今後の課題など)

- (1) LPWA 子機カメラ 3 台の撮影を運用後、広域・多地点の圃場内を遠隔監視できたか
- ①お茶圃場 1 枚 (170m×100m、1.7ha) の周辺 3 地点に LPWA 子機を設置し、カメラ撮影を行った。
  - ②LPWA 親機は、3 地点の LPWA 子機から集信した画像を鳥獣対策クラウドへアップロードした。
  - ③鳥獣対策クラウド上で、撮影したカメラ画像を照会することができた。
  - ④上記により、広域・多地点の圃場内を遠隔監視することができた。
- (2) 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 マーカーを 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。
- (3) 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 枚の圃場を大規模経営しており、見回り業務の高生産性化は、生産高の収益性と同様に、会社の最重要な経営効率指標である。会社全体で約 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。
- (4) 悪天候時の圃場の見回り業務を、堀口製茶様が削減できたか。また、箱わなの自動閉塞をエッジ AI 判定した後の捕獲対応は、実施できたか？
- 堀口製茶様が行う悪天候時の圃場の見回り業務は、本実証の鳥獣調査では、その定型業務がなかったため、未実証である。
- 箱わなの自動閉塞をエッジ AI 判定した後の捕獲対応は、本システムの導入設置後、鳥獣の捕獲対応が発生しなかったため、未実証である。今後の運用の中で、実証結果を検証していく。
- (5) 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
- 今回の実証により、堀口製茶様の圃場 1 枚 (170m×100m、1.7ha) の 3 地点で、スター型多地点ネットワークの定点カメラ撮影を LPWA 画像転送で実証した。
- 画像転送では、500 万画素の高解像度画像を圧縮する技術を開発し、フル HD (約 400KB) や VGA (約 150KB) の画像を LPWA 通信で転送した。

LPWA 通信は、現在の市場では、低容量(数十 KB)のデータ転送に最適とされているが、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。

(6) 今回実証中に発生した鳥獣調査の特異事象を基に、今後の課題を検討した。

#### ①鳥獣の知的行動対策

鳥獣(アナグマなど)が、箱わな(D地点)に接近し、箱わなの周辺の2箇所、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。なお、本件は、堀口製茶様より連絡を受け、現場で目視確認を行った。

上記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。

このため今回実証では、クランプチューブですべてのケーブルを被覆して、ケーブルの耐性を強固にする防衛対策を行ったものの、今後の経過を観察していく予定である。

なお、箱わなの入口部は、アニマルセンサー側から紐で引っ張っており、アニマルセンサーが鳥獣の体温や距離を検知すると、治具から紐の引張りを解放し、自動的に箱わなの入口部が閉塞する仕組みである。

実証中において、上記の紐の引張りが2回外れ、さらには1回、紐が切断されていた。これが、鳥獣によるものか、偶然に発生したかは不明であるが、上記の紐を鉄製のチェーン方式に切り替え、入口部の偶発的な誤作動を軽減する対策を実施することも必要である。

#### ②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。

#### 4.7 まとめ

##### 4.7.1 農業領域（農機ロボットによる農作業の自動化）

本実証では、茶業の農作業の省人化・軽労働化を目指した農機自動運転レベル3の実現に向けて、ローカル5Gを活用した自動化農機の遠隔監視制御機能の開発・検証を行った。結果、開発当初に定めた以下の活動目標に対し、(1)に関しては目標値を達成することができ、また(2)に関しては、数値目標は達成できなかったものの農業生産者へのアンケート結果から実用レベルの映像提示遅延であることを確認できた。

表 4.7.1-1 本実証システム開発の活動目標に対する実証結果

項目		活動目標	実証結果(*1)
(1)	自動走行中の緊急停止	緊急停止距離 1m 以下 緊急停止時間 1.8 秒以下	緊急停止距離 : 0.48m 緊急停止時間 : 1.29 秒
(2)	非自動走行中の制御（前進・後退・左右・停止）	映像提示遅延 200ms 以下 ※農機の駆動時間（コマンド受信から動作完了まで）は除く	映像提示遅延 ・NW カメラ : 350ms ・映像伝送装置 : 220ms

(\*1) 28GHz 帯システムでの検証結果を記載。4.7GHz 帯システムに関しては 4.3.1.4 (1) 2) a)、4.3.1.4 (2) 2) b) を参照。

また、ローカル5Gの2種類の周波数帯（28GHz帯・4.7GHz帯）を用いて、遠隔監視制御機能への影響について比較検証を行った。その結果、無線品質が良好なポイントでは両者に差はなかった。一方、無線品質が劣化しているポイントでは、4.7GHz帯システムに回線伝送時間の増加（無線品質が良好なポイントと比較して～60ms程増加）による映像システムへの影響（配信映像品質の低下）がみられた。これに関しては4.7GHz帯システムのエリア品質の影響と考えられ、本ユースケースにおける遮へい物影響は小さいとの検証結果（5.3参照）も踏まえると、エリア品質が改善されれば利用周波数帯による影響は十分小さいものと推測される。

今後に向けて、本実証で得られた以下の課題・知見について、対応策の検討が必要と考えている。

表 4.7.1-2 本実証システムの課題と対策方向性

課題	内容	対策の方向性
(1) 遠隔監視者による異常検出について	遠隔監視者による異常検出は反応速度に限界があり、また運用負荷が高いことを確認した。複数台運用でも高い安全性・運用性を確保する上で課題となる。	遠隔監視者をサポートする機能が求められる。 ・異常検出の自動化（AI化） ・状況に応じた農機速度の自動調整など
(2) 遠隔監視画面の視界	本実証システムは前方カメ	・カメラ複数台設置、



	確保	ラのみであったため、左右・後方の状況が分からず、遠隔操作時に支障が生じた。	360° カメラなど
(3)	遠隔制御インターフェースの操作性改善	農業生産者等より、GUI 上のボタンでは操作し辛い、周囲の状況を知りたい、茶畑の映像に変化が無く進行状態が分かりにくいなどのコメントがあった。	上記(2)を含め、農機上での操作感に近づけるための現場の見える化・操作性確保が求められる。 ・速度や進行状態など、農機状態の表示 ・農機周辺と遠隔監視拠点間の音声伝送 ・操作インターフェース（ハンドル等）の追加など

#### 4.7.2 農業領域（画像データと AI 技術等を活用した農作業計画策定）

##### (1) 準リアルタイムでのリモートセンシング情報の活用について

従来、衛星画像やドローン空撮によるリモートセンシングは、農業、林業及び水産業、並びに環境等の多方面で活用されている。しかしながら、短時間で多量の画像データを画像解析した結果出力ニーズがある場合は、処理システムを構築するために数億円の設備投資が必要となる。このため、国内では一部のリモートセンシングの研究所や大学等のセンターで構築され利用されている事例はあるものの、民間レベルでのシステム活用の事例は無い。

今回、圃場現場から直接、安価なエッジ処理サーバ（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 秒で高速画像伝送できた。また、収量推定・葉色推定等の摘採時期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生産者に提供できることが実証された。このため、今後、ローカル 5G の普及に伴い、リモートセンシング活用場面は広がると考えている。

##### (2) 茶摘採判定業務における適用効果について

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する作業時間の比較を実施した。

###### 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。20 分\*15 か所（図 4.7.2-1 実証圃場と生育調査地点）\*2 名=10 時間要した。

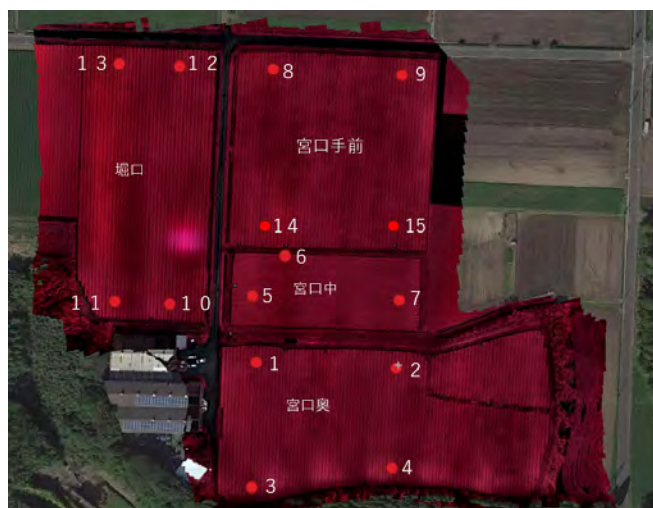


図 4.7.2-1 実証圃場と生育調査地点

- 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と同時にドローン収納、後片付け：30 分
- ⇒ 全体で 3 時間 \* 2 名 = 6 時間要した。

①と②の検証により、①4 圃場の人手での生育調査時間は 10 時間、②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の方が、4 時間短縮できる。

今回の検証では、生育調査の一部作業を実施し作業時間を計測した。実際の生育調査では、専任の担当者 2 名で全圃場を廻り、圃場内の数地点で新芽数生育調査の他、新芽を採取して分析機で品質分析等の作業もある。また、生育調査と適期判定を行うためには長年の経験者の経験と勘にて判断する必要があり、難しい業務とされており、各茶園では、摘採時期判断に大変苦慮している。

堀口製茶様においては、約 270ha(自社茶園 120ha、系列茶園 150ha)と広大な圃場を管理されており、摘採を短期間で実施する必要があるため、摘採時期を短時間に判定し、圃場の摘採計画を策定する必要がある。

このため、ドローン空撮による画像データと AI 技術等を活用した農作業計画策定では、農業リモートセンシングクラウド (AgriLock) に数 cm エリア毎の新芽数、収量推定が表示でき、摘採適期の判定が可能となった。また、人手による摘採適期判定に比べ、精度が格段に高くなり、広域的、短時間に生育調査結果が情報提供されるため、活用するメリットは非常に大きいものである。

今回、リモートセンシングでは、新芽数と収量推定までを検証したが、2021年度農水事業においては、品質推定モデルの開発とを推定を行う計画であり、より判定精度の向上が図れると考える。

#### 4.7.3 生活領域

No.	ユースケース	目的
1	防災観点としての圃場の定点観測	見回り巡回の軽減及び軽労働化 →離農・人口流出の防止
2	鳥獣被害対策としての罟監視と捕獲状況の自動判別	

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について、まとめを記述する。

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出社し、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。

本実証で行った鳥獣調査や 2021 年度に実証予定のお茶葉期判定は、総じて 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。

さらに、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。

堀口製茶様のお茶の圃場は、地点ごとに地理的条件や気象環境が異なり、その結果、お茶葉の生育度合いも地点ごとに異なる。これにより、微気象の環境データを捕捉し、よりキメの細かい営農管理と生育予測を行い、収穫の全体計画と工場の最適運営を行う必要がある。

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。

微気象・定点観測システムの概要は、次の通りである。

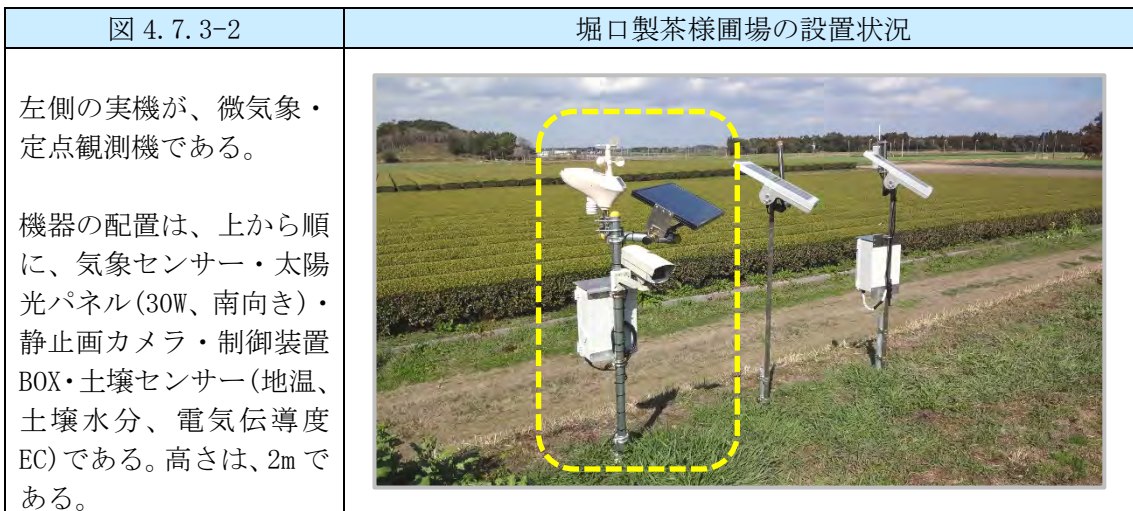




図 4.7.3-3

アグリマルチセンシング SaaS - 24 時間画面

微気象・定点観測機は、クラウド「アグリマルチセンシング SaaS 圃場管理」へデータを送信し、ユーザーは、測定値を照会できる。クラウドの画面は、次の通りである。左側のエリアで、最新の測定値を数値で照会する、右側のエリアで、24 時間・週間・月間・年間の測定値の推移をグラフで照会する。最下段のエリアで、カメラ撮影写真(8・10・12・14 時撮影)を照会する。その他の機能として、測定値を CSV データでダウンロードできる。また、測定値を関数で演算し、積算温度や積算地温、日間温度差を任意に作成できる。

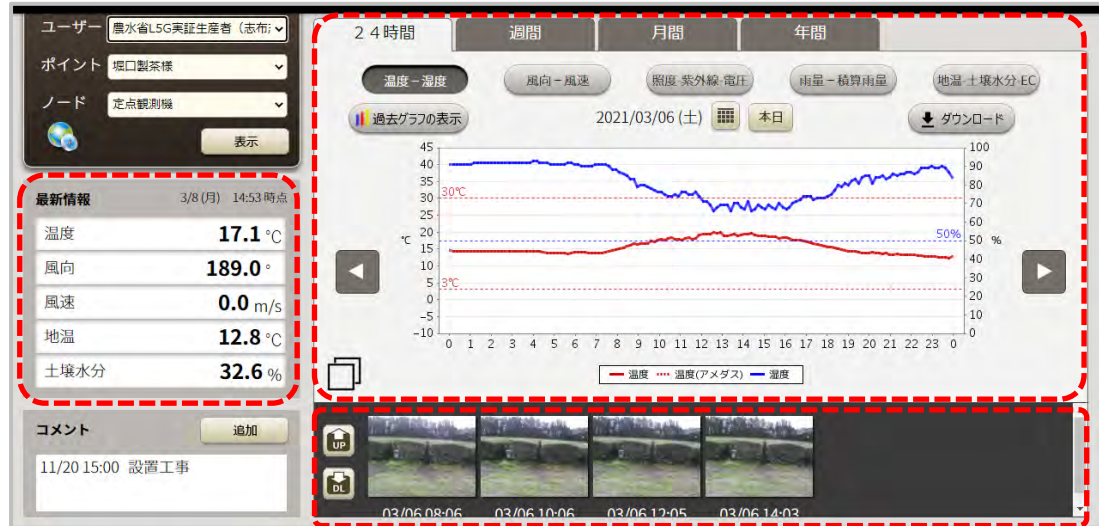


図 4.7-4

アグリマルチセンシング SaaS - 月間画面

次の測定値または関数演算値を、右図のグラフで照会できる。

- ①日間温度差  
1 日の最高/最低の温度差
- ②積算日間温度差
- ③積算温度
- ④積算地温
- ⑤カメラ写真(12 時撮影)



また、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える。



## 5. ローカル 5G の性能評価の技術実証

### 5.1 前提条件

本技術実証では、比較的狭い圃場環境において、端末側から送信したカメラ映像に基づいて農機を制御するユースケースを扱った。そして、端末側からカメラ映像を送信することから、性能要件としては UL スループットと伝送遅延時間を要求品質項目とし、カメラ映像の伝送に必要な UL スループットとカメラと制御端末間の Round-Trip Time から、UL スループット 50Mbps 以上、伝送遅延時間 200ms 以下とした。

そして本技術実証において想定する環境条件としては、下記のような環境においてローカル 5G が構築・運用されることとする。

- (1) 屋外の小さな(一辺が 200m 程度以下の)圃場環境であること
- (2) 圃場環境の地理的条件としては、傾斜はなく平坦であること
- (3) 圃場環境は見通し(LOS)環境であること
- (4) 隣接する他者土地においてもローカル 5G が運用されること
- (5) 4.7GHz 帯システムについては屋内環境にもサービスエリアを設けること

また課題解決システムの実装及び実証地域以外の地域での利用においても有益な成果が得られるように考慮した技術実証を行う。加えて技術実証に当たっては、以下の点に留意した。

- ① ITU 及び 3GPP における 5G の標準化に関する検討状況並びに情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会におけるローカル 5G に関する検討状況を踏まえて検討を行うこと。
- ② 既存の無線システムに影響を与えないよう、検証を行うこと。
- ③ 測定機器類、測定環境等については請負者で準備すること。

これらの留意点を踏まえ、実証実験では下記のような準備を行った。

- ・ ITU 及び 3GPP における 5G の標準化に関し、NR の規格 Rel. 15 がすでに完了していることを踏まえ、用いる装置が 3GPP 仕様に沿ったものであるか確認した。また情報通信審議会での検討結果を踏まえて公開されたローカル 5G 導入に関するガイドラインにおいて、他事業者との干渉回避という課題に対し、使用する帯域やビームの限定といった部分で検討の余地があることを確認した。
- ・ 既存の無線システムに影響を与えないよう、免許取得に伴う電波伝搬シミュレーションによる干渉の事前計算結果を確認した。
- ・ 測定機器類、測定環境等については本コンソーシアムにて調達・準備をした。

本技術実証における、NSA システム、SA システムのシステム構成、機器諸元およびシステム概要を以下に示す。

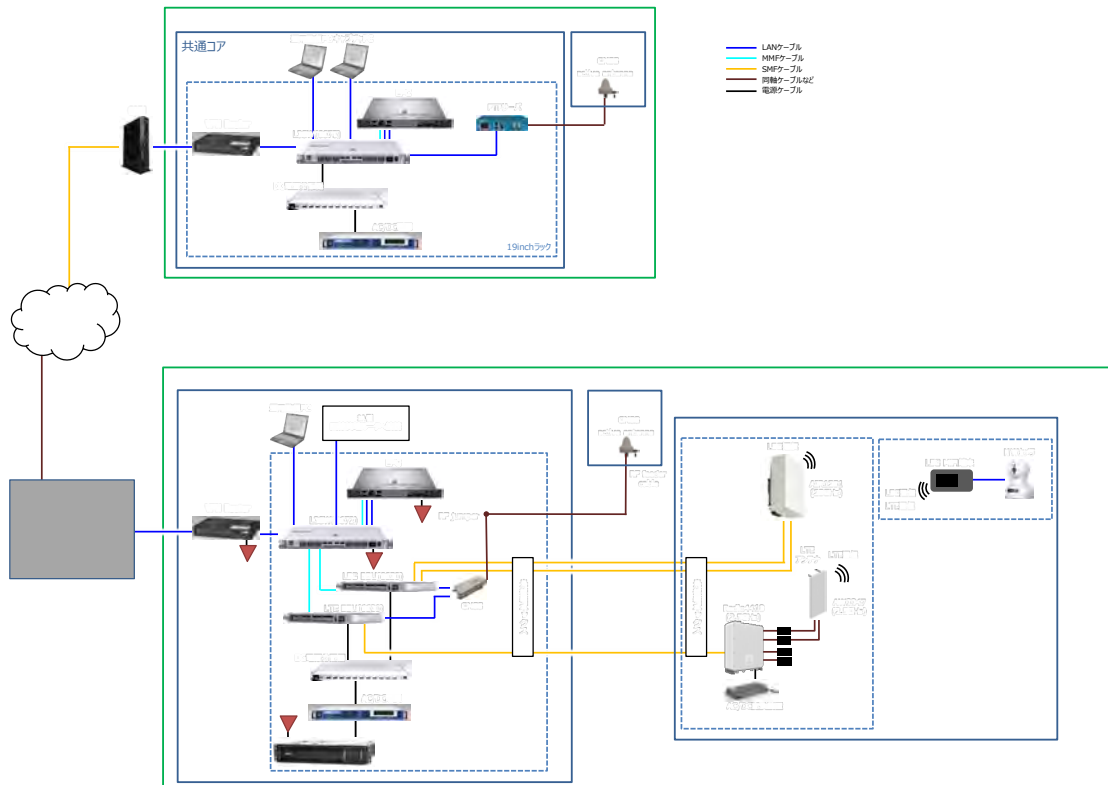


図 5.1-1 NSA システム構成

表 5.1.1-1 NSA 機器諸元

使用機器	メーカー	型格	機能
Evolved Packet Core (略称：EPC)	Ericsson	EMC PowerEdge R640	ユーザー管理/セッション管理/パケット転送
Evolved Packet Gateway (略称：EPG)	Ericsson	EMC PowerEdge R640	パケット転送の負荷を軽減させるためのゲートウェイ
Base Band Unit (略称：BBU)	Ericsson	Baseband6630	セッション管理/パケット転送/無線リソース管理/無線信号処理

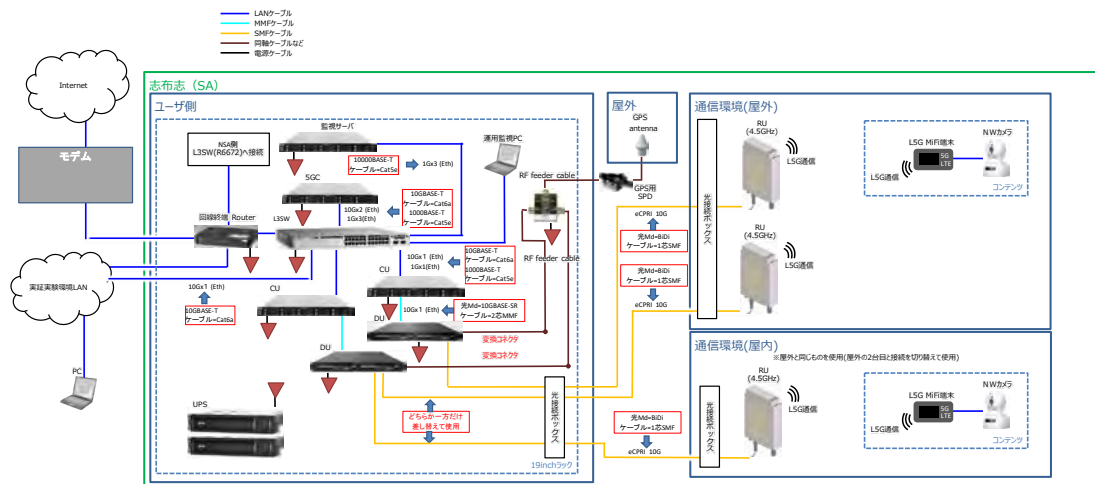


図 5.1-2 SA システム構成

表 5.1.1-2 SA 機器諸元

使用機器	メーカー	型格	機能
5G Core (略称：5GC)	富士通	PRIMERGY PYR2535R2N	認証/セッション/パケット転送
Central Unit (略称：CU)	富士通	PRIMERGY PYR2535R2N	無線セッション管理/無線リソース制御/eMBB サポート
監視サーバ (略称：BBU)	富士通	PRIMERGY PYR1334R3S	構成管理/コンフィグ管理/インベントリ情報管理/警報管理
Distributed Unit (略称：DU)	富士通	FCWP5AH01	ベースバンドプロセッシング/同期機能
Remote Unit (略称：RU)	富士通	FCWP5BH01	アンテナ一体型/送受信 4 系統

表 5.1.1-3 システム概要

	NSA	SA
使用周波数帯	28.2~28.3GHz	4.8~4.9GHz
技術実証環境	屋外(圃場)	屋外(圃場) 屋内(工場内)
基地局アンテナ高	2.5GHz：14.9m 28GHz：12m	基地局 1：10m 基地局 2：8m
基地局チルト角 (下向き角)	2.5GHz：22° 28GHz：15°	基地局 1：25° 基地局 2：25°
遮蔽物・反射物	遮蔽物(トラック、摘採機)	屋外 遮蔽物(トラック、摘採機)  屋内

		遮蔽物(製茶用機材) 反射物(壁、天井)
基地局	2.5GHz : 1局 28GHz : 1局	屋外 : 2局 屋内 : 1局
端末	3局	3局
TDD 同期情報	2.5GHz : 同期 28GHz : 同期	同期
DU 比率	上り : 下り : ガードタイム = 1 : 3 : 1	上り : 下り : ガードタイム = 2 : 7 : 1

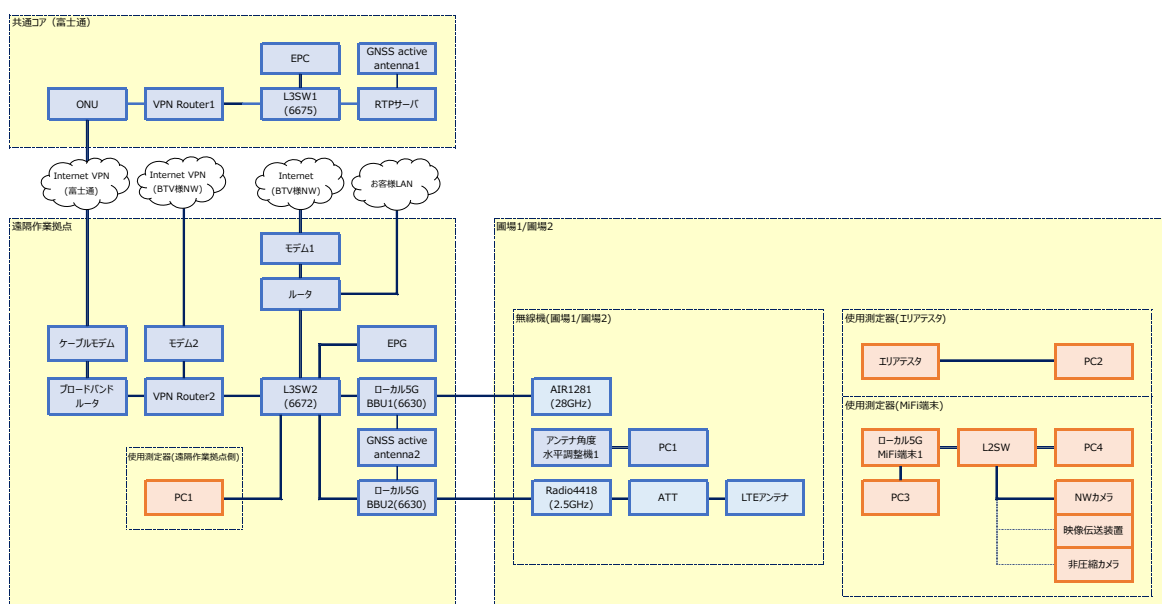


図 5.1-3 ネットワーク構成図

表 5.1.1-4 NSA 試験環境構成

設置場所	使用機器	機能
遠隔作業拠点	PC1	スループット測定用
圃場 1/圃場 2	エリアテスト	電界強度測定用
	PC2	エリアテスト制御用
	PC3	QXDM ログ取得用
	PC4	スループット測定用
	NWカメラ	映像品質測定用
	映像伝送装置	映像品質測定用
	非圧縮カメラ	映像品質測定用

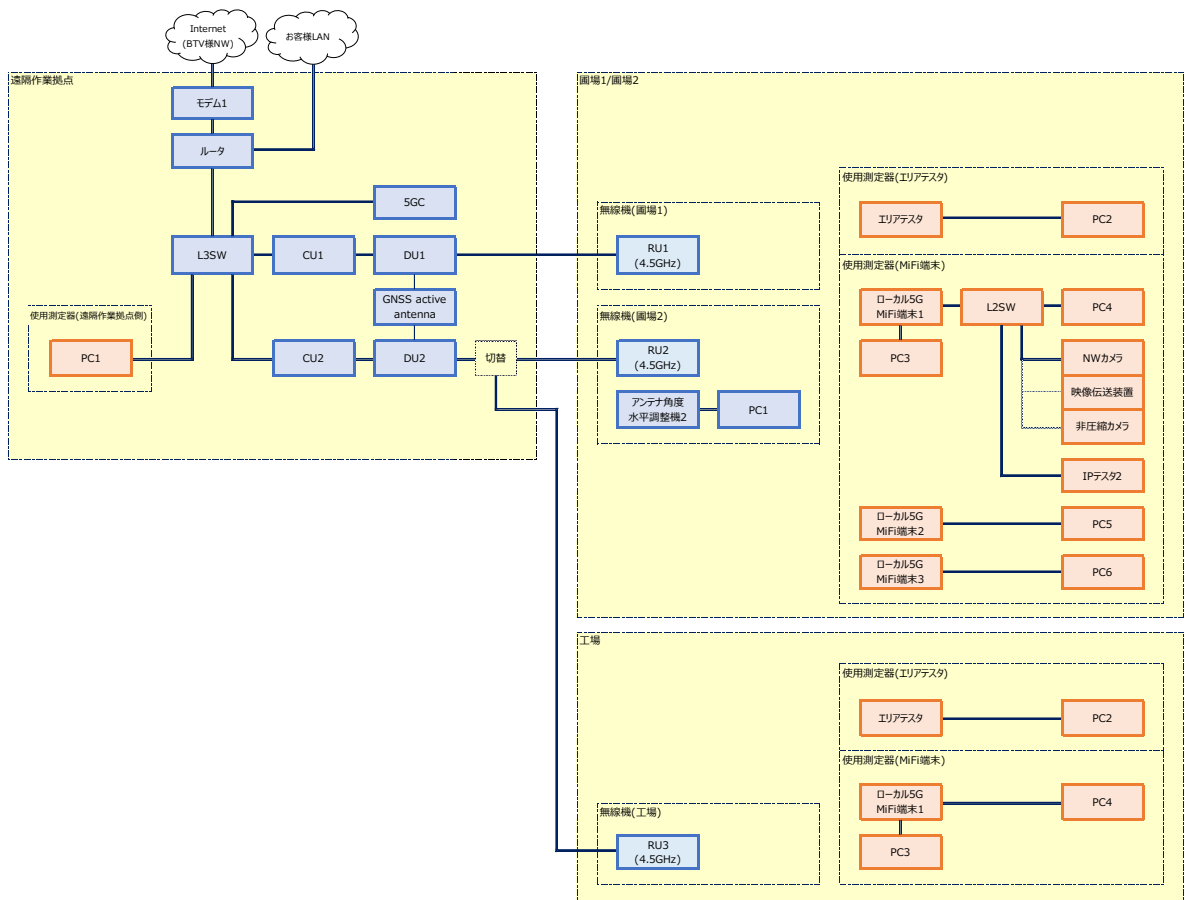


図 5.1-4 ネットワーク構成図

表 5.1.1-5 SA 試験環境構成

設置場所	使用機器	機能
遠隔作業拠点	PC1	スループット測定用
圃場 1/圃場 2	エリアテスタ	電界強度測定用
	PC2	エリアテスタ制御用
	PC3	QXDM ログ取得用
	PC4	スループット測定用
	PC5	スループット測定用
	PC6	スループット測定用
	NW カメラ	映像品質測定用
	映像伝送装置	映像品質測定用
	非圧縮カメラ	映像品質測定用

圃場、工場内における測定ポイントおよび測定条件、基地局/移動局の送信電力を以下に示す。

圃場は 19 ポイント、工場内は 20 ポイントの測定ポイントとなる。工場内は、工場壁直近の周辺のポイントも含む。



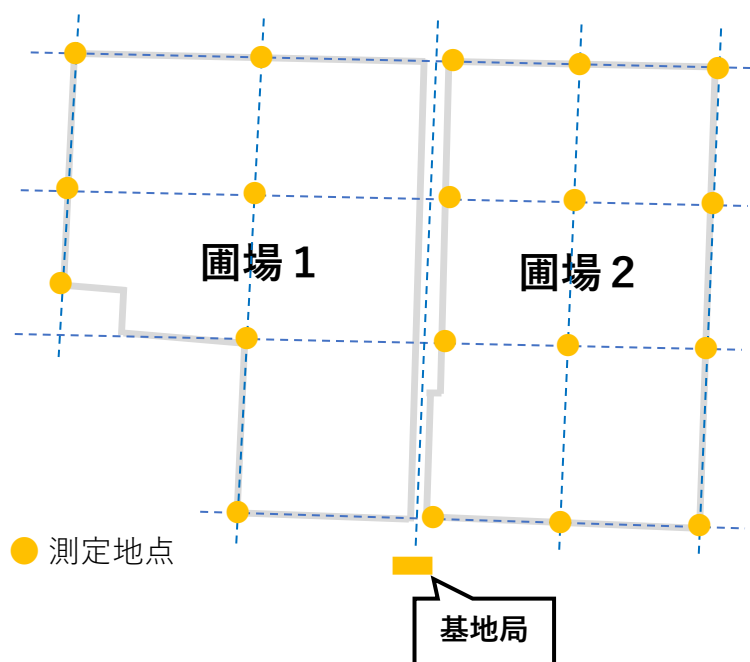


図 5.1-5 圃場の測定ポイント

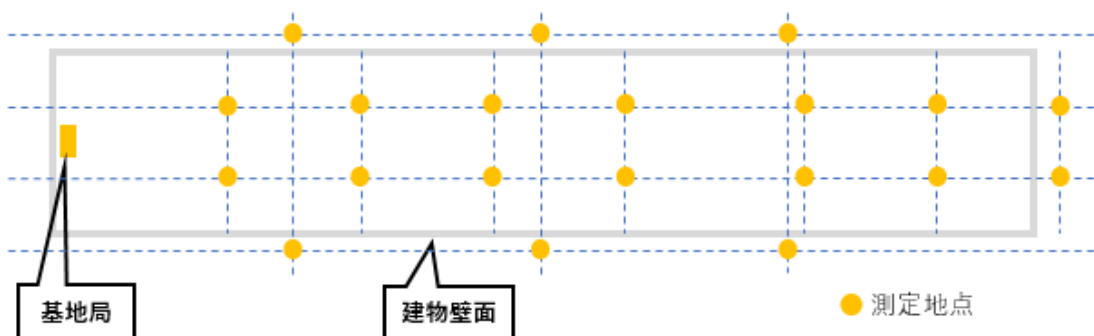


図 5.1-6 工場内の測定ポイント

表 5.1.1-6 測定条件

測定項目	測定器	測定時間	集計方法
電界強度	エリアテスタ (アンリツ社製 ML8780A)	各測定ポイントに対して 1 秒間隔で 2 分間測定	各ポイントで平均化
伝送スループット	iPerf (PC にインストール)	各測定ポイントに対して 60 秒間測定	各ポイントで平均化

表 5.1.1-7 送信電力

項目	28GHz 帯		4.7GHz 帯
	2.5GHz	28GHz	

送信電力	基地局：13.0dBm 移動局：23.0dBm	基地局：19.2dBm 移動局：13.0dBm	基地局：24.9dBm 移動局：23.0dBm
------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

## 5.2 実証目標

本実証試験においては、技術基準等を整備するために必要な知見を取得するための無線伝搬特性および通信品質を測定し、実証環境における電波伝搬特性を踏まえたエリア化の改善や設計手法等の提案、および周辺との干渉調整の際に適用すべき電波伝搬モデルなど免許制度等の制度面への提案につながる結果を得ることを目標とした。

また実証試験を実施する狭い圃場においては、下記のような課題が想定される。

- 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。

本実証では上記の課題に対し、それぞれ下記に示すアプローチをとる。

アプローチ 1) 各事業者が所有する圃場が隣接した場合、制度上割り当てられた周波数全帯域を使うと干渉となり得る。よって、各事業者が割り当てられた周波数帯域が重ならないよう帯域を制限する。また、アレーアンテナによるビームフォーミング機能を有する基地局では、隣接する圃場に向く方向のビームを用いないようビーム ID を限定する。

アプローチ 2) 事業者ごとに所要トラフィックの時間的な変動は異なると考えられるため、ある事業者でトラフィック増大した場合においても、トラフィックの少ない他の事業者でカバーすればよい。従って、複数事業者で基地局を共用し、トラフィックの少ない事業者に割り当てた帯域の一部をトラフィック増大した事業者へ割り当てることで、一時的なトラフィック増大に対応することが可能となる。

本実証では以上に述べた課題検証のため、以下の4項目について評価を実施した。

### (1) 圃場および工場環境における伝搬特性評価

課題 1)の事前検証として、本実証項目においては、圃場エリアにおける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を検証する。

ここで用いるシミュレーションツールは、電波の透過や反射などを模擬することにより電界強度やスループットを計算するものである。伝搬モデルはレイトレース法による。レイトレース法は電波を光とみなし、直截波、反射波など各地点での複数の到来派の振幅と位相を計算して、そのベクトル和を求めることにより電波の強度などを計算するシミュレーション方法である。

本評価では下記の測定データを取得した。

RSRP, RSRQ, SINR, RSSI, UDP/TCP スループット(上り/下り), 伝送遅延時間

(2) 圃場における映像伝送品質と伝送帯域幅の関係評価

課題 1) および 2) の事前検証として、映像伝送のユースケースにおける周波数帯域幅との適合性に関するデータ取得を目標とした。本評価では下記の測定データを取得する。

RSRP, RSRQ, SINR, RSSI, UDP/TCP スループット(上り/下り), 伝送遅延時間, 映像品質

(3) 圃場における他者土地への干渉量評価と干渉低減方策の効果検証、共用基地局によるその実現方法の検証

課題 1) について、事業者間での無線リソース分割やビームの限定により、事業者間干渉の調整法として用いることが可能か検証した。また干渉調整の手段として同一の運用事業者にて運用される基地局を複数の事業者が共用することを想定し、共用する事業者間で周波数帯域を分割して割り当てる試験を通じてその可能性を検証した。これら検証を通じて、より細かい単位での周波数割り当てやビームの限定による干渉調整をサポートするような制度面での提言につなげることを目標とした。本評価では下記の測定データを取得する。

RSRP, RSRQ, SINR, RSSI, UDP/TCP スループット(上り/下り), 伝送遅延時間

(4) 圃場における共通事業者による運用の効果検証

課題 2) について隣接する事業者間で所要トラフィック量が増加する場合を想定し、共用する基地局における周波数帯域割り当て量を変更することにより、所要トラフィック量の変化に対応できることを検証し、共用基地局に周波数分割を適用することの有効性(所要トラフィック量の変更への柔軟な対応)を検証することを目標とした。そして、本検証を通じて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面での提言につなげることを目標とした。

本評価では下記の測定データを取得する。

RSRP, RSRQ, SINR, RSSI, UDP/TCP スループット(上り/下り), 伝送遅延時間, 他事業者端末の通信状況

以上のような農機制御のユースケースを想定した様々な帯域幅での性能評価、帯域分割時の性能評価等を通じて、技術基準の見直し等に資する新たな知見を得ることを目標とした。

### 5.3 ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価等

#### 5.3.1 ユースケースに基づく性能要件

比較的狭い圃場環境において、端末側から送信したカメラ映像に基づいて農機を制御するユースケースを扱った。そして、端末側からカメラ映像を送信することから、性能要件としては UL スループットと伝送遅延時間を要求品質項目とし、カメラ映像の伝送に必要な UL

スループットとカメラと制御端末間の Round-Trip Time から、UL スループット 50Mbps 以上、伝送遅延時間 200ms 以下とした。

### 5.3.2 評価・検証項目

#### ① 電波伝搬特性の検証

評価項目を表 5.3-1 に示す。4.7GHz 帯システム、28GHz 帯システムそれぞれについて評価を実施した。ここでは電波伝搬特性の基本的なデータとして RSRP, RSRQ, SINR, RSSI および 28GHz 帯についてはビーム ID, カメラ映像伝送等ユースケースの要求品質項目である伝送スループットおよび伝送遅延時間を取得した。なお屋外圃場環境については、見通しの良い比較的小さなエリアでマルチパスによる影響はほとんどないと考えられるため、遅延プロファイルは評価対象外とした。

表 5.3.2-1 電波伝搬特性評価項目

大項目	中項目	小項目	備考
シミュレーション	電界強度	RSSI (dBm)	
	伝送スループット	上り (Mbps)	
		下り (Mbps)	
実環境での測定	電界強度	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スループット	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間	上り+下り (ms)	

各項目の測定結果について下記の観点で整理した。

- ・ 電界強度：シミュレーションおよび実測結果について一覧表に示すとともに、以下の図面を作成した。
  - シミュレーション結果については圃場のサービスエリア上のヒートマップ図として表現し、その上に重ねて圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面(図 5.3-1)
  - 全測定地点の RSRP 値を基地局からの距離を横軸とした散布図にプロットした図面 (図 5.3-2)

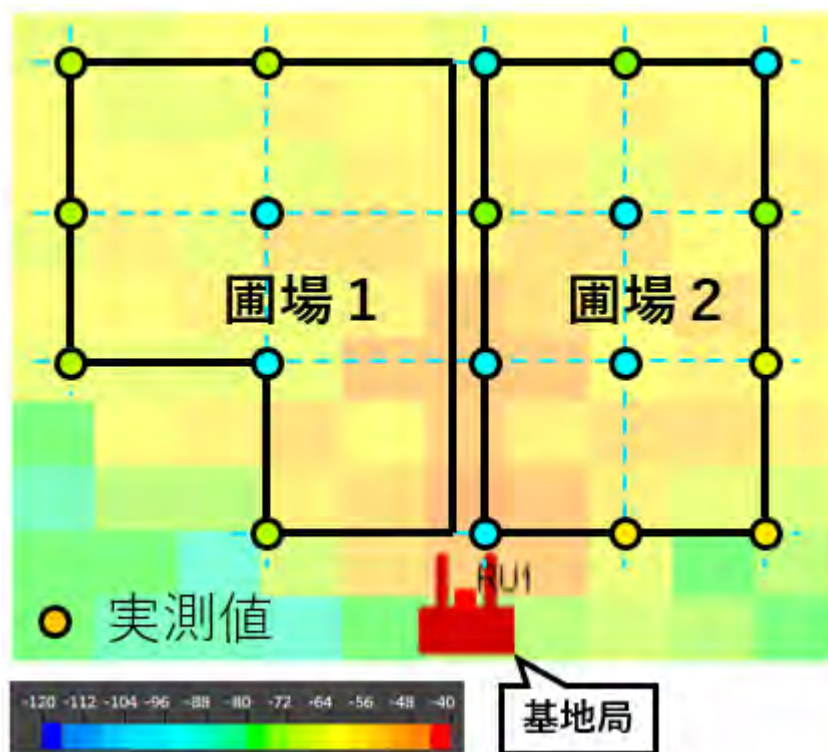


図 5.3-1 電界強度 (RSSI) 分布のシミュレーションおよび実測結果図面例

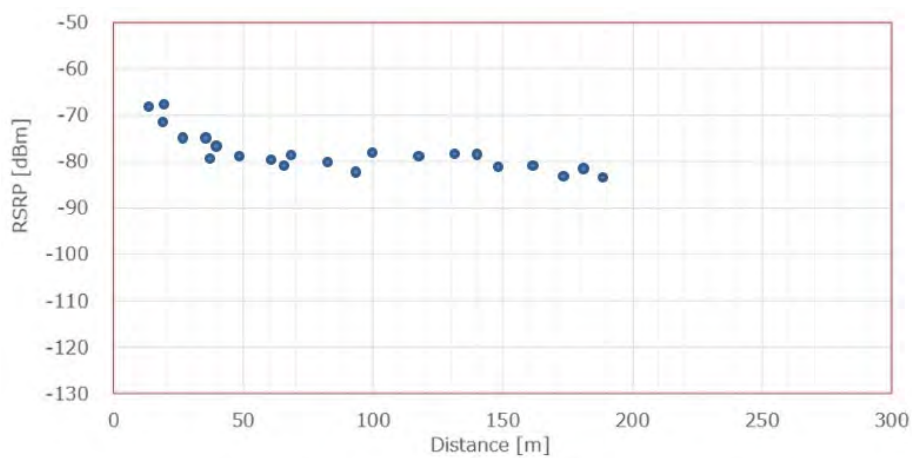


図 5.3-2 RSRP の距離特性図面例

- ・ 伝送スループット：シミュレーションおよび実測結果について一覧表に示すとともに、以下の図面を作成した。
  - シミュレーション結果については圃場のサービスエリア上のヒートマップ図として表現し、その上に重ねて圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面(図 5.3-3)



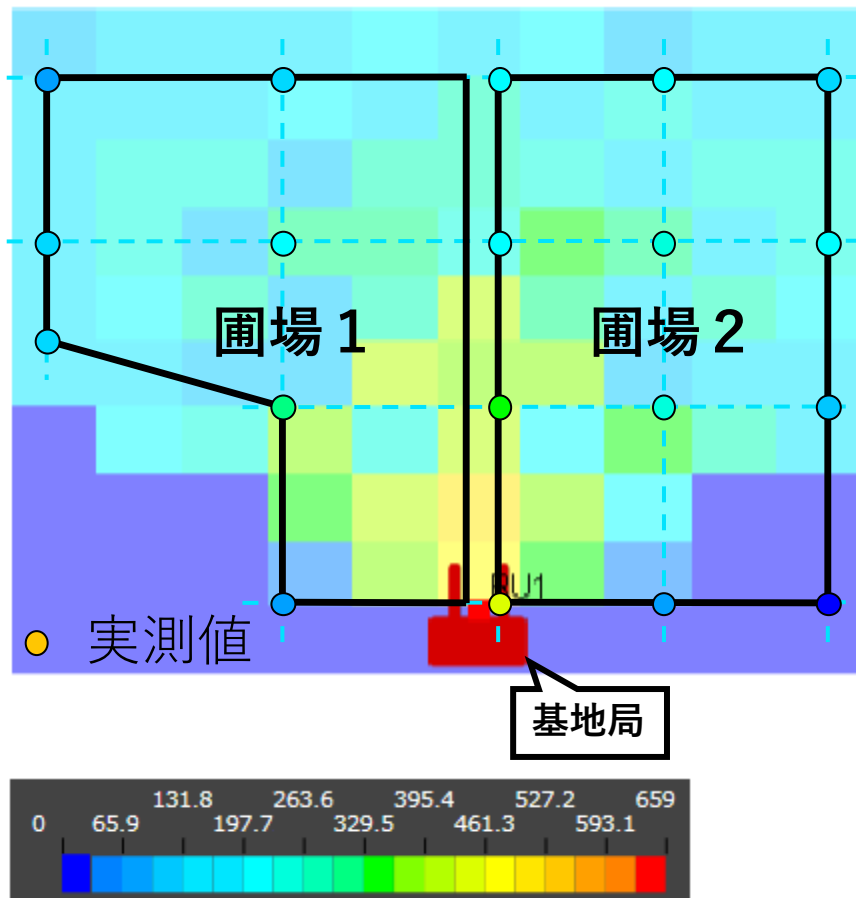


図 5.3-3 伝送スループット分布のシミュレーションおよび実測結果の図面例

- ・ 伝送遅延：各測定地点での測定値について一覧表に示すとともに、以下の図面を作成した。
  - 圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面 (図 5.3-4)。

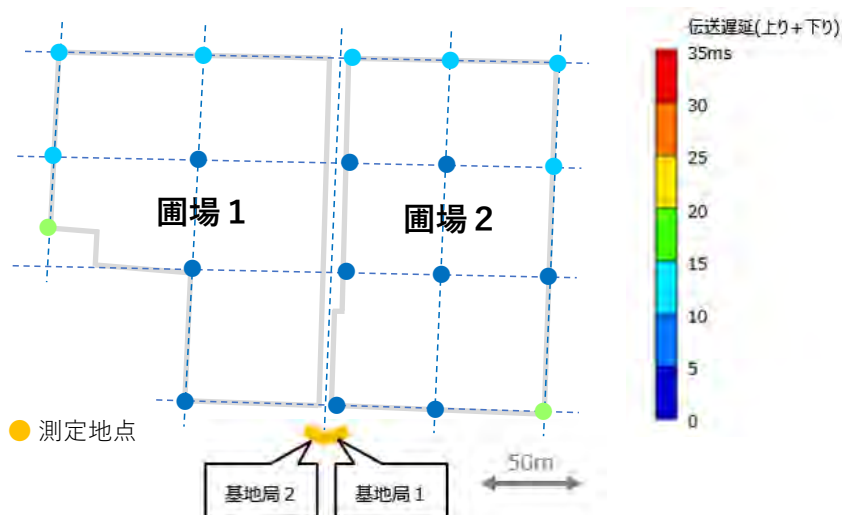


図 5.3-4 伝送遅延分布の測定結果の図面例

上記シミュレーションおよび実測値の整理の結果について両者の差分や他者土地への干渉の影響について要因を分析し技術的課題について整理した。

屋外の見通し環境での隣接した圃場のような環境で各事業者がローカル 5G を運用する場合を想定した今回の電波伝搬特性の検証結果から、事業者相互で大きな干渉が生じることが確認されるものと考えられ、干渉の影響を如何に抑制するかが課題となる。

本課題への対策としては、各圃場でローカル 5G を運用しようとする事業者間での合意の上で、無線リソースを分割する形で個々の事業者に割り当てることが考えられる。

具体的な無線リソースの分割としては、下記が考えられる。

- i. 周波数帯域を重複しないように分割し、事業者に割り当てる
  - ii. ビームフォーミングのビームを各事業者のサービスエリアに合うように限定する
- 本対策を適用した場合の検証については「イ. ローカル 5G のエリア構築やシステム構成の検証等」にて実施した。

② 屋内環境における電波伝搬特性の検証

評価項目を表 5.3.2-2 に示す。屋内環境については、マルチパスの影響が考えられるため RS (Reference Signal) の遅延プロファイルを測定した。

表 5.3.2-2 屋内電波伝搬特性の評価項目

大項目	中項目	小項目	備考
シミュレーション	電界強度分布	RSSI (dBm)	
	伝送スループット分布	上り	
下り			
電波測定	電界強度分布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	

		遅延プロファイル	
伝送スループット		UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間	上り+下り (ms)	

結果について下記の観点で整理した。

- ① 電界強度：シミュレーションおよび実測結果について一覧表に示すとともに、以下の図面を作成した。
- ・シミュレーション結果については工場屋内のヒートマップ図として表現し、その上に重ねて工場屋内の測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面(図 5.3-5)

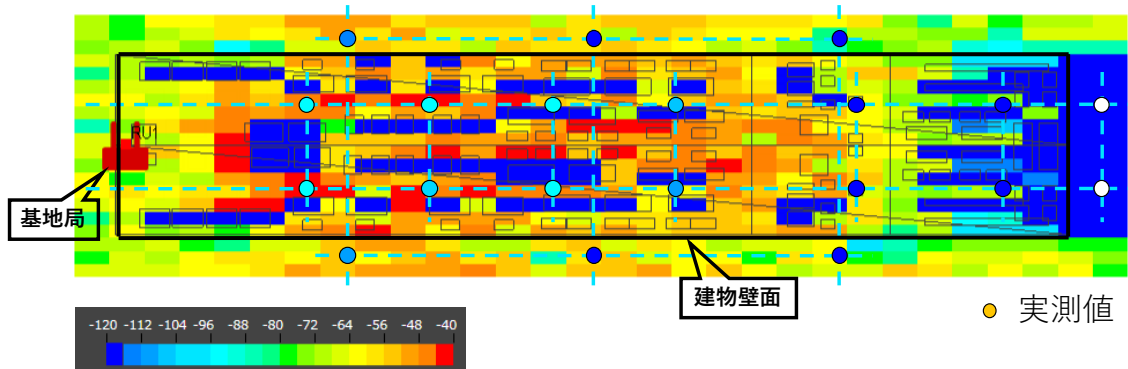


図 5.3-5 電界強度 (RSSI) 分布のシミュレーションおよび実測結果図面の例

- ② 伝送スループット：シミュレーションおよび実測結果について一覧表に示すとともに、以下の図面を作成した。
- ・シミュレーション結果については工場屋内のサービスエリア上のヒートマップ図として表現し、その上に重ねて圃場の工場屋内の測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面(図 5.3-6)

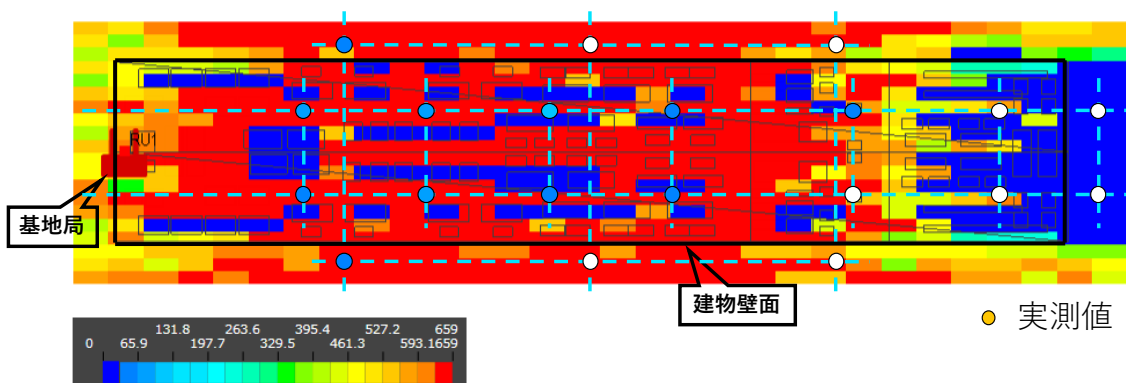


図 5.3-6 伝送スループット分布のシミュレーションおよび実測結果の図面例

- ③ 伝送遅延：各測定地点での測定値について一覧表に示すとともに、以下の図面を作成した。
- ・工場屋内の測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面(図 5.3-7)

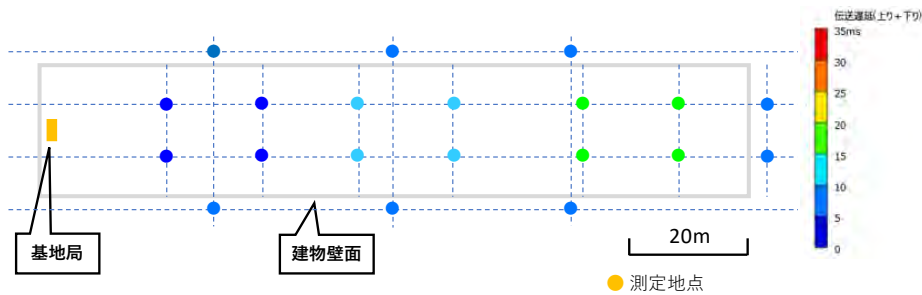


図 5.3-7 伝送遅延分布の測定結果の図面例

さらにシミュレーションおよび実測値の整理の結果について両者の差分や、要求品質の達成状況について要因を分析した。

- ③ 様々な帯域幅でのローカル 5G の性能評価  
評価項目を表 5.3.2-3 に示す。

電界強度の各指標は SS (Synchronization Signal、同期信号) および PBCH (Physical Broadcast Channel、端末が無線接続するために必要なパラメータを報知するチャンネル) で構成される SS Block と呼ばれる一定の帯域幅 (様々に変える周波数帯域幅に含まれる一部分となる) を対象として測定される指標であり、全体の周波数帯域幅には依存しないため、周波数帯域幅 80MHz 幅においてのみ測定した。

表 5.3.2-3 様々な帯域幅での評価項目

大項目	中項目	小項目	備考
周波数帯域幅 80MHz	電界強度分布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スループット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間分布	上り+下り (ms)	
	汎用ネットワークカメラによる映像伝送	伝送後の映像品質	
	映像伝送装置による映像伝送	伝送後の映像品質	
	非圧縮カメラによる映像伝送	伝送後の映像品質	
周波数帯	伝送スループット	UDP 上り (Mbps)	

域幅 60MHz	ット分布	UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間分布	上り+下り (ms)	
	汎用ネットワークカメラによる映像伝送	伝送後の映像品質	
	映像伝送装置による映像伝送	伝送後の映像品質	
周波数帯域幅 40MHz	伝送スループット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間分布	上り+下り (ms)	
	汎用ネットワークカメラによる映像伝送	伝送後の映像品質	
	映像伝送装置による映像伝送	伝送後の映像品質	
	非圧縮カメラによる映像伝送	伝送後の映像品質	
周波数帯域幅 20MHz	伝送スループット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間分布	上り+下り (ms)	
	汎用ネットワークカメラによる映像伝送	伝送後の映像品質	
	映像伝送装置による映像伝送	伝送後の映像品質	
	非圧縮カメラによる映像伝送	伝送後の映像品質	

上記測定結果を一覧表にまとめるとともに、周波数帯域幅毎に以下の図面を作成し



た。

- 電界強度を測定地点の図面に色分けしてプロットした図面(図 5.3-8)
- 伝送スループットを測定地点の図面に色分けしてプロットした図面(図 5.3-9)
- 伝送遅延を測定地点の図面に色分けしてプロットした図面(図 5.3-10)
- 3種類の映像伝送方法に対する映像品質劣化状況を測定地点ごとに色分けしてプロットした図面(図 5.3-11)。

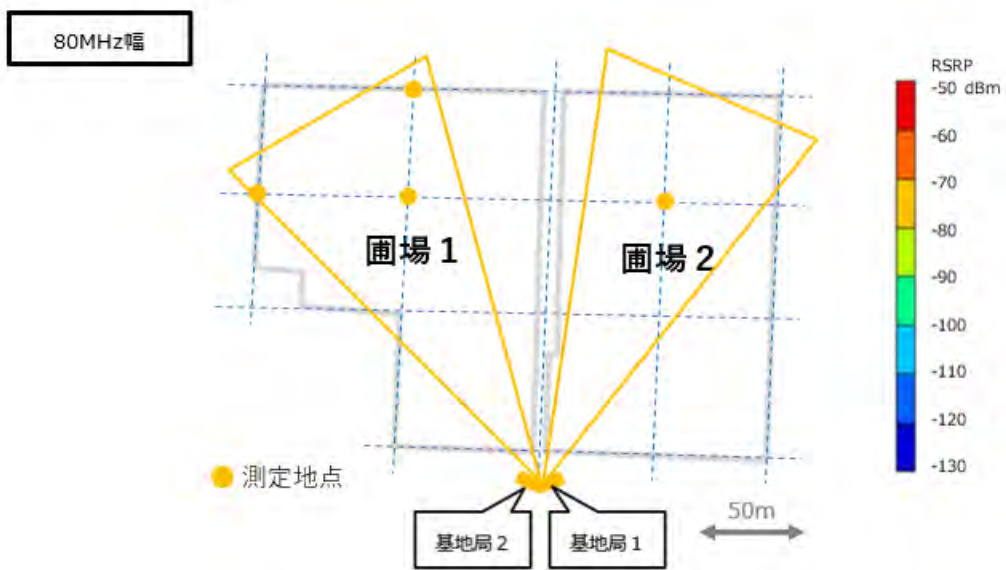


図 5.3-8 電界強度分布の図面例

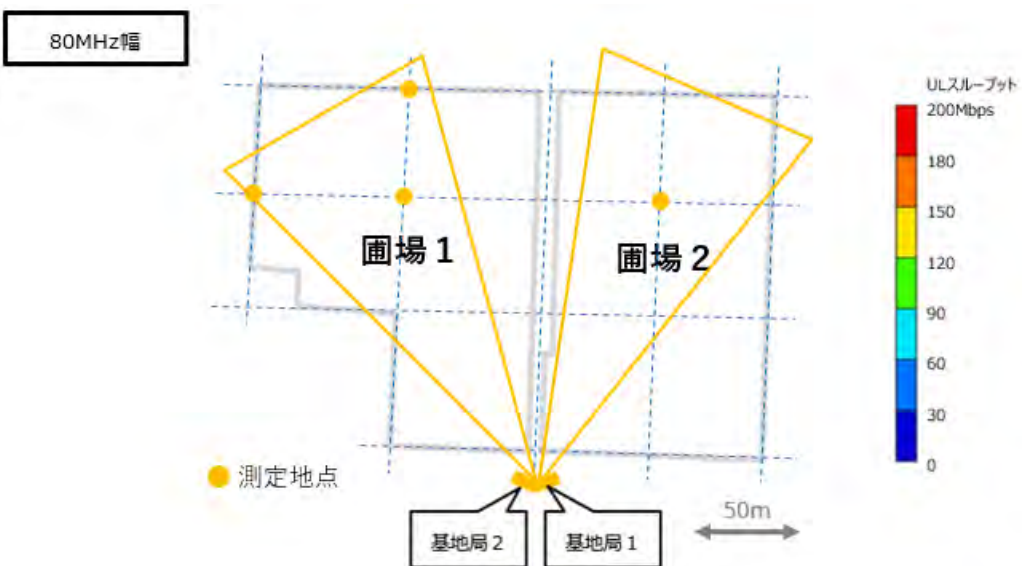


図 5.3-9 伝送スループット分布の図面例

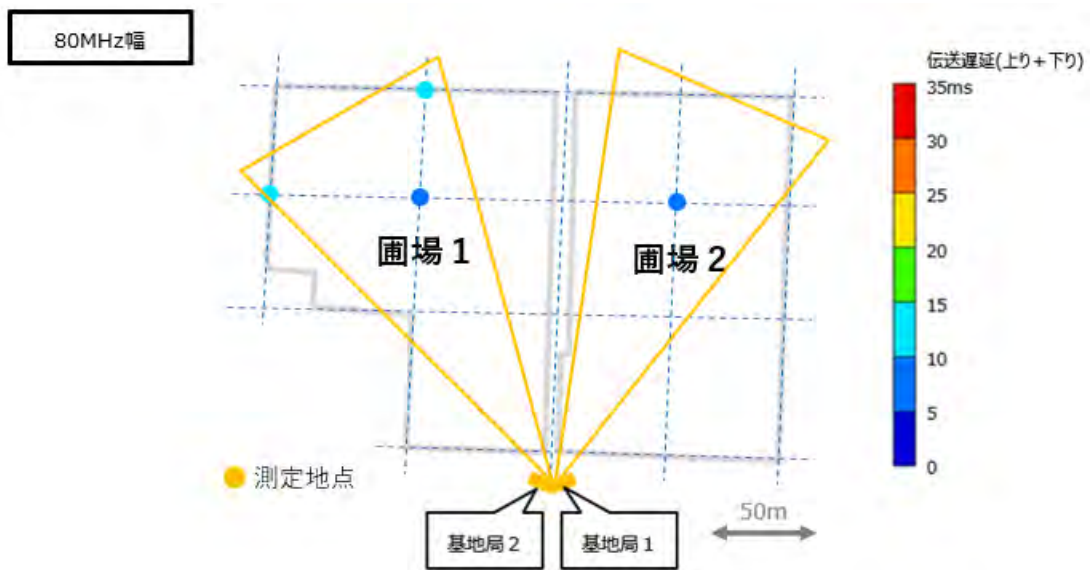


図 5.3-10 伝送遅延分布の図面例

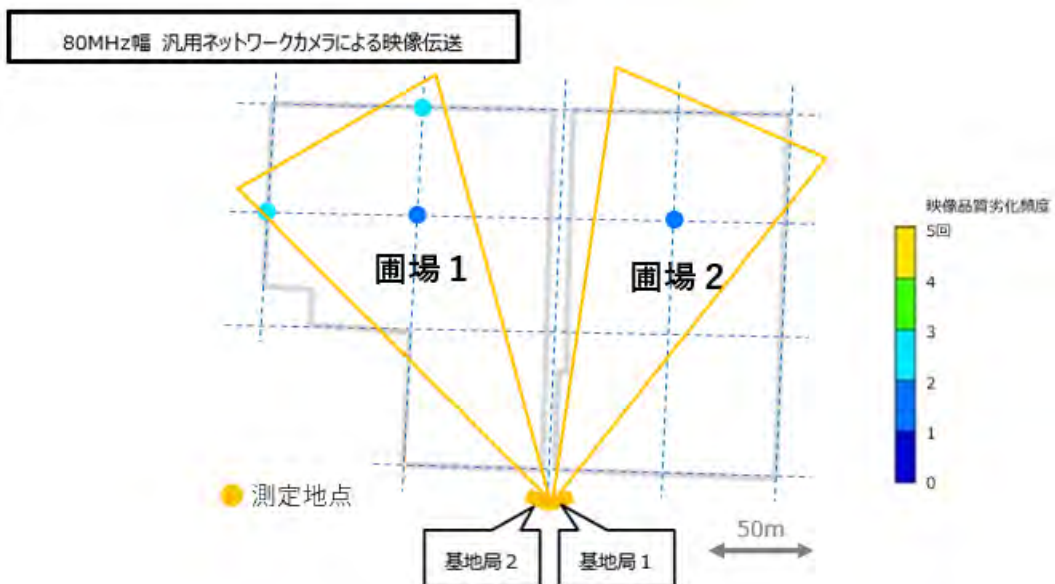


図 5.3-11 映像品質分布の図面例

以上に加え、各周波数帯域幅に対して得られた、伝送スループット、伝送遅延時間、映像品質の測定結果について周波数帯域幅とサービスエリアにおける位置の観点から技術的な要因分析を行い、そこから抽出した技術的課題について、解決の方策を提案した。

- ④ 見通し外となる無線区間における性能評価  
評価項目を表 5.3.2-4 に示す。

表 5.3.2-4 見通し外となる無線区間における評価項目

大項目	中項目	小項目	備考

4.7GHz 帯システム	電界強度分布	RSRP (dBm)	GPS 測位値と共に記録
		RSRQ (dB)	GPS 測位値と共に記録
		SINR (dB)	GPS 測位値と共に記録
		RSSI (dBm)	GPS 測位値と共に記録
	無線リンク切断状況分布	RadioLinkFailure 発生地点	GPS 測位値と共に記録
	映像伝送品質分布	伝送後の映像品質	
28GHz 帯システム	電界強度分布	RSRP (dBm)	GPS 測位値と共に記録
		RSRQ (dB)	GPS 測位値と共に記録
		SINR (dB)	GPS 測位値と共に記録
		RSSI (dBm)	GPS 測位値と共に記録
	無線リンク切断状況分布	RadioLinkFailure 発生地点	GPS 測位値と共に記録
	映像伝送品質分布	伝送後の映像品質	

4.7GHz 帯システム、28GHz 帯システムのそれぞれについて、下記のように整理した。

- ① 電界強度および無線リンク断分布：測定結果について一覧表に示すとともに、電界強度および無線リンク断分布図を作成した。なお分布図は、図 5.3-12 の移動経路に沿って実際に移動した経路を電界強度 (RSRP、RSRQ、SINR) の値によって色分けし、無線リンク切断の発生位置をプロットした図面とする。
- ② 映像品質劣化分布図：映像品質劣化の発生位置を一覧表に示すとともに、映像品質劣化の発生位置をプロットした図 5.3-12 に示すような図面を作成した。

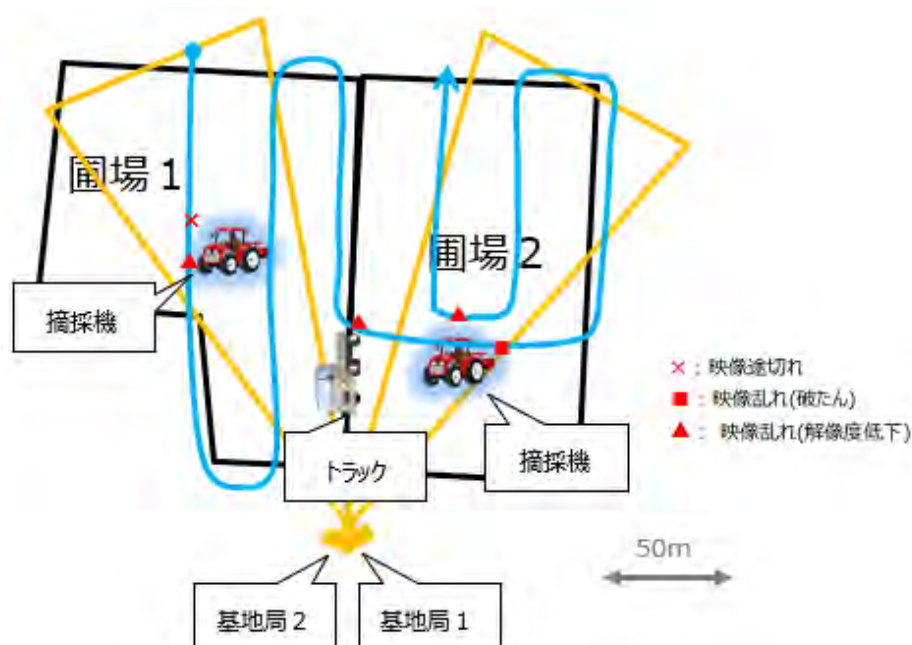


図 5.3-12 遮蔽物のある環境における映像品質劣化の発生地点分布の図面例

4. 7GHz 帯システムおよび 28GHz 帯システムそれぞれについて、圃場における遮蔽物による無線区間およびユースケースである映像伝送への影響についての検証結果から、その技術的要因を分析し、課題を整理した。また、圃場環境における 4. 7GHz 帯及び 28GHz 帯の電波伝搬特性に関する類似の調査結果を検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行った。

なお、今回の検証においては、実際の運用を想定して、端末は摘採機上の比較的高い位置に取り付けるため、圃場内で基地局と端末との間に人が入る条件が構成できないことと圃場内に立木がないことから、人や立木の遮蔽条件については対象外とした。

### 5. 3. 3 評価・検証方法

#### (1) 電波伝搬特性の検証

各圃場における基地局設置位置を 4. 7GHz 帯基地局、28GHz 帯基地局のそれぞれについて図 5. 3-13 および図 5. 3-14 示す。

圃場 1、圃場 2 の各圃場については、後述の検証において、ローカル 5G を運用する異なる事業者が所有する土地と見立てて検証した。

そのため、4. 7GHz 帯の基地局 2 台については各圃場をカバーエリアとする方向に設置した。

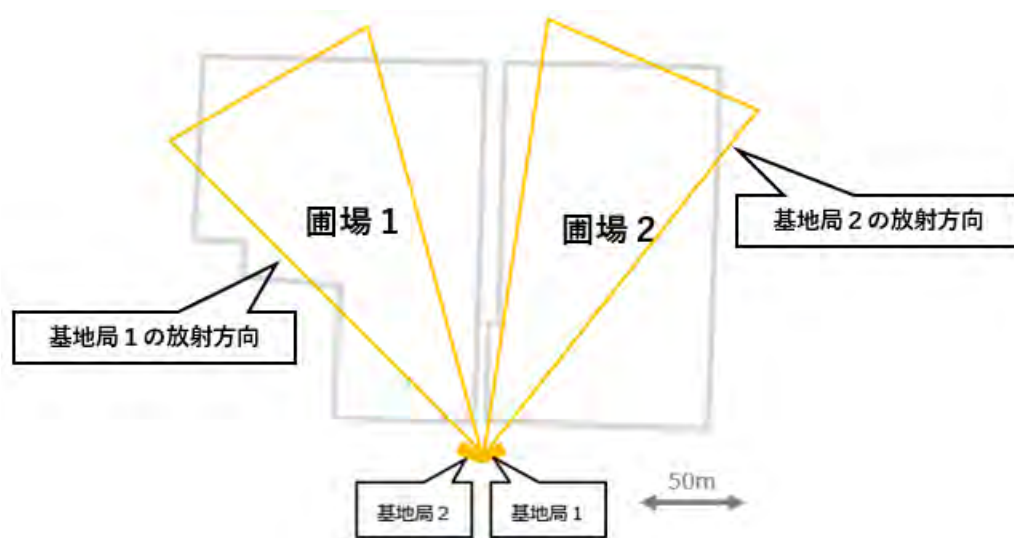


図 5. 3-13 圃場における基地局の設置位置(4. 7GHz 帯)



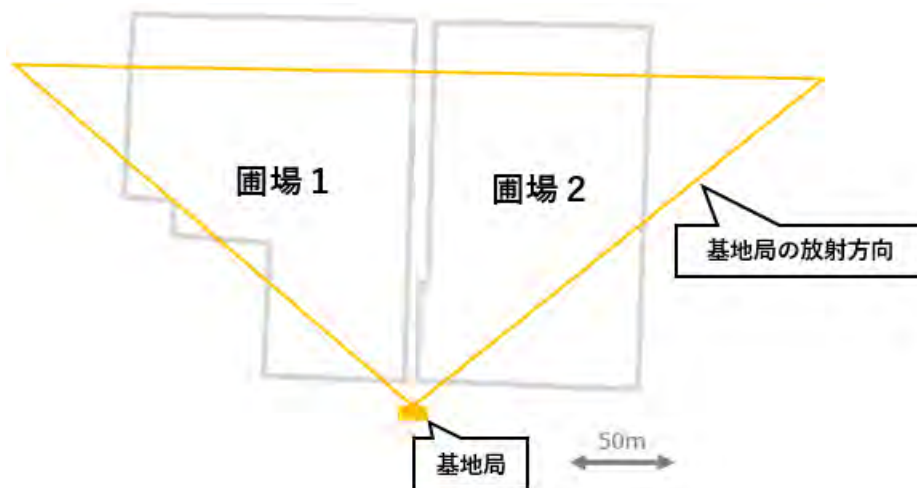


図 5.3-14 圃場における基地局設置位置 (28GHz 帯)

① シミュレーション

基地局および端末に関する各種パラメータに基づいて電波伝搬特性のシミュレーションを実施した。

シミュレーションに用いる主なパラメータを表 5.3.3-1 に示す。4.7GHz システム、28GHz システムの各シミュレーションにおいては、これらのパラメータは固定値を使用した。

表 5.3.3-1 シミュレーションに用いる主なパラメータ

番号	パラメータ項目	備考
1	無線周波数	
2	周波数帯域幅	
3	基地局アンテナ設置位置	
4	基地局アンテナ高	
5	基地局アンテナ方向(チルト角含む)	
6	基地局アンテナ放射特性	
7	基地局送信出力	
8	D/U 比率	主としてスループット算出に使用
9	SINR-MCS テーブル	主としてスループット算出に使用
10	オーバーヘッド率	主としてスループット算出に使用
11	端末位置	
12	端末アンテナ高さ	
13	端末アンテナ放射特性	
14	シミュレーション領域に存在するオブジェクトの位置	
15	シミュレーション領域に存在するオブジェクトの 3D 形状	
16	シミュレーション領域に存在するオブジェクトの材質	

② 実環境での測定

図 5.3-15 に示すように、2つの圃場全体を面的にカバーできるように約 60m 間隔の格子点に測定地点を設けた。

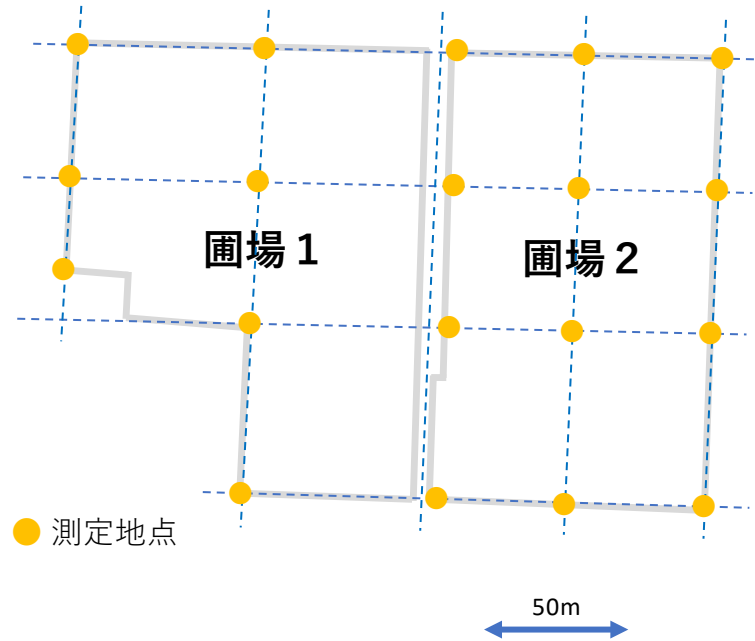


図 5.3-15 測定地点

各測定地点においては、測定器および端末を静止状態として、表 5.3-1 に示す評価項目を測定した。各評価項目の測定方法を下記に示す。

- ア) 電界強度：RSRP (dBm)、RSRQ (dB)、SINR (dB)、RSSI (dBm)、ビーム ID  
・測定器にて測定します。
- イ) 伝送スループット：UDP (上り/下り) (Mbps)、TCP (上り/下り) (Mbps)  
・サーバ端末間における伝送スループットを iPerf (スループット測定ツール) により測定した。
- ウ) 伝送遅延時間：無線区間の遅延時間 (上り+下り) (ms)  
・端末ログにより上記伝送スループット測定時の伝送遅延時間を測定した。

(2) 屋内環境における電波伝搬特性の検証

基地局アンテナ位置をシミュレーションにより算出するうえで①電波伝搬特性の検証内表 5.3.3-1 のパラメータに加えて下記の条件を設定した。

- ① 床・天井・壁の各面や設置されている設備・機器等の形状・材質・配置
- ② 必要なカバーエリア

また、算出したアンテナ位置の条件で下記項目をシミュレーションによって算出した。

- ③ 電界強度：RSSI (dBm)
- ④ スループット：上り/下り (Mbps)

シミュレーションによって算出した基地局アンテナ位置に 4.7GHz 帯システムの基地局のアンテナを設置し、カバーエリア内に設定した 20 箇所程度の測定地点にて下記を測定した。

- ア) 電界強度：RSRP (dBm)、RSRQ (dB)、SINR (dB)、RSSI (dBm)、ビーム ID、遅延プロファ

- イルを測定した。
- イ) 伝送スループット：UDP(上り/下り)(Mbps)、TCP(上り/下り)(Mbps)
    - ・サーバ端末間における伝送スループットを iPerf(スループット測定ツール)により測定した。
  - ウ) 伝送遅延時間：無線区間の遅延時間(上り+下り)(ms)
    - ・端末ログにより上記伝送スループット測定時の伝送遅延時間を測定した。

(3) 様々な帯域幅でのローカル 5G の性能評価

4. 7GHz 帯システムの基地局 2 台を図 5.3-13 と同じ位置に設置した環境において評価した。周波数帯域幅を 80/60/40/20MHz の各値として、図 5.3-16 に示す測定地点にて評価項目を測定した。測定地点としては、電界強度条件の観点でも検証することを考慮し、サービスエリア中央およびサービスエリア端を選択した。

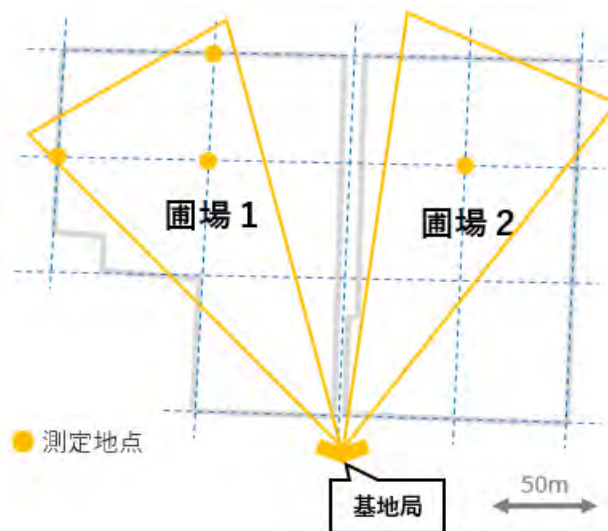


図 5.3-16 様々な帯域幅での評価時の測定地点例

本評価項目における汎用ネットワークカメラ、映像伝送装置、産業用カメラによる映像伝送のそれぞれに必要なスループットについては表 5.3.3-2 記載のとおりである。伝送後の映像品質については映像の途切れ(停止)や画像の乱れなどの映像劣化の発生頻度を測定地点毎に記録した。

表 5.3.3-2 映像伝送方法

映像伝送方法		映像圧縮方式	想定処理時間 (コーデック等)	必要スループット(上り)	備考
(a)	汎用ネットワークカメラ	H.264	数 100ms 程度	～数 Mbps	遠隔停止で使用するカメラ。
(b)	非圧縮カメラ	非圧縮	数 ms 程度	～数 100Mbps	CameraRAW 方式

(c)	映像伝送装置	H. 265	100ms 程度	～数 10Mbps	超低遅延圧縮装置 富士通製品(持込み)
-----	--------	--------	----------	-----------	------------------------

(4) 見通し外となる無線区間における性能評価

圃場環境内に 2 台以上の摘採機、1 台のトラックを配置し、それぞれの位置を記録した。

移動する摘採機に取り付けた端末にてカメラ映像のサーバへの送信を継続的に行いながら圃場内を移動するものとし、サーバ側で映像品質を確認した。伝送後の映像品質については映像の途切れ（停止）や画像の乱れなどの映像劣化の発生箇所を記録した。

移動経路としては配置した摘採機やトラックの近傍を繰り返し通過するようにした。移動中の端末においては、電界強度や無線リンクの維持・切断状況などを記録するため、端末ログを取得するものとした。

4.7GHz 帯システムの基地局 2 台、28GHz 帯システムの基地局 1 台の設置位置はそれぞれ図 5.3-13、図 5.3-14 と同様とした。

また、周波数帯域幅についてはいずれも 100MHz 幅とした。

摘採機、トラックの配置と端末の移動経路の例を図 5.3-17 に示す。

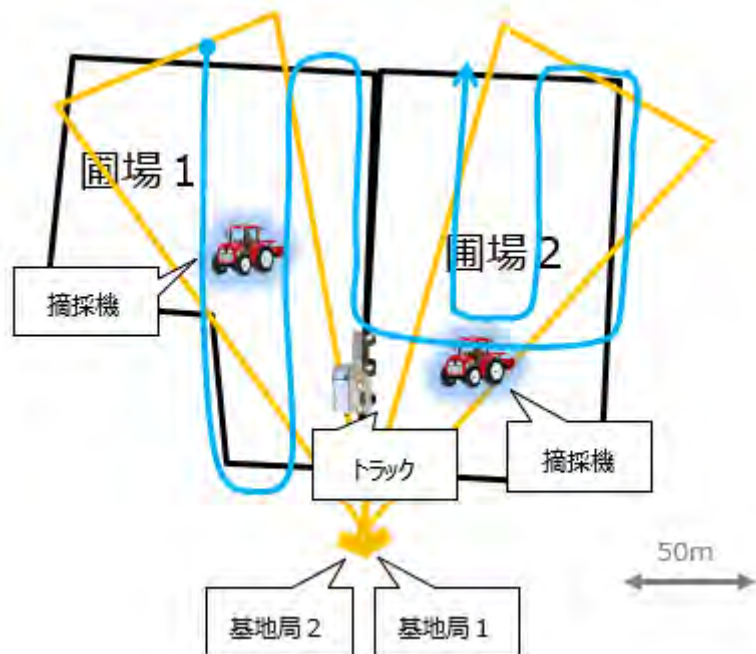


図 5.3-17 摘採機、トラックの配置と端末の移動経路の例

5.3.4 類似の調査

本ユースケースの類似案件として、下記 2 案件の調査を実施した。本節ではそれぞれについて本ユースケースの類似点および相違点を抽出するとともに、測定結果との比較をする前段階としておよその伝搬特性の予測を行った。

案件 1) 高速移動時において 2Gbps の高速通信を可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討 (2017 年度, NTT Communications)

案件 2) 屋内において端末からの上り平均 300Mbps を超える超高速通信を可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討 (2019 年度, ATR)

案件 1 は富士スピードウェイにおいて 4.7GHz 帯を用いて、また案件 2 は花園ラグビー場において 28GHz 帯を用いて実施されたものであり、いずれも LOS 環境であることから、障害物の無い圃場で実施する本実証実験とは伝搬環境の面で似通った点を有している。図 5.3-18 に測定環境を、また図 5.3-19 に案件 1 にて取得された距離減衰特性のデータを示す。また案件 2 についても同様に図 5.3-20 に測定環境を、図 5.3-21 に距離減衰特性を示す。両案件とも減衰係数が 2 となる自由空間モデルあるいは 2 波モデルを用いて比較し、良い一致を示していることから、本実証実験での減衰係数もおよそ 2 付近の値になるものと予想される。





(a) 基地局



(b) 移動局



(c) 測定風景(基地局側から撮影)

図 5.3-18 測定環境

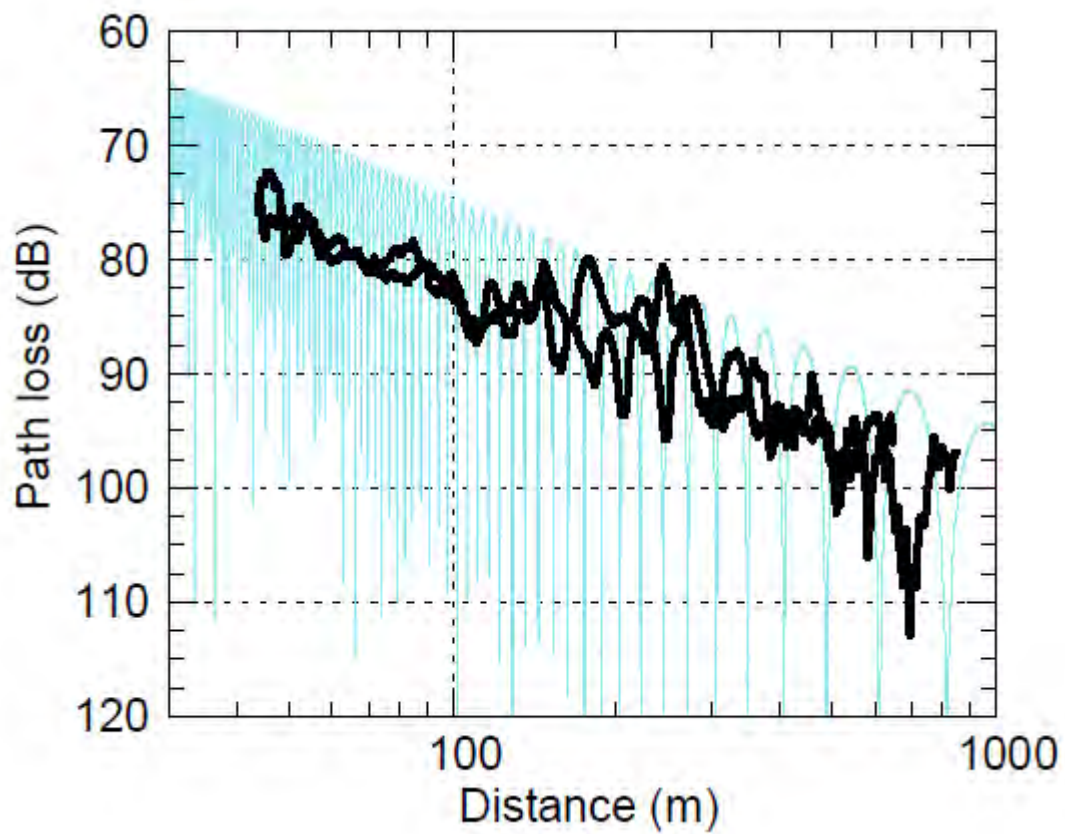


図 5.3-19 距離減衰特性

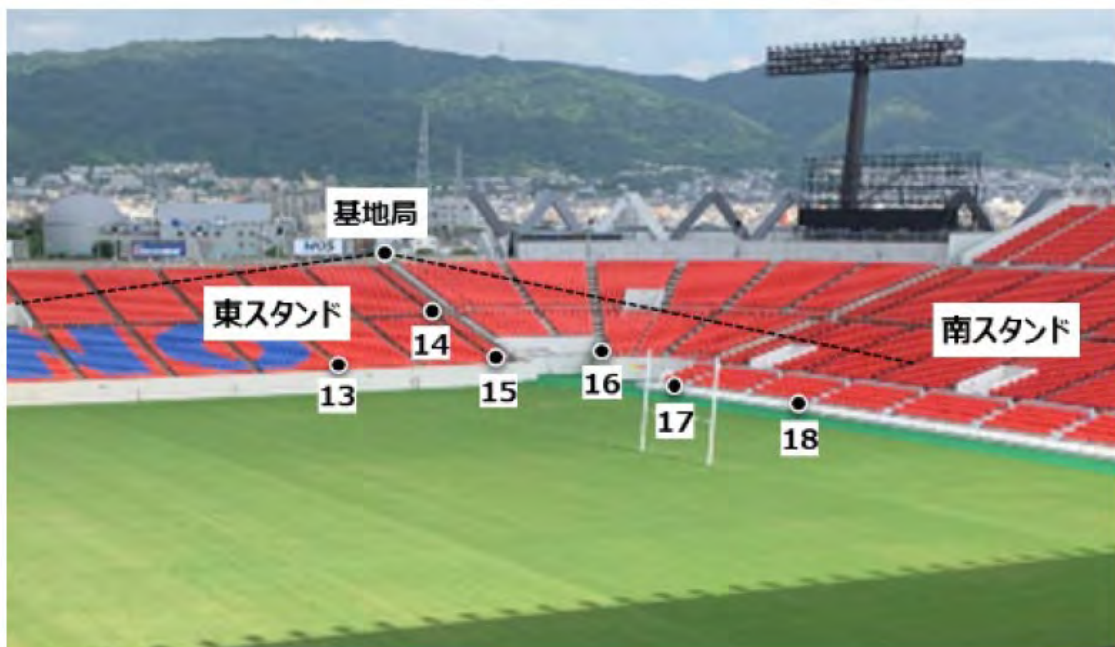


図 5.3-20 測定環境

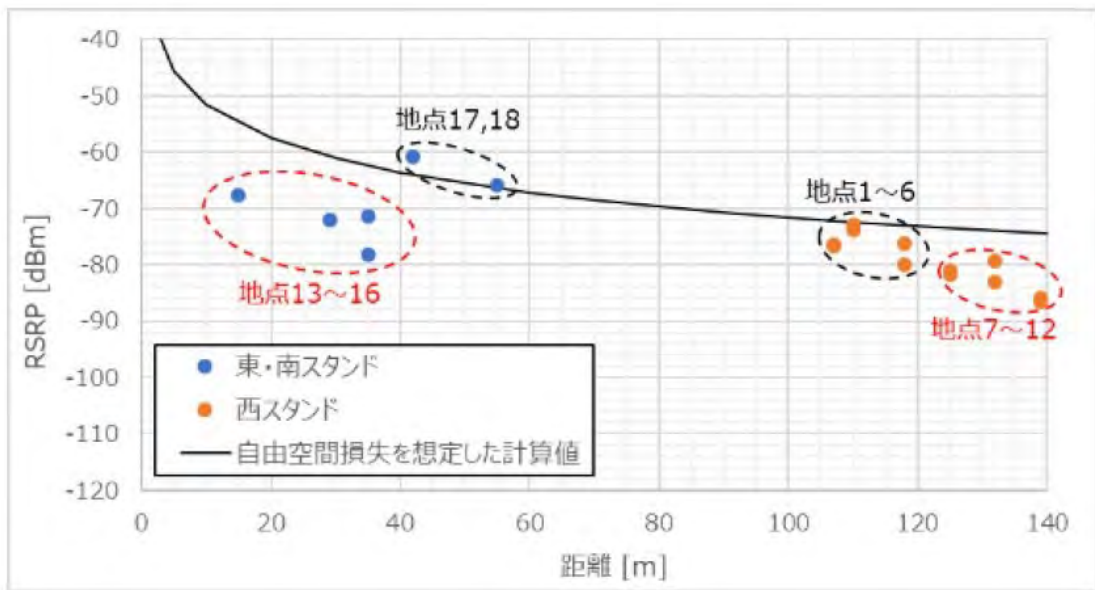


図 5.3-21 距離減衰特性

### 5.3.5 性能評価結果

#### 5.3.5.1 電波伝搬特性の検証（屋外，4.7GHz）

##### (1) 受信電力

各地点において測定したセルごとのRSRP、RSRQ、SIR、RSSIを表5.3.5-1に、地点ごとの受信出力をプロットしたものを図5.3-22に示す。B列については基地局2の方が、D列についてはD1を除いて基地局1の方がRSRPは高くなっており、ビーム正面に近いB、D列については基地局の向きに沿った接続となっている。また図5.3-23に示した基地局のアンテナパターンより半値幅26°、かつ±30°の方向がヌルを向いていることからA、E列はビームの正面から外れていることとおおむね受信電力が低く、特にA1、A2列は反対側の基地局1側の方が受信電力は高くなっていった。また、C列についてはC1、C2はいずれの基地局のビームからも外れているが、C3およびC4については基地局2のビームでカバーされる範囲内であり、比較的良好な受信環境であることがRSRPよりわかる。また基地局間の境界となるC1、C2地点では双方の基地局からの受信電力がほぼ同じとなっていることから、本試験ではアンテナのカバー範囲から外れていることからそもそも通信できない状態ではあるものの、アンテナの水平方向のビーム幅がより大きい場合には干渉となり、仮に基地局が異なる事業者によって運用されている場合を考えると事業者間での調整が必要となる。距離特性を図5.3-24に示す。図中には基地局1および2からの受信電力の実測値と”別紙(16)―1カバーエリア及び調整対象区域の算出法”に従って算出した理論値をプロットした。実測値に関しては基地局2に接続されるB列、D列については、地点B4はビームの正面方向から外れるため、受信電力は地点B3より低くなっているものの、全体的な傾向としては距離が近くなるごとに受信電力が高くなっていた。そして理論値との比較については、大まかな距離減衰特性はよくあっていると言える。また理論値の算出法については12月18日に電波法関係審査基準の関連個所が”伝搬損失Lは自由空間伝搬損失式及び拡張秦式を基礎として算出する”と変更され、元々開放された場所において自由伝搬損失で計算するようになっていたものが変更されている。そこで変更前後のモデル間の差分を調査した結果を図5.3-25に示す。これより新たに採用されたモデルにおいても開放されたエリアにおいて差分は見られないことから、エリア算出法の変更による影響は本実証実験においては無いと言ってよい。

表 5.3.5-1 受信電力測定結果

地点	基地局 1, 2 からの距離(m)	RSRP (dBm) (基地局 2 側)	RSRP (dBm) (基地局 1 側)	RSRQ (dB)	SIR (dB)	RSSI (dBm)
A1	204.4	-115.0	-103.3	-	-	-
A2	166.6	-111.0	-105.9	-	-	-
A3	136.7	-106.2	-108.4	-21.2	-8.6	-100.5
B1	174.3	-108.7	-112.9	-17.8	-5.9	-98.8
B2	127.8	-105.9	-136.2	-11.1	6.5	-86.1
B3	85.3	-95.6	-	-11.3	6.4	-85.0
B4	55.4	-106.6	-112.7	-16.2	-3.8	-98.8
C1	166.8	-114.4	-115.4	-17.7	-5.4	-98.8

C2	117.4	-116.6	-118.8	-20.9	-8.9	-99.9
C3	68.7	-93.4	-	-12.8	2.4	-96.0
C4	22.5	-88.4	-	-12.0	6.8	-91.2
D1	178.3	-104.5	-	-16.1	-3.6	-98.9
D2	133.2	-133.4	-99.0	-10.6	11.8	-80.5
D3	93.2	-120.6	-96.2	-12.1	2.9	-84.9
D4	66.9	-125.4	-91.7	-11.9	6.4	-91.4
E1	200.3	-102.6	-	-16.9	-5.0	-99.1
E2	161.5	-132.8	-105.3	-10.5	13.7	-84.3
E3	130.5	-126.1	-123.1	-15.3	-2.8	-97.4
E4	113.2	-131.0	-125.3	-12.4	2.6	-96.4

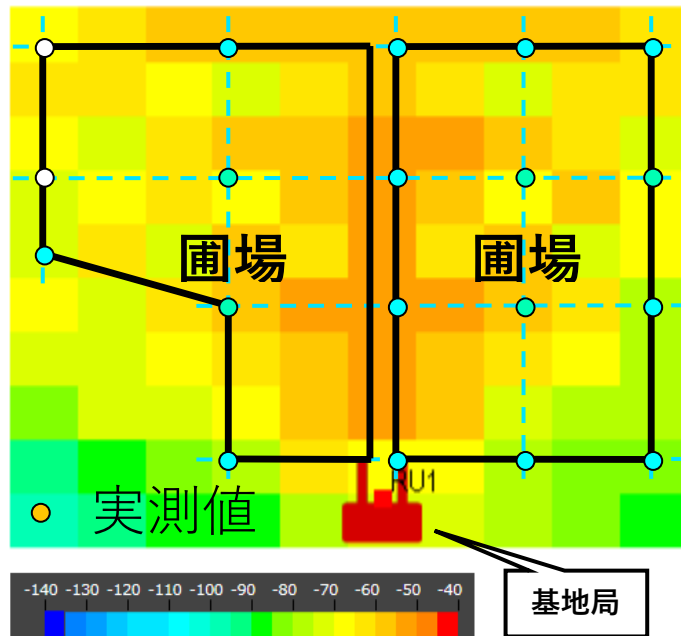


図 5.3-22 受信電力マップ

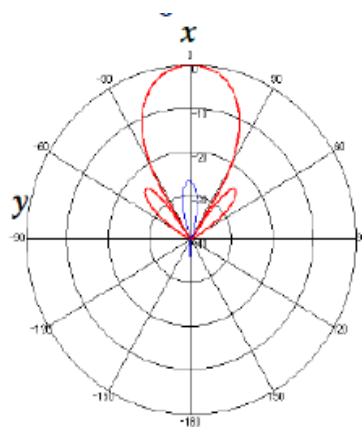


図 5.3-23 水平面アンテナ指向性



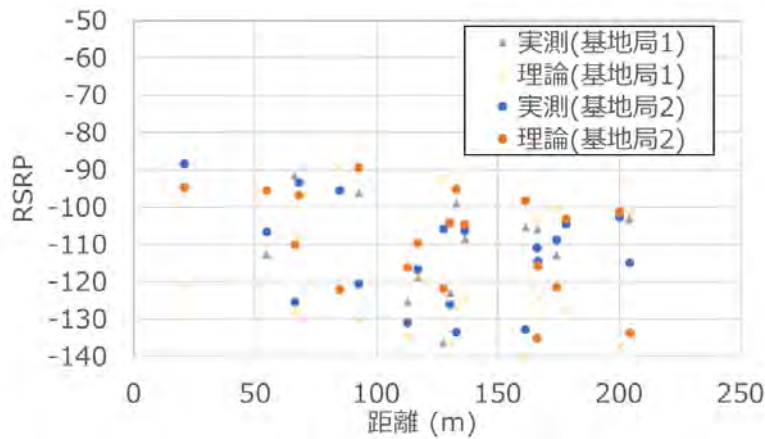


図 5.3-24 距離特性

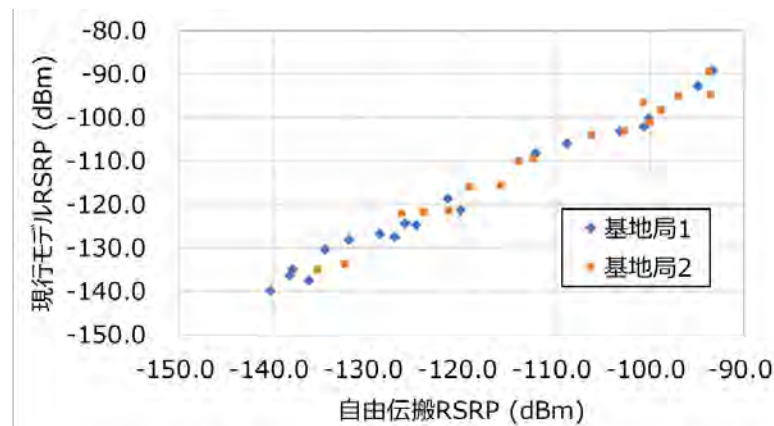


図 5.3-25 モデル比較

(2) 伝送スループット

伝送スループットを表 5.3.5-2 に、地点ごとにマッピングしたものを図 5.3-26～図 5.3-29 に示す。表より受信電力が低いため接続が確立されず、スループットが得られない点が見られる。値が得られた点については、DL が平均値で UDP 166.9 Mbps と 100 Mbps 以上のスループットが得られる結果となった。また、基本的に受信電力の高い地点で良好なスループットが得られる傾向にあり、受信電力の高い B2、B3、C3、C4、D2、D3 では良好なスループットが得られた。

表 5.3.5-2 スループット測定結果

地点	UDP (Mbps)		TCP (Mbps)	
	UL	DL	UL	DL
A1	-	-	-	-
A2	-	-	-	-
A3	9.0	101.7	33.1	18.1

B1	-	-	-	-
B2	10.0	79.3	25.1	22.3
B3	73.6	180.6	51.1	25.1
B4	7.7	75.1	25.3	24.3
C1	-	-	-	-
C2	-	-	-	-
C3	26.8	225.1	51.1	39.2
C4	32.6	245.3	45.2	47.7
D1	-	-	-	-
D2	33.1	202.5	33.4	35.4
D3	47.6	225.3	36.3	14.6
D4	1.3	58.2	7.0	18.0
E1	-	-	-	-
E2	-	-	-	-
E3	-	-	-	-
E4	-	-	-	-
平均	26.9	166.9	37.6	28.3

(UDP UL)

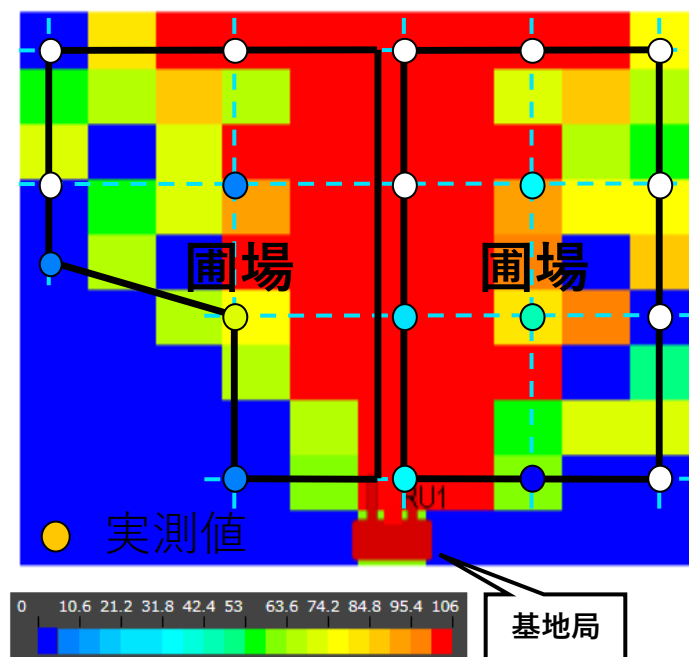


図 5.3-26 伝送スループット (UDP UL)

(UDP DL)

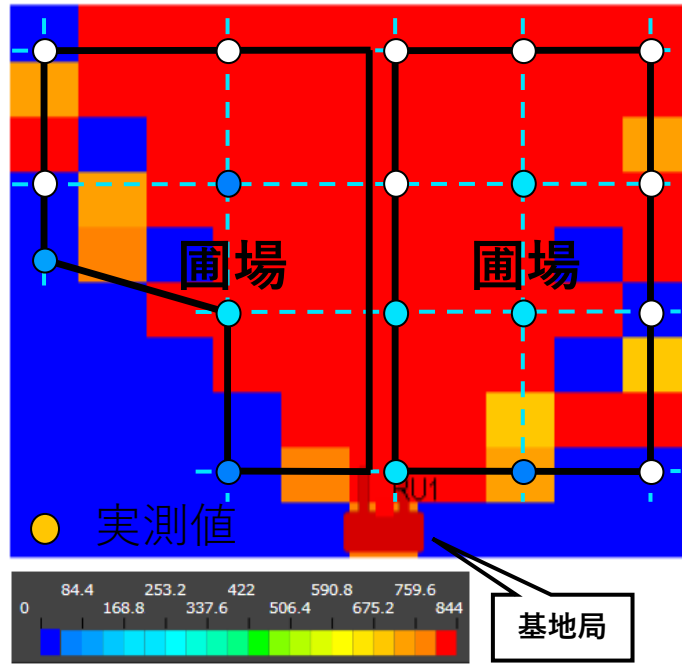


図 5.3-27 伝送スループット (UDP DL)

(TCP UL)

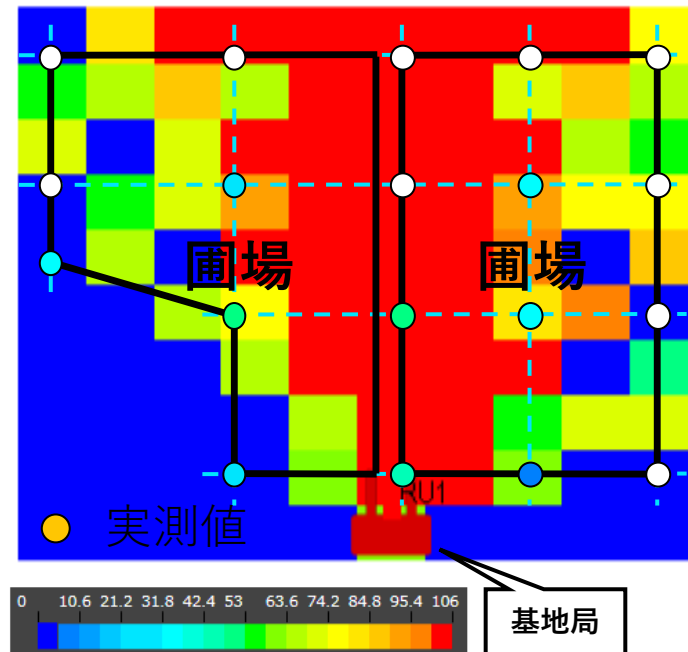


図 5.3-28 伝送スループット (TCP UL)

(TCP DL)

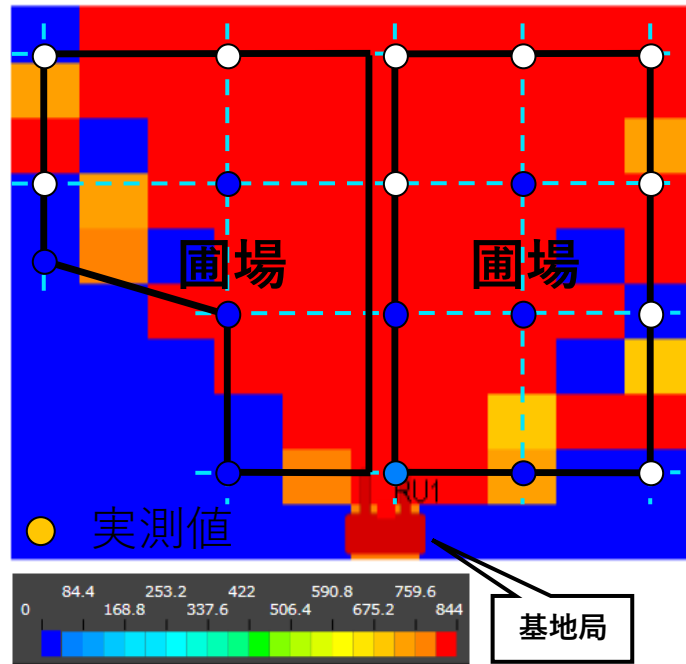


図 5.3-29 伝送スループット (TCP DL)

(3) 伝送遅延

地点	遅延時間 (ms)
A1	-8
A2	-6
A3	66.00ms
B1	-
B2	77.97ms
B3	64.66ms
B4	68.92ms
C1	-
C2	-
C3	55.78ms
C4	62.45ms
D1	-
D2	72.98ms
D3	76.09ms
D4	-

E1	-
E2	-
E3	-
E4	-
平均	68.11ms

### 5.3.5.2 電波伝搬特性の検証（屋外，28GHz）

#### (1) 受信電力

各地点において測定したビーム ID、RSRP、RSRQ、SIR、RSSI を表 5.3.5-1 に、地点ごとの受信出力をプロットしたものを図 5.3-30 に、各地点の位置関係とビーム ID の関係を二次元的に示したものを表 5.3.5-4 に示す。表 5.3.5-4 より測定箇所がアンテナから見た水平方向に A1 から E1 と変わるとビーム ID も 28, 27, 26, 21, 20 と切り替わっており、圃場全体が障害物の無い LOS 環境であることで位置とビーム ID に高い関連性があると言える。また A, B, C, D 列においては、距離が近づくことでアンテナから見た方向も変わることから、ビームも途中で切り替わっている。受信電力値については表 5.3.5-1 より、A 列から D 列についてはおおむね基地局からの距離が離れるほど RSRP が小さくなっていることがわかる。特に C4 地点は基地局から至近距離となることから -80dBm と他の点と比較して非常に高い値となっている。一方 B4 地点については距離がより遠い B3 と比較して若干 RSRP が小さくなっている。これは図 5.3-31 に示した全ビームの包絡線から得られた水平面内の指向性からもわかる通りカバーエリアが  $\pm 60^\circ$  の範囲内であることから、B4 地点が正面から離れていることが影響していると考えられる。同様に E 列についても E1 から E3 と距離が近くなるほど RSRP が逆に小さくなっているが、これも E 列全体が基地局アンテナの指向方向から外れた場所にあり、距離が近づくほどカバーエリアから角度的に外れていくことが影響としているものと考えられる。また表 5.3.5-2 から、E 列のみ測定位置が近づいたにも関わらず同一ビーム ID 20 を使い続けており、ビーム ID 20 より外側をカバーするビームが無いことからその指向方向から外れることで受信品質が劣化していた。図 5.3-32 に距離-RSRP 特性を示す。アンテナ正面から角度的に離れた点において受信電力が下がるものの、基地局正面方向ではおおむね距離とともに受信電力が下がる傾向が見えた。



表 5.3.5-3 受信電力測定結果

地点	Beam ID	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SIR (dB)	RSSI (dBm)
A1	28	-100.1	-10.7	9.4	-81.2
A2	29	-101.4	-10.8	9.6	-81.7
A3	29	-93.9	-10.7	9.5	-79.0
B1	27	-101.8	-10.4	11.2	-80.3
B2	27	-98.0	-10.3	14.0	-73.7
B3	28	-93.2	-10.2	15.4	-72.5
B4	13	-97.1	-10.6	9.8	-78.7
C1	26	-102.3	-10.5	9.9	-81.7
C2	26	-99.6	-10.2	15.0	-77.7
C3	21	-95.7	-10.3	17.2	-74.3
C4	4	-80.9	-10.4	16.2	-72.4
D1	21	-103.0	-10.2	15.6	-77.6
D2	21	-103.7	-10.2	18.5	-74.0
D3	20	-98.9	-10.2	18.4	-74.1
D4	4	-105.7	-13.2	0.3	-91.7
E1	20	-104.6	-10.2	14.7	-79.1
E2	20	-106.3	-10.3	15.6	-77.3
E3	20	-107.1	-11.0	6.4	-87.1
E4	13	-117.7	-15.0	-2.6	-90.6

表 5.3.5-4 受信電力測定結果

地点	A	B	C	D	E
1	28	27	26	21	20
2	29	27	26	21	20
3	29	28	21	20	20
4		13	4	4	13

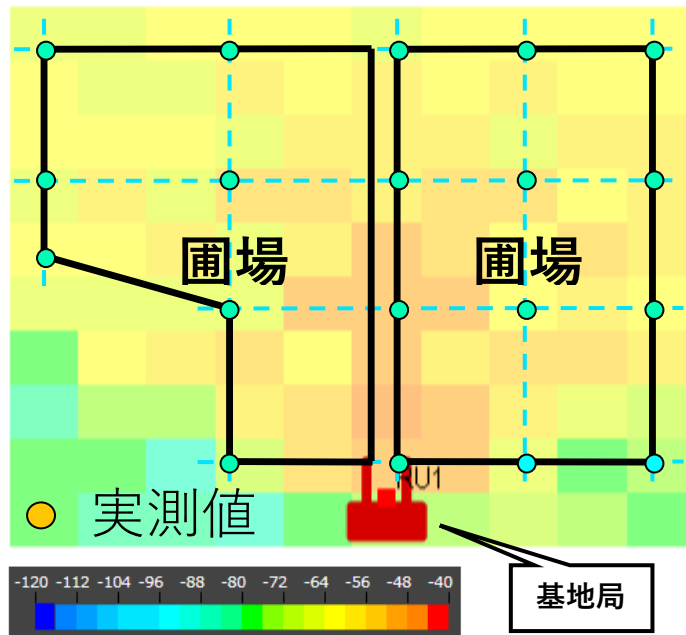


図 5.3-30 受信電力マップ

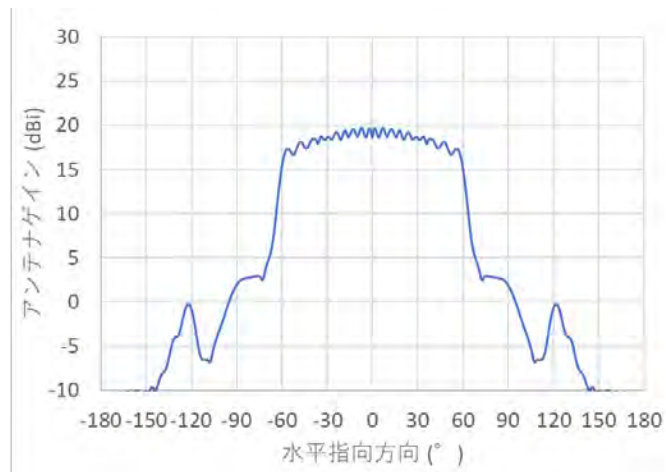


図 5.3-31 水平面アンテナ指向性

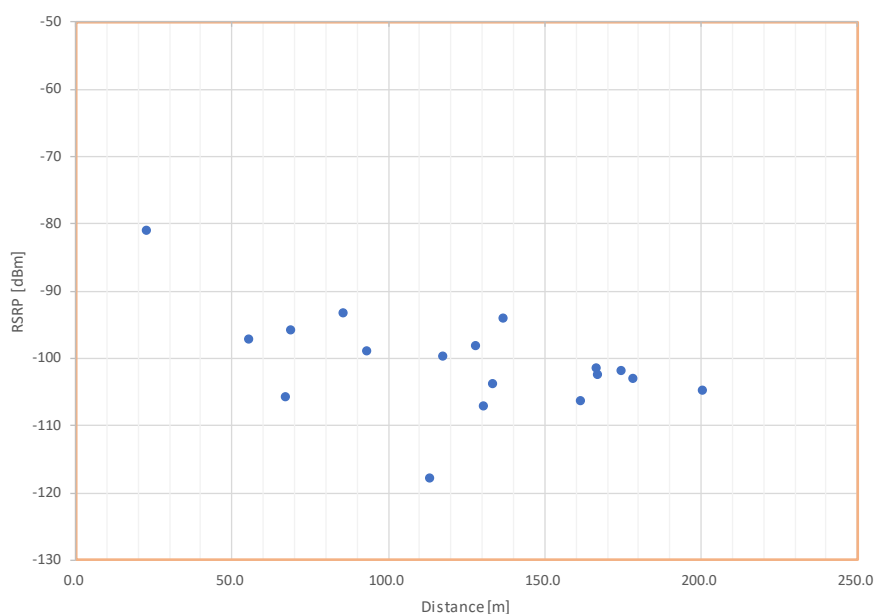


図 5.3-32 距離 - RSRP 特性

(2) 伝送スループット

伝送スループットを表 5.3.5-5 に、地点ごとにマッピングしたものを図 5.3-33～図 5.3-36 に示す。DL については平均値で UDP 103.9 Mbps, TCP 413.2 Mbps と 100 Mbps 以上のスループットが得られる結果となった。また、値が空欄になっている D4, E3, E4 は通信が確立されなかった点であるが、表 5.3.5-3 に示す通りそれぞれ RSRP が -105.7dBm、-107.1dBm、-117.7dBm と低いことから、通信に必要な受信信号レベルが得られていない地点であると言える。また図 5.3-37 に示した各地点の RSRP とスループットの関係からも、他セルからの干渉の無い本検証環境では受信電力が高いほどスループットが高い傾向にあることが分かった。

表 5.3.5-5 スループット測定結果

地点	UDP (Mbps)		TCP (Mbps)	
	UL	DL	UL	DL
A1	39.2	128.8	39.0	443.5
A2	25.2	130.3	21.0	352.0
A3	47.3	123.9	46.5	509.5
B1	27.5	112.1	25.9	370.9
B2	36.5	118.0	36.0	448.6
B3	55.1	123.2	64.5	511.8
B4	17.5	128.0	15.5	367.2

C1	30.8	130.1	30.0	415.9
C2	37.9	131.1	38.2	463.5
C3	39.1	126.6	39.0	464.7
C4	63.1	63.9	77.4	510.9
D1	27.7	74.3	32.2	370.5
D2	14.0	74.4	15.2	237.4
D3	35.9	64.3	35.7	463.1
D4	-	-	-	-
E1	29.7	66.5	29.5	386.6
E2	9.1	67.2	8.6	295.2
E3	-	-	-	-
E4	-	-	-	-
平均	33.5	103.9	34.6	413.2

(UDP UL)

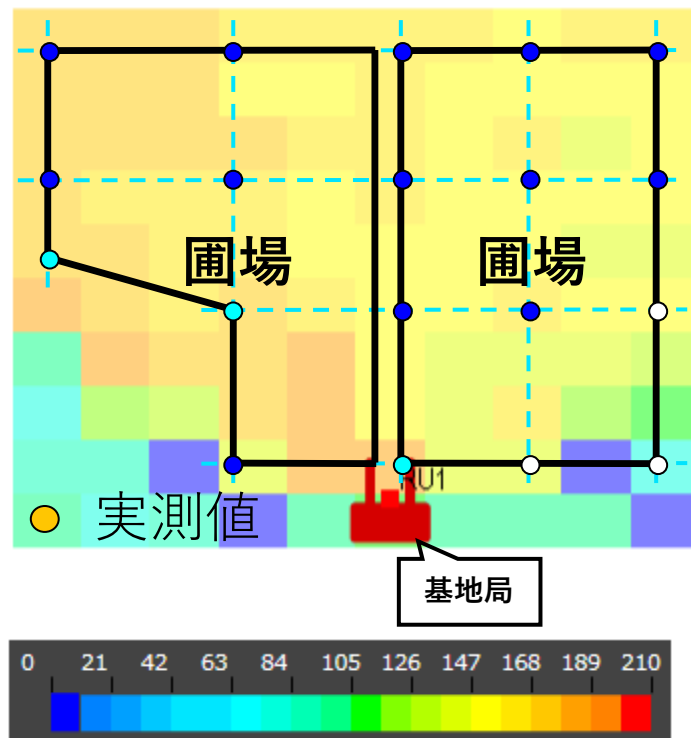


図 5.3-33 伝送スループット (UDP DL)

(UDP DL)

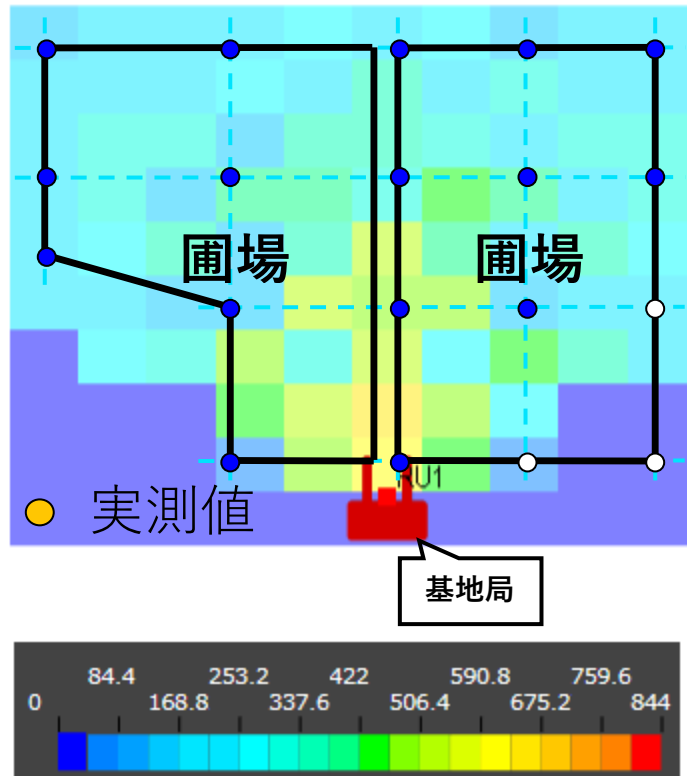


図 5.3-34 伝送スループット (UDP DL)

(TCP UL)

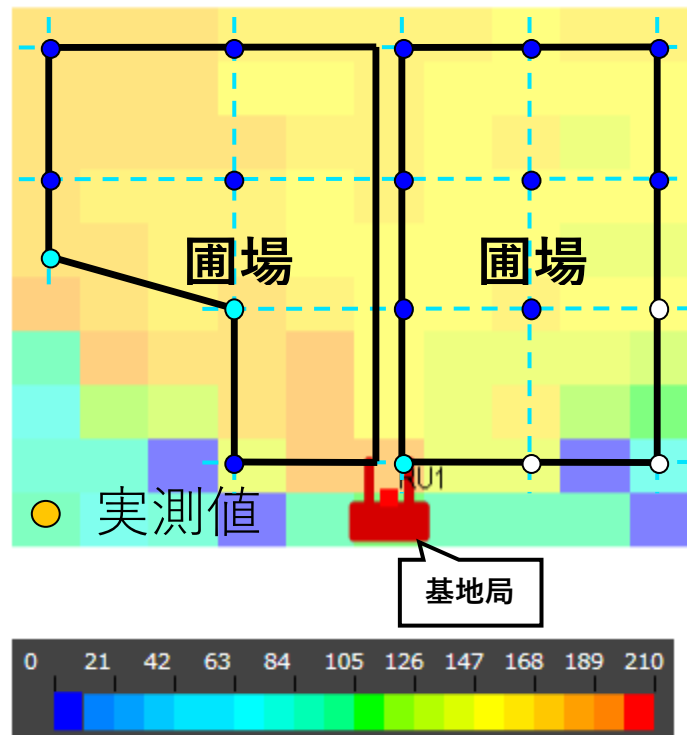


図 5.3-35 伝送スループット (TCP UL)



(TCP DL)

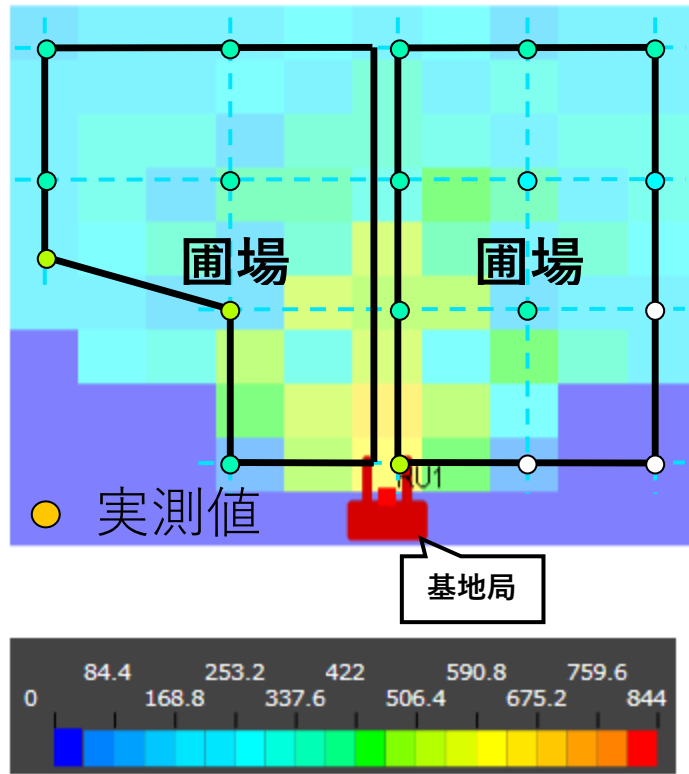


図 5.3-36 伝送スループット(TCP DL)

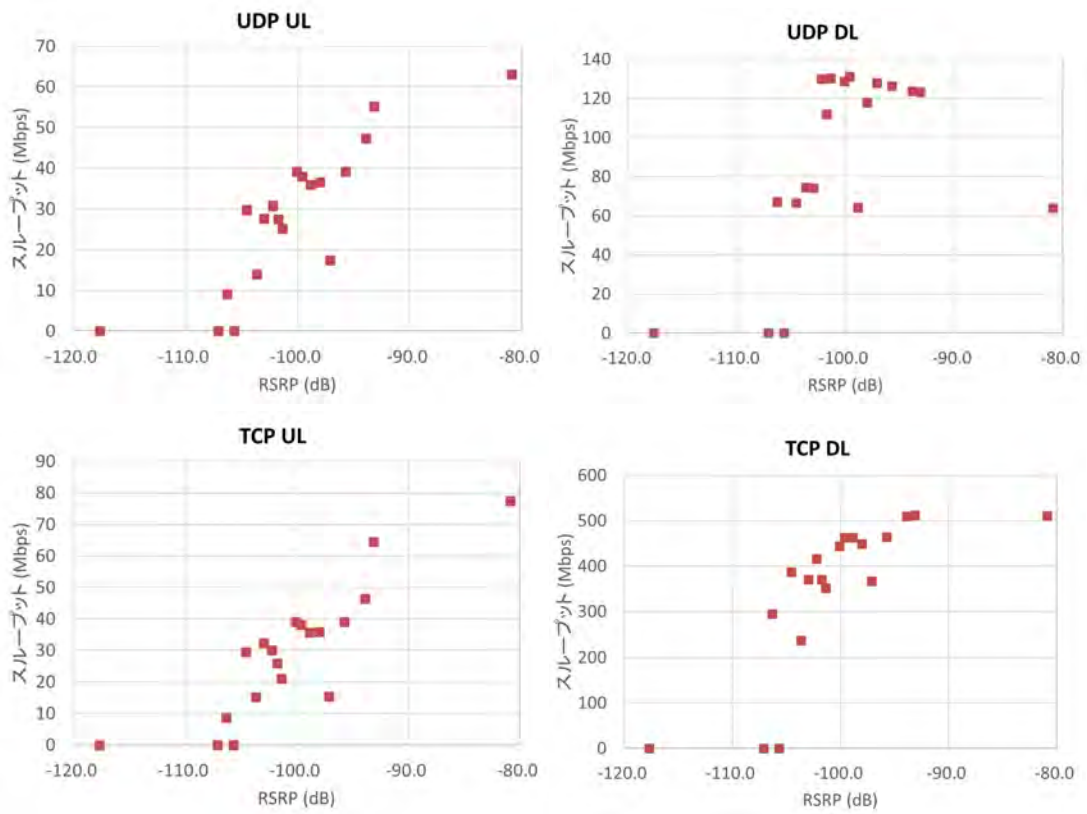


図 5.3-37 RSRP - スループット特性

### (3) 伝送遅延

伝送遅延時間を測定した結果を表 5.3.5-6 に、地図上にプロットしたものを図 5.3-38 に示す。伝送遅延時間については通信が確立されなかった D4、E3、E4 を除いてどの地点もおおむね 3msec 程度となっており、受信品質には大きく影響されないものと言える。

表 5.3.5-6 伝送遅延測定結果

地点	伝送遅延時間 (ms)
A1	2.8
A2	2.6
A3	3.0
B1	2.8
B2	3.0
B3	3.4
B4	2.7
C1	3.0
C2	3.2
C3	3.2
C4	3.2
D1	2.8
D2	2.8
D3	3.3
D4	-
E1	2.9
E2	2.5
E3	-
E4	-
平均	3.0

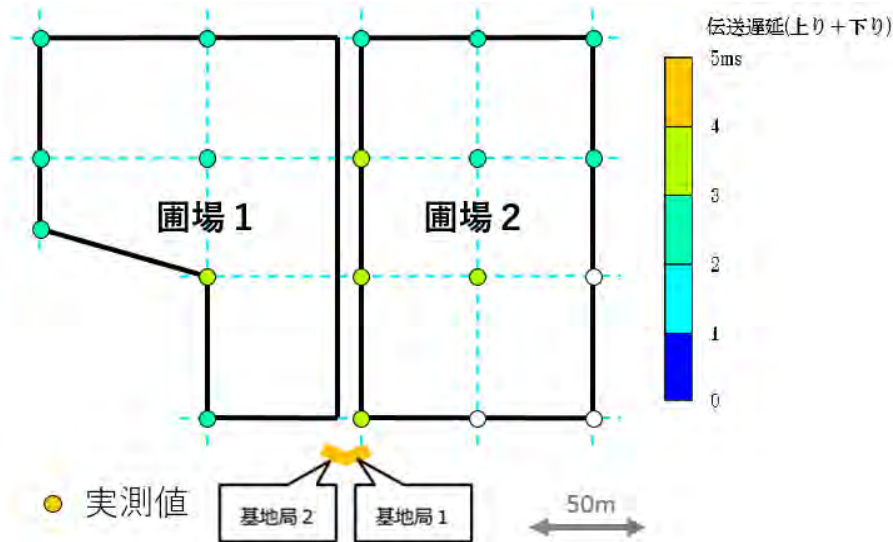


図 5.3-38 伝送遅延時間マップ

### 5.3.5.3 電波伝搬特性の検証（屋内）

以下ポイントにおいて、電波測定を実施した。

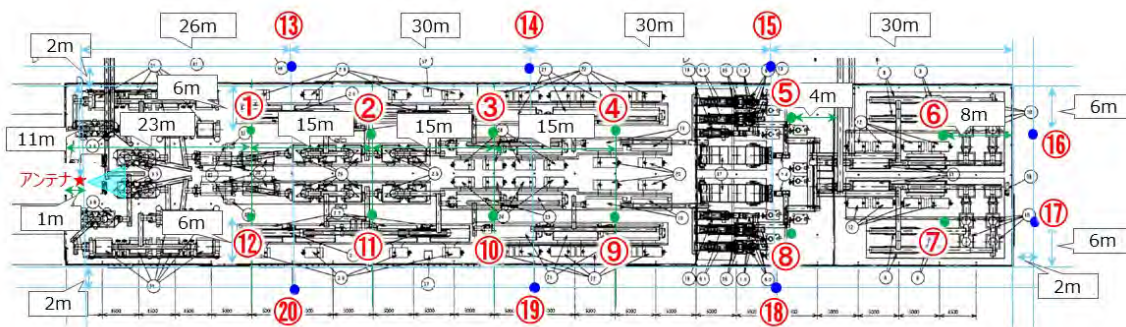


図 5.3-39 屋内測定ポイント

#### (1) 受信電力

図 5.3-39 示す各地点において測定した RSRP、RSRQ、SIR、RSSI の結果を表 5.3.5-7 に、各地点の位置関係と RSRP 値の関係を二次元的に示したものを図 5.3-40 に示す。測定ポイント⑯、⑰は、電波が検出されなかった。シミュレータは、RSSI を表示するため、RSSI 値での比較を行った。屋内に関してはシミュレーションの方が多少高く出るもの概ね想定通りの結果となった。屋外への漏洩に関しては、実測値がシミュレーション値よりも高い傾向にあった。壁の素材の透過率の設定による減衰の影響による差分であると分析している。距離と受信電力の関係は、おおむね距離とともに受信電力が下がる傾向が見えている。遅延プロファイルに関しては、工場内の①～③、⑩～⑫のポイントで、測定を行った。写真はアンテナの方向を示している。どのポイントもアンテナに対して見通しが無い状態であり、⑪のポイント以外では、マルチパスは見られなかった。設置した機材が大きく、凹凸が多いためだと想定される。

表 5.3.5-7 受信電力測定結果

地点	基地局からの 距離 (m)	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SIR (dB)	RSSI (dBm)
1	23.5m	-96.0 dBm	-9.5 dB	20.7 dB	-73.6 dBm
2	37.9m	-92.1 dBm	-10.3 dB	21.2 dB	-68.7 dBm
3	52.6m	-102.2 dBm	-11.5 dB	18.2 dB	-77.7 dBm
4	67.5m	-110.9 dBm	-11.7 dB	12.5 dB	-86.3 dBm
5	90.4m	-124.5 dBm	-13.8 dB	-0.5 dB	-97.7 dBm
6	108.3m	-128.0 dBm	-18.0 dB	-3.5 dB	-97.1 dBm
7	108.3m	-125.1 dBm	-13.4 dB	-1.0 dB	-98.6 dBm
8	90.4m	-125.7 dBm	-14.8 dB	-1.5 dB	-98.0 dBm
9	67.5m	-115.2 dBm	-11.8 dB	8.6 dB	-90.5 dBm
10	52.6m	-103.4 dBm	-10.0 dB	17.9 dB	-80.4 dBm
11	37.9m	-104.6 dBm	-14.1 dB	16.7 dB	-77.6 dBm
12	23.5m	-96.1 dBm	-10.3 dB	20.4 dB	-72.9 dBm
13	29.8m	-116.0 dBm	-13.8 dB	7.9 dB	-89.2 dBm
14	57.9m	-127.9 dBm	-16.6 dB	-3.7 dB	-98.4 dBm
15	87.2m	-127.2 dBm	-16.1 dB	-2.7 dB	-98.1 dBm
16	118.3m	-	-	-	-
17	118.3m	-	-	-	-
18	87.2m	-130.8 dBm	-18.5 dB	-6.2 dB	-99.3 dBm
19	57.9m	-127.5 dBm	-16.2 dB	-3.1 dB	-98.2 dBm
20	29.8m	-113.5 dBm	-10.9 dB	10.5 dB	-89.6 dBm

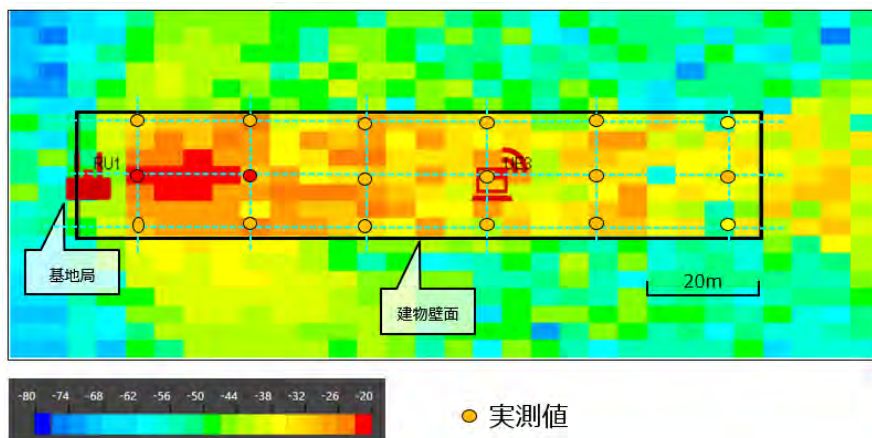


図 5.3-40 受信電力マップ

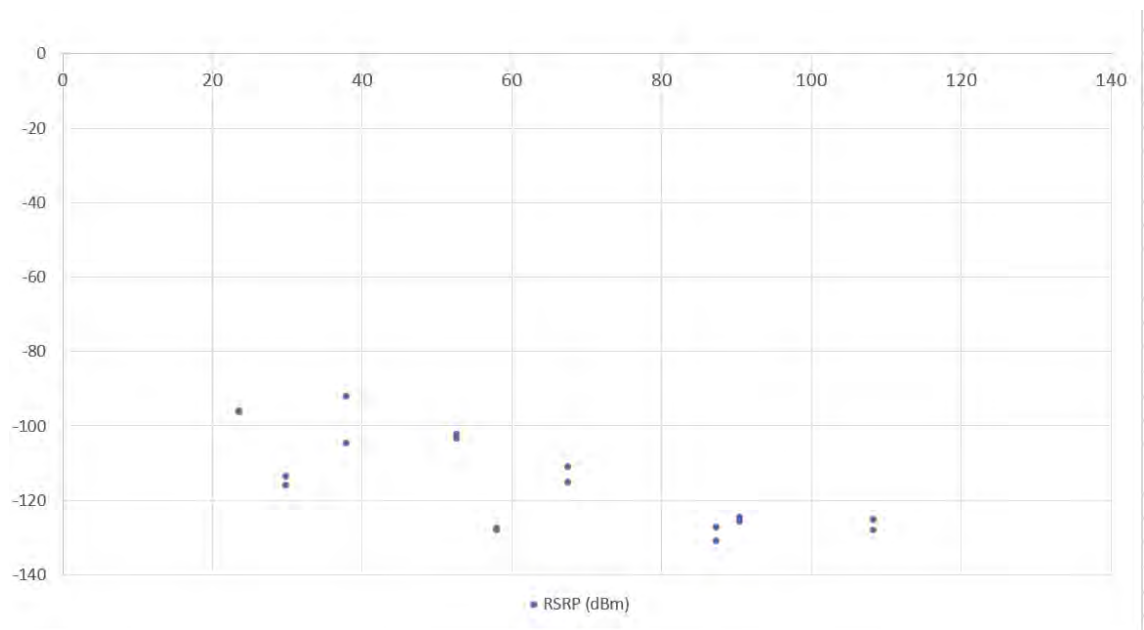


図 5.3-41 距離減衰 - RSRP 特性

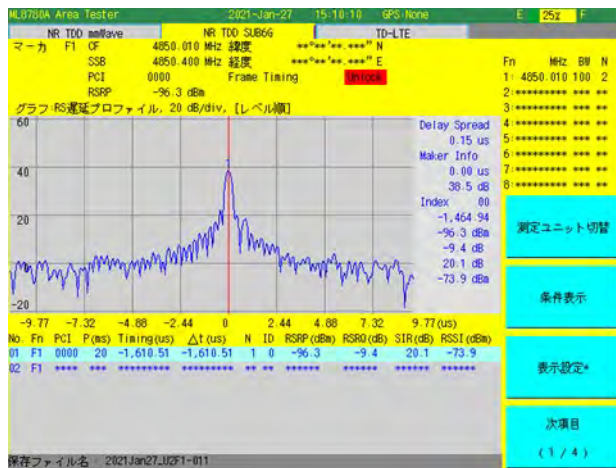


図 5.3-42 ポイント1 遅延プロファイル

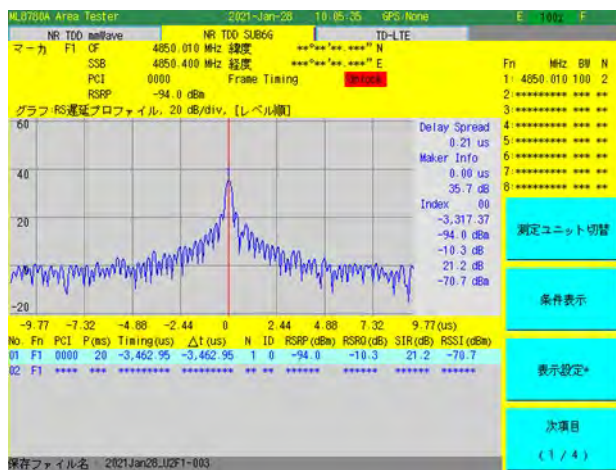




図 5.3-43 ポイント 2 遅延プロファイル

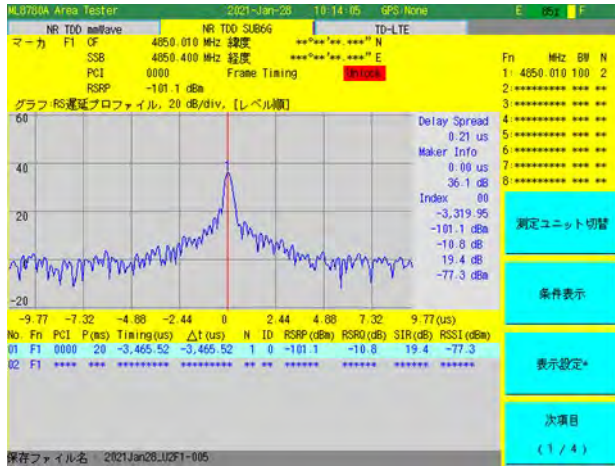


図 5.3-44 ポイント 3 遅延プロファイル

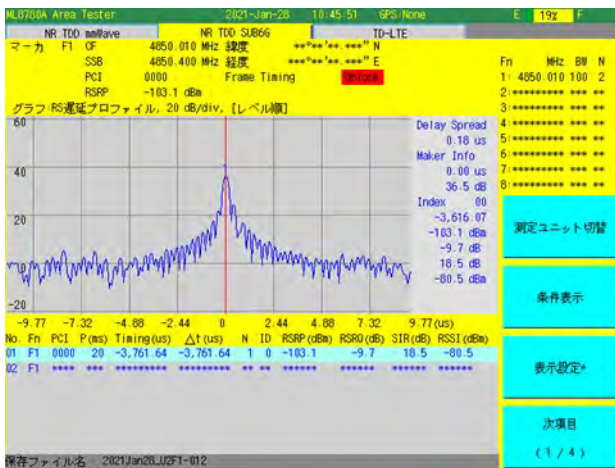


図 5.3-45 ポイント 10 遅延プロファイル

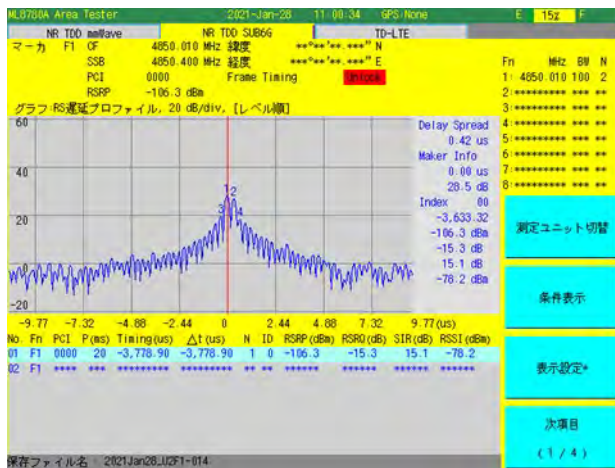


図 5.3-46 ポイント 11 遅延プロファイル

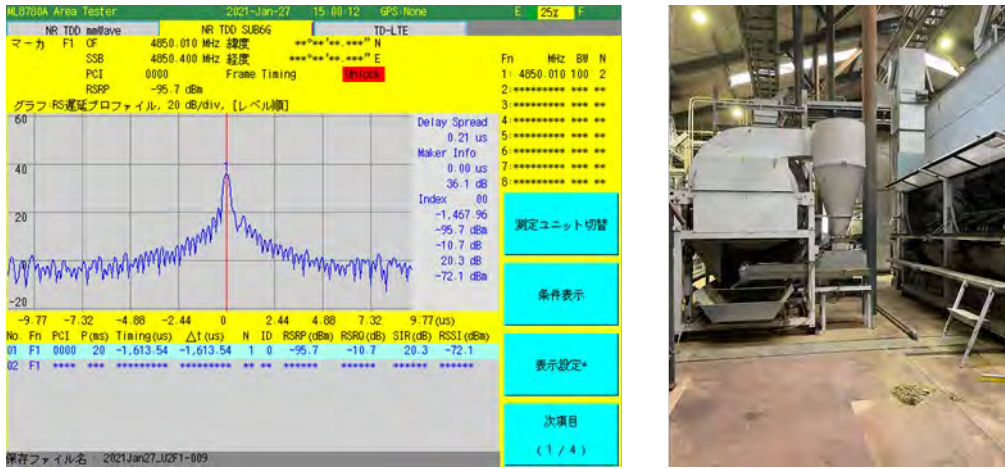


図 5.3-47 ポイント 12 遅延プロファイル

(2) 伝送スループット

伝送スループットを表 5.3.5-8 に、地点ごとにマッピングしたものを図 5.3-48 に示す。これよりアンテナから距離が遠いことで受信電力の低い地点 6, 7, 8 ではスループットが得られない結果であった。また、屋外である地点 14, 15, 16, 17, 18, 19 にてスループットが得られていない一方で、屋外にありながらも距離が比較的近い地点 13 および 20 ではスループットが得られていることから、壁面などで遮蔽されている場合においても距離次第で通信可能となることが示されている。アンテナ近くでは、必要なスループット UL50Mbps が確保できているが、工場の半分あたりで、スループットが未達となる。工場をカバーするためには、複数台の RU が必要となることが分かった。ポイント 6~8, 14~19 では通信が確立せずに、スループットの測定ができなかった表 5.3.5-7 に示す通り、RSRP が、-130dBm 前後と低いことから、通信に必要な受信信号レベルが得られていない地点であると言える。

表 5.3.5-8 スループット測定結果

地点	UDP		TCP	
	UL	DL	UL	DL
1	53.81 Mbps	93.20 Mbps	16.38 Mbps	33.14 Mbps
2	57.79 Mbps	88.70 Mbps	10.82 Mbps	15.51 Mbps
3	67.44 Mbps	84.73 Mbps	13.05 Mbps	12.11 Mbps
4	11.27 Mbps	83.12 Mbps	8.74 Mbps	0.96 Mbps
5	19.91 Mbps	13.51 Mbps	11.26 Mbps	3.61 Mbps
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	15.86 Mbps	77.13 Mbps	13.62 Mbps	0.68 Mbps
10	23.31 Mbps	13.56 Mbps	8.92 Mbps	0.98 Mbps

11	59.04 Mbps	13.50 Mbps	11.81 Mbps	5.10 Mbps
12	16.73 Mbps	86.05 Mbps	13.05 Mbps	6.91 Mbps
13	18.25 Mbps	0.00 Mbps	10.47 Mbps	0.84 Mbps
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	9.71 Mbps	-	7.35 Mbps	0.84 Mbps
平均	32.1 Mbps	62 Mbps	11.4 Mbps	7.33Mbps

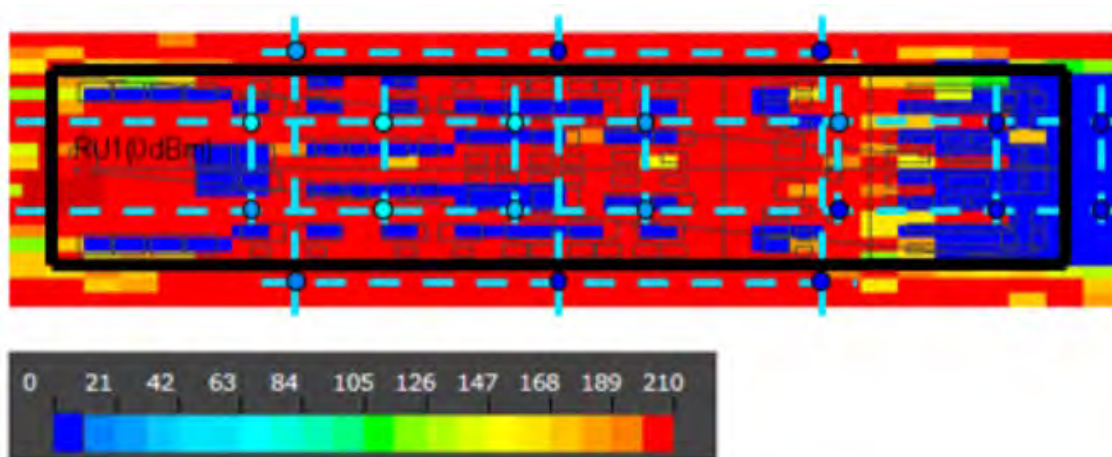


図 5.3-48 上りスループットマップ

(3) 伝送遅延

屋内の遅延は、50~60ms と大きな値となっている。無線品質の悪化により、無線レイヤーの再送が発生したことで、遅延が大きくなったと想定している。

表 5.3.5-9 伝送遅延測定結果

地点	遅延時間 (ms)
1	54.376 ms
2	54.465 ms
3	46.487 ms
4	62.792 ms
5	40.437 ms
6	-
7	111.739 ms

8	47.309 ms
9	52.847 ms
10	62.415 ms
11	43.200 ms
12	53.554 ms
13	53.294 ms
14	-
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	60.868 ms

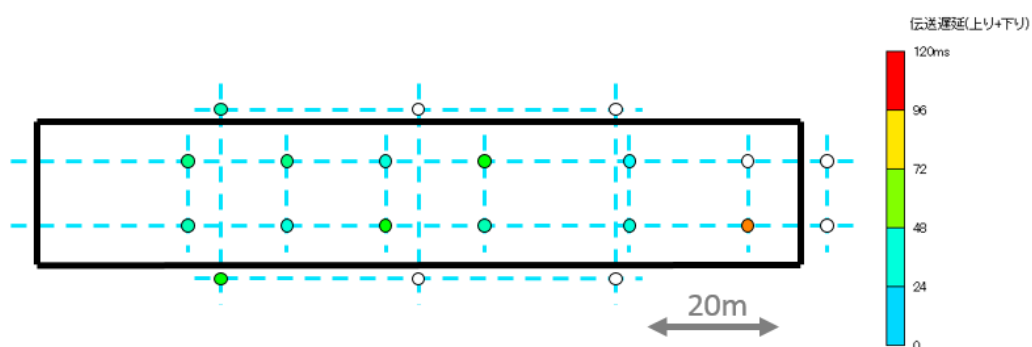


図 5.3-49 伝送遅延時間マップ

#### 5.3.5.4 様々な帯域幅でのローカル 5G の性能評価

##### (1) 受信電力

測定点における受信電力特性の結果を表 5.3.5-10 に示す。RSRP および SIR とともに受信環境としては問題ない地点であった。

表 5.3.5-10 受信電力測定結果

RSRQ	SIR	RSSI
-10.4 dBm	15.8 dBm	-69.6 dBm

##### (2) 伝送スループット

測定地点での伝送スループットを表 5.3.5-11 に示す。UDP、TCP とともに UL を見るとお

およそ割当帯域が小さくなるに従ってスループットも低下しており、想定通りの結果といえる。

表 5.3.5-11 スループット特性

帯域	UDP		TCP	
	UL	DL	UL	DL
80 MHz	59.05 Mbps	34.99 Mbps	62.62 Mbps	33.19 Mbps
60 MHz	37.04 Mbps	34.99 Mbps	52.57 Mbps	32.54 Mbps
40 MHz	13.03 Mbps	35.00 Mbps	29.49 Mbps	28.78 Mbps
20 MHz	4.09 Mbps	34.99 Mbps	19.19 Mbps	26.18 Mbps

(3) 伝送遅延

伝送遅延時間を測定した結果を表 5.3.5-12 に示す。全帯域においておおむね 40msec 程度と帯域幅に依存しないことが分かった。

表 5.3.5-12 伝送遅延測定結果

	80MHz	60MHz	40MHz	20MHz
伝送遅延 (ms)	40.5	40.9	42.5	40.1

(4) 映像伝送品質

表 5.3.5-13 に映像伝送品質の評価結果を示す。表より映像伝送装置を用いた場合には 20MHz を除いて 40M 以上の帯域幅では大きく品質が向上してはいないこと、また NW カメラにおいては 20MHz 帯域幅で若干の映像品質劣化が見られるものの、全帯域で大差がないことが示されており、必要以上の帯域幅の割当は不要であることが示されている。

表 5.3.5-13 映像伝送品質評価結果

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

5.3.5.5 見通し外となる無線区間における性能評価 (4.7GHz)

(1) 受信電力

図 5.3-50 に遮蔽となるトラックおよび摘採機を配置した際の受信電力マップを示す。これよりトラックの陰から出た際と、摘採機の陰に隠れる瞬間において受信電力の低下がみられた。ただ後述する通り、瞬断の生じるような低下ではないことから、トラックや摘採機程度の遮蔽であれば通信の瞬断についてはさほど影響がないと考えられる。





図 5.3-50 受信電力マップ

(2) 無線リンク切断状況

無線リンク切断状況については前述した通り、遮蔽物の影響がさほど大きくないため、無線リンクが切断される(Radio Link Failure 発生)ことは無かった。

(3) 映像伝送品質

映像伝送品質について測定した点を受信電力とともに示したものを図 5.3-51 に、結果を表 5.3.5-14 および表 5.3.5-15 に示す。品質指標値は SA 無線品質良好ポイントと図 5.3-51 に示された場所での品質を 5 とした時の映像品質の良さを 5 段階で示したもので、受信電力が低くなっている点において、映像品質が劣化している様子が見て取れた。

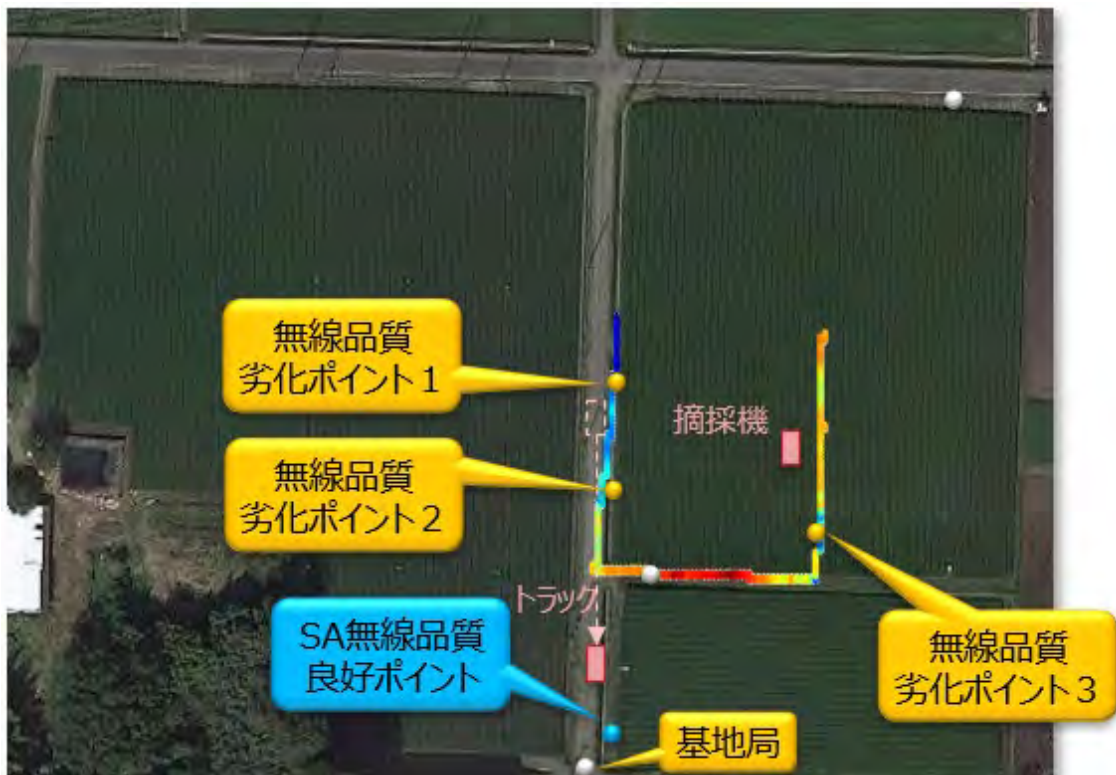


図 5.3-51 映像伝送品質測定ポイント

表 5.3.5-14 NW カメラを用いた場合の映像伝送品質

地点	映像伝送品質
無線品質劣化ポイント 1	3.1
無線品質劣化ポイント 2	3.0
無線品質劣化ポイント 3	2.4

表 5.3.5-15 映像伝送装置カメラを用いた場合の映像伝送品質

地点	映像伝送品質
無線品質劣化ポイント 1	2.6
無線品質劣化ポイント 2	3.0
無線品質劣化ポイント 3	2.4

### 5.3.5.6 見通し外となる無線区間における性能評価 (28GHz)

#### (1) 受信電力

図 5.3-52 に遮蔽となるトラックおよび摘採機を配置した際の受信電力マップを示す。これより摘採機の陰に隠れる瞬間において広域での受信電力の低下がみられた。またトラックの後方で若干受信電力の劣化が見られ、トラックによる影響が表れている。瞬断の生じるような低下ではないことから、トラックや摘採機程度の遮蔽であれば4.7GHzの場合と同様、28GHzにおいても通信の瞬断についてはさほど影響がないと考えられる。

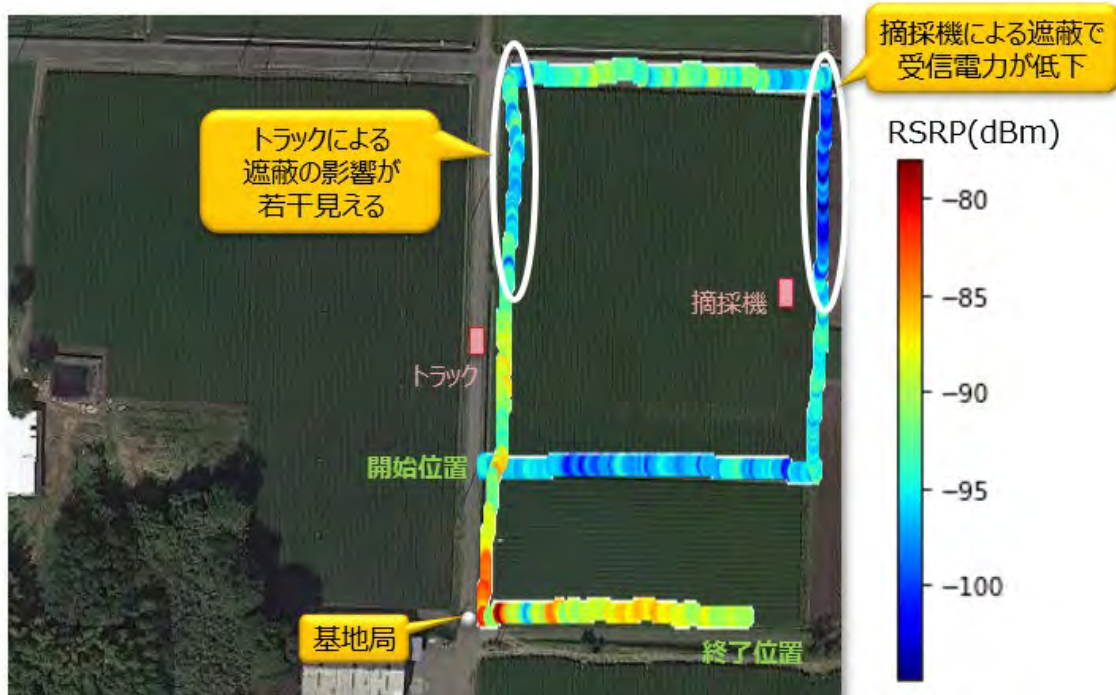


図 5.3-52 受信電力マップ

#### (2) 無線リンク切断状況

無線リンク切断状況については前述した通り、遮蔽物の影響がさほど大きくないため、無線リンクが切断される(Radio Link Failure 発生)ことは無かった。

#### (3) 映像伝送品質

映像伝送品質について測定した点を受信電力とともに示したものを図 5.3-53 に、結果を表 5.3.5-16 および表 5.3.5-17 に示す。品質指標値はSA 無線品質良好ポイントと図表 5.3-37 に示された場所での品質を 5 とした時の映像品質の良さを 5 段階で示したもので、受信電力が低くなっている点において映像品質が劣化している様子が見て取れた。

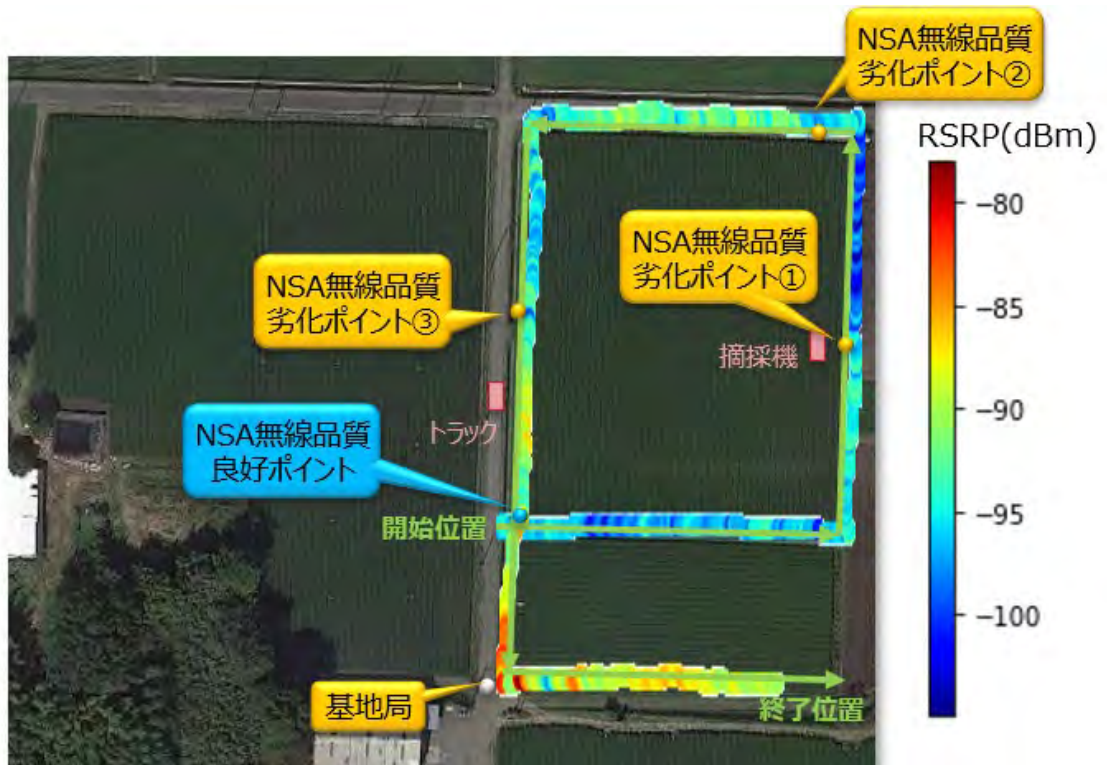


図 5.3-53 映像伝送品質測定ポイント

表 5.3.5-16 NW カメラを用いた場合の映像伝送品質

地点	映像伝送品質
無線品質劣化ポイント 1	2.8
無線品質劣化ポイント 2	3.8
無線品質劣化ポイント 3	2.3

表 5.3.5-17 映像伝送装置カメラを用いた場合の映像伝送品質

地点	映像伝送品質
無線品質劣化ポイント 1	3.8
無線品質劣化ポイント 2	1.7
無線品質劣化ポイント 3	3.8

### 5.3.6 技術的課題の解決方策

#### 5.3.6.1 事業者間干渉の制御

5.3.5.1 および5.3.5.2 の電波伝搬特性の検証において、事業者の異なる比較的小規模な敷地が隣接している環境における干渉の影響を概略評価することができた。その結果、4.7GHz システムにおいては、適応ビームフォーミングは適用せずに比較的半値幅の小さい固定ビームでの送受信で評価した結果であるが、敷地の境界付近において大きな干渉が発生することがわかった。適応ビームフォーミングを適用した場合には、端末の位置によっては今回評価した固定ビーム設定よりも与干渉側のビームが被干渉側の敷地方向に向く可能性があるため、更に大きな干渉を隣接側に与える可能性があると考えられる。一方、28GHz システムでは適応ビームフォーミングを適用して評価を行ったが、敷地の境界付近において大きな干渉が発生する可能性があることがわかった。

このような事業者相互で大きな干渉が生じるという課題に対しては、事業者間で無線リソースを分割して割り当てる方策が有効と考えられる。以下の2つの方策を検討する。

- (1) 4.7GHz システム：周波数帯域を重複しないように分割し、事業者に割り当てる。
- (2) 28GHz システム：ビームフォーミングのビームを各事業者のサービスエリアに合うように限定する。

#### 5.3.6.2 共通の運用事業者による共用基地局による運用

上記の事業者間リソース制御は、運用事業者を共通化することで制御が容易になると考えられる。その実現性検証のため、4.7GHz システムにおいて共用基地局を用いた事業者間での周波数帯域分割割り当て運用を行い、そのメリットや課題の検証を行う必要がある。



#### 5.4 ローカル 5G のエリア構築やシステム構成の検証等

圃場が隣接する事業者間において同一周波数帯を用いて運用を行うと、相互干渉の影響によりスループットが大きく低下することが想定される。本章では、このような相互干渉の影響が想定される事業者間において、それぞれの事業者が利用可能な無線リソース（免許取得帯域、および設定可能ビーム方向）を分割したうえで、互いに異なる無線リソースを割り当てることにより干渉の影響を回避する方策について検証し、その有効性の確認を行う（検証①）。この場合の運用形態としては、各事業者が割り当てられた分割リソースを用いて、個別に基地局を設置（エリア構築）する形を想定している。

一方、複数の事業者の圃場が隣接しているような環境では、これら圃場の事業者とは異なる共通の運用事業者が各圃場事業者（または農協等の共同運営組織）からの業務委託を受け、圃場間で共用可能な単一の周波数免許を取得して上記の圃場事業者間リソース割り当ても含めた一括運用を行うシステム構成、運用形態が考えられる。このようなシステム構成、運用形態を採用することにより、個別の圃場事業者が行わなければならない上記のリソース割り当てに関する合意形成のための調整業務を運用事業者に委託することが出来るため、運用の作業工数を削減することが出来る利点がある。そこで検証②では、複数の隣接する圃場において共用基地局（周波数も圃場事業者で共用）を用いてエリア構築を行う場合において、上記の分割リソース割り当てを行うことにより干渉の影響を回避する方策について検証し、その有効性の確認を行う。

##### 5.4.1 評価・検証項目

###### ① 事業者間での無線リソース分割・割り当てに関する検証

今回、圃場が隣接する3つの事業者(A、B、C)を想定しているが、測定結果を用いて、以下に示す2つの事業者が同時に運用を行った場合の影響について評価を行うことを目的とする。同時運用事業者数を2としたのは、4.7GHz システムの評価に用いる基地局数が2であるためである。

- ・ 事業者 A、B が同時運用する場合
- ・ 事業者 A、C が同時運用する場合

###### ① 4.7GHz 帯システムの評価項目

上記目的のために実施する評価項目を表 5.4.1-1 に示す。

表 5.4.1-1 無線リソース分割時評価項目 (4.7GHz システム)

大項目	中項目	小項目	備考
事業者 A、事業者 B 共存時	電界強度分布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スルー	UDP 上り (Mbps)	

	プット分布	UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間分布	上り+下り (ms)	
事業者 A、事業者 C 共存時	電界強度分布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スループット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間分布	上り+下り (ms)	

測定結果について、各事業者別に測定値を整理する

- 電界強度：測定値を一覧表に示すとともに、圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面を作成する。図面のイメージは図 5.3-8 と同様となる（測定地点は図 5.3-14 に準じる）。
- 伝送スループット：測定値を一覧表に示すとともに、圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面を作成する。図面のイメージは図 5.3-10 と同様となる（測定地点は図 5.3-14 に準じる）。この検証で被干渉条件が含まれていない点については後の考察で考慮するものとする。
- 伝送遅延：測定値を一覧表に示すとともに、圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面を作成する。図面のイメージは図 5.3-2-14 と同様となる（測定地点は図 5.3-14 に準じる）。

## ② 28GHz 帯システムの評価項目

上記目的のために実施する評価項目を表 5.4.1-2 に示す。

表 5.4.1-2 無線リソース分割時評価項目 (28GHz 帯システム)

大項目	中項目	小項目	備考
事業者 A 用 基地局設置時	電界強度分布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スループット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時	上り+下り (ms)	

	間分布		
事業者 B 用 基地局設置 時	電界強度分 布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スルー プット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
TCP 下り (Mbps)			
伝送遅延時 間分布	上り+下り (ms)		
事業者 C 用 基地局設置 時	電界強度分 布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スルー プット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時 間分布	上り+下り (ms)	

測定結果について、各事業者別に測定値を整理する。

ア) 電界強度：各事業者用の方向に設置した場合の測定値を一覧表に示すとともに、以下の図面を作成する。

a) ビーム ID 分布図：最も強い電力 (RSRP) が観測されたビーム ID 値をプロットした図面の例を図 5.4-1 に示す。

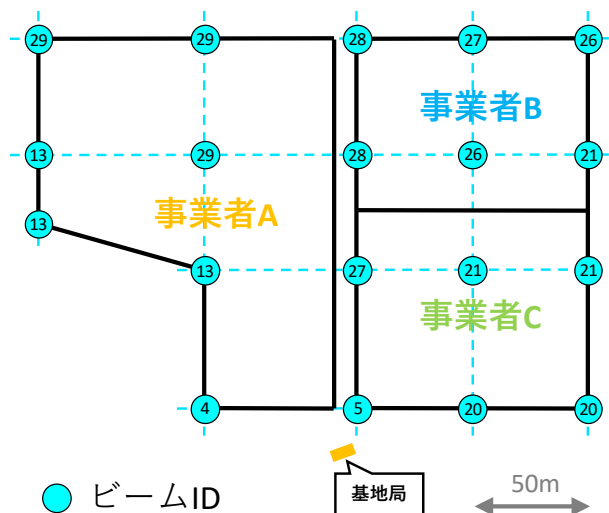


図 5.4-1 ビーム ID 分布（事業者 A）の測定結果図面例

電界強度の測定値については以下のように整理する。

各事業者用の方向に設置した場合の他の事業者のサービスエリアでの測定値については、設置事業者からの与干渉分と見なし、下記の与干渉分布図（ビーム非限定時）を作成する。

- ・与干渉分布図(ビーム非限定時)：各事業者向けの配置時の他の事業者のサービスエリアにおける受信電力をプロットした図面

次に、各事業者用に設置した場合において、当該事業者のサービスエリアをカバーするために必要なビーム ID のみを選択的に動作させることを想定した場合について、当該ビーム ID での他の事業者のサービスエリアの受信電力については当該事業者からの与干渉分と見なした与干渉分布図を作成する。例えば、事業者 A 用の方向に設置した場合に、事業者 A のサービスエリアをカバーするために必要なビーム ID のみを選択的に動作させることを想定し、当該ビーム ID の事業者 B、事業者 C の各サービスエリアでの測定値については、事業者 A からの与干渉分と見なして下記の与干渉分布図(ビーム限定時)を作成する。

- ・与干渉分布図(ビーム限定時)：各事業者のサービスエリアをカバーするために必要なビームによる他の事業者エリアの受信電力をプロットした図面  
ビーム非限定時、ビーム限定時の各与干渉分布図の図面例を図 5.4-2 および図 5.4-3 に示す。

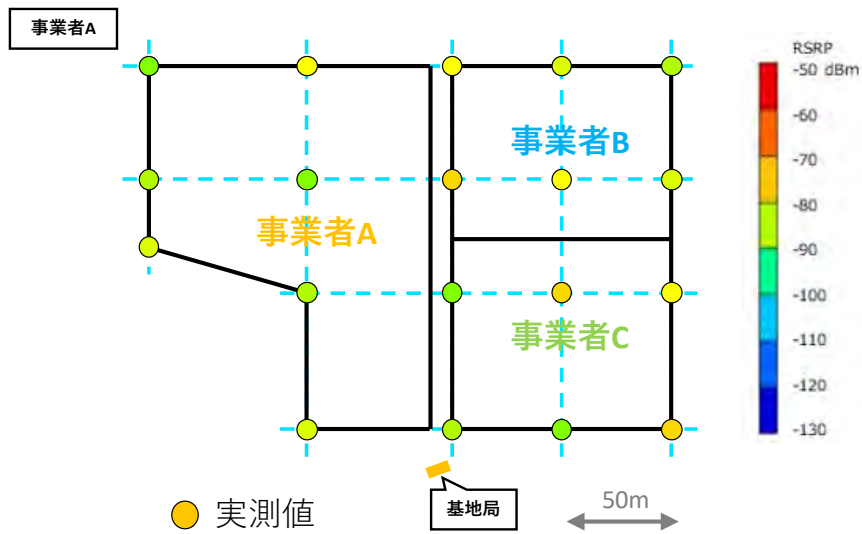


図 5.4-2 与干渉分布図(事業者 A、ビーム非制限時)の図面例(28GHz 帯システム)

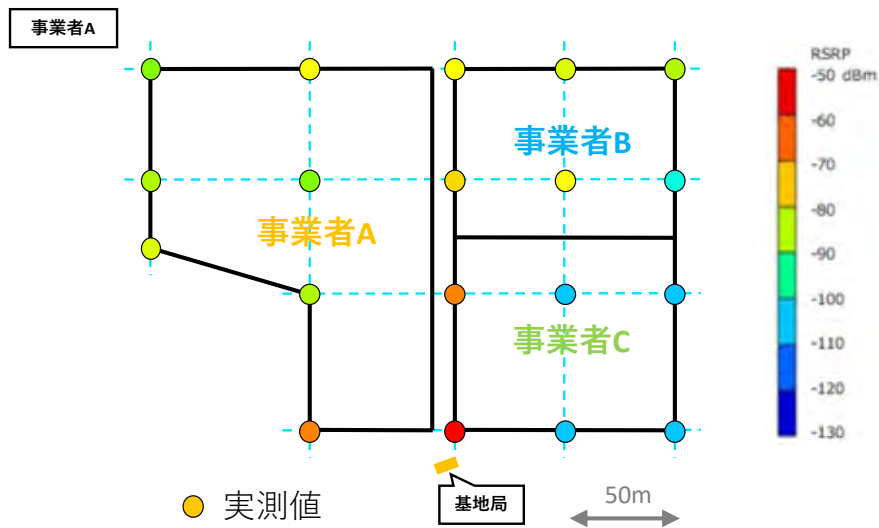


図 5.4-3 与干渉分布図(事業者 A、ビーム限定時)の図面例(28GHz 帯システム)

1) 伝送スループット：各事業者用の方向に設置した場合の測定値を一覧表に示すとともに、以下の図面を作成する。圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面の例を図 5.4-4 に示す。



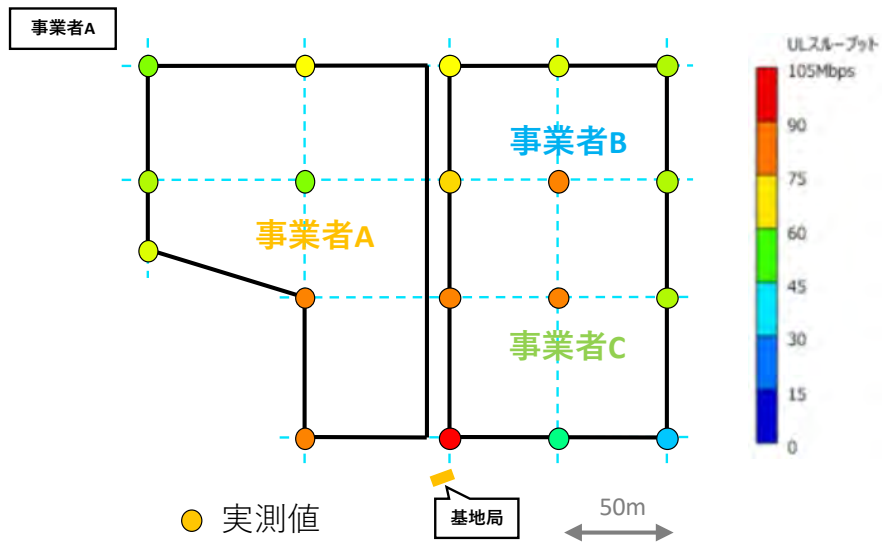


図 5.4-4 伝送スループット分布図(事業者 A)の図面例(28GHz 帯システム)

り) 伝送遅延：各事業者用の方向に設置した場合の測定値を一覧表に示すとともに、以下の図面を作成する。圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面の例を図 5.4-5 に示す。

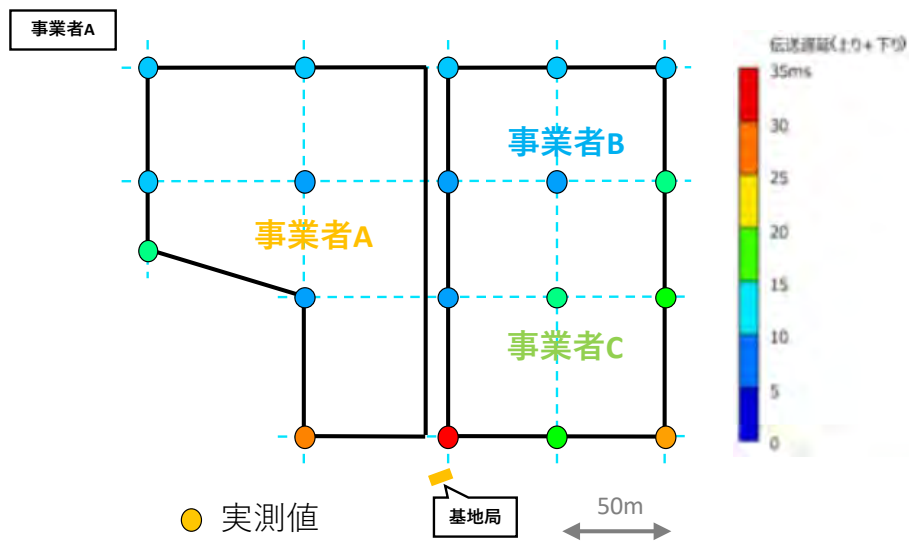


図 5.4-5 伝送遅延分布図(事業者 A)の図面例(28GHz 帯システム)

4. 7GHz 帯システムにおいては、2 事業者が共存した場合について、各事業者にて必要な無線品質が得られたかどうか、伝送スループット、伝送遅延について要求品質を満たす結果が得られたかどうかについて検証し、十分な結果が得られない場合にはその技術的要因を分析し、課題を明らかにするとともに解決の方策を提案する。干渉制御方策の導入により、干渉が無い場合と同等のスループット特性の実現を性能目標とする。

28GHz 帯システムにおいては、各事業者用の基地局設置にてビーム ID を限定しない場合と限定した場合との比較検証からビーム ID を限定することにより事業者間の干

渉抑制効果についてどの程度の効果が得られるかと考えられるかについて検証し、十分な結果が得られない場合にはその技術的要因を分析し、課題を明らかにするとともに解決の方策を提案する。干渉制御方策の導入により、地点毎に SIR 特性が定量的にどの程度改善するかを評価することを目標とする。

上記で抽出する技術的課題のほか、本リソース分割による方法については、事業者間でのリソース分割について調整・合意した後は事業者個別での運用となるため、以下のような課題が考えられる。

- ・運用開始後のトラフィック量の変動などといった利用状況の変化への対応が難しい
- ・事業者間でのリソース分割の調整・合意のプロセスや、通信インフラへのリソース分割の反映など個々の事業者への負担が大きい

そこで、同一の運用事業者が各圃場（または農協等の共同運営組織）からの業務委託を受け、事業者間で周波数を共用する形態として、周波数帯域を分割し、割り当てる方式を提案する。共通の運用事業者が一括してリソース制御を実施することから、運用開始後も委託事業者が各事業者を調整してリソース設定を行えるため、制御の自由度が大きく、各事業者の運用の手間や設備管理などのコスト面の負担を抑制できるといふ利点があると考えられる。

## ② 事業者間での周波数共用による無線リソース分割・割り当てに関する検証

複数の隣接する圃場にかかり、共用基地局（周波数も圃場事業者で共用）を用いてエリア構築を行う場合は、上記の分割リソース割り当てを行うことにより干渉の影響を回避する方策について検証し、その有効性の確認を行う。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することを目標とする。測定結果を用いて、以下に示す2つの事業者が同時に運用を行った場合の影響について評価を行う。本評価は4.7GHz帯システムのみで行うため、リソース分割としては帯域分割を行うものとする。28GHz帯システムでは、今回使用する基地局の水平方向カバー範囲が120度であるため、1台の共用基地局では圃場全体をカバーすることが出来ない。また、前項の検証①での結果からは、ビーム制限のみによる干渉制御では十分な干渉抑圧効果を得ることは難しいことが推測される。このため、28GHz帯システムでは本評価は行わないこととした。

- ・事業者 A、B が同時運用する場合
- ・事業者 A、C が同時運用する場合

上記目的のために実施する評価項目を表 5.4.1-3 に示す。

表 5.4.1-3 周波数共用時の評価項目（4.7GHz帯システム）

大項目	中項目	小項目	備考
周波数共用時	電界強度分布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スループット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	

		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間分布	上り+下り (ms)	
共存他事業者 端末1通信状況		UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
共存他事業者 端末2通信状況		UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	

測定結果について下記のように整理する。

- 電界強度：測定値を一覧表に示すとともに、圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面を作成する。図面のイメージは図 5.3-8 と同様となる(測定地点は図 5.3-14 に準じる)。事業者毎に異なる帯域を用いて通信を行うため、基本的に事業者間の干渉は生じないと考えられるが、実証①の様に基地局の向きを各事業者エリアに合わせた設置を行わないために、実証①における電界強度分布と比較すると電界強度低下する領域が各事業者エリアで発生する可能性がある。本指標はこれを確認するために有効である。
- 伝送スループット：測定値を一覧表に示すとともに、圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面を作成する。図面のイメージは図 5.3-9 と同様となる(測定地点は図 5.3-14 に準じる)。本指標は上記の電界強度分布と同様に、基地局の向きを事業者毎に最適化する場合と比較した場合の伝送スループットの変化を評価することで、その影響を評価することが可能となる。
- 伝送遅延：測定値を一覧表に示すとともに、圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面を作成する。図面のイメージは図 5.3-10 と同様となる(測定地点は図 5.3-14 に準ずる)。伝送路品質が低下した際に再送が増加することにより、伝送遅延も増加する関係にある。したがって本指標も上記の電界強度分布や伝送スループットと同様に、基地局の向きを事業者毎に最適化する場合と比較した場合の伝送遅延の変化を評価することで、その影響を評価することが可能となる。

帯域幅分割による各事業者へのリソース割り当て時の電界強度分布、伝送スループット分布、伝送遅延時間分布の測定結果から、周波数および基地局を共用する形態において各事業者にて必要な無線品質が得られたかどうか、伝送スループット、伝送遅延について要求品質を満たす結果が得られたかどうかについて検証し、十分な結果が得られない場合にはその技術的要因を分析し、課題を明らかにするとともに解決の方策を提案する。

## 5.4.2 評価・検証方法

### ① 事業者間での無線リソース分割・割り当てに関する検証

- ・ 4.7GHz 帯システム：周波数帯域を事業者間で分割・割り当て

圃場が隣接する事業者が利用可能な無線リソース（免許取得帯域）を分割したうえで、互いに異なる無線リソースを割り当てることにより干渉の影響を回避する方策について検証し、その有効性の確認を行う。この場合、各事業者に異なる帯域を割り当てることにより相互干渉は基本的に発生しなくなるが、各事業者が利用できる帯域幅が減少する。そこで以下の項目について検証を行う。

- ア) SINR 分布の評価
- イ) スループット分布の評価

2 台の基地局（基地局 1、基地局 2）を使用し、基地局 1 は事業者 A のエリアをカバーし、基地局 2 は事業者 B および事業者 C の両エリアをカバーするものとする。図 5.4.2-1 に各基地局の設置位置と設置方向を示す。今回、基地局設置条件の制約上、同じ位置にこの 2 台の基地局を下記のように設置している。

- ・ 基地局 1：事業者 A のサービスエリアにカバレッジが大きくなる向き（圃場正面方向から-30 度の向き）に設置。
- ・ 基地局 2：事業者 B および事業者 C のサービスエリアにカバレッジが大きくなる向き（圃場正面方向から+35 度の向き）に設置。

各事業者に割り当てる周波数帯域幅についても図 5.4.2-1 に示している。事業者 A、事業者 B、事業者 C にそれぞれ 40MHz, 40MHz, 20MHz 幅の帯域を相互に重複しないように割り当てるものとする。

以上のように事業者毎に周波数帯を分割するように割り当てた基地局 1、基地局 2 を設置することにより、以下の条件にて評価項目を測定する。

- ・ 事業者 A と事業者 B が同時運用する場合
- ・ 事業者 A と事業者 C が同時運用する場合

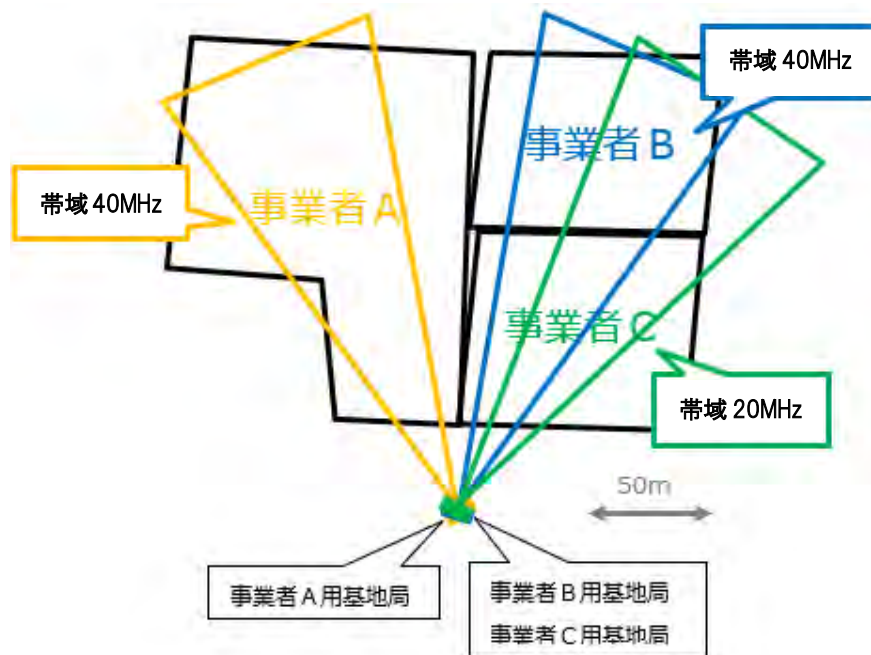


図 5.4.-6 事業者のサービスエリアと基地局位置(4.7GHz 帯システム)

上記2事業者が同時運用するそれぞれの場合について、図 5.3-14 の測定地点において、評価項目を測定する。各測定位置の基地局からの距離および角度（圃場全体の正面方向からの角度、各基地局の正面方向からの角度）を図 5.4-6 に示す。今回使用した基地局は半値角 26 度の水平方向指向性を有しているため、目安として各基地局の半値角範囲に含まれる角度値に色付けを行っている。

各評価項目の測定方法は下記のとおりです。

- ア) 電界強度：RSRP (dBm)、RSRQ (dB)、SINR (dB)、RSSI (dBm) を測定する。
- イ) 伝送スループット：UDP (上り/下り)、TCP (上り/下り)  
サーバ端末間における伝送スループットを iPerf (スループット測定ツール) により測定する。
- ウ) 伝送遅延時間：無線区間の遅延時間 (上り+下り)  
端末ログにより上記伝送スループット測定時の伝送遅延時間を測定する。
- エ) 共存他事業者の通信状況：UDP (上り/下り)、TCP (上り/下り)  
サーバ-端末間における伝送スループットを iPerf (スループット測定ツール) により測定する。



表 5.4.2-5.4-1 各測定地点の基地局との位置関係 (4.7GHz 帯システム)

地点	距離 [m]	圃場全体正面からの角度 [度]	基地局 1 正面からの角度 [度]	基地局 2 正面からの角度 [度]
A1	208.1	-39.7	-9.7	-74.7
A2	172.6	-50.4	-20.4	-85.4
A3	155.2	-59.0	-29.0	-94.0
B1	175.5	-24.2	5.8	-59.2
B2	131.5	-33.2	-3.2	-68.2
B3	93.7	-50.2	-20.2	-85.2
B4	72.0	-90.0	-60.0	-125.0
C1	160.0	0.0	30.0	-35.0
C2	110.0	0.0	30.0	-35.0
C3	60.0	0.0	30.0	-35.0
C4	0.0	0.0	30.0	-35.0
D1	167.6	17.4	47.4	-17.6
D2	120.8	24.4	54.4	-10.6
D3	78.1	39.8	69.8	4.8
D4	50.0	90.0	120.0	55.0
E1	188.7	32.0	62.0	-3.0
E2	148.7	42.3	72.3	7.3
E3	116.6	59.0	89.0	24.0
E4	100.0	90.0	120.0	55.0

① 電界強度分布の評価

- 事業者毎に使用する帯域を分けているため SIR 測定値には干渉は含まれていない。他の事業者のサービスエリアの受信電力については当該事業者からの与干渉分と見なすことにより干渉が有る場合の SIR 分布を計算する。この 2 つの SIR 分布を比較することにより、帯域を分けることによりどの程度 SIR が改善するかを定量的に評価することが出来る。

② スループットの評価

- 干渉がある場合のスループットを直接測定できないため、スループットの評価においては事業者間の帯域分割により、各事業者が利用できる帯域幅が減少する影響の調査を行うことを目的とする。

② 28GHz 帯システム：ビームフォーミングのビームを各事業者のサービスエリアに合うように限定

圃場が隣接する事業者が利用可能な無線リソース（設定可能ビーム方向）を分割したうえで、互いに異なる無線リソースを割り当てることにより干渉の影響を回避する方策について検証し、その有効性の確認を行う。4.7GHz 帯での実証で実施した事業者毎に異なる帯域を割り当てる方策とは異なり、設定可能ビーム方向の限定では相互干渉を完全に抑圧することは難しいが、各事業者は利用可能な帯域を全て使用することが出来る。そこで以下の項目について検証を行う。

- 複数事業者が同時運用した場合に、設定可能ビーム方向の制限の有無による

## SINR 分布の比較評価

事業者のサービスエリアの配置については 4.7GHz 帯システムと同様とする。図 5.4-7 に各事業者のサービスエリアの配置に対する 28GHz 帯システムの基地局設置位置を示す。

今回の実験では 1 台の基地局を用いて評価を行うため、基地局をそれぞれの事業者（事業者 A、事業者 B、事業者 C）のサービスエリアのカバレッジが大きくなる向き（垂直方向からの向きがそれぞれ -30 度、30 度、55 度）に、検証時に切り替えて使用する。

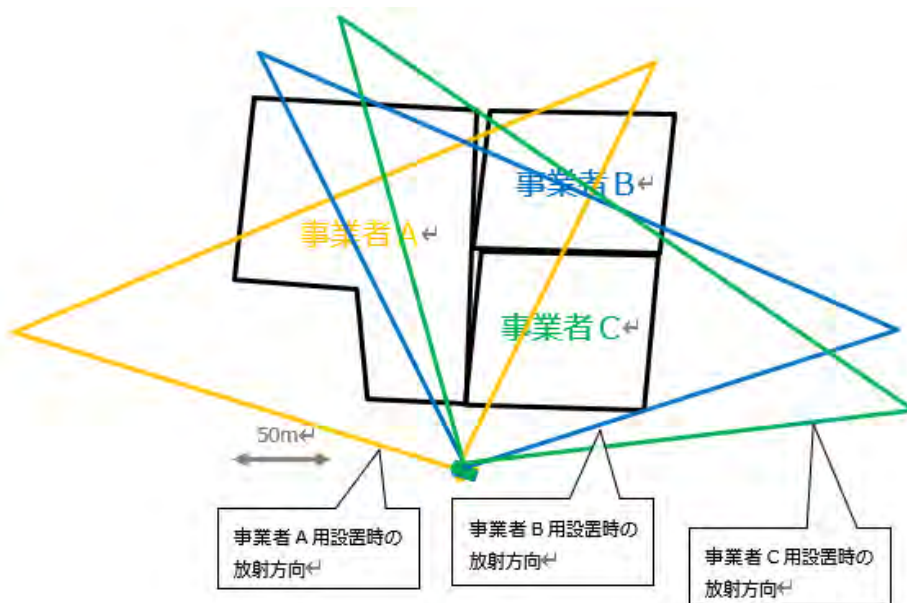


図 5.4-7 事業者のサービスエリアと基地局配置 (28GHz 帯システム)

図 5.3-14 に示す 19 箇所 の測定地点において、評価項目の測定を行う。測定に際しては、3 つの事業者のサービスエリアの方向に合わせて基地局の向きを設定し、それぞれの設定において、全ての測定地点での測定を繰り返す。各測定位置の基地局からの距離および角度（圃場全体の正面方向からの角度、各基地局の正面方向からの角度）を図 5.4.2-2 に示す（数値に関しては図 5.4-7 と同じある）。今回使用した 28GHz 帯の基地局は -60 度～60 度の水平方向指向性を有しているため、各基地局のカバー範囲に含まれる角度値に色付けを行った。使用するビームに制限を加えない場合は、他の事業者エリアの一部もそのカバレッジエリアに含まれてしまうことがわかる。また、C 列の測定位置は事業者エリア間の境界上にあるため、全ての基地局設置方向においてそのカバレッジエリアに含まれている。

表 5.4.2-5.4-2 測定位置 (28GHz 帯システム)

地点	距離 [m]	圃場全体正面 からの角度 [度]	基地局A正面 からの角度 [度]	基地局B正面 からの角度 [度]	基地局C正面 からの角度 [度]
A1	208.1	-39.7	-9.7	-69.7	-94.7
A2	172.6	-50.4	-20.4	-80.4	-105.4
A3	155.2	-59.0	-29.0	-89.0	-114.0
B1	175.5	-24.2	5.8	-54.2	-79.2
B2	131.5	-33.2	-3.2	-63.2	-88.2
B3	93.7	-50.2	-20.2	-80.2	-105.2
B4	72.0	-90.0	-60.0	-120.0	-145.0
C1	160.0	0.0	30.0	-30.0	-55.0
C2	110.0	0.0	30.0	-30.0	-55.0
C3	60.0	0.0	30.0	-30.0	-55.0
C4	0.0	0.0	30.0	-30.0	-55.0
D1	167.6	17.4	47.4	-12.6	-37.6
D2	120.8	24.4	54.4	-5.6	-30.6
D3	78.1	39.8	69.8	9.8	-15.2
D4	50.0	90.0	120.0	60.0	35.0
E1	188.7	32.0	62.0	2.0	-23.0
E2	148.7	42.3	72.3	12.3	-12.7
E3	116.6	59.0	89.0	29.0	4.0
E4	100.0	90.0	120.0	60.0	35.0

1 台の基地局で測定を行うため、測定時には事業者間の干渉は無い環境となっているが、ある事業者用に基地局を設置した場合における他の事業者のサービスエリアで観測された電界強度は、この事業者エリアへの与干渉電力とみなすことができる。例えば、事業者 A 用に基地局を設置した場合の事業者 B、および事業者 C のサービスエリアにおける電界強度測定値は事業者 A 用基地局から事業者 B、および事業者 C のサービスエリアへの与干渉電力としてみなすことにより、同時運用時（事業者 A と B、および事業者 A と C の同時運用）の干渉がある場合における SIR 分布の推定を行うことが出来る。

各評価項目の測定方法は下記の通りである。

- ア) 電界強度：RSRP (dBm)、RSRQ (dB)、SINR (dB)、RSSI (dBm)、ビーム ID を測定する。
- イ) 伝送スループット：UDP(上り/下り)、TCP(上り/下り)  
サーバ端末間における伝送スループットを iPerf(スループット測定ツール)により測定する。
- ウ) 伝送遅延時間：無線区間の遅延時間(上り+下り)  
端末ログにより上記伝送スループット測定時の伝送遅延時間を測定する。

#### 同時運用時の SIR 分布推定

上述したように、各事業者方向に基地局を設置して取得した RSRP 測定を用いて、同時運用時の SIR 分布推定を行う。手順を以下に示す。

- a) 3種類の向きに基地局を設置したそれぞれにおいて、前述した19地点におけるRSRP値を測定する。
- b) 測定地点数が限られていること、および測定誤差等による測定値間の本質的でないばらつきが含まれることを考慮して、回帰分析による圃場全体のRSRP分布(平均値)を計算する。回帰分析にはガウス過程回帰を用いることとする。各事業者において使用するビームに制限を加えない場合のRSRP分布計算には、他事業者エリアでの測定値として、が最大となるビーム選択時のRSRP値を用いる。一方、各事業者において使用するビームに制限を加える場合のRSRP分布計算には、他事業者エリアでの測定値として、制限後のビームセットの中が最大となるビーム選択時のRSRP値を用いる。これを各基地局設定方向に対応する3セットのRSRP測定値に対して行うことで、合計6種類のRSRP分布を計算することになる(3セット×ビーム制限有り/無し)。
- c) 事業者毎に自エリアのRSRP分布を希望波信号電力分布、他事業者エリアから漏れこんだRSRP分布を干渉信号電力分布として、前者を後者で除算割することでSIR分布を計算する。以下のSIR分布を求める。
- ・2事業者A,Bを同時運用した場合の事業者AのSIR分布(ビーム制限有り/無し)
  - ・2事業者A,Bを同時運用した場合の事業者BのSIR分布(ビーム制限有り/無し)
  - ・2事業者A,Cを同時運用した場合の事業者AのSIR分布(ビーム制限有り/無し)
  - ・2事業者A,Cを同時運用した場合の事業者CのSIR分布(ビーム制限有り/無し)

② 事業者間での周波数共用による無線リソース分割・割り当てに関する検証

複数の隣接する圃場について、共用基地局(周波数も圃場事業者で共用)を用いてエリア構築を行う場合、上記の分割リソース割り当てを行うことにより干渉の影響を回避する方策について検証し、その有効性の確認を行う。測定結果を用いて、以下に示す2つの事業者が同時に運用を行った場合の影響について評価を行うことを目的とする。本評価は4.7GHz帯システムにおいてリソース分割としては帯域幅分割を行う方策を適用する。28GHz帯システムでは、今回使用する基地局の水平方向カバー範囲が120度であるため、1台の共用基地局では圃場全体をカバーすることが出来ない。また、前項の検証①での結果からは、ビーム制限のみによる干渉制御では十分な干渉抑圧効果を得ることは難しいことが推測される。このため、28GHz帯システムでは本評価は行わず、4.7GHz帯システムでのみ評価を行う。

図5.4-6に示すように事業者A、事業者B、事業者Cの3事業者のサービスエリアが配置されるものと想定し、3事業者で共用する1台の基地局を下記のように全事業者の中心にカバレッジエリアができるように方向づけて設置する。

また、図5.4-8には各事業者に割り当てる周波数帯域幅についても示している。検証①と同様に本検証では、事業者Aに40MHz、事業者Bに20MHz、事業者Cに20MHzの相互に重複しない周波数帯域を割り当てる。

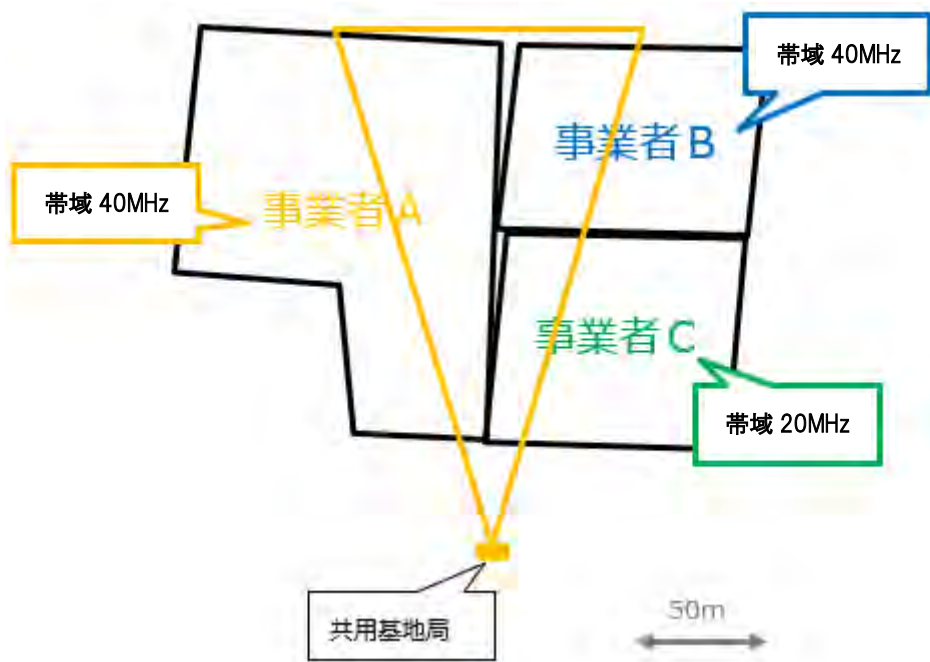


図 5.4.-8 事業者のサービスエリアと基地局位置(4.7GHz 帯システム)

上記共用基地局の設置状態で、図 5.3-14 の測定地点において、評価項目を測定する。

各評価項目の測定方法は下記のとおりとする。

- ① 電界強度：RSRP (dBm)、RSRQ (dB)、SINR (dB)、RSSI (dBm)、ビーム ID を測定する。
- ② 伝送スループット：UDP (上り/下り)、TCP (上り/下り)  
サーバ端末間における伝送スループットを iPerf (スループット測定ツール) により測定します。
- ③ 伝送遅延時間：無線区間の遅延時間 (上り+下り)  
端末ログにより上記伝送スループット測定時の伝送遅延時間を測定する。
- ④ 共存他事業者の通信状況：UDP (上り/下り)、TCP (上り/下り)  
サーバ-端末間における伝送スループットを iPerf (スループット測定ツール) により測定する。2 端末のトラフィック量は iPerf の -b オプション指定にて設定する。

ア) 電界強度分布の評価：事業者毎に異なる帯域を用いて通信を行うため、基本的に事業者間の干渉は生じないと考えられるが、実証①の様に基地局の向きを各事業者エリアに合わせた設置を行わないために、実証①における RSRP 分布と比較すると電界強度低下する領域が各事業者エリアで発生する可能性がある。実証①と同様に各地点における RSRP 測定値よりエリア全体の RSRP 分布を計算し、これを実証①でもとめた RSRP 分布と比較することで、基地局の向きを事業者毎に最適化する場合と比較した場合との電界強度分布の違いを評価する。

イ) 伝送スループットの評価：上記の電界強度分布の評価と同様にして、各地点における測定値よりエリア全体の伝送スループット分布を計算し、これを実証①でもとめた分布と比較する。上記の電界強度分布と同様に、基地局の向きを事業



者毎に最適化する場合と比較した場合の違いを評価する。

り) 伝送遅延：伝送路品質が低下した際に再送が増加することにより、伝送遅延も増加する関係にある。基地局の向きを事業者毎に最適化する場合と比較した場合の伝送遅延の違いを評価する。

帯域幅分割による各事業者へのリソース割り当て時の電界強度分布、伝送スループット分布、伝送遅延時間分布の測定結果から、周波数および基地局を共用する形態において各事業者にて必要な無線品質が得られたかどうか、伝送スループット、伝送遅延について要求品質を満たす結果が得られたかどうかについて検証し、十分な結果が得られない場合にはその技術的要因を分析し、課題を明らかにするとともに解決の方策を提案する。

### 5.4.3 検証結果

#### 5.4.3.1 検証①

上記の事業者間干渉に対する対策としてイ①では、以下の無線リソースを分割して各事業者に割り当てる以下の方策を適用した場合の検証を行った。

#### (1) 4.7GHz 帯システム

##### ① 電界強度、SIR 分布

事業者 A と事業者 B, C が同時運用した場合の評価を行った。表 5.4.3-1 に事業者 A のエリアに向けて設置した基地局（基地局 1）からの信号を測定できた端末における各種測定値を示す。表 5.4.3-2 に事業者 B, C のエリアに向けて設置した基地局（基地局 2）からの信号を測定できた端末における各種測定値を示す。今回の実験で使用した各基地局は、固定された 1 ビーム送信（水平方向および垂直方向の半値幅は 26 度）のみに限定されているため、各事業所エリア全体をカバー出来ない制約がある。このため、測定地点の位置によっては信号が検出できない場合あり、これらは表中に横線で示している。

事業者毎に使用する帯域を分けているため、事業者間での干渉は基本的に発生しない。したがって下表で示した各測定値には干渉は含まれていないと考えられる。測定した RSRP 値からガウス過程回帰でもとめた RSRP 分布（予測分布の平均値）を図 5.4.3-1 に示す。測定地点数が少ないため回帰による予測精度は高くないが、2つの基地局の指向性の違いを概略見ることができる。本実験では各基地局のアンテナ指向性が狭く、C 列の地点はいずれの基地局の指向性範囲から外れる位置にあるため、受信 SIR が低くなっている。このようにカバレッジが狭いことによる問題はあるが、事業者毎に使用帯域を分けているため干渉の影響は見えていない。実際の運用では複数のビームを用いてエリア全体のカバーを行うため、今回の実験で見られたようなカバレッジが不足する問題は無くなると考えられる。

RSRP 予測分布から求めた干渉が有る場合の SIR 分布を図 5.4.3-2 に示す。これは帯域分割を行わなかった場合の SIR 分布を表すものである。事業者 B, C のエリアでは干渉による SIR 低下は大きくないが、事業者 A のエリアでは事業者 B, C のエリアとの境界付近において SIR が負の値となっており、干渉の影響が大きいことがわかる。したが

って事業者間で帯域を分ける方策が有効であることがわかる。

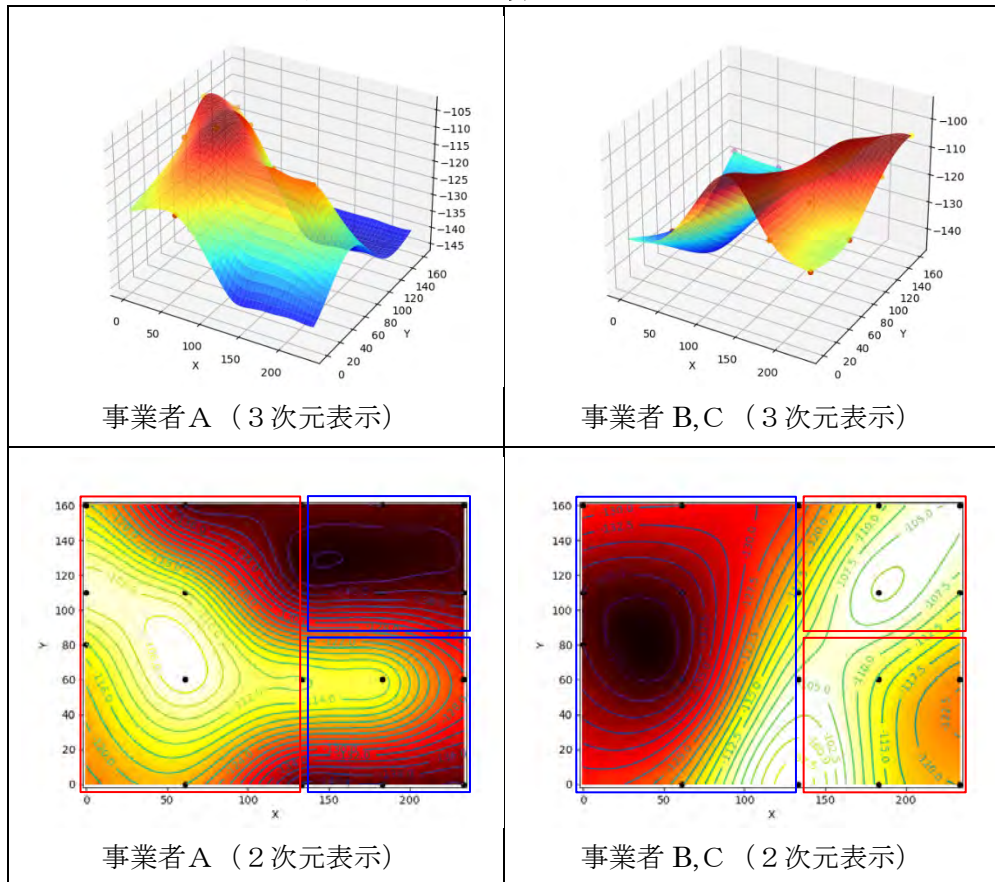
表 5.4.3-1 基地局 1 からの信号の測定結果 (RSRP, RSRQ, SIR, RSSI)

Point	RSRP	RSRQ	SIR	RSSI
A1	-117.5 dBm	-13.7 dBm	6.0 dBm	-91.4 dBm
A2	-106.7 dBm	-10.5 dBm	15.6 dBm	-83.1 dBm
A3	-114.2 dBm	-10.9 dBm	9.1 dBm	-90.3 dBm
B1				
B2	-111.5 dBm	-10.8 dBm	9.2 dBm	-87.6 dBm
B3	-104.7 dBm	-10.5 dBm	15.7 dBm	-81.2 dBm
B4	-119.9 dBm	-14.8 dBm	-1.2 dBm	-92.2 dBm
C1	-	-	-	-
C2	-	-	-	-
C3	-111.8 dBm	-16.9 dBm	-5.9 dBm	-81.8 dBm
C4	-	-	-	-
D1	-	-	-	-
D2	-	-	-	-
D3	-113.2 dBm	-14.0 dBm	-1.4 dBm	-86.1 dBm
D4	-	-	-	-
E1	-	-	-	-
E2	-	-	-	-
E3	-127.7 dBm	-19.3 dBm	-7.8 dBm	-95.4 dBm
E4	-	-	-	-

表 5.4.3-2 基地局 2 からの信号の測定結果 (RSRP, RSRQ, SIR, RSSI)

Point	RSRP	RSRQ	SIR	RSSI
A1	-128.3 dBm	-15.8 dBm	-3.1 dBm	-99.5 dBm
A2	-	-	-	-
A3	-	-	-	-
B1	-130.0 dBm	-17.4 dBm	-4.8 dBm	-99.7 dBm
B2	-	-	-	-
B3	-	-	-	-
B4	-120.5 dBm	-15.2 dBm	-1.9 dBm	-92.2 dBm
C1	-126.7 dBm	-15.2 dBm	-1.7 dBm	-98.7 dBm
C2	-116.7 dBm	-11.1 dBm	8.1 dBm	-92.6 dBm
C3	-106.5 dBm	-11.8 dBm	3.7 dBm	-81.8 dBm
C4	-95.8 dBm	-10.5 dBm	15.4 dBm	-72.4 dBm
D1	-111.2 dBm	-10.5 dBm	13.3 dBm	-87.6 dBm
D2	-102.1 dBm	-10.5 dBm	13.2 dBm	-78.7 dBm
D3	-112.9 dBm	-13.8 dBm	-0.7 dBm	-86.1 dBm
D4	-113.4 dBm	-11.3 dBm	5.2 dBm	-89.0 dBm
E1	-105.0 dBm	-10.4 dBm	17.8 dBm	-81.6 dBm
E2	-109.8 dBm	-10.5 dBm	14.4 dBm	-86.3 dBm
E3	-121.9 dBm	-13.5 dBm	0.7 dBm	-95.3 dBm
E4	-120.1 dBm	-12.1 dBm	3.3 dBm	-94.9 dBm

図 5.4-3 RSRP 分布



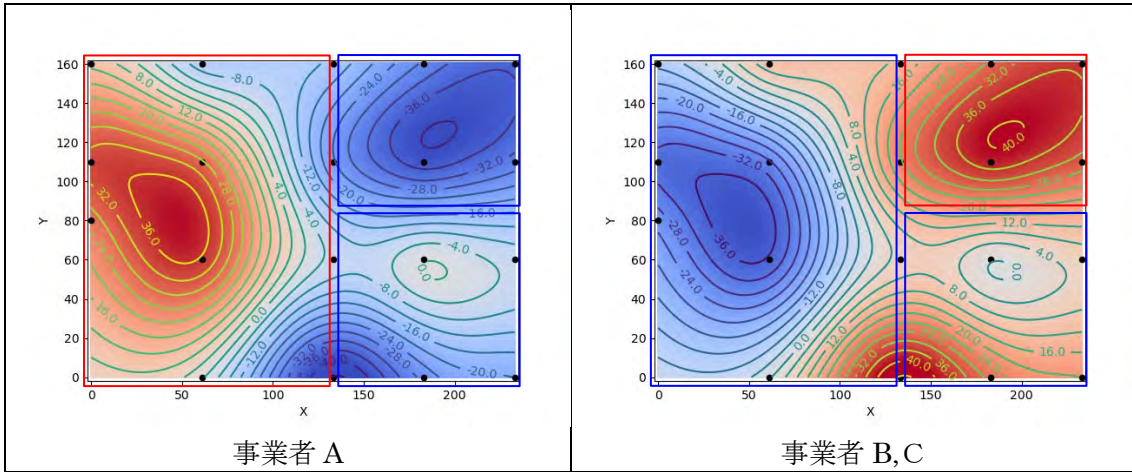


図 5.4.3-4 SIR 分布

② スループット分布

事業者毎に帯域を棲み分けることにより各事業者が利用できる帯域幅が小さくなるが、干渉を抑止することでスループットの改善が期待できる。事業者 A のエリアおよび事業者 B、C のエリアにおけるスループット特性を表 5.4.3-3 および表 5.4.3-4 にそれぞれ示す。事業者間での干渉の影響は見られず、多くの地点で一定のスループットが得られた。事業者 A エリアの平均 TCP スループットは 15.0Mbps (上りリンク)、23.1Mbps (下りリンク)、事業者 B、C エリアの平均 TCP スループットは 9.9Mbps (上りリンク)、22.7Mbps (下りリンク) となっており、干渉が無い場合と同等のスループットが得られている。

表 5.4.3-3 事業者 A エリアのスループット

Point	UDP (UL)	UDP (DL)	TCP (UL)	TCP (DL)
A1	-	-	-	-
A2	2.69 Mbps	81.71 Mbps	14.53 Mbps	32.86 Mbps
A3	1.96 Mbps	37.28 Mbps	11.34 Mbps	23.70 Mbps
B1	-	-	-	-
B2	5.07 Mbps	24.93 Mbps	18.59 Mbps	21.44 Mbps
B3	13.11 Mbps	93.16 Mbps	21.25 Mbps	17.49 Mbps
B4	2.29 Mbps	28.50 Mbps	9.20 Mbps	19.92 Mbps
C1	-	-	-	-
C2	-	-	-	-
C3	-	-	-	-
C4	-	-	-	-
D1	-	-	-	-
D2	-	-	-	-
D3	-	-	-	-
D4	-	-	-	-
E1	-	-	-	-
E2	-	-	-	-
E3	-	-	-	-
E4	-	-	-	-

表 5.4.3-4 事業者 B、C エリアのスループット

Point	UDP (UL)	UDP (DL)	TCP (UL)	TCP (DL)
A1	-	-	-	-
A2	-	-	-	-
A3	-	-	-	-
B1	-	-	-	-
B2	-	-	-	-
B3	-	-	-	-
B4	-	-	-	-
C1	-	-	-	-
C2	2.38 Mbps	12.58 Mbps	8.59 Mbps	11.72 Mbps
C3	1.04 Mbps	38.17 Mbps	14.61 Mbps	33.93 Mbps
C4	2.98 Mbps	41.27 Mbps	10.11 Mbps	31.90 Mbps
D1	-	-	-	-
D2	12.59 Mbps	40.88 Mbps	5.59 Mbps	23.52 Mbps
D3	5.11 Mbps	40.49 Mbps	14.59 Mbps	30.70 Mbps
D4	65.37 Mbps	5.25 Mbps	5.65 Mbps	4.49 Mbps
E1	-	-	-	-
E2	1.56 Mbps	24.73 Mbps	5.07 Mbps	20.75 Mbps
E3	-	-	-	-
E4	0.65 Mbps	3.68 Mbps	0.73 Mbps	17.70 Mbps

③ 遅延時間

伝送遅延時間を測定した結果を表 5.4.3-5 に示す。伝送遅延時間については通信が確立されなかった地点を除いてどの地点もおおむね 50～80msec 程度となっており、帯域分割による受信品質への影響は見られなかった。

表 5.4.3-5 伝送遅延測定結果

地点	伝送遅延時間 (ms)
A1	-
A2	-
A3	66.00ms
B1	-
B2	77.97ms
B3	64.66ms
B4	68.92ms
C1	-
C2	-
C3	55.78ms
C4	62.45ms
D1	-
D2	72.98ms
D3	76.09ms



D4	-
E1	-
E2	-
E3	-
E4	-
平均	68.11ms

周波数帯域を重複しないように分割し、事業者に割り当てる方策の検証を行った。事業者毎に使用帯域が異なるため、他者土地への漏洩電力を抑える対策をとらなくても事業者間で干渉の影響は発生しないことを確認した。この方策では、各事業者が利用できる帯域幅が減少するため最大スループットの低下要因となり得る懸念があるが、干渉低減による品質改善効果の方が大きいため、結果的にスループットを改善できることを示した。

(2) 28GHz 帯システム

表 5.4.3-6 にビーム ID とビーム方向の対応を示す。本表における角度値は、アンテナ正面方向からの相対角度を示している。またアンテナのチルト角は各事業者共通で-15度 に設定している。ビーム ID を限定しない場合における各事業者向けビームパターンを図 5.4.3-2 に示す。

表 5.4.3-6 ビーム ID とビーム方向（中心角度）の対応

中心角度		水平方向（度）					
		-50	-30	-10	+10	+30	+50
垂直方向 （度）	+5	29	28	27	26	21	20
	-5	13	12	11	10	5	4

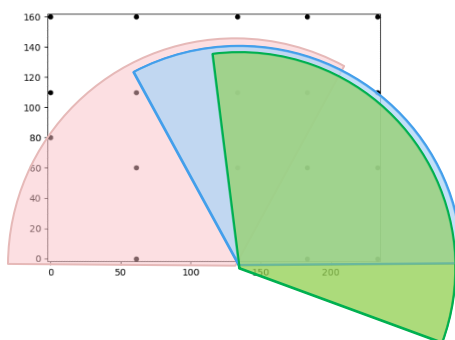


図 5.4-5 ビーム ID を限定しない場合の各事業者向けビームパターン

地点毎に最も RSRP 値の高いビーム ID における RSRP 値を、ビーム ID を限定しない場合における RSRP 値とする。次に、事業者毎に使用するビームを限定する場合として 2 通

りのパターン（限定パターン 1 および限定パターン 2）について評価を行った。限定パターン 1 におけるビーム限定方法を表 5.4.3-7～表 5.4.3-9 に、限定パターン 2 におけるビーム限定方法を表 5.4.3-10～表 5.4.3-12 にそれぞれ示す。また、各ビームパターンの概略を図 5.4.3-3 に示す。限定パターン 2 は限定パターン 1 より制限を強くすることにより、より他事業者エリアへの干渉を抑えるパターンとなるが、自事業者内のエリア境界付近における端末の受信電界強度が低下するデメリットもある。これらの表における角度値は事業者間での比較が容易となるよう、事業者毎のアンテナの向きおよびチルト角度を含めた値を示した。事業者毎に限定したビームの中で、地点毎に最も RSRP 値の高いビーム ID における RSRP 値を、ビーム ID を限定した場合における RSRP 値とした。

表 5.4.3-7 事業者 A におけるビーム ID の限定（限定パターン 1）

ビーム中心角度		水平方向（度）					
		-80	-60	-40	-20	0	+20
垂直方向 （度）	-10	29	28	27	26	21	不使用
	-20	13	12	11	10	5	不使用

表 5.4.3-8 事業者 B におけるビーム ID の限定（限定パターン 1）

ビーム中心角度		水平方向（度）					
		-20	0	+20	+40	+60	+80
垂直方向 （度）	-10	不使用	28	27	26	21	20
	-20	不使用	12	11	10	5	4

表 5.4.3-9 事業者 C におけるビーム ID の限定（限定パターン 1）

ビーム中心角度		水平方向（度）					
		+5	+25	+45	+65	+85	+105
垂直方向 （度）	-10	不使用	28	27	26	21	20
	-20	不使用	12	11	10	5	4

表 5.4.3-10 事業者 A におけるビーム ID の限定（限定パターン 2）

ビーム中心角度		水平方向（度）					
		-80	-60	-40	-20	0	+20
垂直方向 （度）	-10	29	28	27	26	不使用	不使用
	-20	13	12	11	10	不使用	不使用

表 5.4.3-11 事業者 B におけるビーム ID の限定（限定パターン 2）

ビーム中心角度		水平方向（度）					
		-20	0	+20	+40	+60	+80
垂直方向 （度）	-10	不使用	不使用	27	26	21	20
	-20	不使用	不使用	11	10	5	4

表 5.4.3-12 事業者 C におけるビーム ID の限定（限定パターン 2）

ビーム中心角度		水平方向（度）					
---------	--	---------	--	--	--	--	--

		+5	+25	+45	+65	+85	+105
垂直方向 (度)	-10	不使用	28	27	26	21	20
	-20	不使用	12	11	10	5	4

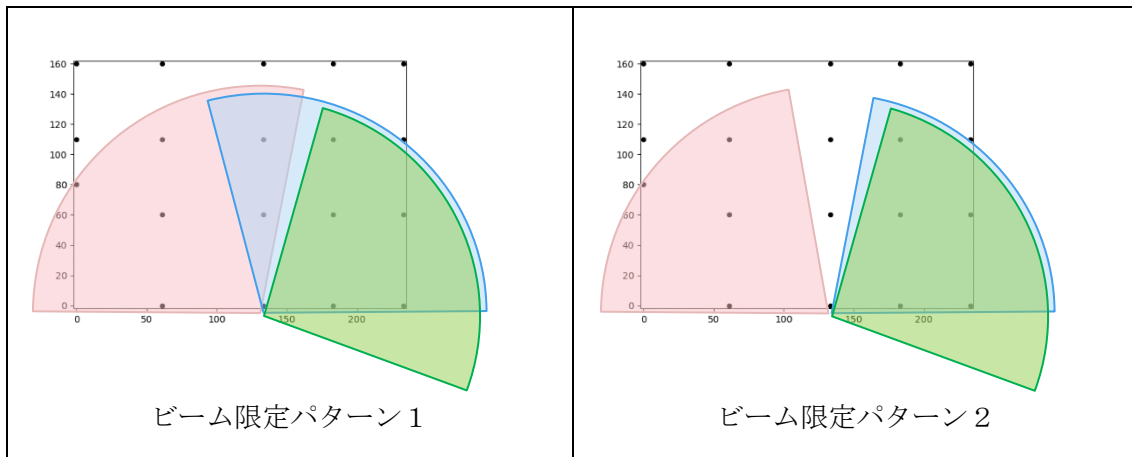


図 5.4-6 各事業者のビーム限定パターン

ビーム限定なし、ビーム限定パターン 1、ビーム限定パターン 2 の各場合における地点毎の RSRP 値より回帰分析（ガウス過程回帰）でもとめた回帰面を図 5.4.3-4、図 5.4.3-5 および図 5.4.3-6 にそれぞれ示す。使用ビームを制限することにより、他事業者エリアへの干渉が低減できることがわかった。この干渉低減効果は、ビーム限定パターン 1 よりビーム限定パターン 2 の方が大きいものの、事業者エリア間の境界付近に位置する C 列の測定地点における電界強度も低下していた。この影響については、SIR 分布を用いた分析を次に行う。

各事業者用にアンテナを設置した場合の他の事業者のサービスエリアの電界強度については、当該エリアへの与干渉とみなし、上記の RSRP 回帰データを用いて 2 事業者同時運用時（事業者 A と事業者 B の同時運用、および事業者 A と事業者 C の同時運用）の各事業所エリアの SIR の算出を行った。ビーム限定を行わない場合の結果を図 5.4.3-7、図 5.4.3-8 に、ビーム限定パターン 1 を用いた場合の結果を図 5.4.3-9、図 5.4.3-10 に、ビーム限定パターン 2 を用いた場合の結果を図 5.4.3-11、図 5.4.3-12 にそれぞれ示す。これらの図には SIR=0dB の平面を表示している。概ね SIR が 0dB 以上であればデータ疎通は可能であることから目安として表示した。また、各事業者エリアにおける平均 SIR を表 5.4.3-8 に、各事業者エリア内の場所率 (SIR ≥ 0dB) を表 5.4.3-9 にそれぞれ示す。使用ビーム限定の効果をわかりやすくするために、ビーム限定を行う前と後の SIR 分布の差を図 5.4.3-13～図 5.4.3-16 に示した。

ビーム ID を限定しない場合の事業者 A のエリアの平均 SIR は 2.16dB と低く、場所率も半分以下となっており干渉の影響が大きいことがわかる。事業者 B および事業者 C のエリアは事業者 A のビームを制限しなくても一定の品質と場所率を確保出来ている。これは、図 5.4.3-4 を見ると事業者 B の送信信号の事業者 A 側への漏れこみが大きくなっていることが要因と考えられる。一方、ビーム ID を限定した場合は干渉が減少するために SIR が改善している。但し、事業者エリアの境界にあたる C 列の地点はビーム ID を限定する恩恵を受けられない位置となるため、SIR の改善効果は小さくなっている。ビーム限定パターン 1 とビーム限定パターン 2 の効果を比較すると、特に SIR が低い事業者エリアにおいては、より干渉低減効果の大きいビーム限定パターン 2 を用いることにより、高い SIR の改善効果が得られた。

使用ビームの限定は上記のように平均的な意味で一定の干渉低減効果が見込めるが、事業者エリア間の境界付近などにおいては大きな干渉低減を行うことは困難と考えられる。したがって、4.7GHz 帯システムと同様の帯域分割による対策は 28GHz 帯システムにおいても有効であると考えられる。



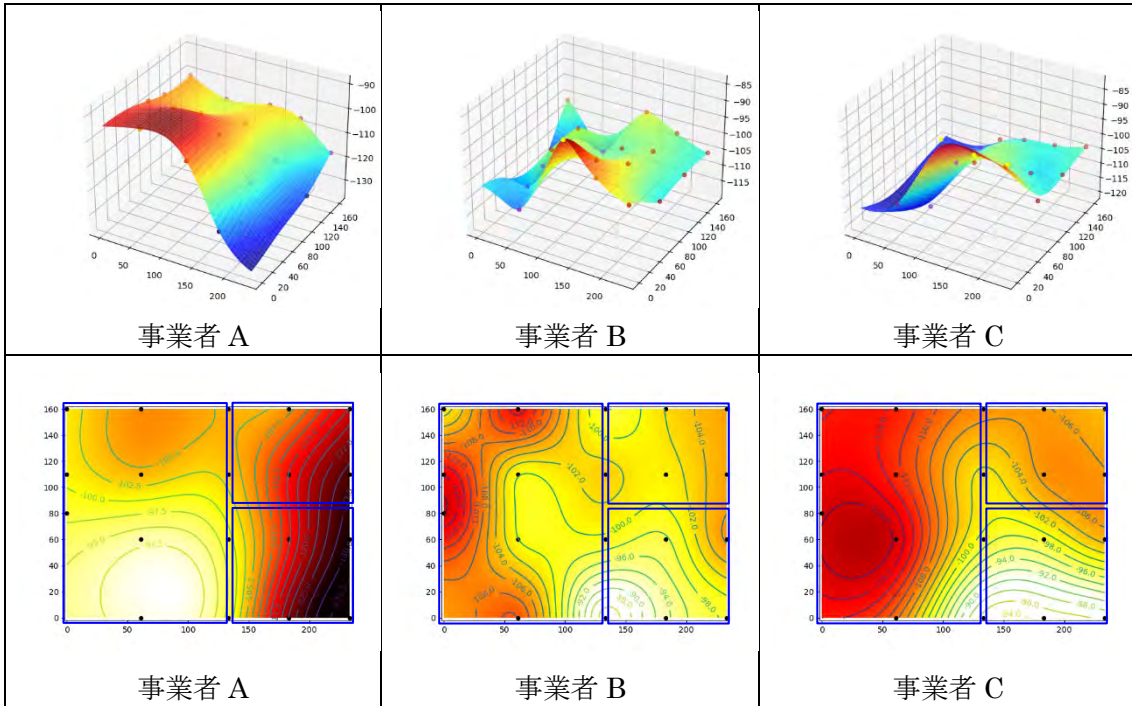


図 5.4-7 事業者毎のRSRP分布（ビームID限定なし）

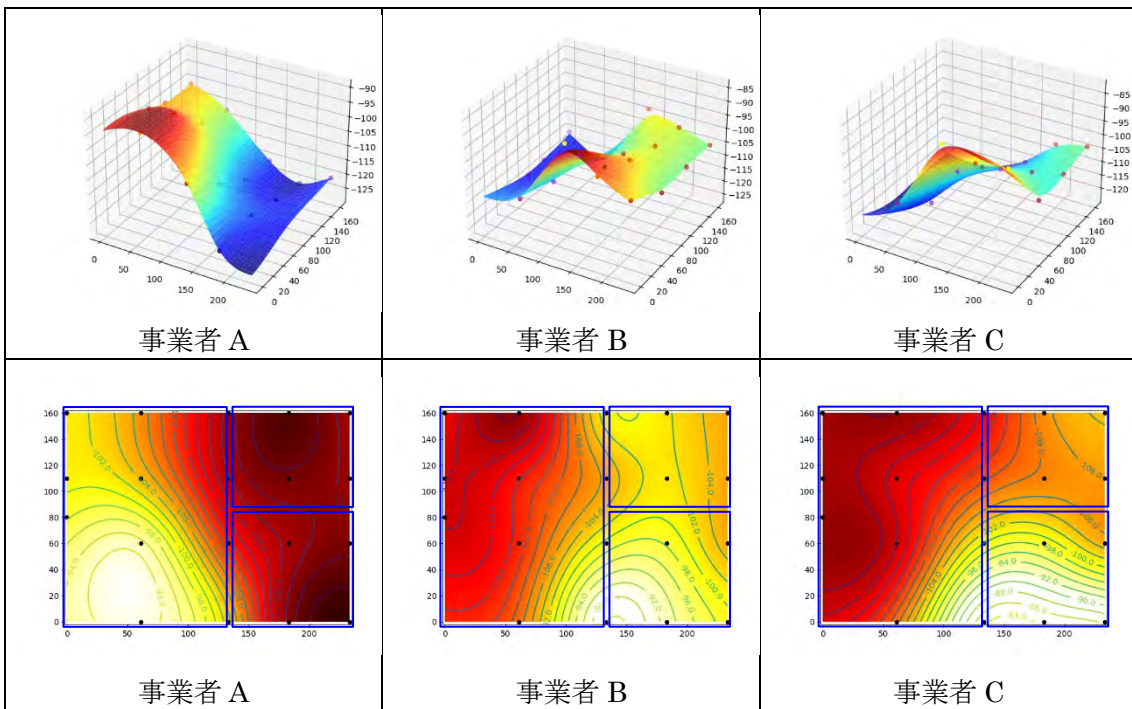


図 5.4-8 事業者毎のRSRP分布（ビーム限定パターン1）

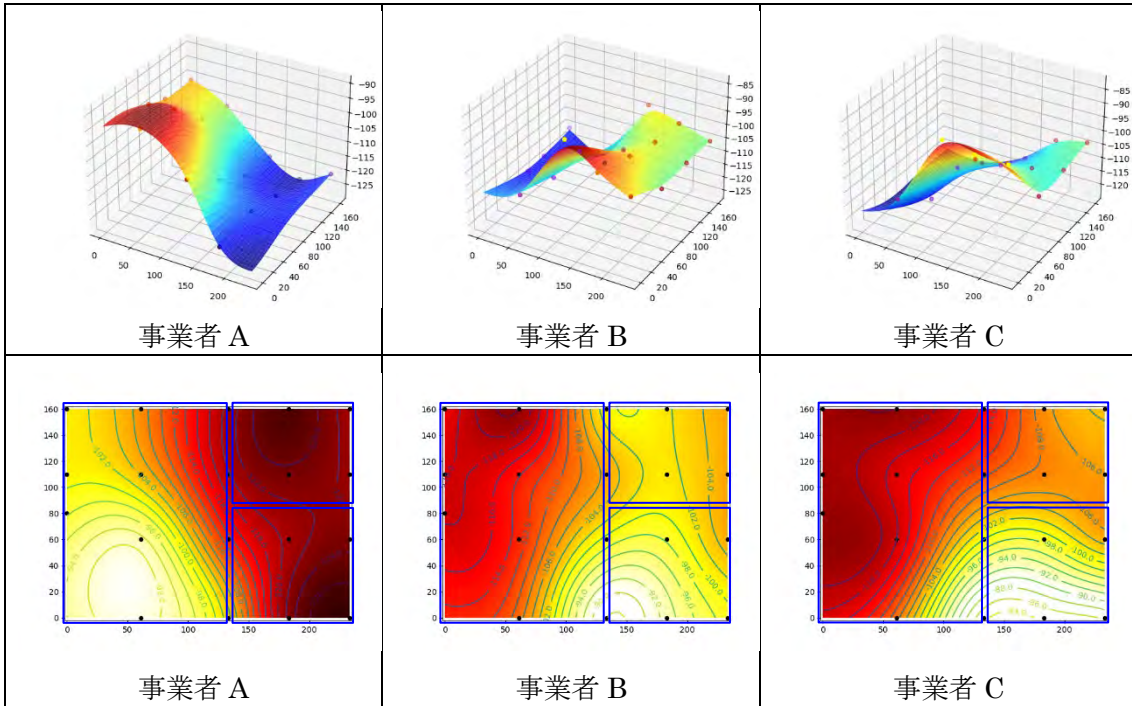


図 5.4-9 事業者毎の RSRP 分布 (ビーム限定パターン 2)

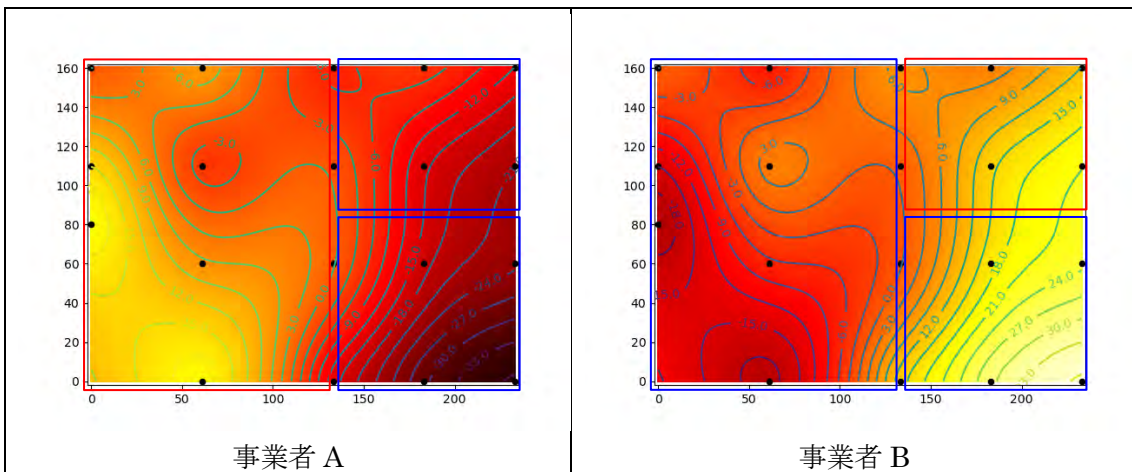


図 5.4-10 事業者 A, B の同時運用時の SIR 分布 (ビーム ID 限定なし)

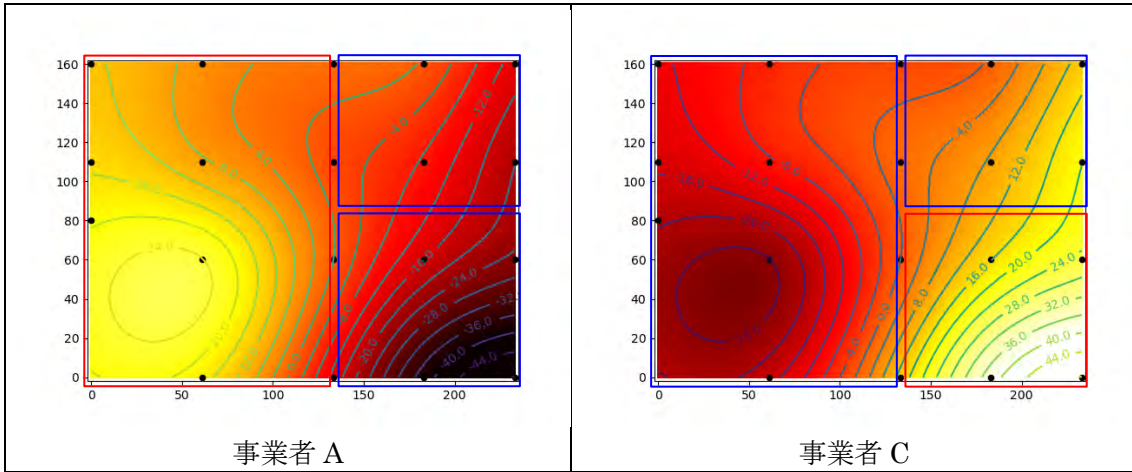


図 5.4-11 事業者 A, C の同時運用時の SIR 分布 (ビーム ID 限定なし)

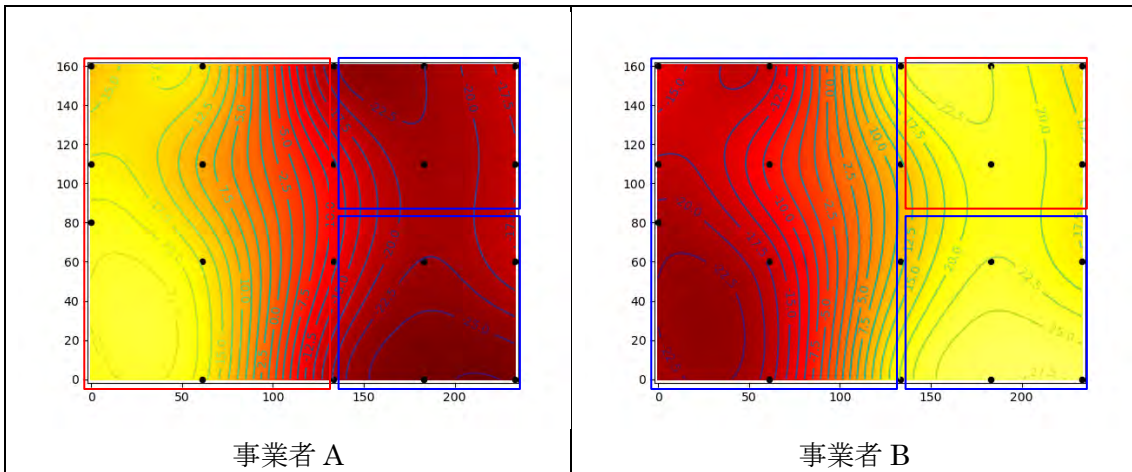


図 5.4-12 事業者 A, B の同時運用時の SIR 分布 (ビーム限定パターン 1)

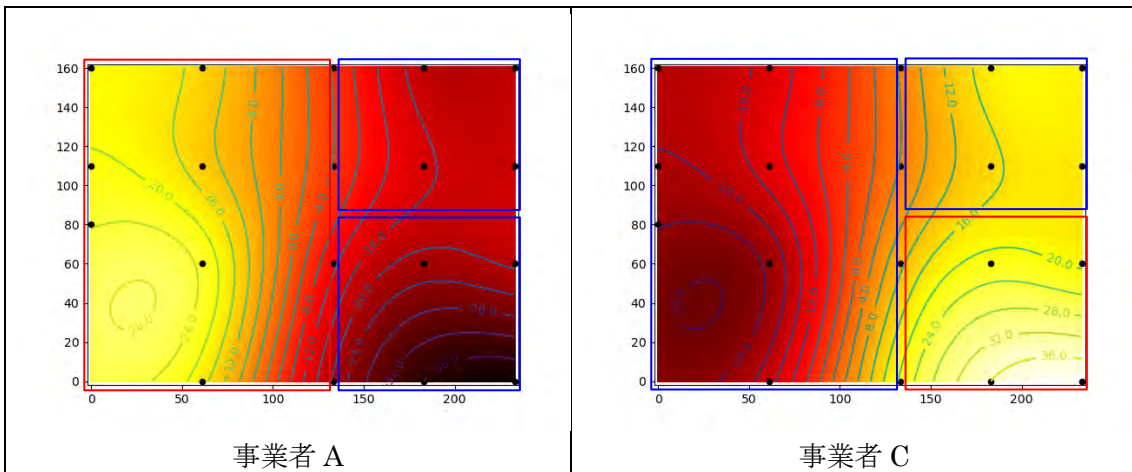


図 5.4-13 事業者 A, C の同時運用時の SIR 分布 (ビーム限定パターン 1)



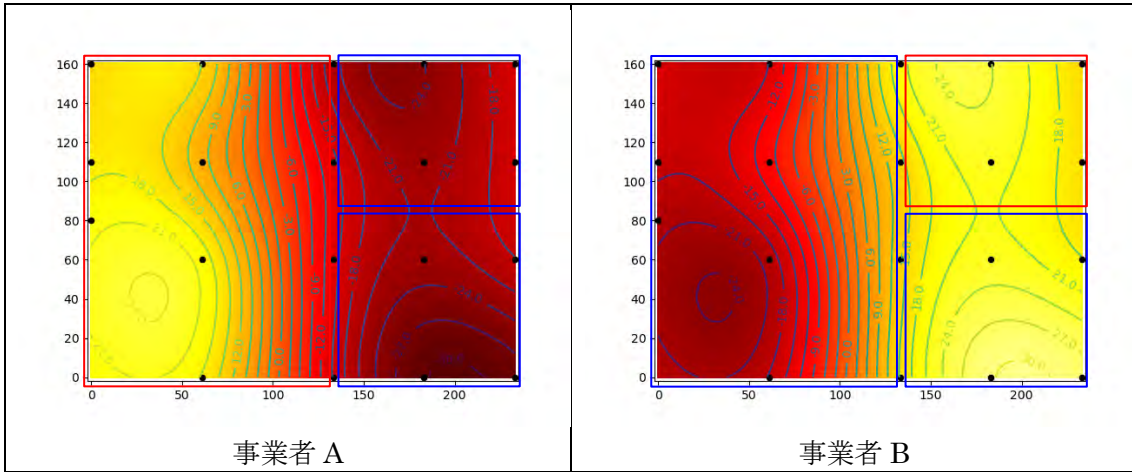


図 5.4-14 事業者 A, B の同時運用時の SIR 分布 (ビーム限定パターン 2)

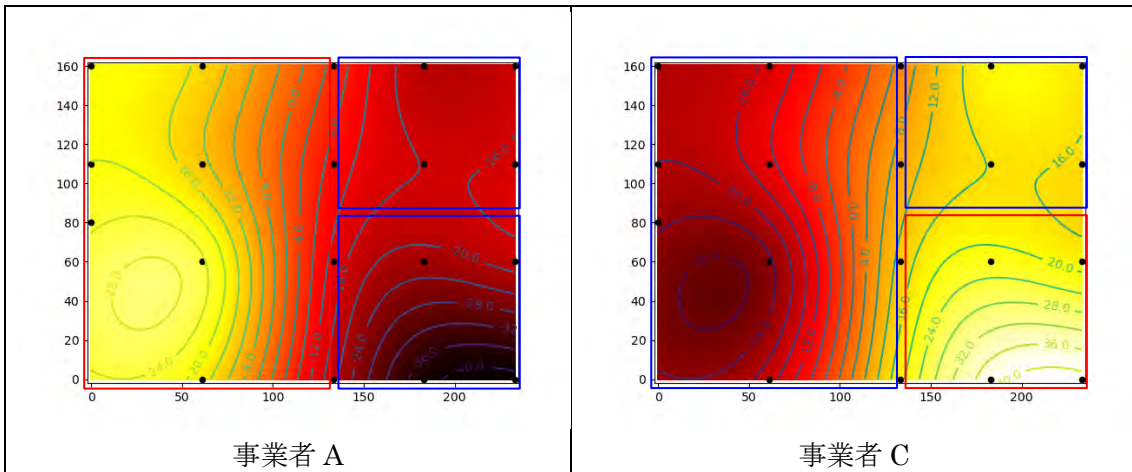


図 5.4-15 事業者 A, C の同時運用時の SIR 分布 (ビーム限定パターン 2)

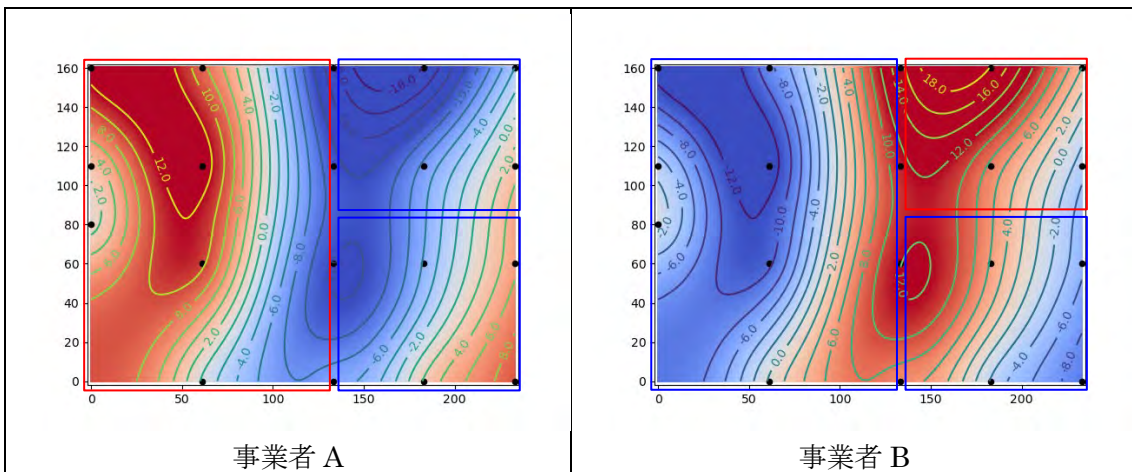


図 5.4-16 事業者 A, B の同時運用時の SIR 改善量分布 (ビーム限定パターン 1)

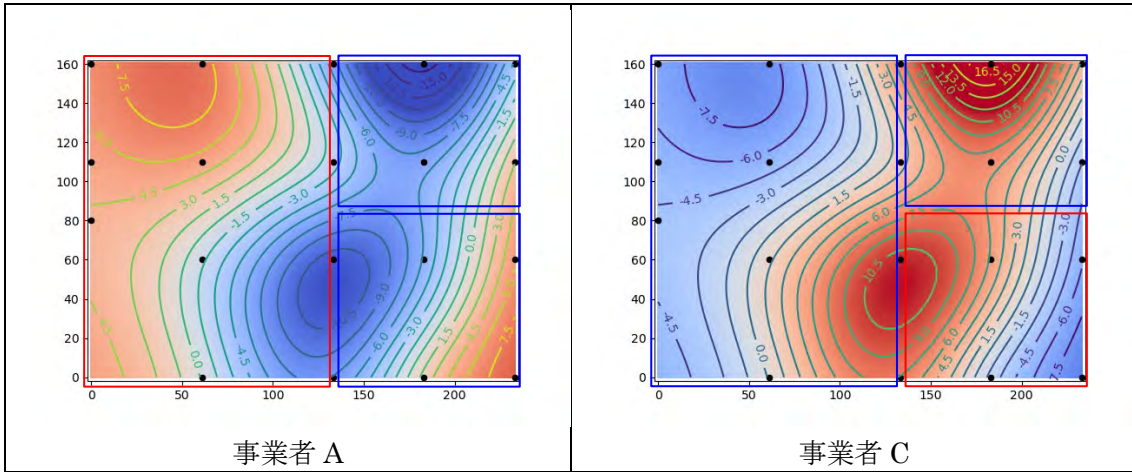


図 5.4-17 事業者 A, C の同時運用時の SIR 改善量分布 (ビーム限定パターン 1)

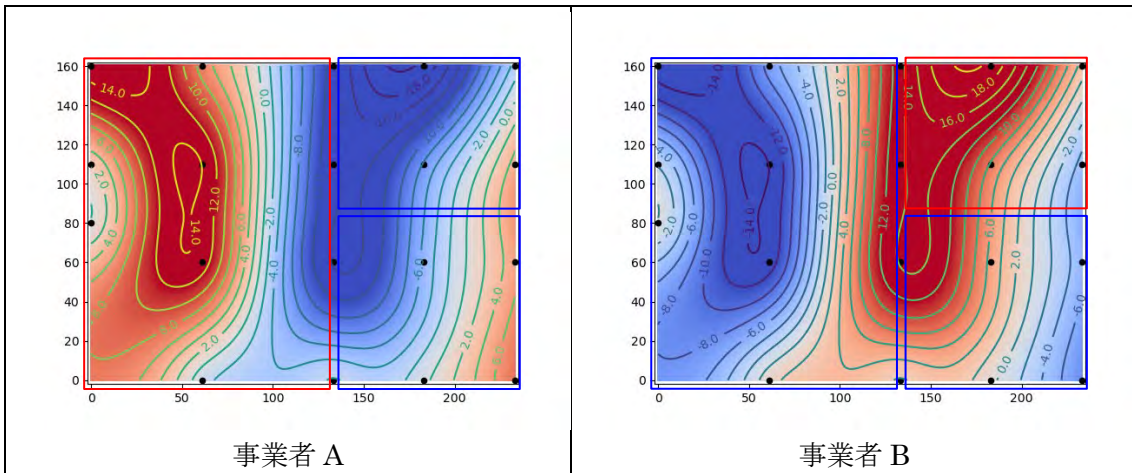


図 5.4-18 事業者 A, B の同時運用時の SIR 改善量分布 (ビーム限定パターン 2)

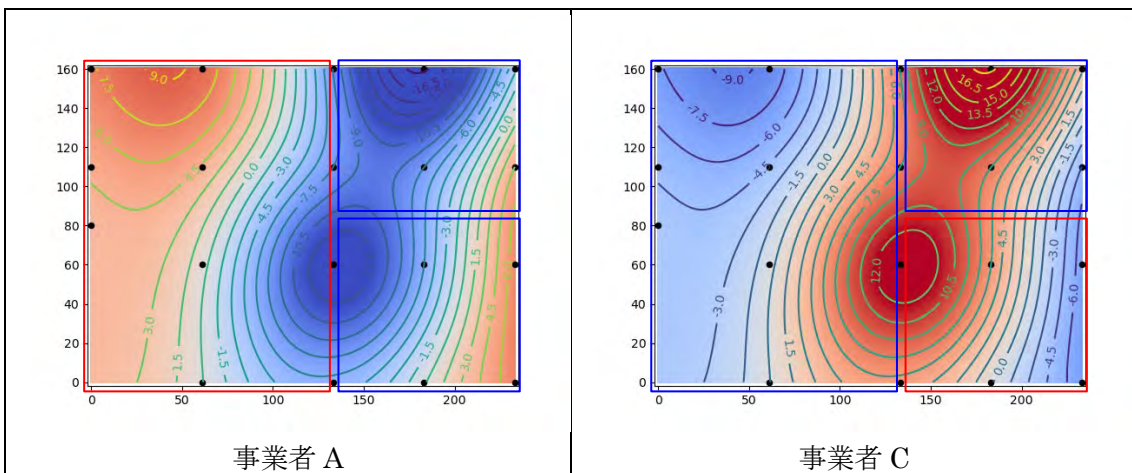


図 5.4-19 事業者 A, C の同時運用時の SIR 改善量分布 (ビーム限定パターン)



表 5.4.3-13 各事業者エリア内の平均 SIR

事業者	ビーム限定なし	限定パターン1	限定パターン2
A (A, B 同時運用)	5.7dB	9.1dB	9.4dB
B (A, B 同時運用)	11.7dB	19.8dB	20.2dB
A (A, C 同時運用)	12.4dB	13.0dB	12.6dB
C (A, C 同時運用)	25.4dB	27.3dB	28.0dB

表 5.4.3-14 各事業者エリア内の場所率 (SIR $\geq$ 0dB)

事業者	ビーム限定なし	限定パターン1	限定パターン2
A (A, B 同時運用)	76.8%	74.5%	74.7%
B (A, B 同時運用)	97.8%	98.0%	98.0%
A (A, C 同時運用)	94.8%	84.4%	80.6%
C (A, C 同時運用)	99.0%	99.0%	99.0%

表 5.4.3-9、表 5.4.3-10、表 5.4.3-11 に UDP, TCP それぞれにおける DL, UL スループットを記載するとともに、遅延時間についても記載した。各事業者用にアンテナを設置することにより各事業者エリア全体がいずれかのビームでカバーされるようになるため、5.3 章の評価で得られたスループットに対して各事業者エリアにおける平均スループットは改善していた。但し、このスループット測定は、干渉が無い環境での評価であるため、干渉が有る場合の特性を示すものではない。また遅延時間については通信が確立されなかった点を除いては地点によらず 3msec 程度であった。

表 5.4.3-15 スループット、遅延時間 (事業者 A)

UE Point	UDP		TCP		遅延速度
	UL	DL	UL	DL	
A1	19.38 Mbps	125.75 Mbps	12.18 Mbps	263.27 Mbps	2.611 ms
A2	37.19 Mbps	104.40 Mbps	36.16 Mbps	471.39 Mbps	2.829 ms
A3	59.29 Mbps	108.15 Mbps	68.20 Mbps	511.95 Mbps	2.822 ms
B1	75.95 Mbps	112.76 Mbps	80.31 Mbps	511.75 Mbps	2.814 ms
B2	30.63 Mbps	121.84 Mbps	30.16 Mbps	394.00 Mbps	2.662 ms
B3	38.36 Mbps	119.26 Mbps	38.49 Mbps	486.41 Mbps	2.724 ms
B4	36.14 Mbps	107.90 Mbps	39.01 Mbps	510.44 Mbps	2.766 ms
C1	3.43 Mbps	155.24 Mbps	2.46 Mbps	166.14 Mbps	2.216 ms
C2	5.77 Mbps	129.29 Mbps	5.29 Mbps	260.36 Mbps	2.112 ms
C3	1.16 Mbps	140.11 Mbps	1.07 Mbps	155.32 Mbps	2.092 ms
C4	0.05 Mbps	N/A	0.06 Mbps	N/A	4.528 ms
D1	N/A	N/A	N/A	N/A	4.480 ms
D2	N/A	N/A	N/A	N/A	23.020 ms
D3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
D4	0.19 Mbps	N/A	5.62 Kbps	5.16 Mbps	N/A
E1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
E2	0.00 Kbps	0.00 Mbps	0.00 Kbps	0.00 Mbps	N/A
E3	0.00 Kbps	0.00 Mbps	0.00 Mbps	0.00 Mbps	N/A
E4	0.00 Mbps	0.00 Mbps	0.00 Mbps	0.00 Mbps	N/A

表 5.4.3-16 スループット、遅延時間 (事業者 B)

UE2 Point	UDP		TCP		遅延速度
	UL	DL	UL	DL	
A1	20.60 Mbps	102.47 Mbps	20.68 Mbps	484.53 Mbps	2.876 ms
A2	55.95 Kbps	N/A	N/A	N/A	4.250 ms
A3	N/A	N/A	N/A	N/A	81.301 ms
B1	22.37 Mbps	128.82 Mbps	14.60 Mbps	209.10 Mbps	2.705 ms
B2	32.18 Mbps	106.30 Mbps	29.71 Mbps	441.10 Mbps	3.049 ms
B3	18.92 Mbps	126.75 Mbps	19.78 Mbps	397.34 Mbps	5.271 ms
B4	7.22 Mbps	143.61 Mbps	6.51 Mbps	202.00 Mbps	2.604 ms
C1	39.54 Mbps	118.90 Mbps	39.92 Mbps	512.14 Mbps	2.733 ms
C2	16.31 Mbps	155.51 Mbps	16.23 Mbps	233.19 Mbps	2.745 ms
C3	46.88 Mbps	119.75 Mbps	50.07 Mbps	510.59 Mbps	2.876 ms
C4	60.86 Mbps	117.03 Mbps	98.54 Mbps	512.29 Mbps	2.895 ms
D1	37.08 Mbps	129.13 Mbps	36.61 Mbps	427.10 Mbps	2.867 ms
D2	34.01 Mbps	100.61 Mbps	33.27 Mbps	414.29 Mbps	2.850 ms
D3	50.60 Mbps	117.04 Mbps	48.79 Mbps	512.75 Mbps	2.925 ms
D4	N/A	N/A	N/A	N/A	46.547 ms
E1	33.92 Mbps	129.15 Mbps	34.84 Mbps	414.71 Mbps	3.495 ms
E2	14.38 Mbps	142.29 Mbps	16.07 Mbps	333.51 Mbps	2.838 ms
E3	20.58 Mbps	153.66 Mbps	16.42 Mbps	231.17 Mbps	2.959 ms
E4	N/A	N/A	N/A	N/A	40.302 ms

表 5.4.3-17 スループット、遅延時間 (事業者 C)

UE2 Point	UDP		TCP		遅延速度
	UL	DL	UL	DL	
A1	817.71 Kbps	29.23 Mbps	517.00 Kbps	29.46 Mbps	N/A
A2	279.00 Kbps	N/A	84.07 Kbps	11.21 Mbps	N/A
A3	N/A	N/A	N/A	N/A	25.818 ms
B1	142.24 Kbps	N/A	N/A	N/A	3.691 ms
B2	18.40 Kbps	N/A	N/A	N/A	5.524 ms
B3	N/A	N/A	N/A	N/A	3.512 ms
B4	21.39 Mbps	140.76 Mbps	21.64 Mbps	353.98 Mbps	3.601 ms
C1	27.18 Mbps	99.36 Mbps	29.89 Mbps	471.51 Mbps	3.130 ms
C2	39.18 Mbps	119.18 Mbps	38.33 Mbps	452.89 Mbps	2.596 ms
C3	31.50 Mbps	124.01 Mbps	44.72 Mbps	461.22 Mbps	3.405 ms
C4	73.40 Mbps	118.87 Mbps	102.08 Mbps	511.46 Mbps	2.595 ms
D1	20.45 Mbps	123.26 Mbps	17.25 Mbps	273.05 Mbps	3.882 ms
D2	16.43 Mbps	145.79 Mbps	16.49 Mbps	279.00 Mbps	6.034 ms
D3	39.07 Mbps	103.73 Mbps	38.84 Mbps	484.85 Mbps	2.681 ms
D4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
E1	38.87 Mbps	121.13 Mbps	38.79 Mbps	474.19 Mbps	2.840 ms
E2	19.24 Mbps	130.06 Mbps	20.35 Mbps	363.49 Mbps	2.629 ms
E3	10.37 Mbps	159.92 Mbps	12.20 Mbps	227.22 Mbps	2.633 ms
E4	N/A	N/A	N/A	N/A	39.323 ms

ビームフォーミングのビームを各事業者のサービスエリアに合うように限定する方策の検証を行った。隣接事業者エリアへの不要なビーム送信が抑制される効果があるため、エリア全体の平均的な通信品質の改善に有効であることがわかった。しかしながら、端末がエリア境界付近などにある場合など、その位置によっては使用ビームを制限しても相互干渉を抑えられない場合もあると想定される。今回は評価しなかった 4.7GHz 帯シス

テムと同様の帯域分割による対策は 28GHz 帯システムにおいても有効であると考えられる。

#### 5.4.3.2 検証②

##### (1) 電界強度分布の評価

事業者毎に異なる帯域を用いて通信を行うため、基本的に事業者間の干渉は生じないと考えられるが、検証①の様に基地局の向きを各事業者エリアに合わせた設置を行わないために、検証①における RSRP 分布と比較すると電界強度が低下する領域が各事業者エリアで発生する可能性がある。特に今回の検証では固定された 1 ビーム (半値幅 26 度) のみを用いて評価を行ったため、そのエリアカバー範囲が 2 台の基地局を用いた実証①のエリアカバー範囲より減少する。

各地点における電界強度の測定値を表 5.4.3-18 に示す。また、表 5.4.3-18 に示した RSRP 測定値を用いて回帰分析 (ガウス過程回帰) により求めた RSRP 分布 (予測分布の平均値) を図 5.4.3-15 に示す。アンテナの指向性は C 列の測定点の方向に向いているため、C 列の測定点における各測定値が高くなっている。地点 C4 は基地局に最も近いがアンテナの直下に位置するため、垂直面の指向性範囲から外れるため地点 C3 よりも電界強度が低くなっている。A 列と E 列は共に指向性範囲から離隔が大きいため、測定が出来ていない。

実際の運用では、事業者間で基地局を共用する場合には複数のビームを用いて各事業者の圃場エリア全体をカバーできるようにアンテナ指向性を設計する必要がある。例えば今回用いた半値幅 26 度のビームを水平方向に 8 個程度並べることにより、圃場全体をカバーすることが可能である。どのように指向性を設計しても、事業者間では利用する周波数が異なるため、相互に干渉することない。

表 5.4.3-18 電界強度分布

Point	電界強度			
	RSRP	RSRQ	SIR	RSSI
A1	-	-	-	-
A2	-	-	-	-
A3	-	-	-	-
B1	-115.5 dBm	-10.9 dBm	9.4 dBm	-91.6 dBm
B2	-110.7 dBm	-10.4 dBm	13.7 dBm	-87.2 dBm
B3	-122.3 dBm	-12.8 dBm	2.8 dBm	-96.6 dBm
B4	-117.6 dBm	-11.6 dBm	7.4 dBm	-93.1 dBm
C1	-110.5 dBm	-10.6 dBm	13.6 dBm	-86.9 dBm
C2	-112.5 dBm	-10.6 dBm	12.1 dBm	-88.8 dBm
C3	-101.0 dBm	-10.4 dBm	19.7 dBm	-77.6 dBm
C4	-111.8 dBm	-11.2 dBm	12.2 dBm	-87.7 dBm
D1	-	-	-	-
D2	-129.3 dBm	-16.8 dBm	-3.9 dBm	-99.5 dBm
D3	-114.1 dBm	-10.7 dBm	10.7 dBm	-90.3 dBm
D4	-	-	-	-
E1	-	-	-	-
E2	-	-	-	-
E3	-	-	-	-
E4	-	-	-	-

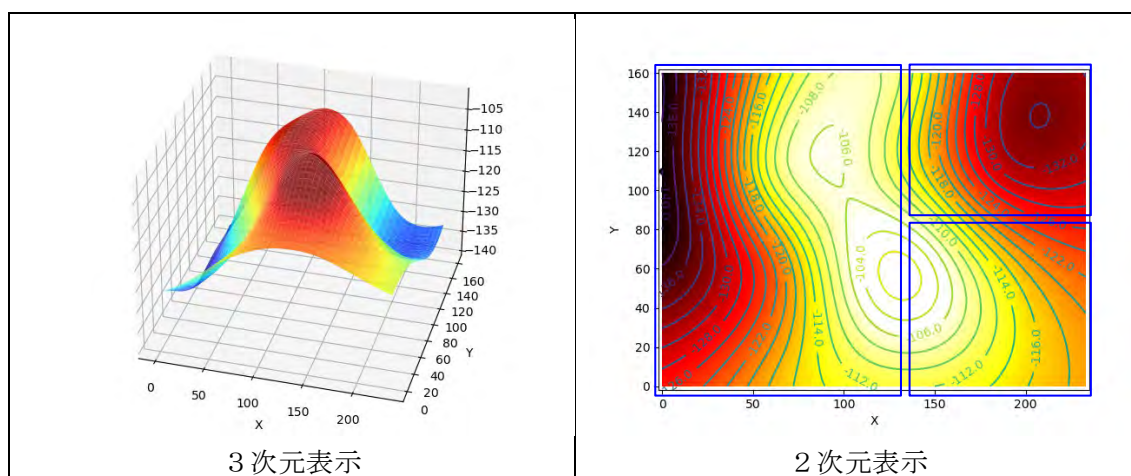


図 5.4-20 基地局共用時の RSRP 分布

(2) 伝送スループットの評価

上記の電界強度分布の評価と同様にして、各地点における伝送スループット測定値よりエリア全体の伝送スループット分布を計算し、これを実証①でもとめた伝送スループット分布と比較する。上記の電界強度分布と同様に、基地局の向きを事業者毎に最適化する場合と比較した場合の伝送スループットの違いを評価した。

表 5.4.3-19 伝送スループット分布

Point	UDP		TCP	
	UL	DL	UL	DL
A1	-	-	-	-
A2	-	-	-	-
A3	-	-	-	-
B1	2.77 Mbps	12.69 Mbps	6.01 Mbps	9.64 Mbps
B2	2.98 Mbps	15.45 Mbps	7.02 Mbps	14.66 Mbps
B3	2.70 Mbps	10.61 Mbps	5.12 Mbps	9.90 Mbps
B4	2.57 Mbps	8.32 Mbps	4.85 Mbps	7.92 Mbps
C1	4.81 Mbps	20.88 Mbps	9.45 Mbps	17.71 Mbps
C2	2.51 Mbps	13.00 Mbps	7.37 Mbps	13.79 Mbps
C3	4.45 Mbps	41.31 Mbps	12.45 Mbps	34.19 Mbps
C4	25.41 Mbps	23.88 Mbps	14.17 Mbps	25.12 Mbps
D1	-	-	-	-
D2	2.65 Mbps	6.83 Mbps	5.26 Mbps	8.13 Mbps
D3	2.80 Mbps	11.21 Mbps	7.85 Mbps	10.18 Mbps
D4	-	-	-	-
E1	-	-	-	-
E2	-	-	-	-
E3	-	-	-	-
E4	-	-	-	-

(3) 伝送遅延

伝送路品質が低下した際に再送が増加することにより、伝送遅延も増加する関係にある。基地局の向きを事業者毎に最適化する場合と比較した場合の違いを評価した。

表 5.4.3-20 伝送遅延測定結果

地点	事業者 A, B の同時運用時	事業者 A, C の同時運用時
A1		
A2		
A3		97.65ms
B1		97.55ms
B2		194.30ms
B3	97.09ms	103.99ms
B4	95.38ms	96.98ms
C1	107.36ms	
C2	129.25ms	
C3		96.20ms
C4		194.59ms
D1		
D2	228.74ms	
D3		136.15ms
D4		
E1		
E2		



E3		
E4		

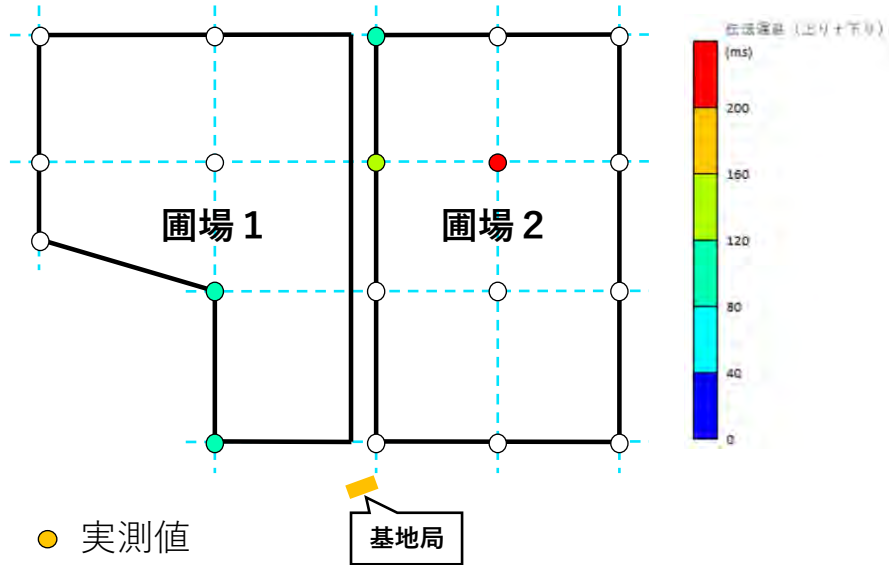


図 5.4.3-18 伝送遅延 (事業者 A、B)

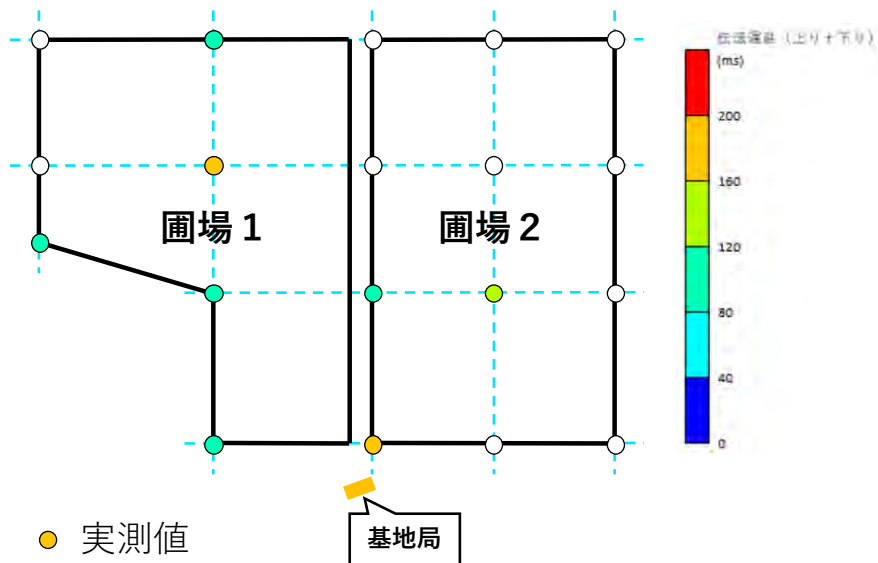


図 5.4.3-19 伝送遅延 (事業者 A、C)

帯域幅分割による各事業者へのリソース割り当て時の電界強度分布、伝送スループット分布、伝送遅延時間分布の測定結果から、周波数および基地局を共用する形態において各事業者にて必要な無線品質が得られたかどうか、伝送スループット、伝送遅延について要求品質を満たす結果が得られたかどうか、事業者間で不公平性が生じていないかについて検証し、十分な結果が得られない場合にはその技術的要因を分析し、

課題を明らかにするとともに解決の方策を提案する。

#### 5.4.4 技術的課題の解決方策

##### 5.4.4.1 事業者間の干渉制御方策

複数の事業者が隣接する環境において、これらの事業者が同時に運用を行うと相互干渉により通信特性の低下が問題となると考えられることから、圃場環境で 2 種類の干渉低減策の効果検証を行った。4.7GHz 帯システムでは事業者毎に利用周波数を分割する方策の検証を行い、その有効性を確認した。一方、28GHz 帯システムでは使用するビームに制限を設ける方策の検証を行ったが、この方法は完全には隣接事業者エリアへの干渉を排除できないため、特に事業者間の境界付近エリアでは効果が限定的であることがわかった。したがって、28GHz 帯システムにおいても利用周波数を分割する方策を併用することが有効であると考えられる。

今回、複数の事業者が共通の運用事業者に運用および干渉制御の業務を委託する場合を想定した実証も行った。共通の運用事業者が周波数免許を一括取得し、事業者間で基地局を共用するシナリオを想定して、4.7GHz 帯システムにおいて事業者毎に利用周波数を分割する方策の有効性の検証を行った。今回の圃場環境では 1 台の共用基地局で全エリアをカバーしても十分な通信品質が得られることを確認した。但し、環境によっては基地局を共用せずに事業者エリア毎に設置した方が良い場合もあると考えられるため、共通の運用事業者は、それぞれの環境に応じて置局設計を行う必要はあると考えられる。

また、このような共通運用事業者による一括運用の実現に向けては、今後の継続的な制度整備に向けた議論も必要と考えている。共通運用事業者へ一括した免許の交付を行い、委託を受けた土地においては自己土地利用と同等の扱いを容認してもらう必要がある。共通運用事業者が個々の業務に影響が出ないように業務間でのリソース配分を動的に調整することにより、個々の業務サービスに応じた柔軟なネットワーク運用が可能となる。将来的にこのような運用形態を制度面でサポートしていくことが望まれる。各土地所有者が個別に免許を取得する場合においても、土地所有者間の同意に基づいて必要最小限の帯域幅を割り当てることができれば、相互の干渉を抑えつつ、より多くの事業者によるネットワークの共存を実現できる。このため、より細かい単位での周波数割り当てをサポートする制度化が望まれる。

##### 5.4.4.2 更なる技術的課題：所要トラフィック量の変化への対応

事業者毎に利用周波数を分割する方策の検証を行ったが、各事業者へ割り当てる帯域幅は固定としていた。しかしながら、ユースケースとして想定されるドローンや摘採機に搭載したカメラで撮影した画像の伝送については、摘採機の使用時期や台数の増減、必要な画像の精細度などにより、必要なトラフィックが変動することが考えられる。このように、所要トラフィック量が増加した場合には、対象事業者への周波数帯域割り当て量を変更することで、必要な無線リソースを必要な事業者に割り当てて対応することができると考えられる。

隣接する事業者間での所要トラフィック量が増加する場合を想定し、共用する基地局における周波数帯域割り当て量を変更することにより、所要トラフィック量の変化に対応できることを検証する必要がある。

## 5.5 その他ローカル 5G に関する技術実証

### 5.5.1 評価・検証項目

#### ① 所要トラフィック量の変化への対応に関する検証

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、固定の帯域幅を各事業者に割り当てた場合に、一時的にトラフィック量が増大した際に所望の通信品質を満たせなくなる可能性がある。事業者ごとに所要トラフィックの時間的な変動は異なると考えられるため、5.4.3.2 項で仮定したように複数事業者で周波数を共用し、トラフィックの少ない事業者に割り当てた帯域の一部をトラフィック増大した事業者へ割り当てることで、一時的なトラフィック増大に対応することが可能となると考えられる。本検証ではこのシナリオに基づき、共用基地局における事業者毎の周波数帯域割り当て量を変更することにより、所要トラフィック量の変化に対応できることを検証し、共用基地局に周波数分割を適用することの有効性（所要トラフィック量の変更への柔軟な対応）を検証することを目標とする。そして、本検証を通じて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面での提言につなげることを目標とする。

本検証における評価項目を表 5.5.1-1 示す。

表 5.5.1-1 所要トラフィック量変更時の評価項目

大項目	中項目	小項目	備考
トラフィック量変更前	電界強度分布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スループット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間分布	上り+下り (ms)	
映像品質	伝送後の映像品質		
トラフィック量変更後 (帯域幅を変更しない場合)	電界強度分布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スループット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	

		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間分布	上り+下り (ms)	
	映像品質	伝送後の映像品質	
トラフィック量変更後 (帯域幅を変更する場合)	電界強度分布	RSRP (dBm)	
		RSRQ (dB)	
		SINR (dB)	
		RSSI (dBm)	
		ビーム ID	
	伝送スループット分布	UDP 上り (Mbps)	
		UDP 下り (Mbps)	
		TCP 上り (Mbps)	
		TCP 下り (Mbps)	
	伝送遅延時間分布	上り+下り (ms)	
	映像伝送品質	伝送後の映像品質	

事業者へ割り当てる帯域幅の変更前と変更後のそれぞれについて、各測定地点における測定結果を整理する。(測定地点は図 5.3-14 に準じる)

- ア) 電界強度：測定値を一覧表に示すとともに、圃場のサービスエリアの測定地点毎に測定値で色分けしてプロットした図面を作成する。
- イ) 伝送スループット：測定値を一覧表に示す。
- ウ) 伝送遅延：測定値を一覧表に示す。
- エ) カメラ画像の映像品質：映像主観評価結果（評点 5～1 の 5 段階（数値が大きい方が品質良））を測定地点毎に一覧表に示す。

事業者で使用するトラフィック量が増加する場合に、帯域幅分割による各事業者へのリソース割り当てを変更することによって各事業者にて必要な無線品質が得られたかどうか、伝送スループット、伝送遅延について要求品質を満たす結果が得られたかどうかについて検証し、十分な結果が得られない場合にはその技術的要因を分析し、課題を明らかにするとともに解決の方策を提案する。

## 5.5.2 評価・検証方法

### ① 所要トラフィック量の変化への対応に関する検証

4. 7GHz 帯システムにて検証を実施する。

「イ. ローカル 5G のエリア構築やシステム構成の検証 ①事業者間での無線リソース分割・割り当てに関する検証」と同様の事業者構成を想定し、事業者 A と事業者 C とで使用するトラフィック量が表 5.5.2-1 のように変化する場合について検証する。トラフィック量の変更は iPerf(スループット測定ツール)の帯域指定オプションを使用して、発生させるトラフィック量を変更することにより実施する。

表 5.5.2-1 トラフィック量の変更内容

	トラフィック量変更前 (上り)	トラフィック量変更後(上り)
事業者 A	20100Mbps	550Mbps

事業者 C	550Mbps	20100Mbps
-------	---------	-----------

トラフィック量変更の前後で、各事業者へ割り当てる帯域幅を変更しない場合と、変更する場合の二通りについて検証する。

各事業者に割り当てる帯域幅の値については表 5.5.2-2 に示す。

表 5.5.2-2 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

① 事業者へ割り当てる帯域幅を変更しない場合

トラフィック量変更の前後で各事業者への割り当て帯域幅を表 5.5.2-2 の変更前の値のまま変更しない場合について検証する。

トラフィック変更前後のそれぞれについて図 5.3-14 の各測定地点において表 5.5.1-1 に記載の評価項目を測定する。

各評価項目の測定方法は下記のとおりである。

電界強度：RSRP (dBm)、RSRQ (dB)、SINR (dB)、RSSI (dBm)、ビーム ID を測定する。

伝送スループット：UDP (上り/下り)、TCP (上り/下り)

サーバ端末間における伝送スループットを iPerf (スループット測定ツール) により測定する。

伝送スループット：UDP (上り/下り)、TCP (上り/下り)

サーバ端末間における伝送スループットを iPerf (スループット測定ツール) により測定します。

ア) 伝送遅延時間：無線区間の遅延時間 (上り+下り)

端末ログにより上記伝送スループット測定時の伝送遅延時間を測定します。

イ) 伝送後の映像品質：事業者 A、事業者 C のサービスエリアではそれぞれ表 5.5.2-1 に記載のトラフィックを流したときの映像の途切れ (停止) や画像の乱れなどの映像劣化の発生頻度を測定地点毎に記録する。

② 事業者へ割り当てる帯域幅を変更する場合

トラフィック量変更の前後で各事業者への割り当て帯域幅を表 5.5.2-2 の変更前の各値から変更後の各値に変更する場合について検証します。トラフィック変更前後のそれぞれについて図 5.3-14 の各測定地点において評価項目を測定します。

5.5.3 検証結果、その他仕様書に個別に記載されている事項、個別の提案等

事業者 A エリアにおける測定点 (B2, B3)、および事業者 C エリアにおける測定点 (C3, D3) における電界強度の測定結果を表 5.5.3-1 に示す。また、この表に示した RSRP 測定値を用いて回帰分析 (ガウス過程回帰) により求めた RSRP 分布 (予測分布の平均値) を図 5.5.3-1 に示す。地点 C3 以外はビームの指向性から外れているため電界強度が低くなっている。特に地点 D3 は RSRP, SIR 共に低かった。

トラフィック量変更の前後で各事業者への割り当て帯域幅を表 5.5.2-2 の変更前の各値から変更後の各値に変更する場合について検証を行った。割り当て帯域変更前および変更後におけるスループットの測定値を表 5.5.3-2 および表 5.5.3-3 にそれぞれ示す。



す。トラフィックとして 20Mbps および 5Mbps の 2 種類の伝送を行った場合のトラフィックのスループット計測も併せて行った。

UDP および TCP スループットに関しては、事業者 A エリアにおける測定点 (B2, B3) では帯域幅が 40MHz→20MHz と半減に伴いスループットも概ね半減していた。一方、事業者 C エリアにおける測定点 C3 では帯域幅が 20MHz→40MHz と 2 倍に増加することにより、DL の UDP スループットも 2 倍程度に増加していた。但し、地点によっては帯域幅に比例したスループットの増減が見られないところもある。

固定レートのトラフィック入力した場合、5Mbps のトラフィックについては概ねトラフィックのレートに近い伝送スループットが得られている。一方、20Mbps のトラフィックについては地点 B2 では 16.11Mbps (40MHz 帯域) の伝送スループットが得られているが、他の地点における伝送スループットは低くなっていた。また、割り当て帯域幅変更の効果についても、地点 B2 以外では明確な影響は見られなかった。

地点によりばらつきがあるが、トラフィックが多い事業者のより多くの帯域幅を割り当てることにより、事業者毎のトラフィック量変動に対応可能であるといえる。

表 5.5.3-1 電界強度分布

Point	電界強度			
	RSRP	RSRQ	SIR	RSSI
B2	-113.8 dBm	-10.7 dB	11.0 dB	-90.1 dBm
B3	-117.3 dBm	-11.5 dB	7.5 dB	-92.8 dBm
C3	-111.6 dBm	-10.9 dB	12.8 dB	-87.7 dBm
D3	-123.2 dBm	-12.5 dB	1.9 dB	-97.7 dBm

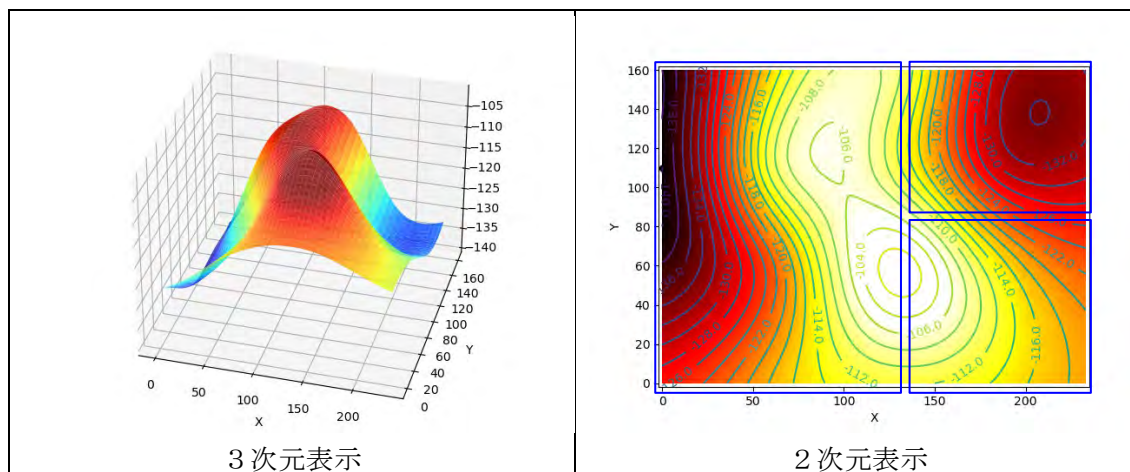


図 5.5-1 RSRP 分布

表 5.5.3-2 スループット (割り当て帯域幅変更前)

Point	UDP		TCP		固定トラフィック入力	
	UL	DL	UL	DL	5Mbps	20Mbps
B2	4.41 Mbps	23.55 Mbps	16.71 Mbps	19.79 Mbps	4.87 Mbps	16.11 Mbps
B3	3.40 Mbps	12.39 Mbps	6.34 Mbps	11.95 Mbps	4.98 Mbps	4.73 Mbps
C3	4.61 Mbps	20.00 Mbps	13.71 Mbps	23.62 Mbps	4.95 Mbps	12.22 Mbps
D3	2.56 Mbps	6.81 Mbps	4.19 Mbps	6.26 Mbps	4.24 Mbps	3.28 Mbps

表 5.5.3-3 スループット (割り当て帯域幅変更後)

Point	UDP		TCP		固定トラフィック入力	
	UL	DL	UL	DL	5Mbps	20Mbps
B2	2.64 Mbps	14.58 Mbps	4.78 Mbps	8.02 Mbps	4.97 Mbps	3.94 Mbps
B3	2.84 Mbps	6.16 Mbps	5.59 Mbps	5.91 Mbps	4.95 Mbps	4.51 Mbps
C3	2.95 Mbps	42.32 Mbps	11.48 Mbps	24.33 Mbps	4.93 Mbps	10.57 Mbps
D3	2.83 Mbps	6.54 Mbps	5.80 Mbps	5.71 Mbps	4.97 Mbps	4.66 Mbps

次に Web カメラ (6Mbps) の映像伝送品質の評価を行った。伝送後の映像品質は、事業者 A、事業者 C のサービスエリアにおいてトラフィックを流したときの映像の途切れ(停止)や画像の乱れなどの映像劣化の発生頻度を測定地点毎に評点 5~1 の 5 段階(数値が大きい方が品質良)で主観評価を行った。結果を表 5.5.3-5 に示す。

地点 D3 では電界強度が低いため、スループットも低くなっており、これに伴い映像伝送品質もあまり良くなかった。割り当て帯域幅をトラフィック量の増大に合わせて増加したものの、感知できる品質の有意な向上は見られなかった。評価点の多くが 2 から 3 の間に分布するが、これは全ての映像においてコマ飛びのように滑らかさの欠ける映像となっていることに起因する。上述の固定トラフィック入力時の評価において 5Mbps トラフィックの場合、割り当て帯域幅に関わらずほぼトラフィックレートに近い伝送レートが得られていたことから、今回評価した 6Mbps の映像トラフィック伝送においても、割り当て帯域幅が 20MHz あれば、4~5Mbps 程度のスループットが得られていると考えられる。このため、4~5Mbps 程度の伝送レートに相当する映像伝送品質が実現できたものと考えられる。

表 5.5.3-4 映像伝送品質評価結果

	B2	B3	C3	D3
帯域幅変更前	2.5	2.5	2	2
帯域幅変更後	2.5	2.5	2	1

伝送遅延時間としては、無線区間の遅延時間(上り+下り)を端末ログにより上記伝送スループット測定時の伝送遅延時間を測定した。測定結果を表 5.5.3-5 に示す。

表 5.5.3-5 遅延時間

Point	割り当て帯域変更前	割り当て帯域変更後
B2	60.69 ms	101.61 ms
B3	48.83 ms	99.61 ms
C3	122.22 ms	58.82 ms
D3	98.3 ms	99.98 ms

共用基地局における事業者毎の周波数帯域割り当て量を変更することにより、所要トラフィック量の変化に対応できることを検証し、共用基地局に周波数分割を適用することの有効性（所要トラフィック量の変更への柔軟な対応）を示す。そして、本検証を通じて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面での提言につなげます。

#### 5.5.4 技術的課題の解決方策

##### 5.5.4.1 共用基地局における事業者毎の動的周波数帯域割り当て

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、固定の帯域幅を各事業者に割り当てた場合に、一時的にトラフィック量が増大した際に所望の通信品質を満たせなくなる可能性がある。事業者ごとに所要トラフィックの時間的な変動は異なると考えられるため、複数事業者で周波数を共用し、トラフィックの少ない事業者に割り当てた帯域の一部をトラフィック増大した事業者へ割り当てることで、一時的なトラフィック増大に対応することが可能となる。本検証ではこのシナリオに基づき、共用基地局における事業者毎の周波数帯域割り当て量を変更することにより、所要トラフィック量の変化に対応できることを検証し、共用基地局に周波数分割を適用することの有効性（所要トラフィック量の変更への柔軟な対応）を確認した。

##### 5.5.4.2 更なる技術的課題

上記の解決方策を実現するためには、敷地間の距離が短く相互干渉の可能性のある複数の事業者からの委託を受けた共通の運用事業者が、これら事業者のネットワークで使用する周波数免許を一括で取得するとともに、免許を受けた周波数をこれら事業者間で共用できるようにする必要がある。また共用時における各事業者へのリソース配分を、運用事業者により動的に変更できるようにすることも必要となる。本検証を通じて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面での提言につなげる。また制度面でのサポートに加えて、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を確立する必要がある。

#### 5.6 まとめ

今回の技術実証では、以下の4項目についての評価・検証を行った。

##### (1) 圃場および工場環境における伝搬特性評価

- 圃場エリア全体におけるシミュレーションおよび実環境での測定を行い、事業者間干渉の無い環境においては、今回評価を行った映像伝送アプリケーションを問題なく実現できることがわかった。一方、事業者間干渉が発生する環境においては、特にエリア端近辺における品質劣化が大きいことがわかった。
- 工場内において、映像アプリケーションに必要なスループットを確保するためには、複数RUが必要であることがわかった。
- トラックや摘採機を用いた遮蔽試験を実施した。トラックの陰から出た際と、摘採機の陰に隠れる瞬間において受信電力の低下がみられた。ただし、瞬断の生

じるような低下ではないことから、トラックや摘採機程度の遮蔽であれば 4.7GHz、28GHz 共に通信についてはさほど影響がないと考えられる。

(2) 圃場における映像伝送品質と伝送帯域幅の関係評価

- ① 圧縮率の異なる 3 種類のカメラそれぞれによるエンド・トゥー・エンドの映像伝送による伝送後の映像品質評価を行うことにより、カメラごとの周波数帯域幅との適合性について検証を行った。映像伝送装置を用いた場合には 20MHz を除いて 40M 以上の帯域幅では大きく品質が向上してはいないこと、また NW カメラにおいては 20MHz 帯域幅で若干の映像品質劣化が見られるものの、全帯域で大差がないことが示されており、必要以上の帯域幅の割当は不要であることがわかった。

(3) 圃場における他者土地への干渉量評価と干渉低減方策の効果検証、共用基地局によるその実現方法の検証

- ① 5.3.5.1 および 5.3.5.2 の電波伝搬特性の検証において、事業者の異なる比較的小規模な敷地が隣接している環境では、4.7GHz システムにおいては、適応ビームフォーミングは適用せずに比較的半値幅の小さい固定ビームでの送受信で評価した結果であるが、敷地の境界付近において大きな干渉が発生することがわかった。適応ビームフォーミングを適用した場合には、端末の位置によっては今回評価した固定ビーム設定よりも与干渉側のビームが被干渉側の敷地方向に向く可能性があるため、更に大きな干渉を隣接側に与える可能性があると考えられる。一方、28GHz システムでは適応ビームフォーミングを適用して評価を行ったが、敷地の境界付近において大きな干渉が発生する可能性があることを示した。
- ② 上記の事業者間干渉に対する対策として①では、以下の無線リソースを分割して各事業者に割り当てる以下の方策を適用した場合の検証を行った。
  - ア) 4.7GHz システム：周波数帯域を重複しないように分割し、事業者に割り当てる。事業者毎に使用帯域が異なるため、他者土地への漏洩電力を抑える対策をとらなくても事業者間で干渉の影響は発生しないことを示した。
  - イ) 28GHz システム：ビームフォーミングのビームを各事業者のサービスエリアに合うように限定する。隣接事業者エリアへの不要なビーム送信が抑制される効果があるため、エリア全体の平均的な通信品質の改善に有効であることが分かった。しかしながら、端末がエリア境界付近などにある場合等、その位置によっては相互干渉を抑えられない場合もあることが分かった。このように環境によっては、干渉を抑えられない場合もあると想定される。今回は評価しなかったが、4.7GHz システムと同様の帯域分割による対策は 28GHz システムにおいても有効であると考えられる。
- ③ 上記の事業者間リソース制御は、運用事業者を共通化することで制御が容易になると考えられることから、4.7GHz システムにおいて同一の運用事業者にて運用される共用基地局を用いて事業者間での周波数帯域分割割り当てを行う場合のメリットや課題の検証を行った。基地局を共用しても性能への影響は見られ

ないことを示した。

- ④ 総務省が定める「ローカル 5G 導入に関するガイドライン」では、近隣の土地所有者が加入する団体により、加入者の土地で一体的に業務が行われる場合は自己土地利用として扱うことが可能としている。その場合においても、構成する複数のセル間では干渉の影響を考慮した制御が必要になると考えられる。その具体的な実現手法として、共用基地局間における周波数帯域幅分割や、共用基地局毎に使用ビームを限定する手法の技術的有効性を示す。

(4) 圃場における共通事業者による運用の効果検証

- ・ 隣接する事業者間で所要トラフィック量が変化する場合を想定し、共用する基地局における周波数帯域割り当て量を動的に変更することにより、所要トラフィック量の変化に対応できることを検証し、共用基地局に周波数分割を適用することの有効性（所要トラフィック量の変更への柔軟な対応）を示した。基地局を周波数分割により共用する手法が、事業者間干渉の抑制だけでなく、事業者間の所要トラフィック量の変動にも柔軟に対応可能な有用な手法であると考えられる。

(5) 今後の制度面における議論に向けた提言

今回の技術実証において得られた知見を基に、継続的な制度整備に向けた提言を以下に示す。

- ① 多様なネットワーク運用形態の導入支援：今回、近隣の土地所有者が個別の業務を行う場合において、ネットワークの運用を同一の運用事業者へ委託する形態を想定した評価を行った。この形態の実現においては、共通運用事業者へ一括した免許の交付を行い、委託を受けた土地においては自己土地利用と同等の扱いを容認してもらう必要がある。共通運用事業者が個々の業務に影響が出ないように業務間でのリソース配分を動的に調整することにより、個々の業務サービスに応じた柔軟なネットワーク運用が可能となる。将来的にこのような運用形態を制度面でサポートしていくことが望まれる。

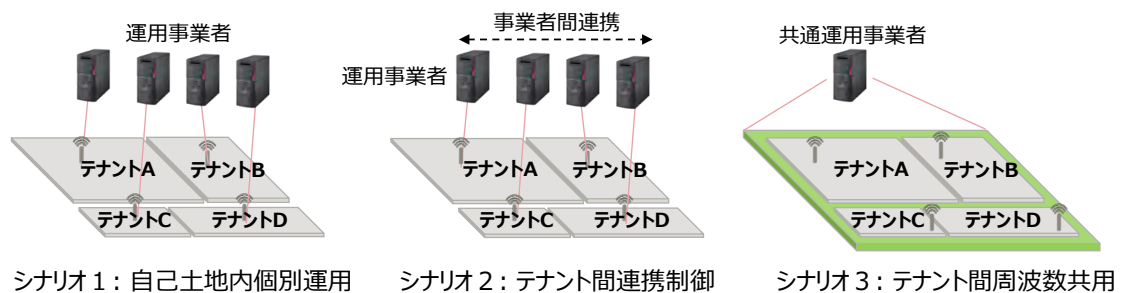


図 5.6-1 複数テナント間の共用シナリオ

各土地所有者が個別に免許を取得する場合においても、土地所有者間の同意に基づいて必要最小限の帯域幅を割り当てることができれば、相互の干渉を抑えつつ、より多くの事業者によるネットワークの共存を実現できる。このため、より細かい単位での周波数割り当てをサポートする制度化が望まれる。



## 6. 実装及び横展開に関する検討実装及び横展開に関する検討

### 6.1 前提条件

実装及び横展開に係る基本的な考え方として、6.1 コンソーシアムに関わる関係者をワーキンググループとして組成して関係者各位の考え方や意向を整理し、6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定、6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討、6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討を行うために必要な事業モデル策定の前提条件、制約条件を整理した。

#### 6.1.1 関係者の組成、課題整理

##### 6.1.1.1 ワーキンググループ（WG）の設定

事業モデルの検討は、実証実験で行なったお茶農家向け農業 5G サービス、及び他の分野で期待できるローカル 5G を活用した農業サービスを対象とし、ネットワーク構成でのコスト構造や技術的可能性の検討を行う必要があった。

また、地域キャリアとして、農業 5G サービスだけでは採算が合わないという仮説があるため、住民サービスを前提としたローカル 5G サービスについても検討を行う必要があると推察した。

そのため、下表の属性、意向を持つ参加者で構成する WG を設定した（一部、実証実験の提案書の際に記載していたコンソーシアムメンバーより拡大している）。

WG 参加メンバー	属性	意向・狙い
関西ブロードバンド	全国過疎地通信キャリア	本実証を通じて検討するローカル 5G の事業モデルを構築し、全国過疎地への横展開を検討
BTV	CATV 事業者	CATV 事業者として志布志市内におけるローカル 5G の事業モデル、他地域での横展開を検討
富士通	ローカル 5G 機器ベンダー	本実証を通じてローカル 5G の性能を実証し、事業モデルで機器ベンダーとして事業を検討
日本計器	農機制御システムベンダー	本実証を通じて制御システムを組み込んだ農機（松元機構）の性能や事業性を検討（農水省事業）
テラスマイル	摘採計画システムベンダー	本実証を通じて摘採計画システムの性能や事業性を検討（農水省事業）
アグリセンシング	ドローン画像解析ベンダー	本実証を通じてドローン空撮画像解析システムの可用性や事業性を検討（農水省事業）
堀口製茶	お茶農家	大規模お茶農家として、本実証を通じてサービスの継続的な利用可能性を検討（農水省事業）
JA あおぞら	お茶農家地域共同組	本実証を通じて小規模お茶農家へのシェアサービスで継続的な利用可能性を検討（農水省事

	合	業)
志布志市 農政畜産課茶業振興係	地方公共団体	地域内農業の生産量を維持するため、ローカル5Gの活用に対する地方行政の支援策を検討
鹿児島大学 升屋教授	コンサル	本実証を通じてローカル5Gの農業サービスや地域のその他サービスの事業モデルを研究、助言

#### 6.1.1.2 ワーキンググループ (WG) での協議

上記 6.1.1.1 のワーキンググループは全体、及び個別にグループメンバーへのヒアリングを行うなどして、関係者からの意見を聴取した。

WG 開催	月	主 題	内 容
第1回	9月	実装及び横展開に関する検討①	実装する事業モデルとして通信キャリアとしてのビジネスモデルの考え方として、住民ローカル5Gサービスや農業ローカル5Gサービス、及び対象エリアについて、当社からワーキンググループメンバーに説明した。
第2回	11月	実装及び横展開に関する検討②	損益分岐点モデルを構成する変数の詳細を住民ローカル5Gサービス、農業ローカル5Gサービスについて当社からワーキンググループについて説明。その上で、エリアモデルで得られる変数と住民アンケートや農業分野の関係者ヒアリングで得られる変数にかかる情報について説明。 アンケートやヒアリング項目を説明した。
第3回	12月	農業分野ヒアリング	農業分野の関係者として、農家、JA、志布志市、摘採計画システム関係者にヒアリングを行った。
個別のヒアリング	1月	農業分野ヒアリング	農業分野の関係者として、自動農機関係者に個別にヒアリングを行った
個別のヒアリング	2月	農業分野ヒアリング	農業分野の関係者として、農家、JA、志布志市、大学関係者にヒアリングを行った

#### 6.1.1.3 関係者による課題の整理

上記 6.1.1.1 の関係者にヒアリングやWGでの聞き取りなどを行い、事業性を検討する上で必要な利害関係者に対して、本実証実験、及び平行して実施している農林水産省の事業を通じて得られた課題認識及び事業への期待に関する意見を下表にまとめる。

なお、堀口製茶、JA あおぞら、志布志市、日本計器、アグリセンシング、テラスマイル

には、参考資料 9-6.1「農家、農業ベンダーへのヒアリングシート」の質問をベースに下表の回答（要約）を得た。

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のが最大の課題であるが、費用対効果を通信用キャリアとして、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、ローカル 5G の活用と工業系の力で農業分野の課題を解決できると

関係者	課題認識	事業への期待
		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。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どうか課題。	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。
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。

関係者	課題認識	事業への期待
JA あおぞら	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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ローカル5Gは活用できると期待する。</p>
志布志市 農政畜産課茶業振興係	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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、ローカル5Gの展開には期待する。</p>
鹿児島大学 升屋教授	<p>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。</p>	<p>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。</p>

## 6.1.2 事業モデルの対象事業の前提

### 6.1.2.1 事業モデル構築にあたっての仮説

ローカル 5G のネットワーク網を活用した事業モデルとして、最初の実証実験終了後の継続利用（実証実験範囲の事業モデル）を検討した。しかし、その範囲では事業性に乏しいという仮説から、エリアを拡大して特定し、同様のお茶農家向けの農業ローカル 5G サービスの提供を想定した事業モデルを検討した。さらに、その範囲でも事業性に乏しい、もしくは事業の他地域への横展開を検討するにあたり、展開地域の地域キャリアが住民向けインターネットサービスを既存のサービスとして提供している、という仮説から、同じエリア内で住民ローカル 5G サービスの提供を追加した事業モデルを検討することとした。

#### 1. 実証実験範囲の事業モデル

本実証実験で対象とした農業ローカル 5G サービス事業は、1つの大規模お茶農家の工場と圃場にローカル 5G のネットワークを構築して自動農機や摘採計画のための空撮ドローンを制御するものである。

通信キャリアやベンダーにとっての本実証実験範囲での事業モデル（以下、実証事業モデル）は、それらの事業者が適正利益を獲得する前提で、当該農家がローカル 5G で実現する自動農機やドローンの利用の有益性を認識し、関連当事者（お茶農家、支援関係機関など）が事業として継続することを意思決定する場合にのみ成立する前提として検討できる。

しかし当社（事業主体となることが想定される関西ブロードバンド）は、この実証事業モデルはローカル 5G ネットワークの有用性は確認できるものの、範囲が1つの農家の狭小な一部の圃場に限定されており、コア装置やスモールセル、線路等の施設・設備を専用で構築・利用する場合、その構築コスト（減価償却：耐用年数終了後の再構築費用を含む）やランニングコストが多額になるため、事業モデルとしては非常に事業性に乏しいという仮説を立て、シェアリング効果を生み出すために、同様の農家向けに同様の農業ローカル 5G サービスをある一定の範囲に広げる必要がある、と想定した。

#### 2. 実証実験を含むエリアでの農業向けローカル 5G サービス事業モデル

実証事業モデルは事業性に乏しい、という上記の仮説に基づき、サービスを提供する一定範囲としてのエリアとは、実証実験対象を含むエリアで、かつ、通信キャリアが対向設備であるコア装置をインターネット中継回線に繋ぐ局に設置し、そこからスター型のネットワークを構築して複数のスモールセルを配置すると想定した。当該エリアには、複数のお茶農家が存在し、複数の圃場が存在し、合理的な損益判断によって、一部の農家が本実証実験の農業向けローカル 5G サービスを利用すると想定する。また、お茶以外の農業分野でも利用可能性があるかと想定し、事業モデルの拡大が検討できる（以下、農業ローカル 5G サービス事業モデル）。

通信キャリアである当社は、このようなネットワーク構成は、中継ネットワーク網の基点となる地域の NTT の局単位でのネットワーク構成が妥当であると想定し、エリアモデルは実証実験を含む NTT の局単位で検討することとした。

しかし当社は通信キャリアとして、このモデルにおいても、該当するエリア内の農業ローカル 5G サービスを受ける農家数は限定的であると想定し、エリア内に構築したネットワークをよりシェアリングして効果を最大化するため、当該エリア内において



住民向けにローカル 5G-FWA を活用した住民向けインターネットサービスを重畳して提供することを想定した。

### 3. 農業向けローカル 5G サービス+住民向けローカル 5G サービス事業モデル

今後、事業の横展開モデルを検討するケースにおいては、1局または地域内複数局の NTT 局内で中継網と相互接続して特定のエリアで光ファイバ網によるインターネットサービスを提供している事業者が既に存在しているケースも多く、むしろ、住民向けのサービスに専用線サービスを重畳させるビジネスモデルが一般化している地域通信キャリアは、上記 1. の実証事業モデルや上記 2. の農業ローカル 5G サービスでは採算が取れないことを容易に想像する。

地域通信キャリアとしては、ビジネスの基盤としてエリア内により幅広い需要がある住民向けのインターネットサービスが存在し（以下、住民ローカル 5G サービス事業モデル）、その上に目的別の専用サービスを付加する事業形態のほうが、これまでの ADSL や CATV、光ファイバによる通信サービスと親和性があるためビジネスモデルとして検討しやすく、ローカル 5G による無線サービスは、ミリ波と Sub6 電波でエリアの大小と通信速度の性能を使い分けることもできるため、専用線サービスの幅をより広げることができると想定している。

今回の事業モデル構築にあたっては、インターネットサービスの通信速度が、現在の光ファイバによるインターネットサービスで提供している通信速度よりも増速し、将来的には 10 倍まで仕様、実効速度共に増速して、下記のような自宅で受ける様々なサービスが実現すると仮定している。

その技術の進歩により、通信キャリアが既存のドロップ系の光ファイバによるサービス提供のネットワークを、例えばその老朽化更新のタイミングで住民向けローカル 5G のインフラに切り替え、新たに住民向けローカル 5G サービスを提供することを想定している。

#### a) 超高速、超低遅延通信の実現

通信速度は、実際に計測できる速度として当初は下り 1G 程度が出て、現在に比べて相当早い速度になり、将来的には現在の携帯電話の通信速度の 100 倍となる最大 10G になると想定。

例えば、下記の b) から d) のような多様なサービスが広がり、現在は 5 分かかる 2 時間の映画が 3 秒でダウンロードできるようになる。

#### b) 遠隔医療、遠隔教育、テレワーク、遠隔操作

遠隔にしながら医療や教育を目の前で受けられたり、コロナ禍で急速に拡大したりしたテレワーク、遠隔農業などがより遅延を感じさせない臨場感で実現する。





c) AR（拡張現実）、VR（仮想現実）の進展による臨場感

仮想会議室での会議や、遠隔でのスポーツ観戦や音楽鑑賞が拡張現実で行えたり、VR上でのゲームなどが行えたりするようになる。



d) スマートホーム

家中の家電が繋がり、行動様式を判断して暮らしをサポートできるようになる。



(参考) ベライゾン社の商用サービス

①料金について

単体では 70\$

②速度品質

下り：通常 300Mbps、最大 940Mbps(Sacramento)

上り：通常 50Mbps

③提供範囲 10 州、17 都市の一部地域

- ・カリフォルニア州（アナハイム、ロサンゼルス、サクラメント、サンフランシスコ、サンノゼ）
- ・コロラド州（デンバー）
- ・フロリダ州（マイアミ）
- ・ジョージア州（アトランタ）
- ・イリノイ州（シカゴ）
- ・インディアナ州（インディアナポリス）
- ・ミシガン州（デトロイト）
- ・ミネソタ州（ミネアポリス、セントポール）
- ・ミズーリ州（セントルイス）
- ・テキサス州（アーリントン、ダラス、ヒューストン）

④仕様イメージ

FWA のアンテナと宅側のゲートウェイの例



出典：Verizon 5G Home Internet FAQs

### 6.1.2.2 事業モデル構築の検討順序と事業概要

上記 6.1.2.1 の考え方より、当社が想定するローカル 5G を含む通信インフラを活用した事業モデルは下記の 1～3 の順序で検討した。

#### 1. 実証事業モデル

今回の実証実験の範囲であるお茶農家の堀口製茶の工場と圃場をローカル 5G ネットワークで繋ぎ、監視・制御できる自動摘採機を提供するサービス、ならびにドローンで撮影、エッジコンピューティングで処理した画像を活用して摘採計画へ反

映させて提供するサービスを対象とする事業モデル。  
対象ユーザーは堀口製茶のみ。対象圏場は実証実験の範囲のみ。

## 2. 農業ローカル 5G サービス事業モデル

上記 1 の実証事業モデルを範囲に含むエリアを特定し、上記 1 の農業ローカル 5G サービスをエリア内の他のお茶農家に横展開する事業モデル。

堀口製茶とは異なる小規模農家も多いため、農家間で自動農機と監視・制御システムやドローン及び摘採計画策定システムをシェアリングする利用方法があることを前提とする。

その他、通信キャリアのローカル 5G の専用線サービスの拡張を期待できる対象として、農業領域の他分野での適用の可能性を検討し、通信キャリアとしての事業モデルを拡大する。

## 3. 住民ローカル 5G サービス事業モデル

上記 2 の農業ローカル 5G サービス事業モデルのエリアにおいて、既存の光ファイバによるインターネットサービスのユーザーが、より高速でコンテンツリッチになるローカル 5G の FWA サービスに移行し、オンラインサービスの進展によって、生活必需となる固定回線のユーザーが今以上に増加する。

住民ローカル 5G サービスで構築するネットワーク網と農業ローカル 5G で構築するネットワーク網は重畳させ、資源を有効に活用し、地域住民の生活基盤であるインターネットサービスとシェアリングする事業モデル。

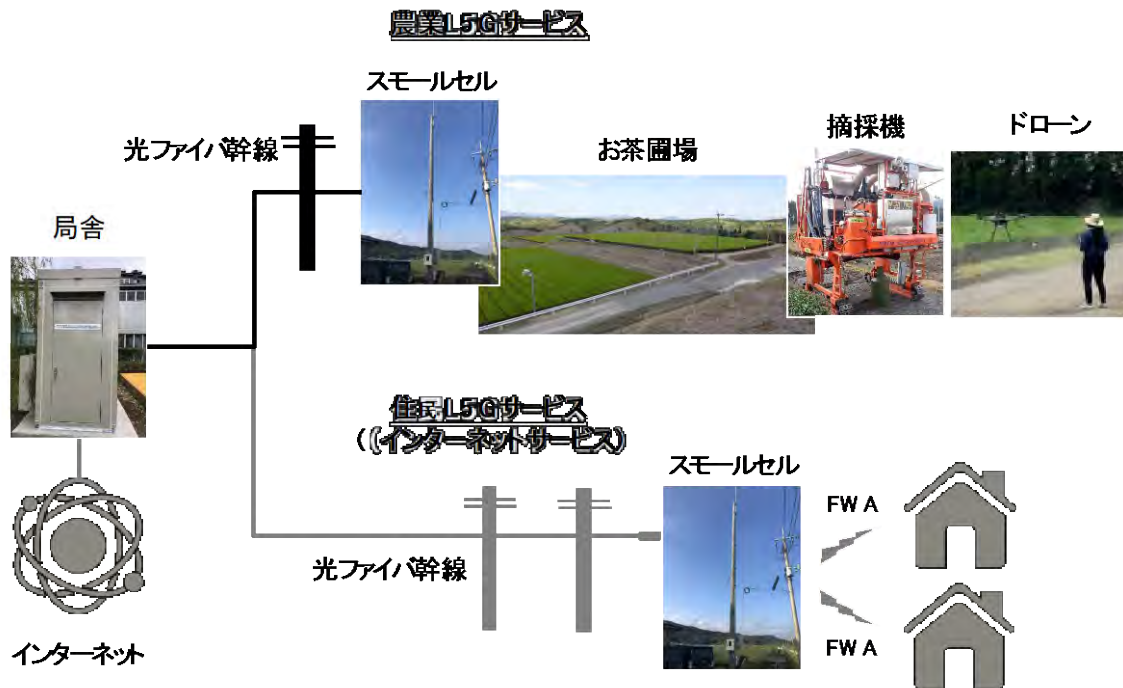


図 6.1-6.1-1 ローカル 5G を含む通信インフラを活用した事業モデル

### 6.1.3 事業モデル構築の考え方と展開

6.1.2.1の事業モデルは、定義したサービス内容がユーザー利得に合致していることを前提とし、そのサービス内容に対するコストが事業者側の利得として損益分岐を超えるメリットを与えるかどうか？ という一般的なビジネス成立の基本を前提とした。当社は、この事業モデルを損益分岐モデルと称し、そのモデルに必要な情報として下図6.1-2の各項目をサービスごとに規定し、合理性のある数量モデルとして検討する。

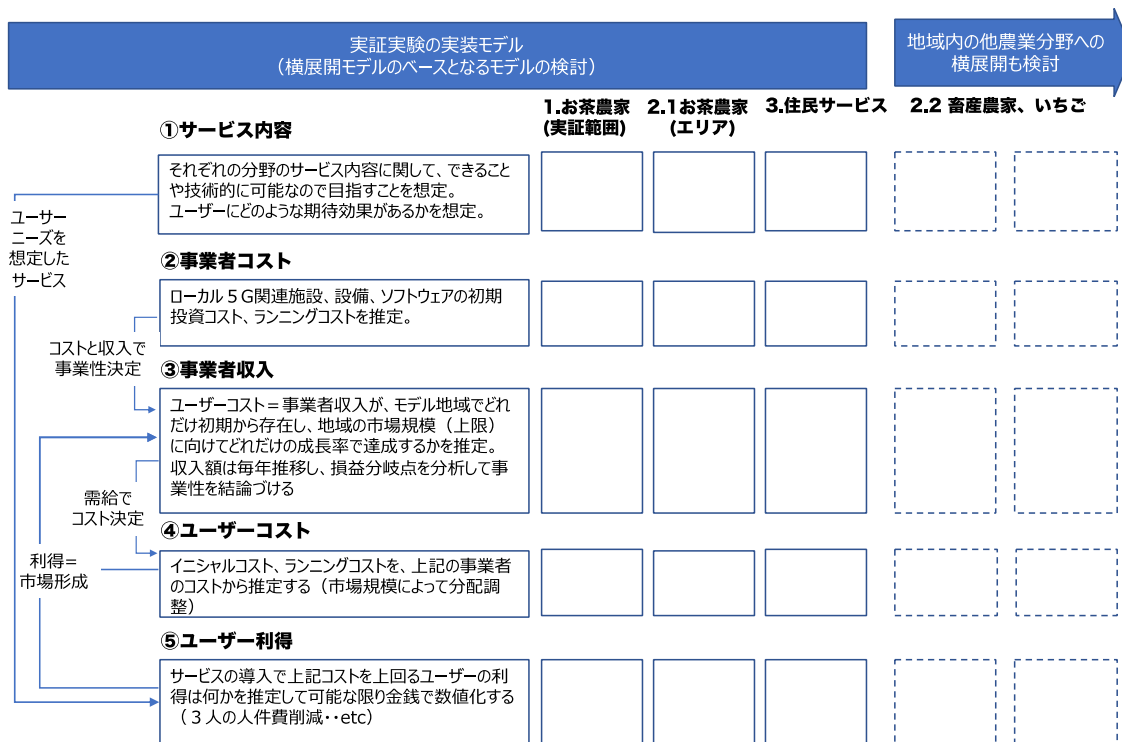


図 6.1-2 ローカル 5G を含む通信インフラを活用した事業モデル

#### (1) 実証事業モデル

##### ①サービス内容

本実証実験の対象であるお茶農家(堀口製茶)にセンター設備を設置し、その農家が保有する約5.7km先の圃場の間にローカル5Gネットワークを構築し、当該お茶農家の省人化を目途とした次のサービスを事業モデルの対象とする。

##### a) 自動農機

お茶を摘採するレベル3の自動農機を、堀口製茶の本社工場から遠隔監視し、制御できるように自動化する。その通信手段としてローカル5GのSub6電波によるネットワークを活用し、LTEでは実現できなかった制御を行う。これによって、茶葉の摘採にかかる省人化を実現するサービス。

##### b) ドローン&摘採計画システム

上記a)のローカル5Gを活用し、遠隔でドローンを操縦、ドローンに搭載した空撮カメラでお茶葉の状態を撮影して鮮明な画像を大量に分析コンピュータに送信し、閉域網内にあるエッジコンピュータで画像を解析してオルソモザイク処理を施す。さらにそのデータをインターネットクラウド上の摘採計画システムと連動させることで、見回りや摘採計画立案における省人化を実現するサービス。



②事業者コスト、③事業者収入

本事業モデルでは、お茶農家事業者には通信キャリアと自動農機やドローン及び摘採計画システムを提供するスマート農業ベンダーが存在する。

農業 5G サービスの事業モデルは通信キャリア、及びスマート農業ベンダーのビジネスの成立を検討するためそれぞれのコストと収入を決定する必要がある。

a)通信キャリアのコストと収入

お茶農家のセンター設備と圃場間におけるローカル 5G ネットワークを構築し、維持するコスト、ならびに、圃場から通信で得られるデータのコンピューティング処理として、クラウドコンピューティング及びエッジコンピューティングを IaaS として構築し、提供するコストがある。

通信キャリアは、それらのコストに販売管理コストと利益を計上して価格＝収入として設定すると想定。

b)スマート農業ベンダーのコストと収入

スマート農業ベンダーには、自動農機ベンダーとドローン＆摘採システムベンダーがあり、それらのベンダーは社内でコストを算出し、お茶農家に対する販売価格を決定する。

③ユーザーコスト

お茶農家にとってのコストは、上記③の事業者の収入＝販売価格として想定する。

④ユーザー利得

お茶農家にとっての利得として、上記①のサービスがない現状での人件費見合いのコストがどれだけ削減できるか、という省人化を見据えた労働量の削減効果を入件費から数量化して算出する。

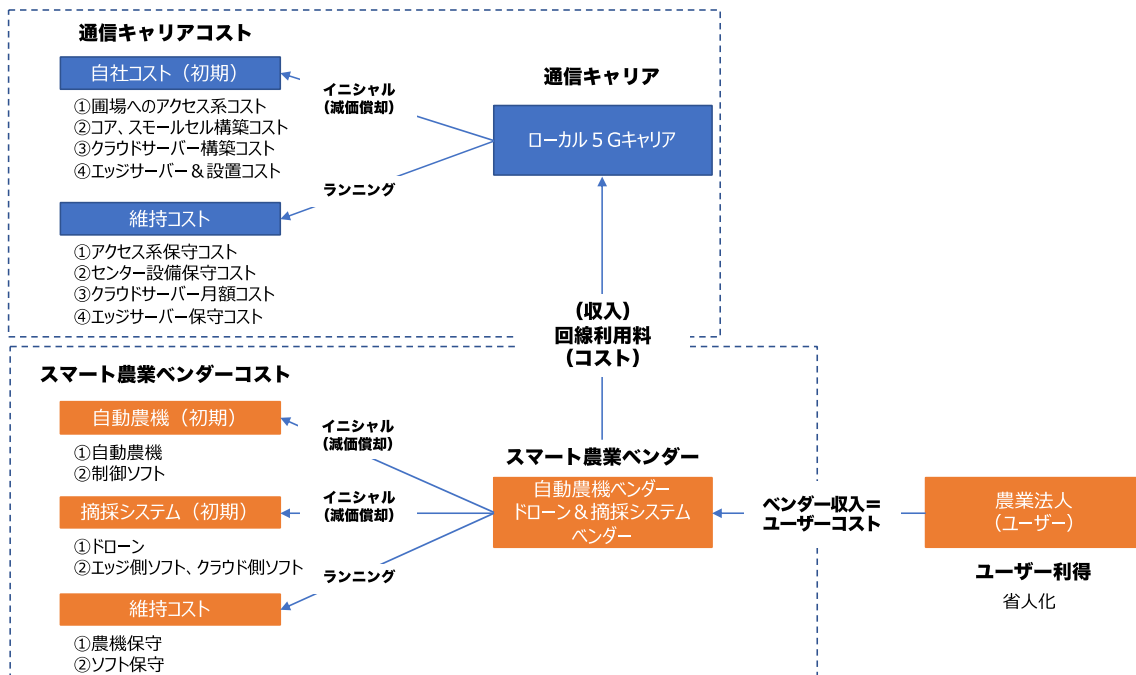


図 6.1-3 実証実験事業モデル



## (2) 農業ローカル 5G サービス

### 2.1 農業ローカル 5G サービス（お茶農家向け）

#### ①サービス内容

サービス内容は、上記（1）の実証実験事業モデルのセンター設備を志布志市内の NTT 蓬原局にコロケーションし、その近接地にエッジコンピュータを設置するためのシェルタ設備を構築し、志布志市蓬原局エリア（下記 6.1.5 参照）内の実証実験対象のお茶農家及び JA がシェアリングをする前提で小規模農家に上記 1. ①のサービスを提供するものとする。

#### ②事業者コスト、③事業者収入

農業ローカル 5G サービスには、上記 1. の実証実験事業モデルと同様、ローカル 5G サービスを提供する地域の通信キャリアが、農業 5G サービスを提供するスマート農業ベンダーに通信サービスを提供し、そのベンダーの先にお茶農家及び JA が存在する、いわゆる BtoBtoX モデルを想定する。

##### a) 通信キャリアのコストと収入

NTT 蓬原局にセンター設備を構築し、センター設備とエリア内のお茶農家や JA がシェアリングする先の小規模農家の圃場間におけるローカル 5G ネットワークを構築し、維持するコスト、ならびに、圃場から通信で得られるデータのコンピューティング処理として、クラウドコンピューティング及び蓬原局近くに設置するエッジコンピューティングを IaaS として構築し、提供するコストがある。

通信キャリアは、それらのコストに販売管理コストと利益を計上して価格＝収入として設定すると想定。

##### b) スマート農業ベンダーのコストと収入

スマート農業ベンダーには、自動農機ベンダーとドローン&摘採システムベンダーがあり、それらのベンダーは社内でコストを算出し、お茶農家に対する販売価格を決定する。

上記 1. の事業モデルのような単一事業ではないため、量産効果やシェアリング効果を見込んだ価格設定を検討する。

#### ④ユーザーコスト

BtoBtoX モデルの X であるお茶農家や JA を介しての小規模農家にとってのコストは、上記③の事業者の収入＝販売価格と想定する。

なお、JA を介したモデルでは、JA によるシェアリング効果を小規模農家向けの提供価格に反映するが、JA の利得もモデルとして検討する。

#### ⑤ユーザー利得

お茶農家にとっての利得として、上記①のサービスがない現状での人件費見合いのコストがどれだけ削減できるか、という省人化を見据えた労働量の削減効果を人件費から数量化して算出する。

### 2.2 農業ローカル 5G サービス（他農業向けサービス）

実装・横展開の検討におけるモデルとして、今回の実証実験事業を含む蓬原局エリアの特性が農業地域であることを踏まえ、農業ローカル 5G サービスの他分野での検討は、他の農業分野へのサービス提供と想定する。

当該地域での他農業で農業ローカル 5G サービス対象となるスマート農業の対象農

業として、畜産農家やいちご農家の存在が挙げられる。

これら他農業の存在をモデルエリアで確認し、画像解析力などが LTE での効果を上回る前提で、何らかの農業ローカル 5G サービスがそれらの農家に提供でき、当社のような通信キャリアが専用線サービスで収入を増加させることができる、と想定する。

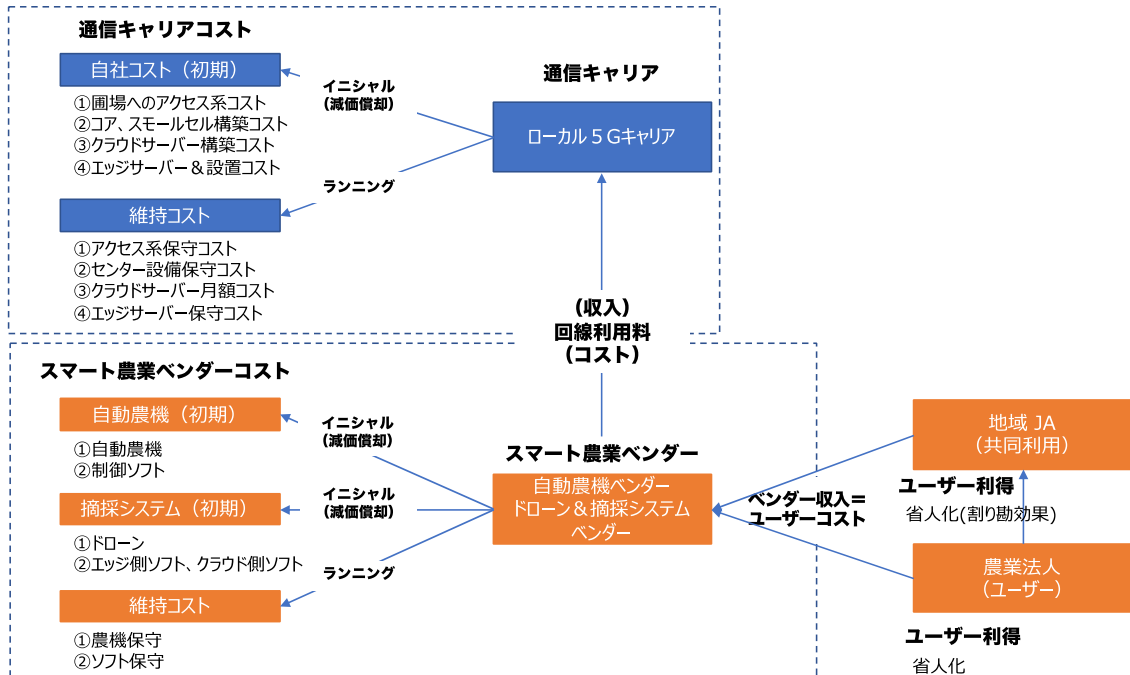


図 6.1-4 農業ローカル 5G サービス事業モデル

### (3) 住民ローカル 5G サービス事業モデル

#### ① サービス内容

ローカル 5G による住民向けインターネットサービスを上記 2. の農業ローカル 5G が展開される蓬原局エリアに重畳サービスとして展開する。

サービスの最大速度は 10G まで増速することを想定したネットワーク仕様、上位通信仕様とする。

#### ② 事業者コスト

農業ローカル 5G サービスを提供するための局舎設備や光ファイバ網は重畳して利用するが、それ以外に住民ローカル 5G サービスを提供するために光ファイバの支線や無線基地局を追加で構築し、維持するコスト、及びランニングコストとしてインターネットに接続するための上位通信コストが追加で必要となる。

#### ③ 事業者収入

地域の通信キャリアは、現在の蓬原局エリアの世帯数や事業者数、及びアンケート結果やベライゾン社が提供しているサービスなどを考慮し、住民ローカル 5G サービスを利用する顧客数やサービス料金を見込む。

④ユーザーコスト  
地域の通信キャリアが提示する価格となる。

⑤ユーザー利得  
現在の光ファイバの通信サービス利用者が、ローカル 5G による通信サービスによって、上記①のようなサービス内容の仕様や将来性を確認した上で、そのようなサービスの価格をどのように捉えるかをアンケートで確認した。

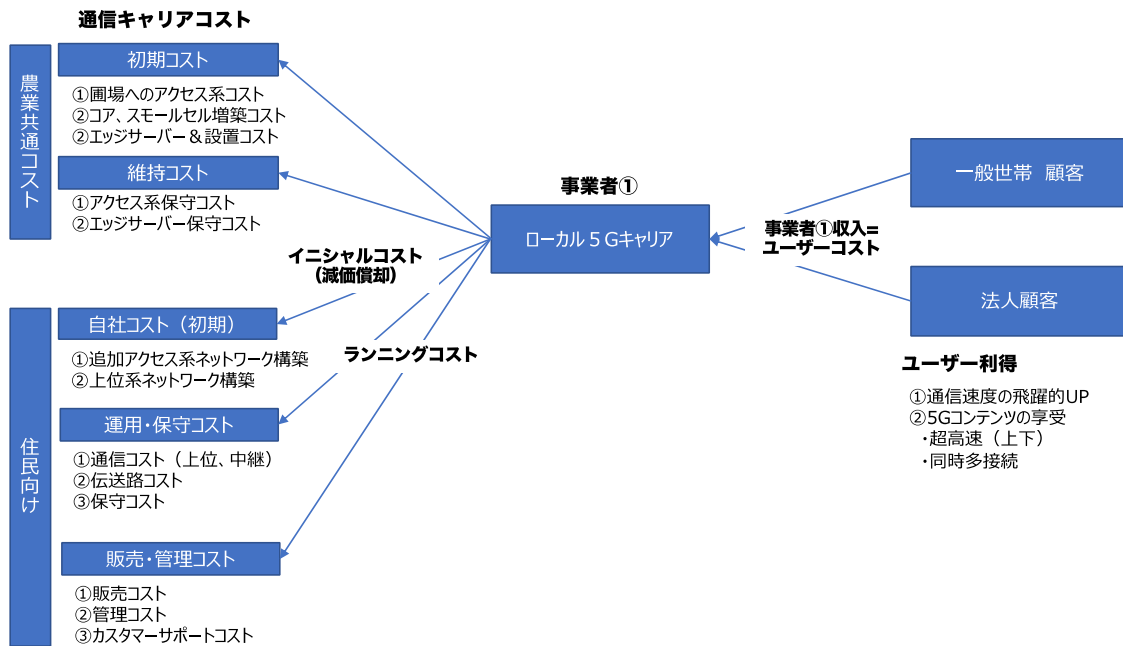


図 6.1-5 住民ローカル 5G サービス事業モデル

#### 6.1.4 サービスのコンピュータ処理

上記の農業ローカル 5G サービスの 2.1②で想定した通信キャリアとして提供するコンピューティング処理をするためのデータセンターサービスについては、クラウドコンピューティングまたはエッジコンピューティングの違いによって、通信品質及びコストが大きく異なる。

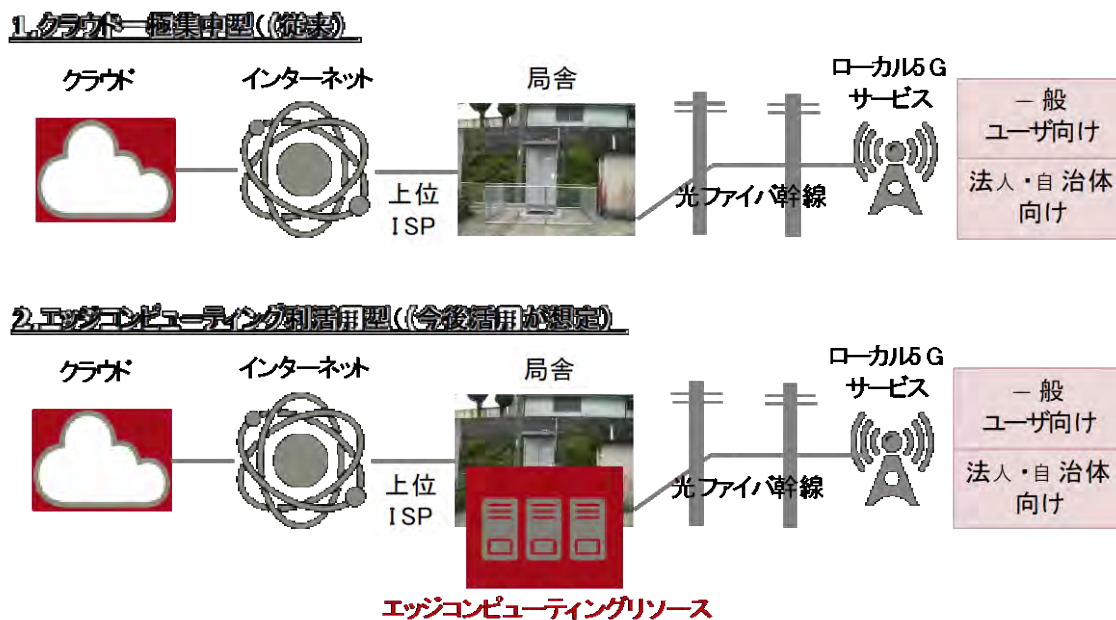


図 6.1-6 ローカル 5G 事業モデルの仮説とモデルの特定

本実証におけるローカル 5G の事業モデルの構築においては、データセンターサービスを IaaS として通信キャリアが提供する前提で、従来のクラウド側での情報処理の方式と上図のようなネットワークエッジを構築して情報を処理する方式について 3 種類の方式のコスト構造を比較した

##### ①地域エッジサーバー

(千円)

初期費用		年間費用	
シェルタ設計・構築(5年)	5,400	償却	1,320
サーバー費用(5年)	1,200		
-	-	維持・保守費用	300
合 計			1,620

##### ②クラウドサーバー (インターネット)

(千円)

初期投資		年間費用	
-	-	インターネット接続費用※	12,000
-	-	クラウドサーバー利用料	100
合 計		合 計	12,100

※地域によって異なるが、過疎地域における上位 ISP 事業者とのアクセス回線の 500M 占有料金レベルを想定。インターネット上での通信速度が保証されるものではない。

③クラウドサーバー（府県内の専用線）

（千円）

初期投資		年間費用	
-	-	府県内専用線接続費用※	24,000
-	-	クラウドサーバー利用料	100
合計	6,600	合計	24,100

※現状で公開されている専用線サービス（NTT 西日本を参照）で 60km 以上の線路を構築すると想定。

以上より。上記①から③を比較した（下図 6.1-7）。

①の地域エッジサーバーは、単体のシェルタ構造であるため、施設面でのセキュリティ面（耐震、耐水等）は比較的脆弱であるが、通信品質の保証、コスト面で優れている。

②のインターネットを介したクラウドサーバーは、上位 ISP に接続する地域アクセス回線費用が高額になる。特に、シェアリングする利用者が少ないため上位通信のアクセスポイントから上位事業者へのルータまでのアクセス回線利用料金は都心部に比べて高くなる。

また通信品質は、インターネットを介しているため、地点 to 地点の帯域を保証するものではない。

③は専用線を介したクラウドサーバーを府県内に設置する案である。地点 to 地点の通信品質は保証されるが、府県内の専用線費用は非常に高い。全国レベルの専用線はこの料金よりさらに高くなると想定される。

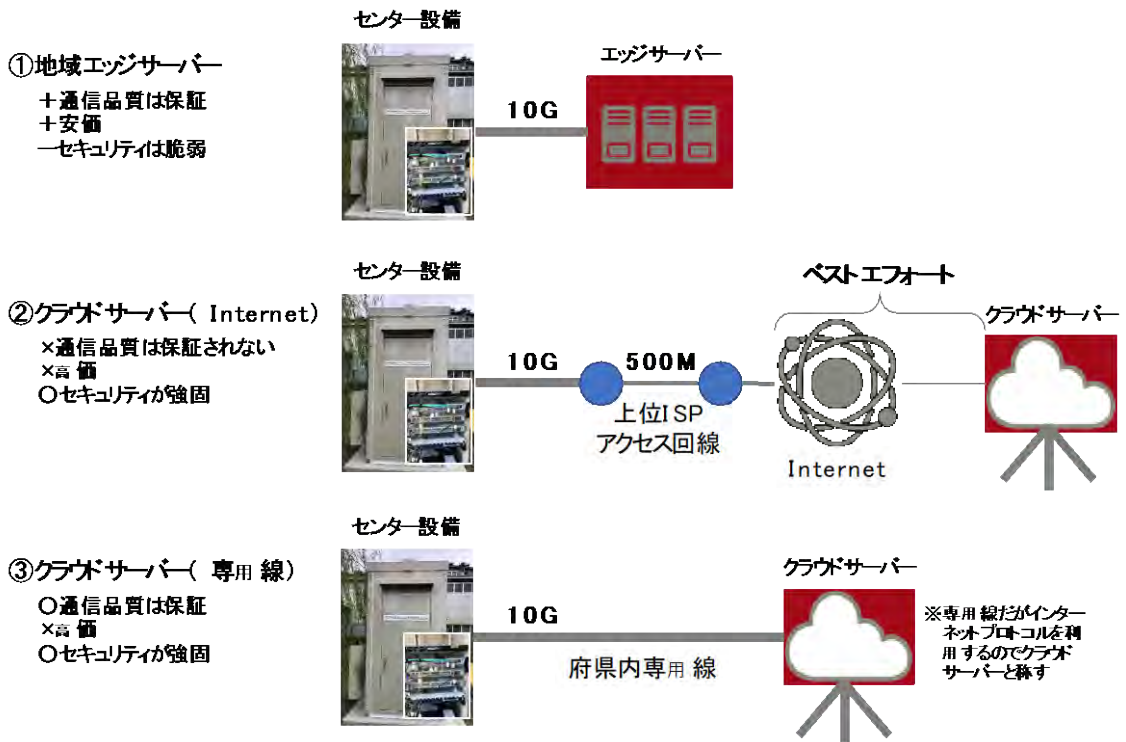


図 6.1-7 コンピューティング処理サーバーの形態による比較

### 6.1.5 対象エリアの設定

事業モデルを検討する対象エリアは、本実証実験を実施した堀口製茶の本社工場及び圃場を含むことを前提とした。

さらに、地域の通信キャリアがインターネットに接続する通信ネットワークの最小単位エリアとして設定しやすいNTTの地域局舎1つ分を対象としました。

#### 1. 対象エリアの基本属性

- ・NTT局 : 蓬原（フツハラ）局
- ・対象集落 : 蓬原、原田、山重、野神
- ・エリア範囲 : 図 6.1-4 志布志の中の蓬原局モデルエリア

#### 2. 住民サービスに必要な属性情報

- ・人口数 : 4,716
- ・世帯数 : 2,042
- ・提供場所 : 6.1-5 住居分布

#### 3. 農業 5G サービス（お茶農家向けサービス）に必要な属性情報

- ・お茶農家 : 73 戸  
大規模農家1戸 シェア対象農家71戸
- ・圃場場所 : 図 6.1-6 お茶圃場分布

#### 4. 農業 5G サービス（他農業向けサービス）に必要な属性情報

- ・いちご農家 : 30 戸
- ・豚農場 : 15 農場
- ・鳥農場 : 13 農場
- ・牛農場 : 165 農場

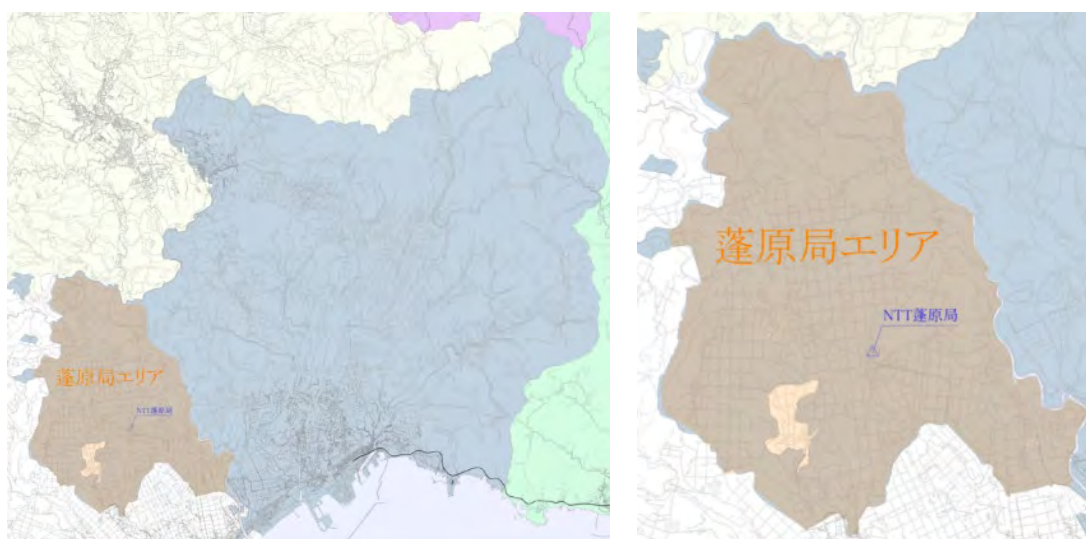


図 6.1-8 志布志市の中の蓬原局エリアモデル



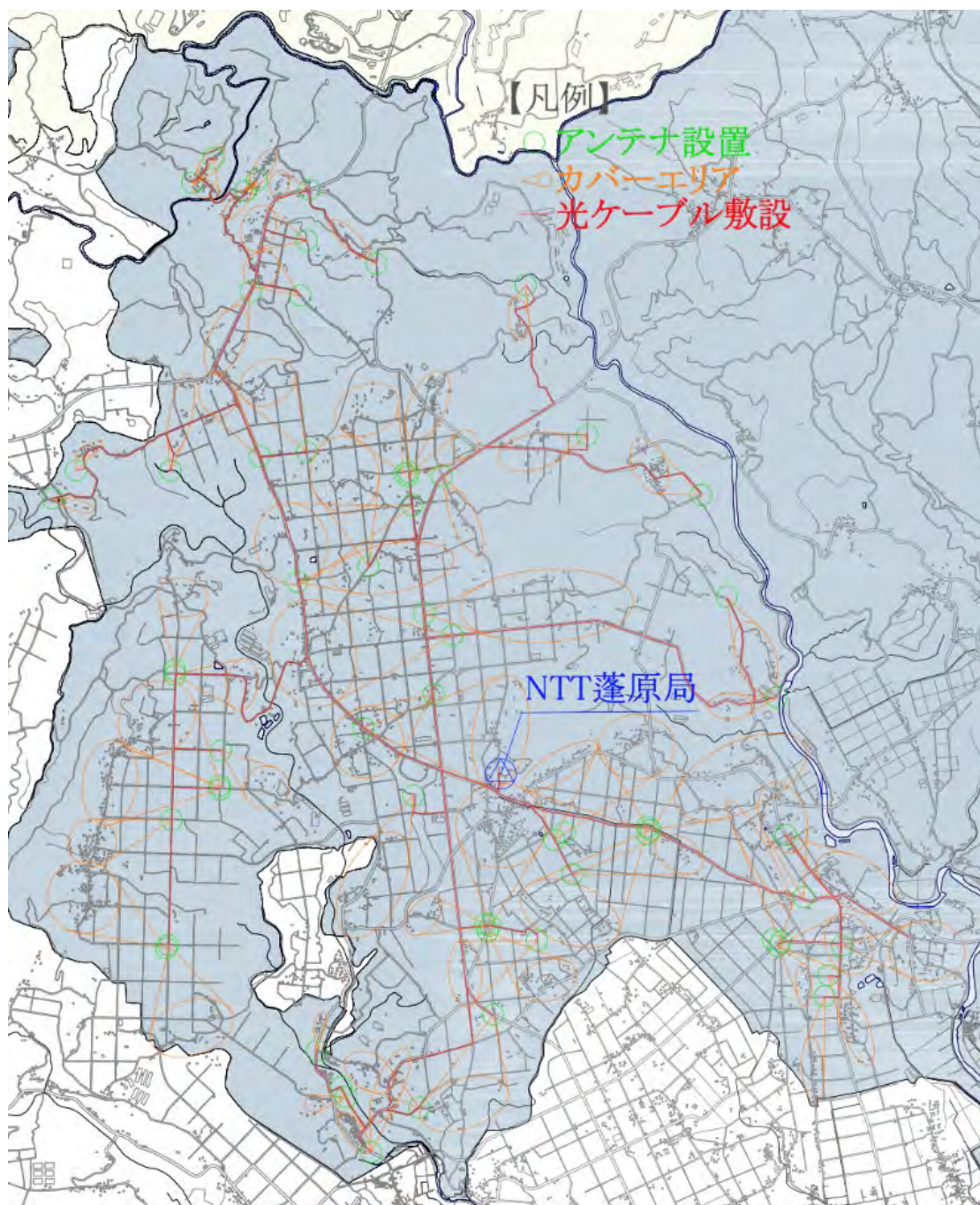


図 6.1-9 住居分布と光ファイバ経路



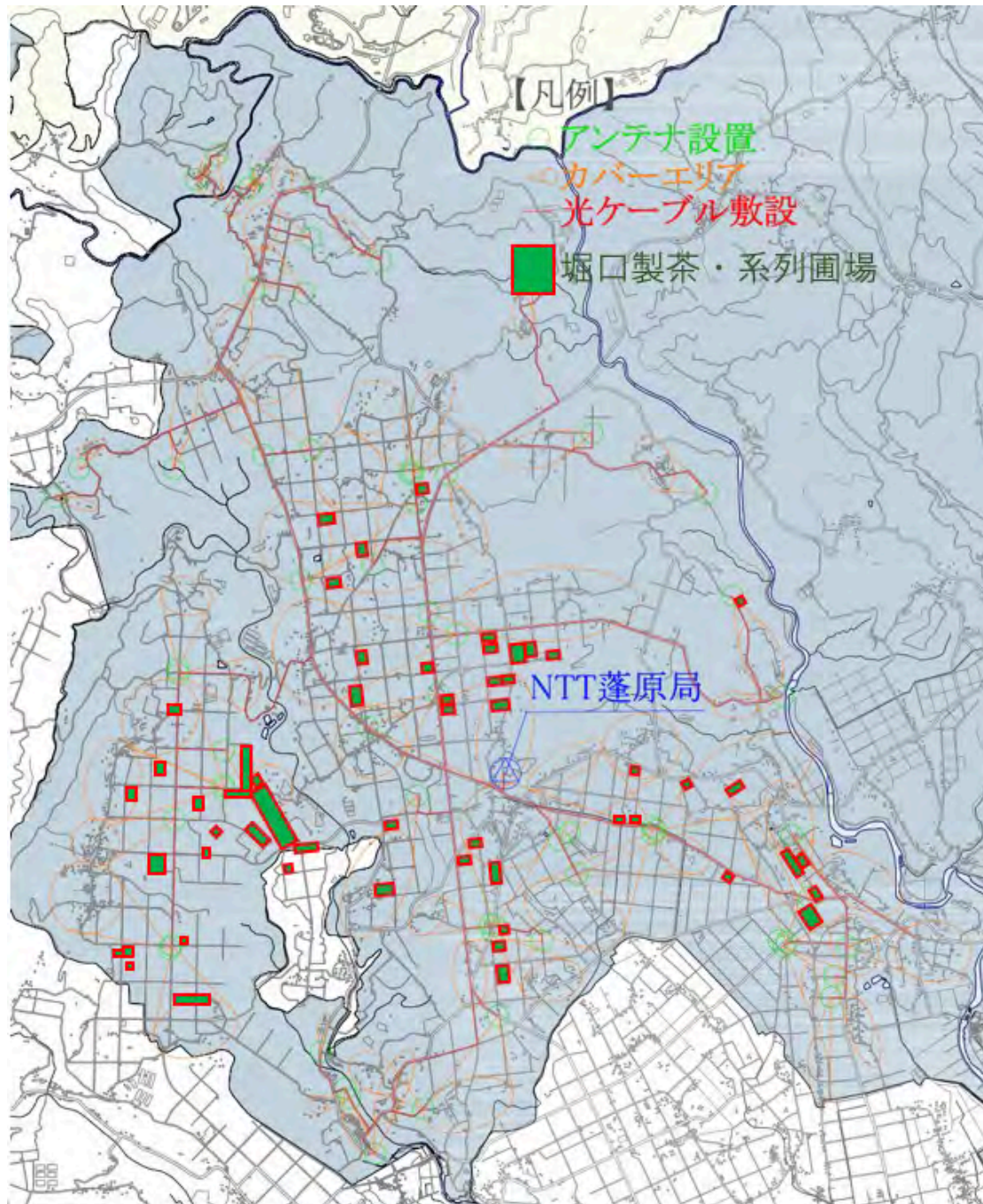


図 6.1-10 圃場分布（堀口製茶と系列農家の圃場のみ）

### 6.1.6 本事業と農水省事業との関係

本事業（総務省事業）と農水省事業で検討する事業モデルの検討の違いは、通信キャリアとしての事業性の検討と農業ベンダーや農家の事業性の検討の違いにある（下図 6.1-11 参照）。

農水省事業では、今回のスマート農業の実証実験でローカル 5G を利用する対象であるドローンを活用した摘採計画策定システムや自動農機にかかるベンダーコスト（＝システムやベンダーが利益を確保できる販売価格）、ならびにメンテナンスコストに上記の通信キャリアが提示するローカル 5G に関連する利用コストを加えたコストに対して、労務費の削減がそれらのコストの総和を上回るか否かで事業性を判断することになる。

本事業では、上記の農水省事業で検討するスマート農業の事業性がある前提で、通信キャリアがローカル 5G サービスを提供するにあたり、費用の多くを占める固定費用であるインフラの構築にかかる費用（減価償却対象）やインフラの維持・管理コスト、ならびに販売・管理費用に対して、実証実験における実証事業サービス、農業ローカル 5G サービス、住民ローカル 5G サービスへと、利用者にも費用対効果がある通信サービスのインフラをシェアリングして提供対象や利用者数を増やし、事業性を確保できる損益分岐点を検討するものである。

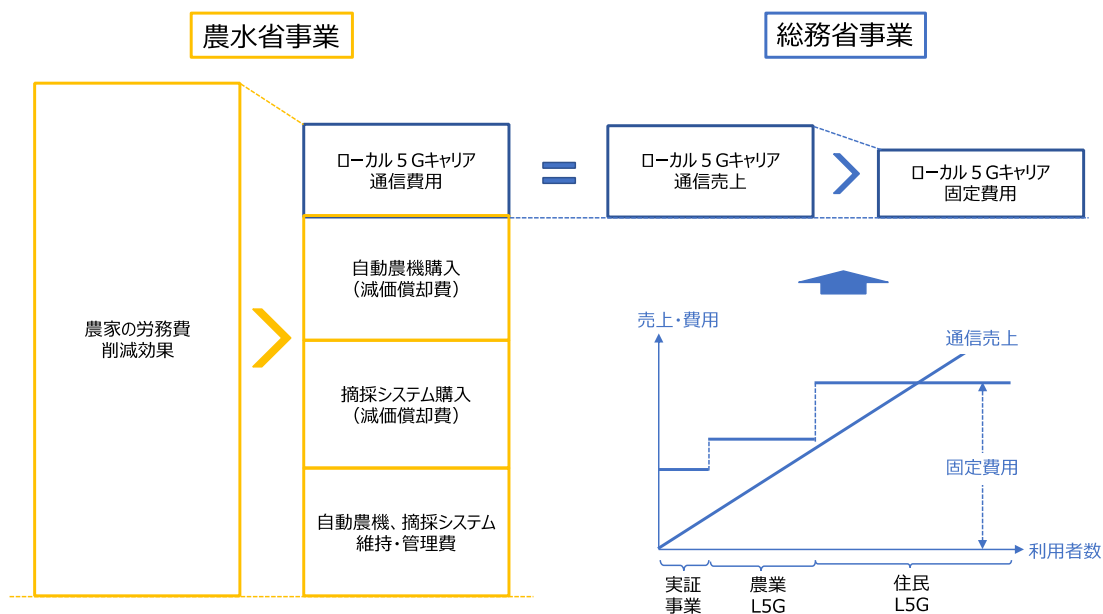


図 6.1-11 農水省事業、総務省事業の事業性検討の相違

## 6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定

### 6.2.1 実証事業モデル

#### 6.2.1.1 実証事業モデルの仕様

6.1.3 (1) で設定した実証事業モデルの詳細な仕様は、コア装置 1 台とスモールセル 1 台の構成であり、対象圃場の農機とドローンはローカル 5G のネットワークを介した監視センターで制御して稼働させ、ドローンから摘採計画システムに必要なデータを送る。

構 成			仕 様
ローカル 5G 通信	SA 機器	コア装置	堀口製茶の工場に建設したシェルタ内に設置
		スモールセル	堀口製茶の対象圃場をカバーできる場所に 12m のコン柱を設置してスモールセルを設置
	インフラ	シェルタ	19 インチラック 1 台が設置できる空調設備付帯の設備を建設
		線路	シェルタからスモールセルまで 8 芯テープの光ファイバを九電柱、NTT 柱、志布志市自営柱に共架して約 6 km 敷設（下図中の青線が志布志市光ファイバとの一束化、赤線が自前で共架）
スマ農	自動農機	自動摘採機	ローカル 5G で監視センターから制御しながら摘採する自動摘採機（圃場では完全無人）
		自動中刈機	ローカル 5G で監視センターから制御しながら摘採する自動中刈機（圃場では完全無人）
	摘採計画システム	ドローン	簡易分光計を搭載したカメラで茶葉の状態を撮影するためのローカル 5G で制御するドローン。 撮影した画像はドローン解析クラウドで解析する。
		気象サーバ	摘採計画に必要な情報を補完するため、圃場の気象情報を提供するフィールドサーバ
		LPWA 静止画監視	摘採計画に必要な情報を補完するため、圃場の茶葉の静止画を撮影して送信する装置
		摘採計画システム	圃場の状態や茶葉の状態、工場のキャパシティなど様々な条件を投入して最適な摘採計画を提供するシステム。 クラウド上のサーバーにホスティングして利用する。

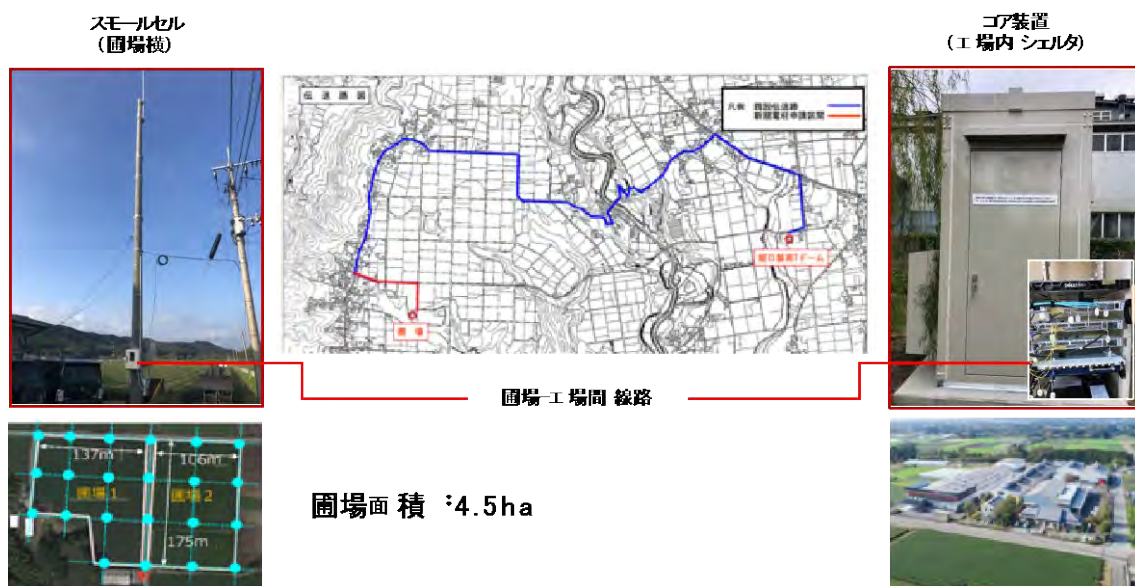


図 6.2-1 実証事業の仕様

### 6.2.1.2 実証事業モデルのコスト

実証事業モデルの対象圃場は約 4.5ha であり、そこに必要な上記 6.2.1.1 の仕様で構成した通信設備、及びスマート農業に必要な自動農機や摘採計画システムの数量と費用は下表の通り。

(千円)

構成		単価	数量	初期費用	年間費用※	
ローカル 5G 通信	機器	SA 機器 (9 年)	31,350	1 対	31,350	3,483
		付属機器 (9 年)	5,245	1 set	5,245	582
		基地局設置 (9 年)	8,052	1 局	8,052	894
		機器メンテナンス	7,480	/年	-	7,480
	インフラ	線路構築 (15 年)	15,000	6 km	15,000	1,000
		シェルタ構築 (15 年)	5,400	1 式	5,400	360
		インフラ維持・保守	3,600	/年	-	3,600
スマ農	自動農機	自動摘採機 (7 年)	13,500	1 台	13,500	1,928
		自動摘採機維持費用	180	/台/年	-	180
		自動中刈機 (7 年)	14,500	1 台	14,500	2,071
		自動中刈機維持費用	180	/台/年	-	180
		自動化農機監視員	4,200	/年	-	4,200
	摘採計画システム	ドローン(5 年)	6,000	1 台	6,000	1,200
		ドローン運航・維持費	6,000	/年	-	6,000
		ドローン解析クラウド	1,200	/年	-	1,200
		簡易分光計 (4 年)	250	2 台	500	125
		気象サーバ (4 年)	1,000	1 台	1,000	250



構成		単価	数量	初期費用	年間費用※
	LPWA 静止画監視(4年)	450	3台	1,350	337
	摘採計画システム(5年)	60,000	1set	60,000	12,000
	摘採計画システムクラウド	480	/年	-	480
合計					47,550

※初期費用がかかる構成要素は、表内に記載の償却年数で年間費用に換算

### 6.2.1.3 利得

実証事業モデルの仕様である自動農機、及びドローンを利用した摘採計画システムによってもたらされる利得は、下図 6.2-2 に示す①～④の作業に対する労務時間の削減であり、それらの個別作業の削減効果やトータル労務時間の削減効果を堀口製茶やJA おおぞらにヒアリングした結果、トータル労務時間が40%程度削減できるという回答であった。

従って、平成18年度の農業経営統計調査結果より、合理的なトータル人件費は44千円/10a削減できると推定した。

この労務費削減モデルを基礎とすると、実証事業モデルの対象圃場は4.5haであるため、トータル労務費の削減効果は、1,628千円/年となる。

$$\text{労務費削減効果} = 450a \times 44 \text{ 千円}/10a/\text{年} = 1,980 \text{ 千円}/\text{年}$$

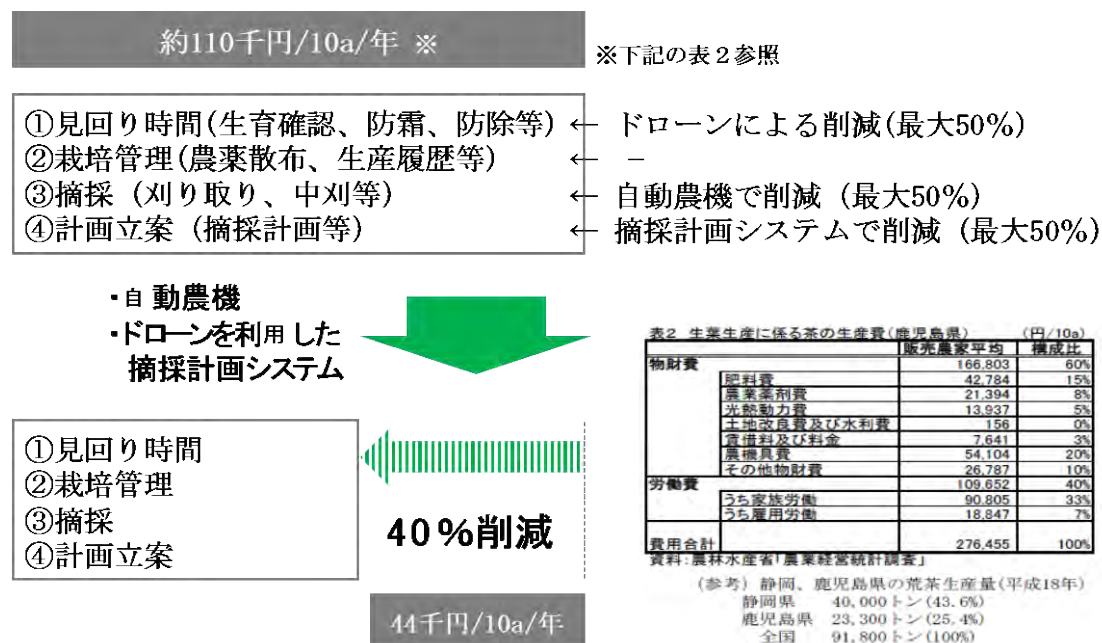


図 6.2-2 労務費の削減効果



#### 6.2.1.4 実証事業モデルの検討

実証事業モデルにかかる年間の費用は 47,550 千円、年間の利得は 1,980 千円であるため、事業性は全くない。

補助金によって、ローカル 5G に必要な機器や線路構築に対して、ならびにスマ農に必要な自動農機や摘採計画システムに対して初回構築と同様、更新時期に国や地方自治体が補助金を提供したとしても、実証圃場 3.7ha では事業モデルは成立し得ない。

実証事業モデルの利得年間コストの 47,550 千円を超えるためには、同じ実証事業モデルの仕様に対して約 108ha の圃場を対象にしなければならない。

$\text{損益分岐点} = 47,550 \text{ 千円} \div 44 \text{ 千円}/10\text{a}/\text{年} = 108\text{ha}$
--

以上の結果より、次の事業モデルの検討対象である 6.1.3 の 2. で設定した農業ローカル 5G サービス事業モデルを検討する。

#### 6.2.2 農業ローカル 5G サービス事業モデル

##### 6.2.2.1 農業ローカル 5G サービス事業モデルの仕様

6.1.3 の 2. で設定した農業ローカル 5G サービス事業モデルの詳細な仕様は、スモールセルを蓬原局エリアのお茶圃場に必要な台数だけ設置し、それに必要なコア装置をセンター設備に集約して構築する仕様となる。

対象圃場の自動農機とドローン、摘採計画システムは実証事業モデルと同様のものを用いるが、複数の圃場や農業で自動農機を共同利用するための監視センターを必要な事業者（堀口製茶、JA）が設置し、ドローン等の圃場データの解析はセンター設備に近接して設置するエッジサーバー内の解析システムで解析する前提とする。

構 成			仕 様
ローカル 5G 通信	SA 機器	コア装置	NTT 蓬原局内に 19 インチラックを設置する。1 つのラック（コア装置）で 10 台のスモールセルと対向可能
		スモールセル	蓬原局から圃場に必要光ファイバ網を敷設し、スモールセル（RU）を圃場に必要台数だけ設置
	インフラ	NTT 蓬原局舎	19 インチラックの必要設置分のコロケーションスペースが存在していると想定

構 成		仕 様	
		線路	シェルタからスモールセルまで2芯の光ファイバ（本線、予備芯）を必要とする。従ってセンター設備からセンター設備から多芯の光ファイバを途中分岐させて光ファイバ網を構築し、蓬原局エリア全般の圃場にサービスを提供する。
スマ農	自動農機	自動摘採機 自動中刈機	自動摘採機、自動中刈機はローカル 5G で制御する監視センターで複数台を同時制御する方式で運営（圃場では完全無人）し、監視センターは事業主体（堀口製茶、JA）が準備
		摘採計画システム	ドローン
	気象サーバ		実証事業モデルと同様の装置 データはエッジサーバーの解析ソフトで処理
	LPWA 静止画監視		実証事業モデルと同様の装置 データはエッジサーバーの解析ソフトで処理
	摘採計画システム		実証事業モデルと同様のシステム。 クラウド上のサーバーにホスティングして利用し、エッジサーバーから解析されたデータ等を受け取って計画を策定

線路構築の範囲は、堀口製茶自園圃場（図 6.1-9 参照）が1戸（圃場面積 114ha）と72戸（平均圃場面積 11ha：志布志市農政畜産課茶業振興係調べ）のその他農家の圃場約 793ha で合計 907ha のお茶圃場が存在するエリアに対して、40km の光ファイバ網の先にスモールセル 30 台設置が必要と想定する（図 6.1-9 から推定）。

#### 6.2.2.2 お茶農家向け農業ローカル 5G サービス事業モデルのコスト

##### (1) 通信キャリアのコスト

通信キャリアの上記の仕様に対する通信設備やエッジサーバーの初期投資やメンテナンス費用は下表の通りである。

通信キャリアのコストは 40km の光ファイバ網に 30 箇所のスモールセル（基地局）を設置する仕様で固定費として確定する。事業モデルとして原価で必要な費用に 2 割の適

正利益（管理コスト）を上乗せした額は、当該エリアでスマート農業を展開する上でのコスト（通信固定費）となる。

(千円)

構成		単価	数量	初期費用	年間費用※	
ローカル 5G 通信	機器	SA 機器 (9年)	24,000	3 対	72,000	8,000
		付属機器 (9年)	4,000	3set	12,000	1,333
		30 基地局設置 (9年)	31,000	1 式	31,000	3,444
		機器メンテナンス	16,800	/年	-	16,800
40km SA3 RU30	インフラ	線路構築 (15年)	2,500	40km	100,000	6,666
		ラック構築 (15年)	5,400	3 式	16,200	1,080
		インフラ維持・保守	14,400	/年	-	14,400
		エッジサーバーホスティング	1,620	/年	-	1,620
<b>合 計</b>					<b>53,343</b>	
<b>通信費用 (2割の適正利益を計上)</b>					<b>64,012</b>	

※初期費用がかかる構成要素は、表内に記載の償却年数で年間費用に換算

※無線の対向側のゲートウェイのコストは小さいので無視する。

## (2) スマート農業のコスト

スマート農業のコストは変動費と固定費に分解できる。

スマート農業に必要な自動農機やドローン等はスマート農業を適用する圃場の面積によって農業ベンダーが提供数を増加させるため、変動費としての性質を持つ。

一方で、解析クラウドや摘採計画システム等は適用圃場の面積によって数量が変動しない。さらに、適用面積の上限をエリア内に限定しているため、監視員や維持費なども固定費として扱った。

構成		単価	数量	初期	年額	固変	ha/台	
スマ農	自動農機	自動摘採機 (7年)	13,500	1 台	13,500	1,928	変	45
		自動摘採機維持費用	180	/台/年	-	180	変	45
		自動中刈機 (7年)	14,500	1 台	14,500	2,071	変	50
		自動中刈機維持費用	180	/台/年	-	180	変	50
		自動化農機監視員	4,200	/年	-	4,200	固	-
	摘採計画	ドローン(5年)	6,000	1 台	6,000	1,200	変	150
		ドローン運航・維持費	6,000	/年	-	6,000	固	-
		ドローン解析クラウド	1,200	/年	-	1,200	固	-
		簡易分光計 (4年)	250	1 台	500	125	変	75
		気象サーバ (4年)	1,000	1 台	1,000	250	変	50
		LPWA 静止画監視(4年)	450	1 台	1,350	112	変	1.5
		摘採計画システム (5年)	60,000	1 set	60,000	12,000	固	
		摘採計画システムクラウド	480	/年	-	480	固	

### 6.2.2.3 損益分岐点計算

お茶農家向け農業ローカル 5G サービス事業モデルにおける農家の損益分岐点は、6.2.1の実証事業モデルで記述した10aあたり44千円削減できる労務費削減の利得が上記6.2.2.2の固定費と変動費の和を上回る時に実現する。

上記6.2.2.2の通信及びスマート農業に必要な固定費及び変動費に対して利得が上回る損益分岐点は350ha(10ha単位)で利得は154,000千円。その時の固定費は通信固定費が64,012千円、スマート農業の固定費は23,880千円、スマート農業の変動費は、自動摘採機が8台、自動中刈機と気象サーバが7台、ドローンが3台、LPWA静止画監視が234台必要で64,804千円となり、固定費と変動費の総和は152,696千円となって、利得が費用を上回った。

なお、この350haは、蓬原局エリアのお茶農家の圃場面積907haに対して38.6%を占め、堀口製茶を除いた農家の戸数は(350ha-114ha)/11ha/戸=22戸となり、農家の戸数では30.5%の農家が利用する必要がある。

さらに、この事業モデルは堀口製茶以外の小規模農家はJAあおぞらのシェアリングサービスを受けることを前提としているが、JAあおぞらがシェアリングサービスを提供するにあたり、上記のスマート農業のコストにさらに固定費(監視センターや監視のための人件費の費用)として年間12,000千円程度を上乗せするとすると、損益分岐点はさらに上昇して400haとなる。

堀口製茶を除いた農家の個数は(400ha-114ha)/11ha/戸=26戸となり、農家の戸数の36%以上の利用が必要になる。

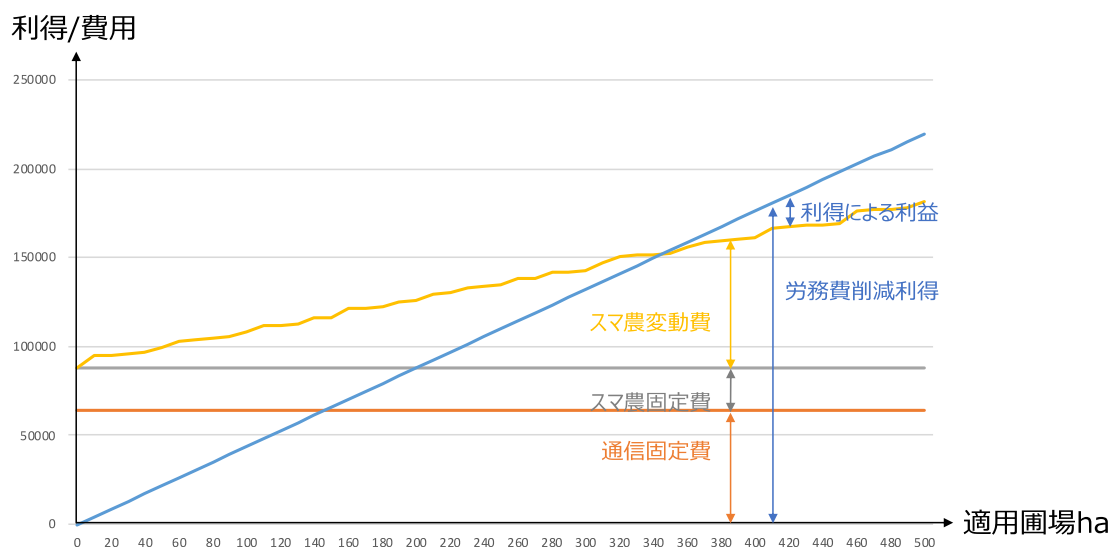


図 6.2-3 お茶農家向け農業ローカル 5G サービス事業モデルの損益分岐点

### 6.2.2.4 お茶農家向け農業ローカル 5G サービス事業モデルの検討

現状の蓬原局エリアのお茶農家の圃場を対象に 40km の光ファイバ網と 30 箇所の基地

局を設置するインフラ上でスマート農業を展開しようとする、お茶農家向けの自動農機や摘採計画システムを36%以上の農家が利用してはじめて、農家にも利得が得られることになり、蓬原局エリアでは事業性の判断は堀口製茶以外の小規模農家やJAのシェアリングに依存して成立すると判断できる。

堀口製茶以外の農家の1戸あたりの圃場面積としているが、11haあたりの通信コストは、64,012千円(通信固定費)÷(907ha/11ha)=776千円/年となり、1農家あたり月額で約64.7千円(=776÷12)の通信費を支払う必要がある。11haあたりの1ヶ月の利得は、11ha×440千円/ha(利得)÷12ヶ月=403千円/月であり、通信コストが16%程度の利得を損わしている。

また、別の調べでは鹿児島県のお茶農家1戸あたりの圃場面積は4.4ha(平成31年3月「かごしま」未来創造プラン)というデータもあり、その場合、利得は4.4ha×440千円/ha(利得)÷12ヶ月=161千円/月となり、通信コストが同様にかかるすると、64.7千円÷161千円=40%程度の利得を損なわせることになり、事業性も非常に厳しい状態となる。

この状況を改善するため、64.7千円という高額な通信費用を割り勘効果によって押し下げる必要がある。

#### 6.2.2.5 他農家向け農業ローカル5Gサービス事業モデルの検討

割り勘効果によって通信費用を押し下げる最も簡単な方法は、蓬原局エリアの通信インフラの仕様はそのまま、他の利用者にローカル5Gの通信サービス及びエッジサーバーのサービスを利用してもらうことである。

6.1.4の5の前提条件の通り、蓬原局エリア内には、いちご農家30戸、酪農は豚、鳥、牛で合計193戸の農場が存在する。

これらの他農家に対するローカル5Gサービス(監視センサーや自動農機等)が生まれ、お茶農家の73戸を含む合計約300の利用者を母数とすれば、その半数の利用で通信サービスの料金は約半分にすることができる。

お茶農家向けだけではまだ事業性に乏しいが、他農業でも通信サービスを適用できれば割り勘効果が高まり、通信コストを下げるができる。

以上の結果より、次の事業モデルの検討対象である6.1.3の3.で設定した住民ローカル5Gサービス事業モデルを検討する。

### 6.2.3 住民ローカル5Gサービス事業モデル

#### 6.2.3.1 住民ローカル5Gサービス事業モデルの仕様

6.1.3の3.で設定した住民ローカル5Gサービス事業モデルの詳細な仕様は、6.2.2で詳細を記述した農業ローカル5Gサービス事業モデルの割り勘効果をさらに高めて事業性をより高めるため、同じ蓬原局エリアに存在する住民向けにローカル5GサービスをFWA方式で提供するものである。

ここでは、6.2.2の事業モデルに付加するだけのモデルなので、6.2.2の仕様から追加すべき要素だけを記述する。

追加構成			仕様
ローカル 5G 通信	インフラ	NTT 蓬原局舎 近くのシェルタ	19 インチラックが多数必要になるので、 シェルタを別途設置する必要があると装置
		線路	蓬原局舎近辺のシェルタから住宅地まで幹 線を延長した場合、見通しの問題が発生 し、幹線支線を延長し、ローカル 5G 電波 を障害なく伝搬させるため、スモールセル の個数を増やす必要がある、と想定
		インターネット上 位通信コスト	住民ローカル 5G サービスでは、基礎的な インターネット速度の改善が求められ、帯 域はベストエフォートではあるが、最低で も 10G の上位通信帯域を確保する必要 また、アクセスポイントまでの中継網 (NTT の DF の利用等) の構築が必要

線路構築の範囲は、上記 6.2.2 で構築した範囲を拡張し、50km の光ファイバ網（10km 延長）の先にスモールセル 60 台設置（30 台追加設置）が必要と想定する（図 6.1-8 から推定）。

#### 6.2.3.2 住民ローカル 5G サービス事業モデルのコスト

通信キャリアの、上記の仕様に対する通信設備やエッジサーバーの初期投資やメンテナンス費用は下表の通りである。

通信キャリアのコストは 50km の光ファイバ網に 60 箇所のスモールセル（基地局）を設置する仕様で固定費として確定する。

また、追加で発生したシェルタの建設費用は台数の増加によってコロケーションと同額の単価、線路構築も芯線数の増加があるが構築コストに大きな影響を与えないものとし、線路構築単価は同額とする。

インターネット上位通信コストのうち固定費は中継網の利用費用であり、鹿児島県下なので、当社 NW 上の追加固定費を計上する。

さらに事業モデルとして、販売管理費用を追加するが、通信キャリアとしての損益分岐点を検討するので適正利益は上乗せせずに損益計算をする。

住民ローカル 5G サービスを提供するために上記 6.2.2 の表に記載のローカル 5G 通信コストからさらに追加する固定費用は次の通りである。

(千円)

構成			数量	追加後費用	追加初期費用	追加年間費用 ※
ローカル 5G 通信	機器	SA 機器 (9 年)	6 対	144,000	72,000	8,000
		付属機器 (9 年)	6set	24,000	12,000	1,333
		60 基地局設置 (9 年)	1 式	62,000	31,000	3,444
		機器メンテナンス	/年	16,800	-	16,800
+20km	インフラ	線路構築 (15 年)	50km	125,000	25,000	1,666



構成			数量	追加後費用	追加初期費用	追加年間費用 ※
SA10 RU100		ラック構築 (15年)	6式	32,400	32,400	2,160
		インフラ維持・保守	/年	21,600	-	7,200
	上位通信	中継網	/年	1,200	-	1,200
<b>追加合計 (固定費)</b>						<b>41,803</b>

※初期費用がかかる構成要素は、表内に記載の償却年数で年間費用に換算

さらに、変動費用として、住居に設置する FWA 用のゲートウェイの工事費用及び機器費用、ならびに上位通信の上位 ISP 費用は 10G のベストエフォート時の世帯あたりの利用料金として計上する。

構成			数量	追加後費用	追加初期費用	追加年間費用 ※
ローカ ル 5G 通信	機器 (変動費)	住居用 Gateway(5年)	/世帯	50	50	10
		機器と工事費用				
	上位通信	上位 ISP	/世帯	12	-	12
<b>追加合計 (変動費)</b>						<b>22</b>

### 6.2.3.3 損益分岐点計算

住民ローカル 5G サービスで追加する費用に対する損益分岐点を算出するために、6.1.2.1 で参考資料としたベライゾン社の月額利用料\$70 (7,500 円/月) を利用料として設定したところ、利用者数の利用料金が 6.2.3.2 の固定費と変動費の合計と同一となる損益分岐点は 615 世帯となる。その世帯数で収入は 55,238 千円、固定費は 41,803 千円、変動費は 15,400 千円となった。

なお、この 615 世帯は、6.1.5 の 2 に記載の蓬原局エリアにおける世帯数 2,042 世帯の 30.1% に相当し、当社が想定する世帯加入率 40% を約 10% 下回る。従って農業ローカル 5G サービスで構築したインフラを基礎として住民ローカル 5G サービスの追加コストを重畳し、住民ローカル 5G サービスを提供した場合、農業ローカル 5G サービス事業モデルの事業性に貢献することができる。

当社が想定する 40% の加入率 (816 世帯) を達成した場合、そこで得られる利益は、13,685 千円/年となり、6.2.2.2 の通信にかかる通信固定費 64,012 千円/年を 50,327 千円/年まで押し下げることができ、その時の損益分岐点は 6.2.2.3 で算出した 350ha を下回る 290ha となり、農家の加入率は 30.5% から 22% となり、利用率が低くても事業が成り立つことになって事業性を高めることになる。

JA あおぞらが農機のシェアリング事業者になって固定費が発生する場合でも、6.2.2.3 で算出した 36% の利用率は 30.5% まで提言する

$\text{農家加入率} = (290\text{ha} - 114\text{ha}) / 11\text{ha}/\text{戸} \div 72\text{戸} = 22\%$
--

また、6.2.2.4 で考察した 1 戸あたりのお茶農家の平均圃場面積 11ha あたりの通信費用 776 千円/年 (64.7 千円/月) が、50,327 千円 (通信固定費)  $\div$  (907ha/11ha) = 610

千円/年（50.8 千円/月）の通信コストとなり、コストダウン効果を得ることができる。

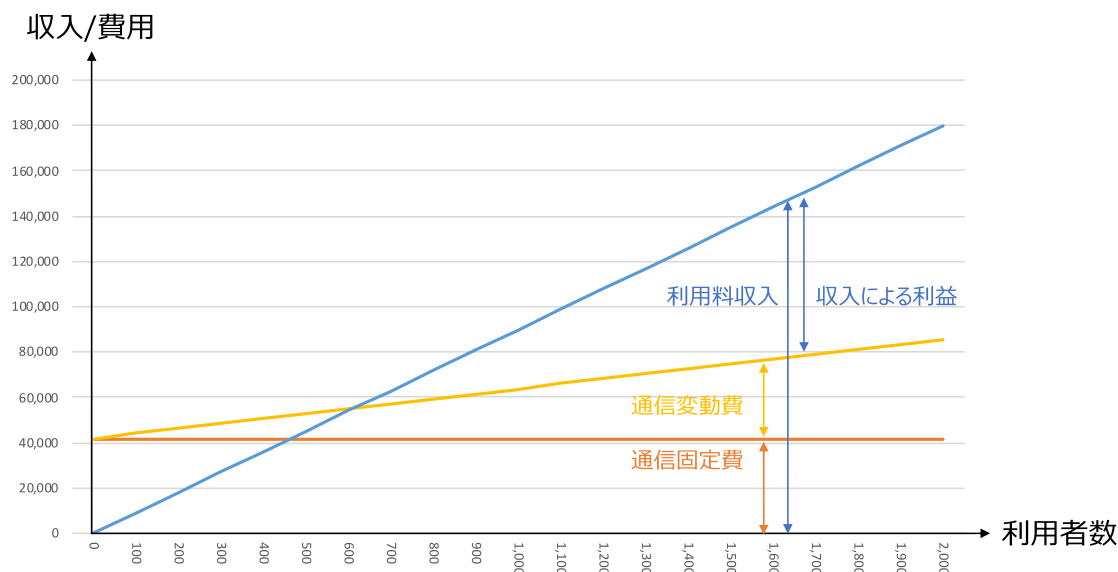


図 6.2-4 追加した住民ローカル 5G サービスの損益分岐点

#### 6.2.3.4 住民ローカル 5G サービス事業モデルの検討

蓬原局エリアで農業ローカル 5G サービスがそもそも存在せず、住民ローカル 5G サービス事業だけしか存在しない場合、上記 6.2.3.2 の追加コストだけではなく、住民ローカル 5G サービスを単独で提供するための年間費用の固定費が 53,343 千円あり、その費用を含めると損益分岐点は 1,399 世帯となる。

$$\text{通信固定費 (41,803+53,343)} / \text{世帯あたり限界利益 (収入 90-変動費 22)} = 1,399 \text{ 世帯}$$

実際のところ、この損益分岐点世帯数は蓬原局エリア 2,042 世帯の 55.2%に相当し、地域における加入世帯割合としては非常に高く、住民ローカル 5G サービスを単独で当該エリアで提供する事業は事業性に乏しいと判断する。

6.2.2.4 で検討した通り、蓬原局エリアで農業ローカル 5G サービスを単独で提供する場合、農家の損益分岐点はお茶農家が 9 割以上利用する必要があり事業性が乏しいと判断したが、住民ローカル 5G サービスの追加で 40%の加入率を得ることで、農業ローカル 5G サービスの提供を受ける農家の通信費用は月額で 11.6 千円押し下げることになり、農業ローカル 5G の事業性の向上に貢献できる。

#### 6.2.4 事業モデル詳細の前提条件

6.2.1 から 6.2.3 で事業モデルを構築し検討してきた結果を下図にまとめる。

まず、実証実験エリアだけでは農家（堀口製茶）にかかるコストを労務費削減で賄う

事業性は極めて乏しいことが判明した。

次に、蓬原局エリアに広げて農業ローカル 5G サービス事業モデルを検討したが、堀口製茶以外の農家の 36%に相当する 400ha の利用が必要であり、加入率を考えると事業性が十分とは考えにくい。他農業分野での利用数によっては、利用料が下がることが判明したが、ローカル 5G を活用したスマート農業への取り組みが不透明であり、期待はできるが確実な需要をすぐに見込めない。

そこで同じ蓬原局エリアにさらにローカル 5G の利用者を増やすため地域住民への住民ローカル 5G サービスを重畳して提供することを検討したところ、同じエリアで 30% の世帯利用率を超えると農家の加入率を削減する効果を生み出し、事業性を押し上げることが判明した。

しかし、事業を検討するにおいて、最後の住民ローカル 5G サービス事業モデルにおいても、農家の加入率が 36%、住民の利用世帯が 30%以上、という数字は過疎地では決して易しい数値ではない。

他の過疎地域や農村地域と同様、ローカル 5G の設備投資を民間事業者が単体で行うとなると、十分に事業への参入を躊躇する数値である。

設備投資に関して、スマート農業に必要な自動農機や摘採計画システムは農業系のベンダーが適正利益を計上した上での提示価格として想定していること、他省庁の管轄下であるため、その部分のコストダウンの努力や補助金の投入による初期費用や年間費用の補填については示唆しない。

一方で、通信キャリアとして必要と判断しているコストの中には、費用を下げる努力ができるものと、農業や過疎地のデジタルデバインド解消のために国や地方自治体の補助金を初期費用や年間費用に活用することで、損益分岐点を押し下げ、事業の見通しが明るくなる。

例えば、農業ローカル 5G サービス事業モデルを実践するにあたり、すぐに施設や設備が必要になるとして、農家の加入率が堀口製茶以外の参加農家が 72 戸の 12%程度でも事業性を担保するためには、損益分岐点の圃場面積を約 210ha にしなければならない。

その際の農家の労務費利得は 92,400 千円/年、スマ農の変動費と固定費の合計が 65,380 千円/年となる。従って、この圃場面積で利得による利益を農家が得るためには、固定費である通信コストを 27,020 に抑える必要があり、適正利益 2 割を除くと 22,516 千円/年とする必要があるため、53,343 から 30,827 千円年間費用を削減する必要がある。6.2.2.2 の表の中の年間費用から削減できる対象として、機器メンテナンス費用などが挙げられるが、機器や線路構築の負担が 20,523 千円（初期費用は 231,200 千円）、老朽化した際の更新も含めて機器や線路構築にかかる費用に対しては補助金等を適用していただくのが最も望ましい。

機器コストや機器メンテナンスコストは今後の量産体制の中でメーカーの努力によって削減が進むと思われるが、現状のメーカーが提示しているメンテナンスコストから 10,000 千円/年強のコストダウンが進まない、初期費用や更新費用を補助金で賄ったところで事業性は確保できない。

詳細な農業ローカル 5G サービス事業を蓬原局エリアで実装していくにあたり、機器購入や線路構築に対する補助金等に加え、メーカー努力が難しい間はメンテナンスコストに対する補助金制度も、前提条件として国や地方自治体に求めたいところである。

	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	堀口製茶圃場 (4.5ha) ・SA機器、付属機器 1対 ・基地局設置 1局 幹線長 6km ・19インチラック 1式	蓬原局エリアお茶圃場(約907ha) ・SA機器、付属機器 3対 ・基地局設置 30局 幹線長 40km ・19インチラック 3式 ・エッジサーバー 1式	蓬原局エリアお茶圃場(907ha) 蓬原局エリア住民 (2,042世帯) ・SA機器、付属機器 6対 ・基地局設置 60局 幹線長 50km ・19インチラック 6式 ・エッジサーバー 1式
ビジネス モデル	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
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	・機器ベンダー：適正利益 機器、メンテ提供 ・通信事業者：適正利益 線路・シエルト構築、保守役務 ・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)	・機器ベンダー：適正利益 機器、メンテ提供 ・通信事業者：適正利益 線路・シエルト構築、保守役務 ・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)	・機器ベンダー：適正利益 機器、メンテ提供 ・通信事業者：適正利益 線路・シエルト構築、保守役務提、 取管費 ・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)
提供者事業性	△ (通事業者の継続性のみ疑義あり)	○	○
備考	教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	・初期構築、更新費用に補助金が必要。 ・機器費用、メンテ費用の削減努力が必要 ・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%

図 6.2-5 3つの事業モデルの比較と体制

## 6.2.5 実装計画

### 6.2.5.1 実証の継続

志布志の実証実験対象については実証事業モデルとして農水省のプロジェクトにローカル 5G を適用するために免許を維持し、当初の実証実験で構築した施設や設備の更新を迎えるまでの期間で保守メンテナンスの費用を予算化し、負担者を決めて実施していく予定である。償却期間後に機器や線路を更新しない前提でのローカル 5G 通信にかかる年間費用は 6.2.1.2 の表にもとづき下記の通りとなる。

構成		単価	数量	一括費用	年間費用※	
ローカル 5G 通信	機器	機器メンテナンス	7,480	/年	-	7,480
	インフラ	インフラ維持・保守	3,600	/年	-	3,600
		撤去費用 (シェルタ、線路)	16,500	1式	16,500	-
合計				16,500	11,080	

しかし、実証事業の範囲では事業性はないので、事業の継続は困難である。

### 6.2.5.2 蓬原局エリアにおける農業ローカル 5G サービスの実装

蓬原局エリアで現状の実証実験エリアの線路も含め、農業ローカル 5G サービス事業を展開、実装していくための工程、想定スケジュールの概要は次の通りである。

蓬原局エリアにおける農業ローカル 5G サービスは、まだその詳細な仕様が確定しておらず、早急なサービスの実装は困難であるが、スマート農業の進展を確認し、必要なタイミングで線路や機器の設置を行なう。

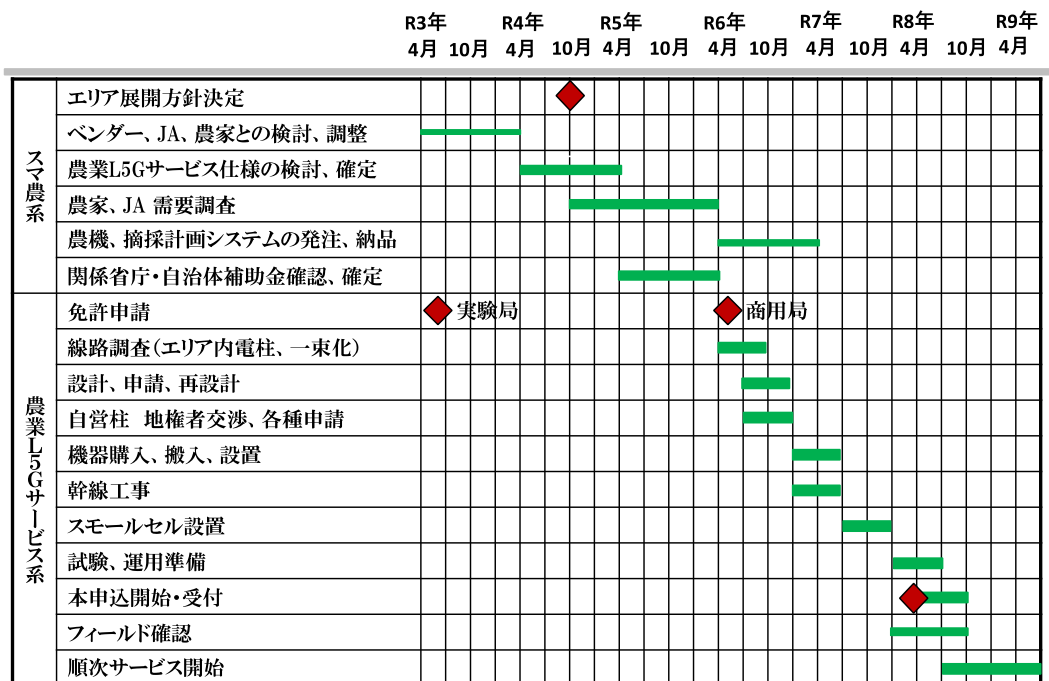


図 6.2-6 農業ローカル 5G サービス実装計画

上記のスケジュールを完遂していく前提として、次の条件は必須となる。

- ①スマート農業系の検討で仕様が確実に確定し、商用サービスが可能になること
- ②インフラ構築にかかる機器や線路構築、更新に対する補助金が確定していること
- ③メーカーのメンテナンス費用の削減など、損益分岐点を超える努力が行われ、コストダウンが図られ、損益分岐点を超える事業性を確保できること

なお、本事業の実装に関して、堀口製茶やシェアリングを担うと想定している JA あおぞらは、コスト対効果を確認できれば実装も検討する方針である。

堀口製茶	JA あおぞら様と協力して事業ができれば継続利用が検討できると思っている。検討にあたって、下記の2点が重要になる。 1、現在取り組んでいる各実証試験が現場レベルで使用可能な状態となる。 2、画像解析 AI など省力化や品質向上といった他の有用なコンテンツがある。これらは、整備後に様々な事業者が参加することで自然と充実されていくと考える。
JA あおぞら	年間固定費 12,000 千円というのはあくまでも仮定であるが、シェアリングサービスの提供に関する初期コストの負担やサービス提供は、緻密に計算した費用対効果を確認できれば検討できる。

### 6.2.5.3 蓬原局エリアにおける住民ローカル 5G サービスの実装

上記の 6.2.5.2 の農業ローカル 5G サービスの実装でローカル 5G のコア装置やスモールセルが多数蓬原局エリアに設置される上で、現地の CATV 事業者の光ファイバ事業者は、現行の光ファイバ網を活用して住民ローカル 5G サービスの新たな提供を協業で検討することが可能である。

6.2.3 で示したように、農業ローカル 5G サービスのスモールセル数は 30 局、住民ローカル 5G サービスまで展開を広げた場合のスモールセル数は追加を含めて 60 局必要と想定しており、それに必要なコア装置も増設が必要であるが、増設した費用に対して損益分岐点を超える世帯加入率はベライゾン社の例に沿った提供価格である 75 千円/月の設定でも 30%以上必要であり、現行の光ファイバ網の顧客が存在するため転用を検討はできるものの、巨額の初期投資をするには次の事由から事業リスクが高いと判断される場所である。

#### ①現行顧客の転用が困難

市民アンケート（下記、参考）の結果、ベライゾン社と同水準の提供価格では現行の光ファイバサービスの顧客を住民ローカル 5G サービスに転用させることは困難である。

#### ②初期投資額やメンテナンスコストが高い

現行の設備の初期投資額やメンテナンスコストは、現行の光ファイバサービスの対向装置である OLT-ONU 装置に比べると初期投資（115 百万）、更新（初期投資と同額で想定）、機器メンテナンス（16,800 千円/年）といったコスト全てが高額である



③農業ローカル 5G サービスの光ファイバ網借用コストや追加コストが高い

既存の光ファイバ網を活用せずに農業ローカル 5G サービスを提供する事業者が新設するインフラを借用し、さらに住民ローカル 5G サービス用に新たに光ファイバ網を敷設するとなると、それらの賃借料や増設光ファイバ網の償却費用が収益を圧迫する。

〈参考〉住民アンケートの実施と結果（BTV 社調べ）

志布志市の CATV 事業者である BTV 社が既存の光ファイバサービスを利用する顧客にローカル 5G サービスに関するアンケートを実施した（参考資料 9.6-2「住民アンケート」参照）。

アンケートは比較的幅広い年齢層や職業層から結果を得ることができたが、多くの回答者が住民ローカル 5G で実現する超高速通信や新たなサービスに期待を寄せており、実現時期や実現する内容がより明確になれば、より多くのローカル 5G への期待を得ることができると推量できる。

価格に関しては、料金プランにもよると回答している人が多いが、一定割合の既存光ファイバユーザーは既存の非常に格安なサービスプラン（100M ベストエフォート、電話込みで 4,000 円）に影響を受けて、ベライゾン社のような高額での提供は現時点では困難と推量する。

蓬原局エリアにおいて、農業ローカル 5G サービスを提供する事業者は地元 CATV 事業者はそのインフラを利用してもらい、割り勘効果で収益を得たいところであるが、地元 CATV 事業者が懸念する事業リスクを払拭して協業を進めていただく必要があり、上記の①から③の事業リスクを払拭するため、具体的には次のような条件が必要と推量する。

①現行の光ファイバ網と同等の提供価格にまで価格を抑える条件の整備

50 千円前後で、現行以上の速度を有すインターネットサービスの提供するためには、次の 2 つのコストが下がり、加入率が現行以下となっても損益分岐点を上回ることが肝要である。

- ・上記の②と③のコストが抑えられていること
- ・上記 6.2.3.2 で追加費用として記述した上位 ISP の価格が減少していること

②初期投資やメンテナンスコストの抑制

初期投資やメンテナンスにかかるメーカーコストがメーカーの努力によって極端に減少していること、さらに、過疎地のデジタルデバイド解消目的での補助金制度などが活用できることが望ましい。

③既存の光ファイバ網の活用

十分な調整が必要であるが、既存の CATV 事業者の光ファイバ網をローカル 5G 用にそのまま転用できれば、住民ローカル 5G サービスの線路構築にかかる初期投資コストを相当抑えることができる。同様のことは住民ローカル 5G サービス提供を重畳させる農業ローカル 5G サービスの線路構築コストにおいてもいえる。

特に農業ローカル 5G サービスは他事業者である当社が運用する前提である。現行の光フ

ファイバ網は国の補助金で構築したものであり余剰芯線が存在しないため、切り替えは既存のサービスの停止期間が発生することを意味し、既存のCATV事業者のインターネットサービスの切り替え時期に関しては、上記①のサービス利用価格に対する納得性はもとより、切り替えに対する既存の顧客への通知や理解も含め、十分な調整が必要となる。

#### 6.2.6 その他考察

蓬原局エリアでは、農業ローカル5Gサービスとしての範囲の拡大、さらには住民ローカル5Gサービスを、既存の光ファイバによるインターネット利用者からの切り替えタイミングで提供していくことを想定したが、いずれも初期費用やメンテナンスコストが高額なため事業リスクに対する懸念を払拭するに至らない。

一方でその懸念を払拭する補助金制度や、初期費用やメンテナンスコストの低廉化が進むことに期待しながらも、より構築するインフラをより効果的に利用することも肝要である。

##### ①他農業、他分野でのインフラの重畳利用

蓬原局エリア内のローカル5Gインフラを、お茶農家以外の農業分野で活用できれば、インフラの効果的な活用につながり、割り勘効果で利用料金を安価にすることができる。

同様に、農業以外の分野として、産業、建設をはじめとする民生分野、自然監視、教育、医療、福祉といった行政分野に活用すれば同じインフラをより効果的に重畳利用することができる。

##### ②自治体の重畳利用の推奨

農業、産業、建設、医療、福祉、教育、防災・・・など様々な分野でローカル5Gの超高速通信は活用することができる。

自治体が主体となってこれらの分野別の垣根を取り払い、同じローカル5Gのインフラをシェアリングすることで利用コストも減少し、全ての利害関係者に有益な結果をもたらすことになる。

自治体がそのような効果を期待した支援制度を準備し、重畳利用を各分野で推奨していくことにより、インフラの効果的な利用が推進される。

## 6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討

### 6.3.1 普及モデル

#### 6.3.1.1 基礎モデル

志布志市の蓬原局エリアのモデルは横展開の普及モデルの検討に必要な次の要素を具備している。

##### ①農業分野におけるローカル 5G への期待が大きい

実証実験の範囲から拡大する農業ローカル 5G サービスの実装においては、お茶農家が大規模農家を含めて 72 戸。自治体、地元 JA、大規模農家をはじめとしたスマート農業への取り組みが従前より活発であり、その他農業分野でのローカル 5G 活用も期待できる。

##### ②既存の通信事業者が存在する

当該エリアには住民ローカル 5G サービスの担い手候補となる光ファイバ網を保有する（自治体保有から民間保有へ譲渡予定）既存の CATV 事業者が存在し、その光ファイバの活用が普及を後押しする。

また、6.2.6 の考察より、複数のローカル 5G サービスを同じインフラの上に重畳することで、利用者、提供者、地域といった全ての利害関係者に有益な結果を生みだすことが理解できている。

本実証で検討した蓬原モデルを元にした横展開の検討では、汎用的な普及モデルとして上記①や②にもとづき次のような基礎条件を前提とすることで、横展開をする地域でより一層のローカル 5G 普及に向けた検討が進むと考えられる。

#### 農業ローカル 5G サービス普及モデルの基礎条件

1. 既存の光ファイバ網があり、その保有者がローカル 5Gs サービスへの利用に開放的で、光ファイバ網の延伸に協力的であること
2. 住民サービス、農業サービス、その他サービスの重畳利用に制限がないこと

#### 6.3.1.2 具体的な主体及びターゲット

今回の実証実験成果によって比較的早期に横展開することを前提に、お茶農家向けの農業ローカル 5G サービスを横展開することを検討するにあたり、6.3.1.1 の基礎モデルを基礎とした具体的な地域や市場は次の通りとなる。

横展開① お茶農家向け農業ローカル 5G サービス

地域	：志布志市のお茶農家と同様のお茶栽培をしている地域（鹿児島県下等）
事業者	：光ファイバを保有している BTV 社のような CATV 事業者が存在している地域
市場	：お茶農家向けの農業ローカル 5G、当該地域の住民ローカル 5G サービスを基礎とし、当該エリアの他農業、他分野でのローカル 5G の活用者が存在すること

#### 横展開② 農業ローカル 5G サービス

地域	：通信速度の改善が期待できる農業ローカル 5G サービスを求める地域（全国）
事業者	：光ファイバを保有している事業者が存在しており、芯線の貸し出しや延伸に協力的であること
市場	：農業ローカル 5G サービスに加えて、当該地域の住民ローカル 5G サービスを基礎とし、当該エリアの他農業、他分野でのローカル 5G の活用者が存在すること

以下、6.3.1.3 以降は、この横展開①と②のモデル双方に共通することを検討する。

### 6.3.1.3 対象となるシステムとビジネスモデル

ローカル 5G 通信で必要となるシステムは、コア装置、線路、スモールセルであり、そのインフラを利用する需要ボリュームによる損益分岐モデルがビジネスモデルとなる。実証事業モデルは、インフラの投資費用は少ないものの、その先の需要が 1 社に限定してボリュームが極めて少ないため事業性がないことは前述のとおりである。

横展開する地域においても、ビジネスモデルの要件はネットワークを需要に応じて構築し、その初期投資コスト（償却コスト）及び年間維持コストを上回る収益を得ることができると推察される。

#### 6.3.1.4 横展開の詳細の前提条件

横展開する地域は、農業ローカル 5G サービスを提供する地域、すなわち過疎ともいえる地域であることが多いと推察される。

このような過疎地域においては、現行の光ファイバによる住民向けのインターネットサービスですら都会に比べて採算性に厳しい地域が多く、光ファイバ網も、そもそも芯線数が少なかったり、未整備であったりすることも多々ある。特に圃場までは共架する電柱もない状況下で光ファイバを延伸する必要が発生するケースもあると推察される。

このような地域でローカル 5G のインフラを構築する場合、次の 3 つの前提条件が必要になると当社は考える。

##### ①国や地方自治体の構築支援

高度無線環境整備推進事業で適用される設備の初期投資費用やランニングコストの補助金のように、農業圃場などに延伸する場合の農業ローカル 5G サービスに必要なイ

ンフラ構築に対する国や地方自治体の助成金などの支援

②既存光ファイバ網保有事業者との相互接続

既存の光ファイバや、光ファイバを敷設している管路（共架）などを活用できれば、初期費用や更新費用を抑制することができる。

上記のような過疎地域で既存の光ファイバを保有する事業者としては、NTT 東西、電力系事業者、CATV 事業者、当社のような地域通信キャリア、そして自治体などが挙げられる。

このような既存の事業者が自ら、もしくは新規の農業ローカル 5G に対して、既存のサービスとの重畳を前提とした安価な貸付料で光ファイバ網を提供したり、増設、延伸したりすることが望ましい。

上記①の助成金の提供も、割り勘効果を生み出すインフラの重畳利用を推奨することが望ましい。

③既存施設への相乗り

農業ローカル 5G サービスを提供するための光ファイバ幹線は、既存の住民サービス用の光ファイバ網では範囲が十分でないことが容易に想像でき、特に圃場までは共架する電柱もない状況下で光ファイバを延伸する必要が発生する。

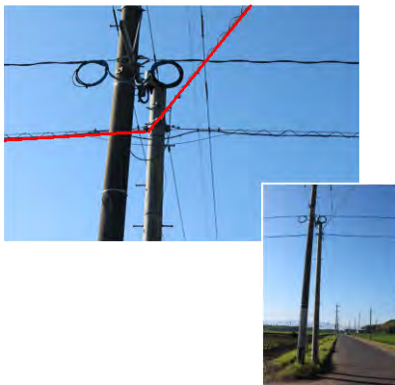
そのような場合に、他の光ファイバを敷設可能な施設を利用したり、電柱を利用しない光ファイバの敷設方法も検討する必要があるが、例えば自治体が主体となって地域の関係者にそのような共同構築に理解を求め、これまでの常識に囚われない様々な敷設方法を検討できることが望ましい。

共架の空きなし、不可柱が多い、線路が作れない

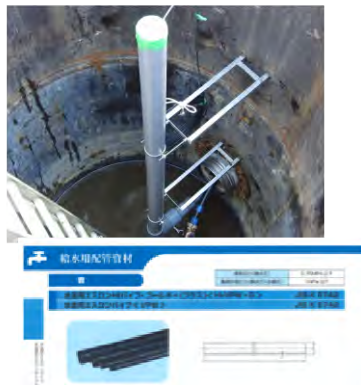


他社の施設に相乗り（割勘）

他者の光ファイバと一束化  
（志布志市）



他者の施設内に線路  
（会津若松市 水道構）



電灯に共架に線路  
（会津若松市 芦ノ牧）



共架すべき電柱がない？

## 金属製可とう管

電柱はないわけではないが、ダム横断や国道横断が多いので、最短ルートである会津鉄道の軌道内のトラフ、電柱、トンネル、橋梁を相乗り利用し、特に地面を這わせる箇所は金属製可とう管に光ファイバを入れて軽く埋設、またはアンカーで止めて敷設した。



図 6.3-1 施設の共同利用による光ファイバ敷設の事例

### ④垣根を越えたインフラの重畳化利用の促進

農業ローカル 5G サービスだけでは事業性が乏しいため、蓬原局エリアでの事業を検討する際に、当社や BTV 社は同じインフラを共同利用して住民ローカル 5G サービスを重畳化することを検討する。さらにローカル 5G サービスを他の様々な分野でも活用されることを期待する

民間事業者が農業ローカル 5G の横展開に重畳できるサービスとして最も考えやすいサービスは住民ローカル 5G サービスであるが、行政分野、教育分野、医療分野、工業分野、建設分野などの様々なローカル 5G サービスを国や自治体の支援で重畳化できるように支援し、推奨することが肝要である。

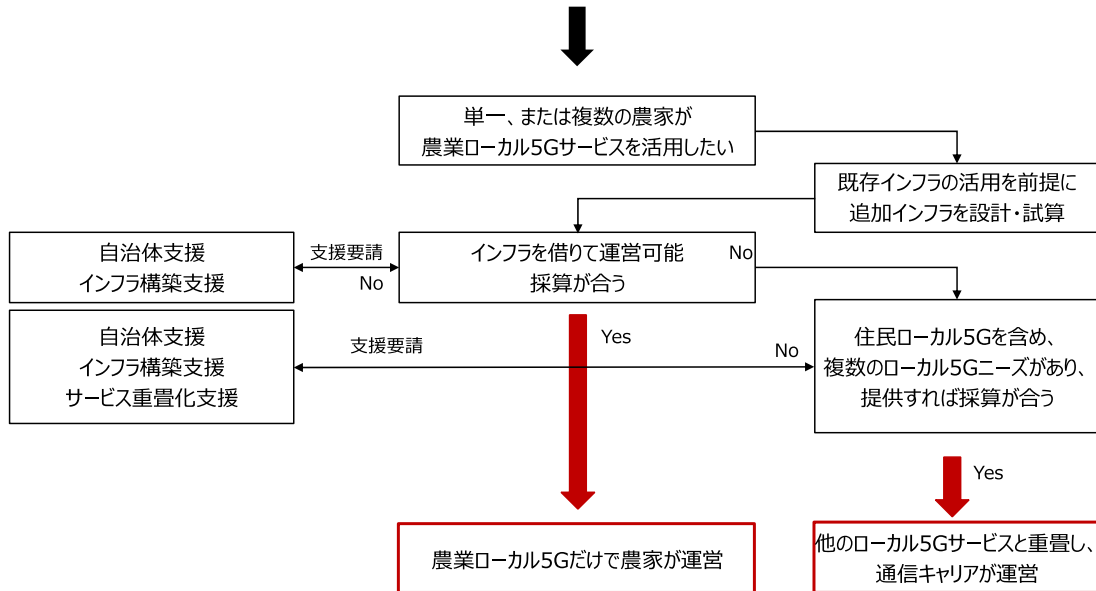
### 6.3.1.5 標準モデル

実証事業モデルは採算性の問題から標準モデルにはなり得ない。当社が検討する横展開の標準モデルは、既存光ファイバ網が存在し、そのインフラを最大限活用することを前提にする。国や自治体は、農家だけでなく、既存事業者のサービスの重畳化を支援するため、ローカル 5G への設備更新など、高度化を支援するモデルである。



前提条件

- ①国や地方自治体の構築支援
- ②既存光ファイバ網保有事業者との相互接続
- ③垣根を越えたインフラの重畳化利用の促進



対面で説明する安心感を！

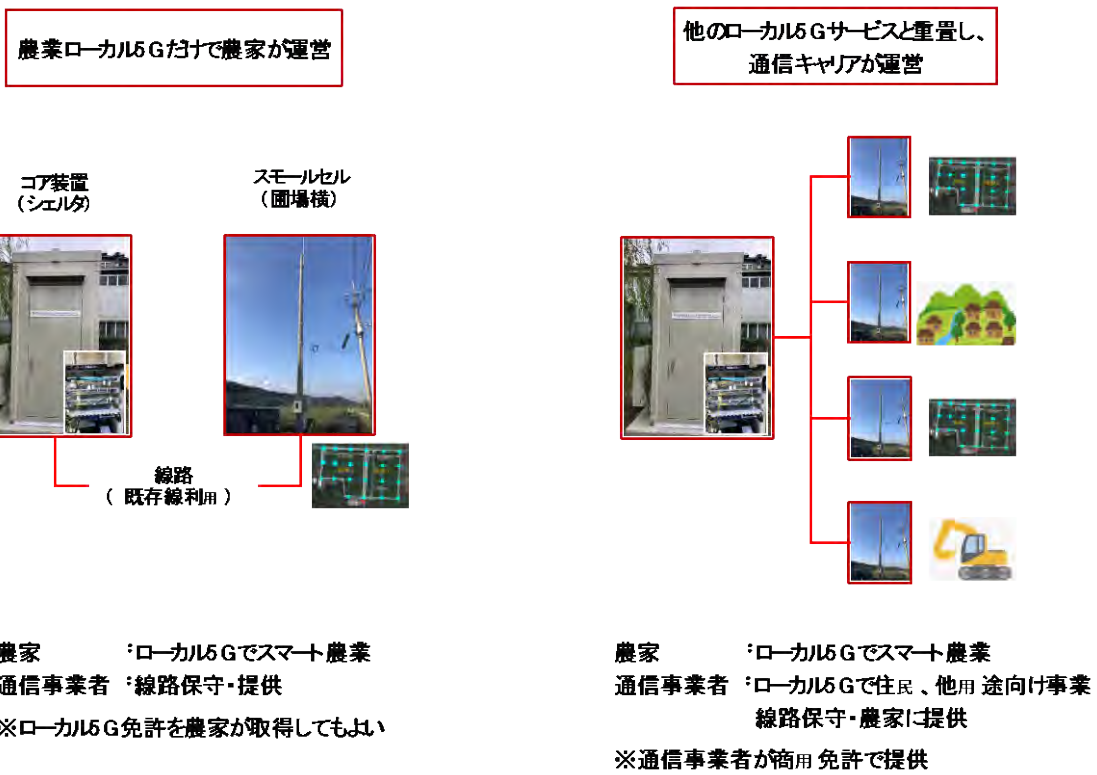


図 6.3-2 横展開の標準モデルイメージ

#### 6.3.1.6 導入効果、課題と対応策

スマート農業ありきで超高速通信を実現するローカル 5G を導入する効果は、お茶農家にとって労務費の減少に貢献し、昨今の農業の労働力不足の課題解消に寄与することは前述してきたとおりである。

一方で、支援が存在する前提ではあるが、地域の既存の光ファイバ網を保有する事業者にとっては、住民向けのインターネットサービスの高度化を合わせて実現することができ、これまでの専用回線の提供だけではない様々な分野でのローカル 5G サービスの提供によって投資やランニングコストを賄うことができれば、採算性の悪い地域において、新たな事業への拡大が期待できる。

農家やそれ以外の利用者にローカル 5G サービスを提供するための課題は、上述したとおり、インフラがないところに常識に捉われない方法で構築ができるか、構築したインフラの重畳利用がどれだけ進むか、ということである。

自治体、通信事業者、利用者がローカル 5G のインフラ構築からインフラ利用まで、相乗り、割り勘、重畳といった意識で取り組むことが肝要である。

#### 6.3.2 推進対応方策

##### 6.3.2.1 推進に資する仮説

###### (1) 横展開① お茶農家向け農業ローカル 5G サービスの推進（鹿児島県志布志市）

横展開①のお茶農家向け農業 ローカル 5G を推進するために必要な課題は、上図 6.3-1 のニーズがある農家または農家群が存在することである。

存在すれば、その農家や農家群を含む自治体、及び、その自治体に存在する光ファイバ網の保有者を確認し、既存の光ファイバ網を活用してニーズに応える線路の構築、ローカル 5G の設備を構築すればよい。

例えば、鹿児島県志布志市の他のお茶の圃場があるエリアで当社は光ファイバ網を運用していないため、横展開①についてはコンソーシアムメンバーの BTV 社が検討することになる。基本的には、6.1.1.2 のコメントにも記載のとおり、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こと想定し、事業性の観点においては、上述 6.3.1.4 で記載した前提条件が担保される範囲において、他地域での横展開には前向きである。

###### (2) 横展開② 農業ローカル 5G サービスの推進（上記横展開①以外）

横展開②の農業ローカル 5G サービスの展開については、下記の参考に記載の CATV 事業者の意見からも、従来の光ファイバによる住民向けのインターネットサービスをローカル 5G によるサービスに転換していくことについて地域の通信事業者は前向きと考えられる。

地域では採算性が悪いため、農業ローカル 5G サービスの地域でのニーズ勃興に合わせて、重畳できる住民ローカル 5G サービスへの転換を図ろうとする地域通信事業者や CATV

事業者は少なからず存在し、効果的な補助金施策などをタイミングよく投じていくことが、ローカル 5G のインフラ構築を推進し、農業ローカル 5G サービスを促進する上で肝要である。

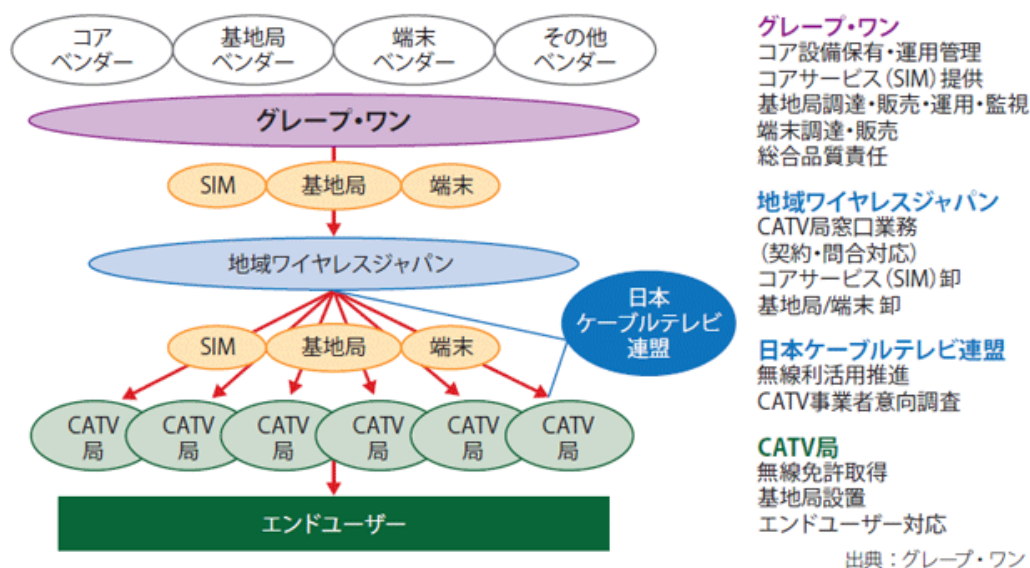
当社（関西ブロードバンド）では、全国において高度無線環境整備推進事業で構築した光ファイバ網の運用実績があり、今後も対象エリアは増加する予定である。それらの地域で農業ローカル 5G サービスのニーズがあれば、既存の光ファイバ網を活用したローカル 5G サービスの横展開は早々に検討する用意がある。

〈参考〉CATV 業界のローカル 5G への取り組みについて（BTV 社調べ）

### 1. ケーブルテレビ業界におけるローカル 5G の概況について

- ・ケーブルテレビ業界（≡一般社団法人 日本ケーブルテレビ連盟）としては CATV 事業者者に地域 BWA およびローカル 5G の電波免許取得を強く推奨している。
- ・地域 BWA/ローカル 5G のサービスを始めてもらうにあたり、共通コアの提供や多角的なサポートを行うために、ケーブルテレビ事業者を始めとする複数企業共同で株式会社グレープ・ワンが設立された。

<https://businessnetwork.jp/Detail/tabid/65/artid/7114/Default.aspx>



### 2. ケーブルテレビ事業者のローカル 5G 利用事例について

- ・自営利用というより、ユーザー企業にネットワークインフラとしてサービス提供するのが目的。地域 WiMAX、地域 BWA では B2C サービスを提供してきたが、ローカル 5G では現状、モバイル利用が禁止されているため、B2C サービスの提供が難しい。そこで今は、ローカル 5G を活用したいユーザー企業に対して『何でもお手伝いしますよ』というスタンスで、B2B または B2B2C で様々な取り組みをしている（愛媛ケーブルテレビ）
- ・端末は、米 Inseego 社や、米 Casa Systems 社の製品を採用した（愛媛ケーブルテレビ）

ビ)

<https://businessnetwork.jp/tabid/65/artid/7918/page/1/Default.aspx>

- 業界全体の将来的な目標として、幹線設備からユーザー宅へのラストワンマイルを有線による引込から 5G を利用した無線での接続方式に変えていくというもの、また 5G を利用した FWA のインターネット回線サービスの提供も検討しているとの事ではあるが、まだ実用事例としてはない（具体的な機器構成等の紹介例も今のところ無し）
- 現時点での活用例としては
  1. 4K カメラを地域内の河川や道路に設置して、監視や自主放送番組・web での配信
  2. 地域のイベントを中継放送する際の回線や、wifi 環境のバックホール回線として使用
  3. e スポーツイベント実施環境の整備等の報告が挙げられている。現状はあくまでも地域防災や地域インフラとしての利用がメイン（2020. 12 月に行われたケーブルテレビ連盟他共同記者会見より）
- ローカル 5G 免許取得をしている主なケーブルテレビ事業者は下記のとおり  
株式会社秋田ケーブルテレビ、多摩ケーブルネットワーク株式会社、  
株式会社ケーブルテレビ富山、ケーブルテレビ株式会社、  
株式会社コミュニティネットワークセンター、株式会社ジュピターテレコム、  
株式会社 ZTV、株式会社愛媛 CATV

#### 6.3.2.2 具体的な対応方策

当社が保有する光ファイバ網を運用しているエリアで具体的に横展開②の農業ローカル 5G サービスの展開を検討する場合、次の方策を講じる。

- ①農業ローカル 5G 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、ローカル 5G で改善できることを協議、検討する。
- ②ローカル 5G のスマート農業への適用  
ローカル 5G 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。

基本的には、どのような農業ローカル 5G サービスでもこのような流れになると考える。自治体と協議をしながら国や自治体の支援を模索し、必要に応じて自治体、JA、農家、研究機関などとワーキンググループを組成し、利害関係者を巻き込んだ活動も視野に入れる。

### 6.3.3 横展開計画

#### 6.3.3.1 横展開の主体

当社が光ファイバ網を保有する地域で横展開を計画する場合、主体は当社が通信事業者として、スマート農業を実践する農家や地域にサービスを提供する計画とする。

#### 6.3.3.2 普及展開に向けた取り組みの考え方

最終的には、短期間の間に当社の事業性が担保される利用者からの収入が確保できなければならない。

事前のマーケティング、ヒアリングで、需要ボリュームは十分に確認するが、地域の自治体や JA、研究機関などとも連携し、早期の普及、需要確保を目指す。

#### 6.3.3.3 体制、事業スキーム

農家の需要は、スマート農業導入による利得（補助金などの支援を差し引いた額）が農家にかかるコストを上回る損益分岐点で決まる。

スマート農業ベンダーが、適正利益を確保した上で、通信事業者は需要拡大によって損益分岐点を模索しなければならない。

通信事業者サイドの重要なパートナーは機器ベンダーであり、コア装置とスモールセルの構築、メンテナンスをいかに低廉化し、様々なニーズに対応した仕様を実現してもらうかを協議していく。

事業スキームの検討事項は、農業ローカル 5G サービスの利用者数が損益分岐点を超えるか否か、越えない場合は、他の利用者で重畳してコスト負担をシェアリングできるか否か、という観点で利用者数に対するインフラ投資やランニングコストの固定費及び変動費から損益分岐モデルを構築して検討する。

#### 6.3.3.4 事業展開のステップ・取り組み

事業展開のステップは、上記 6.3.2.2 の具体的な対応方策に記載した①から⑤を順次取り組んでいくことになる。

当社が光ファイバ網を保有して運用している地域の自治体と協議するところからスタートしていく。

#### 6.3.3.5 展開にあたっての課題及び対応策

当社が光ファイバ網を保有して運用している地域において 6.3.1.4 で記述した前提条件の具備の有無とそれへの対策が横展開に際しての課題と対応策への検討となる。展開地域の自治体との連携、自治体が主導してローカル 5G のインフラを重畳して構築、重畳して利用できるように働きかけていくことが肝要である。

課 題	対応策
①国や地方自治体の構築支援	当社が光ファイバ網を保有する地域の自治体が農業分野に課題意識を持つことが肝要。 農業分野へのスマート農業や農業ローカル 5G 導入に積極的になり、インフラの構築支援や、他テーマでのローカル 5G 活用を省庁縦割りの垣根を越えて旗を振ってもらうように働きかける。
②既存光ファイバ網保有事業者との相互接続	当社が光ファイバを保有する地域で横展開する場合、光ファイバの活用に関しては、住民向けのインターネットサービスとの共用を最大化するため、問題なく展開が推進する。
③既存施設への相乗り	圃場への光ファイバ敷設などで共架施設が存在しないようなエリアに関して、自治体が主導し、大手施設企業（電力、NTT）や自治体施設の共用などを積極的に進めてくれるように働きかける。
④重畳化利用の促進	当社が重畳利用の一環として、既存の光ファイバに



課 題	対応策
	<p>よるインターネットサービスを高度化し、住民向けのローカル 5G サービスを展開するときの支援を得られるように働きかける。</p> <p>また、自治体利用や（施設・自然監視、教育、医療、分野での活用）、産業や建設分野での活用が自治体主導で推進されるように働きかける。</p>

## 6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討

### 6.4.1 本実証で利用した課題解決システム

本実証でスマート農業と連携した事業において扱った課題解決システムには、次の3つがあり、それぞれのコンピューティング処理を行うクラウド利用の適正について検討する。

システム	機能概要	クラウド利用適性
①自動農機制御システム	自動農機に搭載した制御システムを監視センター側から遠隔で直接ネットワークを繋いで制御できるシステム	個別に自動農機を制御する場合、クラウドで利用するシステムではない。複数台の自動農機をコントロールするような集約制御システムを開発した場合、制御に遅延は禁物であるため、インターネットを介さないエッジサーバー内でコンピューティング処理をすべき。
②ドローン画像など解析システム	ドローンやLPWAから伝送される画像データを解析し、摘採計画システムに必要な情報に加工するシステム	画像の枚数が多く、より高精細な画像が望ましく、ローカル5Gの活用によって大量伝送と大量解析が可能になったが、その解析システムは閉域網で通信速度を担保することが肝要であり、インターネットを介さないエッジサーバー内でコンピューティング処理をすべき。
③摘採計画システム	上記の画像解析システムから送られた情報や、生産関連の情報などを集約して最適な摘採計画を立案するシステム	情報を受け取ってから提供するまでの処理、及びその受け渡しに、通信時間で生じる程度の遅延が生じても問題は発生しないため、インターネット上のクラウドで処理しても差し支えない。

### 6.4.2 5Gソリューション提供センター（仮称）が具備すべき機能

5Gソリューションセンター（以下、センター）が、通信速度の大幅な向上を前提としたローカル5Gに付随するものとするなら、センターに求める要件はローカル5Gで実現する通信速度を担保すべきであり、それ以外の具備すべき機能は、民間事業者（例えばAWS）と同様の一般的なデータセンター機能と同一でよい。

ローカル5Gで実現する通信速度を担保するためには、センターの所在場所は専用線で構築する閉域網内にすべきである（専用線とインターネットプロトコルを用いたネットワークの構築）。

#### 6.4.3 5G ソリューション提供センター（仮称）を通じた横展開のあり方

横展開のあり方として、同じシステムを SaaS で利用する上でも、ローカル 5G の特色である通信速度を担保するためには、専用線ネットワークの上で稼働するセンターを通信速度が棄損しない範囲内に設置する必要がある。

日本の場合、その範囲の最適なレベルはコスト対効果の観点、及び専用線が長距離になった際の伝送損失の観点から都道府県単位が妥当であると当社は考える。そのモデルは図 6.1-7 の③クラウドサーバー（専用線）を参照されたい。

都道府県単位でセンターを設置した場合、専用線網が構築され、都道府県内の利用者がセンター内に格納されたソフトウェアを閉域網内でドメインを別に分けて SaaS として利用でき、しかも通信品質は担保されることになる。

同様のソフトウェアを全国で使いたい場合、そのソフトウェアを都道府県単位のセンターにインストールし、パッチをあて、バージョンアップ対応をする必要があるが、その対応はインターネット上のクラウドに準備すればよい。

センターの構想を全国に広げ、有益なソフトウェアを横展開し、かつ通信速度を担保する方法として提言するものである。

#### 6.4.4 公開する API 仕様ないしは PF とのインタフェース仕様

閉域網内にセンターを設置する前提で、本実証で扱った上記 6.4.1 の①、②、③のシステムを SaaS として共同利用できるシステムは、②画像解析システムと③摘採計画システムである。

③の摘採計画システムは、いわゆるインターネットクラウド上で稼働させることができる通信品質を問わないものであるため、センター内に設置して共同利用するレベルのものではないが、SaaS 利用対象として API 仕様の一部を検討する。

いずれも、農水省の実証実験が継続する中で詳細なシステム仕様や共同利用に関する仕様が確定していないため、API 仕様として必要と想定できる機能及びその仕様について検討した。

なお、これらの API 仕様を連携するプロトコルは、一般的な https プロトコルを想定している。

対象システム	API 仕様（例）		
	機能	インプット	アウトプット
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

以上

## 6.5 まとめ・結論

地域の通信事業者にとって、事業性があるか否かの判断は、ローカル 5G で構築するインフラ及びその維持・管理コストを超える収益を得られるか否か、すなわち、損益分岐点を超える必要があるか否か、という判断に帰着する。

また、本実証の対象となる農業分野のお茶農家にとってローカル 5G を活用したスマート農業を採用するか否かは、圃場面積を変数とした労務費用の削減効果が通信に関連する費用及びスマート農業で採用する機器やシステムを上回るか否かが判断の根拠となる。

今回の実証実験の範囲では、農家の利得より通信関連費用やスマート農業にかかる費用が極めて大きく、事業モデルとして実装するには現実性に乏しい。

しかし、圃場面積を拡大し、それに対する通信やスマート農業への投資と農家の収益の損益分岐点を探ったところ、事業性の目処が見えてくる。

同一の地域でのインフラ構築の投資額には上限があり、多くの農家が利用することで損益分岐点を超える期待が持てるようになる。蓬原局エリアでは、お茶農家向けの農業ローカル 5G サービスだけでは損益分岐点を超えることが困難と判断したが、他農家の活用、さらには住民ローカル 5G サービスにインフラを活用し 30%以上の加入率を達成すると、通信関連の費用をシェアリングすることによって、農家にとっての事業性はさらに向上する。

同様に、同じ蓬原局エリアで産業や建設、行政、教育、福祉、医療などの分野に利用対象を広げていくことで割り勘効果はさらに高まる。

同時に、コストダウンに対する努力を通信事業者や機器ベンダー、スマート農業ベンダーは惜しまず継続していく必要があるが、最も重要なことは、最初のインフラ構築の段階で、自治体の既存施設やインフラを、通信関連に限らず線路構築などに利用できるものは徹底的にシェアして利用し、既存通信事業者のインフラも徹底的にシェアして利用して割り勘効果による投資コストを徹底的に削減することである。

特に利用者が少なく、投資対効果が薄い地域こそ、関係者全てがそのような割り勘効果を最大化する意識を持ち、取り組みや働きかけを国や自治体がイニシアチブをとって官民産学連携で協力していくことが肝要である。

7. 会合等の開催（該当する活動がある場合）

日程	会議名
2020. 07. 20	成果報告書打合せ
2020. 07. 21	内部打合せ
2020. 07. 28	定例会
2020. 07. 30	鹿児島大学升屋先生打合せ
2020. 08. 03	BTV 工事関連打合せ
2020. 08. 03	クニエ打合せ
2020. 08. 04	定例会
2020. 08. 11	定例会
2020. 08. 18	定例会
2020. 08. 21	工事 WG
2020. 08. 25	定例会
2020. 08. 26	KBB-BTV 打合せ
2020. 09. 01	定例会
2020. 09. 01	工事 WG
2020. 09. 15	定例会
2020. 09. 15	工事 WG
2020. 09. 29	定例会
2020. 09. 29	工事 WG
2020. 10. 06	定例会
2020. 10. 06	第 1 回横展開 WG
2020. 10. 13	定例会
2020. 10. 13	工事 WG
2020. 10. 20	定例会
2020. 10. 27	定例会
2020. 10. 27	工事 WG
2020. 11. 04	定例会
2020. 11. 10	定例会
2020. 11. 10	工事 WG
2020. 11. 17	定例会
2020. 11. 24	定例会
2020. 11. 24	工事 WG
2020. 11. 24	第 2 回横展開 WG
2020. 12. 01	定例会
2020. 12. 08	定例会
2020. 12. 08	工事 WG
2020. 12. 15	定例会
2020. 12. 21	成果報告書打合せ

2020. 12. 22	定例会
2020. 12. 22	工事 WG
2020. 12. 23	第 3 回横展開 WG
2020. 12. 24	総務省視察事前ロケハン
2021. 01. 08	定例会
2021. 01. 19	定例会
2021. 01. 19	工事 WG
2021. 01. 20	第 4 回横展開 WG (日本計器鹿児島製作所)
2021. 01. 26	定例会
2021. 01. 28	総務省視察打合せ (MRI)
2021. 02. 02	定例会
2021. 02. 04~02. 05	堀口製茶 PJ 会議
2021. 02. 09	定例会
2021. 02. 16	定例会
2021. 02. 19	九州 IOT 実装 WG 講演
2021. 02. 24	定例会
2021. 03. 02	定例会
2021. 03. 04~03. 05	ローカル 5G 実証事業リモート視察会
2021. 03. 09	定例会
2021. 03. 16	定例会
2021. 03. 16	四国総合通信局 5G セミナー
2021. 03. 23	定例会
2021. 03. 29	成果報告会



## 8. 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、同一圃場内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が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においては難しいといわれていた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的費用について、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精度化により、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。

## 9. 参考資料

### 9.1 農家、農業ベンダーへのヒアリングシート

# 農業 L5G サービスに関するヒアリング ～調査ご協力をお願い～

本ヒアリングは、志布志市の蓬原局を中心とした実証実験エリアにおいて、農業 L5G サービスとして、実証実験で実証するお茶農家向けの自動農機やドローンのサービスや他の自動農機やセンサー系の農業系サービスを提供することを前提に、関連する組織に情報提供やご意見をお伺いするものです。下記的前提にもとづき事前に質問事項をご確認いただき、当方とのミーティングの際に奇譚のないご意見を賜れば幸いに存じます。

関西 BB 宮崎

#### ①想定対象エリア

対象エリアは、右図の通り。志布志市蓬原局を中心に蓬原、原田、山重、野神地区の住民向けの L5G サービスを提供し、さらに農業 L5G サービスをさらに提供する前提です。

図中の赤線は住民向けサービスの幹線となり、この幹線から対象圃場に光ファイバ網を延長することを想定しています。

場所を問わず、なんとか光ファイバを敷設して、その先に電源を確保し、スモールセルを設置して L5G のミリ波を送信し、自動農機やセンサーを遠隔で操れるということを条件としています。



#### ②お茶農家の労務費削減効果

自動農機やドローンを導入するお茶農家のコストパフォーマンスは、労働力不足に伴う労働力確保であり、自動農機が置き換える労働費用の削減効果を次のように想定しており、これらの削減効果によって、人件費全体の 40% の削減を見込んでいます。

1. 見回り時間の削減 (最大 50%)
2. 摘採ロボット (最大 50%)
3. 摘採計画策定支援システム (最大 50%)

平成 18 年レートでは 10 アールあたり 108,000 円  $\times$  0.4 = 43,200 円の削減効果と推定。300 ヘクタールの例では、43,200 円  $\times$  3,000 = 129,600 千円の削減となる。

**①お茶農家様、JA 様、自治体様にお聞きします。答えられる範囲でご回答ください。**

**1 エリア内のお茶農家、自動農機モデルについて**

- ①上記エリア内のお茶農家の数を規模別にあげることが可能でしょうか？
- ②上記①のお茶農家の圃場をエリアの地図上に示すことは可能でしょうか？
- ③上記①のお茶農家の労働力不足の状況をお聞かせいただけますでしょうか？
- ④10 アールあたり 108,000 円、そのうちの 40%を自動農機が削減する、という仮説には妥当性がありますか？
- ⑤人件費削減効果として 300 ヘクタールの例をあげていますが、妥当性がありますか？
- ⑥自動農機関連の年間コストを 76 百万円とすると、最低圃場規模は 176 ヘクタール必要だが、妥当性はありますか？
- ⑦割り勘効果として、176 ヘクタールより小さな圃場を集めて農機やサービスをシェアすることには妥当性がありますか？
- ⑧将来的にお茶農家では労働力不足を解消し、人件費を削減する自動農機やドローンの利用は見込めますでしょうか？

**2 農業 L5G のその他サービスの利用について**

- ①農業 L5G サービスでは、草刈り機や他の監視装置などに対するリアルタイムな制御を可能としていますが、自動農機やドローン監視で、エリアの農業に必要なお茶摘採や見回りドローン以外の必要なサービスはありますか？

**②農機などのベンダー様にお聞きします。答えられる範囲でご回答ください。**

**1 自動農機について**

- ①志布志市の実証実験の農機のコストは、別紙のモデルで妥当性がありますか？
- ②志布志市の実証実験の農機の横展開、拡販を考えておられますか？
- ③志布志市の実証実験の農機の提供方法として、販売方法を色々ご検討されていますか？
- ④志布志市の実証実験の農機を複数の事業者で共同利用方式として、ソフト面、ハード面での利用方法を検討されていますか？（クラウド SaaS とエッジコンピューティングでの処理など含む）
- ⑤お茶の自動農機、ドローン以外の分野での自動農機やドローン利用を考えておられますか？

## ローカル5G サービスに関するアンケート ～調査ご協力をお願い～

日頃より、当社の通信サービスをご利用いただき、誠にありがとうございます。

この度、当社は志布志市においてローカル5G に関する国の実証実験に協力しています。ローカル5G サービスは、より高速、より大容量の通信を実現し、より便利なコンテンツを提供できるサービスです。(調査表にローカル5G サービスの事例を記載しております。)

つきましては、ローカル5G サービスをご自宅で受けることに関する、皆様のご意見をお伺いしたく「ローカル5G サービスに関するアンケート」を実施させていただくことと致しました。結果は、国の実証実験の報告に活用させていただきたいと考えております。

令和3年 月 日  
BTV 株式会社

### 調査対象

当社ケーブルテレビの通信サービスの利用者を対象に、アンケートをお渡ししております。

### 返送期日

別紙のアンケートにお答えいただき、2月19日までに返送用の封筒に入れて、下記にご郵送ください。

### 調査結果

この調査結果は、すべて統計的に処理するものとし、上記目的以外に使用することはありません。回答者にご迷惑をおかけすることはありません。

### お問合せ先

BTV 株式会社志布志局

志布志市志布志町志布志 3 丁目 3133-520

TEL099-479-3600 FAX099-479-3601



## アンケート調査票

本アンケートは、下記の「ローカル5Gで実現すること」をご覧になっていただき、その技術の進歩をご確認いただいた上でお答えください。

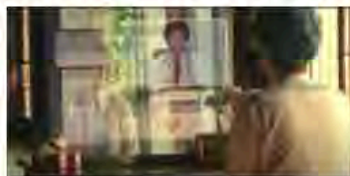
### 【ローカル5Gでの活用構想】

#### ① 超高速、超低遅延通信の実現

5Gはネットワークでスマートフォンなどの通信機器をつなぐための通信規格の一種です。5Gになると、動画などの大きなデータの読み込みが今よりも速くなり、オンライン会議も遅延なくスムーズになります。

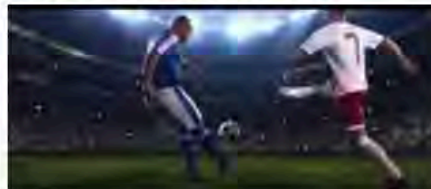
#### ② 遠隔医療、遠隔教育、テレワーク、遠隔操作

遠隔にいながら医療や教育を目の前で受けられたり、コロナ禍で急速に拡大したテレワーク、遠隔農業などがより遅延を感じさせない臨場感で実現します。



#### ③ AR（拡張現実）、VR（仮想現実）の進展による臨場感

仮想会議室での会議や、遠隔でのスポーツ観戦や音楽鑑賞が拡張現実で行えたり、VR上でのゲームなどが行えたりするようになると期待されています。



#### ④ スマートホーム

家中の家電が繋がり、行動様式を判断して暮らしをサポートできるようになります。



以下、各設問について、あてはまるものを選んで、番号に○を付けてください。

## 1 回答者ご自身について

①あなたの性別は？

1. 男 2. 女

②あなたの年齢は？

1. 20歳代 2. 30歳代 3. 40歳代 4. 50歳代 5. 60歳代 6. 70歳以上

③あなたのご職業は？

1. 農業 2. 会社員・会社役員 3. 公務員・団体職員・教員 4. アルバイト・パート  
5. 学生 6. 無職 7. その他（ ）

④あなたは、光サービスを利用してどのくらいになりますか？

1. 1年未満 2. 5年未満 3. 10年未満 4. 10年以上

## 2 ローカル5Gの光ネットサービスについて

①ローカル5Gの事例をみて、その高速・大容量サービスに興味をお持ちいただけますか？

1. はい 2. いいえ

②上記の①で2. いいえとお答えいただいた方のみにお聞きします。ローカル5Gに興味がない理由をお聞かせください？

1. 現状の光ファイバとの違いがわからない 2. すぐに実現し、必要となるものではないから  
3. その他（ ）

※以下、上記の設問①で「1. はい」とお答えいただいた方にお聞きします。

③ローカル5Gで期待するサービスはどのようなものですか（複数選択可）？

1. 超高速通信 2. 遠隔医療 3. 遠隔教育 4. テレワーク  
5. VR・AR（スポーツ観戦、音楽、ゲームetc） 6. スマートホーム  
7. その他（ ）

④上記のサービスを利用される場合、お支払いいただける利用料の月額料金はどの程度をお考えですか？

1. ～4,000円 2. ～5,000円 3. ～7,000円 4. ～10,000円  
5. 料金プランを見てから利用するかどうかを決める。.



## ローカル5Gサービスに関するアンケート 集計結果

収集期間 : 2021年2月15 ~ 19日

回答者数 : 35名

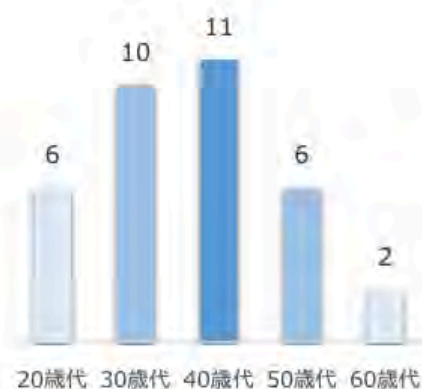
### 1. 回答者ご自身について

① あなたの性別は？



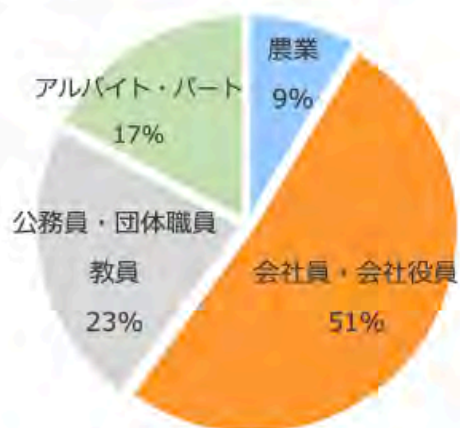
1. 男	25 人
2. 女	10 人

② あなたの年齢は？



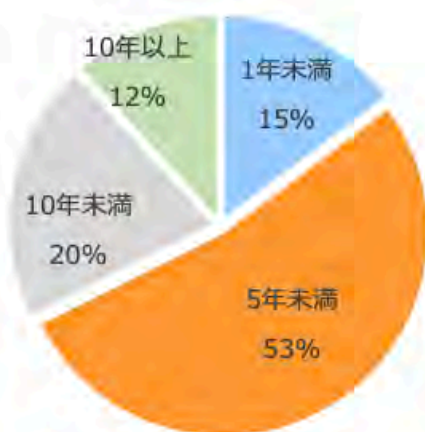
1. 20歳代	6 人
2. 30歳代	10 人
3. 40歳代	11 人
4. 50歳代	6 人
5. 60歳代	2 人
6. 70歳代	0 人

③ あなたの職業は？



1. 農業	3 人
2. 会社員・会社役員	18 人
3. 公務員・団体職員・教員	8 人
4. アルバイト・パート	6 人
5. 学生	0 人
6. 無職	0 人
7. その他	0 人

④ あなたは、光サービスを利用してどのくらいになりますか？



1. 1年未満	5 人
2. 5年未満	18 人
3. 10年未満	7 人
4. 10年以上	4 人

※サービス未加入者1名

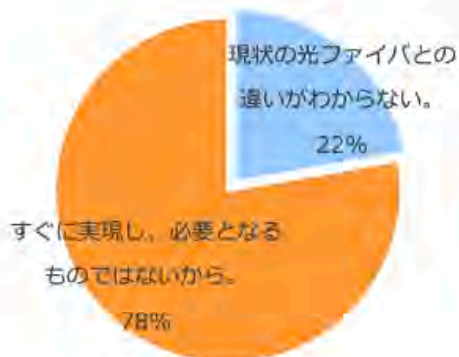
## 2. ローカル5Gの光ネットサービスについて

- ① ローカル5Gの事例を見て、  
その高速・大容量サービスに興味をお持ちいただけますか？



1. はい	26 人
2. いいえ	9 人

- ② 上記の①で 2. いいえ とお答えいただいた方のみにお聞きします。  
ローカル5Gに興味がない理由をお聞かせください。



1. 現状の光ファイバとの違いがわからない。	2 人
2. すぐに実現し、必要となるものではないから。	7 人

### 9.3 用語集

項	用語	意味
1	256QAM	256QAM (256 Quadrature Amplitude Modulation) とは信号の変調方式の一つで、位相が直交する2つの波を合成するQAM方式のうち、振幅の違いを16段階で識別する方式です。256値のシンボルを用いて一度に8ビットを伝送できます。
2	28GHz 帯	日本の5Gで使用されるミリ波の周波数帯のことで、す。
3	28GHz 帯ルータ	28GHz 帯ローカル5Gの無線インターフェースを有するルータです。
4	28GHz 帯ローカル5G 網	28GHz 帯を使用した、地域の企業や自治体等が個別に利用できる5Gネットワークです。
5	28GHz 帯用エッジコア	28GHz 帯用ローカル5G 基地局用のユーザデータを終端するネットワークスイッチです。
6	28GHz 帯用基地局	28GHz 帯ローカル5Gの無線インターフェースで28GHz 帯ルータ(移動局)と28GHz 帯用エッジコア(コアネットワーク)に接続される固定局です。
7	3GPP	3GPP (3rd Generation Partnership Project) とは、第3世代(3G)以降の移動体通信システム(携帯電話網)の標準規格の仕様の検討や調整を行う各国標準化機関によるプロジェクトです。
8	4.7GHz 帯	日本の5Gで使用されるSub6の周波数帯のことで、す。
9	4.7GHz 帯ルータ	4.7GHz 帯ローカル5Gの無線インターフェースを有するルータです。
10	4.7GHz 帯ローカル5G 網	4.7GHz 帯を使用した、地域の企業や自治体等が個別に利用できる5Gネットワークです。
11	4.7GHz 帯用5G-Core	4.7GHz 帯用ローカル5G 基地局用のコアネットワークです。
12	4.7GHz 帯用基地局	4.7GHz 帯ローカル5Gの無線インターフェースで4.7GHz 帯ルータ(移動局)と4.7GHz 帯用5G-Core(コアネットワーク)に接続される固定局です。
13	5G	5G(第5世代移動通信システム)は、1G、2G、3G、4Gに続く国際電気通信連合が定める規定IMT-2020を満足する無線通信システムです。
14	5G-Core	5Gのコアネットワークです。
15	64QAM	64QAM (64 Quadrature Amplitude Modulation) とは信号の変調方式の一つで、位相が直交する2つの波を合成するQAM方式のうち、振幅の違いを8段階で識別する方式です。64値のシンボルを用いて一度に6ビットを伝送できます。
16	AC/DC 電源	交流電流 (AC : Alternating Current) を直流電流 (DC : Direct Current) に変換する機器です。
17	AI	AI とは、Artificial Intelligence (人工知能) の略称です。
18	AIR1281	Ericsson 製 BBU です。

19	API	API (Application Programming Interface) とは、広義ではソフトウェアコンポーネント同士が互いに情報をやりとりするのに使用するインタフェースの仕様です。
20	BBU	BBU (Base Band Unit) とは、RRH (Remote Radio Head) と共に無線基地局を構成する装置で、端末との通信時に送受信される情報をデジタル処理する装置です。
21	Bluetooth	Bluetooth は、デジタル機器用の近距離無線通信規格の 1 つです。
22	BW	Band Width の省略形で、帯域幅を示します。
23	CameraRAW	カメラが捉えた光の情報をそのまま保存したものが RAW です。
24	CU	BBU 機能を 3 つのパートに分割定義したものが CU (Central Unit) /DU/RU で、コアネットワーク側のファンクション群を CU と呼びます。
25	D/U 比率	D/U 比とは、希望波 (D=Desire) と妨害波 (U=Undesire) の比率のことを指します。
26	db	dB (デシベル) とは、電力比や電気機器の利得を表す単位で、入力電力と出力電力との比の常用対数の 10 倍で表します。
27	dBm	dBm は、電力を 1 ミリワット (mW) の基準値とするデシベル (dB) の値で表した単位です。
28	DL	DL (Down Link) とは、無線通信で基地局から端末に向けて発射される電波や、それに乗せて送られる信号やデータなどのことです。
29	DU	BBU 機能を 3 つのパートに分割定義したものが CU/DU (Distributed Unit) /RU で、RF 側のファンクション群を DU と呼びます。
30	eNB	eNB (evolved Node B) とは、携帯電話事業者が街頭などに設置している、LTE 方式の無線通信に対応した携帯電話基地局のことです。
31	EPC	EPC (Evolved Packet Core) は LTE 世代のコアネットワークです。
32	EPG	EPG (Evolved Packet Gateway) はパケット処理をするネットワークノードです。
33	FHD	FHD (Full HD) は、1920×1080 ピクセルの画像です。
34	Gbps	Gbps (Giga bits per second) とは、1 秒あたりに送信できる通信容量の単位のことです。
35	GHz	GHz は国際単位系における周波数の単位で、10 <sup>9</sup> Hz、1000MHz、0.001THz に相当します。
36	GNSS Active antenna	GPS 信号を受信するためのアンテナ・モジュールです。
37	GPS	GPS (Global Positioning System) とは、地球上の現在位置を、人工衛星からの電波で測り知る装置です。

38	H. 264	H. 264、MPEG-4 AVC は、動画圧縮規格の一つです。ITU-T では「H. 264」として、2003年初めに勧告されました。
39	IaaS	IaaS (Infrastructure as a Service) とは、情報システムの稼動に必要な仮想サーバをはじめとした機材やネットワークなどのインフラを、インターネット上のサービスとして提供する形態のことを指します。
40	ICT	ICT (Information and Communication Technology : 情報通信技術) とは、PC だけでなくスマートフォンやスマートスピーカーなど、さまざまな形状のコンピュータを使った情報処理や通信技術の総称です。
41	IoT	IoT とは「Internet of Things」の略で、「モノのインターネット」と訳されています。現実世界の物理的なモノに通信機能を搭載して、インターネットに接続・連携させる技術です。
42	iPerf	iperf はスループット試験で使用されるツールです。
43	ISP	ISP (Internet Services Provider) とは、公衆通信回線などを経由して契約者にインターネットへの接続を提供する事業者です。
44	ITU	ITU (International Telecommunication Union : 国際電気通信連合) は、電気通信に関する国際標準の策定を目的とした組織です。
45	L3SW	L3SW (レイヤ3スイッチ) とは、コンピュータネットワークにおいて、ルーターとスイッチングハブの機能を併せ持つ機器。
46	LoRa	LoRa とは、LPWA という少ない消費電力で広いエリアをカバーする無線通信方式の一つです。
47	LOS	LOS (Line of Sight) とは、無線通信における送信機と受信機の間を結ぶ直線距離のことである。
48	LPWA	LPWA (Low Power Wide Area) は低消費電力で長距離の通信ができる無線通信技術の総称です。
49	LTE	LTE (Long Term Evolution) とは、3G の拡張版で 4G へのスムーズな移行を目指すものです。そのため、一般的には「3.9G」と呼ばれていますが、LTE を「4G」と呼ぶことが公式に認められています。
50	Mbps	Mbps (Mega bits per second) とは、1秒あたりに送信できる通信容量の単位のことです。
51	MCS	MCS (Modulation and channel Coding Scheme) は、適用変調を行う際にあらかじめ決めておく変調方式と符号化率の組合せです。
52	MHz	MHz は、国際単位系における周波数の単位で、10 <sup>6</sup> Hz、1000kHz、0.001GHz に相当する。
53	MiFi	MiFi (My Wi-Fi) とはモバイルルーターのことです。



54	MIMO	MIMO (multiple-input and multiple-output) とは、無線通信において送信機と受信機の双方で複数のアンテナを使い、通信品質を向上させる技術を指します。
55	mmW	mmW はミリ波のことで、電波で波長が 1~10 ミリメートル、周波数に直すと 30~ 300GHz のものと定義されています。日本では、n257 と呼ばれる 26.50~29.50GHz の周波数帯が 5G に使用されます。しかし、厳密にはその周波数は 30GHz 未満ですが、この周波数帯も「ミリ波」帯と呼称しています。
56	ms	ms (millisecond) は、1000 分の 1 秒(10 <sup>-3</sup> s, 1/1,000 s)に等しい時間の単位です。
57	NI : ネットワークインテグレーション	NI (Network Integration) とは、企業などの通信ネットワークの設計や構築、運用、保守などの業務を一括して請け負うことです。
58	NSA システム	NSA (n-standalone)、非スタンドアロン型のシステム構成は、4G のコアネットワーク (EPC) と 5G の基地局 (gNB) とを組み合わせた構成の 5G システムです。
59	NW カメラ	NW カメラ (ネットワークカメラ) とは、有線や無線の LAN 機能を持つビデオカメラの形態です。
60	ONU (光回線終端装置)	ONU (Optical Network Unit: 光回線の終端装置) は、光通信ネットワークの終端に設置され、光信号・電気信号間の変換と光信号の多重・分離をするデータ回線終端装置です。
61	PaaS	PaaS (Platform as a Service) とは、アプリケーションソフトが稼動するためのハードウェアや OS などのプラットフォーム一式を、インターネット上のサービスとして提供する形態のことを指します。
62	PTP	PTP (Precision Time Protocol) は、コンピュータネットワーク全体でクロックを同期させるために使用される通信プロトコルです。
63	PW	Power の省略形で、出力電力を示します。
64	Radio4418 (2.5GHz)	Ericsson 製 RRH です。
65	RadioLinkFailure	無線リンク障害を指します。
66	Round-Trip Time	Round-Trip Time とは、通信相手に信号やデータを発信してから、応答が帰ってくるまでにかかる時間です。
67	RRH	RRH (Remote Radio Head) とは、BBU (Base Band Unit) と共に無線基地局を構成する装置で、無線信号の送受信処理を行う無線機です。
68	RSRP	RSRP (Reference Signal Received Power) とは、移動端末で測定される信号の受信電力で、移動端末の受信感度を表す指標の 1 つです。
69	RSRQ	RSRQ (Reference Signal Received Quality) は、RS の受信品質を表す指標の 1 つで、RSRP と RSSI の比によって計算されます。
70	RSSI	RSSI (Received Signal Strength Indicator) とは受信信号強度であり、受信機入力に入る受信信号の強度を示す数値 (dBm) を示します。

71	RU	BBU 機能を 3 つのパートに分界定義したものが CU/DU/RU (Remote Unit) で、無線機 (RF 部) を RU と呼びます。
72	SaaS	SaaS (Software as a Service) とは、パッケージ製品として提供されていたソフトウェアを、インターネット経由でサービスとして提供・利用する形態のことを指します。
73	SA システム	SA (Stand Alone)、スタンドアローンのシステム構成では、コアネットワークも含めて 5G の新しい技術に基づいた 5G システムです。
74	SI : システムインテグレーション	SI (System Integration) とは、企業の情報システムの構築を請け負う IT サービスを指します。
75	SIMO	MIMO の送信側が単一アンテナとなった縮退状態が SIMO (single input and multi output) です。
76	SINR	SINR (Signal to Interference and Noise. Ratio) は、信号の受信電力 S に対する、雑音電力 N と干渉電力 I の和の比率のことです。
77	SPD	SPD (Signal Power Divider) は、高周波の信号の分配器です。
78	Sub6	Sub6 とは、6GHz 未満の周波数帯のことです。
79	TCP	TCP (Transmission Control Protocol) は、IP と同様にインターネットにおいて標準的に利用されている プロトコルです。
80	TDD	TDD (Time Division Duplex : 時分割複信) は、時間軸圧縮を行い送信・受信を時間ごとに切り替えて、全二重通信を同一周波数帯域で可能にする電気通信技術です。
81	UDP	UDP (User Datagram Protocol) は、インターネットで標準的に使われているプロトコルです。
82	UE	UE (User Equipment) はユーザーが利用する端末のことを示します。
83	UL	UL (Up Link) とは、無線通信で端末から基地局に向けて発射される電波や、それに乗せて送られる信号やデータなどのことです。
84	UPS	UPS (Uninterruptible Power Supply : 無停電電源装置) とは、停電などによって電力が断たれた場合にも電力を供給し続ける電源装置です。
85	VPN	VPN (Virtual Private Network) とは、インターネットに接続している利用者の間に、仮想的な通信トンネルを構成したプライベートなネットワークのことです。
86	VPN Router	VPN Router とは、VPN 機能を搭載したルータのことです。
87	Wi-Fi	Wi-Fi とは、ケーブルなしで機器同士をネットワーク接続する「無線 LAN」の規格のことです。
88	インターネット	インターネット (Internet) とは、グローバルなコンピュータネットワークを指します。
89	エッジコンピューティング	エッジコンピューティングとは、利用者や端末と物理的に近い場所に処理装置を分散配置して、ネットワークの端点でデータ処理を行う技術の総称です。

90	エリアカバレッジ	エリアカバレッジとは、携帯電話や無線通信において電波の送受信が可能な地域の範囲を示します。または、一つの無線基地局のカバーする範囲のことを示します。
91	オルソモザイク処理	複数のオルソ画像を一つの滑らかな画像にする処理です。
92	オルソ画像	オルソ画像は、写真上の像の位置ズレをなくし空中写真を地図と同じく、真上から見たような傾きのない、正しい大きさと位置に表示される画像に変換したものです。
93	幹線	幹線とは、通信網で主要地点間を結び網の骨格をなす重要路線。
94	ゲートウェイ	ゲートウェイ (GW: gateway) は、コンピュータネットワークをプロトコルの異なるネットワークと接続するためのネットワークノードです。
95	ケーブルモデム	ケーブルモデムとは、ケーブルテレビの基盤上で高周波チャンネル経由の双方向データ通信を実現するネットワーク・ブリッジ兼モデムの一種です。
96	コアネットワーク	コアネットワークとは、大規模な通信ネットワークにおいて、集線装置間や拠点間、事業者間、国家間などを結ぶ大容量の通信回線網のことです。LTE世代のコアネットワークは、EPC (Evolved Packet Core) と呼ばれています。
97	サーバ	サーバは、サービスを提供するソフトウェア、あるいはその機能が稼働しているコンピュータのことです。
98	スモールセル	スモールセル (small cell) とは、携帯電話基地局の種類の一つで、通常の基地局を補完するために用いられる、小出力でカバー範囲の狭い基地局です。
99	スループット	スループットとは、機器や通信路などの性能を表す特性の一つで、単位時間あたりに処理できる量のことです。
100	チルト角	チルト角とは、アンテナが水平の状態より傾いた角度のことです。
101	ドローン	ドローンとは無人航空機の総称です。
102	ヒートマップ図	ヒートマップ図は、2次元データの個々の値を色や濃淡として表現した可視化グラフの一種です。
103	ビーム ID	ビーム ID は、ビームを互いに分離する識別である。
104	ビームフォーミング	ビームフォーミング (beamforming) とは、電波を細く絞って、特定の方向に向けて集中的に発射する技術のことです。
105	光ファイバー	光ファイバーとは、離れた場所に光を伝える伝送路である。
106	プライベート LTE	プライベート LTE とは、自営網として利用可能な LTE システムです。
107	フレームレート	フレームレートは、動画において単位時間あたりに処理させるフレームの数を示す頻度の数値です。

108	ブロードバンド	ブロードバンドとは、高速で大容量の情報が送受信できる通信網やサービスの総称です。
109	リモートセンシング	リモートセンシング (Remote Sensing) は、離れた位置から計測 (センシング) したり、その手法・技法・技術のことです。
110	ルータ	ルータ (router) とは、コンピュータネットワークにおいて、データを2つ以上の異なるネットワーク間に中継する通信機器です。
111	レイヤー2 スイッチ	レイヤー2 スイッチとは、ネットワークを中継する機器のひとつで、パケットに宛先情報として含まれる MAC (Media Access Control) アドレスで中継先を判断し、中継動作を行うスイッチのことです。
112	ローカル 5G	ローカル 5G は、地域や産業の個別のニーズに応じて地域の企業や自治体等の様々な主体が、自らの建物内や敷地内でスポット的に柔軟に構築できる 5G システムです。
113	遠隔制御用 PC/タブレット	圃場の農機を遠隔作業拠点から制御するための PC やタブレット端末です。
114	干渉	二つ以上の同一種の波動が同一点で合ったとき、重なって互いに強めあい、または弱めあう現象です。
115	簡易スペクトラムカメラ	光を波長ごとに分光して撮影するカメラです。
116	基地局	基地局は、移動局 (端末) と通信する移動しない無線局 (固定局) です。
117	自由空間モデル	無限に広く、一様で損失のない誘電媒体の理想的空間です。
118	帯域幅	帯域幅とは、データ伝送に使われる周波数の幅のことです。
119	遅延プロファイル	遅延時間に対する到来波の電力分布を示したものです。
120	摘採計画支援防災/鳥獣用 PC	摘採計画支援用リモートセンシングクラウドや防災/鳥獣対策用画像管理クラウドと接続される PC (パソコン) です。
121	摘採計画支援用リモートセンシングクラウド	圃場の作物の生育状況や栽培環境をモニターし、高品質な作物を効率的・安定的に生産するための作業をサポートします。
122	伝搬損失	通信経路を流れる信号が距離などに応じて減衰する度合いのことです。
123	電界強度	電界強度とは、ある地点での電波が届いている電波の強さのこと。
124	分光計	光を波長ごとに分ける装置です。
125	防災/鳥獣対策用画像管理クラウド	天候などによる災害状況や鳥獣の出没・捕獲などの状況をリアルタイムで通知・可視化し、圃場の監視作業をサポートします。
126	無線リンク	無線による2地点間の通信路。