

農業分野の課題解決（スマートグラスを活用した
熟練農業者技術の「見える化」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25日

日本電気株式会社

(山梨県農業分野の課題解決に向けたローカル5G実証コンソーシアム)

目次

1. 全体概要	1
1.1 背景・目的	1
1.2 実証概要及び目標概要	3
1.2.1 主な取り組み内容	3
1.3 実施体制	5
1.3.1 業務実行体制	5
1.3.2 コンソーシアムの詳細	6
1.3.3 再委託先の詳細	8
1.4 実証のスケジュール	9
1.4.1 スケジュール概要	9
1.5 免許申請の概要	15
1.5.1 開設理由	15
1.5.2 無線特性仕様希望理由	15
1.5.3 システム構成	17
1.5.4 回線設計	18
1.5.5 常置場所及び移動範囲	21
2. 実証地域	22
2.1 実証地域の概要	22
2.2 実証環境の概要	25
2.3 地域課題等	29
3. 実証環境	31
3.1 ネットワークの全体構成	31
3.1.1 ネットワーク構成の詳細	31
3.2 システム機能・性能・要件	39
3.2.1 機能要件	40
3.2.2 性能要件	41
3.2.3 ネットワークに関する課題と対策	41
3.2.4 機器要件及び性能要件	42
3.2.5 上記の構成が最適であるとする根拠	44
3.3 実証環境の運用	46
3.3.1 実証実験体制	46
3.3.2 実証実験の作業内容	47
3.3.3 ヘルプデスクについて	48
3.3.4 実証実験時の主な問合せ内容	49
3.4 関連事業	51
3.4.1 関連事業一覧	51

4. 課題解決システムの実証	52
4.1 前提条件.....	52
4.2 課題解決システムの要件.....	53
4.2.1 匠ソリューション.....	53
4.2.2 防犯ソリューション.....	54
4.2.3 これまでの実施状況.....	54
4.3 農林水産省スマート農業実証プロジェクト(ローカル5G)との連携.....	55
4.3.1 検証内容詳細.....	55
4.4 実証目標.....	58
4.4.1 ユースケース毎の目標.....	58
4.5 課題解決システムに関する検証及び評価・分析.....	59
4.5.1 農業領域(匠ソリューション).....	59
4.5.2 生活領域(防犯ソリューション).....	71
4.6 課題解決システムに関する効果検証.....	76
4.6.1 農業領域(匠ソリューション).....	76
4.6.2 生活領域(防犯ソリューション).....	114
4.7 課題解決システムに関する機能検証.....	145
4.7.1 農業領域(匠ソリューション).....	145
4.7.2 生活領域(防犯ソリューション).....	149
4.8 課題解決システムに関する運用検証.....	151
4.8.1 農業領域(匠ソリューション).....	151
4.8.2 生活領域(防犯ソリューション).....	152
4.9 まとめ.....	154
4.9.1 農業領域(匠ソリューション).....	154
4.9.2 生活領域(防犯ソリューション).....	154
5. ローカル5Gの性能評価の技術実証	156
5.1 前提条件.....	156
5.1.1 装置諸元.....	156
5.1.2 前提条件の詳細事項.....	159
5.2 実証目標.....	161
5.2.1 技術的課題.....	161
5.2.2 実証目標.....	162
5.2.3 実施事項.....	162
5.2.4 測定環境と各測定に共通する事項.....	163
5.3 ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等.....	177
5.3.1 実施概要.....	177
5.3.2 評価・検証項目.....	177
5.3.3 評価・検証方法.....	177
5.3.4 性能評価結果.....	200
5.3.5 技術的課題の解決策.....	236

5.4 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等.....	239
5.4.1 実施概要.....	239
5.4.2 評価・検証項目.....	239
5.4.3 評価・検証方法.....	239
5.4.4 性能評価結果.....	239
5.4.5 検証結果を踏まえた考察（仕様毎固有のテーマ・視点への対応等）.....	243
5.5 その他ローカル5Gに関する技術実証.....	245
5.5.1 実施概要.....	245
5.5.2 評価・検証項目.....	245
5.5.3 評価・検証方法.....	245
5.5.4 性能評価結果.....	246
5.5.5 技術的課題の解決方策.....	254
5.6 まとめ.....	254
6. 実装及び横展開に関する検討.....	256
6.1 前提条件.....	256
6.1.1 実装・横展開に係る関係者の意向.....	256
6.1.2 実装・横展開における制約条件等.....	257
6.1.3 実装・横展開の全体イメージ.....	258
6.1.4 実装・横展開に向けた実証構成要素の分解.....	258
6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定.....	261
6.2.1 実証終了後の継続利用.....	261
6.2.2 事業モデル.....	263
6.2.3 実装計画.....	268
6.2.4 実験試験局と商用局の無線局免許申請の相違について.....	271
6.2.5 その他考察.....	272
6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討.....	274
6.3.1 普及モデル.....	274
6.3.2 農業分野におけるローカル5G等の活用に向けた推進対応方策.....	279
6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討.....	281
6.4.1 共通プラットフォームに資する実証構成要素.....	281
6.4.2 共通プラットフォームへの提供イメージと合致した製品のパターン・スキーム..	283
6.4.3 5Gソリューション提供センター（仮称）への提言.....	289
6.5 まとめ.....	290
7. 会合等の開催（該当する活動がある場合）.....	292
7.1 開催内容.....	292
7.1.1 対外的な会合.....	292
7.1.2 内部的な会合.....	293
8. まとめ.....	295
9. 参考資料.....	299

1. 全体概要

山梨県農業分野の課題解決に向けたローカル5G実証コンソーシアム（以下「コンソーシアム」という。）は、「農業分野の課題解決（スマートグラスを活用した熟練農業者技術の「見える化」）に向けたローカル5G等の技術的条件及び利活用」に関する調査検討を行った。

1.1 背景・目的

第5世代移動通信システム（5G）は、超高速・超低遅延・多数同時接続といった特長を有しており、我が国の経済成長に不可欠な Society 5.0 を支える基幹インフラとして、様々な産業分野での利活用が期待されている。

総務省では、2019年6月18日、情報通信審議会から、「新世代モバイル通信システムの技術的条件」のうち、地域の様々な主体が自らの建物や敷地内でスポット的に柔軟にネットワークを構築できる第5世代移動通信システム（以下「ローカル5G」という。）の技術的条件について答申を受け、2019年12月24日、一部制度化を実施したところである。

5Gの技術的条件等については、今後も、周波数の拡張が予定されており、更なる技術的条件等の検討を行うため、引き続き、実際のユースケースの利用環境における性能評価試験や既存無線局との共用可能性に関する試験等を行う必要がある。

このため、2020年度から、様々な分野におけるローカル5Gのユースケースについて、多種多様なローカル5G基地局の設置・利用環境下でローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討を実施するとともに、ローカル5G等を活用した課題解決モデルの構築に取り組み、様々な分野でのローカル5G等の活用策とその導入効果等を明らかにし、ローカル5G等の導入の促進を図ることとしている。

一方、我が国の農業は、農業従事者の高齢化、新規就農者の減少による労働力不足・技術継承の危機・収益力低下といった課題に直面しており、センサー、ビッグデータ等を活用した農林水産業の生産性向上・高付加価値化を図るICTへの期待・重要性が益々高まっており、農林水産省では、ロボット、AI、IoT等の先端技術を活用したスマート農業の社会実装を加速化するため、最先端技術を生産現場に導入し、スマート農業の導入効果を実証する取組や、ICTを活用した農村部の定住条件の改善などを図る取組を推進しており、2020年度、同省では「スマート農業実証プロジェクト（ローカル5G）」や「農村の情報通信基盤整備手法等検討業務」を行うこととしている。

このため、両省では、農業分野におけるローカル5G等の導入に向けて連携して取り組むこととし、本調査検討では、「地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」の一環として、農業分野、特に圃場等屋外及びブルーラル環境におけるローカル5G等の導入を促進するため、ローカル5Gの電波伝搬特性の解明及び課題解決システムにおける具体的なアプリケーション（スマートグラスを活用した熟練農業者技術の「見える化」）を想定したローカル5G等の高速通信及び低遅延に関する性能評価を実施した。

今回の実証地域とした山梨県では、生産者のたゆまぬ努力により、生産量日本一を誇るブドウ、桃、すももなどの果樹を中心に、野菜、水稻、花き、畜産等の特色ある産地を形成してきた。その中でも高級果実として定着しているブドウの生産においては、生産段階において様々な栽培管理作業があり、中でも果（花）房管理の良否は、外観・品質に直接影

響する重要な作業となっている。経験豊富な生産者は、房づくり（開花期に花の長さを調整する作業）や摘粒（多すぎる粒を間引く作業）といった管理を長年の経験から適切に行ってきた。しかしながら、こうした「匠の技」技術の継承は長い期間を必要となることから、新規就農者の技術向上や生産拡大が難しくなっている。そのため、こうした技術を持つ農業者の育成に、AI、スマートグラスを使用したアプリケーションを用いて「匠の技」を継承することへの障壁を取り除くことを目標として、今回の実証実験を実施することとした。

1.2 実証概要及び目標概要

本調査の目的は、「ローカル5G等を活用した課題解決モデルの構築に取り組み、様々な分野でのローカル5G等の活用策とその導入効果等を明らかにし、ローカル5G等の導入の促進を図ること」である。

この目的達成のために、次の3つのテーマに取り組んだ。

- 「農業領域（農業現場の生産性の向上等の経済活性化）」に関する実証
- 「生活領域（農村地域での定住促進等の農村地域に資するローカル5G等の有効活用）」に関する実証
- ローカル5Gの電波伝搬特性の解明及び具体的なアプリケーションを想定したローカル5G等の性能評価

1.2.1 主な取り組み内容

実証にて取り組んだ主な内容を以下に示す。

表 1.2.1-1 実証概要及び目標概要

項目	ユースケース	目標
農業領域 (匠ソリューション)	房づくり 軸長指示	<ul style="list-style-type: none"> ・自然な作業環境下における花穂検出の実現 ・スマートグラスを利用した花穂検出による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・花穂の検出精度の向上
	適粒切除 粒数表示	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートグラスを利用した摘粒作業支援による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・粒数の検出精度の向上
	適期収穫 色判断	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートグラスを利用した収穫作業支援による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・適期収穫色の判断精度の向上
	植生指数 表示	<ul style="list-style-type: none"> ・ブドウの繁茂状態監視による植生異常検知の実現 ・スマートグラスを利用した異常検知通知による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・植生の検知精度の向上
生活領域	不審人物 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ監視による不審人物検知及び通報の仕組みの実現 ・検知システムを利用した盗難被害の低減 ・不審人物の検知精度及び通報速度の向上

(防犯ソリューション)	不審車両検知	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ監視による不審車両検知及び通報の仕組みの実現 ・検知システムを利用した盗難被害の低減 ・不審車両の検知精度及び通報速度の向上
ローカル5G	-	<ul style="list-style-type: none"> ・圃場や試験場に構築するローカル5G実証環境で、エリア内の受信電力や映像伝送を想定した伝送スループットを測定し、技術的課題を検証する。 ・圃場環境におけるローカル5Gのエリア構築に活用可能な電波伝搬モデルを導出する。 ・圃場環境において通信品質の確保とローカル5G基地局アンテナの設置・保守コスト抑制を両立する方法について検討する。

1.3 実施体制

本実証に臨むコンソーシアムの体制を以下に示す。

今回の実証は、農林水産省が行う「スマート農業実証プロジェクト（ローカル5G）」と連携を取りながら実証成果の最大化を図った。



図 1-1 コンソーシアム体制

1.3.1 業務実行体制

実施にあたっては、コンソーシアム内の各ステークホルダーと連携しながら、プロジェクト管理グループが中心になってシステム構築及び実証に係る各チーム間の連携を図り、業務を推進した。以下に体制を示す（※非公開情報を含むため一部文章を削除）。

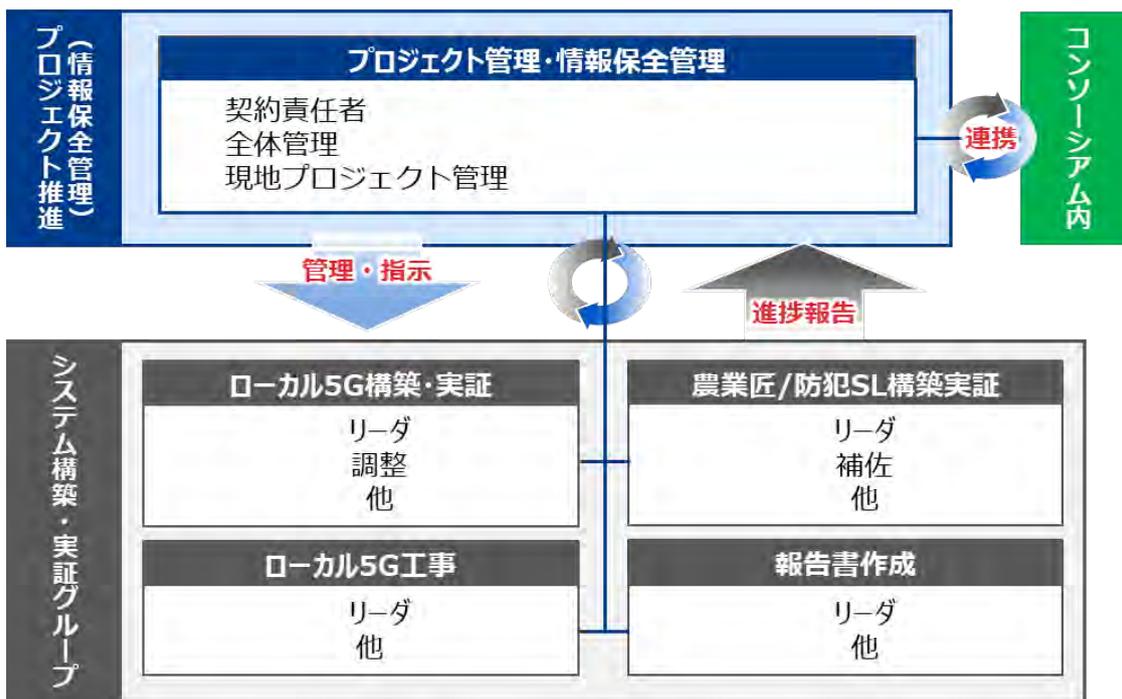


図 1-2 業務実行体制

1.3.2 コンソーシアムの詳細

コンソーシアムの参加組織の詳細について、下表に示す。

表 1.3.2-1 コンソーシアムの参加組織と役割

企業・団体名	役割
日本電気株式会社 (NEC)	技術試験事務実施者、5Gシステム提供、構築、ソリューション開発等の中心を担う。代表者としてコンソーシアム全体を取りまとめる。
山梨県	山梨県果樹試験場での開発場所の提供、県関係部局、機関の取りまとめを行う。(情報政策課、農業技術課、果樹試験場、圃場)
山梨市	山梨県果樹試験場の実証を、継続的に横展開していくために、山梨県やJAと連携を図り、農村活性化につなげていくための地域コミュニティ形成を担う。
株式会社 YSK e-com	山梨県内でソリューション開発、システム構築、インテグレーション、サービス提供を行っており、今回の高品質シャインマスカット生産のための匠の技「見える化」実証の中心を担う。
株式会社デジタルアライアンス	山梨県情報ハイウェイによるローカル5Gのバックボーン回線を提供する。
国立大学法人	地元の大学として、ブドウ栽培における研究が多く、知見が豊富

山梨大学	なため、YSKe-com の基礎技術支援を担う。
全国農業協同組合連合会 山梨県本部（全農やまなし）	県内の JA の取りまとめであり、農業機械のサポート、ZGIS（営農管理システム）の提供をしており、将来にわたって組合員へのスマート技術の普及を担うことができる。
フルーツ山梨農業協同組合	山梨県内の果樹生産において、先進的な取り組みを行っており、将来にわたって組合員へのスマート技術現地実証・普及を担うことができる。
旭陽電気株式会社	山梨県及び市町村の無線事業に関する施行・保守業務を担う。
※フルーツ山梨管内生産者	フルーツ山梨管内生産者 K 氏 実証事業の圃場を提供する。

1.3.2.1 代表者及び主要参加企業・団体（※非公開情報を含むため一部文章を削除）

企業・団体名	日本電気株式会社
担当部署	甲府支店（契約者）

1.3.2.2 主要参加企業・団体（※非公開情報を含むため一部文章を削除）

企業・団体名	山梨県
担当部署	総務部 情報政策課

企業・団体名	山梨市
担当部署	政策秘書課

企業・団体名	株式会社 YSK e-com
担当部署	ITソリューション事業本部

企業・団体名	国立大学法人 山梨大学
担当部署	大学院総合研究部 工学域 機械工学 (工学部 情報メカトロニクス工学科)

企業・団体名	旭陽電気株式会社
担当部署	本社

1.3.3 再委託先の詳細

再委託先の詳細について、下表に示す。

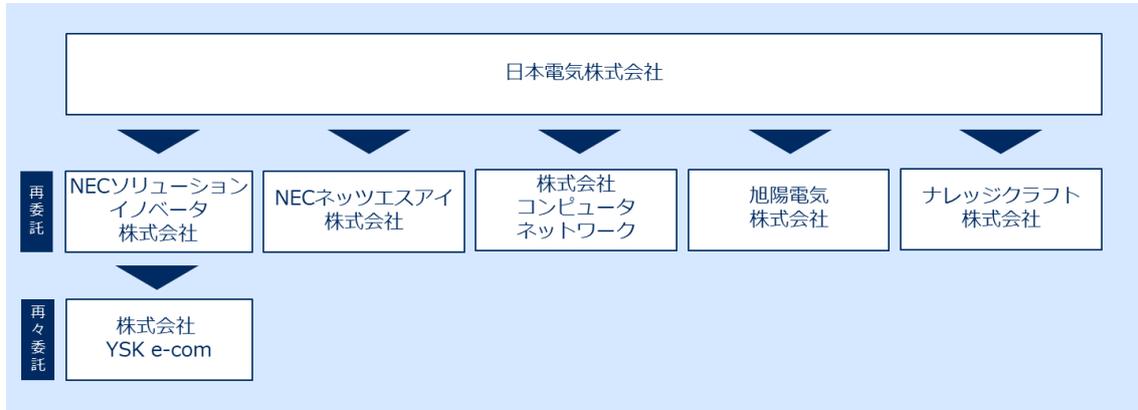


図 1-3 プロジェクトにおける再委託先

表 1.3.3-1 再委託内容

企業・団体名	再委託内容
NEC ソリューションイノベータ株式会社	課題解決システム（生活領域）の設計、構築、テストに係るプロジェクト管理及び、課題解決システム（農業領域、生活領域）を使用した実証実験を行う。実証全体の進捗報告、課題管理、会議開催のプロジェクト管理を行う。
NEC ネットエスアイ株式会社	ローカル5G設計、構築、テスト、進捗報告、課題管理、会議出席を行う。
株式会社コンピュータネットワーク	ローカル5Gのネットワーク設計を行う。
旭陽電気株式会社	実証環境（ローカル5G及び課題解決システム）で使用する機器設置作業、配線作業、空調修繕等の施工を行う。
ナレッジクラフト株式会社	個別成果物のレビュー、一部タスクの作業実施。本業務の報告書作成を行う。
株式会社 YSK e-com	課題解決システム（生活領域）の設計、構築、テスト、課題解決システム（農業領域、生活領域）を使用した実証実験を行う。課題解決システムに関する進捗報告、課題管理、会議出席を行う。

1.4 実証のスケジュール

実証スケジュールを計画するにあたって、次の点を考慮することで、適切なデータを得られる様に対策を実施した。

- 「課題解決システムの実証」と「ローカル5Gの性能評価等の技術実証」を同時時間帯に実施しない様にし、双方の実証の影響が他方へ及ばない様にした。
- 「ローカル5Gの性能評価等の技術実証」を先行し、試験環境の電波特性等を参考としながら、「課題解決システムの実証」を行う様にした。

ただし、「課題解決システムの実証」で使用する検体（パーシャル冷蔵したブドウ）の腐食が進行し日程的に間に合わない等の特段の事情がある場合には、「課題解決システムの実証」を先行して実施した。

1.4.1 スケジュール概要

実証計画の概要を「表 1.4.1-1 実施計画」に示す。

表 1.4.1-1 実施計画

内容	主要タスク	2020年						2021年		
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
マイルストーン		開始準備	キックオフ 現地サーベ イ	構築 (アジャイル型開発; 設計、製造、単体試験)			事前結合試 験、横展開 仮説計画検 討	実証実験	実証実験、 報告書作成	報告書作成
課題解決システ ムの実証構築	実証設計 課題整理 現地サーベ イ ユースケース作成 検証項目選定		←→							
	設計 防犯ソリューショ ン設計 匠ソリューション 設計		←→							
	構築 UI 開発 A I 機械学習 M 構 築 結合試験 現地構築			←→						

内容	主要タスク	2020年						2021年		
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
マイルストーン		開始準備	キックオフ 現地サーベ イ	構築 (アジャイル型開発；設計、製造、単体試験)			事前結合試 験、横展開 仮説計画検 討	実証実験	実証実験、 報告書作成	報告書作成
ローカル5Gの 性能評価等の技 術実証構築	実証設計 課題整理 現地サーベ イ NW等設計 検証項目選定									
	構築 事前検証（社内） 結合テスト									
	現地工事 現地工事・検証									

内容	主要タスク	2020年						2021年		
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
マイルストーン		開始準備	キックオフ 現地サーベ イ	構築 (アジャイル型開発；設計、製造、単体試験)			事前結合試 験、横展開 仮説計画検 討	実証実験	実証実験、 報告書作成	報告書作成
実施及び横展開 に関する検討	実証試験実施 横展開検討・まとめ 原案展開、検討 仮説検討 確定版検討							←————→		
				←————→						
				△	←————→					
							←————→			
報告書まとめ 実証計画 中間ご報告 実証まとめ 最終ご報告								←————→		
							△		←————→	
										△

1.5 免許申請の概要

1.5.1 開設理由

IoT の普及に代表されるように通信ニーズの多様化が進んでおり、5 G時代においてはより一層の多様化が進むことが想定されている。そのため携帯電話事業者による全国サービス提供に加えて、地域ニーズや産業分野の個別ニーズに応じて、様々な主体が柔軟に構築／利用可能な第5世代移動通信システム（ローカル5 G）を導入し、5 Gの地域での利用促進を図ることが検討されている。

上記ローカル5 Gに割り当て予定の4.7GHz帯を使い、生産性向上・新しい付加価値の創造を目的とした4.7GHz帯ならではの広帯域・低遅延を必要とする、無人化・自動化・エンターテインメントサービスをエンドユーザのお客様とともに共創する予定である。

受信局の電波の受信レベル変動や空間的な広がりや、測定エリア（環境）の建物分布や地形、周辺の移動物体（人、車）の影響を強く受けることが知られていることから、様々な特性の各エリア（環境）における電波伝搬の調査・特性評価を行い、その結果を方式設計に用いた。

なお、ローカル5 Gは、将来的にはSA構成に移行することが想定されるものの、それまでの間はNSA構成によるアンカーの構築が必要となるため、同時にアンカーバンド（2.5GHz）の基地局及び移動局の免許を申請した。

1.5.2 無線特性仕様希望理由

(1) 2.5GHz帯（中心周波数2.585GHz）を希望する理由

NSA構成における4.7GHz帯のエリア特性及び伝送特性の評価において、2.5GHz帯をアンカーとした見通し、遮蔽物など実利用環境下での電波の到達距離、システム通信品質などの評価実験を行い、技術確立に向けた検証を実施していく必要があるため、2.585GHzを希望した。

(2) 4.7GHz帯（中心周波数4.75GHz）を希望する理由

ローカル5 Gで今後導入が見込まれる4.7GHz帯での伝搬・伝送実験を行い、技術確立に向けた検証を実施していく必要があった。このため、帯域幅100MHzに対応した装置において、数Gbpsを超える伝送実現に向けて、その実験的検証を実施した。

(3) 2.5GHz帯域幅10MHzを希望する理由

2.5GHz地域BWAシステムに割り当てられた10MHz帯域を利用して伝搬特性取得するための実験を行い、性能検証を行った。

(4) 4.7GHz 帯域幅 100MHz を希望する理由

高周波数帯において数 Gbps を超える超高速伝送を早期に実現することを目的に、帯域幅 100MHz での伝搬・伝送実験を予定していた。本実験では、ローカル 5 G に割り当てられた 100MHz を利用した伝搬特性取得のための実験を行い、超高速伝送や低遅延といった性能検証を行った。

(5) 申請スケジュール

- 免許申請：2020 年 10 月 30 日
- 予備免許取得：2020 年 11 月 16 日
- 本免許取得：2020 年 12 月 17 日

表 1.5.2-1 実験試験局免許申請スケジュール

	2020					2021
	8	9	10	11	12	1
日本電気株式会社 玉川事業場内		(干渉調整) ☆ 総通様ご相談	(総通本省様確認)	★ 免許申請書提出	(登録点検) ★ 予備免許取得	★ 免許取得

(6) 2.5GHz 帯 干渉対策について

本実験試験局の電波発射までに関係各社と運用調整を実施し、問題無いことを確認した上で電波発射を行った。

表 1.5.2-2 関係各社との調整 (2.5GHz 帯)

事業者	調整状況
UQ様	調整済み【2020/10/26に調整済み】
WCP様	調整済み【2020/10/8に調整済み】

当該周波数帯を割り当てられた開設者を含めて運用調整を実施し、当該無線局の運用に支障のない場合に限り電波を発射した。また、常置場所では空間に電波発射をせず運用を行った。

運用にあたっては、他の無線局に妨害を与えないように運用を実施した。万が一妨害を与える場合には、無線局の運用を停止した。

(7) 4.7GHz 帯 干渉対策について

本実験試験局の電波発射までに関係各社と運用調整を実施し、問題無いことを確認したうえで電波発射を行った。

表 1.5.2-3 関係各社との調整 (4.7GHz 帯)

事業者	調整状況
NTTドコモ様	調整済み【2020/10/13に調整済み】

当該周波数帯を割り当てられた開設者を含めて運用調整を実施し、当該無線局の運用に支障のない場合に限り電波を発射した。

運用にあたっては、他の無線局に妨害を与えないように運用を実施した。万が一妨害を与える場合には、無線局の運用を停止することとしたが、そのような事態は発生しなかった。

1.5.3 システム構成

本実証にて構築したシステムの構成図を以下に示す。

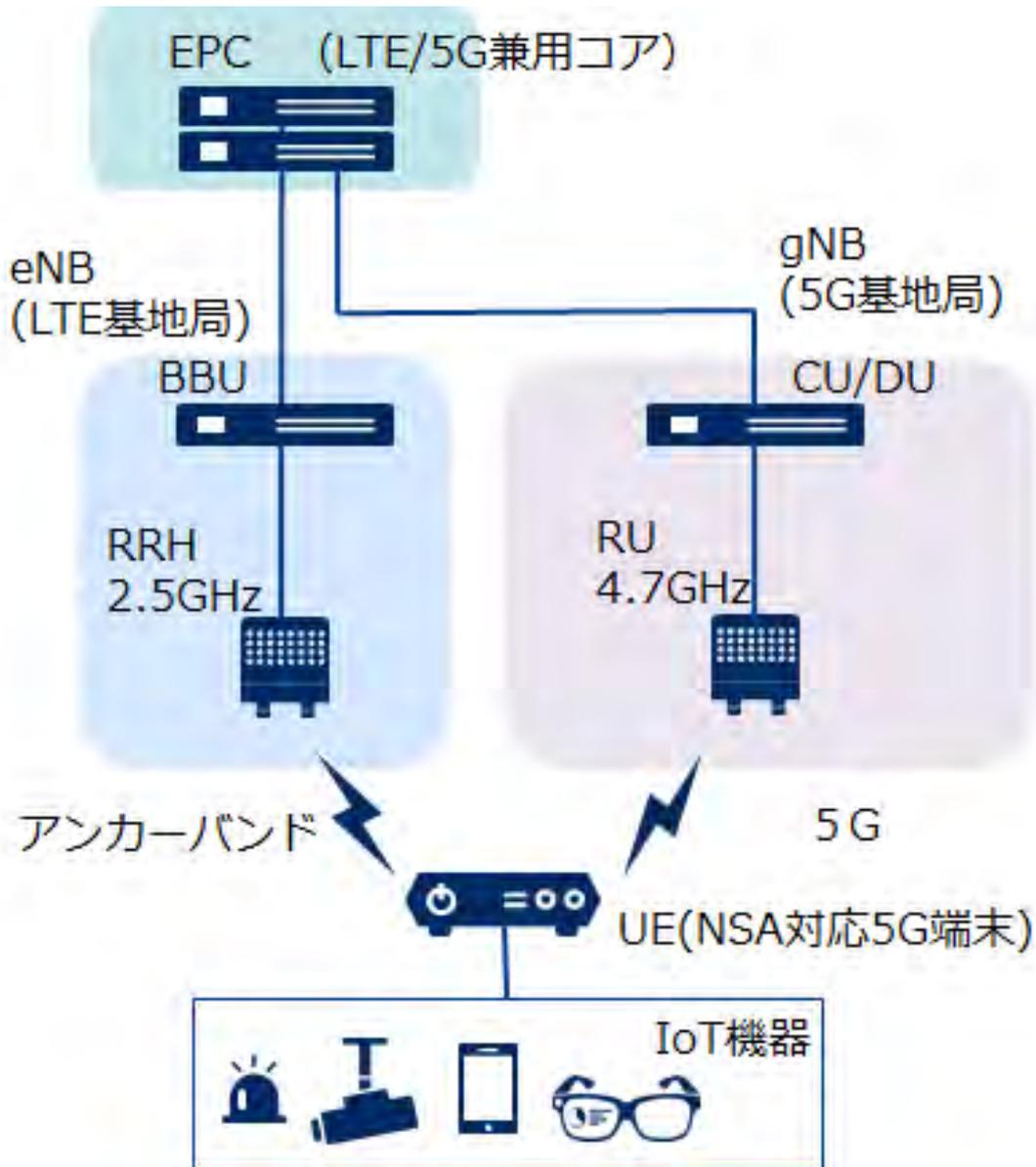


図 1-4 システム構成

1.5.4 回線設計

(1) 4.7G 基地局相当

送信機から 810m 程度までのエリア内における伝搬特性の取得を目的として、農業用ハウス、雨よけ、圃場のエリアにて下り回線のセルエッジ確認を行うため、上り回線より広いエリアの回線設計を実施した。距離 810m における伝搬損失及び本件の送受信装置の諸元を下表に示す。

伝搬損失の大きい見通し外環境においても上記エリアの伝搬測定を実施するためには、次式より算出すると所要送信電力が 34.2dBm となるため、アンテナ 1 台あたりの送信電力として 34.4dBm (2.77W) を希望した。

- 所要送信電力=受信機の最低受信感度+測定のダイナミックレンジ+受信側の給電線損失+受信側のその他損失-受信アンテナ利得-受信機によるプロセスゲイン+距離810mにおける伝搬損失(見通し外)-最小送信アンテナ利得+送信側の給電線損失+送信側のその他損失
- $37.2 = -83.9 + 18 + 2 + 0 - 2.4 - 6 + 123.5 - 17 + 2.0 + 1.0$
よって、1アンテナあたりの所要送信電力は、37.2dBm (2アンテナ) $-3dB = 34.2dBm$ となる。

表 1.5.4-1 4.7G 基地局相当 回線設計表

項目	諸元
受信機の最低受信感度	-83.9dBm
測定のダイナミックレンジ	18dB
距離 810m における伝搬損失	123.5dB (見通し外環境)
送信アンテナ利得	17dBi
受信アンテナ利得	2.4dBi
受信機によるプロセスゲイン (同相加算利得)	6dB
受信側の雑音指数	11dB
送信側の給電線損失	2.0dB
送信側のその他損失	1.0dB
受信側の給電線損失	2dB
受信側のその他損失	0dB
所要送信電力 (見通し外環境)	+34.2dBm

(2) 4.7G 移動局相当

伝搬特性取得において送信機から 250m 程度までのエリア内における伝搬特性を取得するための回線設計を行った。農業用ハウス、雨よけ、圃場のエリアにて距離 250m における伝搬損失及び本件の送受信装置の諸元を下表に示す。

伝搬損失の大きい見通し外環境においても上記エリアの伝搬測定を実施するためには、次式より算出すると所要送信電力が 23.0dBm となるため、送信電力として 23.0dBm (200mW) を希望した。

- 所要送信電力=受信機の最低受信感度+測定のダイナミックレンジ+受信側の給電線損失+受信側のその他損失-受信アンテナ利得-受信機によるプロセスゲイン+距離250mにおける伝搬損失-送信アンテナ利得+送信側の給電線損失+送信側のその他損失
- $23.0 = -90.9 + 18 + 2.0 + 1.0 - 17 - 3 + 113.3 - 2.4 + 2 + 0$
よって、アンテナ 1 台あたりの所要送信電力は、23.0dBmとなる。

表 1.5.4-2 4.7G 移動局相当 回線設計表

項目	諸元
受信機の最低受信感度	-90.9dBm

測定のダイナミックレンジ	18dB
距離 250m における伝搬損失	113.3dB (見通し外環境)
送信アンテナ利得	2.4dBi
受信アンテナ利得	17dBi
受信機によるプロセスゲイン (同相加算利得)	3dB
受信側の雑音指数	4dB
送信側の給電線損失	2dB
送信側のその他損失	0dB
受信側の給電線損失	2.0dB
受信側のその他損失	1.0dB
所要送信電力 (見通し外環境)	23.0dBm

(3) 2.5G 基地局相当

伝搬特性取得において送信機から概ね 690m 程度までのエリア内における伝搬特性を取得するための回線設計を行った。距離 690m における伝搬損失及び本件の送受信装置の諸元諸元を下表に示す。

伝搬損失の大きい見通し外環境においても上記エリアの伝搬測定を実施するためには、次式より算出すると所要送信電力が 20.0 dBm となるため、申請値として、アンテナ 1 台あたりの送信電力 20.0dBm (100mW) を希望した。

- 所要送信電力=受信機の最低受信感度+測定のダイナミックレンジ+受信側の給電線損失+受信側のその他損失-受信アンテナ利得-受信機によるプロセスゲイン+距離 690m における伝搬損失 (見通し外) -最小送信アンテナ利得+送信側の給電線損失+送信側のその他損失
- $23.0 = -91.4 + 20 + 1 + 0 - 1 - 6 + 104.4 - 4 + 0 + 0$
よって、1 アンテナあたりの所要送信電力は、
23.0dBm (2 アンテナ) -3dB=20.0dBmとなる。

表 1.5.4-1 2.5G 基地局相当 回線設計表

項目	諸元
受信機の最低受信感度	-91.4dBm
測定のダイナミックレンジ	20dB
距離 690m における伝搬損失	104.4dB (見通し外環境)
送信アンテナ利得	4dBi
受信アンテナ利得	1dBi
受信機によるプロセスゲイン (同相加算利得)	6dB
受信側の雑音指数	13.5dB
送信側の給電線損失	0dB
送信側のその他損失	0dB
受信側の給電線損失	1dB

受信側のその他損失	0dB
所要送信電力（見通し外環境）	20.0dBm

(4) 2.5G 移動局相当

伝搬特性取得において送信機から 1200m 程度までのエリア内における伝搬特性を取得するための回線設計を行った。距離 1200m における伝搬損失及び本件の送受信装置の諸元を下表に示す。

伝搬損失の大きい見通し外環境においても上記エリアの伝搬測定を実施するためには、次式より算出すると所要送信電力が 23.0dBm となるため、送信電力として 23.0dBm (200mW) を希望した。

- 所要送信電力=受信機の最低受信感度+測定のダイナミックレンジ+受信側の給電線損失+受信側のその他損失-受信アンテナ利得-受信機によるプロセスゲイン+距離 1200m における伝搬損失（見通し外）-最小送信アンテナ利得+送信側の給電線損失+送信側のその他損失
- $23.0 = -102.9 + 20 + 0 + 0 - 4 - 3 + 112.9 - 1 + 1 + 0$
よって、1 アンテナあたりの所要送信電力は、23.0dBmとなる。

表 1.5.4-2 2.5G 移動局相当 回線設計表

項目	諸元
受信機の最低受信感度	-102.9dBm
測定のダイナミックレンジ	20dB
距離 1200m における伝搬損失	112.9dB（見通し外環境）
送信アンテナ利得	1dBi
受信アンテナ利得	4dBi
受信機によるプロセスゲイン（同相加算利得）	3dB
受信側の雑音指数	9dB
送信側の給電線損失	1dB
送信側のその他損失	0dB
受信側の給電線損失	0dB
受信側のその他損失	0dB
所要送信電力（見通し外環境）	23.0dBm

1.5.5 常置場所及び移動範囲

- ① 無線設備の常置場所
日本電気株式会社敷地内（神奈川県川崎市中原区下沼部 1753）
- ② 移動範囲
山梨県果樹試験場（山梨県山梨市江曾原 1204）
日本電気株式会社敷地内（神奈川県川崎市中原区下沼部 1753）

2. 実証地域

本章では、実証地域及び地域課題の概要を示す。

2.1 実証地域の概要

山梨県の面積は 4,465.27km² で、我が国の総面積 377,971.57km² の約 100 分の 1 に当たり、県土の約 78% を森林が占めている。また、2021 年 1 月 1 日現在の推計人口（2015 年国勢調査確定値基準）は、805,339 人（男 394,808 人 女 410,531 人）となっており、年々減少傾向が続いている。高齢化率（65 歳以上）は、30.4% となっている。

（2020 年 4 月 1 日現在 山梨県 高齢者福祉基礎調査資料 より）

山梨県の農業は、生産者のたゆまぬ努力により、生産量日本一を誇るブドウ、もも、すももなどの果樹を中心に、野菜、水稻、花き、畜産等の特色ある産地を形成してきた。

農業生産額は、2017 年には、17 年ぶりに 1,000 億円台を回復し、2018 年度の県産果実の輸出額も 9 億円を超えるなど、明るい兆しも見られる一方で、本県農業を支える農業従事者の減少や高齢化が進み、耕作放棄地も減少しないなど、本県農業は依然として厳しい状況にある。また、人口減少による国内市場の縮小が懸念されるとともに、経済のグローバル化や IoT や AI などを活用した技術革新の進行など、農業を取り巻く環境も大きく変化している。

（やまなし農業基本計画（2019 年 12 月） より）

● 農家戸数

2015 年の総農家戸数は 32,543 戸で、2010 年と比べ 4,262 戸、約 11% 減少している。内訳をみると、販売農家※1、自給的農家※2 はいずれも減少傾向にあるが、専業農家は、2000 年から増加傾向にある。

※1 販売農家：経営耕地面積 30a 以上又は農産物販売金額が年間 50 万円以上の農家

専業農家：世帯員の中に兼業従事者が 1 人もいない農家

第 1 種兼業農家：農業所得の方が兼業所得よりも多い兼業農家

第 2 種兼業農家：兼業所得の方が農業所得よりも多い兼業農家

※2 自給的農家：経営耕地面積 30a 未満かつ農産物販売金額が年間 50 万円未満の農家

● 農業就業人口

2015 年の農業就業人口※1 は、27,736 人で、2010 年と比べ 5,535 人、約 17% 減少している。また、65 歳以上の割合は、1985 年の 31% から 2015 年には 68% に上昇し、高齢化が進んでいる。

※1 農業就業人口：自営農業に従事した世帯員のうち、1 年間に自営農業のみに従事した者又は農業とそれ以外の仕事両方に従事した者のうち自営農業が主の者

● 農業生産額

本県の農業生産額は、1978 年の 1,312 億円をピークに減少を続け、2001 年以降は 1,000

億円を下回る金額で推移していたが、近年は、本県の主力品目である果実の価格の上昇などにより、2017年は1,003億円、2018年は1,032億円と1,000億円台に回復した。

品目別では、果実が約607億円で全体の58.8%を占め、野菜が約142億円で13.9%、畜産が約135億円で13.0%と続いている。

- 果樹生産 施策

果樹産地の振興を図るため、消費者ニーズを踏まえ、本県に適した新たな品種の育成を進めるとともに、本県のオリジナル品種の速やかな普及・産地化を図っている。

また、高品質化、省力化・低コスト化技術の開発・普及に取り組むとともに、高品質なブランド果実の生産・出荷体制の強化を図るため、加温ハウスや集出荷施設などの施設整備等を支援している。

更に県産醸造用ブドウを原料とした県産ワインのブランド力の強化を図るため、「甲州」の生産拡大や高品質化、本県に適応した欧州系品種の選抜を進めている。

- 実証場所

以下に実証場所の概要図を示す。

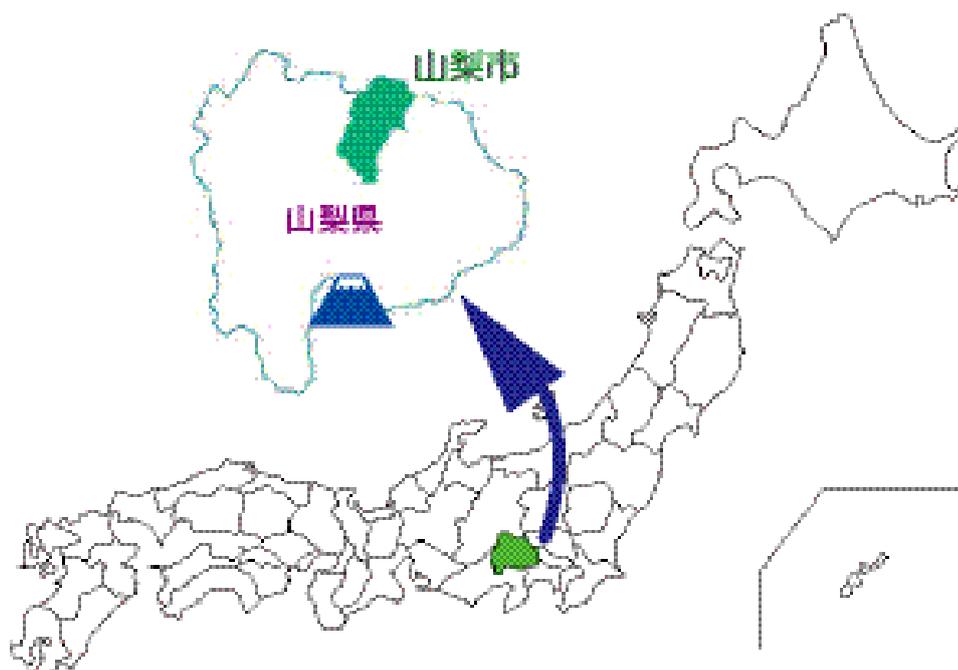


図 2-1 実証地域 (山梨県)

出所) 山梨市 市の概要、<https://www.city.yamanashi.yamanashi.jp/citizen/docs/infomation.html>、
2021年2月26日取得



図 2-2 実証場所俯瞰図

2.2 実証環境の概要

今回の実証地域は、山梨県山梨市内にある山梨県果樹試験場内と、果樹試験場近くの圃場とした。

● 地理的条件・気象

(山梨市 地域新エネルギービジョン推進計画 第3章 山梨市の地域特性から)

今回の実証地域 果樹試験場は、山梨市に位置している。

山梨市は山梨県の北東部、甲府盆地の東部に位置し、北は埼玉県、長野県と接している。西部から南部にかけては甲府市及び笛吹市、東部は甲州市、北部は大滝村（埼玉県）、川上村（長野県）に囲まれている。山梨市は、3地域（山梨地域・牧丘地域・三富地域）に分かれており、果樹試験場のある“山梨地域”は、山梨市の南部地域であり、東を甲州市、南を笛吹市、西を甲府市に接する。

<山梨市 山梨地域の地勢>

- ・総面積 53.11km²、東西約 10.8km、南北約 8.5km
- ・標高 299m（一町田中）～1,376m（帯那山）、市役所位置は標高 342.88m
- ・市内中央部を南北に笛吹川が流れ、東から注ぐ重川・日川の三河川がもたらす肥沃な土地に広がる果実郷はブドウ・桃ともに日本一の生産量を誇る。
- ・また、ブドウや桃、さくらんぼ狩りといった観光農園は多くの観光客が訪れる所となっており、笛吹川フルーツ公園、国道 140 号沿いに立地する道の駅などでは農業と関連した地域の物産が特産品として販売されるなど、第3次産業の基盤としても重要である。

● 気象

山梨市の近傍のアメダス測候所である甲府測候所の気象データ（1971～2000 年平年値）によると、年平均気温は 14.3℃、月平均気温で最暖月は 8 月で 32.0℃、最寒月は 1 月で 2.7℃となっている。夏には最高気温が 30℃を超えることがある一方、冬最低気温が氷点下になる日があるように、内陸型で寒暖の差が大きいのが特徴である。積雪は北部の三富地域の山間部で見られるが、山梨地域では多くない。

日照時間は年間約 2,100 時間で全国平均（1,934 時間）に比べて長くなっている。

その一方降水量は約 1,100mm と全国平均（1,714mm）に比べてかなり少なくなっており、日照条件に恵まれた地域である。

実証環境の概要を以下に示す。

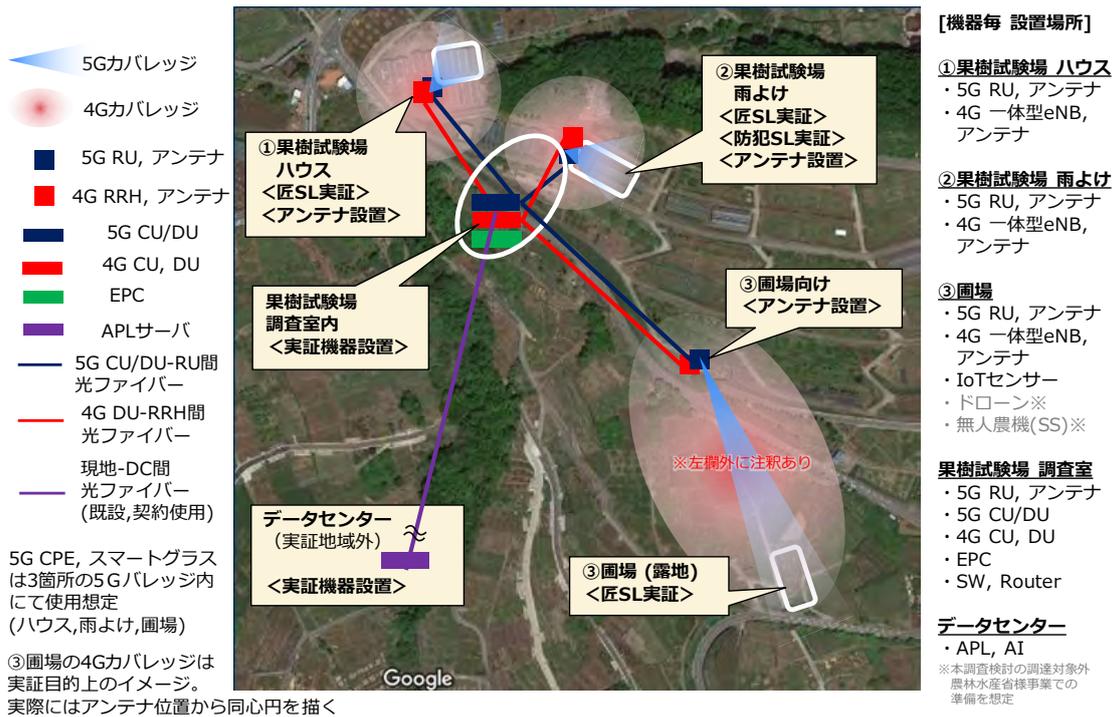


図 2-3 実証地域 (実証フィールド) の全景

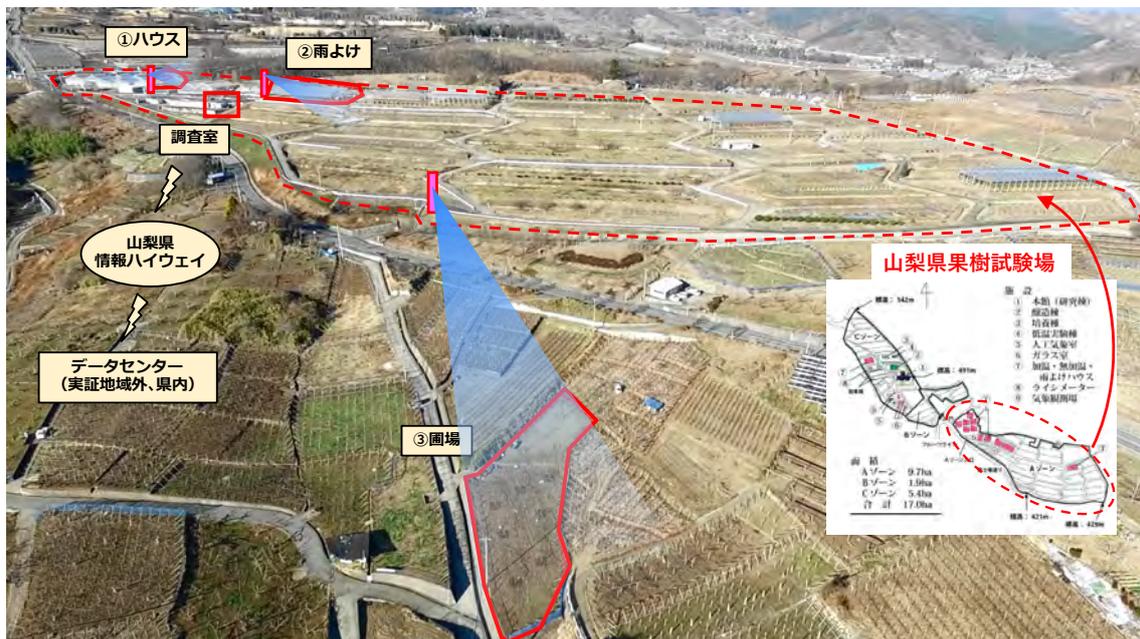


図 2-4 俯瞰図における配置

①果樹試験場ハウスの概要

農場主：山梨県果樹試験場
住 所：山梨県山梨市江曾原 1204
面 積：600 m²
作 物：シャインマスカット



図 2-5 果樹試験場ハウス全景

②果樹試験場雨よけの概要

農場主：山梨県果樹試験場
住 所：山梨県山梨市江曾原 1204
面 積：1400 m²
作 物：シャインマスカット



図 2-6 果樹試験場雨よけ全景

③圃場（露地）（※非公開情報を含むため一部文章を削除）

農場主：フルーツ山梨管内生産者 K氏

住 所：山梨県山梨市内

面 積：1241 m²

作 物：シャインマスカット



図 2-7 圃場（露地）全景

2.3 地域課題等

山梨県はブドウの生産量が日本一であるとともに、熟練した生産者により高品質なブドウが生産されており、国内のみならず、海外からも高い評価を受けている。こうした品質の高いブドウを生産するためには、生産段階において様々な栽培管理作業があるが、中でも果（花）房管理の良否は、外観・品質に直接影響する重要な作業となっている。経験豊富な生産者は、房づくり（開花期に花の長さを調整する作業）や摘粒（多すぎる粒を間引く作業）といった管理を長年の経験から適切に行っており、こうした「匠の技」が、高品質ブドウや高級品種（シャインマスカット等）の生産を支えている。

一方、新規就農者や雇用労働者（援農なども含む）などは、経験が少なく、高品質なブドウづくりのためには「匠の技」の伝承が必要となっている。しかし、果樹作は「年1作のため技術習得の機会が少ない」「農繁期の限られた期間に作業が集中するため一人一人に十分な指導が行き届かない」などの制約があり、スムーズな技術が伝承できないことが課題となっている。また、経験豊富な生産者においても、自らの圃場の気象や樹体生育などの情報をデータとして集積、活用することはほとんど行われていなかったが、温暖化など気象が大きく変化する中では、こうしたデータをビックデータとして活用し、好適な栽培環境の解析に活用することも重要になっている。

さらに、農村地域特有の課題として、出荷目の果樹が盗難される事例が頻発しており、防犯対策が必要である。このことが、定住が促進されない妨げにもなっている。

そこで、新たな技術を活用し、「新規就農者等の早期の技術習得による収益確保と経営安定」「産地全体の品質の底上げによる更なるブランド力の向上」「農作業の軽労化・効率化」を図るため、スマート栽培体系の開発と実証、現地への早期の普及が求められている。

- 農業領域
 - 高品質ブドウや高級品種の栽培には、熟練農業者の匠の技が必要
 - 匠の技の伝承が新規就農者の参入の障壁となっている
- 生活領域
 - 出荷目の果樹が盗難される事例が頻発、防犯対策が必要
 - 定住への阻害要因になっている

開発・実証の中心となる匠の技の伝承については、適切な栽培管理を行う上で必要な情報をスマートグラスを装着した新規就農者等の視野に投影し、作業をサポートする技術である。作業者がスマートグラスの視野で捉えた花穂や果房の映像をサーバに転送し、事前に最適な作業等を深層学習させた AI が解析するとともに、AR 技術により最適な作業の指示をリアルタイムに作業者の視野に投影する。

具体的には、スマートグラスを利用して、以下の技術開発・実証を行った。

- 房作り時：適切な花穂の長さのガイドマークを投影
- 摘粒時：適切な粒の数を視野に投影
- 収穫時：果房の色から収穫適期の房を判断

作業適期が短く、きわめて繁忙となる時期であり、作業にはスピードが求められることから、作業を遅延させないよう、5Gの超低遅延の特長を生かし、リアルタイムに作業指示を反映できるAI技術と通信環境の開発・実証を行った。

3. 実証環境

本章では、実証環境の詳細な内容を示す。

3.1 ネットワークの全体構成

今回の実証環境における全体構成を下図に示す。実施場所である果樹試験場（雨よけ）、同（農業用ハウス）、圃場の3か所それぞれのユースケース環境へ電波発射するために、ローカル5Gシステムの開発装置仕様に基づき、構成した。また、実証事業者において評価実績があるネットワーク構成をベースとして構成品を選定しており、本実証の要件を満たす構成としている。

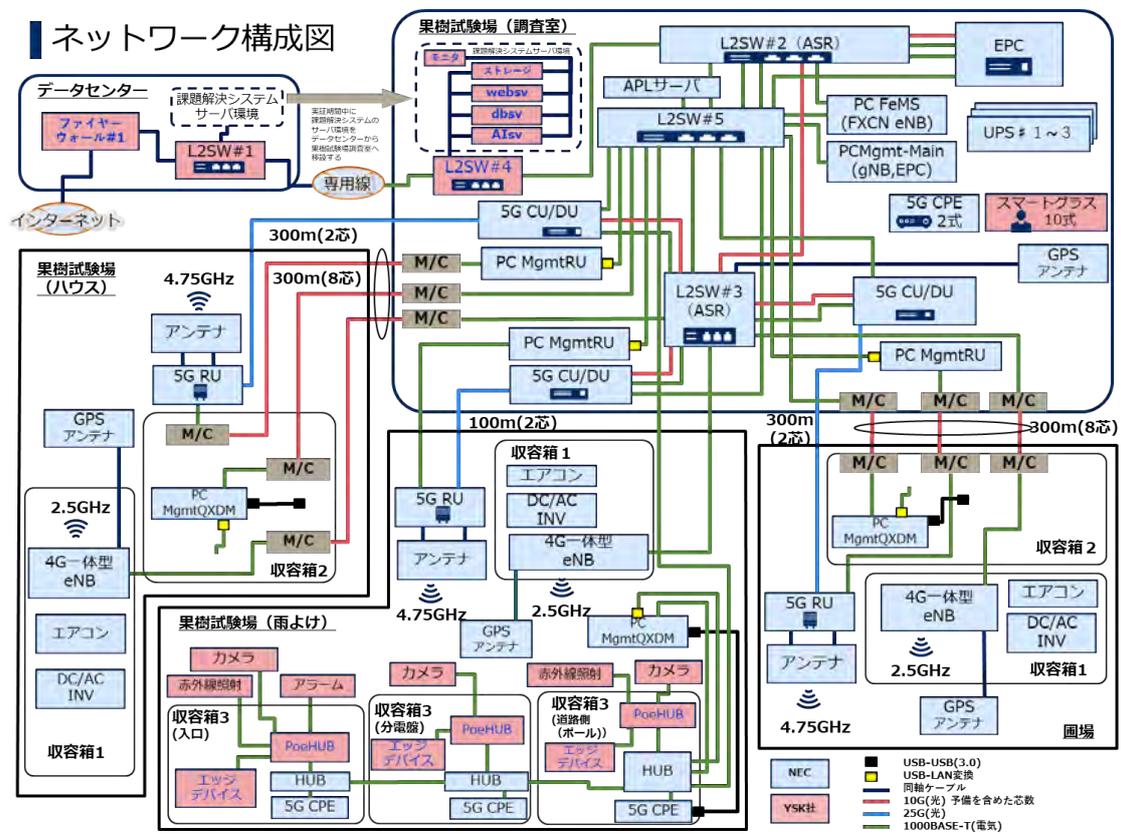


図 3-1 ネットワーク構成図

3.1.1 ネットワーク構成の詳細

上記の構成におけるネットワーク構成の明細を下表に示す。なお、5GシステムはNSA方式を採用した。

表 3.1.1-1 ネットワーク構成の明細

項目	品名	数量	設置形態	調達先	役割	機能
5 G システム	EPC	1	固定	日本電気株式会社	5 G / 4 G コアネットワーク	端末のモビリティ管理やデータパケットの転送など
	5 G CU/DU	3	固定	日本電気株式会社	5 G 基地局 (集約部/デジタル部)	基地局制御とベースバンド処理
	5 G CU/DU ソフトウェア	3	搭載	日本電気株式会社		
	5 G CU/DU FPGA	3	搭載	日本電気株式会社		
	4.75GHz 5 G RU	3	固定	日本電気株式会社	5 G 基地局 (無線部)	5 G 基地局の無線機能
	5 G アンテナ	3	固定	日本電気株式会社	5 G 基地局 (無線部アンテナ)	4.75GHz 帯の電波を発射
	4 G 一体型 eNB	3	固定	日本電気株式会社	4 G 基地局 (一体型)	4 G の基地局機能
	4 G アンテナ	3	固定	日本電気株式会社	4 G 基地局 (無線部アンテナ)	2.5GHz 帯の電波を発射
NW 機器	L2SW	2	固定	日本電気株式会社	ネットワーク中継機器	5 G システムとサーバの中継
	GPS アンテナ	1	固定	日本電気株式会社	GPS 受信アンテナ	同期
5 G 対応 端末	CPE	5	固定	日本電気株式会社	5 G 対応モバイルルータ	デバイス接続

表 3.1.1-2 CPE の関係表 (場所)

実施場所	CPE1	CPE2	CPE3	CPE4	CPE5	備考
雨よけ (RU)	固定	固定	移動	移動	移動	CPE1,2 と CPE3~5 の組合せで実装実験を行うため、同時 CPE 数は最大 3 台
ハウス (RU)						
圃場 (RU)						

表 3.1.1-3 CPE の関係表 (装置)

実験装置	CPE1	CPE2	CPE3	CPE4	CPE5
カメラ 1	○				
カメラ 2	○				
カメラ 3		○			
アラーム		○			

スマートグラス1			●		
スマートグラス2			●		
スマートグラス3			● (予備)		
スマートグラス4			● (予備)		
スマートグラス5				●	
スマートグラス6				●	
スマートグラス7				● (予備)	
スマートグラス8					●
スマートグラス9					● (予備)
スマートグラス10					● (予備)

実施場所である果樹試験場（雨よけ）、同（農業用ハウス）、圃場の3か所それぞれの実証作業場所のイメージ及びエリアカバレッジイメージを以下に示す。

アンテナ設置場所については、見通し、電源、通信ケーブル（光ファイバー）等、机上で検討した項目を現地にてサーベイし、関係者内の合意を得たうえで決定した。実現困難な条件（現地事情で場所変更が必要、電源が確保できない等）が発生した場合は、現地サーベイ時に条件面が揃う環境を調査し、再考した上で同様の検討を経て決定した。

果樹試験場（農業用ハウス）のエリアカバレッジを以下に示す。



カバレッジ	約25m
接続デバイス数	スマートグラス 5台
接続5G端末数	1~3台
DLスループット	10Mbps
ULスループット	25Mbps

図 3-2 果樹試験場（農業用ハウス）のエリアカバレッジ

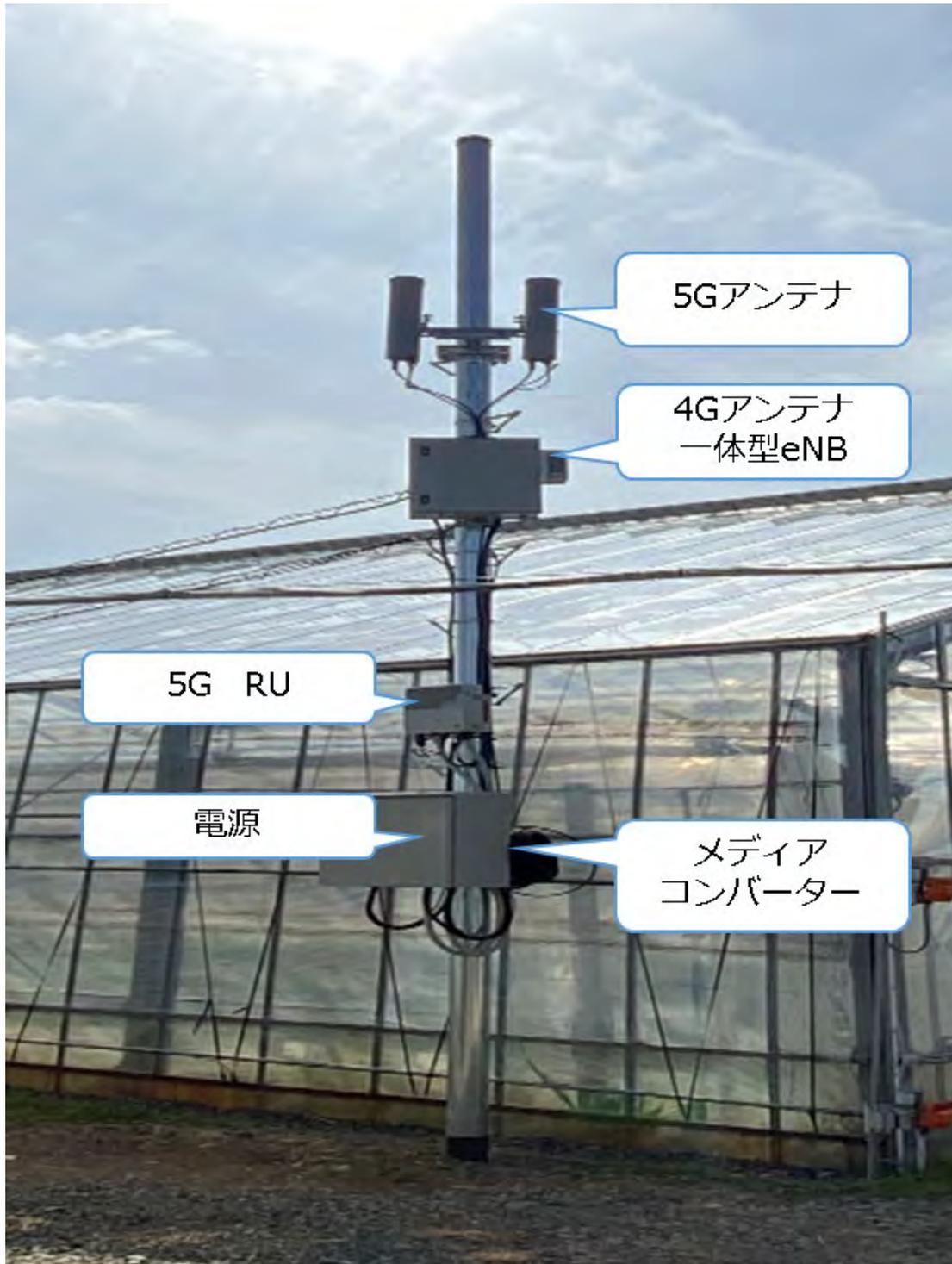


図 3-3 果樹試験場（農業用ハウス）の置局場所

果樹試験場（雨よけ）のエリアカバレッジを以下に示す。



カバレッジ	約50m
接続デバイス数	スマートグラス 5台 4Kカメラ 3台, アラーム 1台
接続5G端末数	1~3台
DLスループット	10Mbps(スマートグラス) 11Mbps(アラーム)
ULスループット	25Mbps(スマートグラス) 60Mbps(4Kカメラ)

図 3-4 果樹試験場（雨よけ）のエリアカバレッジ

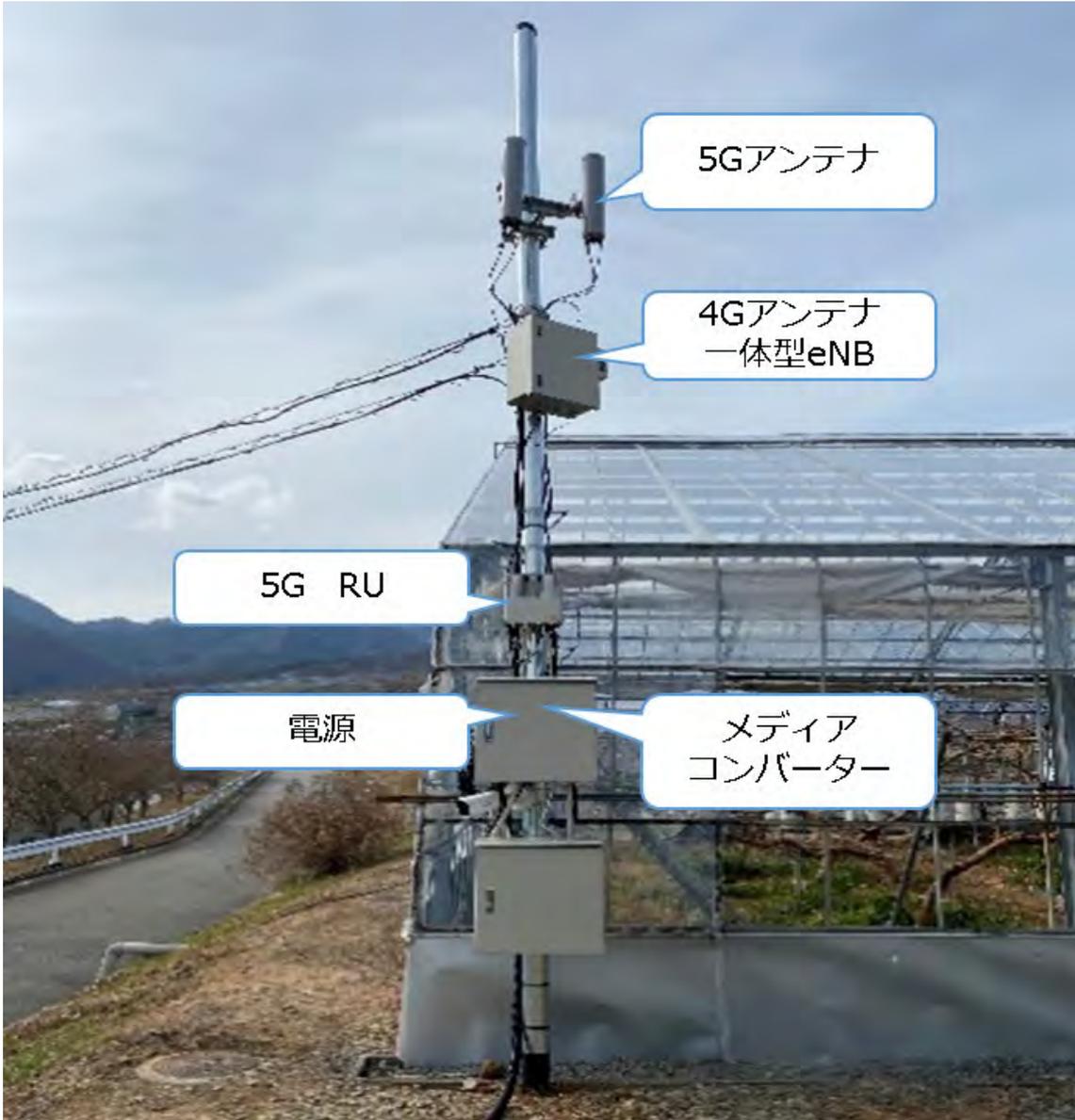


図 3-5 果樹試験場（雨よけ）の置局場所

圃場のエリアカバレッジを以下に示す



図 3-6 圃場のエリアカバレッジ

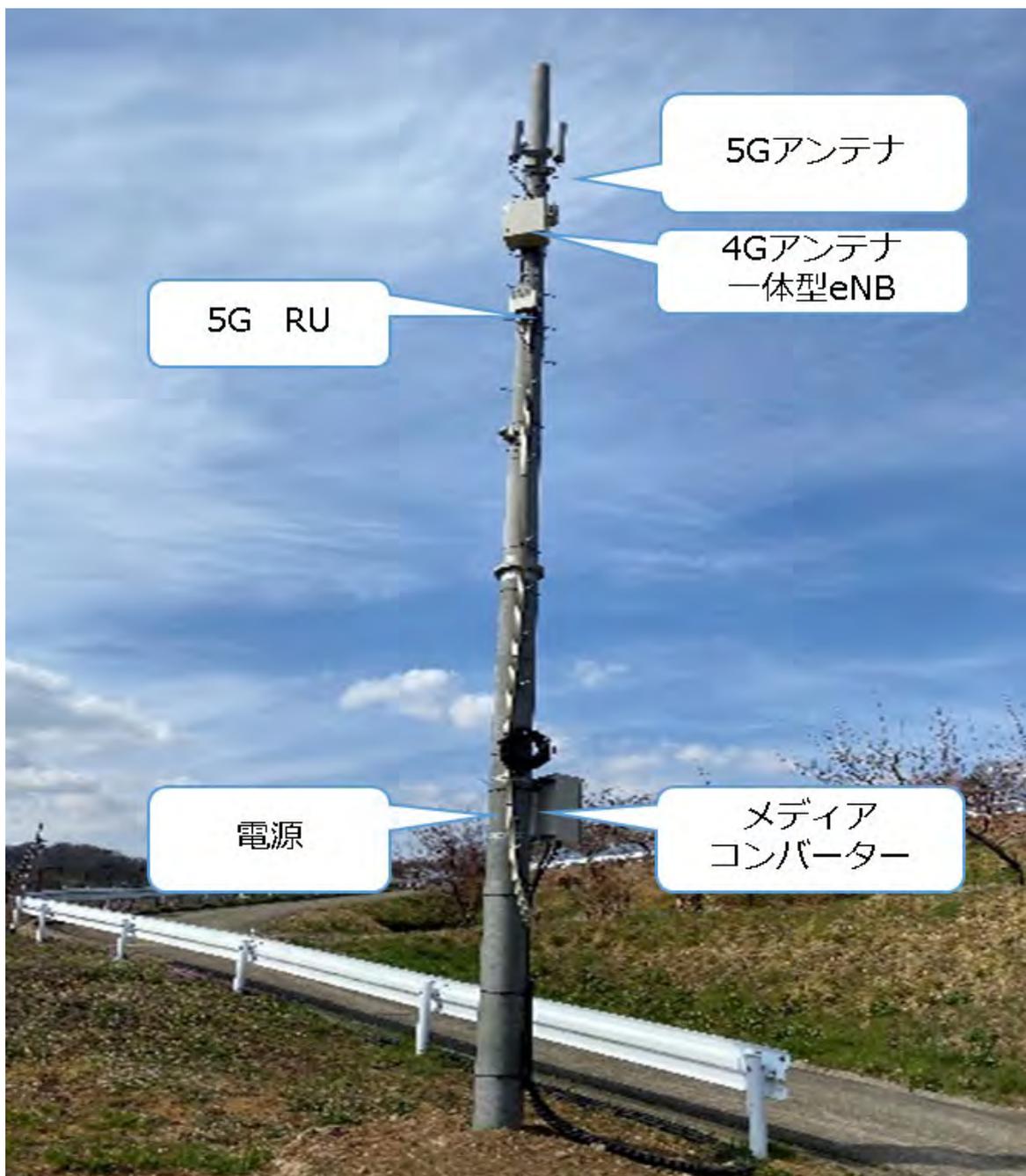


図 3-7 圃場の置局場所

3.2 システム機能・性能・要件

今回実証における課題解決システムとなる2つのソリューション（①匠ソリューション、②防犯ソリューション）の機能要件、ならびに性能要件を以下に示す。

3.2.1 機能要件

各ソリューションのユースケース毎の機能要件を以下に記載する。

表 3.2.1-1 課題解決システムの機能要件（匠ソリューション）

ユースケース	機能要件	伝送データの特徴 (DL)	伝送データの特徴 (UL)	利用デバイス (台数)
房づくり軸長指示	【AI 判定システム】 ・ 作業者のスマートグラスからの動画をアップロード ・ 分析結果をリアルタイムで複数の作業者のスマートグラスに結果表示	・ 1セル当たり合計 10Mbps のスマートグラスへの AI 判定結果表示 (1 台当たり 2Mbps×5 台)	・ 1セル当たり合計 25Mbps のスマートグラスからの動画 (1 台当たり 5Mbps×5 台)	場所：ハウス/雨よけ ・ スマートグラス 5 台 場所：圃場 ・ スマートグラス 5 台 (5 台×2 か所)
摘粒切除粒数表示				
適期収穫色判断				
植生指数表示	【画像処理システム】 ・ ドローン映像から分析した位置情報を活用、植生指数をスマートグラス上にリアルタイム表示	・ 1セル当たり合計 10Mbps のスマートグラスへの植生指数表示 (1 台当たり 2Mbps×5 台)	ドローンで撮影映像から分析した地図データを活用する (データアップロードはローカル 5 G 以外の通信方式を使用)	

表 3.2.1-2 課題解決システムの機能要件（防犯ソリューション）

ユースケース	機能要件	伝送データの特徴 (DL)	伝送データの特徴 (UL)	利用デバイス (台数)
不審人物検知	【画像認識システム】 ・ 人を感知後、動画をアップロード、画像認識システムで人物検出 ・ 不審者情報の通知、圃場アラーム制御	・ 0.5Mbps のアラートメール ・ 0.1Mbps の圃場アラーム制御 ・ 10Mbps の動画データ	・ 合計 60Mbps の 4 K カメラ映像 (1 台当たり 20Mbps)	場所：雨よけ ・ 4 K カメラ 3 台 ・ アラーム 1 台
不審車両検知	【画像認識システム】 ・ 不審車両の動画をアップロード、画像認識システムでナンバープレート検出 ・ 不審車両情報の通知、圃場アラーム制御			

3.2.2 性能要件

各ソリューションのユースケース毎の性能要件を以下に記載する。

表 3.2.2-1 課題解決システムの性能要件（匠ソリューション）

ユースケース	性能要件 (想定表示時間)	理由
房づくり軸長指示	軸長の表示まで 2 秒	AI 判定システムで花穂検出、軸の検出、軸長の計測、画像表示を行うため。
摘粒切除粒数表示	粒数の表示まで 2 秒	AI 判定システムで粒数の検出、画像生成を行うため。
適期収穫色判断	カラーチャートの表示まで 3 秒	AI 判定システムで環境光に左右されないカラーチャートを生成表示画像を生成するため。
植生指数表示	植生指数の表示まで 2 秒	画像処理システムで位置情報のマッピングと大きなオルソ画像から周辺画像を生成するため。

表 3.2.2-2 課題解決システムの性能要件（防犯ソリューション）

ユースケース	性能要件 (想定表示時間)	理由
不審人物検知	人を検出してから 10 秒以内に生産者の端末にメール送信	インターネットを介したメールの受信システムを活用するため、受信タイミングにより時間がばらつく。メール受信の時間を考慮しているため。
不審車両検知	しきい値に到達してから 10 秒以内に生産者の端末にメール送信	

3.2.3 ネットワークに関する課題と対策

各ソリューションのネットワークに関する課題と対策を以下に示す。

表 3.2.3-1 ネットワークに関する課題と対策（匠ソリューション）

システム検証ネットワークの課題	システム検証ネットワークの対策・目標	上位レイヤー プロトコル
房づくり、適粒、収穫、植生は、作業 者スマートグラスから AI 判定/画像処 理システムでの処理を介して、スマー トグラス上に表示を考えており、作業 スピードに合った表示が目標。 現時点では、サーバ、デバイス処理の 時間に 2~3 秒要する状況。	低遅延： 80msec 以下の遅延 80msec 以下の遅延となる通信性能を将来の 活用を踏まえ各実証実験の内容毎に実験を する。 ※音声では 200msec で違和感が無い遅延速 度	映像：UDP 制御：TCP

表 3.2.3-2 ネットワークに関する課題と対策（防犯ソリューション）

システム検証ネットワークの課題	システム検証ネットワークの対策・目標	上位レイヤー プロトコル
本実装では、カメラ 3 台を使用した監視を想定しており、4K データのスループットを 20Mbps と想定し、合計 60Mbps が実験でのスループット評価となりるが、将来を想定すると、街中の防犯用の監視カメラの展開も視野に入れた検討が必要	大容量:合計 60Mbps の 4 K カメラ映像伝送 (1 台あたり 20Mbps) 実証予定地域のブドウ畑周辺環境を想定して、5G アンテナ 1 台辺りに、4K カメラ (将来は、8K/16K カメラとなる想定) が何台収容に資する情報を取り考察する。	映像 : UDP 制御 : TCP

3.2.4 機器要件及び性能要件

今回実証において活用する弊社保有機器の機能要件、ならびに性能要件を以下に示す。

(1) ローカル 5 G ネットワークの要件

ローカル 5 G ネットワークの要件を以下に示す。

- 帯域幅 : 100MHz
- スループット : UL 60Mbps、DL 800Mbps
- MIMO 対応 : UL 64QAM まで対応、DL 256QAM まで対応

(2) ネットワーク機器の要件

ネットワーク機器の要件を以下の表に示す。

表 3.2.4-1 ネットワーク機器の機能及び性能要件

項目	品名	機能及び性能
5 G システム	EPC	NSA 方式 5 G コアネットワーク 端末のモビリティ管理やデータパケットの転送など
	5 G CU/DU	5 G 基地局 (集約部/デジタル部)、基地局制御とベースバンド処理
	4.75 GHz 5 G RU	5 G 基地局 (無線部) 5 G 基地局の無線機能
	5 G RU アンテナ	
	4 G 一体型 eNB	4 G 基地局 (集約部/デジタル部/無線部)
	4 G アンテナ	5 G システム NSA 方式の制御部機能
ネットワーク 機器	L2SW	ネットワーク中継機器、 5 G システムとサーバの中継

	GPS アンテナ	GPS1 受信アンテナ、同期
5 G 対応端末	CPE	5 G 対応モバイルルータ、デバイス接続用

(3) デバイス及びサーバ機器

デバイス及びサーバ機器の要件を以下の表に示す。

表 3.2.4-2 デバイス機器の機能及び性能要件

項目	品名	機能及び性能
4 K カメラ	DFK38UX267	防犯ソリューション用 解像度：4096×2160 @ 32fps 階調：ADC 12 bit ピクセルフォーマット：8-Bit Monochrome, 8-Bit Bayer (RG), 12-Bit Bayer Packed (RG), 16-Bit Bayer (RG), RGB24, YUV 4:2:2, YUV 4:1:1 (カラー)、センサ：Sony CMOS Pregius IMX267LQR フォーマット：1 インチ、ピクセルサイズ：3.45µm × 3.45µm サイズ：H29mm × W44mm × L60mm
アラーム	NHL-3 FB2-RYG	防犯ソリューション用 (LED ユニット色：赤・黄・緑) 音圧レベル：88dB 以上 外形寸法：約 113mm (幅) × 258mm (高) × 154mm (厚)
スマートグラス	BT-2000	匠ソリューション用 (方式：ポリシリコン TFT アクティブマトリクス) 液晶パネルサイズ：0.42 型ワイドパネル (16:9) 液晶パネル画素数：横 960×縦 540 ドット 色再現性：24bit カラー (約 1677 万色) 対応動画：MP4 (MPEG4+AAC)、MPEG2 (H.264+AAC) 対応静止画：JPEG、PNG、BMP、GIF 対応音声フォーマット：WAV、MP3、AAC 質量：270g(ケーブル除く)、防水防塵性能：IP54 準拠
一眼レフカメラ	PENTAX K-1 MARK II	匠ソリューション (撮影用) 有効画素数：約 3640 万画素、総画素数：約 3677 万画素 手ぶれ補正：撮像素子シフト方式 画像ファイル形式：RAW (PEF/DNG)、JPEG(Exif 2.3 準拠)、DCF2.0 準拠、画像モニター：3.2 型、オートフォーカス方式：TTL 位相差検出式 外形寸法：約 136.5mm(幅)×110mm(高)×85.5mm(厚)
ドローン	DJI P4 MULTISPECTRAL	匠ソリューション (植生撮影用)、対角距離:350 mm 最大浮上速度:6 m / s (自動飛行) ; 5 m / s (手動制御) 最大降下速度:3 m / s マックス・スピード:31 mph (50 kph) (P モード) ; 36 mph (58 kph) (A モード) 最大飛行時間:約 27 分、動作周波数:2.4000 GHz~2.4835GHz 送信電力 (EIRP) :2.4 GHz : <20 dBm (CE / MIC / KCC) 5.8 GHz : <26 dBm (FCC / SRRC / NCC) 質量:1487 g

表 3.2.4-3 デバイス及びサーバ機器の機能及び性能要件

項目	品名	機能及び性能
AI サーバ	DeepLearning BOX II	匠ソリューション／防犯ソリューション (AI 処理用) CPU:Core i9 10980XE 18core/36thread 3.0GHz GPU:Quadro RTX8000 48GB GDDR6 CUDA コア 4608 / Tensor コア 576 マザーボード:intel X299 Express チップセット メモリ:32GB (8GBx4) DDR4-2933 Quad-Channel ストレージ:SSD 960GB MTBF, SSD 1.9TB MTBF 光学ドライブ:DVD±R/RW 2 層対応スーパーマルチドライブ ケース:DeepLearning BOX セパレートキューブ (W400 x H460 x D520mm)
DB サーバ	DL380 Gen10	防犯ソリューション用 CPU:XeonG 6234 3.3GHz 1P8C CPU メモリ:16GB 1Rx4 PC4-2933Y-R SmARt メモリキット×9 チップセット:インテル C621、ネットワーク:1Gb Ethernet 4-port ハードディスク:480GB RI SC 2.5 型 6G SATA DS SSD×6 アレイコントローラ:SmARt アレイ E208i-a SR Gen10 コントロ ーラー 光学ドライブ:9.5mm SATA DVD-ROM ドライブ サイズ (W×D×H):446×680×88mm(2U) 重量:19.5 kg(最大構成時)
Web サーバ	DL160 Gen10	防犯ソリューション用 CPU:XeonS 4208 2.1GHz 1P8C CPU メモリ:16GB 1Rx4 PC4-2933Y-R SmARt メモリキット×4 チップセット:インテル C622 ネットワーク:1Gb Ethernet 2-port ハードディスク:300GB 15krpm SC 2.5 型 12G SAS DS HDD×4 アレイコントローラ:SmARt アレイ E208i-a SR Gen10 コントロ ーラー 光学ドライブ:9.5mm SATA DVD-ROM ドライブ サイズ: (W×D×H):435×615×43mm(1U) 重量:16.0 kg
ストレージ	TS-1283XU-RP	防犯ソリューション用 CPU:Intel® Xeon® E-2124 4 コア 3.3 GHz メモリ:ECC UDIMM 8GB (2 x 4GB) チップセット:インテル C622 ネットワーク:4 x 1GbE RJ-45、2 x 10GbE SFP+ ドライブベイ:12 x 3.5"/2.5" SATA 6Gb/s HDD/SSD、ホットスワッ プ対応、ハードディスク:16TB x 12 サイズ:88.3(H) x 482(W) x 562(D) mm(2U) 重量:11.75 kg

3.2.5 上記の構成が最適であるとする根拠

1) ローカル 5 G ネットワークで利用する機器

実施場所である果樹試験場 (雨よけ)、同 (農業用ハウス)、圃場の 3 か所それぞれのユースケース環境へ電波発射するために、ローカル 5 G システムの開発装置仕様に基づき、構成を組んだ。また、実証事業者において評価実績があるネットワーク構成をベースとして構成

品を選定しており、本実証の要件を満たす構成となっている。

2) 課題解決システム（匠ソリューション・防犯ソリューション）で利用する機器

それぞれの実証内容に必要な十分な要件を具備する以下の製品を選定した。

- スマートグラス（AR グラス）
両眼で視野に画像を重ねて表示できるタイプであり、GPS を搭載しており、また防水性能を有している。
- 4K カメラ
防犯用途の画像精度を得られるとともに、エッジコンピュータ（Jetson XAVIER NX）との接続が可能であり、また暗所での撮影が可能である。

今回の実証環境における課題解決システム構成を下図に示す。

課題解決システム構成図

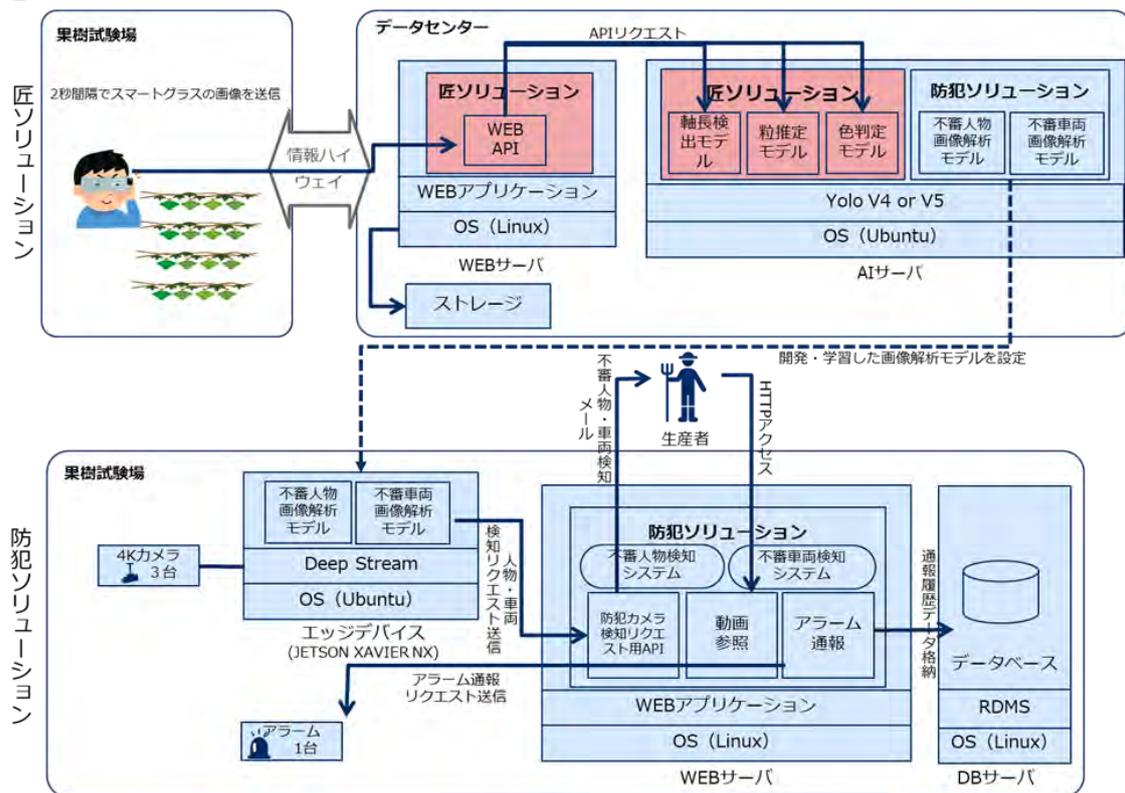


図 3-8 課題解決システム構成図

実証環境は、仕様書 3 実施内容 (3) 実証環境の構築②システム機能・性能・要件に記載の基本要件（カメラ・ドローン・センサー・その他端末についての要件ア、イ及び、ローカル 5 G 等を含む具体的なシステムの検討にあたっての要件ア、イ、ウ、エ、オ、カ）を満たすものとした。

3.3 実証環境の運用

実証実験では、各検証において実証参加者間の意思疎通を図るために、実証開始前に「実証作業計画書」を作成した。添付した「実証作業計画書」は、実証実験に参加する全メンバーに対して実証実験における体制や運用ルール等を説明したものである。

また、本事業において実証実験から参加する農業生産者等に対して、実証実験の重要性を理解いただくために本事業における目的や達成目標等も記載している。

3.3.1 実証実験体制

本実証実験は、山梨県をはじめとするコンソーシアムメンバーの参加のもと実施した。実施体制としては、管理グループのもと 4 つのグループにより構成されている。体制図及び各グループの役割を記載する。

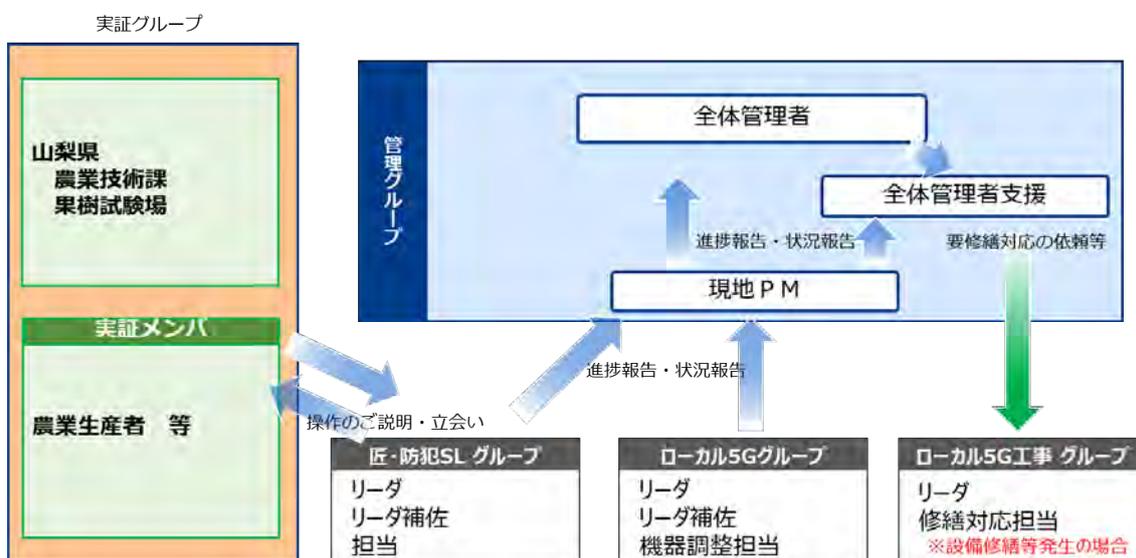


図 3-9 実証実験体制図

表 3.3.1-1 実証実験における各グループの役割

項番	グループ名	役割
1	管理グループ	<ul style="list-style-type: none"> ・実証実験における状況把握をし、進捗管理を行う。 ・実証実験参加メンバーの実験場における作業従事者管理及び入退場管理を行う。 ・実証実験中に発生した不具合等が発生した場合は、匠・防犯ソリューショングループ、ローカル5Gグループ、ローカル5G工事グループに回復指示を行い、回復までの状況管理を行う。
2	実証グループ	<ul style="list-style-type: none"> ・実証実験のシナリオに沿って実機操作を行い、操作性や機能性について検証する。

		・なお、実際に操作検証を行うメンバは、農業生産者等である。
3	匠・防犯ソリューショングループ	・匠・防犯ソリューションについて、実証グループに対して操作説明と機器操作等の補助を行う。 ・実証実験中に発生する匠・防犯ソリューションの不具合等に対して、管理グループ、ローカル5Gグループと連携して回復処置を行う。
4	ローカル5Gグループ	・ローカル5Gの性能評価を行う。 ・実証実験中に発生するローカル5Gの不具合等に対して、管理グループ、匠・防犯ソリューショングループ、ローカル5G工事グループと連携して回復処置を行う。
5	ローカル5G工事グループ	・実証実験期間中にローカル5G関連機器の不具合等が発生した場合に、管理グループ、ローカル5Gグループと連携して回復及び修繕対応を行う。

また、実証実験中にインシデントや重大事案が発生した場合に備えて、連絡ルートやルールを定めた。

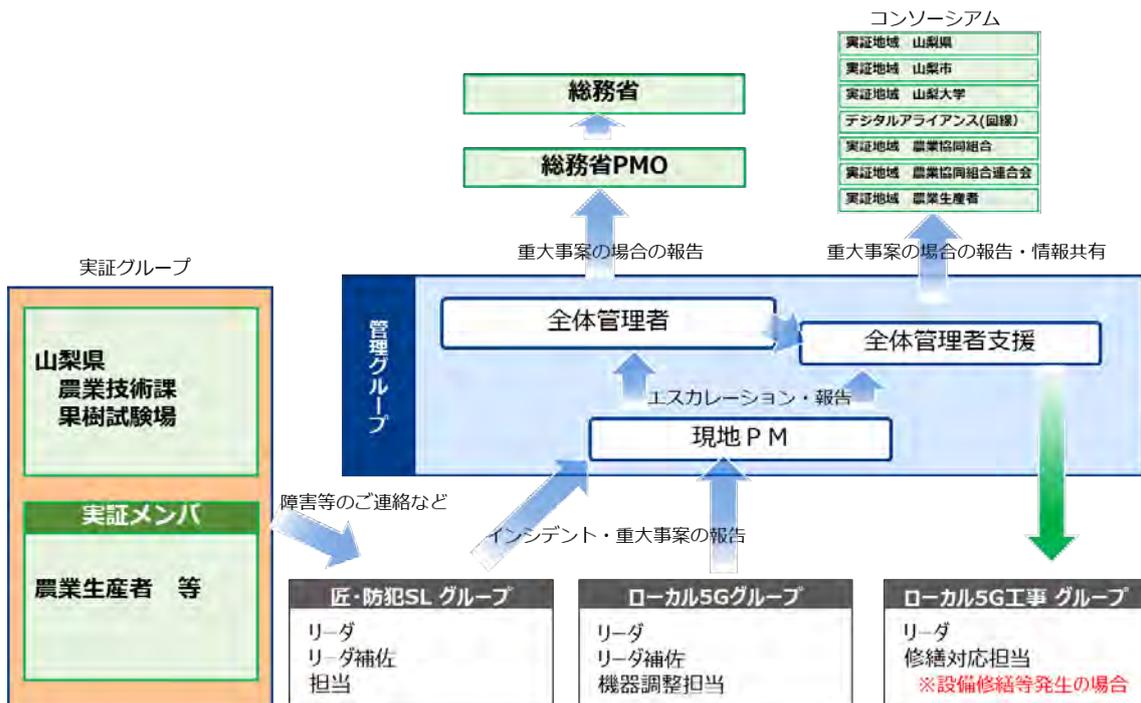


図 3-10 重大インシデント等発生時の連絡ルート

3.3.2 実証実験の作業内容

実証実験は、2021年1月中旬から3月初旬にかけて実施した。日程については、「1.4 実証のスケジュール」を参照のこと。

以下に、実証実験時の各フェーズにおける各グループの「作業内容・時期・場所・担当」

を示す。

表 3.3.2-1 実証実験における匠・防犯ソリューショングループの作業内容

項番	フェーズ	作業内容	実施日	実施場所
1	実証準備	実証実験計画策定	12/19～1/18	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場
		サーバ等の環境設定	12/19～1/18	
		動作確認	12/19～1/18	
2	実証内容説明	日程・役割説明（座学）	1/19～1/20	果樹試験場
		操作研修（実機）	1/19～1/20	
3	実証操作	システム運用	1/20～2/18	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場
4	立ち合い	ヘルプデスク対応	1/20～2/18	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場
5	ハード保守・システム保守	システム運用 故障時の解析、修理	1/20～2/18	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場
6	データセンタ管理	システム運用	1/20～2/18	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場
7	実証環境設備管理	実証実験期間における 設備管理	実証実験期間	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場 データセンタ

表 3.3.2-2 実証実験におけるローカル5Gグループの作業内容

項番	フェーズ	作業内容	実施日	実施場所
1	実証準備	装置構成品確認	8月～12月	NEC拠点
		セットアップ	8月～12月	
		事前評価	8月～12月	
2	電波伝搬試験	電波測定	1月～2月	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場
3	現地調整（電力／高さ／角度など各種調整）	電波調整	1月～2月	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場
4	立ち合い	ヘルプデスク対応	1月～2月	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場
5	ハード保守・システム保守	故障時の解析、修理	1月～2月	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場 NEC拠点
7	実証環境設備管理	実証実験期間における 設備管理	実証実験期間	果樹試験場（雨よけ、農業用ハウス） 圃場 NEC拠点

3.3.3 ヘルプデスクについて

実証実験は、果樹試験場や圃場での作業となり、現地に匠・防犯ソリューショングループ

プの担当者が立ち会うため、実証を行う農業生産者等に対するヘルプデスクは設置しないこととした。

ローカル5Gについても、農業生産者等からの問い合わせは発生しないと想定されることから、同様にヘルプデスクは設置しないこととした。ただし、場合によっては報告や作業調整の必要がある場合には、匠・防犯ソリューショングループの担当者や管理グループの立ち合い者を介して農業生産者等への対応を行うこととした。

また、実証実験時に発生した問い合わせ内容等については、実証作業や成果に影響がある指摘や意見交換が発生した場合には、後日取りまとめたうえで定例会等での共有、成果物への反映を行うこととした。

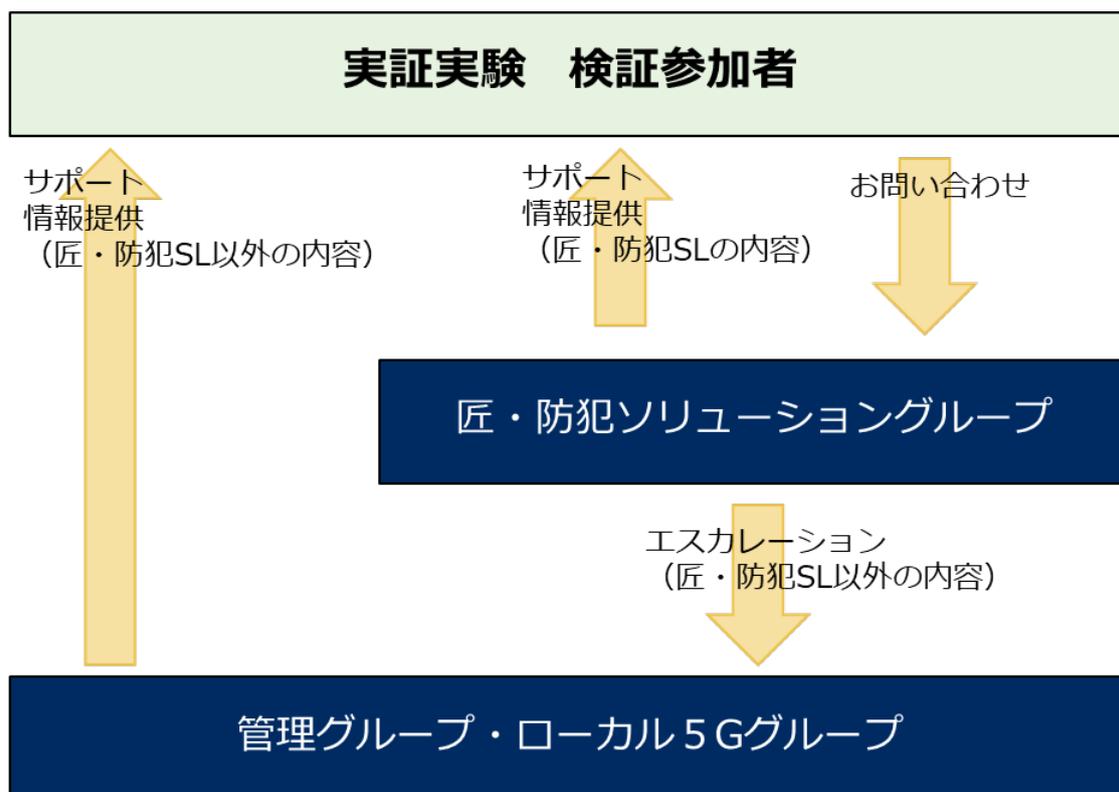


図 3-11 実証実験における問い合わせ対応関連図

3.3.4 実証実験時の主な問合せ内容

実証実験における匠・防犯ソリューショングループとローカル5Gグループ間における問合せ内容は下記のような様式に記載し、情報を管理することとした。

実証実験期間における問い合わせ内容は、電波が不安定ないし発射されていないものであったが、その全てに対して対応は完了している。

表 3.3.4-1 問い合わせ一覧表

No.	発生日	問合せ内容	問合せ者	対応内容	対応者	ステータス
1	2021/1/20	(ローカル5G接続試験) 雨よけのローカル5G電波が不安定 (5G→4Gに切り替わりスマートグラスが切断される。)	検証者 (生産者、YSK)	現地対応 CPEの再起動等	ローカル5Gグループ	完了
2	2021/1/21 AM	(収穫①) ハウスのローカル5G電波が不安定 (5G→4Gに切り替わりスマートグラスが切断される。)	検証者 (生産者、YSK)	現地対応 CPEの再起動等	ローカル5Gグループ	完了
3	2021/1/21 PM	(収穫①) 雨よけのローカル5G電波が不安定 (5G→4Gに切り替わりスマートグラスが切断される。)	検証者 (生産者、YSK)	現地対応 CPEの再起動等	ローカル5Gグループ	完了
4	2021/1/22	(防犯 接続確認) 雨よけのローカル5G電波が不安定	検証者 (生産者、YSK)	現地対応 CPEの再起動等	ローカル5Gグループ	完了
5	2021/1/25 AM	(収穫②) ハウスのローカル5G電波が不安定 (5G→4Gに切り替わりスマートグラスが切断される。)	検証者 (生産者、YSK)	現地対応 CPEの再起動等	ローカル5Gグループ	完了
6	2021/1/28	(房づくり①) ハウスのローカル5G電波が発射せず。	検証者 (生産者、YSK)	現地対応 調査(終日発射せず。 低温度が原因と思われる)	ローカル5Gグループ	完了

3.4 関連事業

本実証実験と関連する事業について記載する。

3.4.1 関連事業一覧

本実証実験と関連する事業を下表に示す。

表 3.4.1-1 関連するスマート農業実証プロジェクト（ローカル5G）

項番	課題	実証課題名
1	定住促進	ローカル5G開発実証（新潟県新潟市）
2	定住促進	平成30年度5G総合実証（徳島県神山町）
3	監視・防犯	ローカル5G開発実証（山梨県山梨市）
4	監視・防犯	平成30年度5G総合実証（福島県会津若松市）
5	移動手段確保	ローカル5G開発実証（群馬県前橋市）
6	健康管理	ローカル5G開発実証（北海道岩見沢市）
7	遠隔コミュニケーション	ローカル5G開発実証（愛知県新城市）
8	遠隔コミュニケーション	令和元年度5G総合実証（岐阜県中津川市）

4. 課題解決システムの実証

本章では、実証実験の詳細な内容について記載する。

4.1 前提条件

実証を行う前段階として、山梨県農業技術課、山梨市等関係者へのヒアリングを実施し、本実証地域における課題の整理を実施している。

- 山梨の特産・高級品種であるシャインマスカットの栽培には熟練農業者の技術・経験が必要となり新規就農者の参入が難しい点
- 果樹作は年1作のため技術習得の機会が少ない、農繁期の限られた期間に作業が集中するため一人一人に十分な指導が行き届かない等の制約があり、スムーズな技術継承が出来ない
- 出荷目の果樹が盗難される事例が頻発しており、特に高級品種のブドウについて盗難被害が農業経営に大きな影響を与えている
- 果樹の盗難防止対策への作業負担が大きい

課題解決システムについて実証実験を通して評価・分析し、導入効果及び実装に向けた機能面、運用面の検証を実施する。課題解決システムの全体イメージを示す。

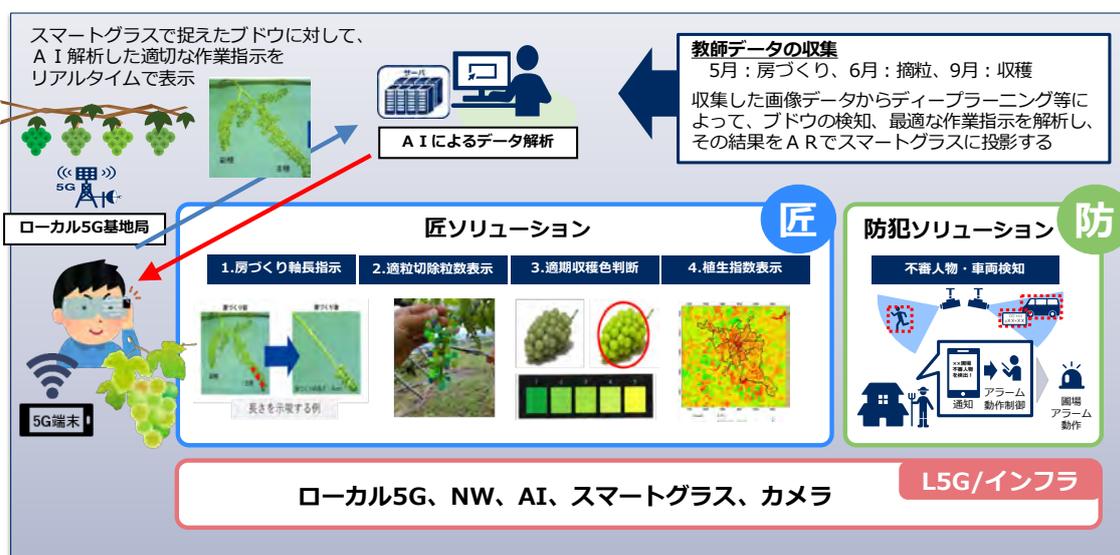


図 4-1 課題解決システムの全体イメージ

4.2 課題解決システムの要件

4.2.1 匠ソリューション

新規就農者や雇用労働者に匠の技を伝承し、農作業の効率化、ブドウ生産の品質向上を実現するために匠ソリューションを実証する。各ユースケースに以下の要件を設定した。

(1) 房づくり軸長指示

ブドウの花房を成長に合わせて余分な花穂を切り詰める「摘房」の作業について、花房の整形には熟練者の判断が必要で新規就農者には難しい作業となる。今回スマートグラスで撮影した房の画像をAIで認識し、房を切り詰める長さをスマートグラス上にガイド表示する機能を実装した。

(2) 適粒切除粒数表示

ブドウ房の成長に合わせ、粒間の間隔を空け成長を促すために余分な粒を切り落とす「摘粒」の作業を行う。ブドウ一房で35粒～40粒程度に切り落とすために、ブドウの粒数をカウントする機能をAIにより実現した。スマートグラスで撮影した房の画像をAIで認識し、カウントした粒数をスマートグラス上にガイド表示した。

(3) 適期収穫色判断

ブドウの収穫においては「適正な果皮色」での収穫が求められる。山梨県では果皮のカラーチャートを用いて収穫の色判断の参考としているが、本実証ではスマートグラスで撮影したブドウ房の画像からカラーチャートの5段階の色判定を判別する機能を実装した。実際の収穫では作業環境（明るさ等）により色が変化するため、色を補正して正しく判定するための補正技術をAIで実装した。

(4) 植生指数表示

ブドウの生育期における葉の生育状況を上空から撮影した植生指数（NDVI）画像で確認し、生育の悪い箇所を検知することでブドウの適正な生育をコントロールするための機能を実装した。事前にドローンで撮影し、位置情報付きのNDVI画像を生成、スマートグラス上に画像を投影することで目的の場所（生育の悪い部分）に誘導する。誘導のために、正しい現在地の検出・画面表示を行った。

実用化に向けてはブドウの育成プロセスに合わせて、課題解決システムの活用を想定しているが、本実証実験においては、課題解決システムの新規構築やローカル5Gの環境整備に時間を要するため、実証実験期間を2021年1月～2月とした。

実際の育成環境では、この期間内に各プロセスにおける評価ができないため、あらかじめ該当するプロセスにて収穫し冷蔵保存したブドウや画像データ、ハウス栽培のブドウを使用する等の工夫を施し、検証を行った。

- 房づくり軸長表示…実証場所：果樹試験場（ハウス）
- 摘粒切除粒数表示…実証場所：果樹試験場（ハウス）
- 適期収穫色判断 …実証場所：果樹試験場（ハウス及び雨よけ）
- 植生指数表示 …実証場所：圃場

4.2.2 防犯ソリューション

収穫期のブドウの盗難は農家の経営にとって大きな問題であり、盗難防止対策としての見回り等の作業負担を軽減するために防犯ソリューションを実証した。防犯カメラの機能を拡張し、生産者の不在時に不審な人物や車両を検知、生産者に通報する機能と必要に応じて圃場内に設置したアラームを発報する機能を実装した。

実証においては実証の参加者が不審者及び不審車両になりすまし機能の検証を行うため、果樹試験場の敷地内の圃場（雨よけ）及び隣接道路（私道）を利用した実証を行った。

- 不審車両検知…実証場所：果樹試験場（雨よけ）
- 不審人物検知…実証場所：果樹試験場（雨よけ）

4.2.3 これまでの実施状況

- 2020年2月～6月 山梨県農業技術課、山梨市を交え農業生産に関する課題の整理を実施した。
- 2020年7月28日 「やまなし果樹地域推進協議会」を発足。今年度において協議会メンバー（生産者も含む）で深掘りを実施した。

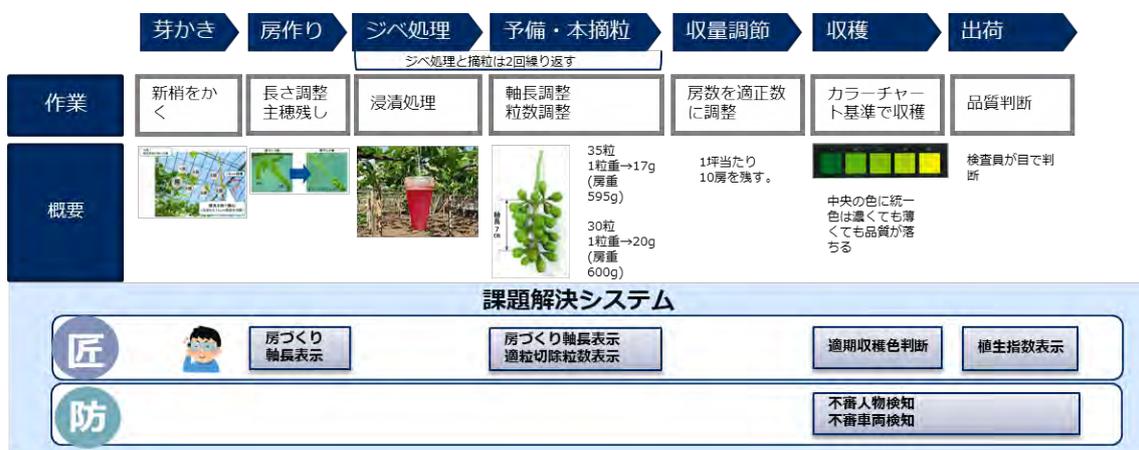


図 4-2 実用化におけるシャインマスカット育成プロセスとシステム関連図

4.3 農林水産省スマート農業実証プロジェクト(ローカル5G)との連携

本事業は、農林水産省スマート農業実証プロジェクト(ローカル5G)との連携事業として実施しており、4.1.1、4.1.2に記載の課題の解決に向け、「農業領域(匠ソリューション)」において双方の事業で課題解決システムの実証を行った。その内容については4.5.1、4.6.1、4.7.1及び4.8.1項に示す。

4.3.1 検証内容詳細

本事業における検証項目とそれに対応する費目分担を、総務省事業と農林水産省事業に仕分した結果を示す。

表 4.3.1-1 総務省事業と農林水産省事業における検証項目・費目概要整理表

実施事業	検証項目（概要）	予算支出項目（概要）
総務省	<p>4.5.1 検証及び評価・分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スマートグラスで捉えたブドウに対して、AI解析した適切な作業指示をリアルタイムで表示することにより、「匠の技」を必要とするブドウ栽培に係る作業の効率化と品質向上について検証する。 ・重要な生育期である、「房づくり」「摘粒」「収穫」時期においてスマートグラスを使い作業中の生産者を支援する。スマートグラスへの情報は、深層学習の分析結果を表示する。 ・植生指数表示については、ドローン撮影した農場上空データを活用して植生異常を検知する。 <p>4.6.1 効果検証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・課題解決に資する導入効果（スマートグラスを活用した農作業支援モデル導入前後の作業結果・品質の差異、作業時間の削減など）を計測するために、房づくり・摘粒等作業において、新規就農者や雇用労働者の作業時間を匠の作業時間と同等にできるか検証する。 ・スマートグラスのユーザインタフェース（UI）や表示情報の違いによる作業効率や品質等への影響を計測するために、UIを数パターン作り、作業時に視界のじゃまにならないUIを比較検討する。 ・業務面・生活面における変化（労働時間の削減、ブランド・品質向上、生産性向上等）を計測するために、房づくり・摘粒等作業において、新規就農者や雇用労働者の作業時間を匠の作業時間と同等にできるか検証する。 <p>4.7.1 機能検証</p> <p>課題解決システムの実装に必要な機能について、実証の結果をもとに、大学及び農業関連の有識者等の意見を踏まえ課題と解決策を検討する。</p> <p>4.8.1 運用検証</p> <p>多くの地域で活用可能なシステムとするために、気象条件や時間帯、圃場の広さ、利用者特性といった観点を考慮した運用課題を設定し検証する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気象条件、時間帯による運用課題（周囲の明るさや日差しなどの条件による違いを確認） ・圃場の広さ、地形による運用課題（圃場で実用した際の充電やバッテリー交換の頻度を確認） ・生産者の経験年数、年齢、性別などの利用者特性による運用課題（利用者の目の状態、男性や女性、子供など身長による違いを確認） 	<p>ネットワーク機器購入費用全般 免許申請関連（干渉調整等）費用全般</p> <p>ネットワーク設計・環境構築関連費用全般</p> <p>現地機器設置に係る工事等作業費</p> <p>匠ソリューションローカル5G連携構築</p> <p>AIサーバ購入</p> <p>サーバ購入</p> <p>スマートグラス購入</p> <p>一眼レフカメラ（適期収穫 色判定用）購入</p>

<p>農水省</p>	<p>1. 匠の技見える化実証(房づくり、摘粒、収穫)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スマートグラスを介した AI による適切な作業指示プログラムの開発、及び作業者の作業速度に対して遅延を生じない指示時間を実現するローカル 5 G による通信性能を実証 ・作業指示をスマートグラスへ表示するまでの時間：2 秒 ・房づくり・摘粒・収穫 <p>①作業時間：55～40%削減</p> <p>②房づくり、摘粒の適正化による品質の均一化</p> <p>③適期収穫指示</p> <p>④AI の検出精度（軸長、粒数、色判定：95%以上）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・経営改善効果 <p>新規就農者等：作業時間を匠と同等にするとともに、秀品率を地域平均(30%)にする</p> <p>匠：雇用労力の活用により、栽培面積を1.5倍にし、粗収入を1.5倍とする</p> <p>2. 生育画像収集</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドローンにより上空から生育画像を撮影し、その画像から NDVI（正規化植生指数）画像を生成して位置情報と共にスマートグラスにローカル 5 G を活用して表示することで、作業場所に誘導する。これにより生育不良等に適切に対応し、健全な生育を促す。 ・経営改善効果 <p>ロス果の発生率10%を5%に改善する。（環境計測と合わせた効果）</p> <p>3. 環境計測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・温度、湿度、地温などの環境データを IoT センサーで計測する。 ・計測項目ごとに閾値を設定し、アラートにより、圃場の異常を素早く検知することにより、健全な生育を促す。 ・経営改善効果 <p>ロス果の発生率10%を5%に改善する。（生育画像収集と合わせた効果）</p> <p>4. 作業記録・生育記録</p> <ul style="list-style-type: none"> ・営農管理システム（Z-GIS）を活用し、作業記録・生育記録を行い、環境データ、経営データ等を蓄積して活用方法を検討する。 ・経営改善効果 <p>データの記入、集計時間の短縮及び次年度経営計画作成時間の削減20%</p> <p>5. 除草</p> <ul style="list-style-type: none"> ・無人草刈りの走行性能（平坦地、傾斜地）、除草性能（草丈）、除草時間の実証。 <p>①除草時間 75%削減</p> <p>6. 防除</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動散布機の走行性能（平坦地、傾斜地）、散布時間等を実証。 <p>①防除時間 80%削減</p>	<p>1. 匠の技見える化実証(房づくり、摘粒、収穫)</p> <p>タブレットリース</p> <p>Surface リース</p> <p>ストレージ購入</p> <p>匠ソリューション構築</p> <p>2. 生育画像収集</p> <p>ドローン購入</p> <p>3. 環境計測</p> <p>気象センサー購入</p> <p>畑センサー購入</p> <p>4. 作業記録・生育記録</p> <p>営農管理システム購入</p> <p>5. 除草</p> <p>無人草刈機購入</p> <p>6. 防除</p> <p>無人 SS レンタル</p>
------------	--	---

4.4 実証目標

山梨県の特産であるシャインマスカットを対象にスマート農業を推進するため、ローカル5Gを活用して、スマートグラスを活用した匠の技の伝承技術を開発する。

高品質ブドウを生産するために重要な栽培管理である「房づくり」「摘粒」「収穫」の各工程において、スマートグラスで作業者が視野にとらえた果(花)房の画像をサーバに転送し、AIで解析した適切な作業指示をスマートグラスの視野内にリアルタイムに投影することで、新規就農者や雇用労働者に匠の技を伝承し、ブドウの生産をサポートするソリューションの開発と実証を行うことで、「農作業の効率化」「ブドウ生産の品質向上」を図る。

また、ブドウ農家の生活面での課題としてブドウの盗難被害を低減するためローカル5G基盤上に防犯カメラの機能を拡張した不審人物及び不審車両の検知システムを構築することで、盗難防止による収益性の拡大、定住の促進を図る。

4.4.1 ユースケース毎の目標

各実証項目については、以下の内容を目標とした。

以下、表 4.4.1-1 に示す目標に対しての検証及び評価方法について記載する。

表 4.4.1-1 実証目標 (再掲)

項目	ユースケース	目標
農業領域 (匠ソリューション)	房づくり 軸長指示	<ul style="list-style-type: none"> ・自然な作業環境下における花穂検出の実現 ・スマートグラスを利用した花穂検出による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・花穂の検出精度の向上
	適粒切除 粒数表示	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートグラスを利用した摘粒作業支援による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・粒数の検出精度の向上
	適期収穫 色判断	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートグラスを利用した収穫作業支援による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・適期収穫色の判断精度の向上
	植生指数 表示	<ul style="list-style-type: none"> ・ブドウの繁茂状態監視による植生異常検出の実現 ・スマートグラスを利用した異常検知通知による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・植生の検知精度の向上
生活領域 (防犯ソリューション)	不審人物 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ監視による不審人物検知及び通報の仕組みの実現 ・検知システムを利用した盗難被害の低減 ・不審人物の検知精度及び通報速度の向上
	不審車両 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ監視による不審車両検知及び通報の仕組みの実現 ・検知システムを利用した盗難被害の低減 ・不審車両の検知精度及び通報速度の向上

4.5 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

4.5.1 農業領域（匠ソリューション）

4.5.1.1 実施概要

匠ソリューションは、「房づくり軸長指示」「適粒切除粒数表示」「適期収穫色判断」「植生指数表示」の4種のユースケースからなる。

スマートグラスで捉えたブドウの動画像に対して、AI解析した適切な作業指示をローカル5Gの通信速度を活用してリアルタイムで表示することによる、「匠の技」を必要とするブドウ栽培に係る作業の効率化と品質向上について検証した。

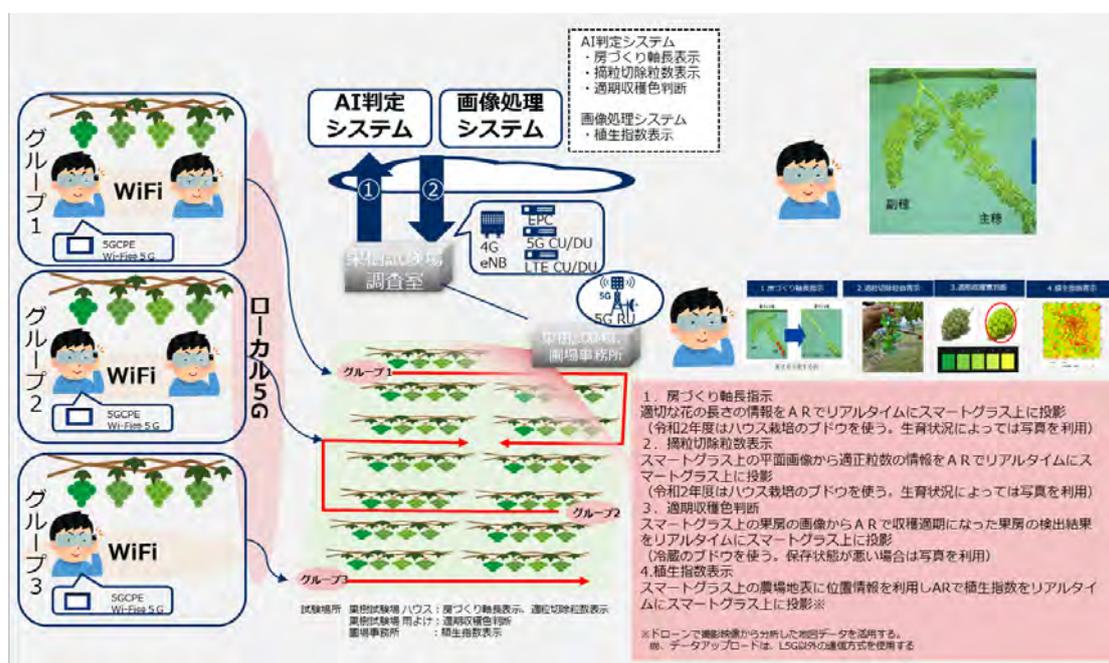


図 4-3 匠ソリューションの概要

4.5.1.2 房づくり軸長指示

重要な生育期である「房づくり」時期においてスマートグラスを使い作業中の生産者を支援する。スマートグラスへの情報は、深層学習の分析結果を表示する。

以下に、「房づくり軸長指示」の実証実験での準備段階と実証の方法を示す。

(1) 目標設定

自然な作業環境下で花穂を検出するのは画像処理分野においても挑戦的な課題であり、最新の深層学習モデルに独自の改良を加え、テストとモデル改善を繰り返し、検出間隔2秒、検出精度95%以上を目標とした。

(2) 準備段階

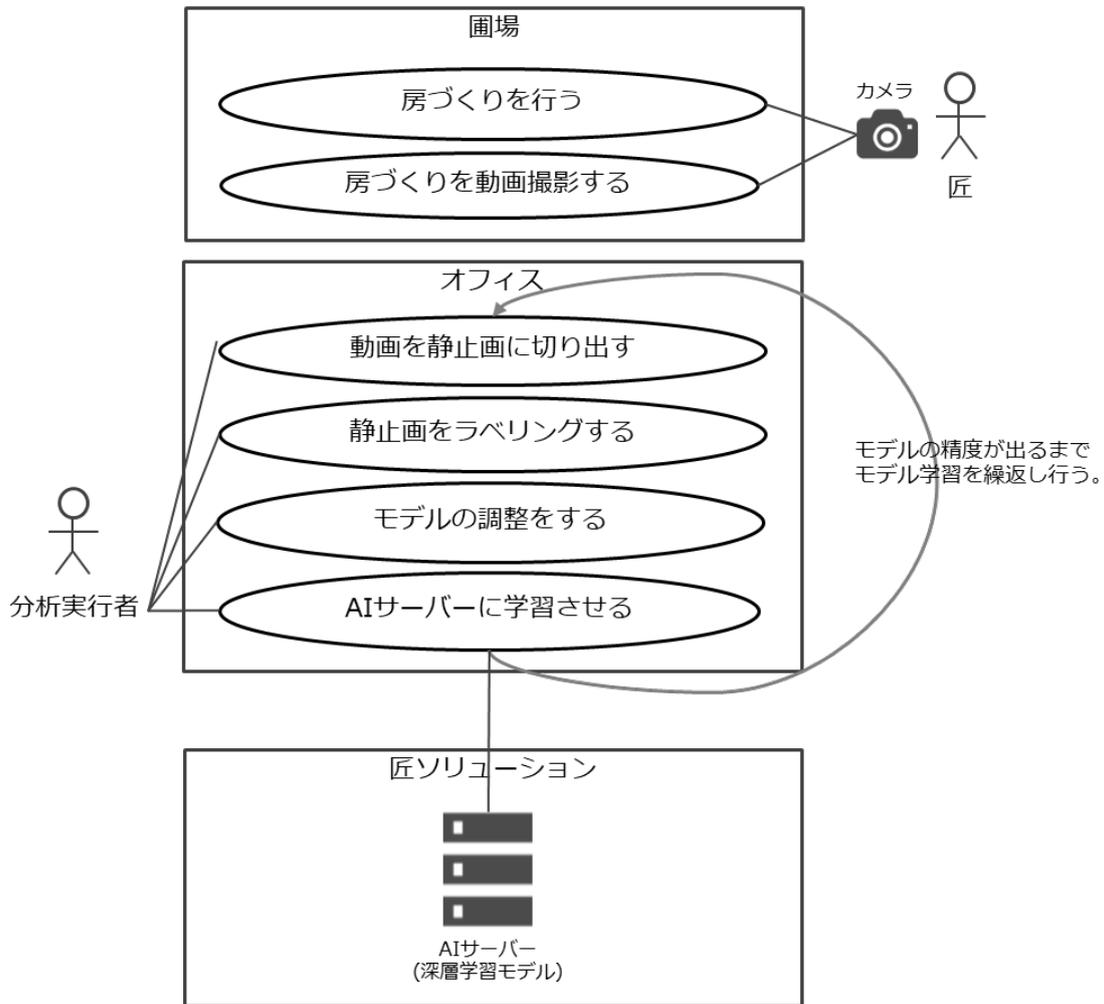


図 4-4 「房づくり軸長指示」の事前準備

1) データの収集

- ① 匠にはさみで通常通り房づくりの作業をしてもらいながら、カメラで映像を記録。
- ② 天候、時間、ロケーションを変えながらデータを収集。

2) 蓄積

- ① 花穂の検出
 - ・花穂を認識する深層学習モデルの開発
 - ・録画映像からフレームを抽出し、人手で花穂のマスクを作成し学習データを準備
- ② 軸の検出
 - ・軸を認識する深層学習モデルの開発
 - ・録画映像からフレームを抽出し、人手で軸のマスクを作成し学習データを準備

3) ラベリング処理方法（花穂の検出、軸の検出）

- ・録画した花穂と軸のフレーム画像を 500 房程度用意し、花穂、軸の箇所をバウンディングボックスで印付け

4) 軸の長さの計測と表示画像生成

- ・花穂と軸の検出結果から花穂の先の位置を検出するアルゴリズムの開発
- ・はさみの長さ（または指）をキャリブレーションに用い、穂先からの軸の規定の長さ(4cm)を算出するアルゴリズムの開発

(3) 検証方法（1月下旬にハウスで実施）

実証環境における検出精度を測定することで、想定する目標数値の達成について検証する。（ハウス栽培のブドウを使う。生育状況によっては写真を利用）

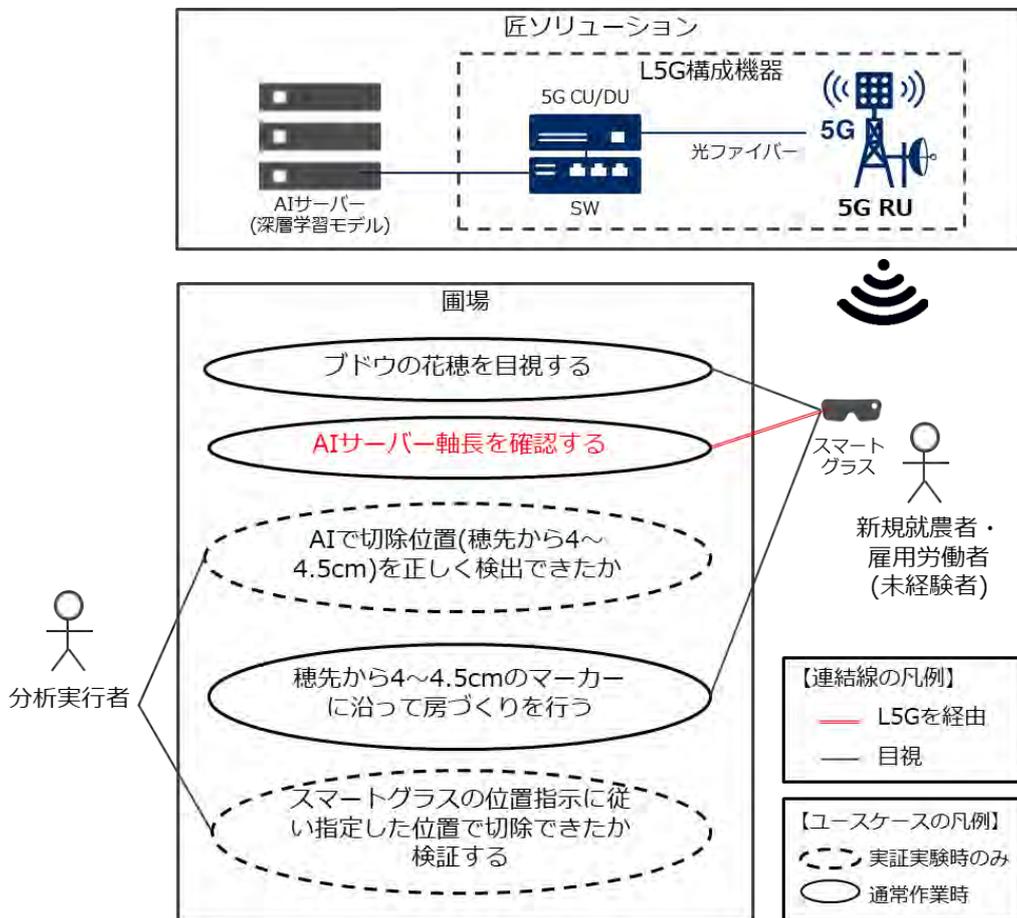


図 4-5 「房づくり軸長指示」の実証

- ① ブドウの花穂を目視する。
- ② 匠ソリューションが花穂を検出してスマートグラスに房の長さを返す。
- ③ 分析実行者がスマートグラスに表示された房の長さとブドウを実測した長さを検証する。

- ④ 新規就農者がスマートグラスに表示された房の長さに沿って房づくりを行う。
- ⑤ 分析実行者が房作りされたブドウを実測して検証する。

それぞれの目標に対する測定は以下のように実施する。

- ① ブドウの房を正しく検知（ARで切除位置が表示される）するかを確認する。
＜房検知の目標値＞
ブドウの房を検知してから切除位置が表示される間隔「2秒」
検出精度「95%以上」
- ② 切除位置が正しいか（4cm）を確認する。
- ③ 同時に5台のスマートグラスを起動してシステムが動作するか確認する。

4.5.1.3 適粒切除粒数表示

重要な生育期である「摘粒」「収穫」時期においてスマートグラスを使い作業中の生産者を支援する。スマートグラスへの情報は、深層学習の分析結果を表示する。

以下に、「摘粒切除粒数表示」の実証実験での準備段階と実証の方法を示す。

(1) 目標設定

現在のモデル精度は86%程度である。より多くの作業環境下でテストし、検出間隔2秒、検出精度95%を目標とした。

(2) 準備段階

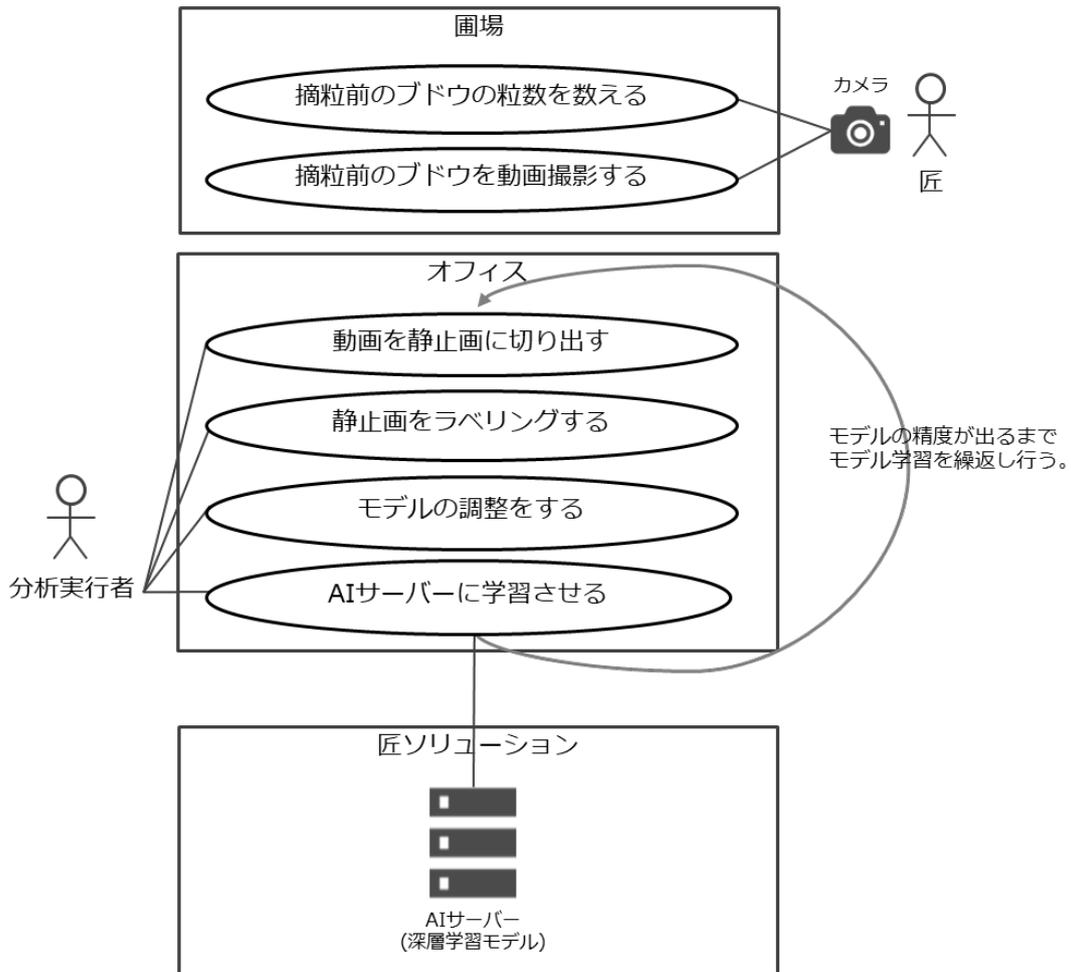


図 4-6 「適粒切除粒数表示」の事前準備

1) データの収集

- ① 匠に摘粒期のブドウの粒数を数えてもらいながら、カメラで動画を記録。
- ② 天候、時間、ロケーションを変えながらデータを収集。

2) 蓄積

- ① 作業中の房とそれに含まれる粒の検出
 - ・作業中の房と含まれる粒を認識する深層学習モデルの開発 (背景のブドウは認識対象外)
 - ・録画した映像からフレームを抽出し、人手で作業中の房とそれに含まれるブドウのマスクを作成し、学習データを準備
- ② 粒数の推定
 - ・録画した映像から一粒ずつ切り落とした後のフレームを抽出
 - ・粒数とその時の房全体の粒数の関係を表す回帰モデルを作成

- ・モデルを使い、粒数の範囲を求めるアルゴリズムを開発する

3) ラベリング処理方法（粒の検出と粒数の推定）

- ・録画映像から房全体のフレーム画像を 500 房程度用意し、ブドウ一粒一粒を印付け
- ・1 房で何粒付いてるかラベリング

(3) 検証方法（2月下旬にハウスで実施）

実証環境における検出精度を測定することで、想定する目標数値の達成について検証する。（ハウス栽培のブドウを使う。生育状況によっては写真を利用）

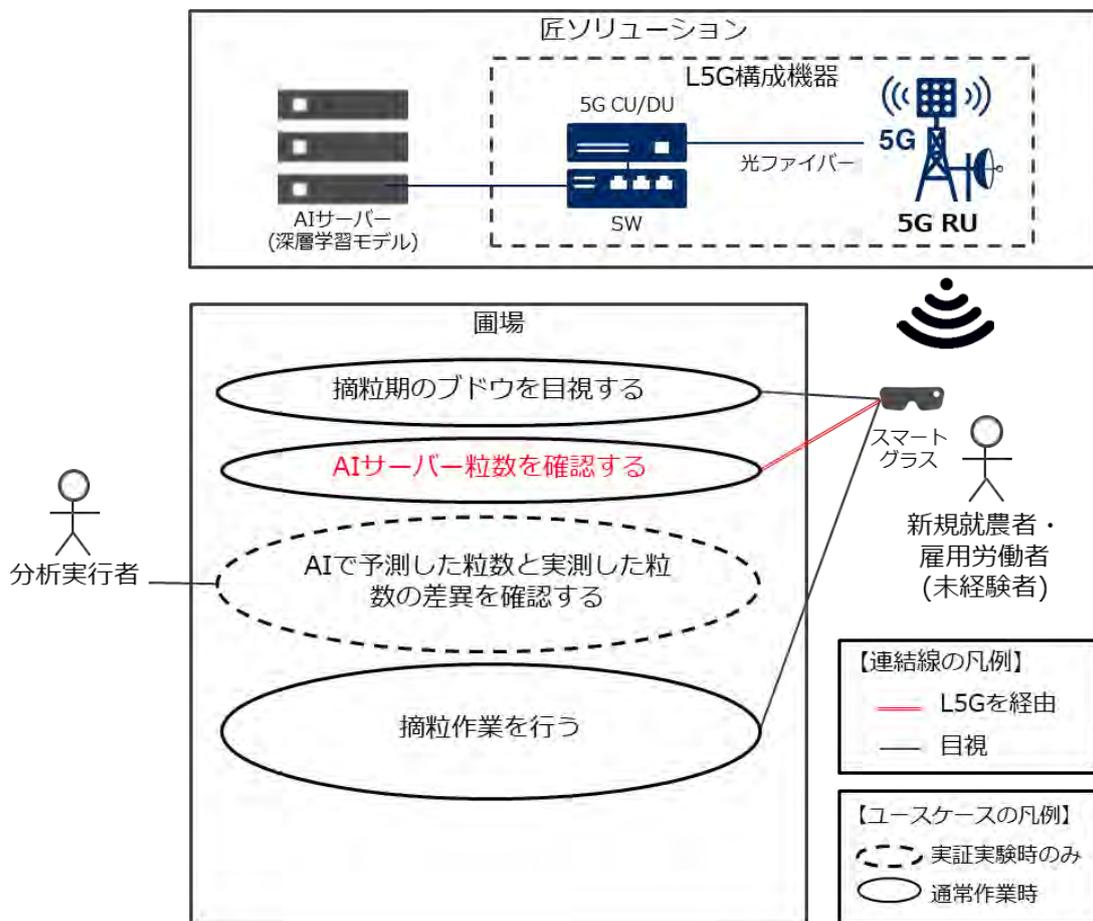


図 4-7 「適粒切除粒数表示」の実証

- ① 摘粒期のブドウを目視する。
- ② 匠ソリューションが粒数をカウントしてスマートグラスに粒数を返す。
- ③ 分析実行者がスマートグラスに表示された粒数とブドウの粒数を実測して検証する。

それぞれの目標に対する測定は以下のように実施する。

- ① ブドウの房を正しく検知（ARで粒数が表示される）するかを確認する。

<房検知の目標値>

ブドウの房を検知してから粒数が表示される間隔「2秒」

検出精度「95%」

- ② 表示粒数と実測した粒数の差異を確認する。
- ③ 同時に5台のスマートグラスを起動してシステムが動作するか確認する。

4.5.1.4 適期収穫色判断

「収穫」時期においてスマートグラスを使い作業中の生産者を支援する。スマートグラスへの情報は、深層学習の分析結果を表示する。

以下に、「適期収穫色判断」の実証実験での準備段階と実証の方法を示す。

(1) 目標設定

ブドウの撮影においては、撮影環境が異なってしまうと同じブドウだとしても撮影・記録される色が変わるため、それをそのまま見本カラーチャートと比較しても適正な判定ができない。どのような環境下でブドウを撮影したとしても、色を補正して、正しくカラーチャートと比較するための色補正技術を深層学習で学習する。

その上で、適期収穫の色判断はカラーチャートを用いて判定する。今回の実証では冷蔵保存したブドウを用いて実証を行い、この判定正解率について85%を目標とした。

(2) 準備段階

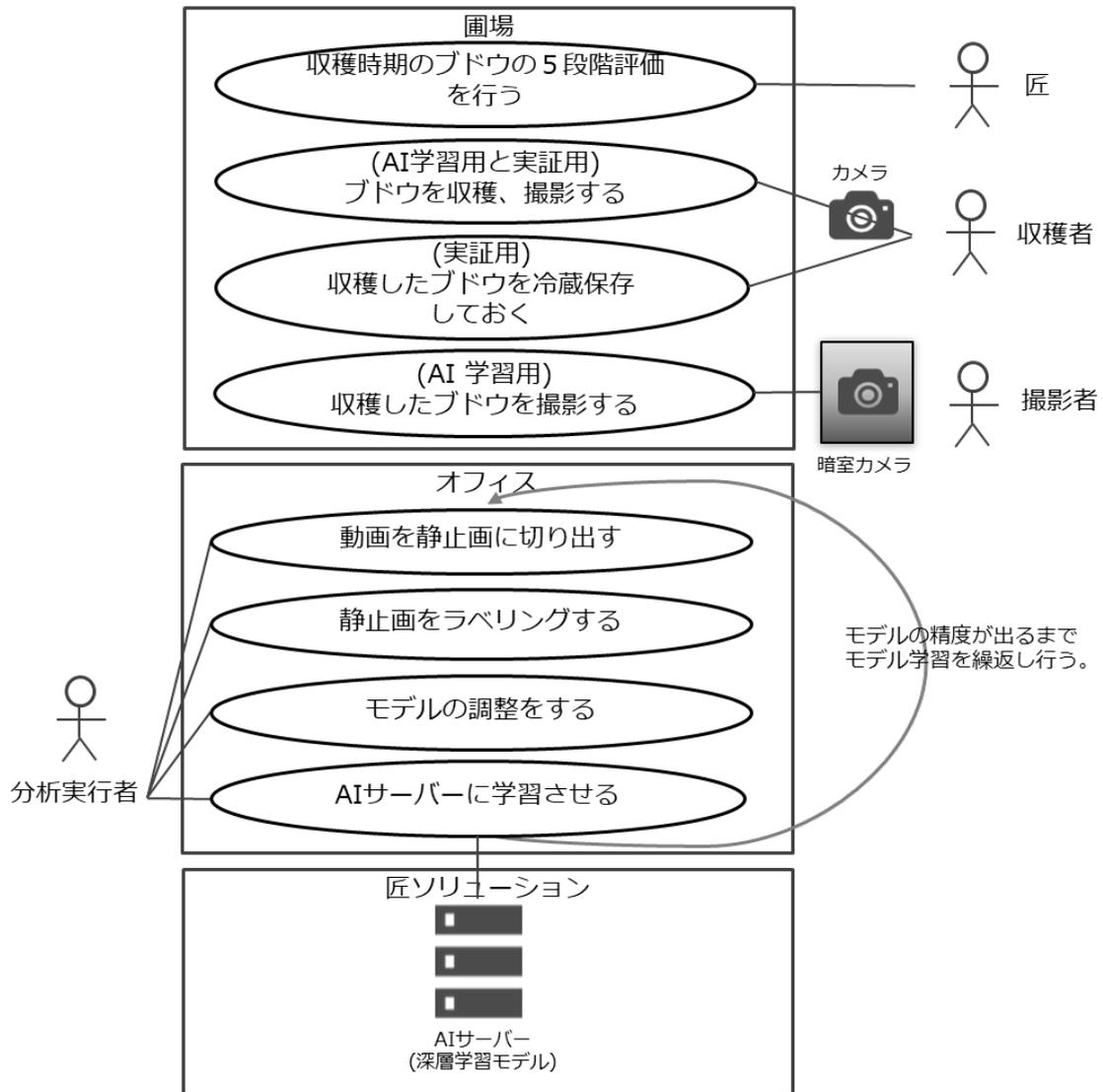


図 4-8 「適期収穫色判断」の事前準備

1) データ収集

- ① QRコード付きのブドウの房をカメラで映像を記録しながら、収穫適齢期判定用カラーコードと比較した情報を記録
- ② 天候、時間を変えながらデータ収集
- ③ 収穫したブドウの房を暗室内に持ち込み、60度ずつ1房6枚写真を撮影する
- ④ QRコードには連番が振られており、圃場にて撮影した写真と暗室内で撮影した写真は1対1で紐づける

2) 蓄積

- ① 色補正

- ・異なる環境下でブドウを撮影しても正しく色の補正を行う深層学習モデルを開発
- ・暗室内で撮影した写真に、人手でブドウにカラーチャートを付与したマスクを作成し、学習データを準備

3) データ収集方法

- ① 9月のハウスブドウの収穫時にブドウにQRコードを付けた紙を巻き付ける
- ② スマートグラスを装着してもらい、動画を撮影しつつ、ブドウの色判定情報を記録
- ③ 収穫したブドウを暗室内に持ち込み、60度ずつ1房6枚の写真を撮影する
- ④ 撮影画像をSurface上にリアルタイムで表示し、色などの教師データを即時入力
- ⑤ 入力したラベリング情報をAI学習モデル投入用のXMLまたはJSON形式に変更

(3) 検証方法（1月にハウスで実施）

9月に露地圃場で収穫したブドウを冷蔵保存する（100房）。そのブドウを低温貯蔵技術（パーソナル冷蔵（氷温貯蔵、凍る直前の状態軸が枯れないように、フレッシュホルダー使用））を用いて冷蔵保存する。そのブドウを使用し、異なる撮影環境で同じ色判定を行う。（ブドウの保存状態が悪い場合は写真を利用）

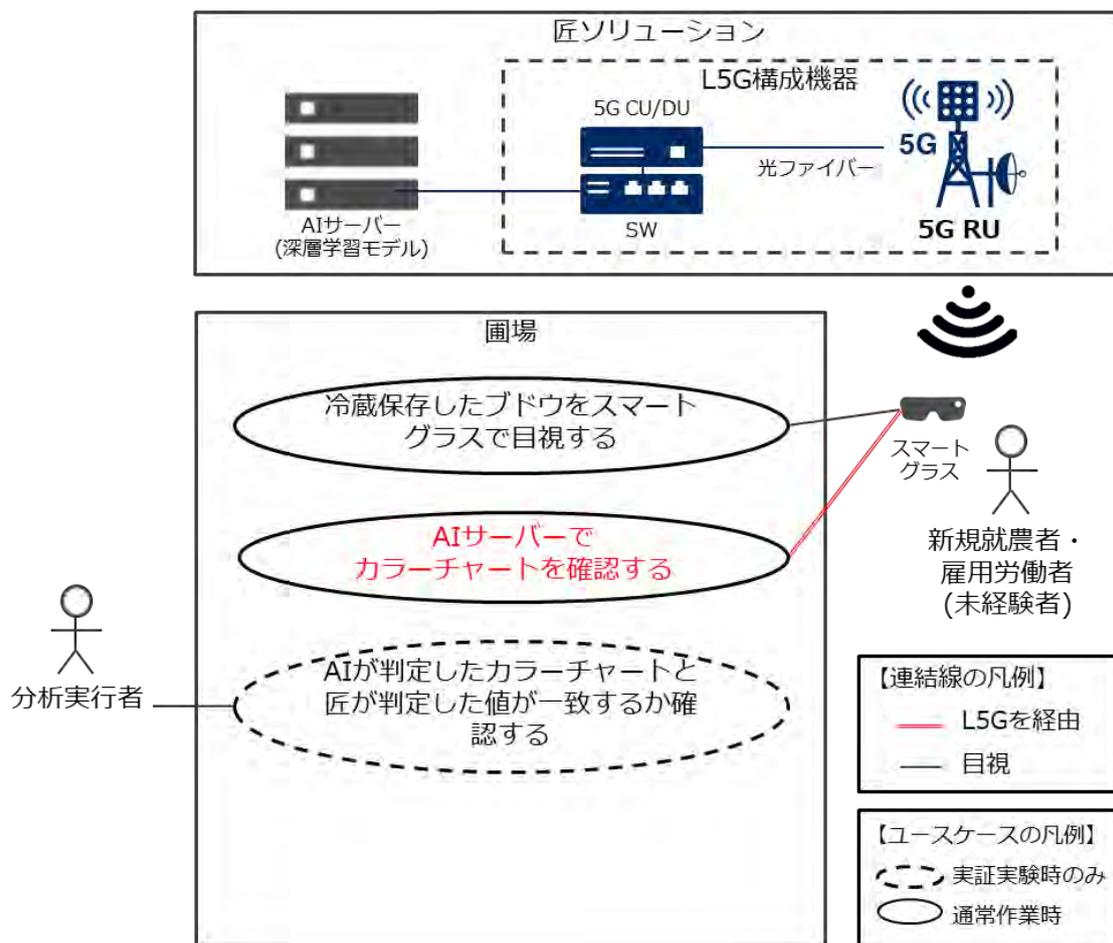


図 4-9 「適期収穫色判断」の実証

- ① 冷蔵保存したブドウをブドウ棚の下でスマートグラスで目視する。
- ② 匠ソリューションがカラーチャートを判定してスマートグラスにカラーチャートを返す。
- ③ 分析実行者がスマートグラスに表示されたカラーチャートと識別番号が記載されたタグを比較して一致しているか検証する。

それぞれの目標に対する測定は以下のように実施する。

- ① ブドウの房を正しく検知 (AR で色判定が行われる) するかを確認する。
- ② 色判定が正しいかカラーチャートで比較する。
 <適期収穫色判断の目標値>
 ブドウの房を検知してから色値が表示される間隔「3秒」
 カラーチャート判定正解率 「85%」
- ③ 同時に5台のスマートグラスを起動してシステムが動作するか確認する。

4.5.1.5 植生指数表示

ドローン撮影した農場上空データを活用し、葉の繁茂の状態を植生指数として表示することで、植生異常を検知する。

以下に、「植生指数表示」の実証実験の手順を示す。

(1) 目標設定

現在地の上空からの様子が理解できる UI を作成する。スマートグラス利用時に作業者の作業の妨げにならない表示方法で情報を活用できることを目標とした。また、2020 年度の実証期間(2021 年 1 月中旬～2 月)においては、実際にブドウが繁茂している状態ではないため、UI の使いやすさに加え、現在地情報を正しく取得できるかを実証評価し、誤差 2m 程度を目標とした。

(2) 準備段階

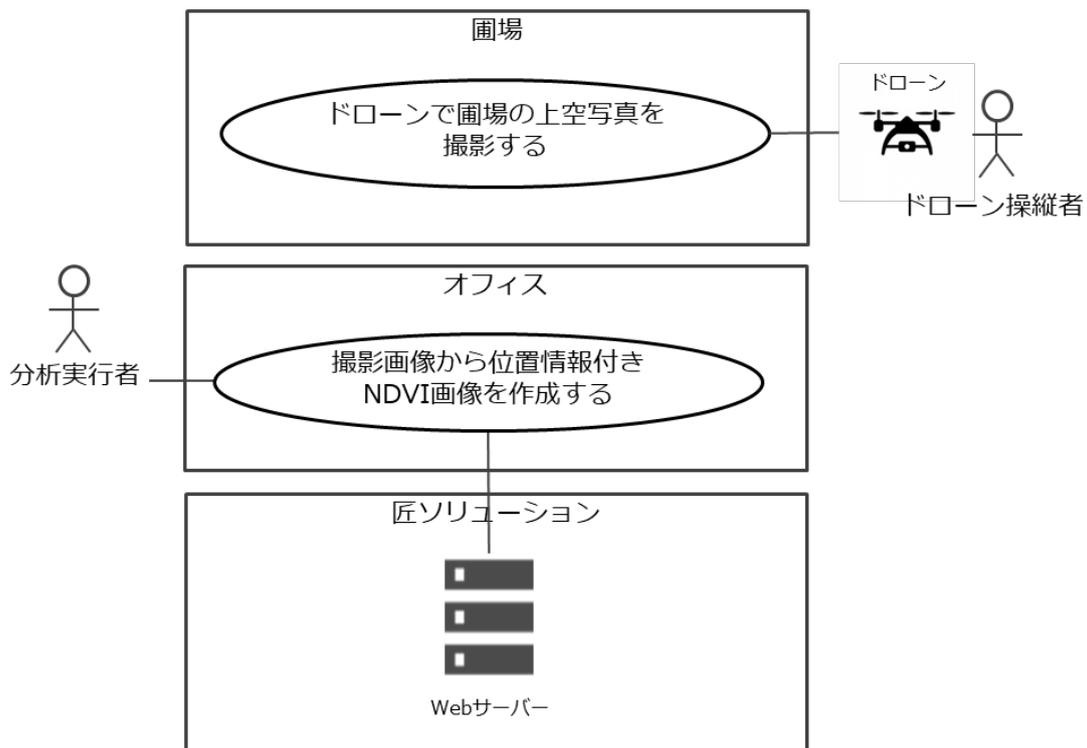


図 4-10 「植生指数表示」の事前準備

1) データ収集

- ① ドローン操縦者はマルチスペクトラムカメラを搭載したドローンを使用して圃場全体の画像を撮影する。
- ② 葉の繁茂状況に応じて複数日に分けて撮影する。

2) 蓄積

- ① 実証時(2021年1～2月)には葉の繁茂が無い状態で行うため、実証は葉の繁茂した状態の NDVI (正規化植生指数) 画像を使用する。
- ② 分析実行者は記録画像から NDVI 処理ソフトウェアを用いて位置情報付き NDVI 画像を生成する。

③ 葉の繁茂した状態の NDVI 画像を実証用画像として選定する。

(3) 検証方法（1月に圃場で実施）

実証実験に参加いただいた生産者へのヒアリング、記録等により、検証する。

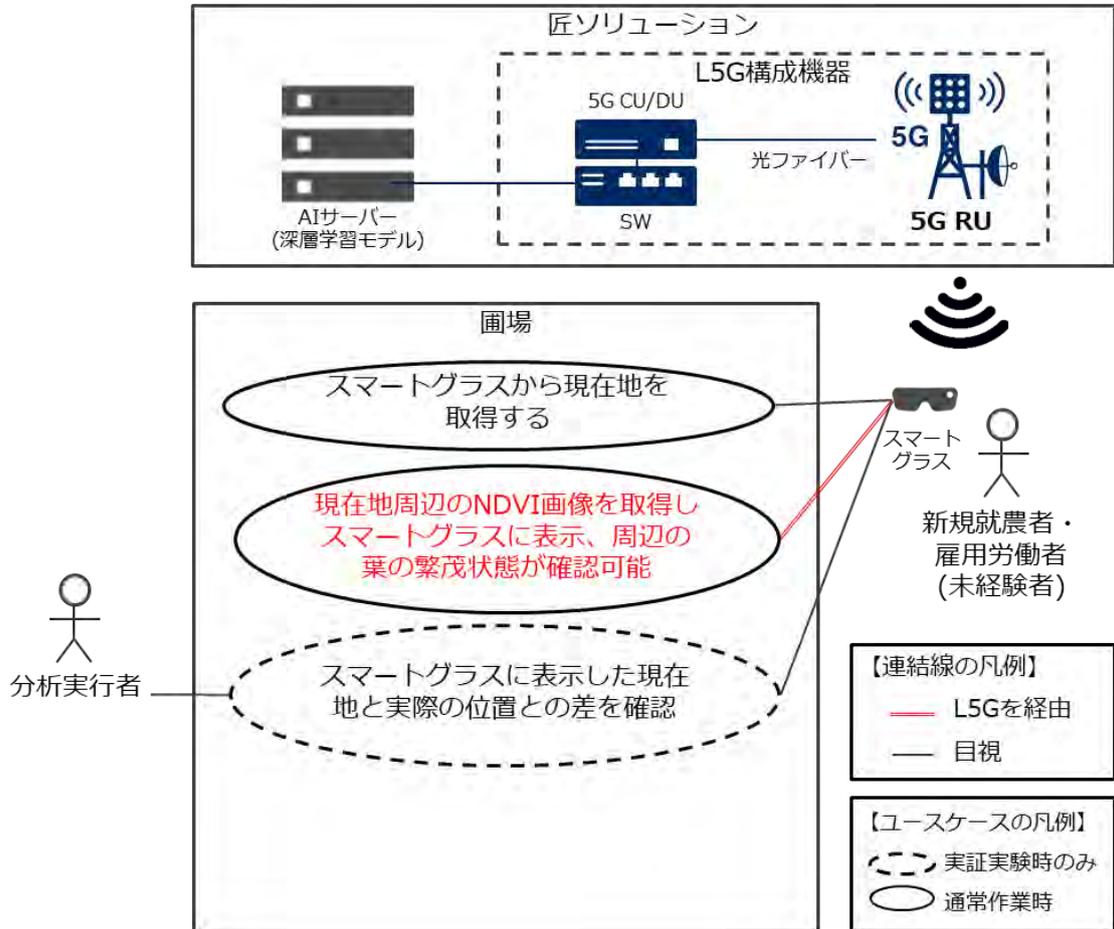


図 4-11 「植生指数表示」の実証

- ① スマートグラスが現在の位置情報を捕捉する。
- ② 匠ソリューションが現在地に応じた NDVI 画像を処理し、スマートグラスに結果画像を返す。
- ③ 分析実行者がスマートグラスに表示された現在地情報と実際の位置の差を検証する。

それぞれの目標に対する測定は以下のように実施する。

- ① スマートグラスにサーバに保存した圃場の植生画像が表示されることを確認する。
- ② 植生画像に示される現在位置表示の精度を確認する。

<植生指数表示精度の目標値> 現在地情報の取得における誤差 「誤差 2m 程度」

4.5.2 生活領域（防犯ソリューション）

4.5.2.1 実施概要

近年、山梨県をはじめ高級ブドウを栽培する地域において、毎年多くの盗難が発生している。生産者にとって大きな課題の一つであり、警察によるパトロールや盗難対策を強化しているが被害が後を絶たない状況である。

農作物の盗難対策として防犯カメラが有効であることから、4Kカメラを活用した「不審人物検知」「不審車両検知」の2種のユースケースを考案し、ローカル5Gを利用したシステムの導入によるブドウ栽培に係る盗難被害減少について検証した。

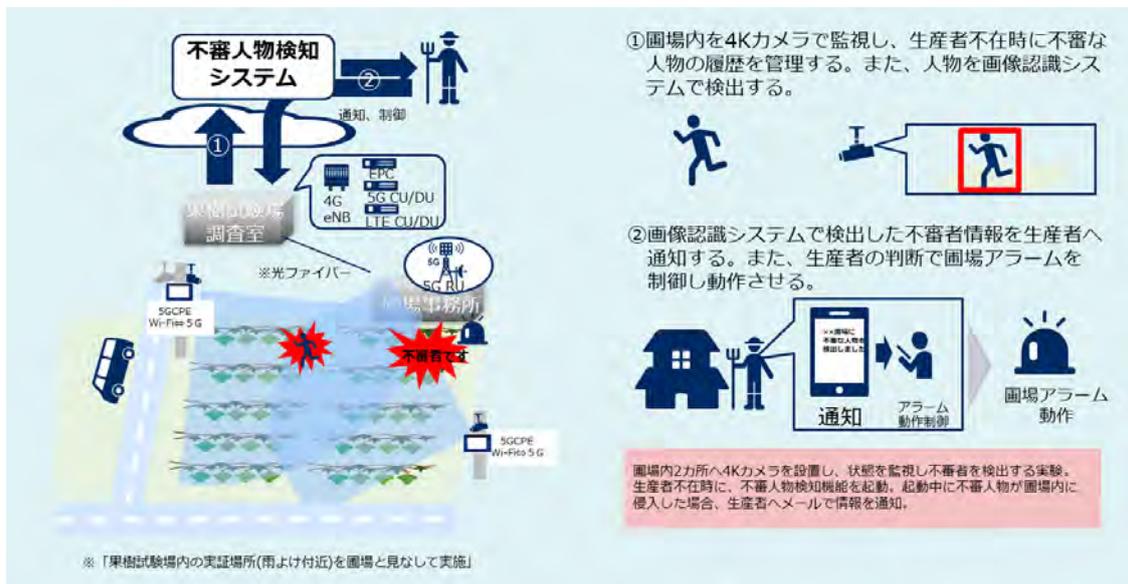


図 4-12 防犯ソリューション（不審人物検知）の概要

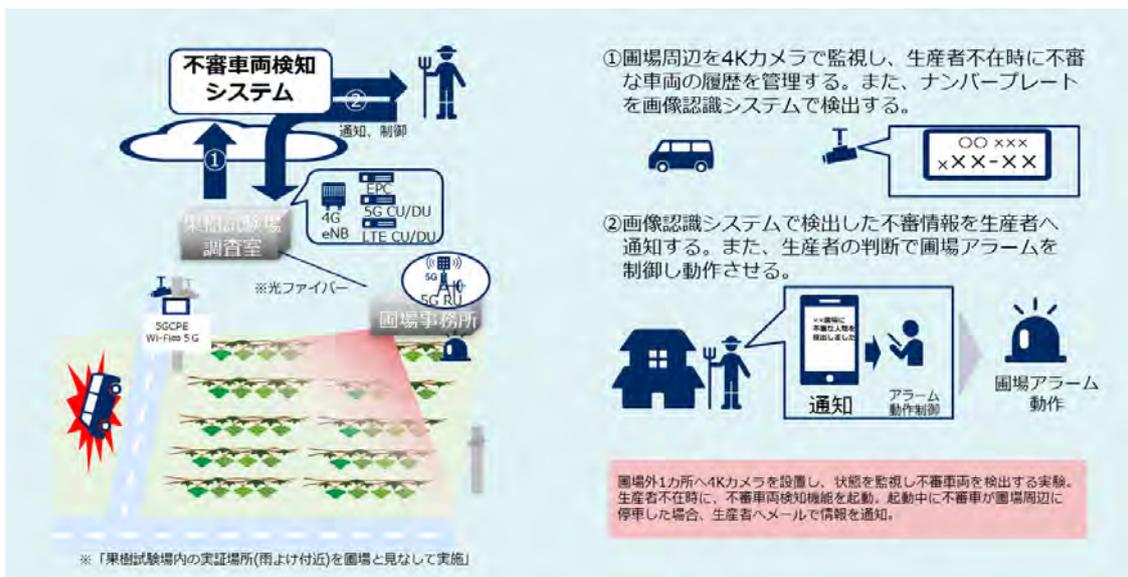


図 4-13 防犯ソリューション（不審車両検知）の概要

4.5.2.2 不審人物検知

可視光カメラ及び赤外線カメラを使用した人物検知が可能になるモデルを作成し、不審人物を検知する。

以下に、「不審人物検知」の実証実験の手順を示す。

(1) 目標設定

「不審人物検知」における条件と目標は以下のとおりとする。

1) 撮影条件

- ① 昼夜、天候、カメラからの距離、対象の速度を変数とする。
- ② 入口のある敷地内にカメラを設置する。(公道ではない)

2) 目標

- ① 検知率
 - ・実証の参加者が不審人物に扮して圃場に接近した際に検知できる距離を測定する。
 - ・測定条件は、昼夜／天候／カメラからの距離／対象の速度を変数とする。
- ② ユーザビリティ
 - ・生産者にアラートが送信されることを確認する。
 - ・アラームを動作できることを確認する。
 - ・生産者にヒアリングを行う。(アラートの内容、使いやすさ等)
- ③ アラートの通知時間
 - ・アラートの送信に要する時間を計測する。

(2) 検証方法 (1月に雨よけで実施)

実証の参加者が不審人物に扮して圃場に接近した際の不審人物の検知率について、異なる条件で測定し、測定結果を比較する。

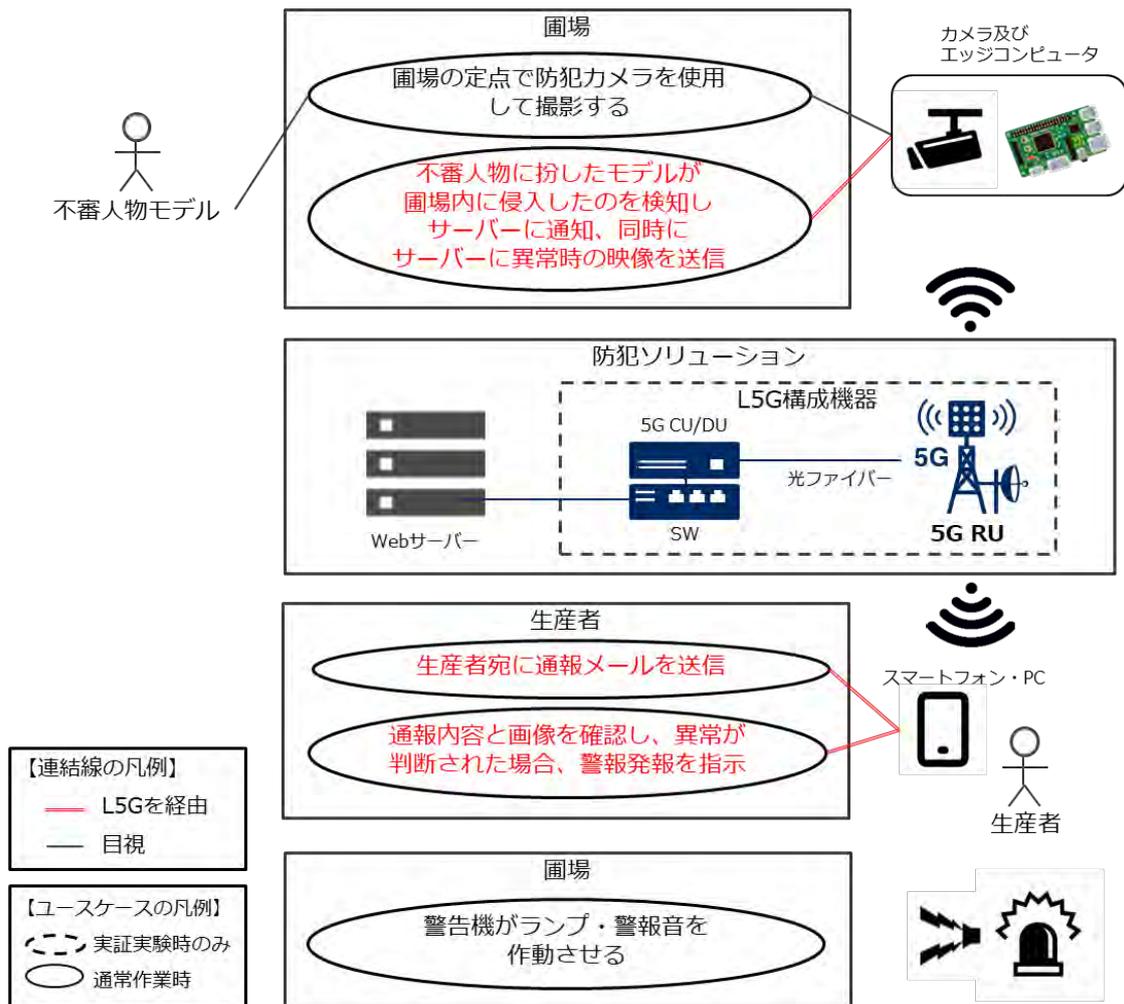


図 4-14 「不審人物検知」の実証

- ① 防犯カメラが圃場の映像を撮影。
- ② 不審人物に扮したモデルが圃場内に侵入、防犯システムが人物を検知し、サーバに異常通知と映像を送信。
- ③ 生産者に異常検知メールが通知される。
- ④ 生産者が異常かどうかを判断し、アラーム（ランプ・音）を発報する。

それぞれの目標に対する測定は以下のように実施する。

- ④ 検知率
 - ・実証の参加者が不審人物に扮して圃場に接近した際に検知できる距離を測定する。
 - ・測定条件は、昼夜／天候／カメラからの距離／対象の速度を変数とする。
- ⑤ ユーザビリティ
 - ・生産者にアラートが送信されることを確認する。
 - ・アラームを動作できることを確認する。
 - ・生産者にヒアリングを行う。（アラートの内容、使いやすさ等）
- ⑥ アラートの通知時間
 - ・アラートの送信に要する時間を計測する。

4.5.2.3 不審車両検知

可視光カメラ及び赤外線カメラを使用した車両検知が可能になるモデルを作成した。さらに、車のナンバープレート認識モデル（文字単位か行単位それぞれの）を作成し、認識精度を考慮した上、どのモデルを使うのか決定し車のナンバーの検出精度を高めた。

(1) 目標設定

1) 撮影条件

- ① 昼夜、天候、カメラからの距離、対象の速度を変数とする。
- ② 入口のある敷地内にカメラ設置する。（公道ではない）

2) 目標

- ① 検知率
 - ・カメラからの距離 8m、対象の時速が 20km/h 以下の環境で車両検知 90%以上
 - ・ナンバープレート検知においても上記に準ずる。
（夜間及び雨天時のライトのハレーションの影響も評価）
- ② ユーザビリティ
 - ・誤検知や誤通報を抑えたシステムとする。
- ③ アラートの通知時間
 - ・10 秒以内にアラートの送信が終わることを目標とする。

(2) 検証方法（1 月に雨よけで実施）

不審人物検知と同様の検証に加え、複数のナンバープレートを用意し、検出精度を測定する。

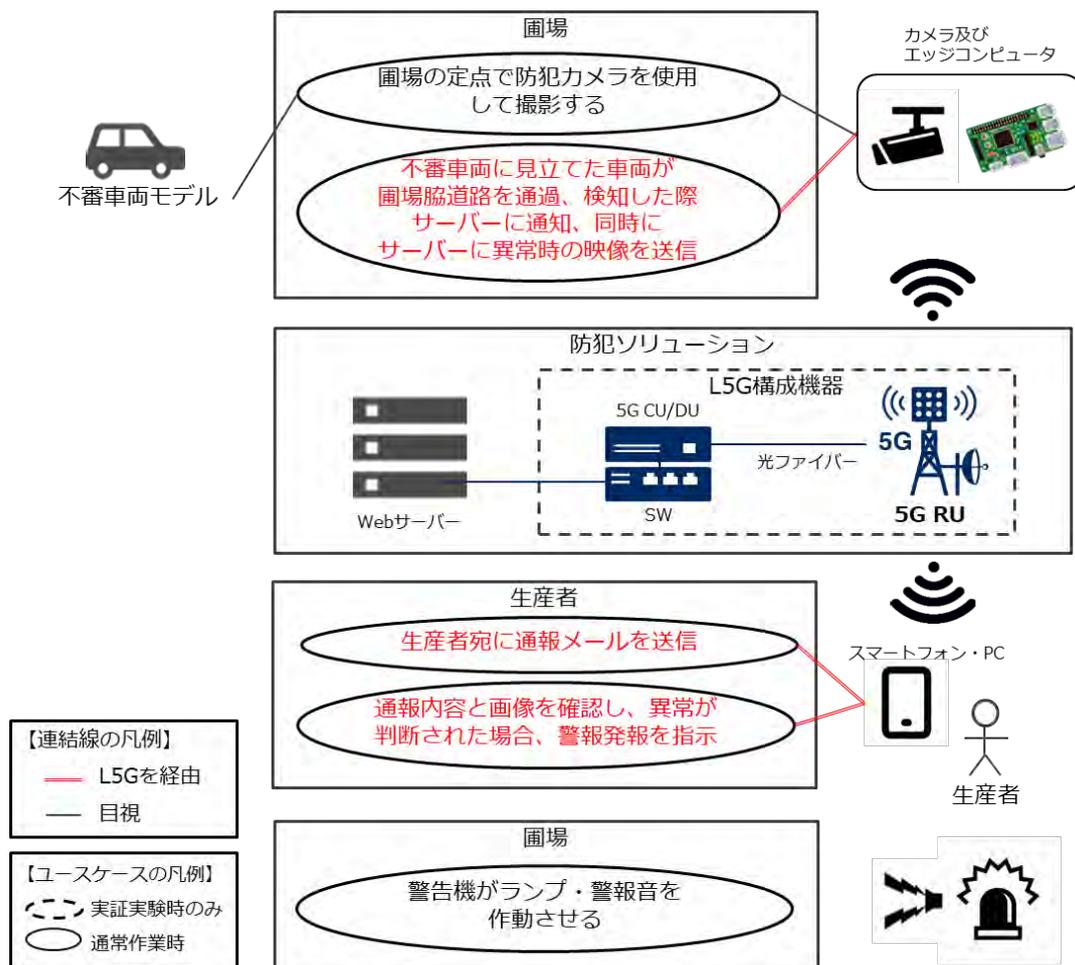


図 4-15 「不審車両検知」の実証

- ① 防犯カメラが圍場の映像を撮影。
- ② 不審車両に扮した車両が圍場内に侵入、防犯システムが車両を検知し、サーバに異常通知と映像を送信。
- ③ 生産者に異常検知メールが通知される。
- ④ 生産者が異常かどうかを判断し、アラーム（ランプ・音）を発報する。

それぞれの目標に対する測定は以下のように実施する。

- ① 検知率
 - ・ 圍場に車両を接近した際に検知できる距離を測定する。
(測定条件は、昼夜／天候／カメラからの距離／対象の速度を変数とする)
 - ・ 複数のナンバープレート（車両）を用意し、検出精度を測定する。
- ② ユーザビリティ
 - ・ アラームを動作できることを確認する。
 - ・ 生産者にヒアリングを行う。(アラートの内容、使いやすさ等)
- ③ アラートの通知時間
 - ・ アラートの送信に要する時間を計測する。

4.6 課題解決システムに関する効果検証

課題解決システムの導入効果を定量的かつ定性的に検証する。

4.6.1 農業領域（匠ソリューション）

4.6.1.1 評価・検証項目

農業領域（匠ソリューション）では、各ユースケースについて以下の観点から評価・検証を行う。

（1）作業時間

課題解決に資する導入効果（スマートグラスを活用した農作業支援モデル導入前後の作業結果・品質の差異、作業時間の削減など）を計測するために、房づくり・摘粒等作業において、新規就農者や雇用労働者の作業時間を匠の作業時間と同等にできるか検証した。

（2）UI・表示情報の違いによる作業効率・品質への影響

スマートグラスのユーザインタフェース（UI）や表示情報の違いによる作業効率や品質等への影響を計測するために、UIを数パターン作り、作業時に視界の妨げにならないUIを比較検討した。

（3）業務面・生活面における変化

業務面・生活面における変化（労働時間の削減、ブランド・品質向上、生産性向上等）を計測するために、房づくり・摘粒等作業において、新規就農者や雇用労働者の作業時間を匠の作業時間と同等にできるか検証した。

（4）システム利用者及び有識者へのヒアリング

匠ソリューションの実証において、システム利用者（新規就農者、熟練農業従事者）に効率化・高度化の観点によるヒアリングを実施した。

また実証の成果を踏まえて、以下のメリット・デメリットについてシステム利用者及び熟練農業従事者等有識者へのヒアリングを実施した。

1) ヒアリング項目

- スマートグラスに表示される情報の表示位置は適切か
- スマートグラスに表示される情報に過不足があるか
- スマートグラスに表示される指示情報により早く判断出来たか
- スマートグラスに表示される指示情報により正確な作業が出来たか
- スマートグラスを着用する際の着用感（締め付け、肌・目への影響等）
- スマートグラスを着用した作業による新たな作業負荷、事故等の懸念があるか

2) メリット

- 作業の生産性向上、品質向上、匠の技の伝承
- 作業時間の短縮（圧縮時間の有効活用、従事者のゆとり）
- 作業人員の削減（人件費削減、ワークシェア）
- 生産数の増加（生産品質の向上）
- ブランド力の向上（等級安定によるブランド力向上）
- 販売数の増加（生産増加・品質ブランド向上に伴う売上増加）
- 匠ノウハウ習得までの期間短縮（新規就農者拡大）

3) デメリット

- IT 投資コストの増加（環境構築・維持に伴うコスト増加）
- 設備管理工数の増加（環境構築・維持に伴う工数増加）
- 品質管理基準の見直し（運用変更に伴う負担）
- 新たな環境に伴う不利益（スマートグラス使用による悪影響など）

4.6.1.2 評価・検証方法

各ユースケースについて以下の手段にて評価・検証を行った。

(1) 作業時間

以下の作業について作業時間を比較し、新規就農者がスマートグラスを使用した場合の作業効率の向上、匠の作業者と同等に作業できたかを比較した。

- 新規就農者がスマートグラス未使用時の作業時間（10a 当たり）
- 新規就農者がスマートグラスを装着した場合の作業時間（10a 当たり）
- 熟練農業従事者の作業時間（10a 当たり）

(2) UI・表示情報の違いによる作業効率・品質への影響

また生産者にスマートグラスを使って頂き、UI の違いによる作業品質の変化、スマートグラスで房を検出してからレスポンスが表示される間隔における作業品質の変化等ヒアリングを行った。使い心地などの UX に係る内容も検証項目に含める。

- 色判定が正しく行われているかの検証（カラーチャート判定正解率 85%）
- 植生画像に示される現在位置表示の精度の確認（誤差 2m 程度）
- システム利用者（新規就農者、熟練農業従事者）へのヒアリング
（効率化・高度化の観点によるヒアリングを実施した。）

(3) 業務面・生活面における変化

実証の成果を踏まえて、メリット・デメリットについてシステム利用者及び熟練農業従事者等有識者へのヒアリングを実施した。

4.6.1.3 評価・検証結果（房づくり軸長指示）

(1) 作業時間

実証に参加した未経験者の作業時間から 10a あたりの作業時間を算出した。

表 4.6.1-1 房づくり軸長指示 効果検証結果（作業時間）

評価・検証項目	評価結果
新規就農者がスマートグラス未使用時の作業時間（10a 当たり）※	24 h
新規就農者がスマートグラスを装着した場合の作業時間（10a 当たり）※	12 h
熟練農業従事者の作業時間（10a 当たり）	12 h



図 4-16 熟練農業従事者の作業



図 4-17 新規就農者の作業

また、生産者へのヒアリング結果を記載する。

表 4.6.1-2 房づくり軸長指示 効果検証結果（作業時間のヒアリング）

評価・検証項目	生産者回答
UI の違いによる作業品質の変化	管理作業（房づくり、摘粒）については、表示位置が右側にあり、実際の房は正面にあるため、視線を動かす必要があり、改良の余地がある。収穫は、問題なし。
レスポンスによる作業品質の変化（スマートグラスに表示されるまで）	早ければ早いほど作業しやすいが、今回実証程度の速さ（2秒前後）が一定であれば問題ない。 何度か10秒かかるような時もありこのような時は待ってられない。
使い心地（UX）	頭のベルトとグラスが別の構造になっているためずれやすい。 夏場の作業は汗が多くずれが心配。 想像以上に重かった。

	(重量: 290g (ヘッドセット) / 265g (コントローラ) で、想像以上に重いとコメントあり)
--	---



図 4-18 BT-2000 装着イメージ



図 4-19 BT-2000 (ベルトとグラス部は別構造)



図 4-20 BT-2000 (グラス部)

● 考察

実証時に生産者からのヒアリングにもとづいて表示文字サイズを大きくしたり文字色を調整して改善したが改善の余地が残った。表示位置については農水省事業 2021 年度実証で改善を計画した。

レスポンスが稀に遅い件については、複数台同時接続した際の遅延と思われ、2021 年 3 月 16 日の 5 台同時接続試験にて確認した。

使い心地についてはスマートグラスの今後の進化、汎用化により改善が見込まれ、2021 年度は今回使用したスマートグラス「BT-2000」とは別に、頭のベルトとグラスが一体化されている「HoloLens2」と「エンリアルライト」の 2 機種による実証も計画しており改善を見込んでいる。

(2) UI・表示情報の違いによる作業効率・品質への影響

1) 房づくり前後の房の長さが正しく行われているかの検証（正解率 95%以上）

検証結果を以下の表に示す。評価は房づくりの実施前と実施後でそれぞれ行った。

表 4.6.1-3 房づくり軸長指示 効果検証結果（品質）

評価・検証項目	評価結果
房づくり前正解率	89.61%
房づくり後正解率	93.51%

2) システム利用者（新規就農者、熟練農業従事者）へのヒアリング結果

房づくり前後の花房の長さを定規での実測値とスマートグラスでの測定値を比較して正解率を算出、目標としていた 95%は惜しくも達成出来なかったが、ヒアリング結果の通り房づくりは問題なくできており、品質は担保できる見込みである。

ただし作業効率の面ではある程度の経験を積んでいる人の場合、スマートグラスを使った作業の方が時間が掛かってしまうという意見もいただいている。

房づくり作業未経験者や果樹試験場の研修生、新規就農者の初期段階での利用効果はあるため UI、UX の改善、付加価値を検討していく。

表 4.6.1-4 房づくり軸長指示 効果検証結果（品質のヒアリング）

評価・検証項目	生産者回答
未経験者がスマートグラスを装着して房づくりした房を熟練農業従事者が確認	長さは問題なく房づくりできており十分な成育が見込める。

(3) 業務面・生活面における変化

実証の成果を踏まえて、メリット・デメリットについてシステム利用者及び熟練農業従事者等有識者へのヒアリングを実施した。

表 4.6.1-5 房づくり軸長指示 効果検証結果（メリット・デメリットのヒアリング）

ヒアリング項目	回答
作業の生産性向上、品質向上、匠の技の伝承	熟練農業従事者は必要がない。 新規就農者・雇用労働者には、匠の技の伝承に効果がある。（熟練農業従事者） 同上（山梨大学准教授）
作業時間の短縮（圧縮時間の有効活用、従事者のゆとり）	果樹試験場職員は、経験が豊かで、匠レベルのため、ソリューションは必要ないため、圧縮時間・ゆとりは生まれない。ただし、試験場に研修に来ている研修生等に匠の技を伝承するためには有効である。（果樹試験場職員）
作業人員の削減（人件費削減、ワークシェア）	上記意見から房づくりソリューションは果樹試験場の研修生、新規就農者の初期段階の方など限定的な利用シーンしか見込めないが、雇用労働者の労働時間の短縮に繋がる。（熟練農業従事者）
生産数の増加（生産品質の向上）	雇用労働者にスマートグラスで作業させることにより、労働時間が短縮されるとともに、匠と同等の高品質化が図られ、さらに園地を増加させることができ、所得の増大に繋げたい。（熟練農業従事者）
ブランド力の向上（等級安定によるブランド力向上）	スマートグラスにより匠と同等の適期の収穫ができるため、等級が低くなる可能性が少なくなり、所得が安定するとともに、高品質化によるブランド化が期待できる。（熟練農業従事者）
販売数の増加（生産増加・品質ブランド向上に伴う売上増加）	上記の理由により、生産量の増加とブランド化による所得の増加が見込めるため、必然的に販売数も増加する。（熟練農業従事者）
匠ノウハウ習得までの期間短縮（新規就農者拡大）	匠のレベルのシャインマスカットを生産するには、10年以上の栽培経験が必要と言われている。このソリューションに更なる改良を加え、使いやすくすることにより、数年で匠レベルに達することが見込まれる。（熟練農業従事者）
IT投資コストの増加（環境構築・維持に伴うコスト増加）	機器は1年間の内の数ヶ月の使用になるため、過剰投資にならないようリース方式の検討が必要である。（熟練農業従事者）
設備管理工数の増加（環境構築・維持に伴う工数増加）	同上（熟練農業従事者）
品質管理基準の見直し（運用変更に伴う負担）	房づくりに関しては大きな運用変更はない。（熟練農業従事者）
新たな環境に伴う不利益（スマート	シャインマスカットの栽培管理は夏場になるため、

グラス使用による悪影響など)	暑さ対策を検討する必要がある。 (熟練農業従事者)
----------------	------------------------------

(4) 目標値に対する検証結果

目標値に対する検証結果を以下に示す。

測定データについて、2021年1月28日及び2月2日の2日間の実証で合計77房の房づくりを行い精度を確認し、速度確認では、ローカル5G：17,219回、4G：5,172回の試行データログを用いて平均を算出した。

表 4.6.1-6 房づくり軸長指示 効果検証結果（目標値に対する評価）

評価項目	目標値	検証結果	備考
精度	95%以上	(房づくり前正否) 89.61%	—
		(房づくり後正否) 93.51%	—
速度	2秒以内	1.81 秒	4G の場合 6.76 秒

(5) 検証手順

本項目では、現地における検証の手順を示す。

1) 房づくり前の長さを実測



図 4-21 (房づくり前) 定規の実測とスマートグラスの測定

	A	B	C	D	E
1	時間 (約)	指までの長さ (スマートグラス)	指までの長さ (実測値)	(房づくり前) 正否	横棒までの長さ (実測値)
2	1	6	6	○	4
3		5.9	5.5	○	4
4		6.28	6	○	4
5		7.25	7	○	4
6		7.3	7	○	3.5
7		7.3	7	○	4
8		8.2	8	○	

図 4-22 房づくり測定データ

2) 房づくり作業



図 4-23 2人ペア（作業員、記録員）による作業（1）



図 4-24 2人ペア（作業者、記録者）による作業（2）

3) 房づくり後の長さを実測



図 4-25 スマートグラスによる長さ測定



図 4-26 定規による測定

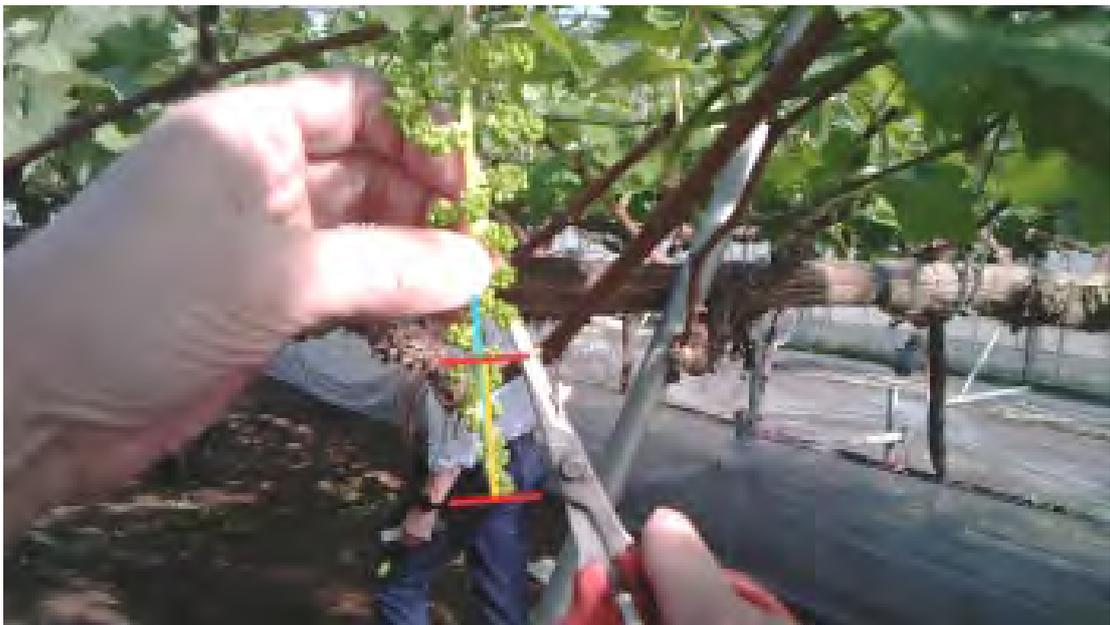


図 4-27 スマートグラス上の長さ表示 (房づくり前)

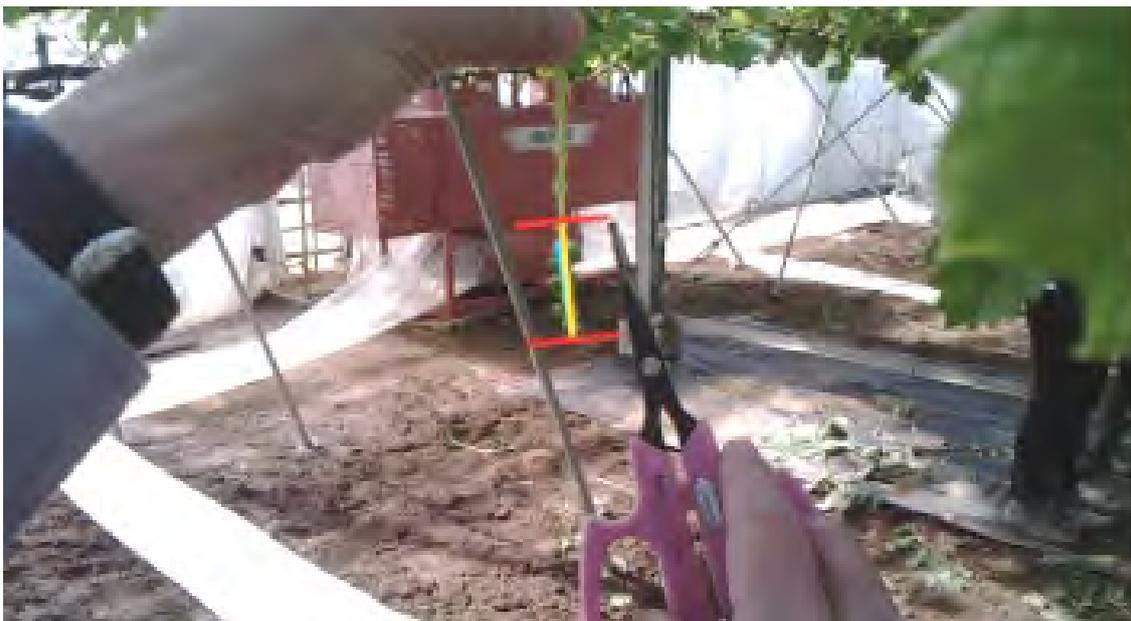


図 4-28 スマートグラス上の長さ表示（房づくり後）

4) レスポンスタイムの測定

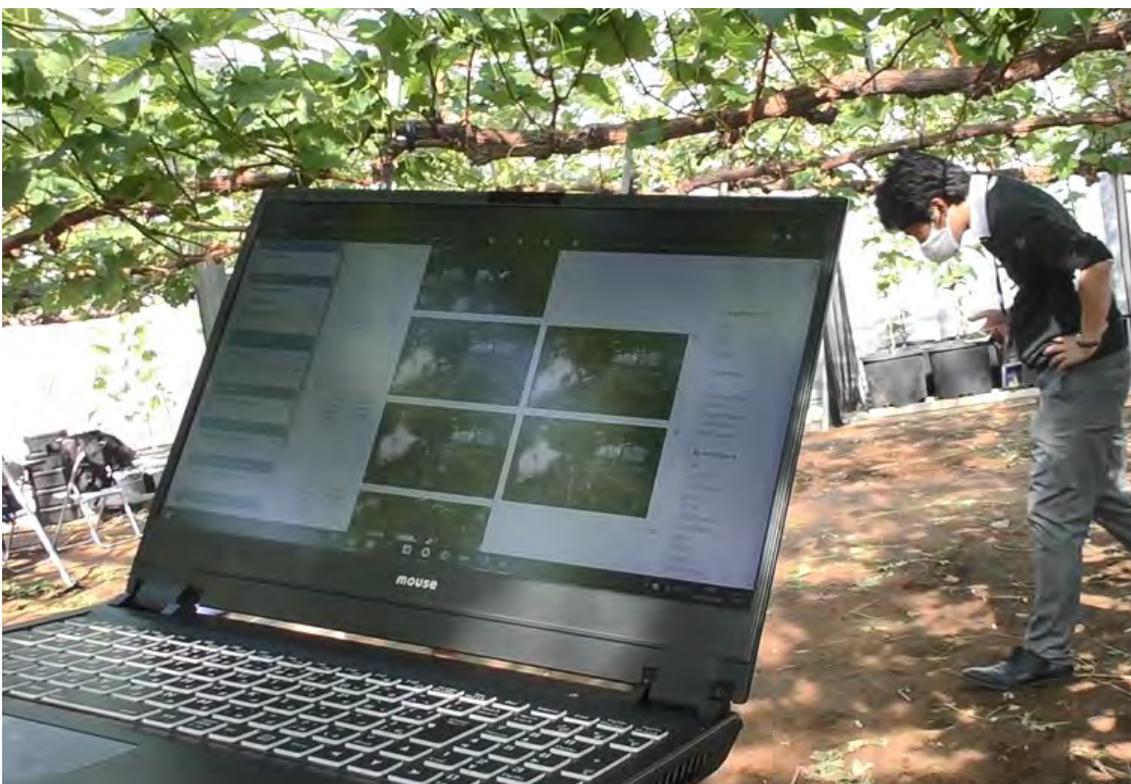


図 4-29 レスポンスタイム測定（房づくり）

5) AI 検知ログの分析

数万件のログから精度、処理速度を分析した。

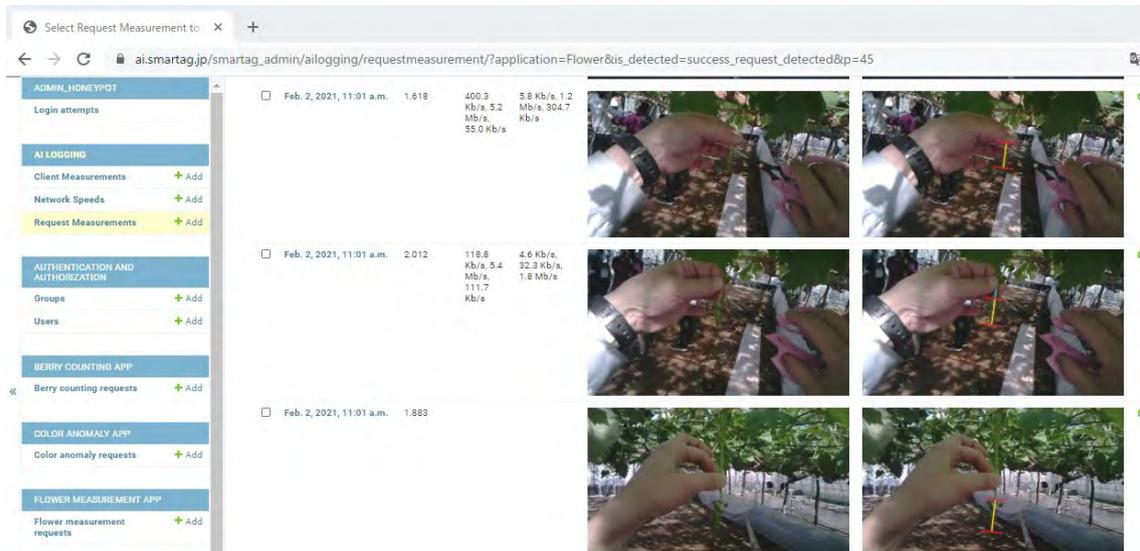


図 4-30 ログ分析（房づくり）

4.6.1.4 評価・検証結果（摘粒切除粒数表示）

(1) 作業時間

実証に参加した未経験者の作業時間から 10a あたりの作業時間を算出した。

表 4.6.1-7 摘粒切除粒数表示 効果検証結果（作業時間）

評価・検証項目	評価結果
新規就農者がスマートグラス未使用時の作業時間（10a 当たり）※	156 h
新規就農者がスマートグラスを装着した場合の作業時間（10a 当たり）※	78 h
熟練農業従事者の作業時間（10a 当たり）	78 h



図 4-31 熟練農業従事者の摘粒作業



図 4-32 新規就農者の摘粒作業

また、生産者へのヒアリング結果を記載する。

表 4.6.1-8 摘粒切除粒数表示 効果検証結果（作業時間のヒアリング）

評価・検証項目	生産者回答
UIの違いによる作業品質の変化	管理作業（房づくり、摘粒）については、表示位置が右側にあり、実際の房は正面にあるため、視線を動かす必要があり、改良の余地がある。収穫は、問題なし。
レスポンスによる作業品質の変化（スマートグラスに表示されるまで）	早ければ早いほど作業しやすいが、今回実証程度の速さ（2秒前後）が一定であれば問題ない。何度か10秒かかるような時もありこのような時は待ってられない。
使い心地（UX）	頭のベルトとグラスが別の構造になっているためずれやすい。 夏場の作業は汗が多くずれが心配。 想像以上に重かった。

● 考察

実証時に生産者からのヒアリングにもとづいて表示文字サイズを大きくしたり文字色を調整して改善したが改善の余地が残った。表示位置については農水省事業 2021 年度実証で改善を計画した。

レスポンスが稀に遅い件については、複数台同時接続した際の遅延と思われ、2021 年 3 月 16 日の 5 台同時接続試験にて確認した。

使い心地についてはスマートグラスの今後の進化、汎用化により改善が見込まれ、2021 年度は今回使用したスマートグラス「BT-2000」とは別に、頭のベルトとグラスが一体化されている「HoloLens2」と「エンリアルライト」の 2 機種による実証も計画しており改善を見込んでいる。

(2) UI・表示情報の違いによる作業効率・品質への影響

1) 摘粒切除粒数表示が正しく行われているかの検証（検出精度 95%以上）

摘粒後の粒数を実測した数値とスマートグラスでの測定値を比較して算出する検出精度目標を 95%としたが、現在のモデル精度は 86%程度である。

次のような課題が判明した。今後は、農水省事業 2021 年度実証の改善計画に繋げ、より多くの作業環境下でテストしつつ改善を図る必要がある。

表 4.6.1-9 摘粒切除粒数表示 効果検証結果（品質）

評価・検証項目	評価結果
検出精度	88.51%

表 4.6.1-10 摘粒切除粒数表示 効果検証結果（品質の課題）

課題	対策
粒数の推定アルゴリズムでブドウの奥行きを計算して粒数を推定しているが、対象の房の後ろに別の房がある場合、後ろの房の粒数もカウントしてしまい推定した粒数が多くなる傾向がある。	暫定対策：奥の房との間にボードを挟み使用した。2021年度の改善対象とする。
粒数が25粒ほどの少ない房が実際よりも多く推定されていた。	実際の房づくりでは25粒ほどの小ぶりの房は作業対象とならないため、2021年度の改善対象とするかどうかの検討から進める。

2) システム利用者（新規就農者、熟練農業従事者）へのヒアリング結果

実証内容について、次に示すようなヒアリング結果が得られた。

表 4.6.1-11 摘粒切除粒数表示 効果検証結果（品質のヒアリング）

評価・検証項目	生産者回答
未経験者が粒数を実測したが、1粒1粒数えては作業時間がとても掛かる。	スマートグラスを使用して粒数が表示されるのはかなりの効率化に繋がる。
未経験者が粒数が表示されたあと実際に摘粒する粒を判断することは困難に感じた。	2021年度計画で摘粒すべき粒を例えば赤表示して作業者に指示する。
熟練農業従事者の場合でも作業者によって摘粒する粒には癖がある。	摘粒すべき粒が表示されることで品質の均一化に繋がり期待している。

(3) 業務面・生活面における変化

実証の成果を踏まえて、メリット・デメリットについてシステム利用者及び熟練農業従事者等有識者へのヒアリングを実施した。

表 4.6.1-12 摘粒切除粒数表示 効果検証結果（メリット・デメリットのヒアリング）

ヒアリング項目	回答
作業の生産性向上、品質向上、匠の技の伝承	熟練農業従事者には必要がないが、2021年度計画の摘粒すべき粒の表示は期待している。 新規就農者・雇用労働者には効果大きい。 (農業機関職員)
	同上(熟練農業従事者)

作業時間の短縮（圧縮時間の有効活用、従事者のゆとり）	果樹試験場職員は、経験が豊かで、匠レベルのため、ソリューションは必要ないため、圧縮時間・ゆとりは生まれません。ただし、試験場に研修に来ている研修生等に匠の技を伝承するためには有効である。（果樹試験場職員）
作業人員の削減（人件費削減、ワークシェア）	上記意見から摘粒ソリューションは有効なソリューションになると思われる。 摘粒すべき粒の検知 AI モデル作成においては摘粒前後の動画が必要になりこれまでの倍の時間を要するが精度の高いソリューションに仕上げていきたい。（山梨大学准教授）
生産数の増加（生産品質の向上）	雇用労働者にスマートグラスで作業させることにより、労働時間が短縮されるとともに、匠と同等の高品質化が図られ、さらに園地を増加させることができ、所得の増大に繋げたい。 （熟練農業従事者）
ブランド力の向上（等級安定によるブランド力向上）	スマートグラスにより匠と同等の適期の収穫ができるため、等級が低くなる可能性が少なくなり、所得が安定するとともに、高品質化によるブランド化が期待できる。（熟練農業従事者）
販売数の増加（生産増加・品質ブランド向上に伴う売上増加）	上記の理由により、生産量の増加とブランド化による所得の増加が見込めるため、必然的に販売数も増加する。（熟練農業従事者）
匠ノウハウ習得までの期間短縮（新規就農者拡大）	匠のレベルのシャインマスカットを生産するには、10年以上の栽培経験が必要とされている。このソリューションに更なる改良を加え、使いやすくすることにより、数年で匠レベルに達することが見込まれる。（熟練農業従事者）
IT 投資コストの増加（環境構築・維持に伴うコスト増加）	機器は1年間の内の数ヶ月の使用になるため、過剰投資にならないようリース方式の検討が必要である。（熟練農業従事者）
設備管理工数の増加（環境構築・維持に伴う工数増加）	同上（熟練農業従事者）
品質管理基準の見直し（運用変更に伴う負担）	摘粒に関しては大きな運用変更はない。 （熟練農業従事者）
新たな環境に伴う不利益（スマートグラス使用による悪影響など）	シャインマスカットの栽培管理は夏場になるため、暑さ対策を検討する必要がある。 （熟練農業従事者）

(4) 目標値に対する検証結果

目標値に対する検証結果を以下に示す。

測定データについて、2021年3月2日及び3月9日の2日間の実証で合計99房の摘粒を行い精度を確認し、速度確認では、ローカル5G：441回の試行データログを用いて平均を算出した。

表 4.6.1-13 摘粒切除粒数表示 効果検証結果（目標値に対する評価）

項目	目標値	検証結果	その他
精度	95%以上	平均測定精度：88.51%	—
速度	2秒以内	2.11秒	—

(5) 検証手順

1) 粒数、粒の大きさ、軸長を実測



図 4-33 粒数の実測

	A	B	C	D	E	F
1	ブドウID	粒の大きさ [整数mm]	軸長 (実測値) [0.1刻みcm]	粒の数 (実測値) [個]	方向	粒の数 (3D) (スマートグラス) [個]
2	606	13	9.8	41	前	37
3	606	13	9.8	41	右	35
4	606	13	9.8	41	前	36
5	606	13	9.8	41	左	34
6	606	13	9.8	41	右	36
7	606	13	9.8	41	後	36

図 4-34 測定データ

2) スマートグラスを着けて粒数を測定



図 4-35 スマートグラスによる粒数測定 (1)



図 4-36 スマートグラスによる粒数測定 (2)

3) 摘粒作業



図 4-37 2人ペアで摘粒作業実施 (1)



図 4-38 2 人ペアで摘粒作業実施 (2)



図 4-39 スマートグラス上の表示 (右)

4) レスポンスタイムの測定



図 4-40 レスポンスタイムの確認（摘粒）

5) AI 検知ログによる分析

後日、数万件のログから精度、処理速度を分析した。

Request ID	Date and Time	Duration	Client Speed	Server Speed
1	March 9, 2021, 1:41 p.m.	2.07		
2	March 9, 2021, 1:41 p.m.	1.729	12.6 Kb/s, 5.2 Mb/s, 88.6 Kb/s	4.6 Kb/s, 32.9 Kb/s, 1.5 Mb/s
3	March 9, 2021, 1:41 p.m.	2.049		

図 4-41 ログ分析（摘粒）

4.6.1.5 評価・検証結果（適期収穫色判断）

(1) 作業時間

実証に参加した未経験者の作業時間から 10a あたりの作業時間を算出した。また生産者へのヒアリング結果を記載する。

作業については、人によるブレが無いよう複数人で判断いただくようにした。

表 4.6.1-14 適期収穫色判断 効果検証結果（作業時間）

評価・検証項目	評価結果
新規就農者がスマートグラス未使用時の作業時間（10a 当たり）※	40 h
新規就農者がスマートグラスを装着した場合の作業時間（10a 当たり）※	20 h
熟練農業従事者の作業時間（10a 当たり）	20 h



図 4-42 熟練農業従事者による判定



図 4-43 新規就農者による判定

また、生産者へのヒアリング結果を以下に示す。

表 4.6.1-15 適期収穫色判断 効果検証結果（作業時間のヒアリング）

評価・検証項目	生産者回答
UIの違いによる作業品質の変化	特に問題ない。
レスポンスによる作業品質の変化（スマートグラスに表示されるまで）	早ければ早いほど作業しやすいが、今回実証程度の速さ（2秒前後）が一定であれば問題ない。 何度か10秒かかるような時もありこのような時は待ってられない。
使い心地（UX）	頭のベルトとグラスが別の構造になっているためずれやすい。 夏場の作業は汗が多くずれが心配。 想像以上に重かった。

● 考察

収穫ソリューションについては、AIが判定したカラーチャート数値の表示だけなので特に問題ない。（実証時に表示文字サイズを大きくしている。）

レスポンスが稀に遅い件については、複数台同時接続した際の遅延と思われ、2021年3月16日の5台同時接続試験にて確認した。

使い心地についてはスマートグラスの今後の進化、汎用化により改善が見込まれ2021年度は今回使用したスマートグラス「BT-2000」とは別に、頭のベルトとグラスが一体化されている「HoloLens2」と「エンリアルライト」の2機種による実証も計画しており改善を見

込んでいる。

(2) UI・表示情報の違いによる作業効率・品質への影響

1) 色判定が正しく行われているかを検証する。カラーチャート判定正解率 85%
検証結果を以下に示す。

表 4.6.1-16 適期収穫色判断 効果検証結果 (品質)

評価・検証項目	評価結果
検出精度	54.25%

● 考察

スマートグラスの判定結果が「2.9～3.9」内の1の動きしか出ていなかったため極端に低い精度となってしまった。

原因は、当日の日射しが強い環境下の実証により、スマートグラスのカメラ標準の露光補正機能で画像が編集されてしまった影響による。

スマートグラスのカメラ性能を含めた機種選定を検討する必要がある。

2) システム利用者 (新規就農者、熟練農業従事者) へのヒアリングを実施

以下の意見と対策が得られた。

表 4.6.1-17 適期収穫色判断 効果検証結果 (品質に対する課題)

課題	対策
未経験者はカラーチャートとブドウの突き合わせを行っても判断に迷う。	スマートグラスを使用して数値判断することで適期のブドウが自動判断でき、収穫すればよいのは効率化に繋がる。

(3) 業務面・生活面における変化

1) 実証の成果を踏まえて、メリット・デメリットについてシステム利用者及び熟練農業従事者等有識者へのヒアリングを実施

以下に示す回答が得られた。

表 4.6.1-18 適期収穫色判断 効果検証結果 (メリット・デメリットのヒアリング)

ヒアリング項目	回答
作業の生産性向上、品質向上、匠の技の伝承	熟練農業従事者は必要がない。 新規就農者・雇用労働者には平均秀品率の向上に

	<p>において効果が高い。(熟練農業従事者)</p> <p>同上(山梨大学准教授)</p>
作業時間の短縮(圧縮時間の有効活用、従事者のゆとり)	果樹試験場職員は、経験が豊かで、匠レベルのため、ソリューションは必要ないため、圧縮時間・ゆとりは生まれない。ただし、試験場に研修に来ている研修生等に匠の技を伝承するためには有効である。(果樹試験場職員)
作業人員の削減(人件費削減、ワークシェア)	上記意見から収穫ソリューションは果樹試験場の研修生、新規就農者の初期段階の方など限定的な利用シーンしか見込めないが、秀品率の向上においては有効である。(熟練農業従事者)
生産数の増加(生産品質の向上)	雇用労働者にスマートグラスで作業させることにより、労働時間が短縮されるとともに、匠と同等の高品質化が図られ、さらに園地を増加させることができ、所得の増大に繋げたい。(熟練農業従事者)
ブランド力の向上(等級安定によるブランド力向上)	スマートグラスにより匠と同等の適期の収穫ができるため、等級が低くなる可能性が少なくなり、所得が安定するとともに、高品質化によるブランド化が期待できる。(熟練農業従事者)
販売数の増加(生産増加・品質ブランド向上に伴う売上増加)	上記の理由により、生産量の増加とブランド化による所得の増加が見込めるため、必然的に販売数も増加する。(熟練農業従事者)
匠ノウハウ習得までの期間短縮(新規就農者拡大)	匠のレベルのシャインマスカットを生産するには、10年以上の栽培経験が必要と言われている。このソリューションに更なる改良を加え、使いやすくすることにより、数年で匠レベルに達することが見込まれる。(熟練農業従事者)
IT投資コストの増加(環境構築・維持に伴うコスト増加)	機器は1年間の内の数ヶ月の使用になるため、過剰投資にならないようリース方式の検討が必要である。(熟練農業従事者)
設備管理工数の増加(環境構築・維持に伴う工数増加)	同上(熟練農業従事者)
品質管理基準の見直し(運用変更に伴う負担)	適期収穫に関しては大きな運用変更はない。(熟練農業従事者)
新たな環境に伴う不利益(スマートグラス使用による悪影響など)	シャインマスカットの栽培管理は夏場になるため、暑さ対策を検討する必要がある。(熟練農業従事者)

(4) 目標値に対する検証結果

目標値に対する検証結果を以下に示す。

測定データについて、1/21 と 1/25 の2日間の実証で合計 180 房のブドウ検知を行い精度を確認速度確認では、ローカル 5 G : 7,152 回、4 G : 462 回の試行データログを用いて平均を算出した。

表 4.6.1-19 適期収穫色判断 効果検証結果 (目標値に対する評価)

項目	目標値	検証結果	その他
精度	95%以上	54.25%	—
速度	2 秒以内	2.77 秒	4G の場合 8.88 秒

(5) 検証手順

1) パーシャル冷蔵しておいたブドウを準備



図 4-44 検証対象のブドウ (適期収穫色判断)

2) 新規就農者による目視確認



図 4-45 新規就農者による目視確認 (1)



図 4-46 新規就農者による目視確認 (2)

3) スマートグラス判定



図 4-47 目視したブドウ

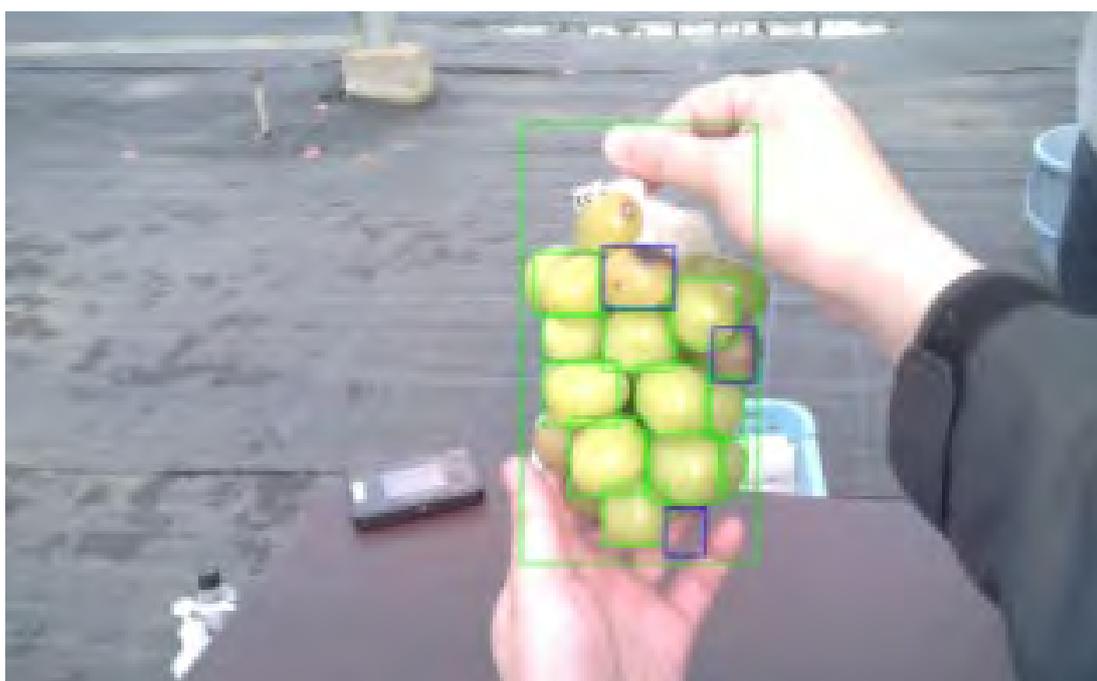


図 4-48 スマートグラスを介したブドウ
(上記の場合 3.1 と判定)

4) 熟練農家（匠）による判定



図 4-49 熟練農家（匠）による判定



図 4-50 スマートグラスによる判定と匠による判定の比較

5) AI 検知ログ

数万件のログから精度、処理速度を分析した。

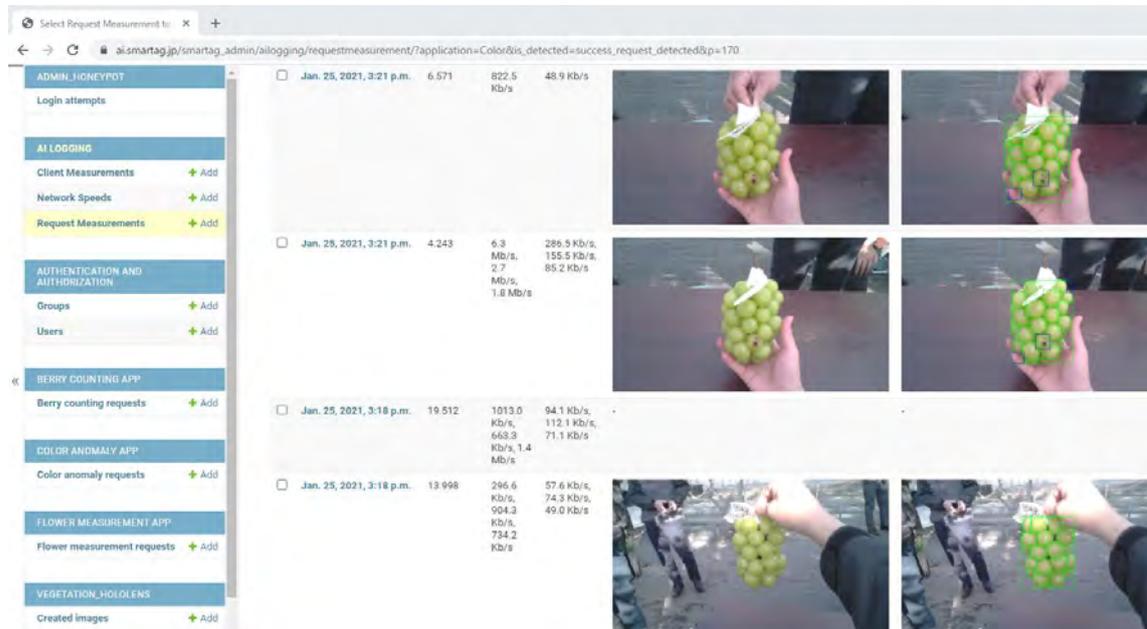


図 4-51 ログ分析 (適期収穫色判断)

4.6.1.6 評価・検証結果 (植生指数表示)

(1) 作業時間 (移動時間)

生産者圃場の任意の場所 5 地点を目的地に設定して、スマートグラスなしの場合 (NDVI 画像の地図で移動)、BT-2000 を装着、HoloLens2 を装着した誘導検証を行った。

表 4.6.1-20 植生指数表示 効果検証結果 (作業時間)

No.	目的地までの 距離 (m)	スマートグラスなし	BT-2000	HoloLens2
		時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)
1	16.42	31	29	52
2	14.25	28	75	31
3	15.07	27	38	31
4	11.41	26	52	36
5	9.44	22	29	25

● 考察

スマートグラスを使わない方が移動にかかる時間が短いという結果が得られた。この理由としてはサーバーとの通信の関係で位置情報が変わる度の画像更新時間が影響していると考えられる。

BT-2000 の No.2 と No.4 の実験では、位置情報の精度が悪く現在地を見失ってしまい、画

像を見ながら移動することができなくなってしまったことが原因として考えられる。

(2) 生産者へのヒアリング

以下に示す回答が得られた。

表 4.6.1-21 植生指数表示 効果検証結果（作業時間のヒアリング）

評価・検証項目	生産者回答
UIの違いによる作業品質の変化	BT-2000 では目的地が分かりにくいですが方角は分かりやすかった。一方 HoloLens2 は目的地が分かりやすく方角が分かりにくかった。 しかしいずれも使い方に慣れる必要がある。
レスポンスによる作業品質の変化（スマートグラスに表示されるまで）	地図の動作が早く、滑らかになればもう少し移動しやすくなる。また NDVI 画像では自分の位置が分かりにくかった。
使い心地（UX）	BT-2000 では視界が遮られ、ディスプレイも見にくい。一方 HoloLens2 は視界を遮らず、ディスプレイも見やすかった。 しかしいずれも使い方に慣れる必要がある。

● 考察

NDVI 画像では現在地と誘導先の位置関係が分かりにくいため、RGB 画像と重ねるもしくは並べる等の工夫をしないと誘導が困難であった。

BT-2000、HoloLens2 を比較すると HoloLens2 の方が誘導に向いていたため、農水省事業 2021 年度計画では HoloLens2 の使い勝手の向上に努める。

(3) UI・表示情報の違いによる作業効率・品質への影響

1) 植生画像に示される現在位置表示の精度を確認する。誤差 2m 程度

結果として、目的地との誤差を以下に示す。

表 4.6.1-22 植生指数表示 効果検証結果（品質）

No.	目的地までの距離 (m)	スマートグラスなし	BT-2000	HoloLens2
		誤差 (m)	誤差 (m)	誤差 (m)
1	16.42	1.5	1.06	0.65
2	14.25	1.42	1.52	0.63
3	15.07	4.3	0.03	0.47
4	11.41	2.45	0.48	0.36
5	9.44	0.5	1.75	0.61

● 考察

スマートグラスなしの場合、移動時間は一番早かったが誤差も一番大きくスマートグラスを使用した方がより精度が高い誘導を実現できている。

HoloLens2の方が位置の誤差が小さかったのは、スマートフォンのGPS機能を採用していたことが理由と考えられる。スマートフォンではGPSセンサ以外にモバイルネットワークからの情報を用いて位置情報の補正を行っており、BT2000のGPSセンサだけのシステムよりも精度が高いと考えられる。

(4) 業務面・生活面における変化

1) 実証の成果を踏まえて、メリット・デメリットについてシステム利用者及び熟練農業従事者等有識者へのヒアリングを実施

以下に示す回答が得られた。

表 4.6.1-23 植生指数表示 効果検証結果（メリット・デメリットのヒアリング）

回答者	回答内容
熟練農業従事者	精度の高い誘導が必要な作業には向いているかもしれないがシャインマスカット栽培においてはそこまで高い精度は必要としないため誘導時間の向上の方が先決である。
山梨大学准教授	同上
果樹試験場職員	同上
プロジェクトメンバー	NDVI 画像での現在地の見にくさと移動時間の短縮のために「NDVI 画像+RGB 画像」の組み合わせが一番効果的と思われる。

(5) 目標値に対する検証結果

検証結果を以下に示す。

表 4.6.1-24 房づくり軸長指示 効果検証結果（目標値に対する評価）

項目	目標値	検証結果	その他
精度	誤差 2m 以内	すべての検証で 2m 以内 (上記表「植生指数表示 効果検証結果 (品質)」参照)	-

(6) 検証手順

1) ドローンでの空撮 (全15回)



図 4-52 山梨県果樹試験場上空



図 4-53 生産者圃場上空 (ドローンと無人草刈機)

2) RGB 画像を NDVI 画像に変換



図 4-54 上空画像 (RGB)

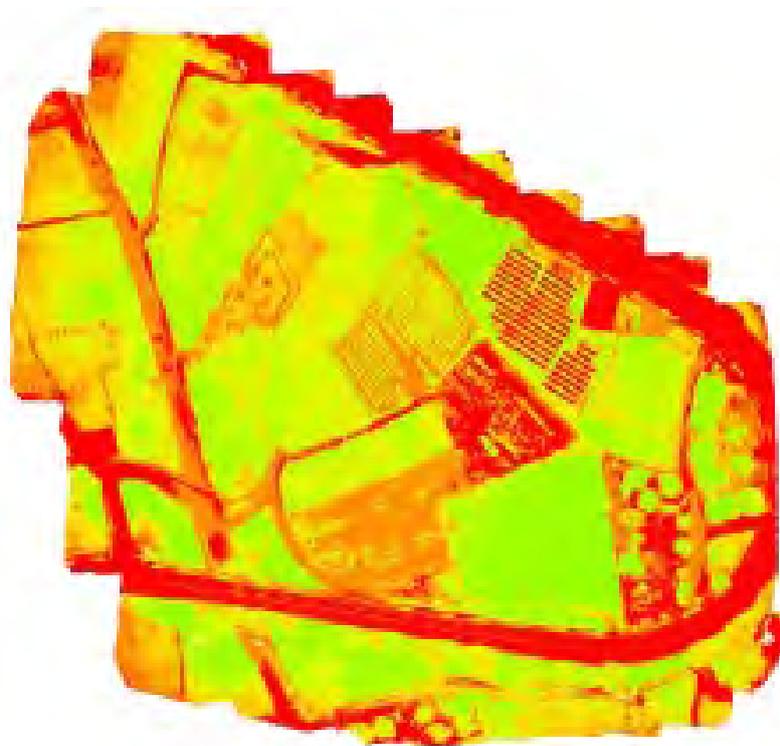


図 4-55 上空画像 (NDVI)

3) NDVI 画像をスマートグラスに投影

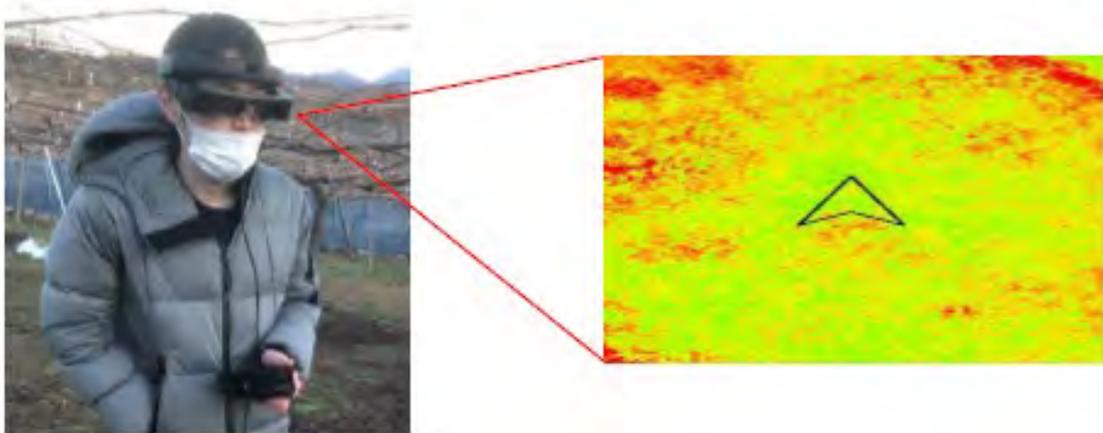


図 4-56 スマートグラス (BT-2000) への投影イメージ

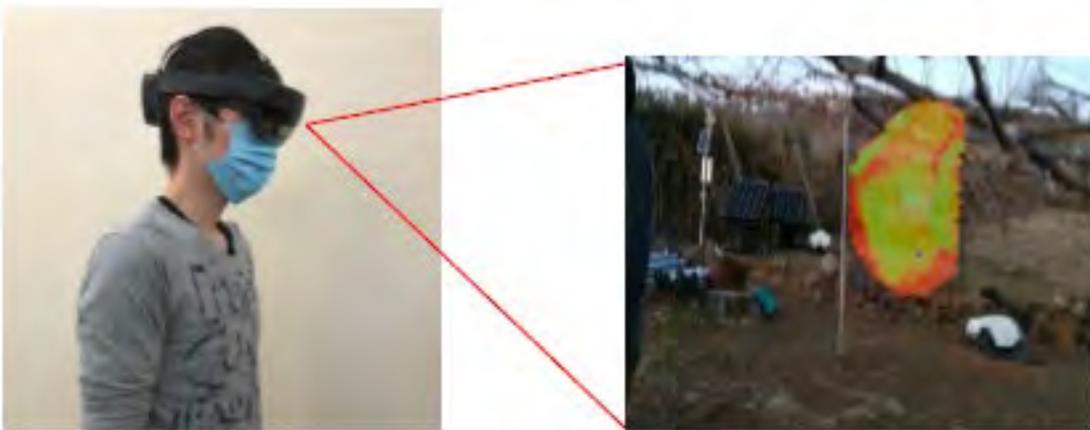


図 4-57 スマートグラス (HoloLens2) への投影イメージ (正面)

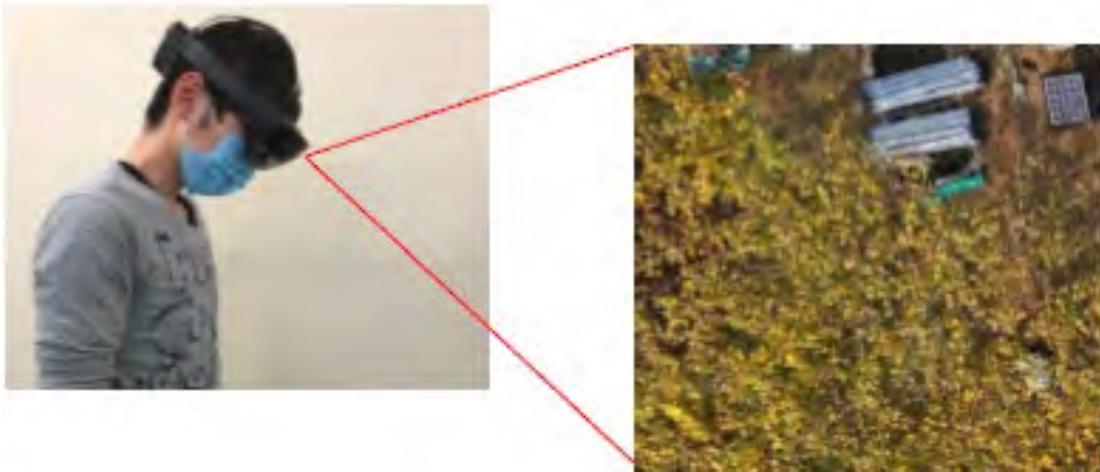


図 4-58 スマートグラス (HoloLens2) への投影イメージ (足元)

4) 誘導実験



図 4-59 目的地の設定



図 4-60 目的地への誘導

4.6.2 生活領域（防犯ソリューション）

4.6.2.1 評価・検証項目

農村地域特有の課題である出荷目の果樹盗難に対する防犯対策効果を計測するために、不審人物・車両の検知率や農村生産者における「不審人物・車両検知システム」の魅力度を検証した。

また、防犯ソリューションの実証において、システム利用者（生産者）に効率化・高度化の観点によるヒアリングを実施した。ヒアリング項目を以下に示す。

- 不審人物の検知方法の有効性について（撮影方法、撮影環境、検知基準等）
- 不審車両の検知方法の有効性について（撮影方法、撮影環境、検知基準等）
- アラート画面の操作方法、UIに対する評価
- 処理の流れ（検知→画面確認→アラーム発報）と運用が合っているか

更に、実証の成果を踏まえて、以下のメリット・デメリットについてシステム利用者及び熟練農業従事者等有識者へのヒアリングを実施する。

メリットとしてヒアリングした内容を以下に示す。

- 盗難リスク低減（盗難被害減少に伴う売上増加）
- 防犯効果の増大（安心獲得による新規就農者拡大への寄与）

デメリットとしてヒアリングした内容を以下に示す。

- IT投資コストの増加（環境構築・維持に伴うコスト増加）
- 設備管理工数の増加（環境構築・維持に伴う工数増加）

4.6.2.2 評価・検証方法

想定されるいくつかの状況で、不審人物・車両の検知率を測定する。

実証に参加した生産者及び、実証地域内の生産者へのヒアリング等により「不審人物・車両検知システム」の導入についての有効性に対する意見、離農防止への考課等移住定住意識への影響を確認する。

4.6.2.3 評価・検証結果（不審人物検知）

各実証項目について、評価・検証結果を示す。

(1) 不審人物の検知率

結果を以下に示す。

- 全体検出率：93.80%
- 最大検知距離：31m
- 不審人物検知からアラート通知メール到達までの時間：1秒以内

表 4.6.2-1 不審人物検知 効果検証結果（検知率）

距離	昼／夜	試験回数	検知回数	検出率
5m	昼	12	12	100%
8m	昼	12	12	100%
10m	昼	12	12	100%
13m	昼	12	12	100%
15m	昼	12	11	91%
5m	夜	24	24	100%
8m	夜	24	24	100%
10m	夜	24	24	100%
13m	夜	24	22	91%
15m	夜	24	16	66%

● 考察

3台のカメラ（圃場内、圃場入口、圃場接続道路）から5m～15mの距離で昼夜の条件で検証を行った。昼間の検証ではほぼ100%に近い検出精度で対象人物を検出出来た。最大検知距離は31m（画角からはみ出る）まで検知出来た。

夜間での検証は13mを超えたところで検出出来ない事象も見られた。赤外線照射装置を使用した場合としない場合（カメラ付属の赤外線機能）の2種類で実証を行ったが、赤外線照射ありの条件では100%検出出来た。

夜間で検出出来ないケースでは、周囲の木や柵との区別が難しい状況で未検知となった。対象の人物は静止している状態よりも動きのある状態の方がより検知出来ていた。

(2) システム利用者（生産者）への効率化・高度化の観点によるヒアリング

以下のような回答が得られた。

表 4.6.2-2 不審人物検知 効果検証結果（検証内容のヒアリング）

評価・検証項目	生産者回答
不審人物の検知方法の有効性	昼夜を問わず不審と思われる人物を検知出来た

(撮影方法、撮影環境、検知基準等)	いる。 夜の不審人物検知において、人物の検知は出来るが画像で人物の特定が難しいケースがあった
アラート画面の操作方法、UI に対する評価	画面のページ送りがスムーズに行えると良い
処理の流れ(検知→画面確認→アラーム発報)と運用が合っているか	特に違和感はない

(3) 実証の成果を踏まえたメリット・デメリットについてシステム利用者及び熟練農業従事者等有識者へのヒアリング

以下のような回答が得られた。

表 4.6.2-3 不審人物検知 効果検証結果 (メリット・デメリットのヒアリング)

評価・検証項目	システム利用者回答
盗難リスク低減 (盗難被害減少に伴う売上増加)	防犯カメラは、盗難リスクを低下させるための有効な手段である。県内の事例でも実際に盗難が少なくなった地域もある。 (熟練農業従事者)
防犯効果の増大 (安心獲得による新規就農者拡大への寄与)	果樹は一年一作であり、手塩にかけたものが盗難にあうことは、収入減よりも心理的ショックが大きく生産意欲を低下させる。安心して農業生産に取り組める環境が、農家の収入を安定させ、新規就農者の増加に繋がる。 (熟練農業従事者)
IT 投資コストの増加 (環境構築・維持に伴うコスト増加)	一括購入よりも比較的安価で月額利用のほうが良い。 収穫期のみ必要となるので、一年中コストが掛かるのは困る。
設備管理工数の増加 (環境構築・維持に伴う工数増加)	カメラの設置はある程度自分で試したいと思うが、簡単な方が良い。 機器(カメラ、端末、電源等)の設置管理が複数箇所にあると煩わしい。

(4) 検証手順

1) 雨よけ圃場の3地点の防犯カメラ映像内にマーカー設置



図 4-61 カメラ 1 (道路側)

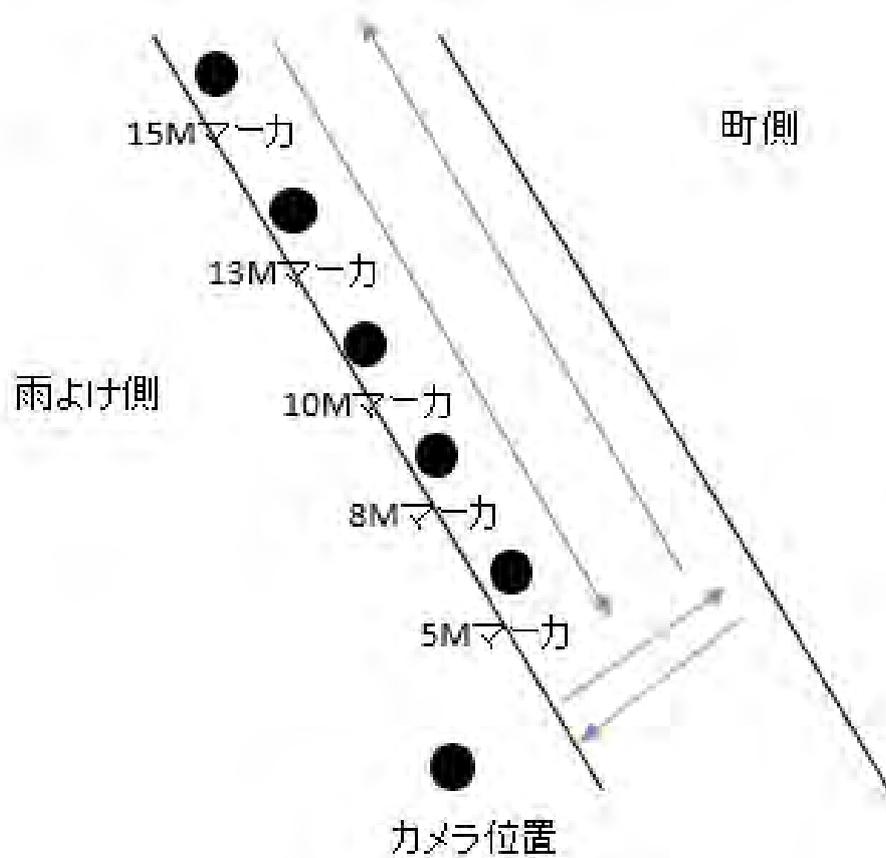


図 4-62 検証時のマーカー位置 (道路側)



図 4-63 カメラ 2 (駐車場)

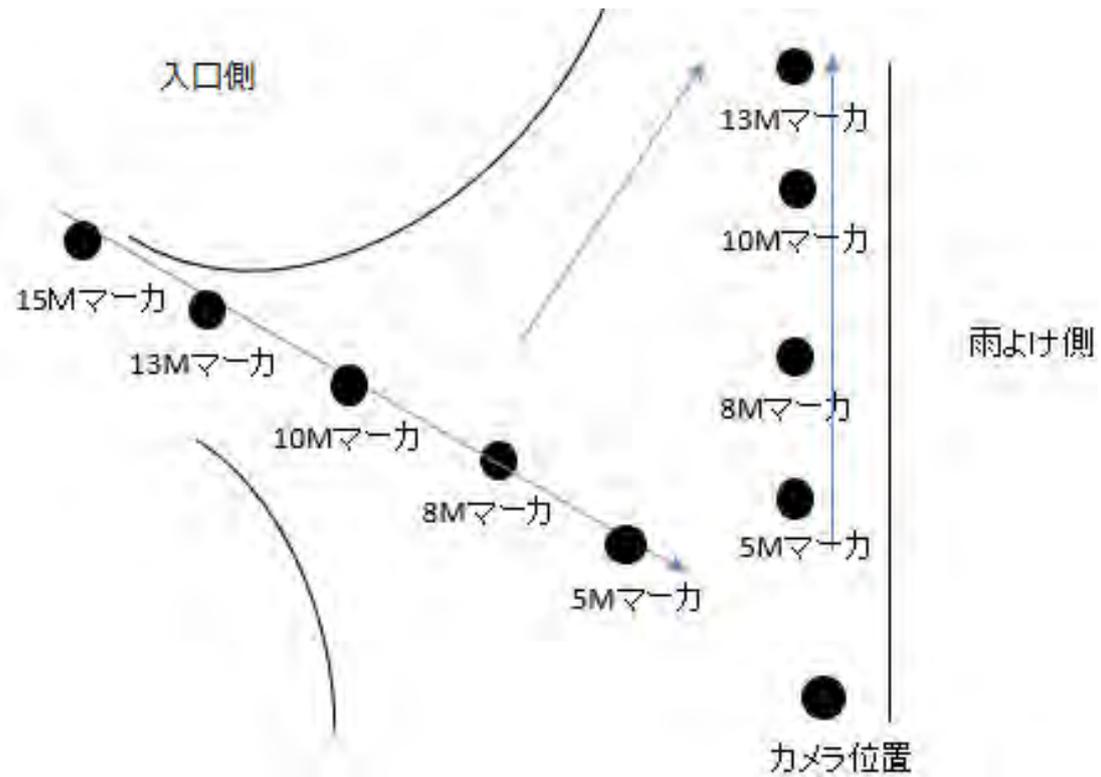


図 4-64 検証時のマーカー位置 (駐車場)



図 4-65 カメラ 3 (圃場内)

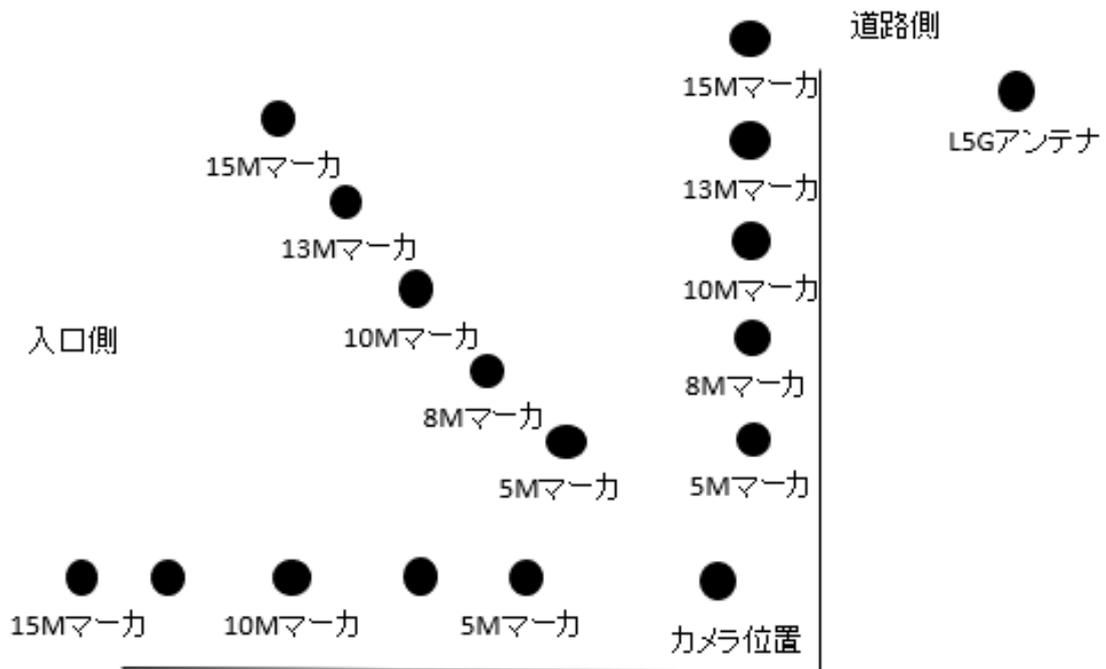


図 4-66 検証時のマーカー位置 (圃場内)

2) 各カメラのマーカに沿って前向き、後向きに人物が歩いて人物検知するか測定

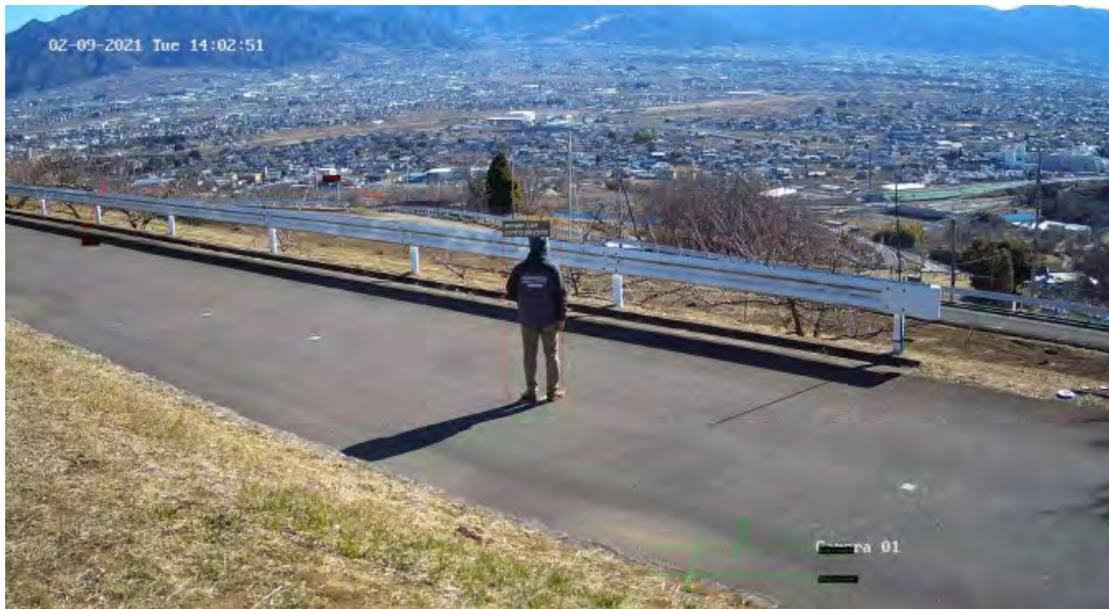


図 4-67 カメラ 1 (道路側) 8m



図 4-68 カメラ 1 (道路側) 15m



図 4-69 カメラ 2 (駐車場) 8m

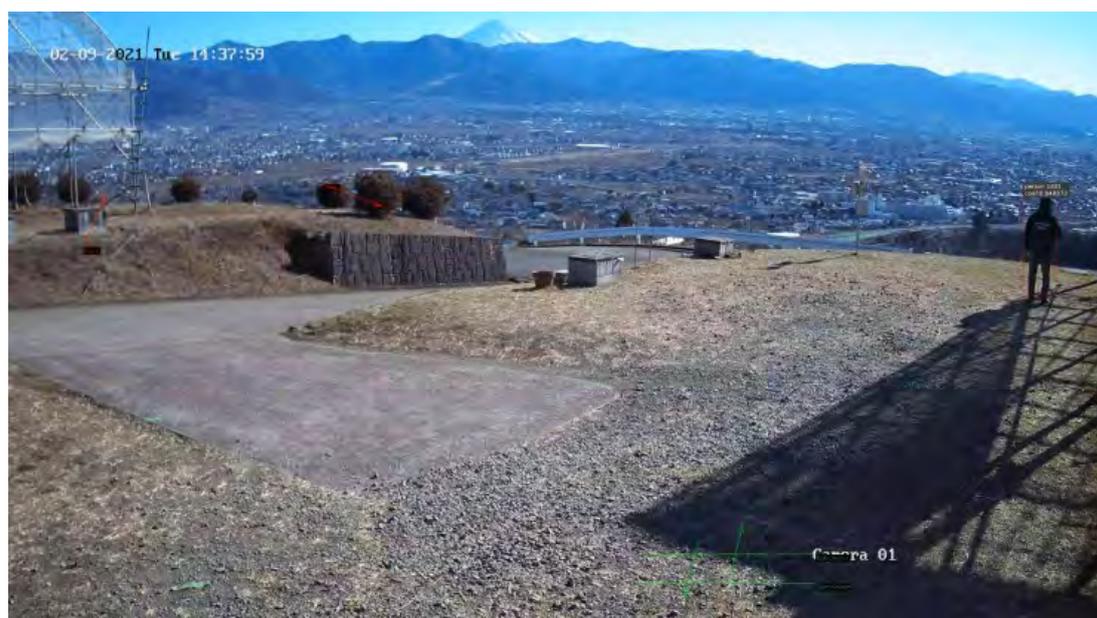


図 4-70 カメラ 2 (駐車場) 15m



図 4-71 カメラ 3 (圃場内) 8m



図 4-72 カメラ 3 (圃場内) 15m

- 3) (夜間)各カメラのマーカに沿って前向き、後向きに人物が歩いて人物検知するか測定 (赤外線の有無もそれぞれ確認)



図 4-73 カメラ 1 (道路側) 8m (簡易赤外線のみ)
(※赤外線照射装置がなくても検知している)



図 4-74 カメラ 1 (道路側) 8m (赤外線照射装置による照射)



図 4-75 カメラ 2 (駐車場) 15m (簡易赤外線のみ)
(※赤外線照射装置がなくても検知している)



図 4-76 カメラ 2 (駐車場) 15m (赤外線照射装置による照射)



図 4-77 カメラ 3 (圃場内) 5m (簡易赤外線のみ)
 (※赤外線照射装置がなくても検知している)



図 4-78 カメラ 3 (圃場内) 5m (赤外線照射装置による照射)

4.6.2.4 評価・検証結果（不審車両検知）

(1) 不審車両の検知率

結果を以下に示す。

- 全体検出率：86.7%
- 検知率の目標条件（距離 8m、速度 20km 以内）による検出率 97%
- 不審人物検知からアラート通知メール到達までの時間：1 秒以内

表 4.6.2-4 不審車両検知 効果検証結果（検知率）

距離	昼/夜	試験回数	検知回数	検出率
8m	昼	10	10	100%
10m	昼	4	4	100%
13m	昼	4	4	100%
15m	昼	4	3	75%
8m	夜	24	23	95%
10m	夜	20	18	90%
13m	夜	16	12	75%
15m	夜	16	11	68%

● 考察

2 台のカメラ（圃場入口、圃場接続道路）から 5m～15m の距離（静止状態）で昼夜の条件で検証を行った。人物の実証と同じく昼間の検証ではほぼ 100% に近い検出精度で対象車両を検出出来た。移動による検知実証は時速 10km～30km の条件で距離 8m の地点を計測した。

夜間でのテストはライト消灯、赤外線照射なしの条件で未検知となるケースが見られたが、赤外線照射ありの条件ではほぼ 100% に近い結果が得られた。また、静止状態よりも走行している状態の方が検知率が高かった。

同時にナンバープレート検知の検証を行ったが、ほぼ未検知の結果となったため、検知方法を再検討し別途追加実証を行った。

(2) ナンバープレート検知

結果を下記に示す。

- 全体検出率：43.2%
- 検知率の目標条件（距離 8m、速度 20km 以内）による検出率 59.1%
- 不審人物検知からアラート通知メール到達までの時間：1 秒以内

表 4.6.2-5 不審車両ナンバープレート検知 効果検証結果（検知率）

距離	昼/夜	試験回数	検知回数	検出率
8m	昼	8	6	75%

10m	昼	8	6	75%
13m	昼	8	3	37.5%
15m	昼	8	3	37.5%
8m	夜	14	7	50%
10m	夜	14	5	35.7%
13m	夜	14	4	28.6%
15m	夜	14	4	28.6%

● 考察

不審車両検知の実証で有効な検知が出来なかったことで、検知方法を見直し追加実証を行った。圃場入口から8m～15mの距離（静止状態）で昼夜の条件で実証を行った。車両の向きも様々な角度で検証を行った。

車両が検知できる状態でもナンバーの検出が出来ないケースがあり、距離が遠い条件で顕著となった。

ナンバーの検知プロセスにおいて、当初は撮影画像（映像）からナンバー枠を検知していたが、ナンバー検知のモデルを見直し、車両の検知を行った上で車両の画像を切り出した後にナンバー枠を検知することで検知率が向上した。

(3) システム利用者（生産者）に効率化・高度化の観点によるヒアリング

以下に示す回答が得られた。

表 4.6.2-6 不審車両検知 効果検証結果（検知率）

評価・検証項目	生産者回答
不審車両の検知方法の有効性 （撮影方法、撮影環境、検知基準等）	不審車両を特定するには、車のナンバーがクリアに写る必要がある。 昼間については問題ないと思うが、夜間は見づらい場合があった。その問題が解決されれば、有効な手段になると思う。
アラート画面の操作方法、 UIに対する評価	画面のページ送りがスムーズに行えると良い
処理の流れ（検知→画面確認→アラーム発報）と運用が合っているか	特に違和感はない

(4) 生産者へのヒアリング

以下に示す回答が得られた。

表 4.6.2-7 房づくり軸長指示 効果検証結果（検証内容のヒアリング）

評価・検証項目	システム利用者回答
---------	-----------

<p>盗難リスク低減 (盗難被害減少に伴う売上増加)</p>	<p>防犯カメラは、盗難リスクを低下させるための有効な手段である。県内の事例でも実際に盗難が少なくなった地域もある。</p>
<p>防犯効果の増大 (安心獲得による新規就農者拡大への寄与)</p>	<p>果樹は一年一作であり、手塩にかけてものが盗難にあうことは、収入減よりも心理的ショックが大きく生産意欲を低下させる。安心して農業生産に取り組める環境が、が農家の収入を安定させ、新規就農者が増加に繋がる。</p>
<p>IT 投資コストの増加 (環境構築・維持に伴うコスト増加)</p>	<p>一括購入よりも比較的安価で月額利用のほうが良い。 収穫期のみ必要となるので、一年中コストが掛かるのは困る。</p>
<p>設備管理工数の増加 (環境構築・維持に伴う工数増加)</p>	<p>カメラの設置はある程度自分で試したいと思うが、簡単な方が良い。 機器（カメラ、端末、電源等）の設置管理が複数箇所にあると煩わしい。</p>

(5) 検証手順（※非公開情報（ナンバープレート）を含むため一部画像を修正）

1) 雨よけ圃場の2地点の防犯カメラ映像内にマーカー設置



図 4-79 カメラ 1（道路側）

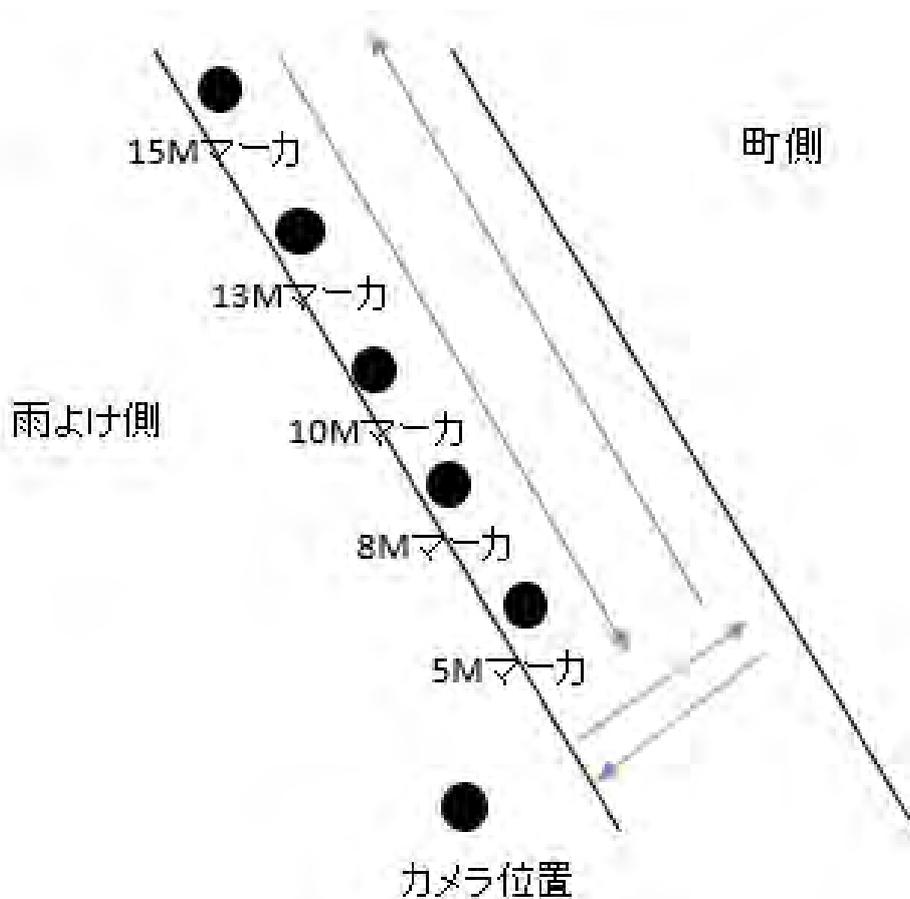


図 4-80 検証時のマーカー位置（道路側）



図 4-81 カメラ 2 (駐車場)

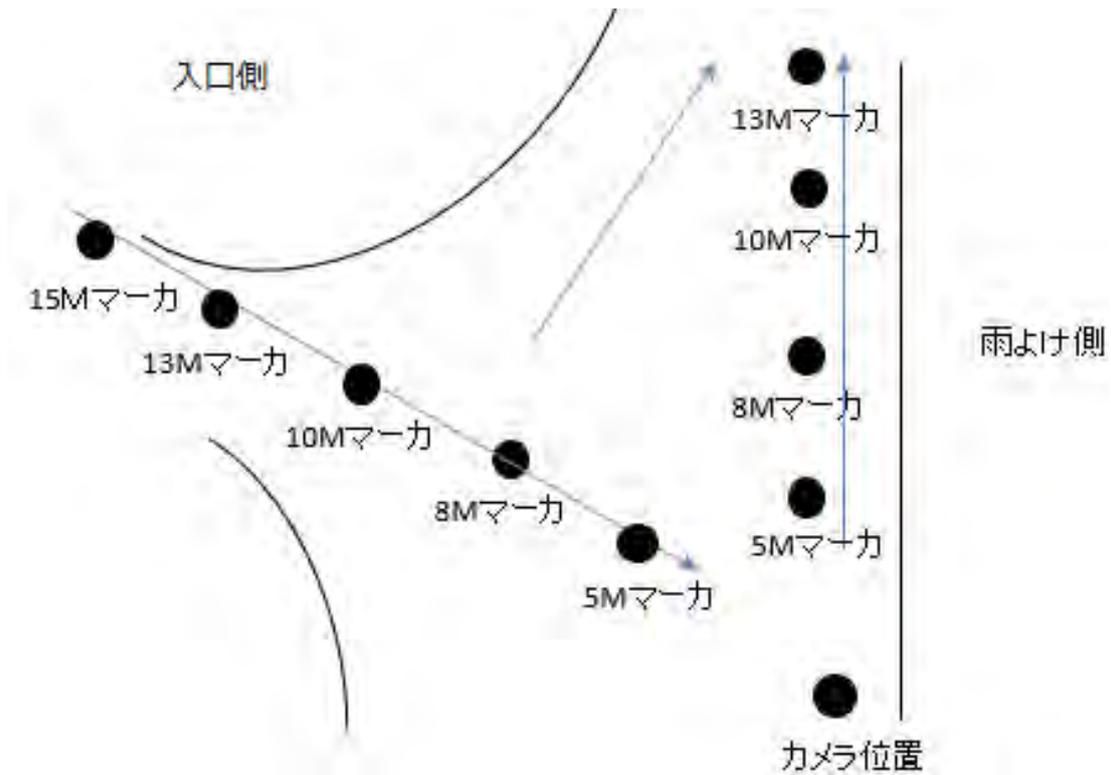


図 4-82 検証時のマーカー位置 (駐車場)

2) 各カメラのマーカーに沿って車を移動して車両検知、ナンバー検知するか測

定



図 4-83 カメラ 1 (道路側) 8m
車両：検知、ナンバー：未検知

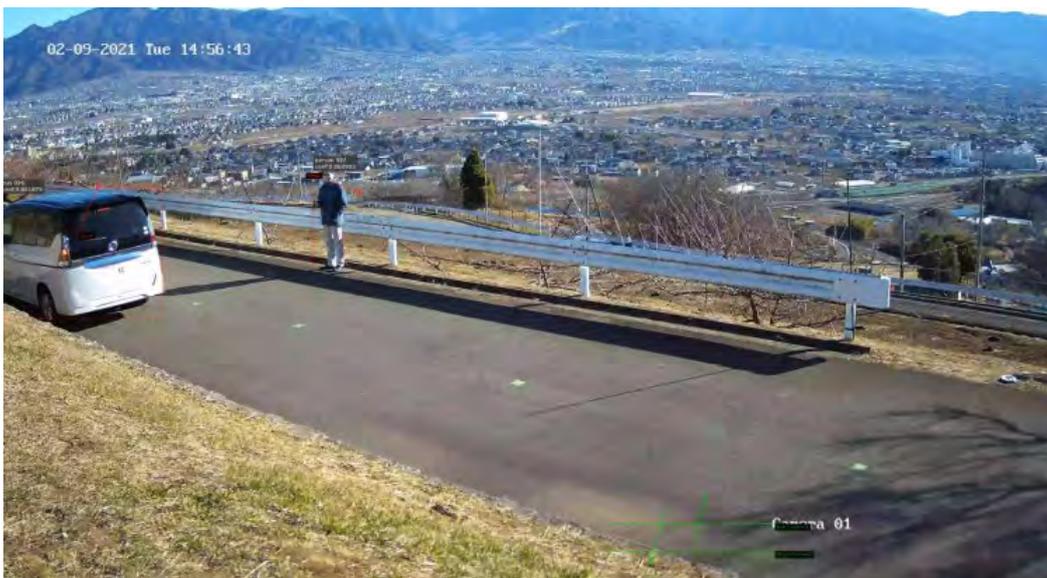


図 4-84 カメラ 1 (道路側) 15m
車両：検知、ナンバー：未検知

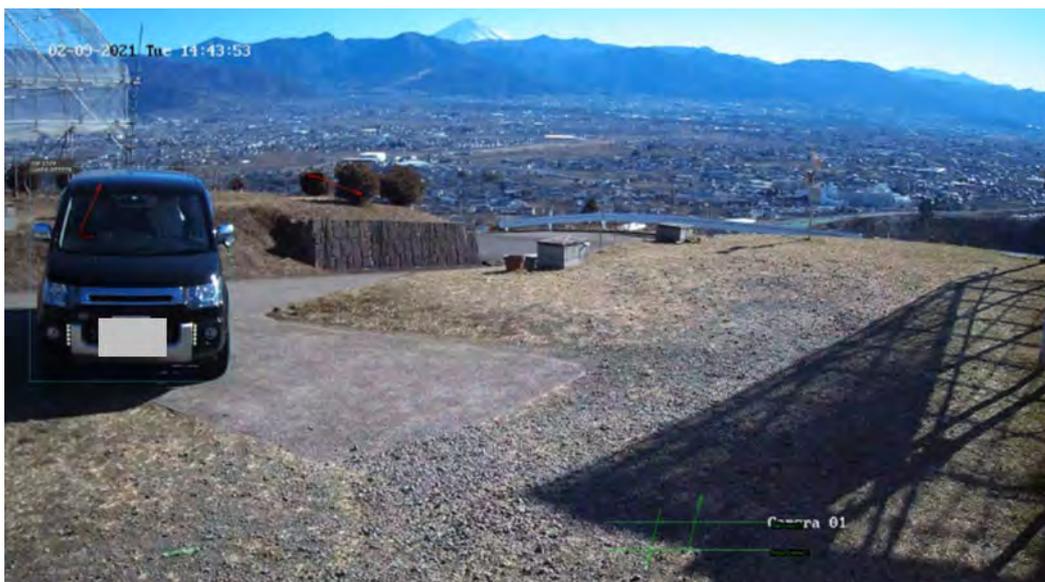


図 4-85 カメラ 2 (駐車場) 8m
車両：検知、ナンバー：未検知

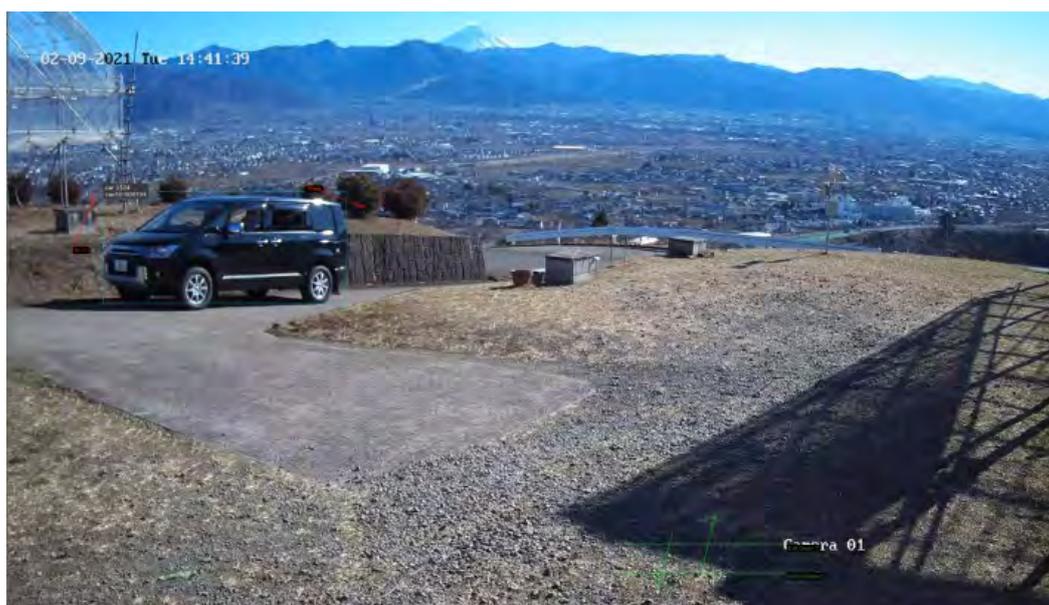


図 4-86 カメラ 2 (駐車場) 15m
車両：検知、ナンバー：未検知

- 3) (夜間)各カメラのマーカに沿って車を移動して車両検知、ナンバー検知するか測定 (ライトの点灯有無、赤外線の有無もそれぞれ確認)



図 4-87 カメラ 1 (道路側) 10m ライトあり、簡易赤外線のみ
車両：検知、ナンバー：検知



図 4-88 カメラ 1 (道路側) 10m ライトあり、赤外線あり
車両：検知、ナンバー：検知



図 4-89 カメラ 2 (駐車場) 15m ライトなし、簡易赤外線のみ
車両：検知、ナンバー：未検知



図 4-90 カメラ 2 (駐車場) 8m ライトなし、赤外線照射装置による照射
車両：検知、ナンバー：未検知

- 4) (ナンバー)圃場入口カメラのマーカに沿って車を移動してナンバー検知するか
測定 (ライトの点灯有無、赤外線の有無もそれぞれ確認)



図 4-91 カメラ 2 (駐車場) 8m
ナンバー：検知



図 4-92 カメラ 2 (駐車場) 15m
ナンバー：未検知



図 4-93 カメラ 2 (駐車場) 5m ライトあり、簡易赤外線のみ
ナンバー：検知



図 4-94 カメラ 2 (駐車場) 8m ライトあり、赤外線あり
ナンバー：検知



図 4-95 カメラ 2 (駐車場) 15m ライトなし、簡易赤外線のみ
ナンバー：未検知



図 4-96 カメラ 2 (駐車場) 8m ライトなし、赤外線照射装置による照射
ナンバー：検知

(6) 防犯ソリューション管理画面

防犯ソリューションにおいては、Web アプリケーションを作成して検証を行った。ログイン画面を以下に示す。



図 4-97 ログイン画面

メインメニュー画面を以下に示す。

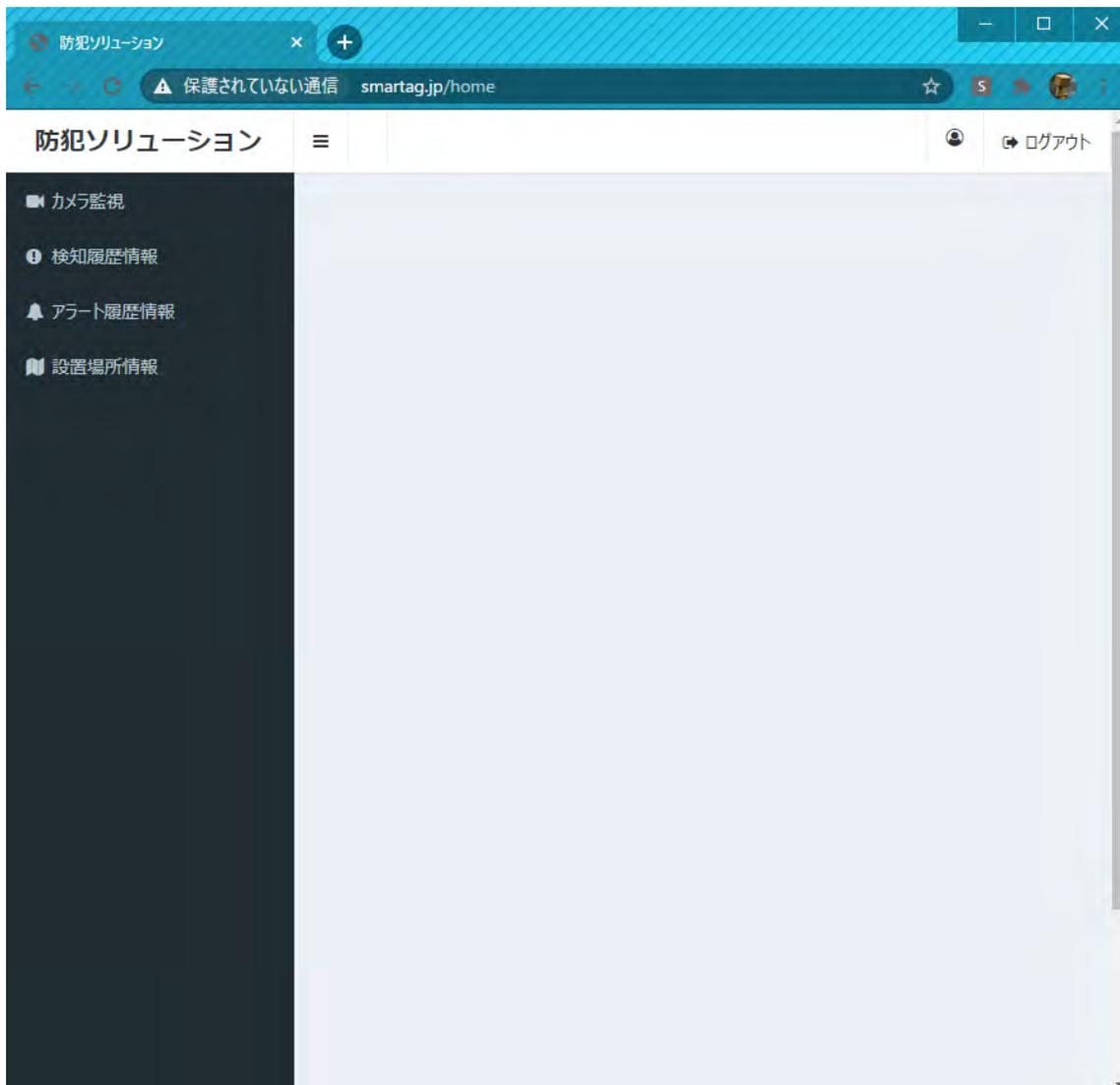


図 4-98 メインメニュー画面

「カメラ監視」画面を以下に示す。

複数カメラを設置している場合、「カメラ」のプルダウンで選択可能である。カメラのリアルタイム映像が表示される。「アラームを鳴らす」ボタンにより現地に設置されたアラーム（光・ブザー）を鳴動可能である。

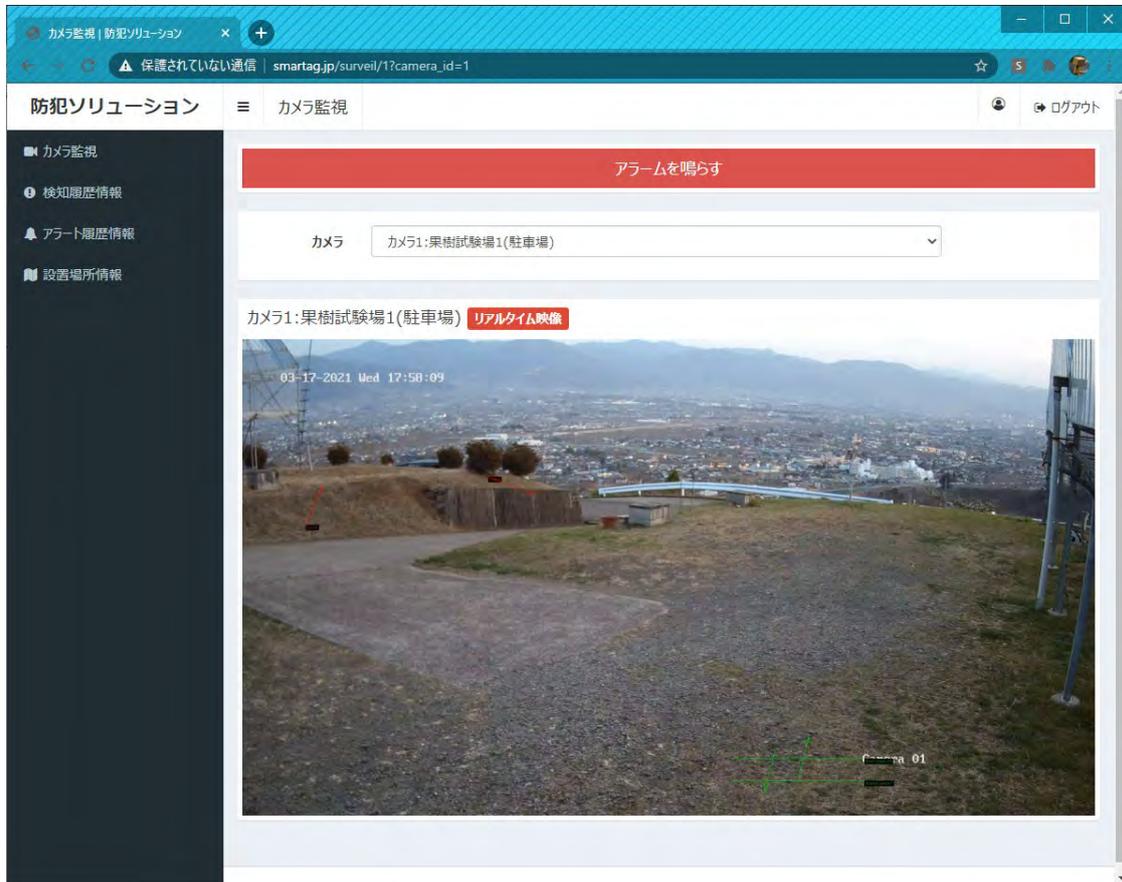


図 4-99 「カメラ監視」画面

「検知履歴情報」画面を以下に示す。
 車両・人物を検知した履歴を表示する画面で、検知した日付、カメラを条件入力し一覧を表示可能である。

The screenshot shows a web browser window with the URL 'smartag.jp/detection'. The page title is '防犯ソリューション' (Security Solution) and the current view is '検知履歴情報' (Detection History Information). On the left, there is a navigation menu with options: 'カメラ監視' (Camera Monitoring), '検知履歴情報' (Detection History Information), 'アラート履歴情報' (Alert History Information), and '設置場所情報' (Installation Location Information). The main content area is titled '検知履歴情報' and contains a search filter section and a results table.

検索条件

検知日付: 2021/03/16 ~ 2021/03/19
 カメラ: 全て

検索結果

10 件表示

検知開始日時	検知終了日時	検知時間	カメラ	通知ステータス	動画
2021/03/17 17:55:37	2021/03/17 17:56:01	00:00:24	カメラ1:果樹試験場1(駐車場)	通知なし	あり
2021/03/17 17:46:54	2021/03/17 17:48:54	00:02:00	カメラ1:果樹試験場1(駐車場)	メール送信・自動アラート	あり
2021/03/17 17:44:46	2021/03/17 17:46:46	00:02:00	カメラ1:果樹試験場1(駐車場)	メール送信・自動アラート	あり
2021/03/17 17:42:31	2021/03/17 17:44:31	00:02:00	カメラ1:果樹試験場1(駐車場)	メール送信・自動アラート	あり

1 - 4 / 4 件

先頭 前へ 1 次へ 末尾

図 4-100 「検知履歴情報」画面

「検知情報詳細」画面を以下に示す。
一覧から検知日時リンクをクリックすると検知した履歴映像、情報を確認可能である。

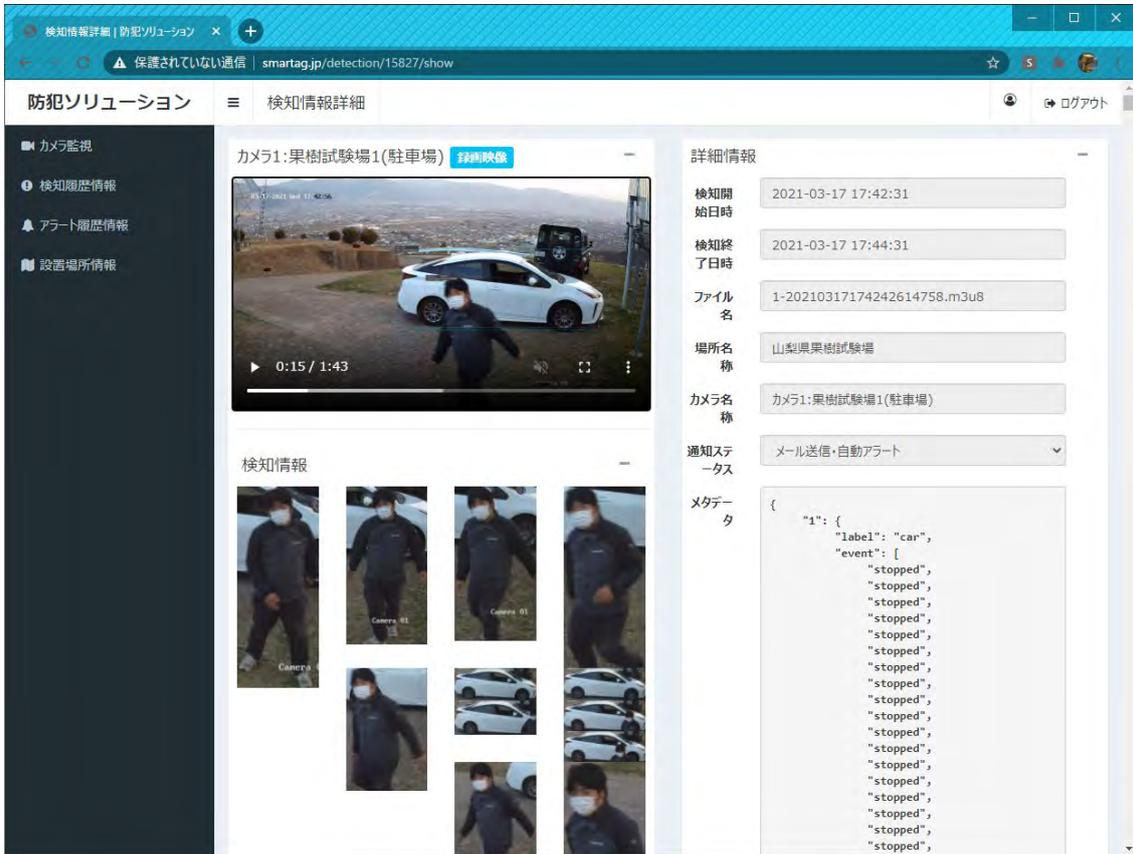


図 4-101 「検知情報詳細」画面

「アラート履歴情報」画面を以下に示す。

検知情報が自動でメール通知された履歴、およびカメラ監視画面から手動でアラームを鳴らした履歴が一覧で表示される。「検知情報へ」のリンクをクリックすると検知情報詳細画面が表示される

The screenshot shows the 'Alert History Information' page. The left sidebar contains the following menu items: カメラ監視, 検知履歴情報, アラート履歴情報, and 設置場所情報. The main content area has a search section with a date range selector and a '検索' button. Below the search section is a table of search results. The table has columns for 'トリガー', 'アラート日時', '自動手動', and '通報者'. The results show a list of alerts with their respective triggers, timestamps, and notification methods.

トリガー	アラート日時	自動手動	通報者
検知情報へ	2021/03/17 17:49:25	自動	-
検知情報へ	2021/03/17 17:47:05	自動	-
検知情報へ	2021/03/17 17:44:56	自動	-
検知情報へ	2021/03/17 17:43:15	自動	-
カメラ監視	2021/03/17 17:41:42	手動	システム管理者
カメラ監視	2021/03/17 17:40:04	手動	グループ管理者
検知情報へ	2021/02/24 09:37:59	自動	-
検知情報へ	2021/02/19 09:26:29	自動	-
検知情報へ	2021/02/19 09:26:23	自動	-
検知情報へ	2021/02/18 16:34:32	自動	-

1 - 10 / 142 件

先頭 前へ 1 2 3 4 5 ... 15 次へ 末尾

図 4-102 「アラート履歴情報」画面

「設置場所情報」画面を以下に示す。
 システムの設置場所、カメラ、アラート機器の情報を表示する画面である。
 ※車両ホワイトリスト設定については機能未実装のため未使用
 ※非公開情報（ナンバープレート）を含むため一部画像を修正



図 4-103 「設置場所情報」画面

4.7 課題解決システムに関する機能検証

課題解決システムの実装に必要な機能について、実証の結果をもとに、大学及び農業関連の有識者等の意見を踏まえ課題と解決策を検討した。

4.7.1 農業領域（匠ソリューション）

4.7.1.1 評価・検証項目

課題解決システムの実証を通して、それぞれ以下の観点について評価・分析を行い、実装に必要な機能について検証を行った。

(1) 「房づくり軸長指示」の評価項目

- 安全性
- 作業品質性
- 効率性
- 操作性
- 経済性

(2) 「適粒切除粒数表示」の評価項目

- 安全性
- 作業品質性
- 効率性
- 操作性
- 経済性

(3) 「適期収穫色判断」の評価項目

- 安全性
- 作業品質性
- 効率性
- 操作性
- 経済性

(4) 「植生指数表示」の評価項目

- 安全性
- 作業品質性
- 効率性
- 操作性
- 経済性

4.7.1.2 評価・検証方法

- 課題解決システムについて、実証結果及び評価、分析の結果を踏まえ、実装に必要な機能を整理する。
- プロトタイプ段階で大学有識者や生産者に利用して頂き意見を求める。
- 意見を踏まえ、課題と解決策を検討する。

4.7.1.3 評価・検証結果

各実証項目について、評価・検証結果は以下の表のとおりとなった。

(1) 房づくり軸長指示

表 4.7.1-1 房づくり軸長指示 機能検証結果

評価項目	評価・分析	実装に必要な機能
安全性	①スマートグラス装着時に狭い視野角となることによる転倒の危険 ②スマートグラスの重量によるぐら付き（転倒・落下）	①BT-2000は頭部装着の安定性が悪く、重量もあるため、他のスマートグラスを採用する。 ②メガネ型のウェアラブルデバイスが良い。
作業品質性	①スマートグラスに投影される指示線により正確な軸長を検出	①現実と仮想（作業指示線表示）の重畳表示を可能とすることで品質は向上する
効率性	①作業用ハサミについているメジャーを使用したほうが効率的 ②長時間利用にも耐えうる装着性	①応答時間の高速化が必要 ②装着性についてはスマートグラスの今後の進化、汎用化により改善が見込まれる。
操作性	①対象物をスマートグラスで捉え、焦点を合わせるのに慣れが必要 ②スマートグラス上での操作は行いにくい	①誰でも直感で焦点を合わせられるような表示方法にする。 ①画像追跡機能で対象物を捉えやすいようにする。 ②スマートグラスの操作は別端末で操作できるようにする。
経済性	①スマートグラス購入費が高額である ②ローカル5G利用は高額である	①安価なスマートグラスを評価し採用する。 ②キャリア5Gでの利用を可能とする。

(2) 適粒切除粒数表示

表 4.7.1-2 適粒切除粒数表示 機能検証結果

評価項目	評価・分析	実装に必要となる機能
安全性	<ul style="list-style-type: none"> ①スマートグラス装着時に狭い視野角となることによる転倒の危険 ②スマートグラスの重量によるぐら付き（転倒・落下） 	<ul style="list-style-type: none"> ①BT-2000 は頭部装着の安定性が良くなく、重量もあるため、他のスマートグラスを採用する。 ②メガネ型のウェアラブルデバイスが良い。
作業品質性	<ul style="list-style-type: none"> ①スマートグラスに投影される粒数カウンタにより適切な粒を切除できる ②スマートグラスで房を捉える角度により粒数カウンタが変わる 	<ul style="list-style-type: none"> ①現実と仮想（作業指示線表示）の重畳表示を可能とすることで更に品質は向上する。 ②房を上から捉えた場合、水平に捉えた場合、下から捉えた場合、それぞれの捉え方による学習を行う。
効率性	<ul style="list-style-type: none"> ①切除対象粒の表示により効率化が図られる ②切除対象粒を切除後、すぐに次の切除対象が表示される ③長時間利用にも耐えうる装着性 	<ul style="list-style-type: none"> ①重畳表示でかつ切除対象粒を表示する ②応答時間の高速化が必要 ③装着性についてはスマートグラスの今後の進化、汎用化により改善が見込まれる。
操作性	<ul style="list-style-type: none"> ①対象物をスマートグラスで捉え、焦点を合わせるのに慣れが必要 ②スマートグラス上での操作は行いにくい 	<ul style="list-style-type: none"> ①誰でも直感で焦点を合わせられるような表示方法にする。 ①画像追跡機能で対象物を捉えやすいようにする。 ②スマートグラスの操作は別端末で操作できるようにする。
経済性	<ul style="list-style-type: none"> ①スマートグラス購入費が高額である ②ローカル 5 G 利用は高額である 	<ul style="list-style-type: none"> ①安価なスマートグラスを評価し採用する。 ②キャリア 5 G での利用を可能とする。

(3) 適期収穫色判断

表 4.7.1-3 適期収穫色判断 機能検証結果

評価項目	評価・分析	実装に必要な機能
安全性	<ul style="list-style-type: none"> ①スマートグラス装着時に狭い視野角となることによる転倒の危険 ②スマートグラスの重量によるぐら付き（転倒・落下） 	<ul style="list-style-type: none"> ①BT-2000 は頭部装着の安定性が良くなく、重量もあるため、他のスマートグラスを採用する。 ②メガネ型のウェアラブルデバイスが良い。
作業品質性	<ul style="list-style-type: none"> ①収穫環境（光の影響）により色判定結果が大きく変わってくる ②判定結果の均一性 ③色による判定は良くても糖度が足りない房がある 	<ul style="list-style-type: none"> ①光の影響を補正しながら常に最適な判定結果が得られるようにする。 ②捉えた房が動いても、大きく結果が変動しない仕組。 ③判定値と糖度の相関関係はないため、別の判定基準が必要。
効率性	<ul style="list-style-type: none"> ①デジタルで判定結果が認識できるため効率的 ②判定結果のブレがあると結果的に効率が落ちてしまう 	<ul style="list-style-type: none"> ①なし ②判定結果の変動を抑える。
操作性	<ul style="list-style-type: none"> ①対象物をスマートグラスで捉え、焦点を合わせるのに慣れが必要 ②スマートグラス上での操作は行いにくい 	<ul style="list-style-type: none"> ①誰でも直感で焦点を合わせられるような表示方法にする。 ①画像追跡機能で対象物を捉えやすいようにする。 ②スマートグラスの操作は別端末で操作できるようにする。
経済性	<ul style="list-style-type: none"> ①スマートグラス購入費が高額である ②ローカル 5 G 利用は高額である 	<ul style="list-style-type: none"> ①安価なスマートグラスを評価し採用する。 ②キャリア 5 G での利用を可能とする。

(4) 植生指数表示

表 4.7.1-4 植生指数表示 機能検証結果

評価項目	評価・分析	実装に必要な機能
安全性	①スマートグラス装着時に狭い視野角となることによる転倒の危険 ②スマートグラスの重量によるぐら付き（転倒・落下）	①BT-2000 は頭部装着の安定性が良くなく、重量もあるため、他のスマートグラスを採用する。 ②メガネ型のウェアラブルデバイスが良い。
作業品質性	①スマートグラスの位置表示だけでは、目的地に到達しにくい ②他スマートグラスによる表示	①スマートグラスの目的地誘導方法の見直し。 ②HoloLens2 による表示では、足元付近を見ながらの誘導では良い結果が得られた。
効率性	①NDVI 画像の誘導では時間が掛かった。	①NDVI 画像での現在地の見にくさと移動時間の短縮のために「NDVI 画像＋RGB 画像」の組み合わせが一番効果的と思われる。
操作性	①目的地をスマートグラスで把握し、スマートグラスに頼り目的地に到達するのは慣れが必要 ②スマートグラス上での操作は行いにくい	①誰でも直感に進む方向がわかるような表示方法にする。 ②スマートグラスの操作は別端末で操作できるようにする。
経済性	①スマートグラス購入費が高額である ②ローカル 5 G 利用は高額である	①安価なスマートグラスを評価し採用する。 ②キャリア 5 G での利用を可能とする。

4.7.2 生活領域（防犯ソリューション）

4.7.2.1 評価・検証項目

課題解決システムの実証を通して、それぞれ以下の観点について評価・分析を行い、実装に必要な機能について検証を行った。

4.7.2.2 評価・検証方法

・課題解決システムについて、ア 課題解決システムに関する検証及び評価、分析の結果を踏まえ、実装に必要な機能を整理する。

- ・プロトタイプ段階で大学有識者や生産者に利用して頂き意見を求める。
- ・意見を踏まえ、課題と解決策検討する。

4.7.2.3 評価・検証結果

各実証項目について、評価・検証結果は以下の表のとおりとなった。

(1) 不審人物検知

表 4.7.2-1 不審人物検知 機能検証結果

評価項目	評価・分析	実装に必要となる機能
検出率	夜間の距離が 13m 以上で検出率の低下が始まる。生産者の圃場の広さにより検出率 100%となるようなカメラを設置すると、多くの経費を要することになる。	安価なカメラで検出距離が長い仕組みが必要となる。

(2) 不審車両検知

表 4.7.2-2 不審車両検知 機能検証結果

評価項目	評価・分析	実装に必要となる機能
検出率	夜間の距離が 10m 以上で検出率の低下が始まる。生産者の圃場の形状や道路設置状況より検出率 100%となるようなカメラを設置すると、多くの経費を要することになる。	安価なカメラで検出距離が長い仕組みが必要となる

(3) ナンバープレート検知

表 4.7.2-3 ナンバープレート検知 機能検証結果

評価項目	評価・分析	実装に必要となる機能
検出率	昼間の距離が 13m 以上、また夜間の距離が 10m 以上で検出率の低下が始まる。生産者の圃場の形状や道路設置状況より検出率 100%となるようなカメラを設置すると、多くの経費を要することになる。	安価なカメラで検出距離が長い仕組みが必要となる

4.8 課題解決システムに関する運用検証

多くの地域で活用可能なシステムとするために、気象条件や時間帯、圃場の広さ、利用者特性といった観点を考慮した運用課題を設定し検証した。

4.8.1 農業領域（匠ソリューション）

4.8.1.1 評価・検証項目

- ① 気象条件、時間帯による運用課題
（周囲の明るさや日差しなどの条件による違いを確認）
- ② 圃場の広さ、地形による運用課題
（圃場で実用した際の充電やバッテリー交換の頻度を確認）
- ③ 生産者の経験年数、年齢、性別などの利用者特性による運用課題
（利用者の目の状態、男性や女性、子供など身長による違いを確認）

4.8.1.2 評価・検証方法

- ① 気象条件、時間帯による運用課題
 - ・スマートグラス作業における天候（晴れ／曇り）や時間帯（昼／夕）による対象物認識の違い有無、捕捉可否、認識までの時間を計測
- ② 圃場の広さ、地形による運用課題
 - ・スマートグラスでの連続作業可能時間（満充電時）を計測し、生産者とともに作業時間と圃場の広さ、地形によるシステム運用時間のバランスを確認
- ③ 生産者の経験年数、年齢、性別などの利用者特性による運用課題
 - ・視力や年齢によりスマートグラスでの表示がどの程度まで見えるか、また長時間使用時の影響をヒアリング等により確認
 - ・身長（対象物を見る高さ）を変えてスマートグラスでの房の検出に違いが出るか確認

4.8.1.3 評価・検証結果

各実証項目について、評価・検証結果は以下の表のとおりとなった。

表 4.8.1-1 農業領域（匠ソリューション） 運用検証結果

評価項目	評価・分析
①気象条件、時間帯による運用課題	<p>昼間及び晴れの天候においては直射日光による影響により検出精度に違いが出た。実際の運用では葉が茂った状態での使用のため、昼間及び晴れの状態であっても直射日光による影響は少ないと考えられる。</p> <p>夕方且つ曇りの状況下では対象物の捕捉がしづらいとの意見があった。</p> <p>天候／時間帯の違いによる対象物の検出時間については違いがみられなかった。</p>
②圃場の広さ、地形による運用課題	<p>スマートグラス（MOBILIO）のバッテリーの持続時間は約6時間のため、一日連続して使用した場合はバッテリー切れとなる。予備のバッテリーを用意する必要がある。</p>
③生産者の経験年数、年齢、性別などの利用者特性による運用課題	<p>年齢による違いとしては、高齢者の場合スマートグラスに焦点を合わせるのが難しいという事象が見られた。</p> <p>また、長時間スマートグラスを掛け続けることの疲労については女性や高齢者等の体力の違いによる影響がみられた。</p> <p>身長の違いにより、ブドウの房を見る角度によって検出結果に違いが出たケースがあった。ブドウの房に対して水平位置での作業が望ましく、作業環境、作業姿勢を検討する必要がある</p>

4.8.2 生活領域（防犯ソリューション）

4.8.2.1 評価・検証項目

- ① 気象条件、時間帯による運用課題
（盗難発生時の周囲の状況による違いを確認）
- ② 圃場の広さ、地形による運用課題
（周囲の明るさの違い及び圃場のどの範囲までカバーできるのか確認）

4.8.2.2 評価・検証方法

<生活領域：防犯ソリューション>

- ① 気象条件、時間帯による運用課題
 - ・不審人物及び不審車両検知について、天候（晴れ／曇り）や時間帯（昼／夕）での精度、検知可能な距離を確認
- ② 圃場の広さ、地形による運用課題
 - ・不審人物及び不審車両検知について、検知可能な距離を計測し、圃場の広さ、地形による検知範囲を確認

4.8.2.3 評価・検証結果

各実証項目について、評価・検証結果は以下の表のとおりとなった。

表 4.8.2-1 生活領域（防犯ソリューション） 運用検証結果

評価項目	評価・分析
①気象条件、時間帯による運用課題	夜間より昼間の方が検知率が高い結果となったが、盗難の最も多い夜間の時間帯での実証においても赤外線照射装置により不審人物・不審車両を検知することが出来た。
②圃場の広さ、地形による運用課題	不審人物の検知の限界距離が 25m 程度である点を考慮した上で設置場所、台数を選定する必要がある。 ただし、圃場の全てのエリアをカバーする必要はなく、車両や人物の出入箇所を重点的に設置場所を検討する方が効率的と考える。

4.9 まとめ

4.9.1 農業領域（匠ソリューション）

匠ソリューションでは、作業員（生産者）の生産性向上のために的確な情報（作業アドバイス）を的確なタイミングで提供することが求められる。この実現には、作業員の作業中思考、行動の妨げにならない仕組みを提供することが必要であり、この課題を解決するため技術的な側面では、通信品質の向上、分析技術の向上、デバイス技術の向上が必要となる。

現時点で各ソリューションの有用性を向上するためには、通信品質（無線通信）の向上が第一に挙げられる。無線通信によりフィールドでの提供エリアの自由度が大幅に改善され、作業員の作業妨げとならない情報を提供することが可能となる。高詳細な画像情報（大容量データ）をフィールドから分析技術に伝送することで高精度の分析結果が得られ、この結果をデバイスに瞬時（低遅延）に伝送することが必要と考えられる。高詳細な画像情報（大容量データ）をデバイスに瞬時（低遅延）に伝送することを実現するローカル 5G を活用することにより、大幅な通信品質を向上することが期待できる。

高詳細な画像情報として、現時点の期待されるデータは、画像分析用データとしてデバイス側から HD 画質（720p）相当のデータを伝送することが好ましい。将来は、フル HD（1080p）4K（2160p）、相当の画像データを使用することでより高精度の分析が可能であり、使用用途の広がりが期待される。

例えば、現在検討している作業は対象生産物を 1 とした分析であるが、より高解像度となったデータ伝送が可能となると、生産物を複数（俯瞰的な状態）の状態の情報を送信し、生産物を複数の状態で優先順位や対処すべき生産物を特定し、より作業効率を高める事が可能となる。このような作業の効率性を追求することには、より通信品質（無線通信）の高い技術が求められていく。

ローカル 5G は、本実証実験の分野における作業エリア分布を考慮し、安定的にサービス品質を提供するための基幹となる技術となりえる。また、同一エリアの複数作業員の思考、行動の妨げにならない情報伝送に必要な技術であり、継続的な品質、作業効率向上に必要な通信インフラ基盤としての活用が十分に期待できる。

4.9.2 生活領域（防犯ソリューション）

防犯ソリューションでは生産物の盗難防止のための監視ポイントとして、運搬手段である不審車両（ナンバープレート含む）の検出、対象生産品までの経路における不審人物の検出が求められている。この実現には、生産エリアとその周辺をより効率的に検出することが必要であり、主に技術面の課題は、通信品質の向上、分析技術（AI による分析、蓄積した画像情報の効率的なデータ整理）の向上、デバイス技術の向上が挙げられる。

現時点で大きく有用性を向上するためには、通信品質（無線通信）の向上が挙げられる。この仕組みで必要となる技術は、高解像度カメラによる映像で不審車両、不審人物を正確に検出することが期待されている。監視対象は生産エリアとその周辺となり 10a～100a を想定している。効率的にカメラを主とする映像監視装置を設置して検出する仕組みが必要であり、カメラを設置個所から広域で捉え、広い検出エリアを確保できる高解像度の映像(画像)情報、自由な設置を可能とする高品質な無線通信技術が必要と考えられる。カメラの解像度が低い場合、検出率が低くなり監視の目的を達成できない可能性が高くなる。また、高解像度カメラを設置するためには、高品質な通信環境が必要となるため有線ネットワークや有線ネットワークに類する通信速度を持つ無線ネットワーク(Wifi:有効範囲が数十メートル程度)の工事が求められ、カメラの設置場所の柔軟性は損なわれる。

効率的なカメラ検出を実現するためには、高い解像度（大容量データ）の伝送、比較的広域な設置を柔軟に提供する高品質な無線技術（高品質）を提供することで生産物盗難時の検出率を向上することが可能となる。したがって高い解像度（大容量データ）の伝送、無線技術（高品質）を実現するローカル 5 G を活用することで検出率を向上することが可能となる。

不審車両、不審人物を検出する仕組みとして、現時点の技術から期待されるデータは、映像分析用データとしてカメラから 4K（2160p 20fps）相当のデータを伝送することが好ましい。将来は、8K（4320p 120fps）相当のデータを使用することでより細かな検出、高効率なエリアカバーが期待される。

例えば、カメラ設置においては高解像度であることにより、より広域にエリアを捉え情報を送信することが可能となる。さらなる設置環境の効率化により導入環境の容易性を確保することが可能となる。また、不審人物の検出においても、現時点では人物特定に留まるが、個人特定可能な顔認証等の技術も高解像度であることで活用することが実現できる。このような高度な監視を追求することには、より高品質な無線通信技術が求められていく。

ローカル 5 G は、本実証実験の分野における作業エリア分布を考慮し、安定的にサービス品質を提供するための最適な通信手段となりえると言える。同一エリアの環境に柔軟に設置可能な仕組みを提供し、効率的なカメラ位置による監視を容易に構築が可能である。少ないカメラで不審車両・不審人物を検出することが可能となる技術であり、継続的な品質、作業効率向上に必要な通信インフラ基盤としての活用が十分に期待できる。

5. ローカル5Gの性能評価の技術実証

本章では、ローカル5Gの実証内容及び実証結果について記載する。

5.1 前提条件

4.7GHz帯における電波伝搬特性の解明及び端末（4Kカメラ・スマートグラス等）からの映像伝送等を想定したローカル5Gの性能評価等を実施した。電波伝搬特性の解明においては、実証地域と類似する他の多くの地域で活用可能で、圃場環境に適した電波伝搬モデルの導出を行った。また、技術実証の実施にあたって、以下の点に留意した。

圃場環境に適した電波伝搬モデルの導出において、国際規格に依拠した電波伝搬モデルを基本モデルの候補とするなど、ITU及び3GPPにおける5Gの標準化に関する検討状況ならびに「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った。

課題実証のために構築する課題解決システムを用いることで、既存の無線システムに影響を与えないよう、検証を行った。

事前にフィールド測定の実施方法を十分に具体化して必要な測定機材を手配し、測定機材を設置する作業台等を含め、測定機器類、測定環境等については請負者で準備した。

5.1.1 装置諸元

以下に基地局（BS：BaseStation）、移動局（MS：MobileStation）の諸元を示す。なお、本システムはDL：UL=4：1の同期モードでの運用である。

表 5.1.1-1 基地局相当装置諸元（BS1）

項目	実験試験局（基地局相当）諸元
変調方式（1次変調）	QPSK, 16QAM, 64QAM
変調方式	OFDMA
複信方式	TDD
帯域幅	10 MHz
中心周波数	2.585GHz
送信電力	0.1W(+20dBm) ×2 （1局合計 0.2W）
最大 EIRP	+24.0dBm （1局合計 +27.0dBm）
アンテナ構成	無指向性アンテナ ×2
アンテナ利得	4dBi
アンテナ高	圃場 9m/農業用ハウス・雨よけ 4m
申請希望局数	3局
システム構成	NSA 構成

表 5.1.1-2 基地局相当装置緒元 (BS2)

項目	実験試験局 (基地局相当) 緒元
変調方式 (1次変調)	QPSK, 16QAM, 64QAM
変調方式	DL: OFDM UL: OFDM/DFT-s-OFDM
複信方式	TDD
帯域幅	100 MHz (100MHz × 1CC)
中心周波数	4.75GHz
送信電力	2.77W(+34.4dBm) × 2 (1局合計 5.54W)
最大 EIRP	+48.4dBm (1局合計 +51.4dBm)
アンテナ構成	指向性アンテナ × 2
アンテナ利得	17dBi
アンテナ高	圃場 10m/農業用ハウス・雨よけ 5m
申請希望局数	3局
システム構成	NSA 構成

表 5.1.1-3 基地局相当装置緒元 (MS1)

項目	実験試験局 (基地局相当) 緒元
変調方式 (1次変調)	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
変調方式	DFT-Spread OFDM
複信方式	TDD
帯域幅	10 MHz
中心周波数	2.585GHz
送信電力	200mW (+23dBm)
最大 EIRP	+23 dBm
アンテナ構成	無指向性アンテナ
アンテナ利得	1 dBi
アンテナ高	1 m
申請希望局数	5局
システム構成	NSA 構成

表 5.1.1-4 基地局相当装置緒元 (MS 2)

項目	実験試験局 (基地局相当) 緒元
変調方式 (1次変調)	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
変調方式	OFDM
複信方式	TDD
帯域幅	100 MHz (100MHz × 1CC)
中心周波数	4.75GHz
送信電力	200mW (+23dBm)
最大 EIRP	+23.4 dBm
アンテナ構成	無指向性アンテナ
アンテナ利得	2.4 dBi
アンテナ高	1 m
申請希望局数	5 局
システム構成	NSA 構成

今回の実証環境にて構築したネットワークの全体構成は下図の通り。

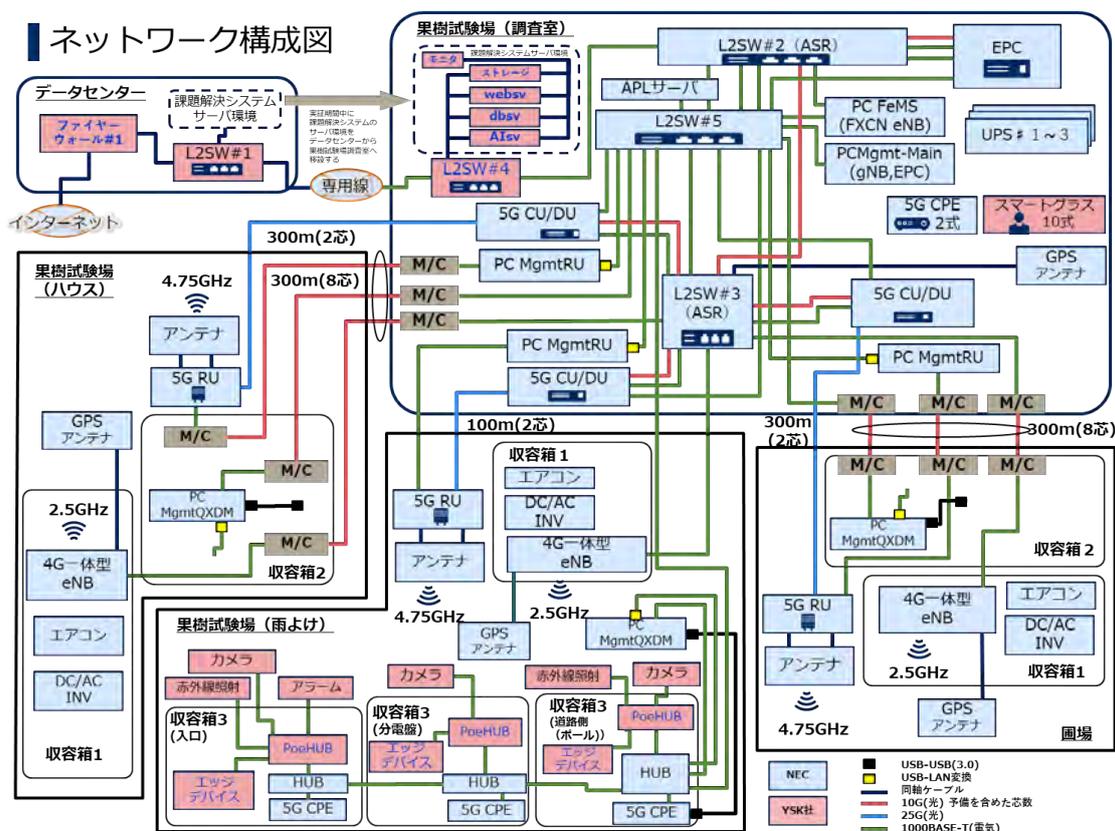


図 5-1 ネットワーク構成図 (図 3-1 の再掲)

5.1.2 前提条件の詳細事項

(1) 実証地域以外の地域での利用においても有益な成果を得るために、前提条件として留意した点

圃場環境に適した電波伝搬モデルを導出する際、実証地域と類似する他の多くの地域において活用可能な電波伝搬モデルを導出することに留意した。具体的には、実証地域に限らず、他の多くの地域において活用可能な電波伝搬モデルの導出に向けて、以下のような点に配慮した。

- ブドウ栽培において一般的に用いられているブドウ棚が設置されている場所において電波伝搬特性の測定を行い、特殊な電波伝搬環境とならないようにした。
- 農業用ハウス、雨よけ、圃場の3カ所の異なる環境において測定を行うことで、異なる圃場環境における電波伝搬特性を評価し、特定の圃場環境のみの測定結果に基づく結論を導くことがないようにした。
- 基地局アンテナ高は、圃場環境としては一般的と考えられる3m～5mの間で設定した。
- 端末のアンテナ高も、ブドウ棚の下でスマートグラス等を利用する場合に一般的と考えられる1mとした。

(2) ITU 及び 3GPP における 5G の標準化に関する標準化に関する検討等

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検討作業班において、カバーエリア及び調整対象区域の算出法が検討されており、その算出に用いる電波伝搬モデルが定められている。そして、2020年12月に制度改正が行われて、対象周波数帯の追加が行われたところであるが、今後、さらに様々な分野でのローカル5Gの利用拡大に向けて、電波伝搬モデルの精緻化が期待されているところである。このような状況を鑑み、本技術実証では、電波伝搬モデルの精緻化に資する検討を行った。

(3) 技術実証の対象とするユースケース

以下の圃場環境におけるユースケースを技術実証の対象とした。ユースケースの概要は下表の通り。

- 匠ソリューション（ハウス、雨よけ、圃場）
- 防犯ソリューション（雨よけ）

表 5.1.2-1 対象ユースケース（表 4.4.1-1 の再掲）

項目	ユースケース	実証概要
農業領域 (匠ソリューション)	房づくり 軸長指示	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自然な作業環境下における花穂検出の実現 ・ スマートグラスを利用した花穂検出による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・ 花穂の検出精度の向上

	適粒切除 粒数表示	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートグラスを利用した摘粒作業支援による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・粒数の検出精度の向上
	適期収穫 色判断	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートグラスを利用した収穫作業支援による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・適期収穫色の判断精度の向上
	植生指数 表示	<ul style="list-style-type: none"> ・ブドウの繁茂状態監視による植生異常検知の実現 ・スマートグラスを利用した異常検知通知による農作業の効率化及びブドウ生産の品質向上 ・植生の検知精度の向上
生活領域 (防犯ソリ ューショ ン)	不審人物 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ監視による不審人物検知及び通報の仕組みの実現 ・検知システムを利用した盗難被害の低減 ・不審人物の検知精度及び通報速度の向上
	不審車両 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ監視による不審車両検知及び通報の仕組みの実現 ・検知システムを利用した盗難被害の低減 ・不審車両の検知精度及び通報速度の向上

(4) ユースケースに基づく性能要件の基本的な考え方

匠ソリューションでは、スマートグラスからの映像伝送を想定し、上り回線で1台あたり5Mbps、1つの業務区域で最大5台の同時利用が見込まれることから、上り回線のスループットとして、25Mbps (5Mbps x 最大5台) を性能要件とした。なお、遅延時間は、音声通信で違和感がない遅延が200msecとされていることを考慮しつつ、一定のマーヅンを見込んで、80msec以下とすることを性能要件とした。

一方、防犯ソリューションにおいては、4Kカメラからの映像伝送を想定し、上り回線で1台あたり20Mbps、1つの業務区域で最大3台の同時利用が見込まれることから、上り回線のスループットとして、60Mbps (20Mbps x 最大3台) を性能要件とした。(なお、遅延時間については、4Kカメラ映像を目視確認することになっているため、特に性能要件の設定を行わなかった。)

5.2 実証目標

4.7GHz 帯のフィールド測定により、ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価、ローカル 5 G のエリア構築やシステム構成の検証、その他ローカル 5 G に関する技術実証を目標とする。具体的には、以下のようにフィールド測定を行い、圃場環境におけるエリア構築に役立つ知見を得る。

- 圃場や試験場に構築するローカル 5 G 実証環境で、エリア内の受信電力や映像伝送を想定した伝送スループットを測定し、技術的課題を検証する。
- 圃場環境におけるローカル 5 G のエリア構築に活用可能な電波伝搬モデルを導出する。
- 圃場環境において通信品質の確保とローカル 5 G 基地局アンテナの設置・保守コスト抑制を両立する方法について検討する。

5.2.1 技術的課題

1) 技術実証の背景となる技術的な課題

農業分野においてローカル 5 G を活用するには、圃場におけるローカル 5 G エリア構築にて所望エリアでの所望通信品質が確保できることが必要である。そして、そのようなローカル 5 G エリア構築とローカル 5 G 基地局アンテナの設置・保守コスト抑制が両立できることが課題である。

また、ローカル 5 G の無線局免許審査において、申請者が審査基準に従って算出するカバーエリアが実際よりも広くなる場合には、申請者が希望する基地局設置条件での免許取得が難しくなる可能性がある。このため免許取得が必要以上に難しくなることがないように、カバーエリア計算をより精緻に行えるようにすることが課題である。

特に農業分野においては、現在の無線局免許審査基準において定められている電波伝搬モデルを用いてカバーエリアを算出すると、農業用ハウスや雨よけなど、基地局アンテナから 40m 程度の範囲では、自由空間損失モデルを用いることになり、カバーエリアを過大評価する恐れがある。実際にはぶどうの木など植生による遮蔽損失が大きく、自由空間損失モデルで計算されるカバーエリアが確保できない場合でも、カバーエリアを狭くして無線局免許の申請を行うことが求められて、申請者が希望する基地局設置条件での免許取得が難しくなる可能性がある。そのため、農業用ハウスや雨よけなどの条件に応じたカバーエリア算出法の精緻化を行うことが課題となる。この課題を解決することで、希望する基地局設置条件での免許取得のために、個別にカバーエリアについて調整が必要となるケースが少なくなり、無線局免許の取得に伴う調整のための作業負荷の軽減が期待できる。また、無線局設置後にカバーエリアの実測を行って基地局設置条件を変更するケースが少なくなり、エリア構築コスト増加の抑制も期待できる。

2) 課題に対するアプローチ、検証仮説等

ローカル 5 G エリア構築とローカル 5 G 基地局アンテナの設置・保守コスト抑制の両立のため、以下を実施した。

- 圃場環境（農業用ハウス、雨よけ及び圃場）における電波伝搬特性に関して、電波伝搬モデルの検討に必要なデータを取得した。
- 取得した電波伝搬特性データを用いて、農業用ハウスなどの各条件における自由空間損失モデルとの差異やフェージングの標準偏差を評価した。
- 上記評価に基づき各条件に対応した電波伝搬モデルの導出を行い、エリア構築のために必要となるカバーエリア率の算出法を整理した。
- さらに、基地局アンテナの設置・保守コストを抑制できるようにするため、所望エリアで所望通信品質が確保できる基地局アンテナ高を求めるための電波伝搬モデルの導出等も行った。

また、カバーエリア算出法の精緻化のため、既存の電波伝搬モデルに対して、農業用ハウスや雨よけなどの各々の条件や基地局アンテナ高に応じた新たな補正項を反映させる方法について検討した。

5.2.2 実証目標

圃場環境において通信品質の確保とローカル5G基地局アンテナの設置・保守コスト抑制を両立する方法を示すことを目標とした。

また、技術基準の見直し等に資する新たな知見を得るため、ローカル5Gの無線局免許審査基準に記載されているカバーエリア算出法の精緻化について、検討・考察した。具体的には、圃場環境に特有の農業用ハウスや雨よけによる遮蔽損失の影響や基地局・移動局のアンテナ高のバリエーションを想定し、既存の電波伝搬モデルにおける農業用ハウスや雨よけなどの各々の条件や基地局アンテナ高に応じた新たな係数・補正項に関して、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性・課題を整理することを目標とした。

5.2.3 実施事項

実施事項と、実施内容の記載箇所について以下に示す。

表 5.2.3-1 実施事項（ローカル5G）

識別名	実施事項	記載箇所
調査検討事項ア	ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等	5.3 節
調査検討事項イ	ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等	5.4 節
調査検討事項ウ	その他ローカル5Gに関する技術実証	5.5 節

調査検討事項アとして、以下を実施した。

- 圃場環境（ハウス、雨よけ等）に構築したローカル5Gの実証環境において電波伝搬特性の測定を行った。
- 通信品質と受信電力の関係（受信電力対伝送スループット特性）を求めた。

調査検討事項イとして、以下を実施した。

- 取得した電波伝搬特性データを用いて、圃場環境に適した電波伝搬モデルを導出した。
- 導出した電波伝搬モデルによる計算値と測定値の比較より、フェージングの標準偏差を算出した。
- 所定の無線品質を満たすカバーエリア率を算出する手法を提示した。

調査検討事項ウとして、以下を実施した。

- 一部の圃場環境（雨よけ）に設置する基地局アンテナの高さを変更して、受信電力の測定を行った。
- 基地局のアンテナ高が低い場合に適用できる電波伝搬モデルの導出（既存の電波伝搬モデルにおける基地局アンテナ高に応じた新たな係数・補正項の検討）を行った。
- 導出した電波伝搬モデルや受信電力対伝送スループット特性より、所望エリアで所望通信品質が確保できる基地局のアンテナ高を求める手法を整理した。

また、既存の電波伝搬モデルにおける農業用ハウスや雨よけなどの各々の条件や基地局アンテナ高に応じた新たな係数・補正項に関して、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性・課題を整理した。

5.2.4 測定環境と各測定に共通する事項

1) 農業用ハウス・雨よけ・圃場における測定地点

各会場の測定地点及びアンテナ設置場所を以下に示す。

各測定場所において、15～20カ所程度の測定地点を選定した。

ローカル5G基地局のアンテナは図の赤丸●の場所に取り付けた。



図 5-2 農業用ハウス測定地点



図 5-3 雨よけ測定地点



図 5-4 圃場測定地点



図 5-5 ハウス 基地局アンテナ高



図 5-6 雨よけ 基地局アンテナ



図 5-7 圃場 基地局アンテナ

2) 測定に使用した測定台とアンテナの設置位置

【測定アンテナの高さ】

測定用アンテナは測定台に設置し、アンテナ中心までの高さは1 mとした。

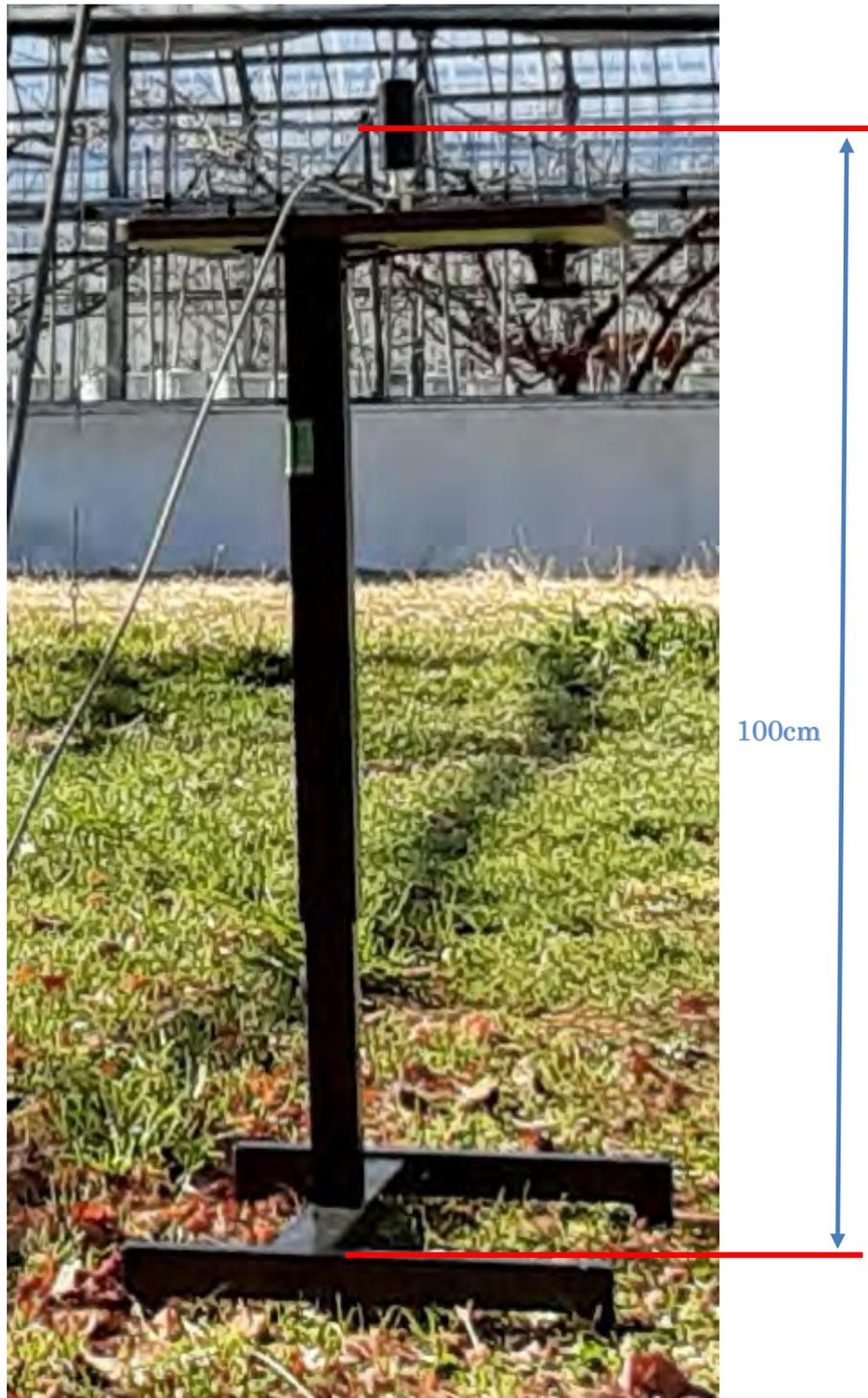


図 5-8 測定用アンテナとアンテナ高

3) 基地局アンテナ仕様、RF ケーブル仕様

山梨の各農地の基地局で使用したアンテナ及び RF ケーブルの仕様を以下に示す。

表 5.2.4-1 アンテナ、RF ケーブルの仕様

名称	型名	仕様
基地局アンテナ	VH65A-3545RTD	17.5dBi (公称値)
RF ケーブル	LMR-240 (雨よけ 4m ハウス 3m 圃場 3m)	0.66dB/m



図 5-9 アンテナ及び RF ケーブル

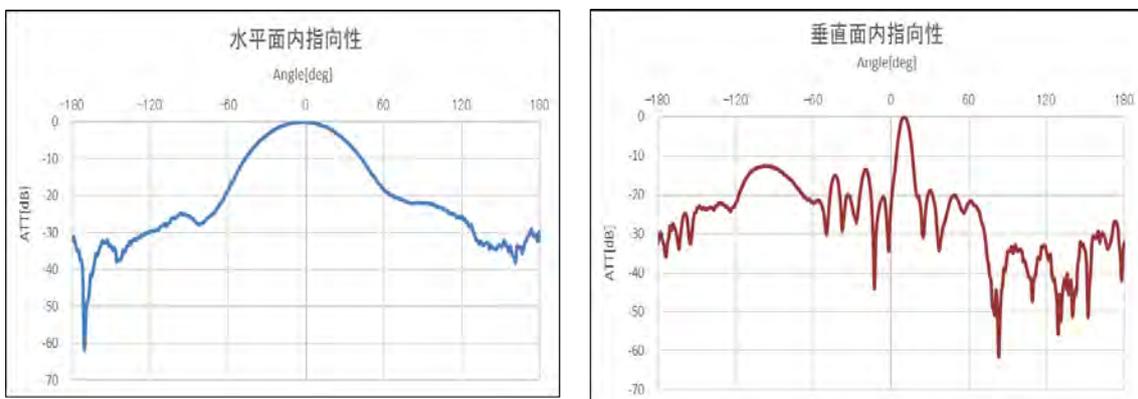


図 5-10 放射パターン

4) 比較対象とした類似調査のサーベイ結果、比較の視点等

- 類似の調査結果の検証について

2018年度のG3「都市又はルーラル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」では、自動車向けサービスへの応用を想定して上り回線のスループットやSINRなどの測定を行った結果が報告された。その測定では、測定ルートの一部において樹木の影響を受ける場所があり、季節変動による樹木の影響の変化について評価が行われた。

この調査結果を踏まえて、以下のように技術的課題の整理と解決策の検討を行った。この解決策の検討のため、本技術実証における取得データを利用し、また、ぶどう棚に伝搬路を遮られない測定地点においても受信電力の測定を実施した。

- 技術的課題

- 測定ルートの一部において樹木の影響を受けた電波伝搬測定データが得られたが、圃場環境における樹木の電波伝搬損失への影響を定量的に評価するには、十分なデータでない。
- 樹木の影響を受ける圃場環境において、樹木の電波伝搬損失への影響を定量的に評価し、エリア設計手法を確立することが課題となった。

- 解決策

- 電波伝搬モデルの導出のためのデータ取得
- 樹木の影響の定量的把握（ぶどう棚の影響の有無による伝搬損失の比較により、ぶどう棚の透過損失を分析）
- ぶどう棚の影響を反映した電波伝搬モデルの導出
- 導出した電波伝搬モデルを用いたエリア設計手法の確立

5) 気象情報

測定日の天候は以下の通りである。

表 5.2.4-2 測定日の天候

日付	曜日	天気概況		降水量(mm)	測定概要等
		昼(06:00-18:00)	夜(18:00-翌日06:00)		
12月23日	水	晴	晴後一時曇	0	
12月24日	木	晴後一時曇	晴時々曇	0	路側高所、車両内部0 受信電力測定
1月6日	水	曇時々晴	曇	0	
1月7日	木	晴時々曇	晴時々曇	0	車両内部1、路側遮蔽0/1/2 受信電力測定
2月16日	火	晴	晴	0	
2月17日	水	晴後時々雪一時曇	曇一時雪後晴	0	高所路側、スループット/遅延測定
2月18日	木	晴後一時曇	晴	0	
2月26日	金	曇	曇	0	高所路側、スループット/遅延測定
2月28日	日	晴	晴一時曇	0	
3月1日	月	晴後一時曇	曇	0	高所路側、スループット/遅延測定
3月2日	火	曇後時々雨	晴一時雨	7	車両内部0/1 スループット/遅延
3月3日	水	晴	曇時々晴	0	

6) 実証環境において想定される遮蔽物、反射物の概要

伝搬路上及び伝搬路付近に存在した遮蔽物、反射物は、下記に示すように、ビニールシート、ぶどうの幹、葉、農業用構築、建造物となった。

表 5.2.4-3 想定される遮蔽物、反射物

名称	素材	補足
ビニールシート	フッ化樹脂フィルム	
ぶどう 幹、枝、葉	植物	
支柱等	鉄	
建造物	柱（鉄）基礎はコンクリート	



図 5-11 想定される遮蔽物、反射物の例 1（ビニールシート）

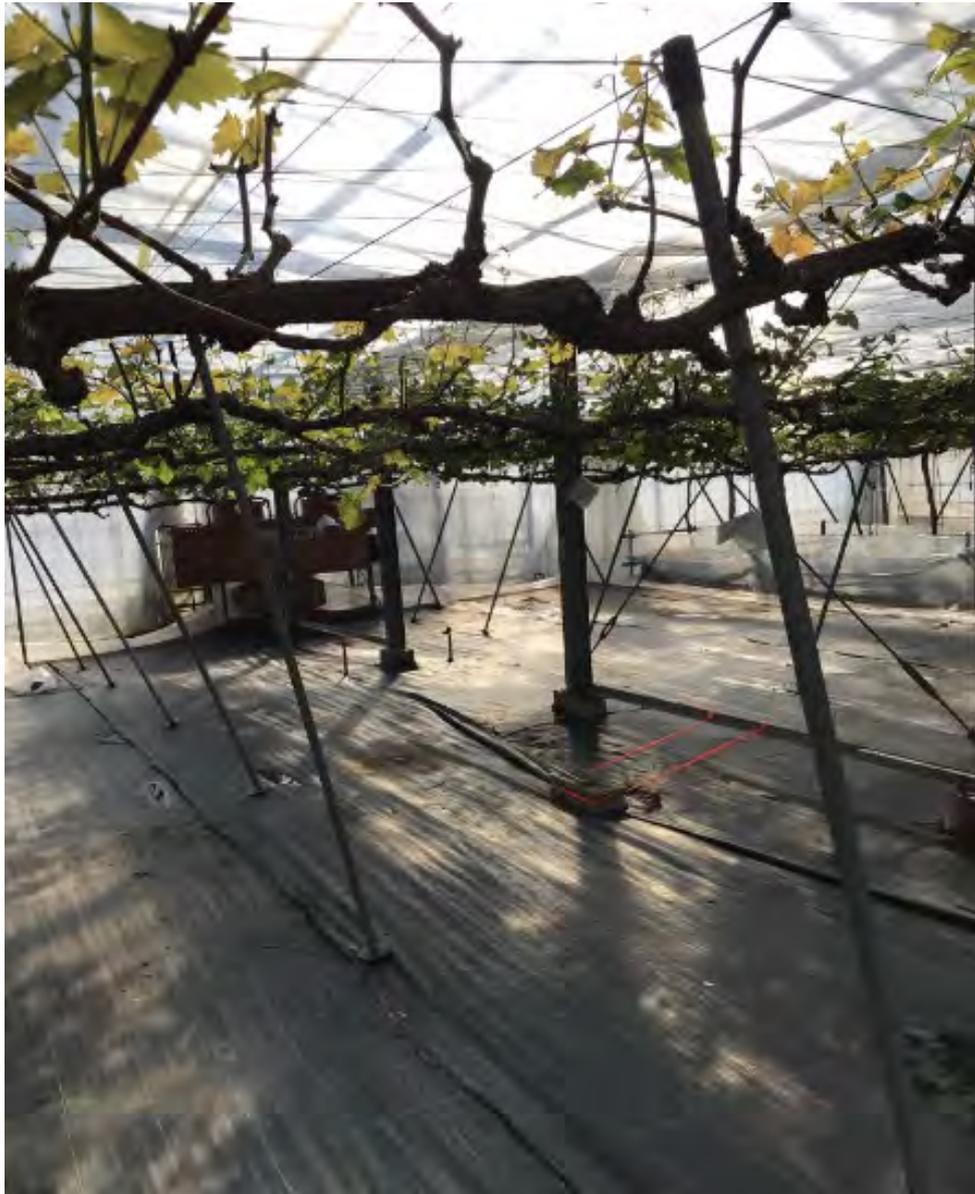


図 5-12 想定される遮蔽物、反射物の例 2 (農業用ハウス・ぶどうの幹、枝、葉 支柱)



図 5-13 想定される遮蔽物、反射物の例 3 (雨よけ・ぶどうの幹、枝、葉 支柱)



図 5-14 想定される遮蔽物、反射物の例 4 (支柱等)



図 5-15 想定される遮蔽物、反射物の例 5 (枝・葉等-1)



図 5-16 想定される遮蔽物、反射物の例 6 (枝・葉等-2)



図 5-17 想定される遮蔽物、反射物の例 7 (圃場 コンクリート等)

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 実施概要

圃場や試験場に構築するローカル5G実証環境で、エリア内の受信電力や映像伝送を想定した伝送スループットを測定し、技術的課題を検証した。

5.3.2 評価・検証項目

ローカル5Gの実証環境において、課題解決システムを用いて、本実証において用いるローカル5Gの空中線電力の値等に応じて適切な範囲内において、20箇所程度の測定地点におけるローカル5Gの受信電力、伝送スループットや伝送遅延時間等の各種データを取りまとめ、ローカル5Gの性能評価を行い、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。特に、測定した伝送スループットや伝送遅延時間等が、課題解決システムに求められる要求値を実現しない場合、要求値を実現する方策を検討した。

また、圃場環境における4.7GHz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。この内容については、5.2.4 4)に記載した。検証に当たっては、技術実証全体調整事業者と調整のうえ、必要に応じて、ローカル5Gの実証環境において電波伝搬特性を測定し、その結果をとりまとめた。

- ローカル5Gとしての性能目標（要求値）
何れも平均値で評価する。スループットの平均時間は最短1秒とする。
 - 匠ソリューション：低遅延、80msec以下の遅延となる通信性能
（※音声では200msecが違和感を覚えない遅延
大容量、ULで最大25Mbpsの映像伝送（5Mbps×最大5台）
 - 防犯ソリューション：大容量、ULで合計60Mbpsの4Kカメラ映像伝送
（1台：20Mbps）
- 補足
 - 受信電力やスループット等の測定は、端末や測定機材のアンテナが静止した状態で行う。

5.3.3 評価・検証方法

調査検討事項イにおいて実証地域と類似する他の多くの地域の圃場において活用可能な電波伝搬モデルを導出するために、ローカル5Gの実証環境において電波伝搬特性を測定し、その結果をとりまとめた。

具体的には、ローカル5G基地局を設置した圃場及び果樹試験場のエリアにおいて、基地局に比較的近い地点及び比較的遠い地点を含めて、20カ所程度の測定地点を選定した。選定した測定地点において、エリアテスタなどの測定機材を使用して、受信電力（Reference Signal Received Power：RSRP）の測定を行った。

測定機	モデル	
アンリツ	ML8780A + MU878070A	アンテナZ1911B

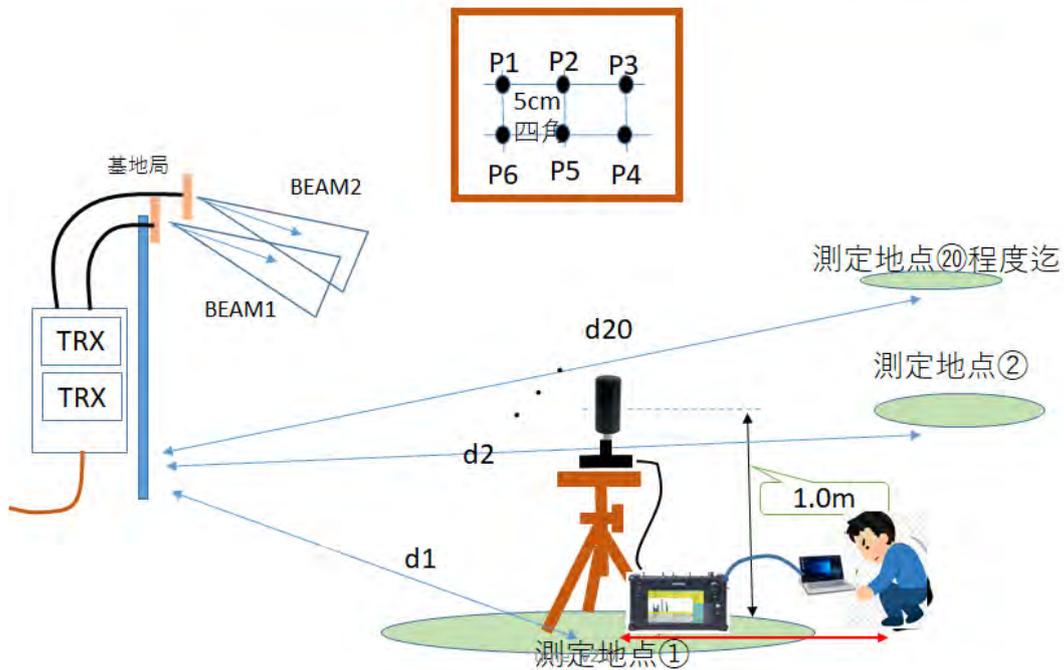


図 5-18 受信電力測定方法

また、端末からの映像伝送を想定し、端末（または端末を模擬した試験装置）に接続した PC の測定アプリ等を用いて、伝送スループットの測定を行った。さらに、端末に接続した PC で PING（Packet INternet Groper）を用いて、PC とサーバ間の伝送遅延時間の測定も行った。伝送スループットや伝送遅延時間の測定は、複数の端末を同時に利用する条件でも実施した。

測定機	測定内容 (UL)
RAKU+とIPERFでTP測定 ※RF性能アンテナ仕様が必要	映像伝送を想定したスループットを測定 (スマートグラス1台あたり 5Mbps)

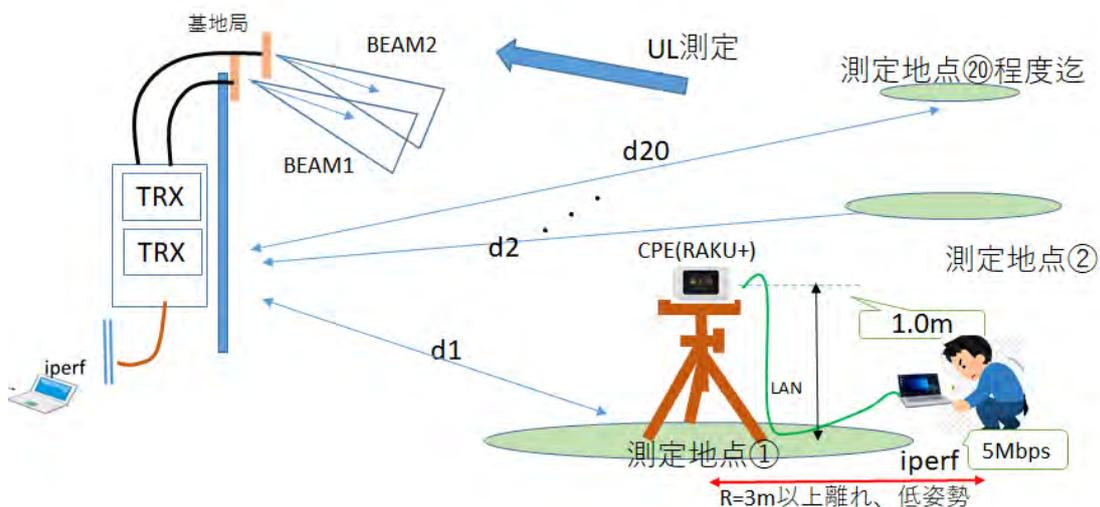


図 5-19 伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (CPE 5Mbps/1台)

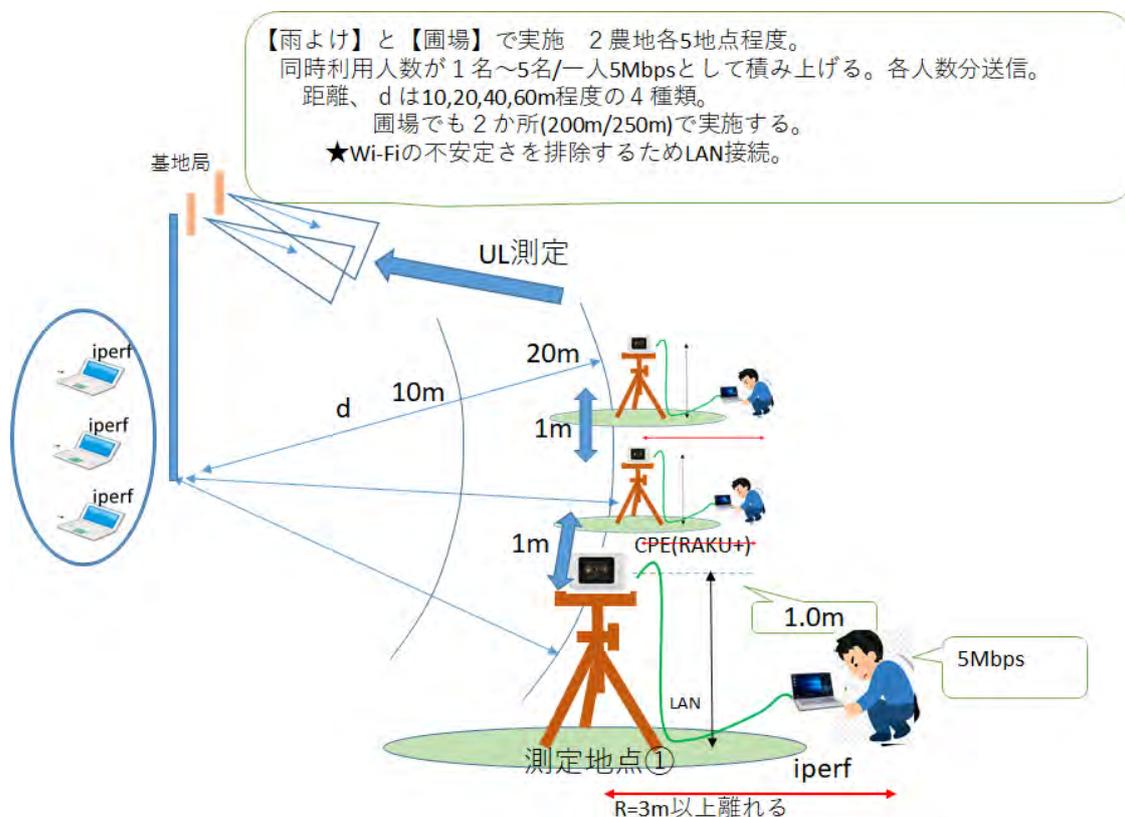


図 5-20 伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (CPE 5Mbps/3台)

測定データは、果樹試験場（農業用ハウス及び雨よけ）及び圃場のそれぞれの環境に分けて伝搬距離対受信電力特性などの形で整理した。そして、環境の違いによる受信電力や伝送スループットの差異分析等を行うことで、技術的課題を整理するとともに、それらの課題の解決方策等について考察を行った。

伝送スループットや伝送遅延時間等、課題解決システムに求められる要求値を確認し、測定値が要求値を実現しない場合には、測定データより、同時利用端末数対伝送スループット特性や受信電力対伝送スループット特性を確認し、要求値を実現する方策を検討した。

- ローカル5Gとしての性能目標に対する測定方法
 - 匠ソリューション：端末に接続したPCでPINGを用いて、PCとサーバ間の伝送遅延時間を測定
 - 防犯ソリューション：実証環境にて測定、目視確認

上記測定データより、伝搬距離対受信電力特性に加えて、電波伝搬損失特性の評価・考察も行う。

(1) 対象とするユースケースの主要な計測指標毎の性能要件及び論拠の詳細

- ユースケースごとの性能要件及び論拠は、5.1 前提条件に記載の通りである。
- スループットは、平均値で評価した。平均時間は最短1秒とした。
- 遅延時間も平均値で評価した。
- 匠ソリューション及び防犯ソリューションの何れにおいても、映像が途切れることなく常時利用できることが望まれるため、スループットは、安定性を確認することとし、20秒間の時間変動も評価した。
- 遅延時間についても、同様に安定性を確認するため、100m秒間隔で200回の測定を繰り返し、その時間変動を評価した。

(2) ローカル5Gの性能評価検証の為に測定実施内容

1) 受信電力RSRP測定（伝搬損失測定）

受信電力（RSRP）はエリアテスタを使用し、農業用ハウス、雨よけ、圃場の3会場にて測定を実施した。

測定は、図 5-18 受信電力測定方法に示す方法にて実施した。

2) 受信電力 (RSRP) の測定機材と測定方法

受信電力 (RSRP) の測定に使用した機器材は以下の通りである。

- アンリツ (株) エリアテスタ ML8780A
 - アンテナ Z-1911B
 - 測定用 RF ケーブル及びアンテナ台座

設定は、アンテナ及びケーブル損を補正し計測した。



図 5-21 エリアテスタ

- 測定対象 : SSS (Secondary Synchronization Signal)
- 測定項目 : SS-RSRP
- チャンネル帯域幅 : 100MHz
- sub-6GHz 測定ユニット : MU878070A
- 測定周波数 : SSB 周波数 4712.16MHz

- 測定周期、測定サンプル数、測定時間について
 - 測定周期 :
詳細な電波状態を解析した為、アンリツ ML-8780A の測定周期を最短に設定した。
本実証システムの無線信号は、PCI=1、SS 周期 20mS である。
アンリツ ML-8780A の設定を本システムの PCI や SS 周期に設定した場合、最短で 40ms 毎のデータが取得可能である。
 - 測定時間と測定サンプル数 :
1 回の測定時間を 20 秒とし、連続した 500 サンプルのデータを得ることとした。
1 測定地点での測定時間を 120 秒 (2 分) 以上とし、別に説明した、6 ポイント試験を採用したことで、各ポイントを 20 秒ずつ 6 ポイントとし、合計 120 秒間で 3000 個の RSRP のサンプルを 1 つの測定地点で取得した。

3) 定点測定と6ポイント試験

測定はアンテナを静止した状態で実施し、定在波の影響を避けるために測定台の上で1波長に満たない距離5cmずつ移動させ、合計6つのポイントで測定した。

参考に、雨よけ測定地点②における6ポイント試験の結果を図5-24～図5-29に示す。

図5-22は6ポイント試験の最初の1ポイントにアンテナを設置した状態を示す。右回りにポイントを移動し測定を実施した。

測定風景は、図5-30に示す。

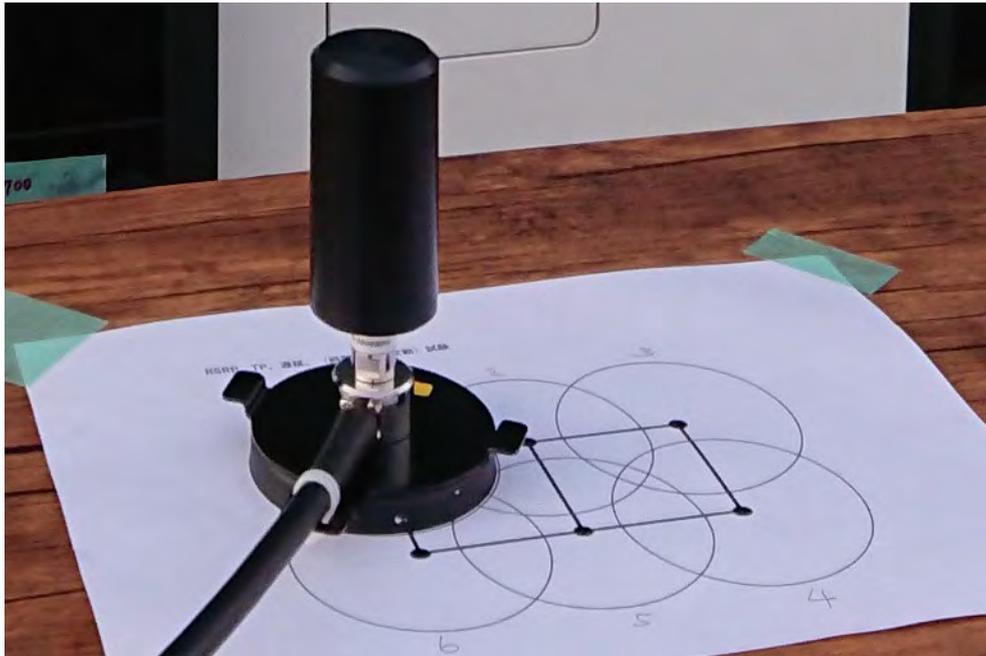


図 5-22 車載用アンテナ台座と6ポイント試験用台紙 (写真)

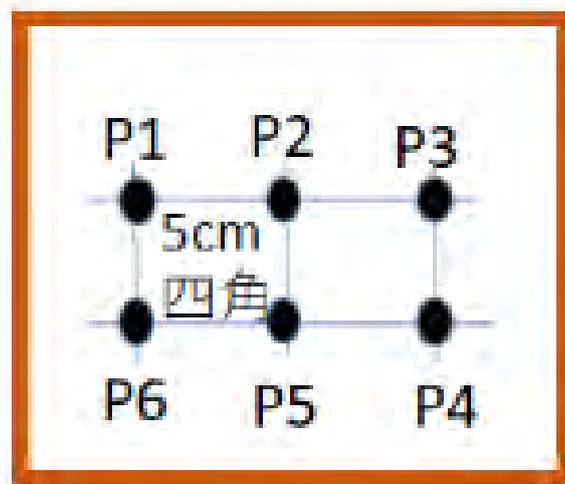


図 5-23 6ポイント試験 アンテナ設置位置

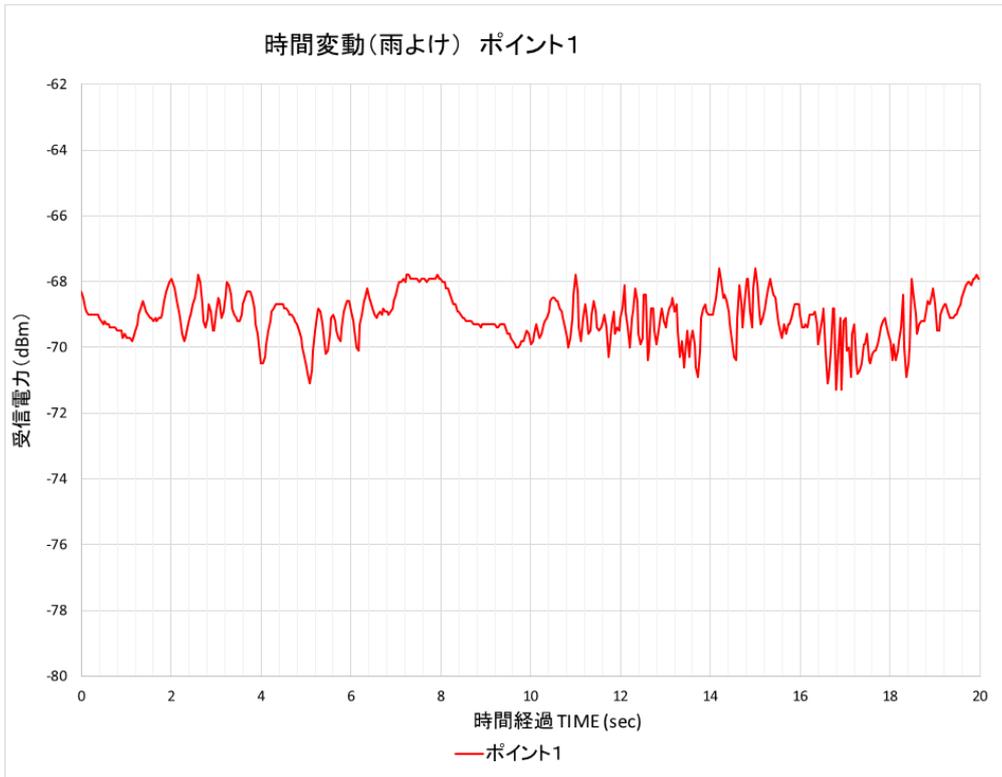


図 5-24 6 ポイント試験 ポイント 1 測定結果

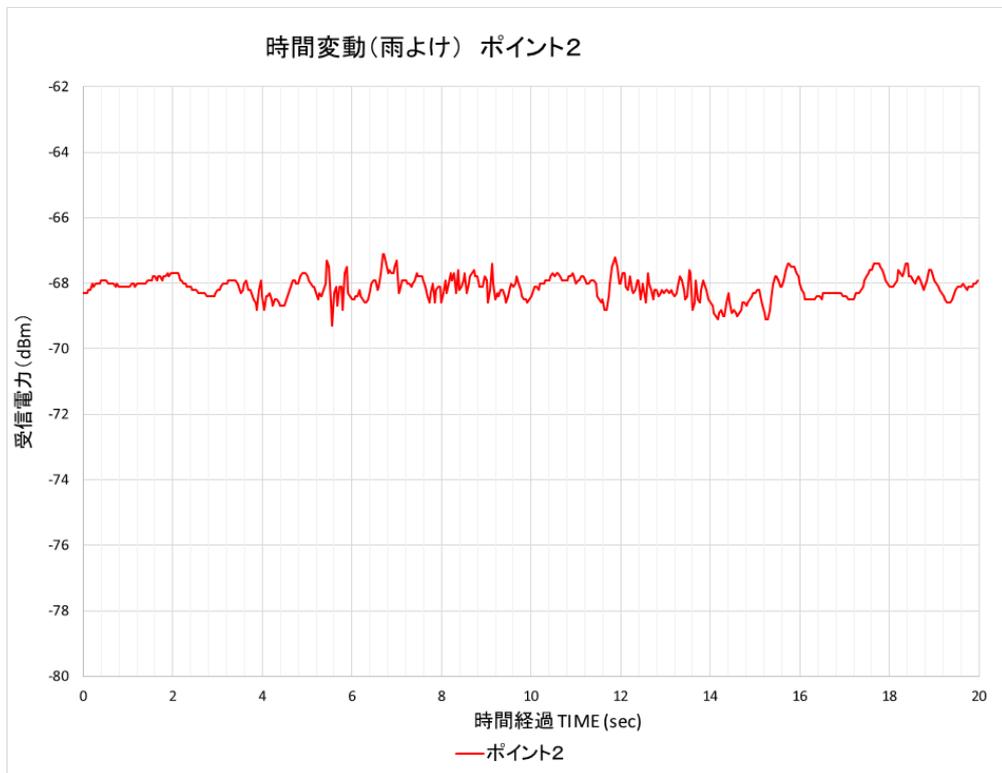


図 5-25 6 ポイント試験 ポイント 2 測定結果

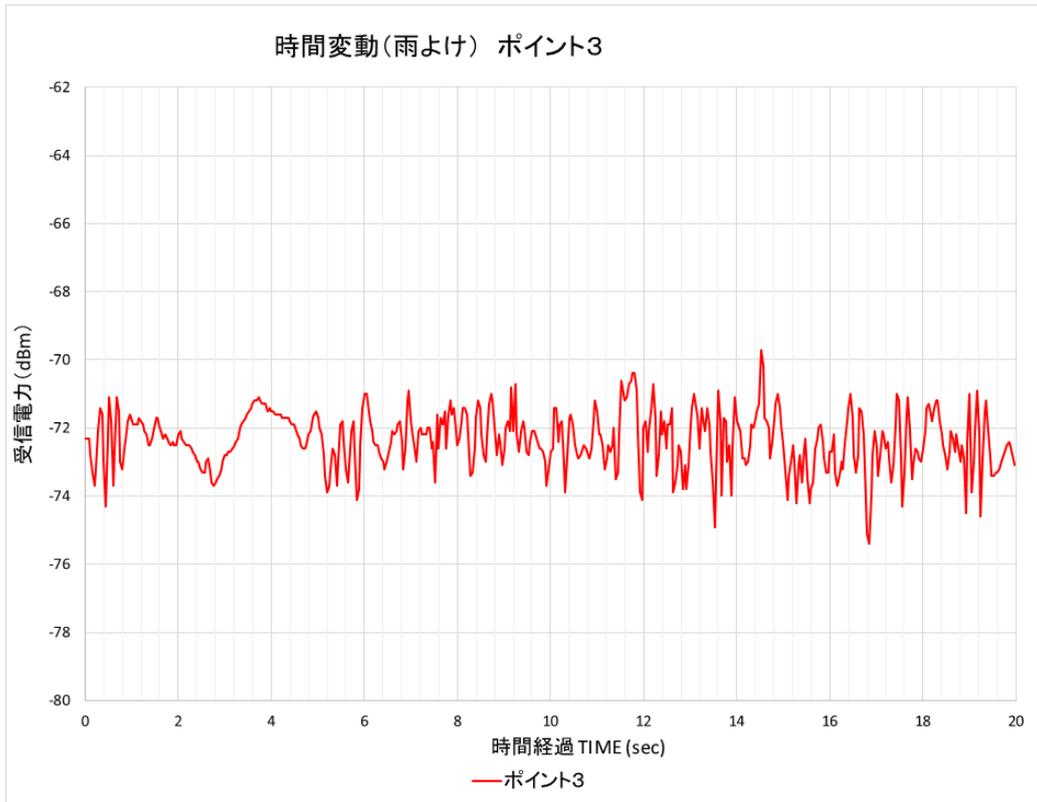


図 5-26 6 ポイント試験 ポイント 3 測定結果

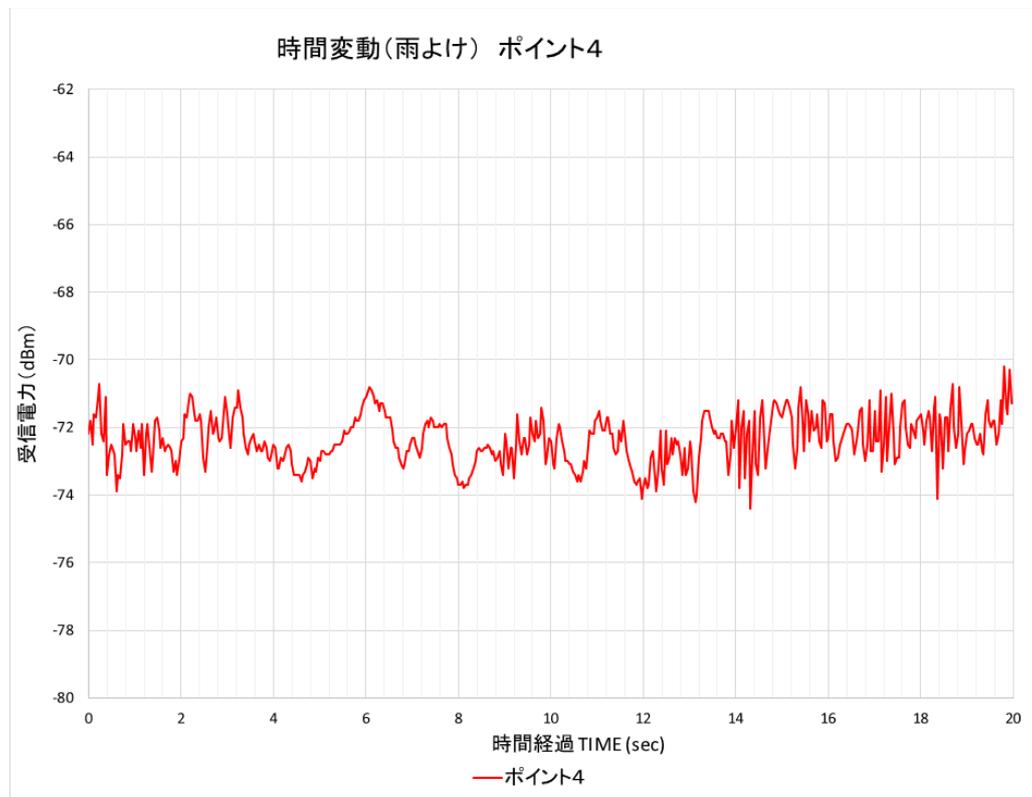


図 5-27 6 ポイント試験 ポイント 4 測定結果

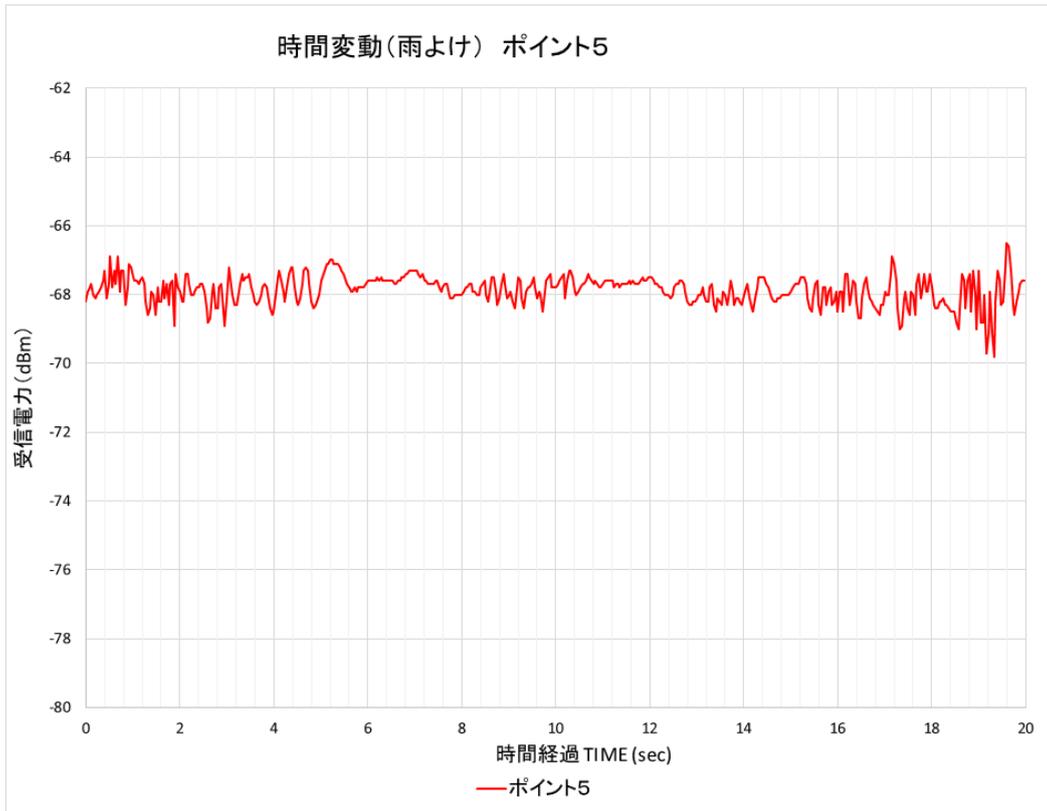


図 5-28 6 ポイント試験 ポイント 5 測定結果

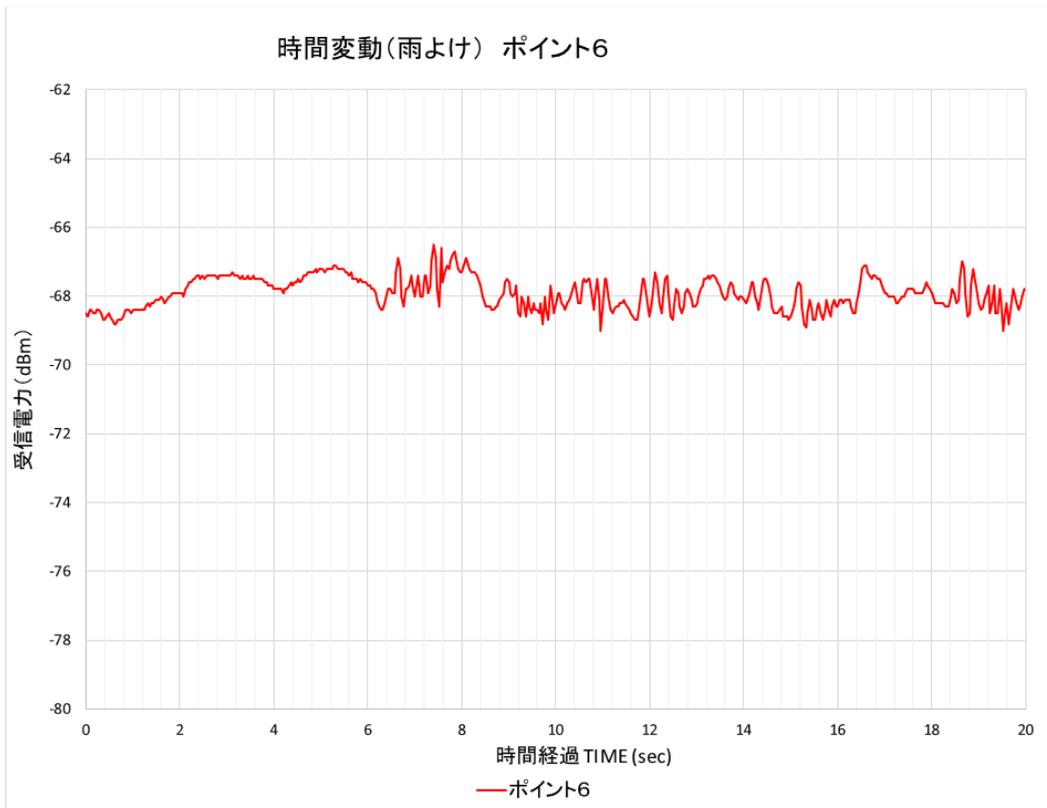


図 5-29 6 ポイント試験 ポイント 6 測定結果



図 5-30 6 ポイント試験 測定風景



図 5-31 測定用アンテナ 設置風景

4) 伝搬損失 (L [dB]) の計算について

伝搬損失は以下の式で求める。

$$L = Pt + Gt - Lf + Gr - Pr$$

ここで、各記号の説明を以下に示す。

表 5.3.3-1 ハウス 記号の説明

記号[単位]	説明	補足
L[dB]	伝搬損失	
Pr[dBm]	受信レベル (受信電力) SS-RSRP	
Pt[dBm]	送信電力 (基地局の空中線電力) SS の送信電力	-3.2
Gt[dBi]	送信アンテナ利得	(代表値) 17.5
Lf[dB]	基地局の給電線損失	1.98
Gr[dBi]	受信アンテナ利得	0

表 5.3.3-2 雨よけ 記号の説明

記号[単位]	説明	補足
L[dB]	伝搬損失	
Pr[dBm]	受信レベル (受信電力) SS-RSRP	
Pt[dBm]	送信電力 (基地局の空中線電力) SS の送信電力	-4.0
Gt[dBi]	送信アンテナ利得	(代表値) 17.5
Lf[dB]	基地局の給電線損失	2.64
Gr[dBi]	受信アンテナ利得	0

表 5.3.3-3 圃場 記号の説明

記号[単位]	説明	補足
L[dB]	伝搬損失	
Pr[dBm]	受信レベル (受信電力) SS-RSRP	
Pt[dBm]	送信電力 (基地局の空中線電力) SS の送信電力	-3.1
Gt[dBi]	送信アンテナ利得	(代表値) 17.5
Lf[dB]	基地局の給電線損失	1.98
Gr[dBi]	受信アンテナ利得	0

ただし、受信アンテナ利得は、測定器 ML-8780A の設定で、アンテナ利得及び測定ケーブルを補正したため、Gr=0 と記載した。

また、測定人員は測定地点から 3m 以上離れ、伝搬に影響無い様に配慮した。

- アンテナ利得[Gt]の補正

基地局と受信機のアンテナ位置関係から基地局アンテナの水平角と俯角を計算して、アンテナ特性から各方向の利得を算出し補正を実施した。

5) スループット測定及び遅延測定（同時利用者 1）

農業用ハウス、雨よけ、圃場の 3 会場にて測定を実施した。

測定は、図 5-19 伝送スループット・伝送遅延時間測定方法（CPE 5Mbps/1 台）に示す方法で実施した。



図 5-32 スループット・遅延測定風景

6) 伝送スループット（TP）測定機材と方法

DTU+PC 送信 PC 受信 Iperf スループットは各 DTU に接続した PC から Iperf での送信、Iperf での受信として測定した。

伝送スループットは、端末 DTU に接続した PC と監視室に設定した PC との間での通信を確立して、上り（UL）方向での 10Mbps 及び 20Mbps の速度での送信受信を実施してデータを取得した。

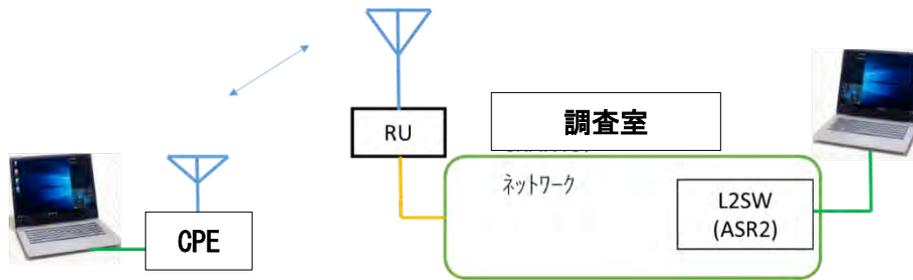


図 5-33 試験構成

- 伝送スループット (UL) : 10Mbps (スマートグラス→調査室間)
20Mbps (4K カメラ→調査室間)



図 5-34 CPE と基地局方向の写真

7) 伝送遅延測定機材と方法

- CPE+PC 送信 PC 受信 EX ping
 - CPE→調査室間 調査室の PC から CPE に接続した PC に Ping を発呼する。
 - 端末に接続した PC で PING (Packet Internet Groper) を実施した。

8) スループット測定及び遅延測定 (同時利用者 3)

雨よけ、圃場の 2 会場にて測定を実施した。

測定は、図 5-20 伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (CPE 5Mbps/3 台) に示す方法で実施した。



図 5-35 圃場 3 台同時接続試験風景

9) 測定地点から見たアンテナ方向

- 農業用ハウス



図 5-36 農業用ハウス測定地点②



図 5-37 農業用ハウス測定地点⑤



図 5-38 農業用ハウス測定地点⑥



図 5-39 農業用ハウス測定地点⑬



図 5-40 ハウス測定地点①

- 雨よけ



図 5-41 雨よけ測定地点②



图 5-42 雨よけ測定地点③



图 5-43 雨よけ測定地点⑤



图 5-44 雨よけ測定地点⑨



图 5-45 雨よけ測定地点⑩



図 5-46 雨よけ測定地点⑰

● 圃場



図 5-47 圃場測定地点①



図 5-48 圃場測定地点②



図 5-49 圃場測定地点④



图 5-50 圃場測定地点⑦



图 5-51 圃場測定地点⑨



图 5-52 圃場測定地点⑬



图 5-53 圃場測定地点⑭

5.3.4 性能評価結果

(1) RSRP 及び伝搬損失の分析

1) 農業用ハウス

図 5-54～図 5-59 に農業用ハウス／雨よけ／圃場における受信電力の時間変動の例として、農業用ハウスの測定地点②（基地局アンテナに比較的近い場所）、測定地点⑱（基地局アンテナより比較的遠い場所）及び測定地点⑲（基地局アンテナの見通し内の場所）における受信電力の時間変動及び6ポイントの受信電力の分布を示す。

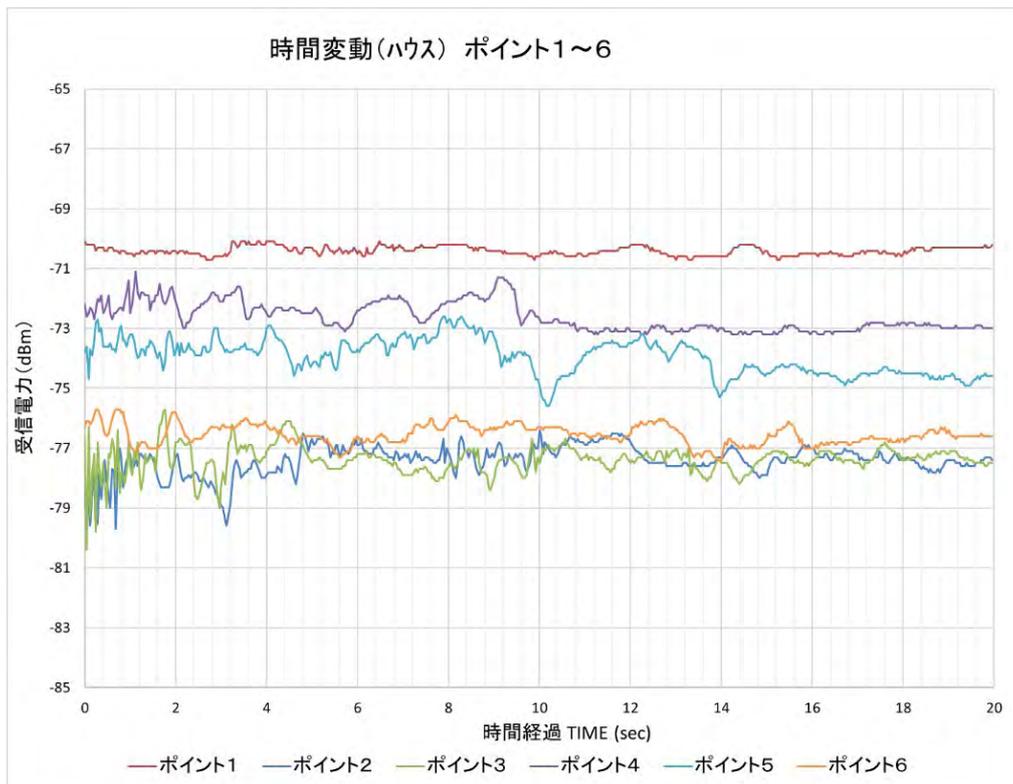


図 5-54 測定地点②における受信電力の時間変動

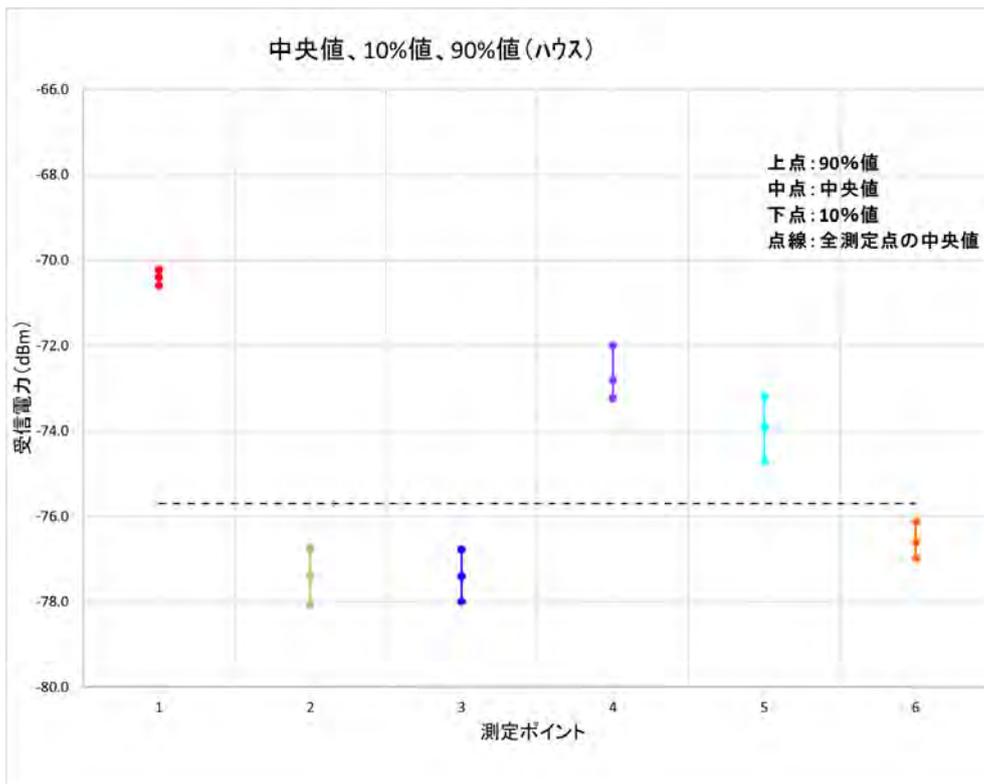


図 5-55 測定地点②における受信電力の中央値

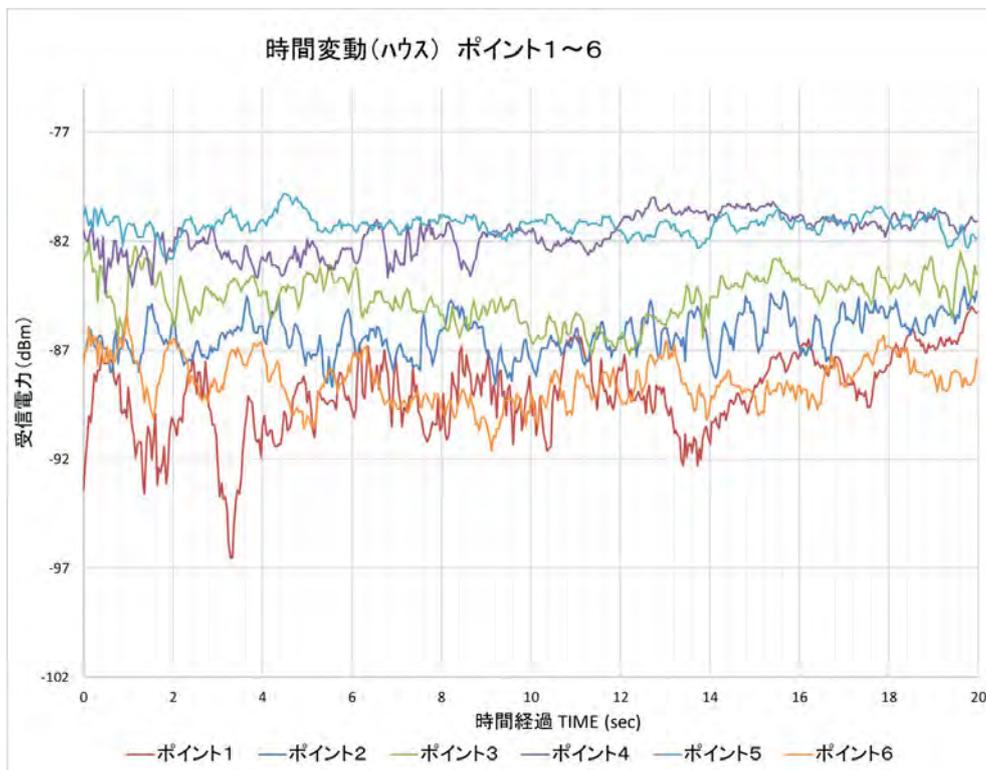


図 5-56 測定地点⑦における受信電力の時間変動

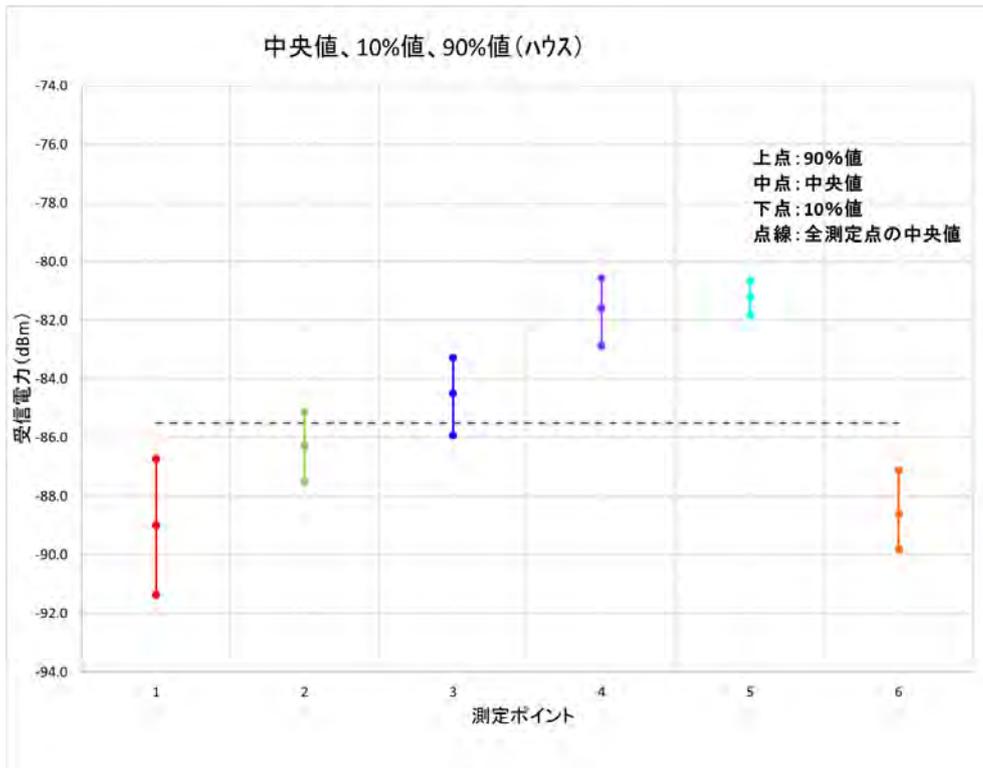


図 5-57 測定地点⑰における受信電力の中央値

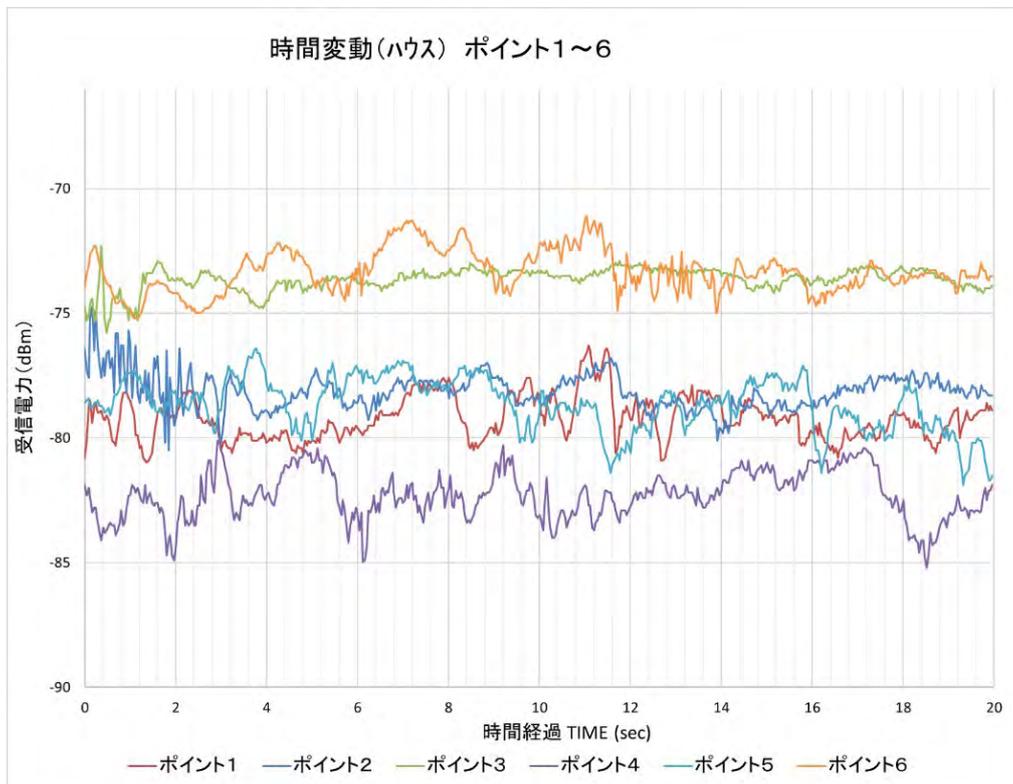


図 5-58 測定地点⑱における受信電力の時間変動

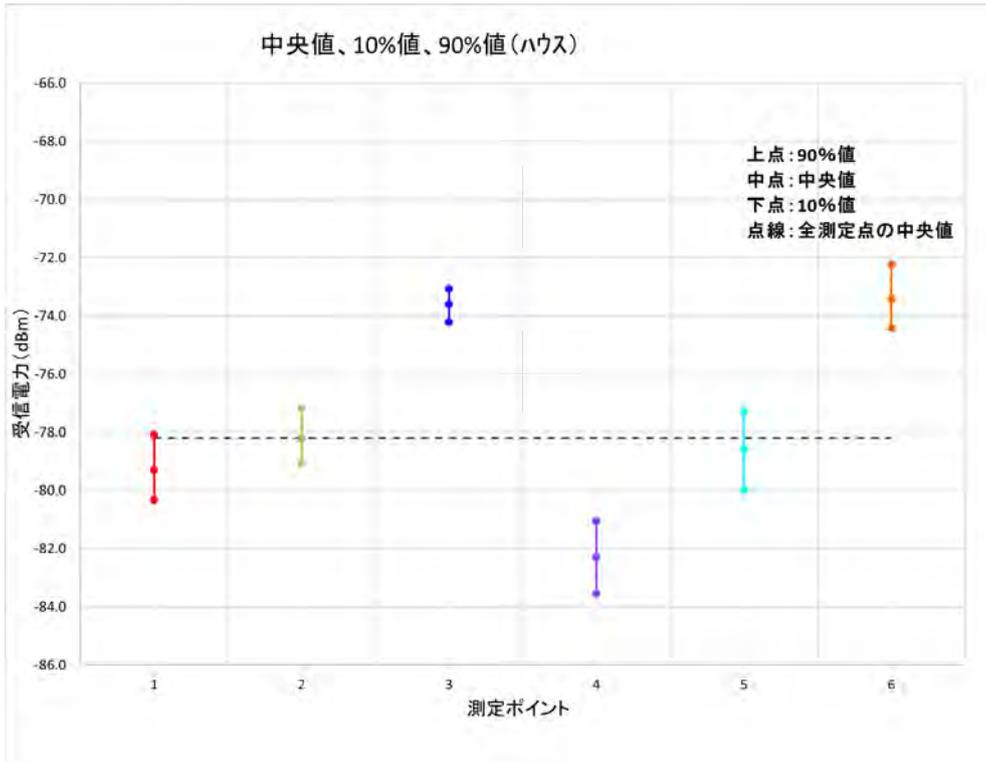


図 5-59 測定地点⑱における受信電力の中央値

図 5-60 距離対受信電力

に農業用ハウスにおける受信電力の距離特性を示す。農業用ハウスでは、基本的に測定地点は見通し外 (NLOS) であるが、比較のため選定した見通し内 (LOS) の測定地点における受信電力も示す。

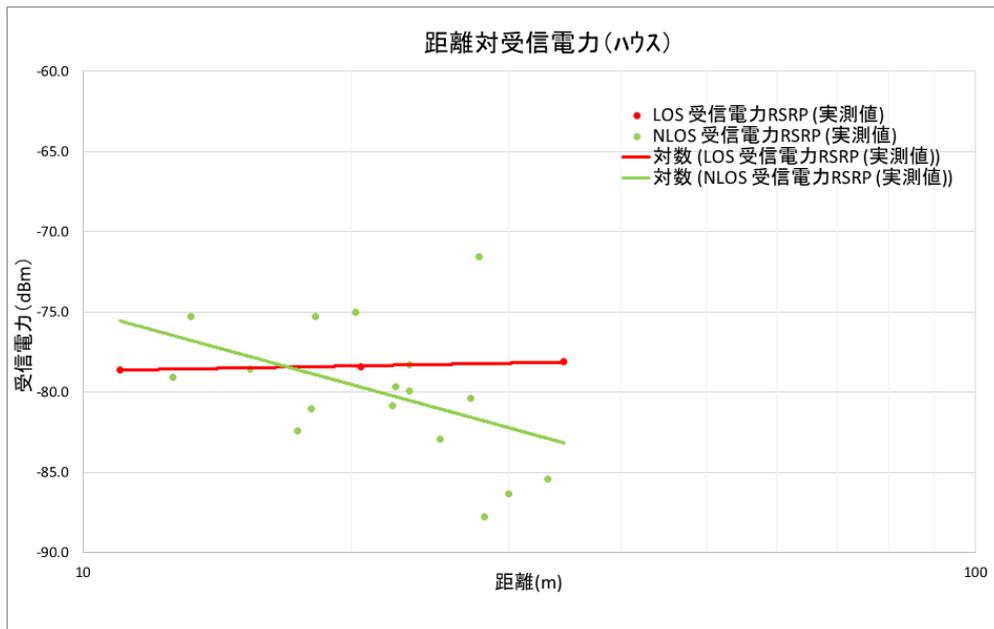


図 5-60 距離対受信電力

2) 雨よけ

図 5-61～図 5-66 に雨よけにおける受信電力の時間変動の例として、雨よけの測定地点②（基地局アンテナに比較的近い場所）、測定地点⑮（基地局アンテナより比較的遠い場所）及び測定地点⑰（基地局アンテナの見通し内の場所）における測定値を示す。この図では、各測定地点における 6 ポイントでの測定値を合わせて表示した。

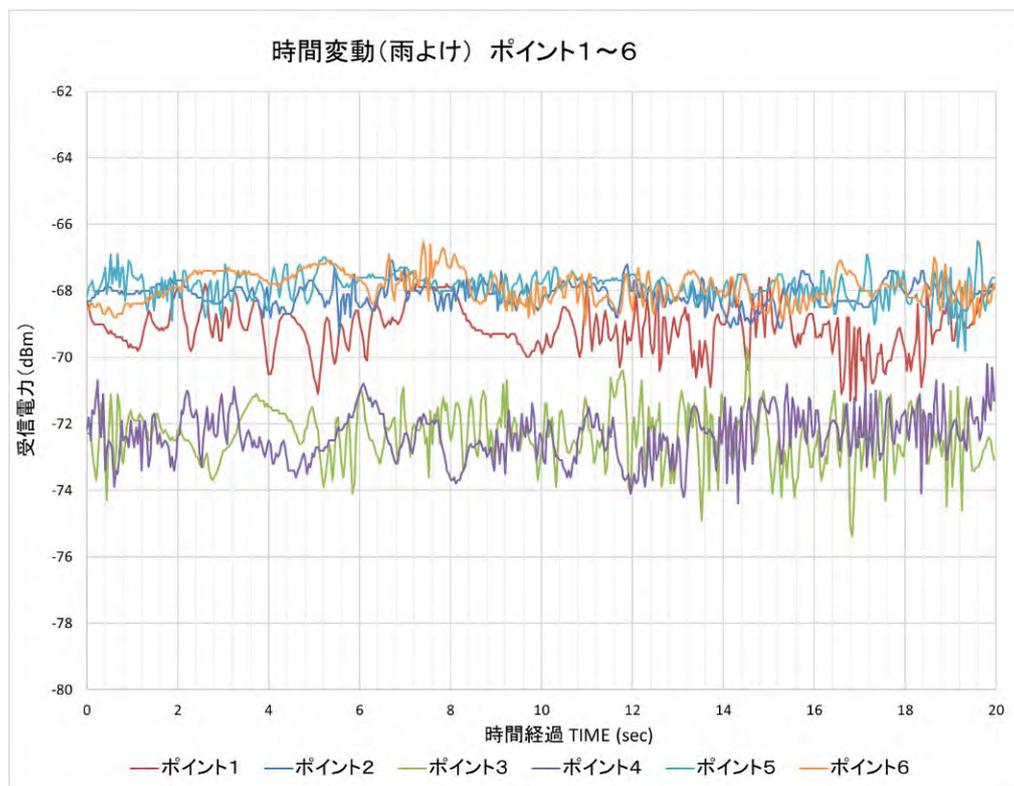


図 5-61 測定地点②における受信電力の時間変動

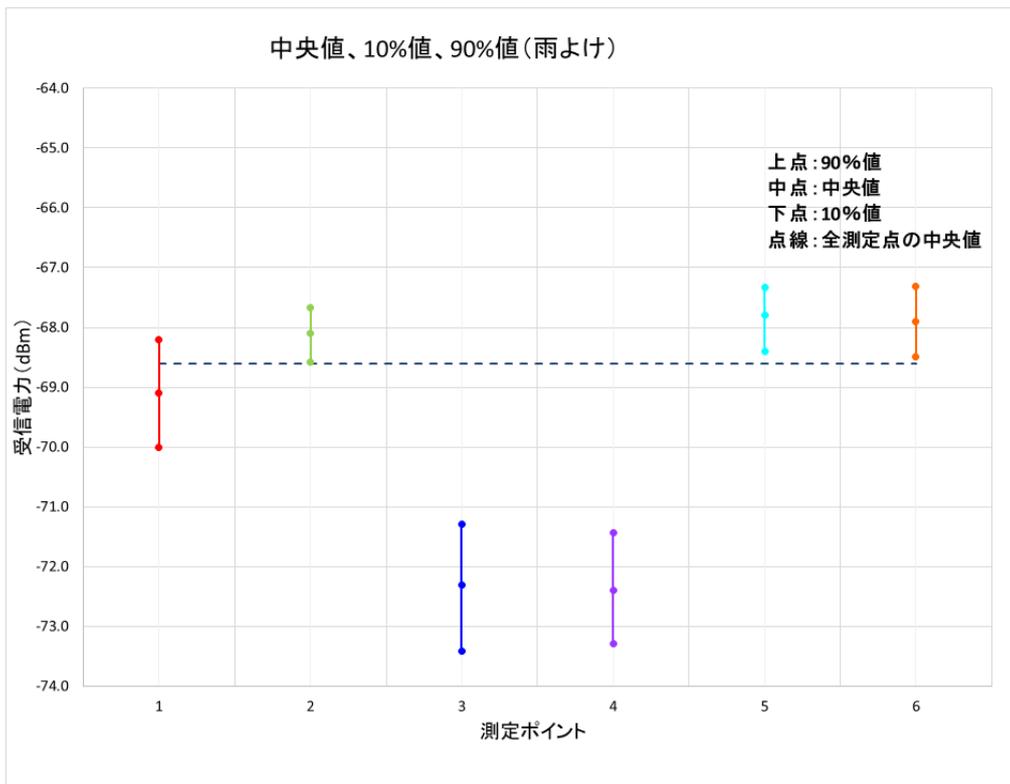


図 5-62 測定地点②における受信電力の中央値

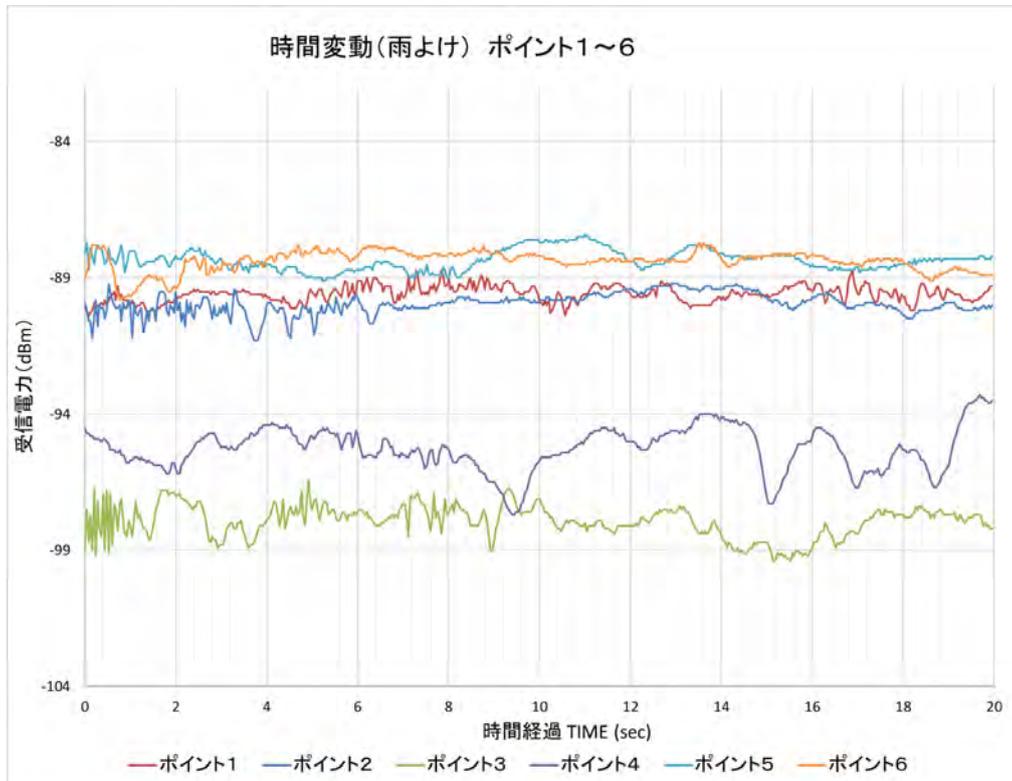


図 5-63 測定地点⑤における受信電力の時間変動

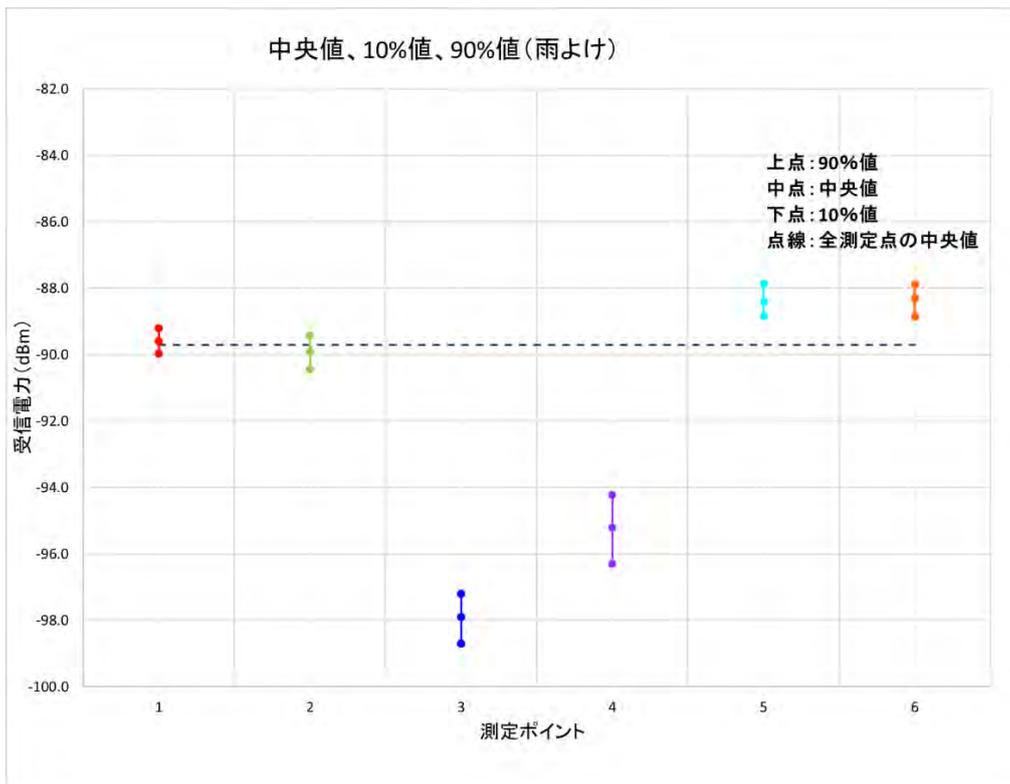


図 5-64 測定地点⑮における受信電力の中央値

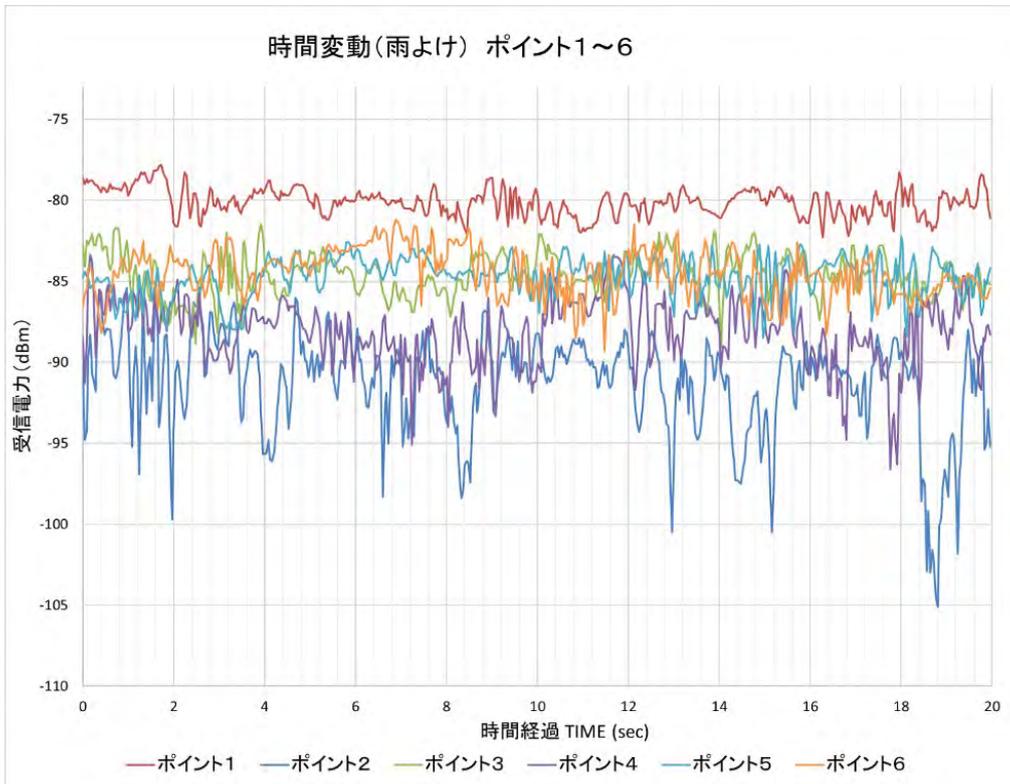


図 5-65 測定地点⑮における受信電力の時間変動

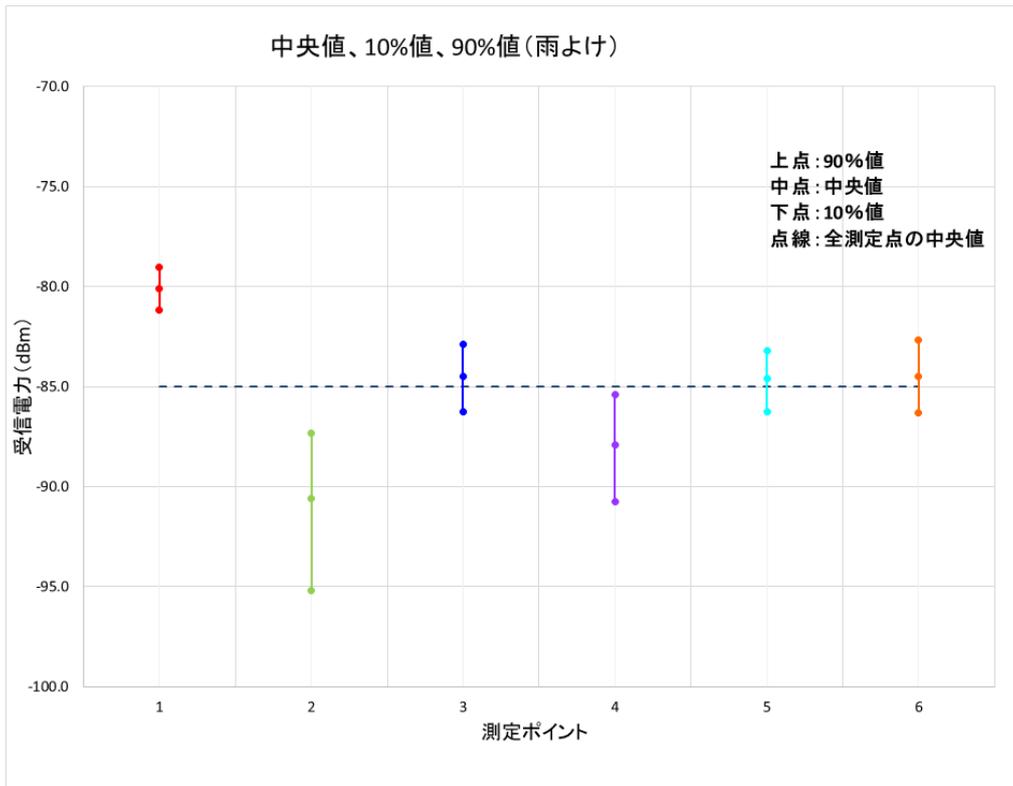


図 5-66 測定地点⑦における受信電力の中央値

図 5-67 に雨よけにおける受信電力の距離特性を示す。雨よけでは、基本的に測定地点は見通し外 (NLOS) であるが、比較のため選定した見通し内 (LOS) の測定地点における受信電力も示す。

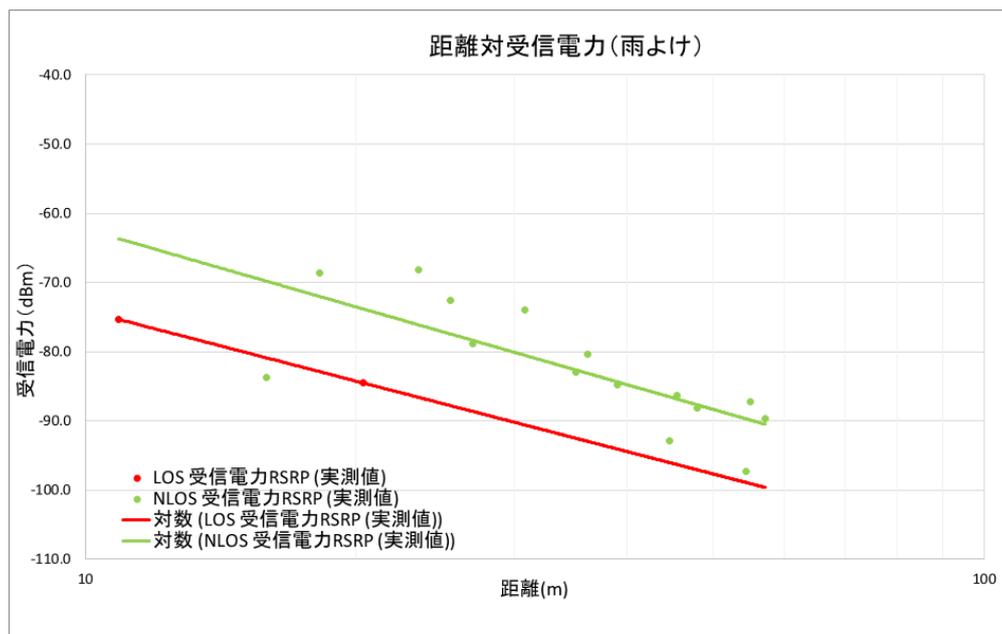


図 5-67 距離対受信電力

3) 圃場

図 5-68 及び図 5-69 に圃場における受信電力の時間変動の例として、圃場の測定地点⑧における測定値を示す。この図では、各測定地点における 6 ポイントでの測定値を合わせて表示した。

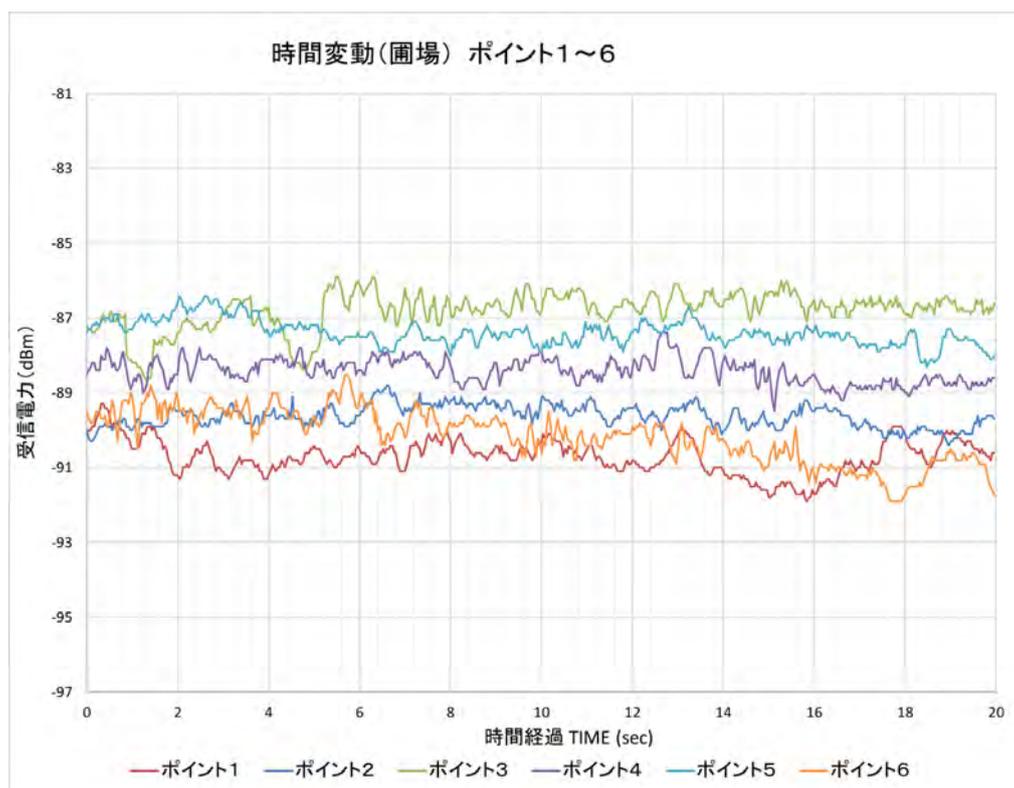


図 5-68 測定地点⑧における受信電力の時間変動

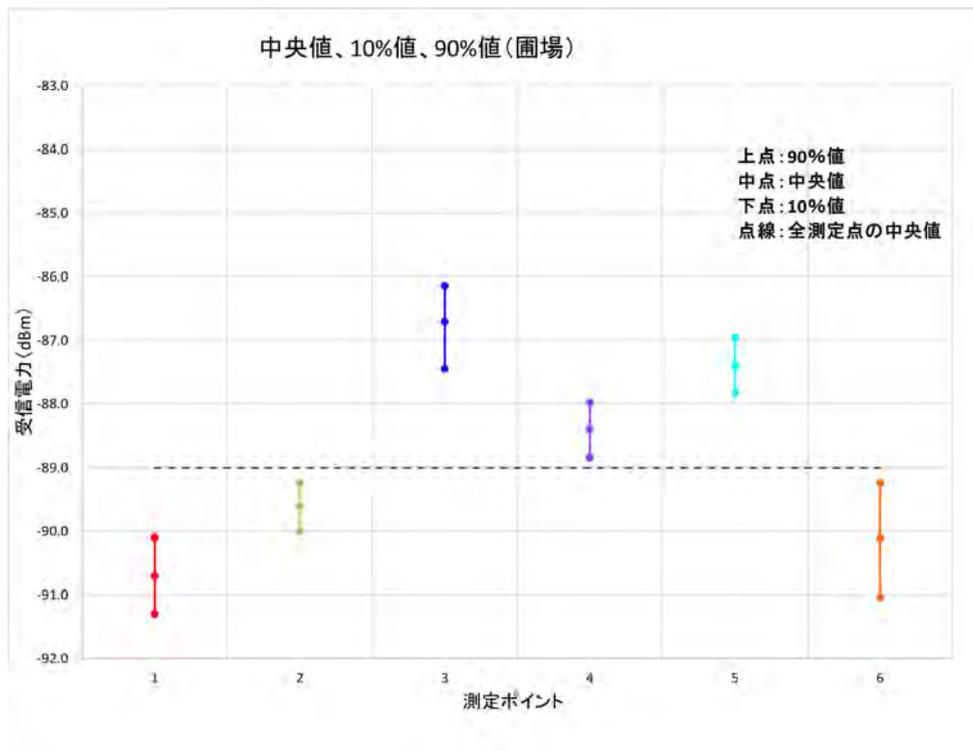


図 5-69 測定地点⑧における受信電力の中央値

図 5-70 に圍場における受信電力の距離特性を示す。農業用ハウスの測定地点は、全て見通し外 (NLOS) である。

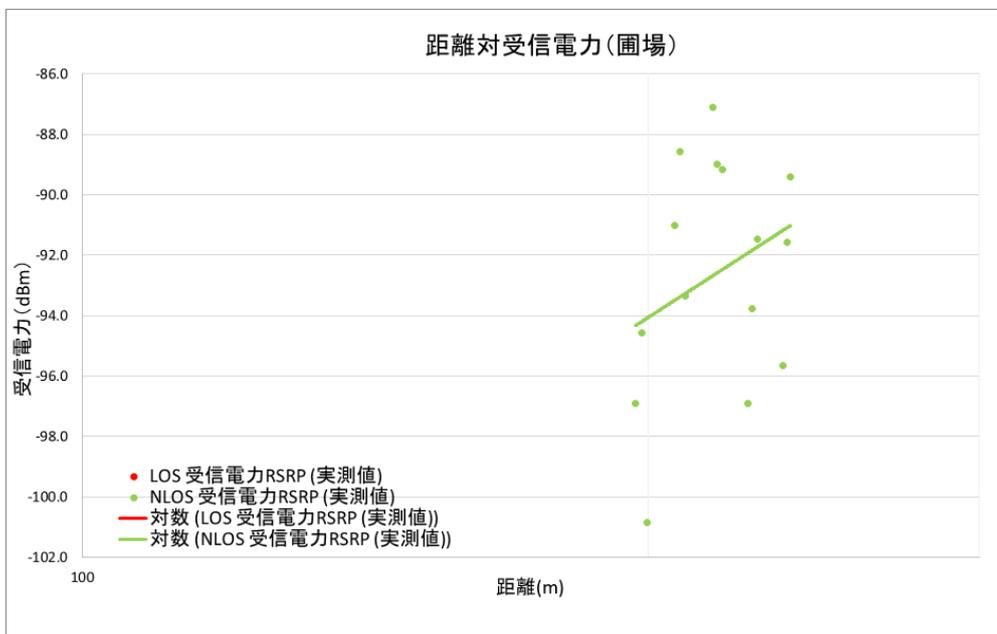


図 5-70 距離対受信電力

農業用ハウス、雨よけ及び圃場において測定した受信電力より、各測定地点における基地局アンテナからの水平角及び俯角に応じたアンテナ利得等の補正值を用いて、伝搬損失を計算した。

図 5-71 に、農業用ハウス、雨よけ及び圃場における伝搬損失の距離特性を NLOS と LOS を区別せずに示す。農業用ハウス、雨よけ及び圃場の各々について計算された伝搬損失に対して、最小二乗法で求めた近似直線も示した。さらに、比較のため、自由空間損失モデルによる伝搬損失の計算値も示す。

また、NLOS のみの伝搬損失の距離特性の比較を図 5-72 に示す。

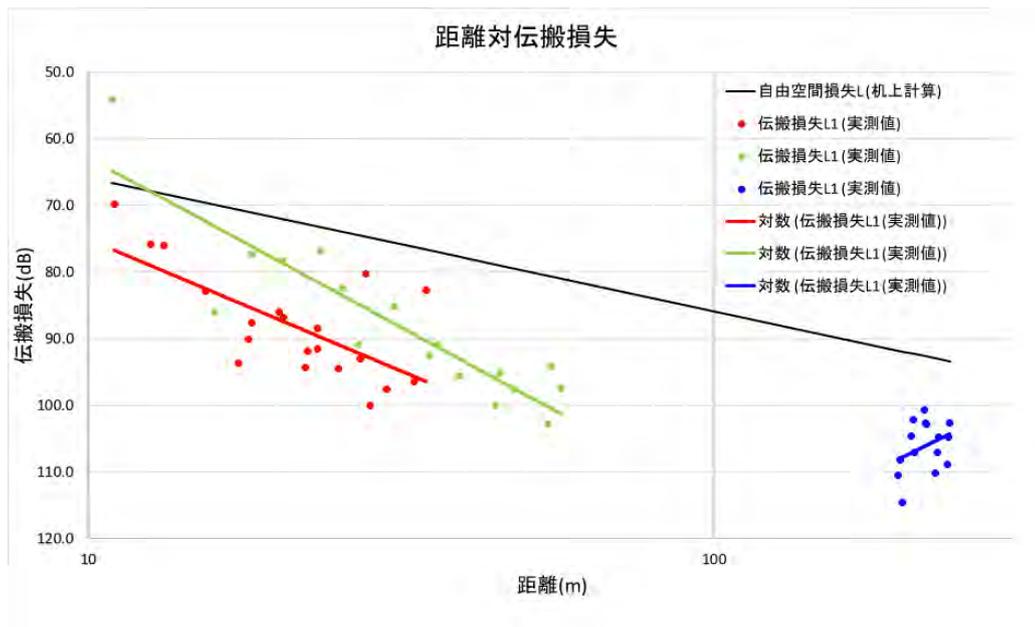


図 5-71 農業用ハウス、雨よけ及び圃場における距離対伝搬損失

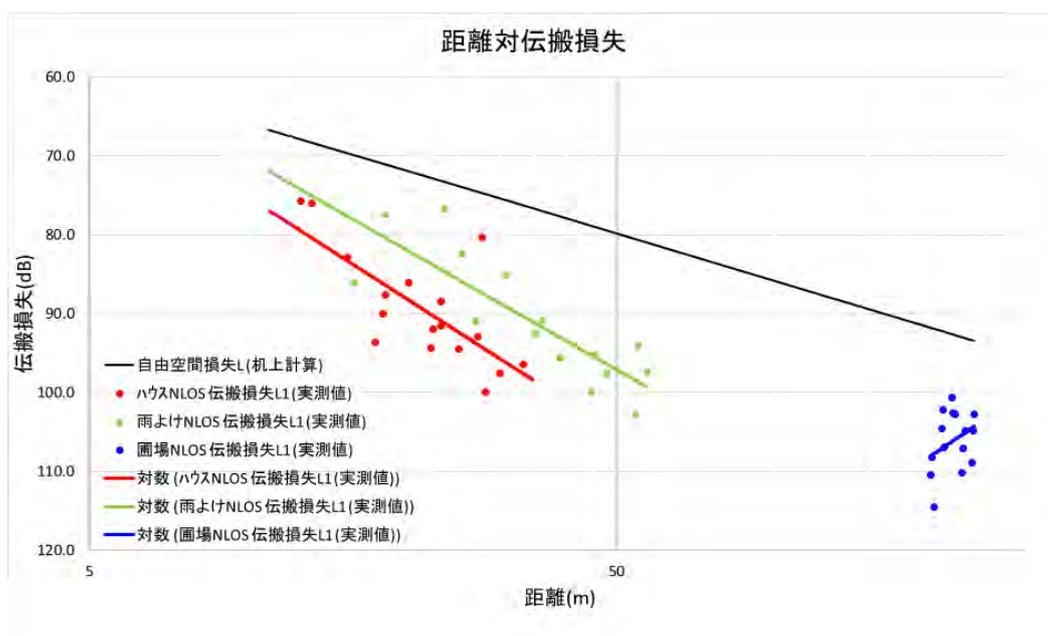


図 5-72 農業用ハウス、雨よけ及び圃場における距離対伝搬損失 (NLOS のみ)

(2) 伝送スループット

1) 農業用ハウス

図 5-73～図 5-75 に農業用ハウスにおいて、匠ソリューションの映像伝送を想定して 1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、農業用ハウスの測定地点②（基地局アンテナに比較的近い場所）、測定地点⑩（基地局アンテナより比較的遠い場所）及び測定地点⑱（基地局アンテナの見通し内の場所）における測定値を示す。

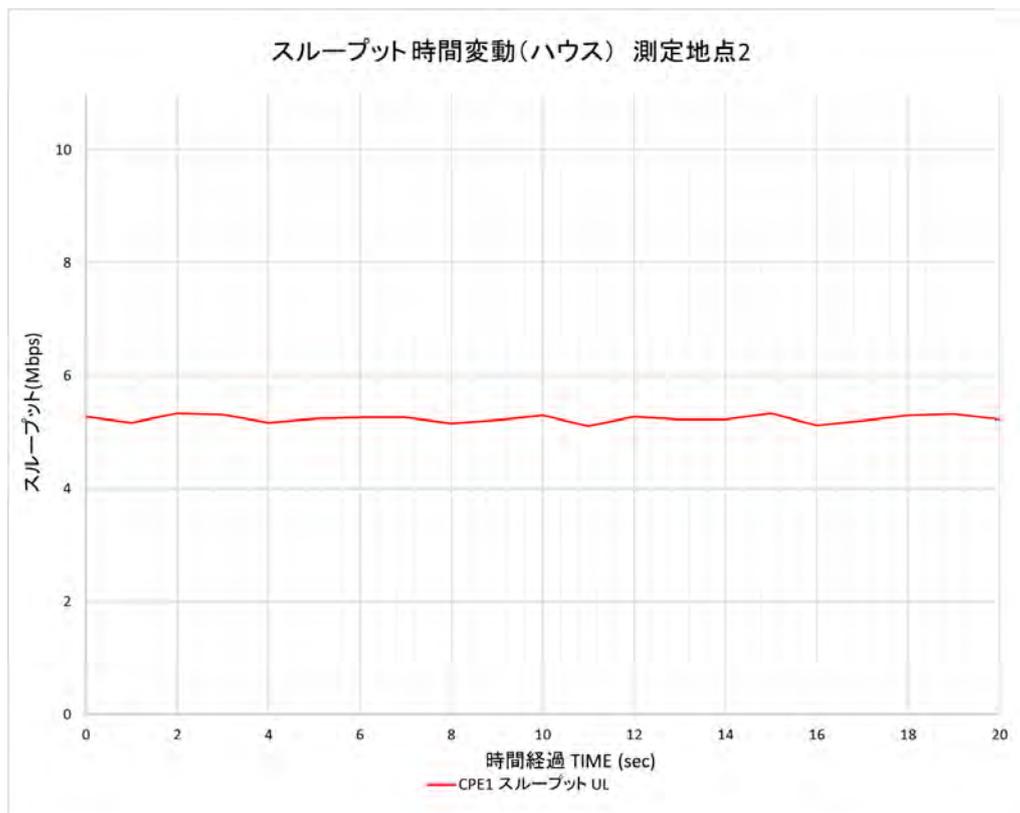


図 5-73 測定地点② スループット時間変動

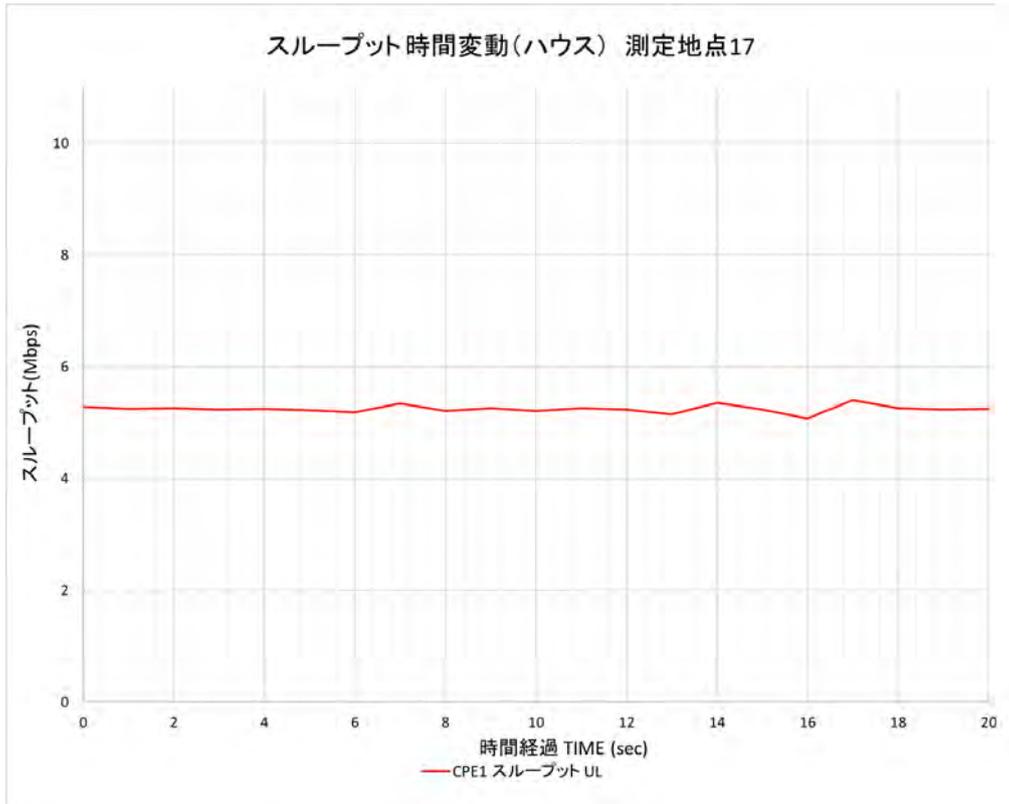


図 5-74 測定地点⑰ スループット時間変動

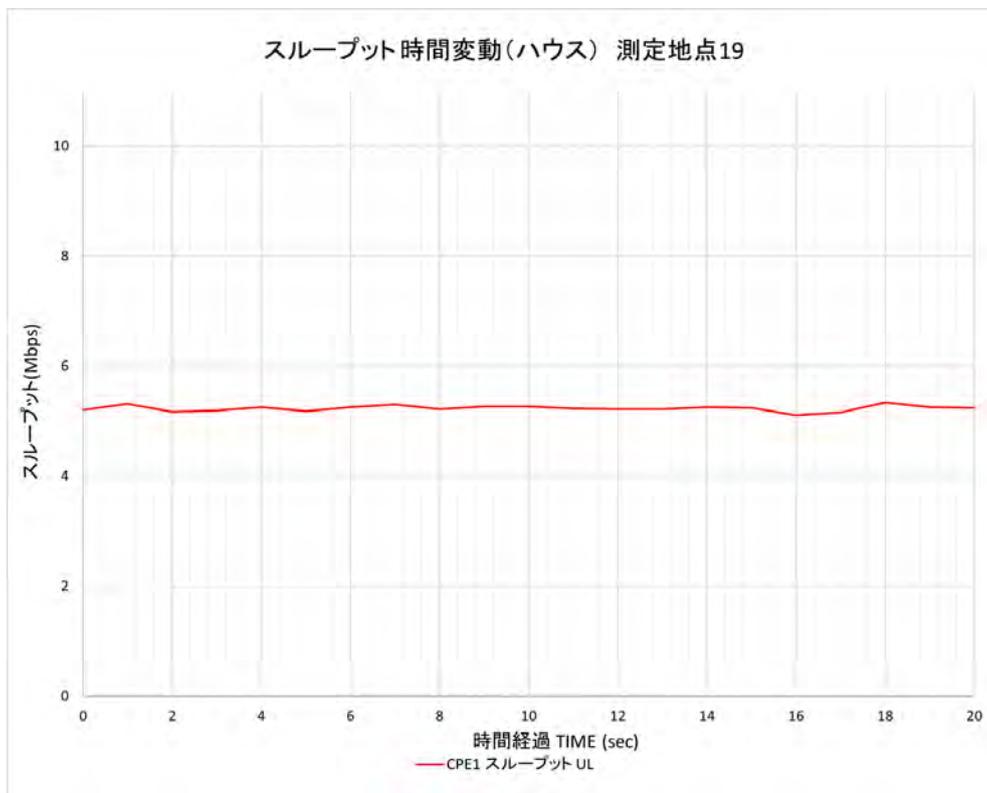


図 5-75 測定地点⑱ スループット時間変動

図 5-76 に農業用ハウスにおいて、1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送スループットの距離特性を示す。

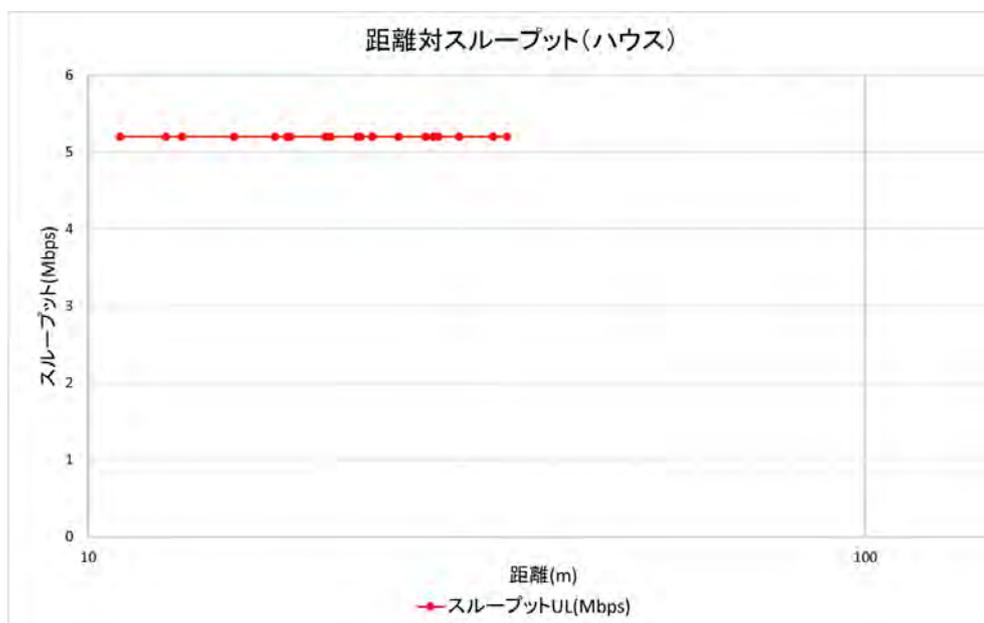


図 5-76 スループット (農業用ハウス)

2) 雨よけ

図 5-77～図 5-79 に雨よけにおいて、匠ソリューションの映像伝送を想定して 1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、雨よけの測定地点②（基地局アンテナに比較的近い場所）、測定地点⑬（基地局アンテナより比較的遠い場所）及び測定地点⑰（基地局アンテナの見通し内の場所）における測定値を示す。

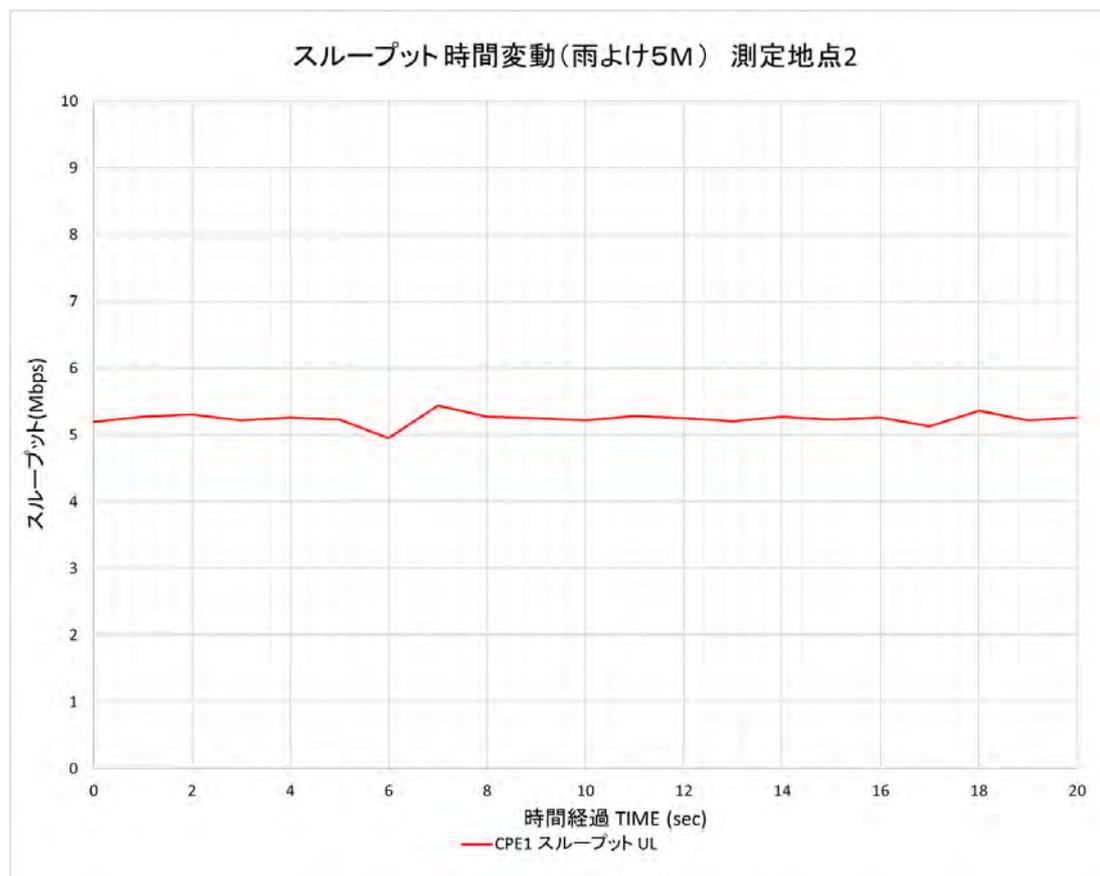


図 5-77 測定地点② スループット時間変動

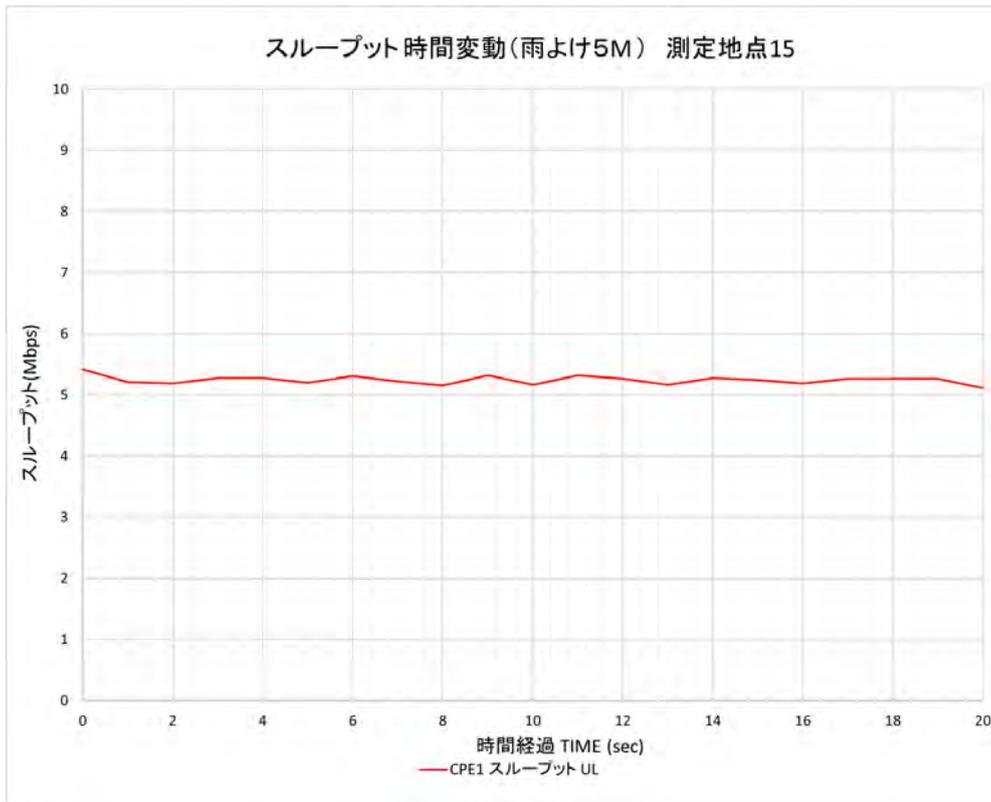


図 5-78 測定地点⑮ スループット時間変動

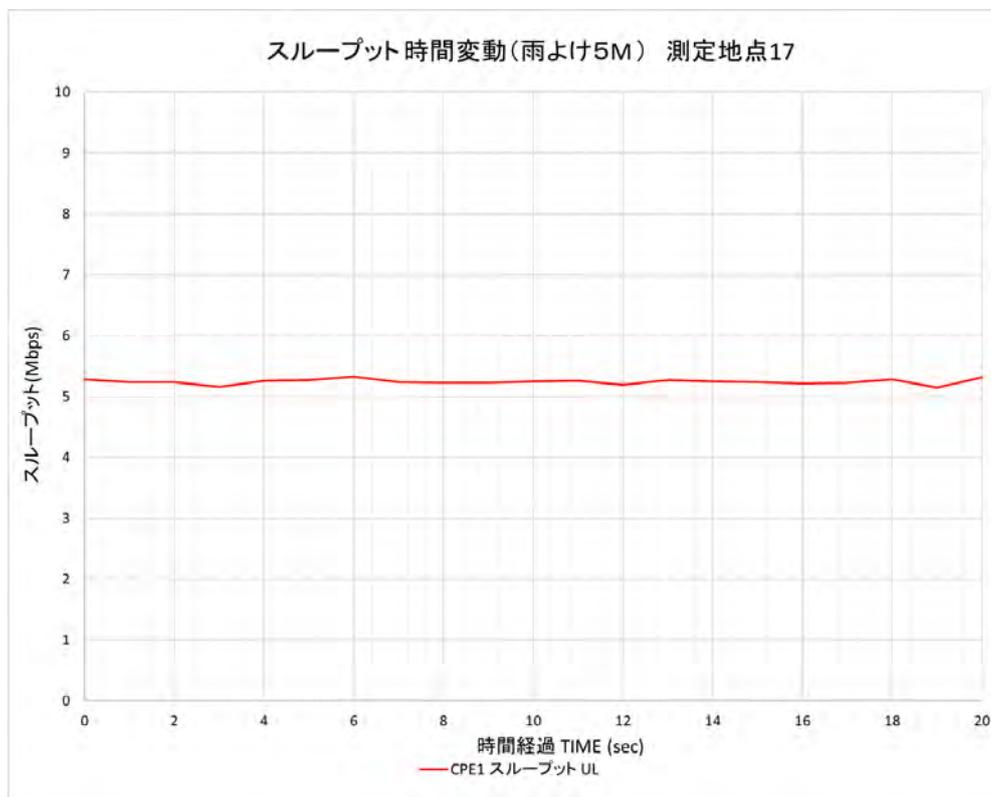


図 5-79 測定地点⑰ スループット時間変動

図 5-80 に雨よけにおいて 1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送スループットの距離特性を示す。

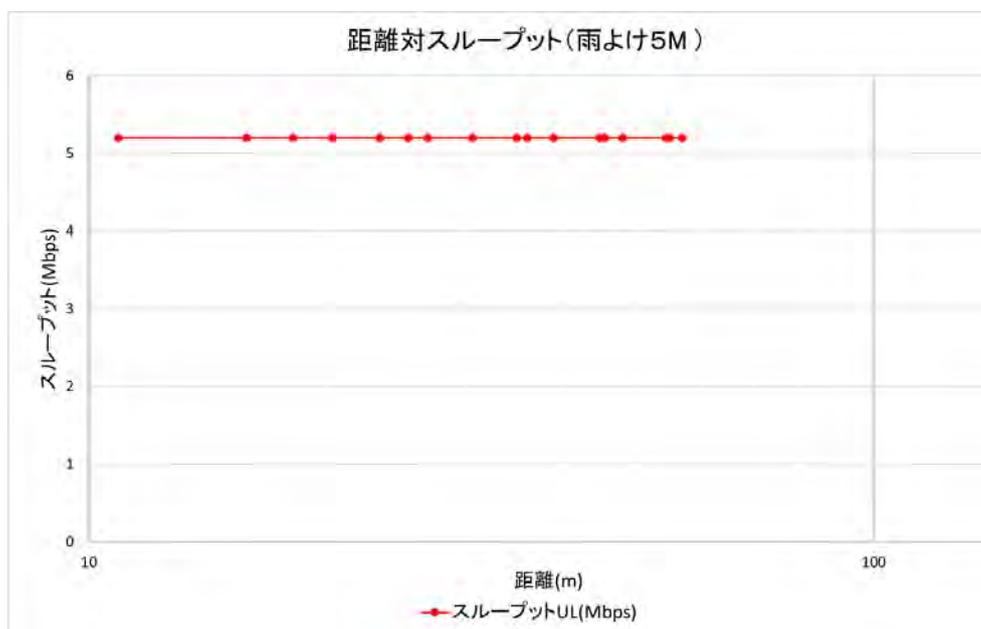


図 5-80 スループット (雨よけ)

図 5-81 及び図 5-82 に雨よけにおいて、匠ソリューションの映像伝送のため最大 5 台のスマートグラスの同時利用で最大 25Mbps (5Mbps x 最大 5 台) の伝送を想定して上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、雨よけの測定地点②及び測定地点⑮における測定値を示す。3 台の CPE を用いて測定を行い、2 台の CPE で 10Mbps、残り 1 台の CPE で 5Mbps の送信を行った。

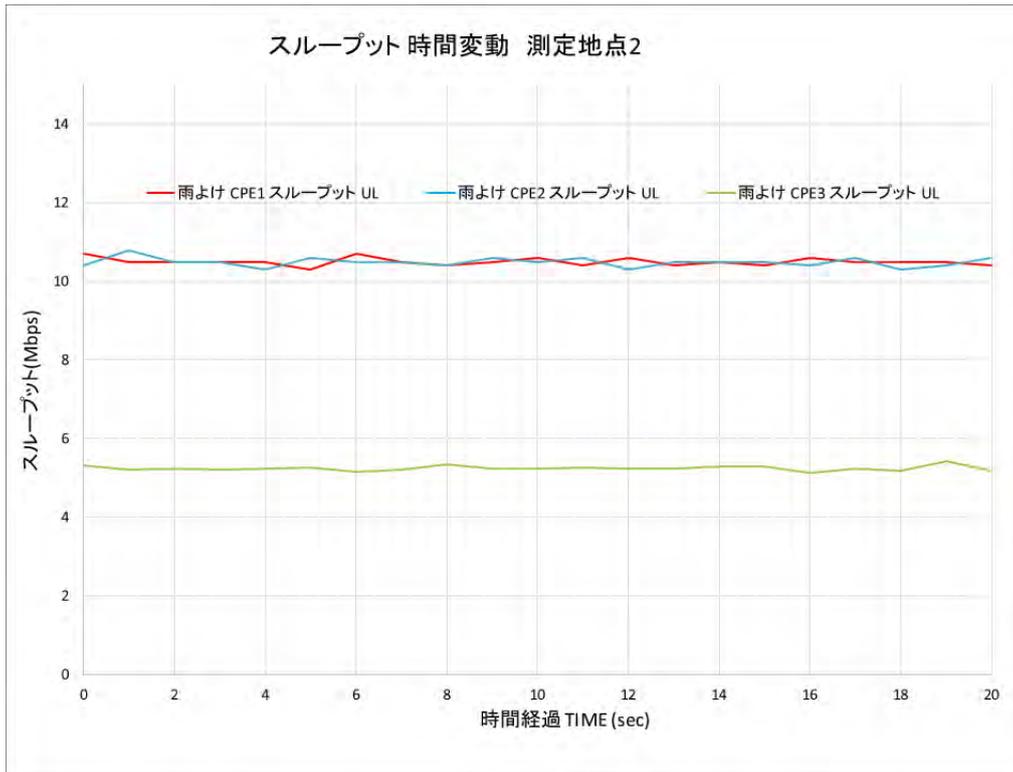


図 5-81 測定地点② スループット時間変動

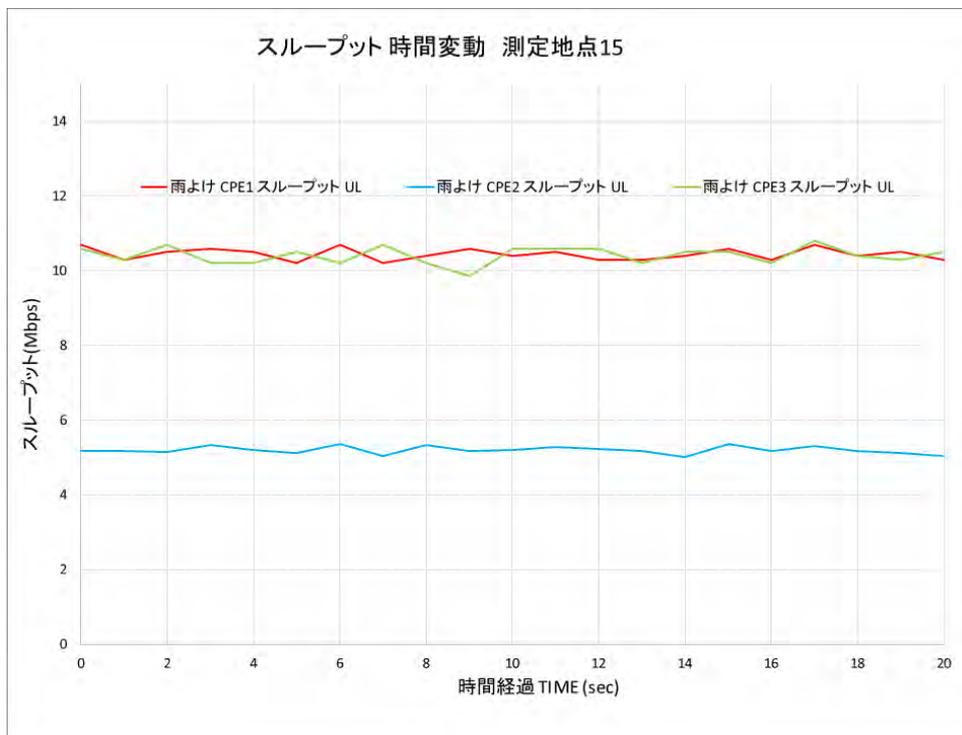


図 5-82 測定地点⑮ スループット時間変動

図 5-83 に雨よけにおいて、匠ソリューションの映像伝送のため最大 5 台のスマートグラスの同時利用を想定して上り送信を行った際の伝送スループットを、距離をパラメータと

して示す。

同時利用数が1台～5台としたときに伝送スループットは、距離によらず、ほぼ同一の値となった。

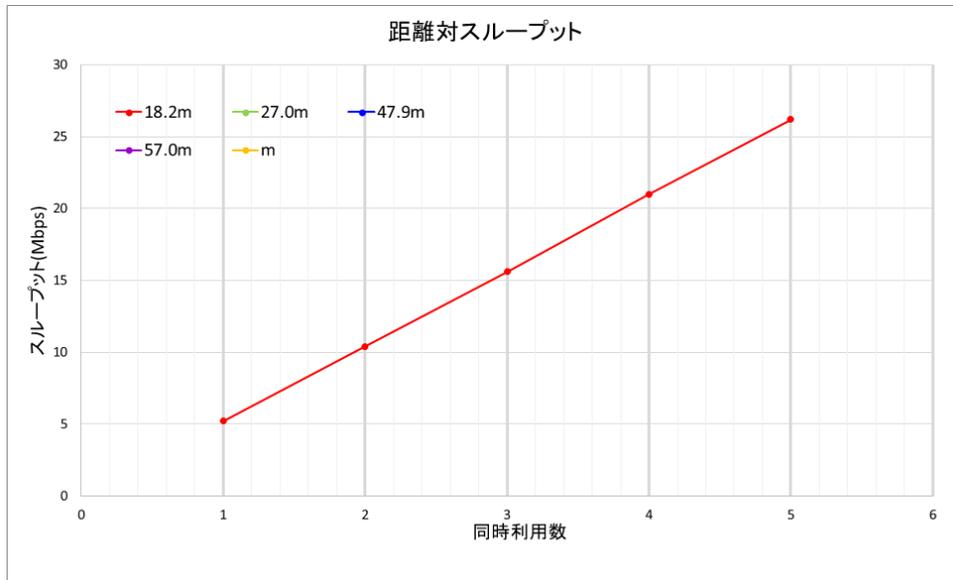


図 5-83 5 台同時利用による距離対スループット (積上げ)

図 5-84 に雨よけにおいて、匠ソリューションの映像伝送のため最大 5 台のスマートグラスの同時利用を想定して上り送信を行った際の伝送スループット (合計値) の距離特性を、同時利用数をパラメータとして示す。

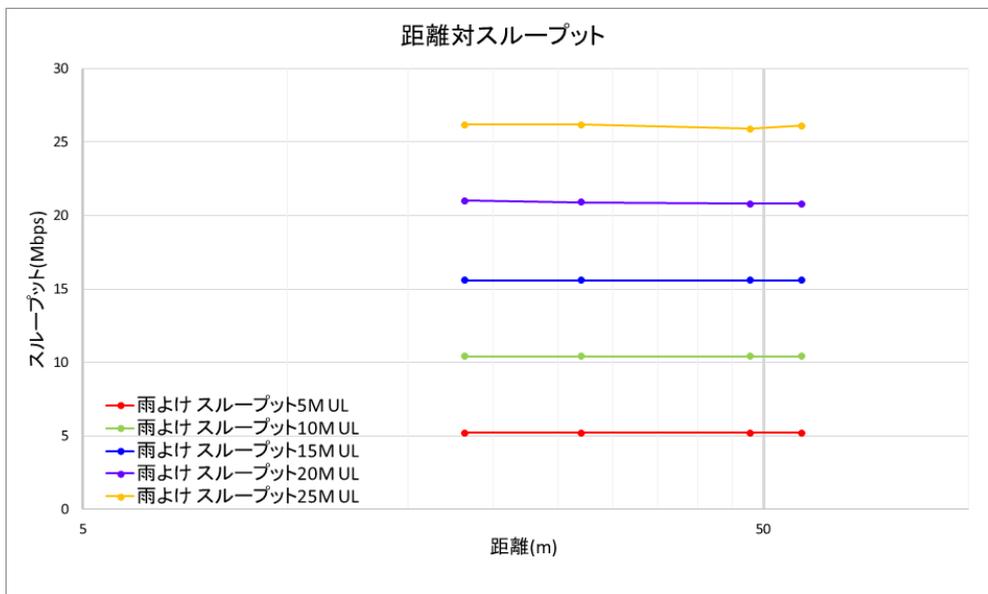


図 5-84 5 台同時利用による距離対スループット

図 5-85 に雨よけにおいて、防犯ソリューションのため 4K カメラ映像伝送を想定した合計 60Mbps (20Mbps/台 x 3 台) の上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動を示

す。

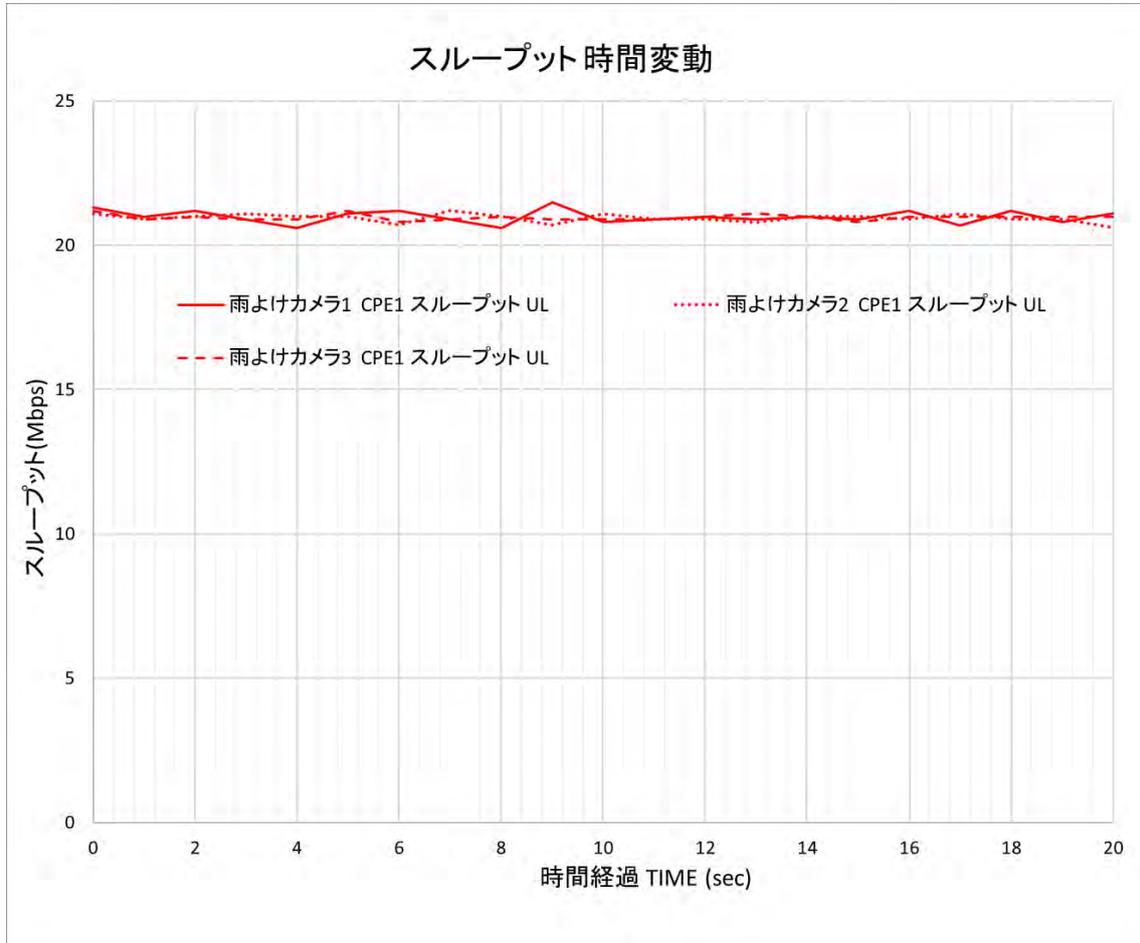


図 5-85 4K カメラ映像伝送想定 スループット時間変動

3) 圃場

図 5-86 に圃場において、匠ソリューションの映像伝送を想定して 1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、圃場の測定地点⑧における測定値を示す。

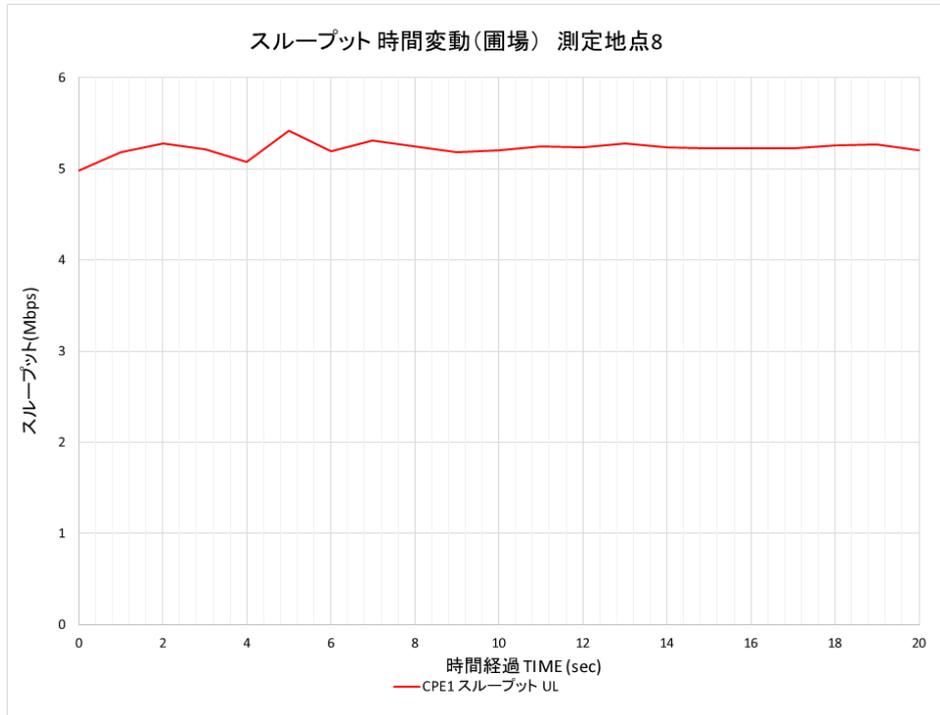


図 5-86 測定地点⑧ スループット時間変動

図 5-87 に圃場において 1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送スループットの距離特性を示す。

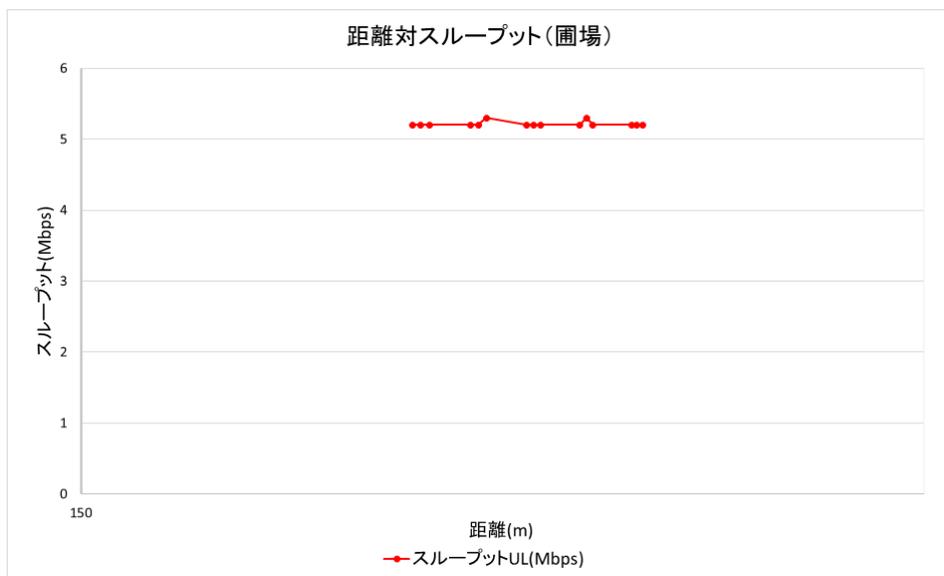


図 5-87 距離対スループット

図 5-88 及び図 5-89 に圃場において、最大 5 台のスマートグラスの同時利用を想定して上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、圃場の測定地点②及び測定地点④における測定値を示す。

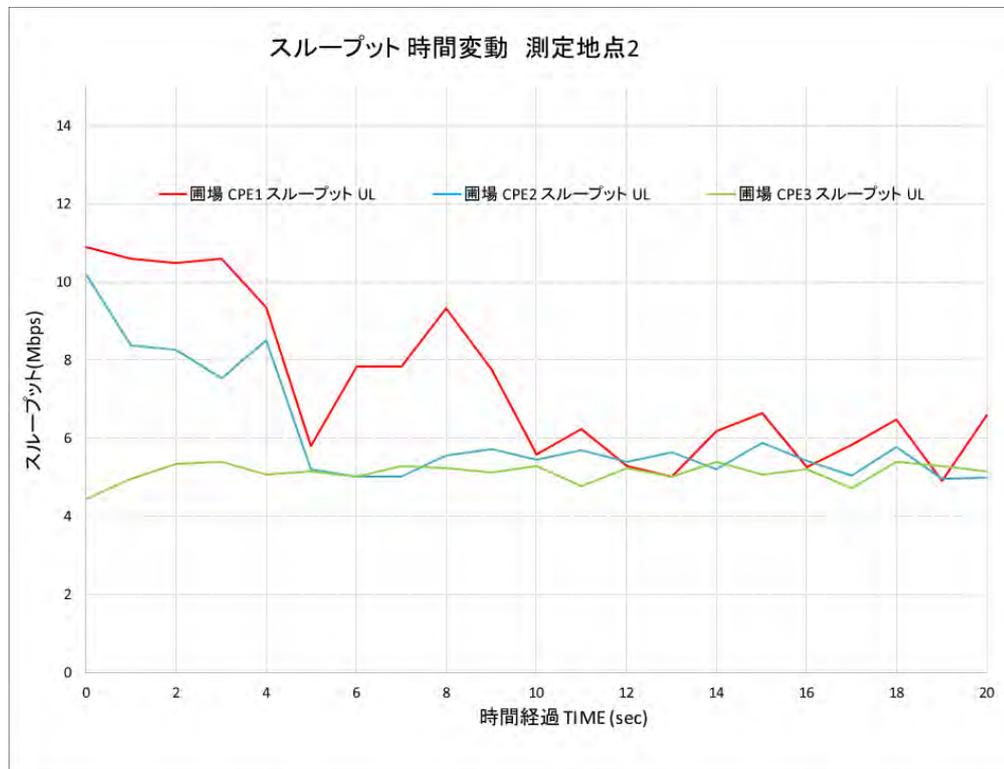


図 5-88 測定地点② スループット時間変動

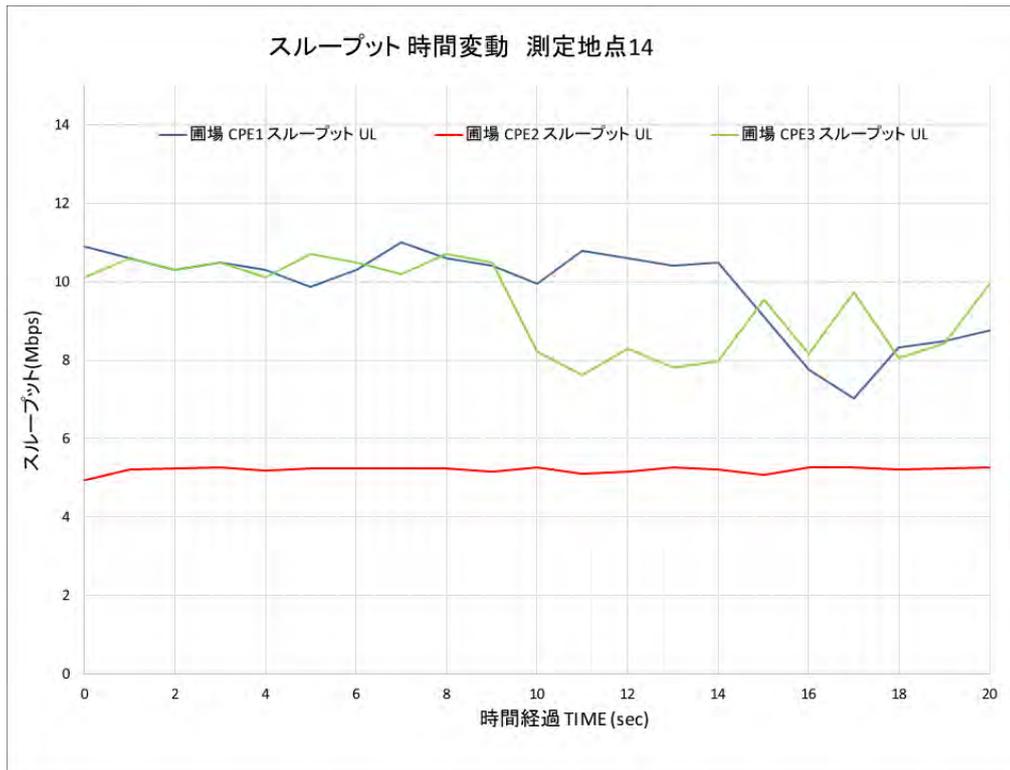


図 5-89 測定地点⑭ スループット時間変動

図 5-90 に圃場において、最大 5 台のスマートグラスの同時利用を想定して上り送信を行った際の伝送スループットを、距離をパラメータとして示す。

測定地点②では、同時利用数を 4 台以上にしたときに、1 台あたりのスループットが低下した。

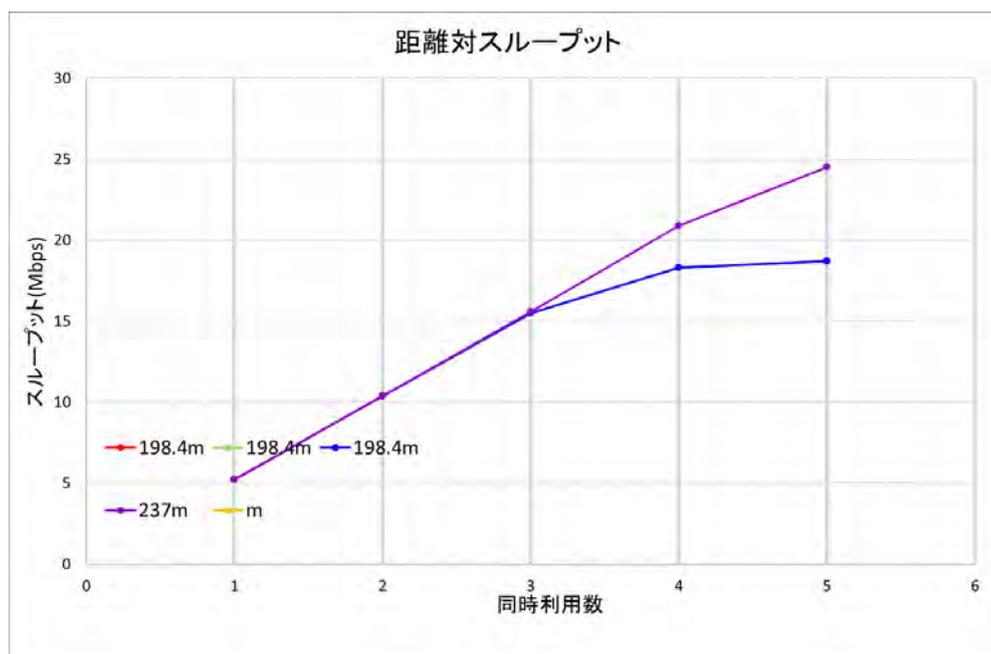


図 5-90 5 台同時利用による距離対スループット (積上げ)

図 5-91 に同時利用数をパラメータとした伝送スループット(合計値)の距離特性も示す。

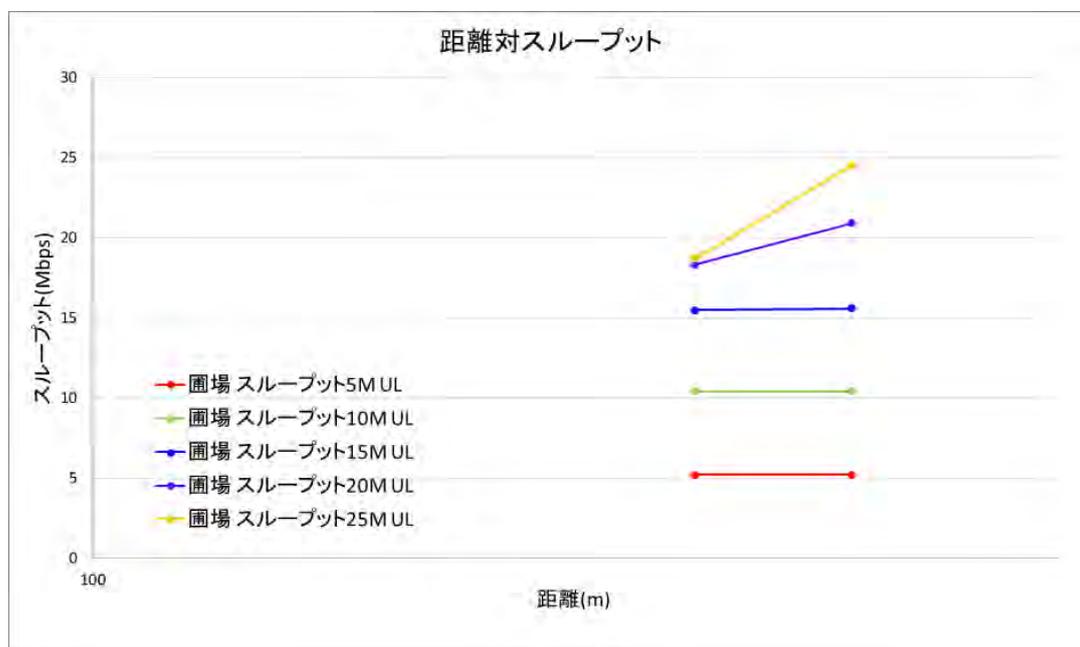


図 5-91 5 台同時利用による距離対スループット

(3) 伝送遅延時間

1) ハウス

図 5-92～図 5-94 にハウスにおいて、匠ソリューションの映像伝送を想定して 1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送遅延時間の時間変動の例として、ハウスの測定地点②(基地局アンテナに比較的近い場所)、測定地点⑰(基地局アンテナより比較的遠い場所)及び測定地点⑲(基地局アンテナの見通し内の場所)における測定値を示す。

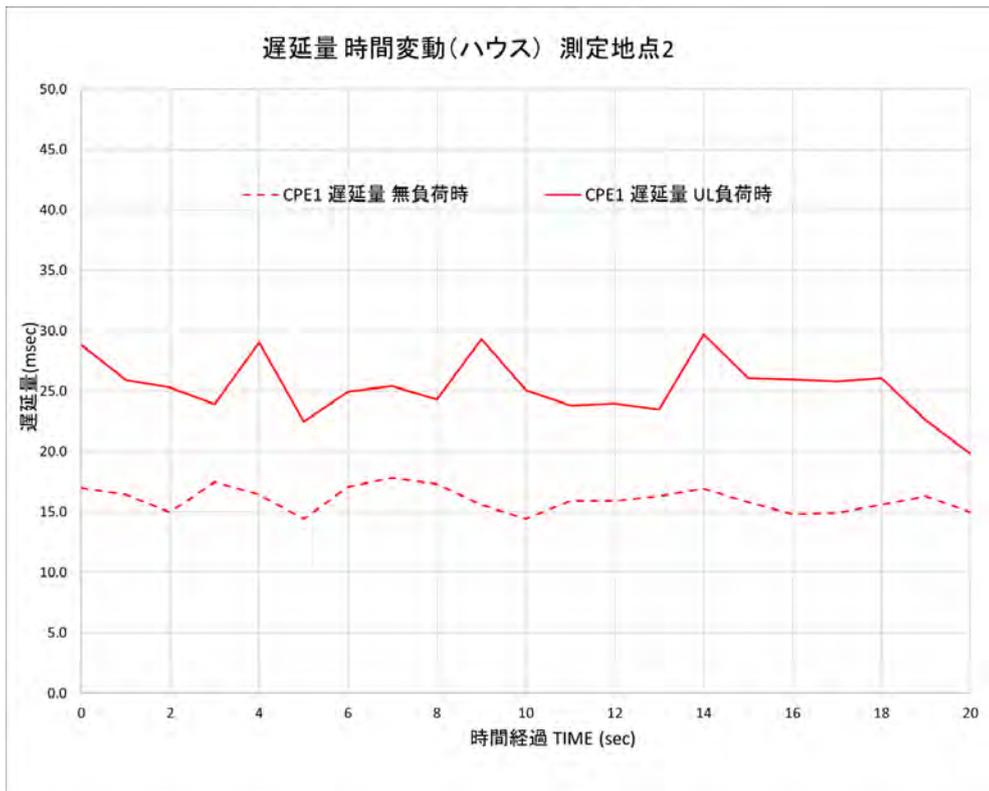


図 5-92 測定地点② 遅延量

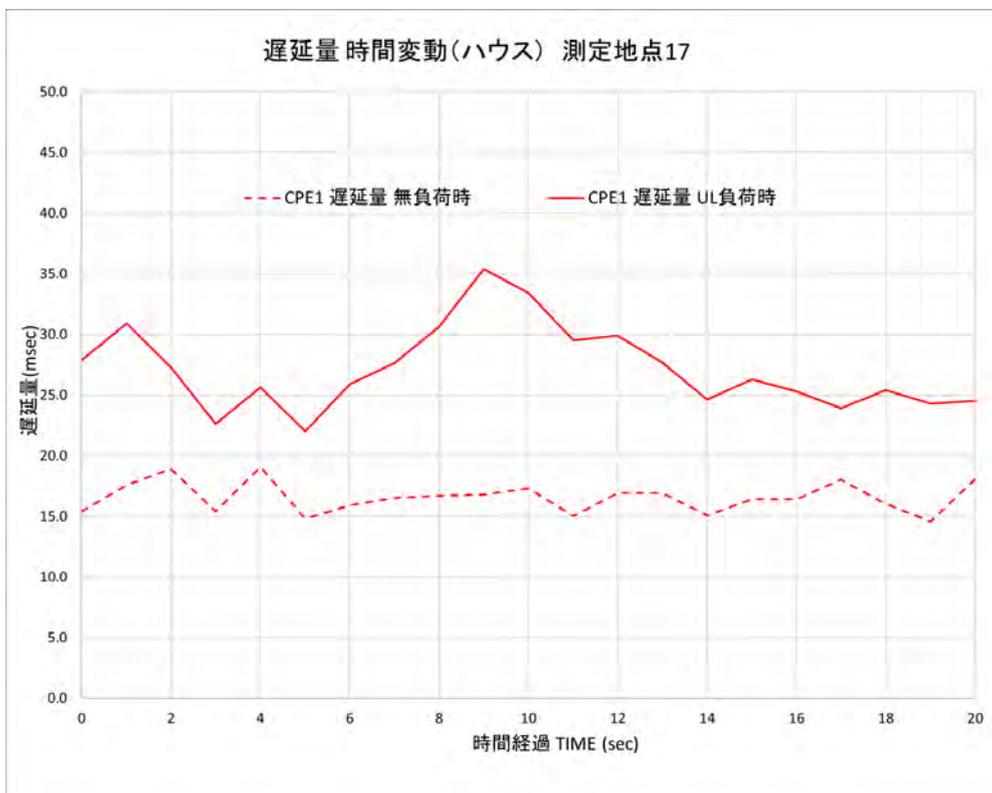


図 5-93 測定地点⑰ 遅延量

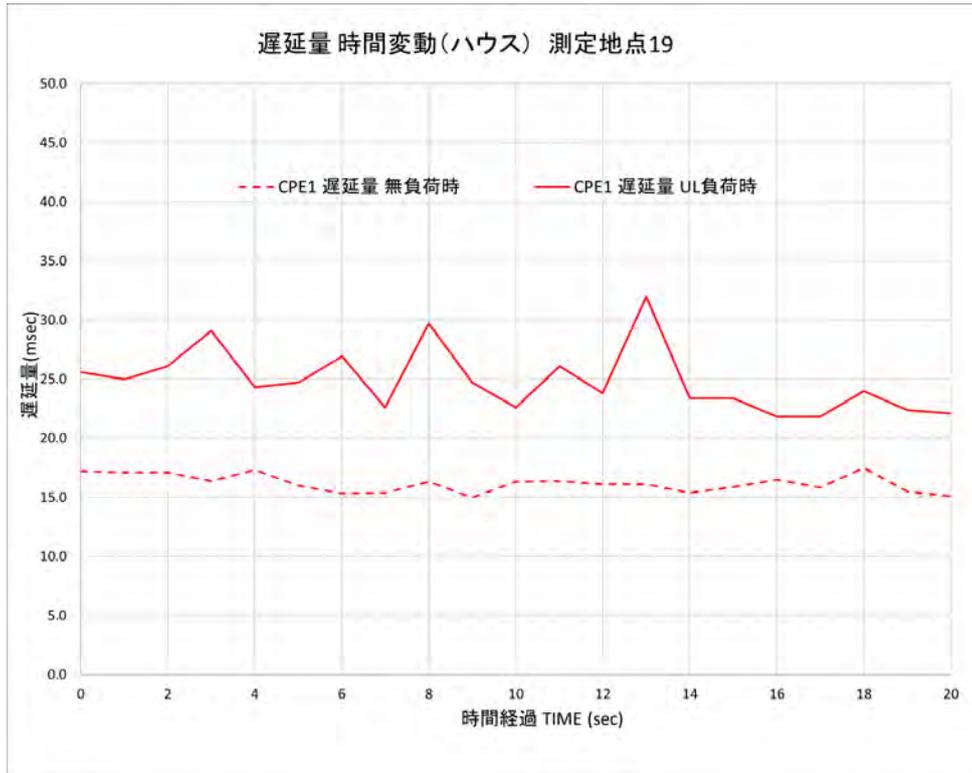


図 5-94 測定地点⑱ 遅延量

図 5-95 にハウスにおいて 1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送遅延時間の距離特性を示す。



図 5-95 遅延量

2) 雨よけ

図 5-96～図 5-98 に雨よけにおいて、匠ソリューションの映像伝送を想定して 1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送遅延時間の時間変動の例として、雨よけの測定地点②(基地局アンテナに比較的近い場所)、測定地点⑬(基地局アンテナより比較的遠い場所) 及び測定地点⑰(基地局アンテナの見通し内の場所) における測定値を示す。

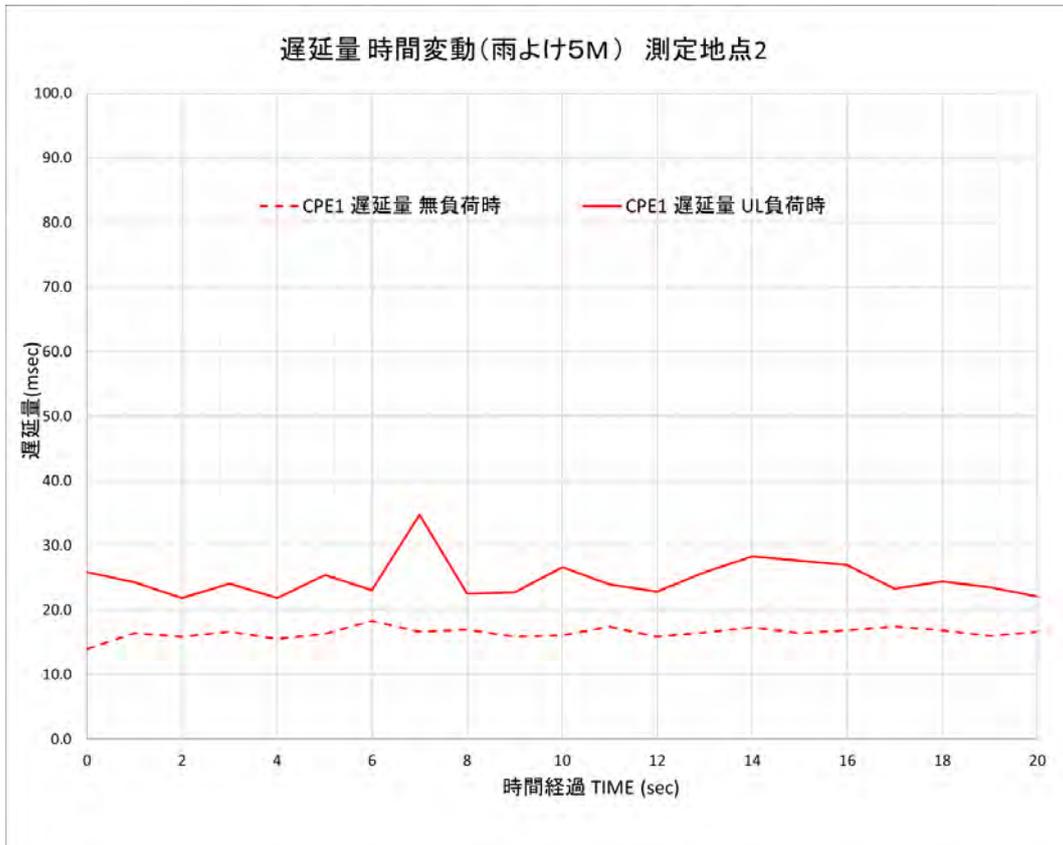


図 5-96 測定地点② 遅延量

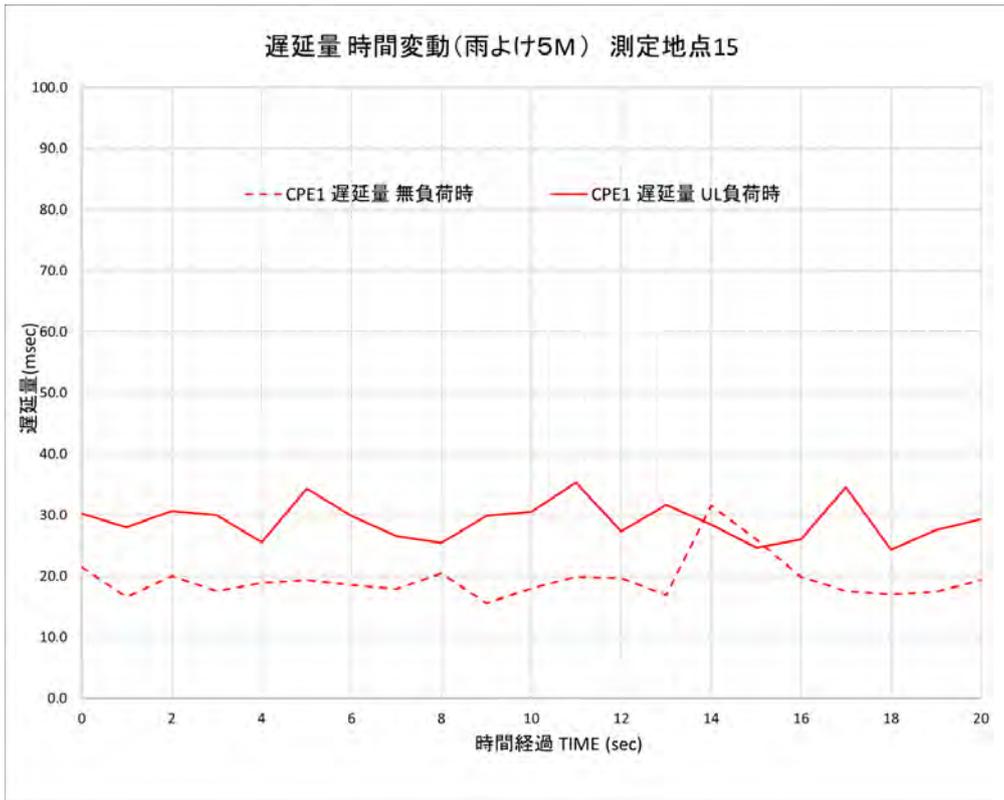


図 5-97 測定地点⑮ 遅延量

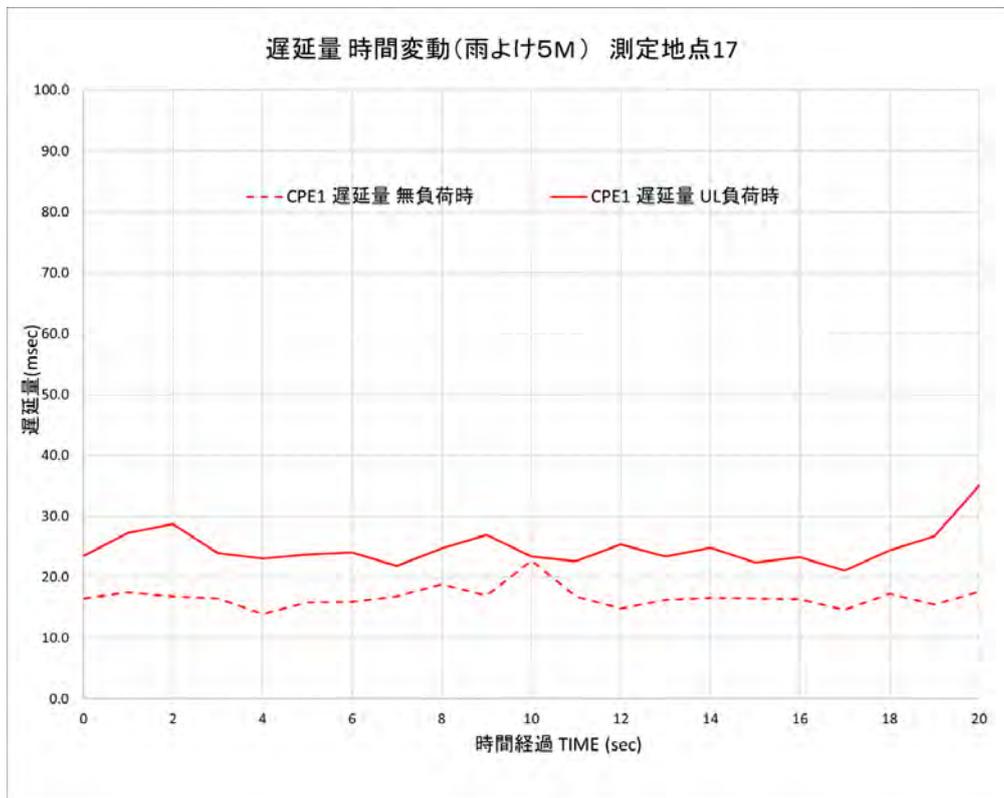


図 5-98 測定地点⑰ 遅延量

図 5-99 に雨よけにおいて 1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送遅延時間の距離特性を示す。



図 5-99 遅延量

図 5-100 及び図 5-101 に雨よけにおいて、匠ソリューションの映像伝送のため最大 5 台のスマートグラスの同時利用を想定して上り送信を行った際の伝送遅延時間の時間変動の例として、雨よけの測定地点②及び測定地点⑮における測定値を示す。
CPE1 10Mbps/CPE2 10Mbps/CPE3 5Mbps 送信とし、合計 25Mbps 送信とした。

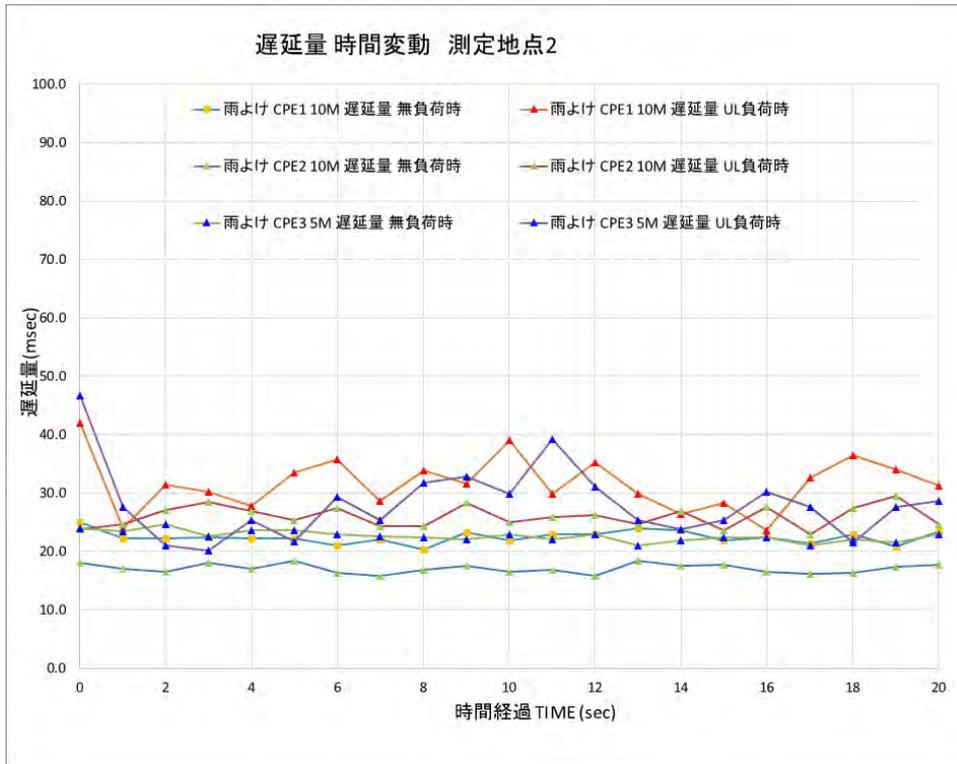


図 5-100 測定地点② 伝送遅延 時間変動

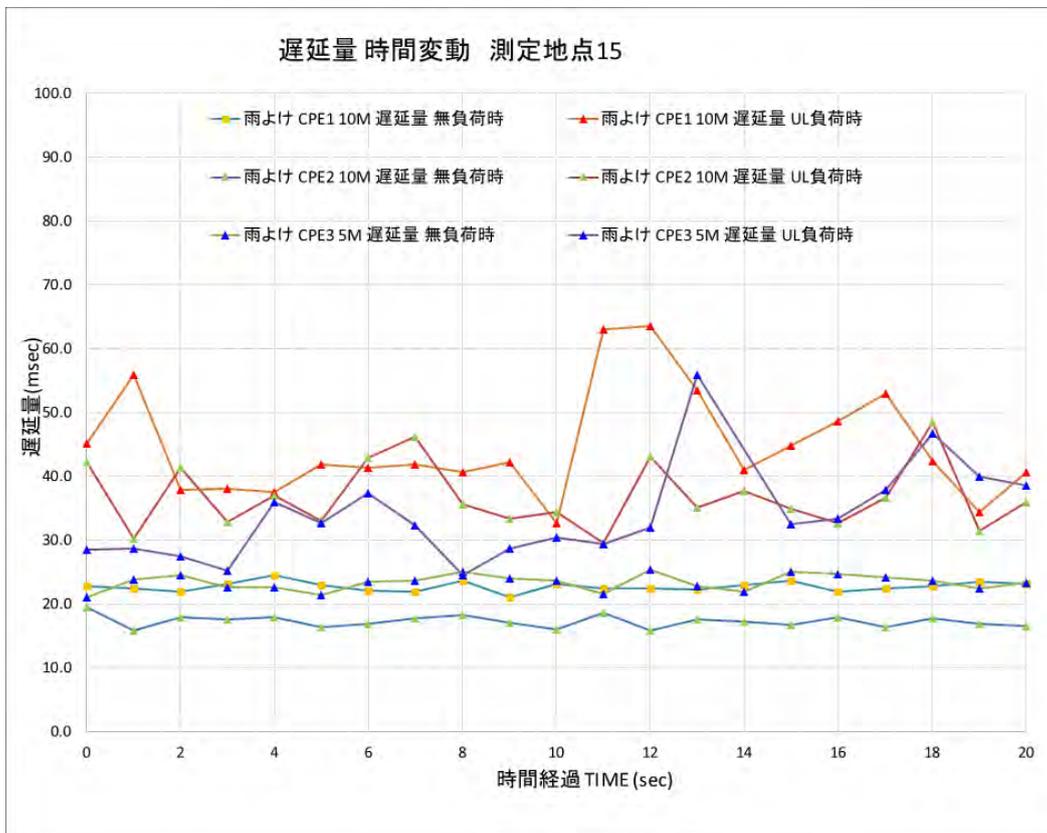


図 5-101 測定地点⑮ 伝送遅延 時間変動

図 5-102 に雨よけにおいて、匠ソリューションの映像伝送のため最大 5 台のスマートグラスの同時利用を想定して上り送信を行った際の伝送遅延時間を、距離をパラメータとして示す。

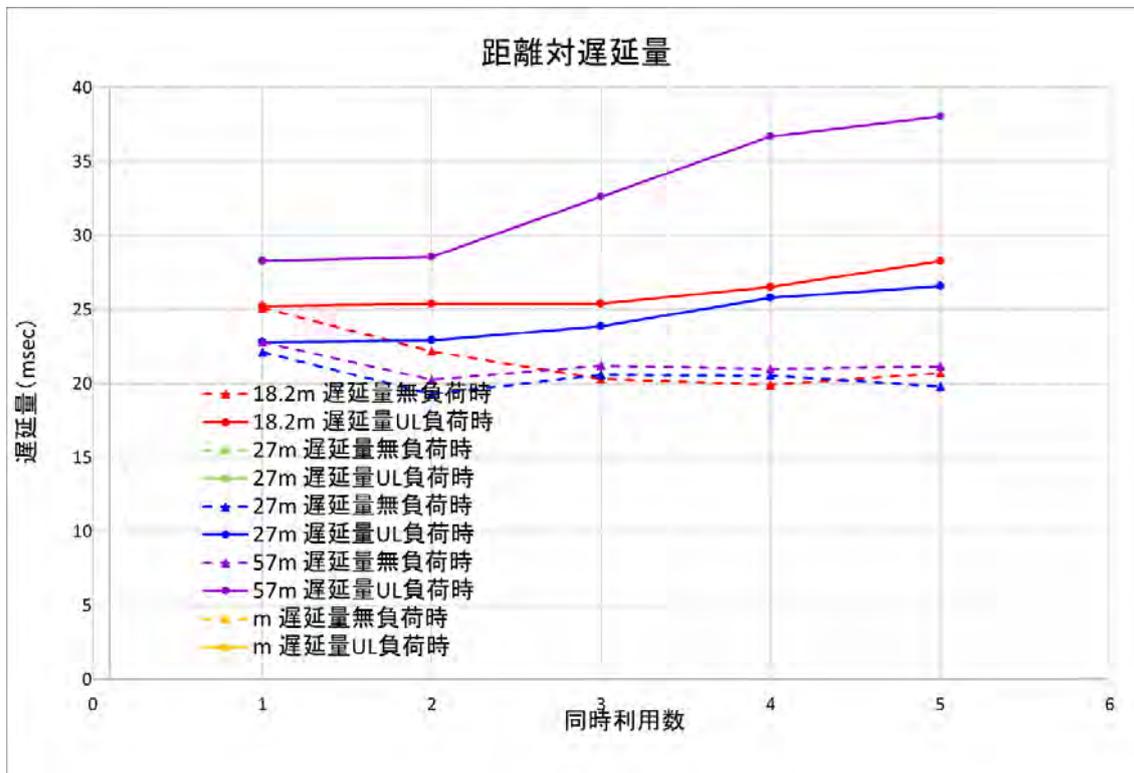


図 5-102 同時利用数における距離対遅延量

図 5-103 に同時利用数をパラメータとした伝送遅延時間の距離特性も示す。

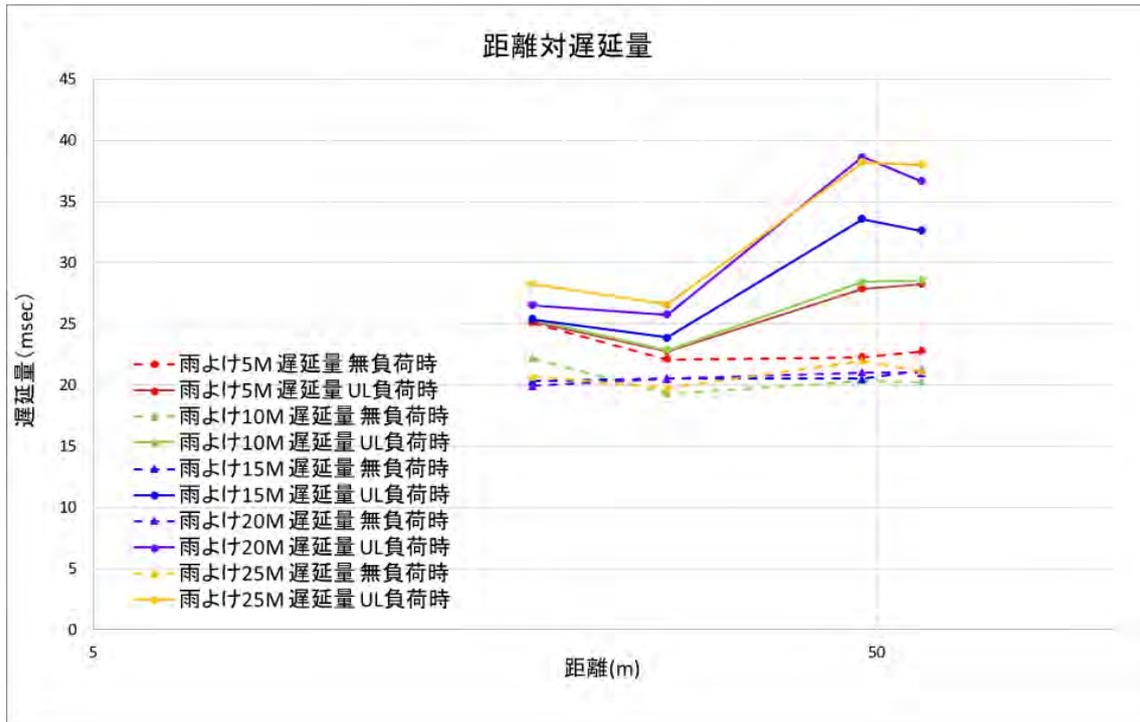


図 5-103 同時利用数における距離対遅延量

図 5-104 に雨よけにおいて、防犯ソリューションのための 4K カメラ映像伝送を想定した合計 60Mbps (20Mbps/台 x 3 台) の上り送信を行った際の伝送遅延時間の時間変動を示す。

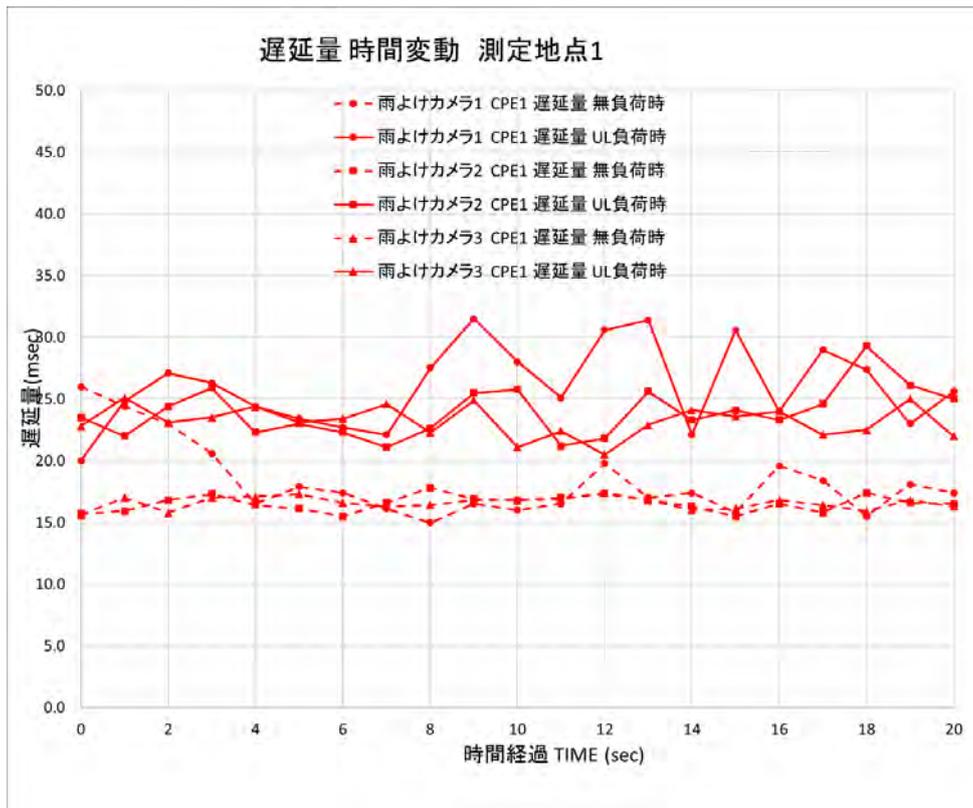


図 5-104 4K カメラ映像想定時の遅延量時間変動

3) 圃場

図 5-105 に圃場において、匠ソリューションの映像伝送を想定して 1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送遅延時間の時間変動の例として、圃場の測定地点⑧における測定値を示す。

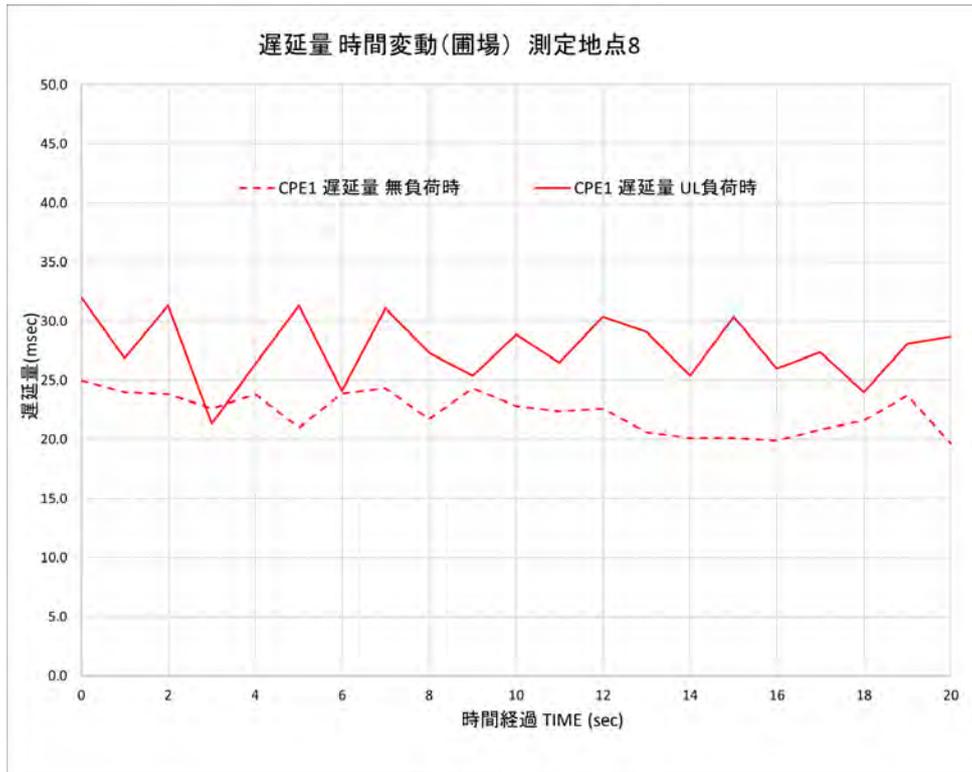


図 5-105 測定地点⑧ 遅延量

図 5-106 に圃場において、1 台の CPE で上り送信を行った際の伝送遅延時間の距離特性を示す。



図 5-106 遅延量

図 5-107 及び図 5-108 に圃場において、最大 5 台のスマートグラスの同時利用を想定して上り送信を行った際の伝送遅延時間の時間変動の例として、圃場の測定地点②及び測定

地点⑭における測定値を示す。

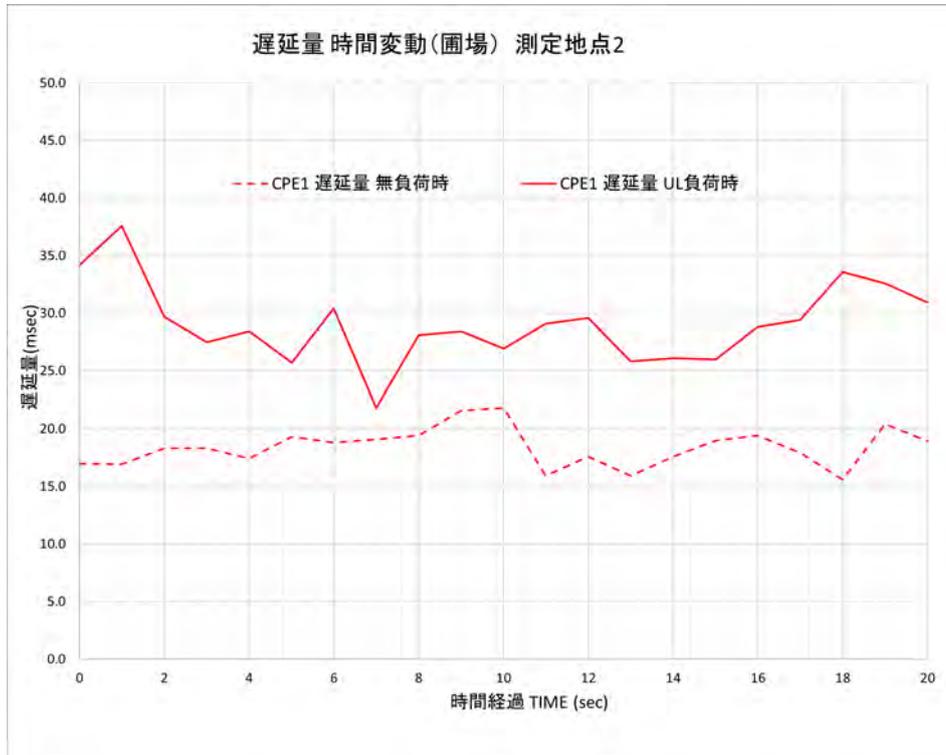


図 5-107 測定地点② 伝送遅延の遅延量

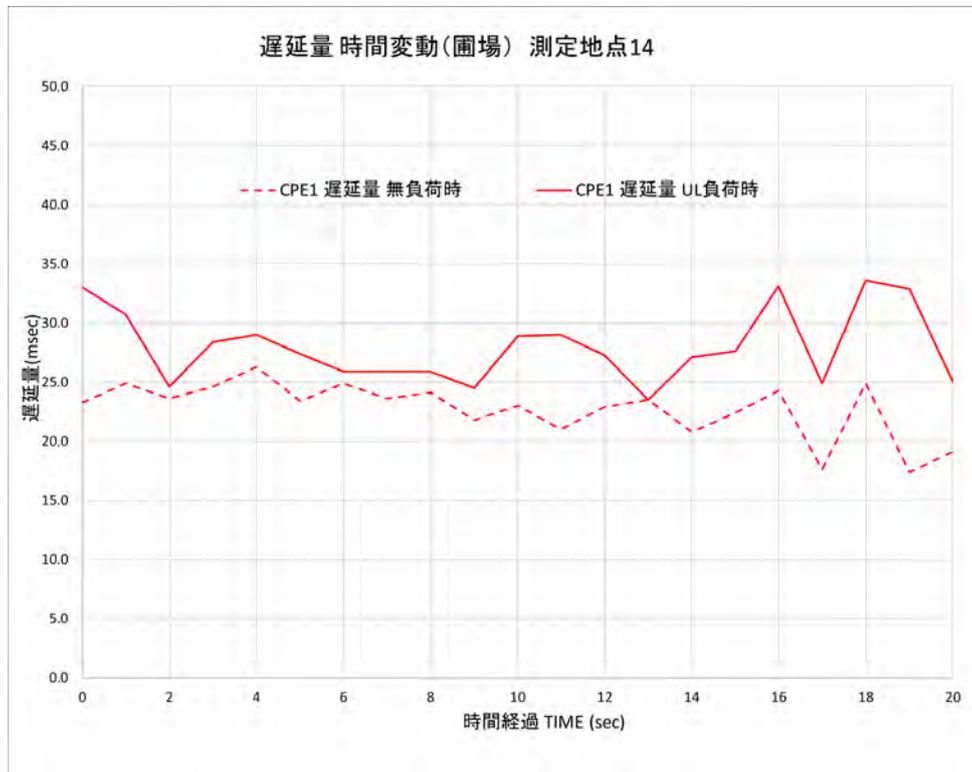


図 5-108 測定地点⑭ 伝送遅延の遅延量

図 5-109 に圃場において、最大 5 台のスマートグラスの同時利用を想定して上り送信を行った際の伝送遅延時間を、距離をパラメータとして示す。

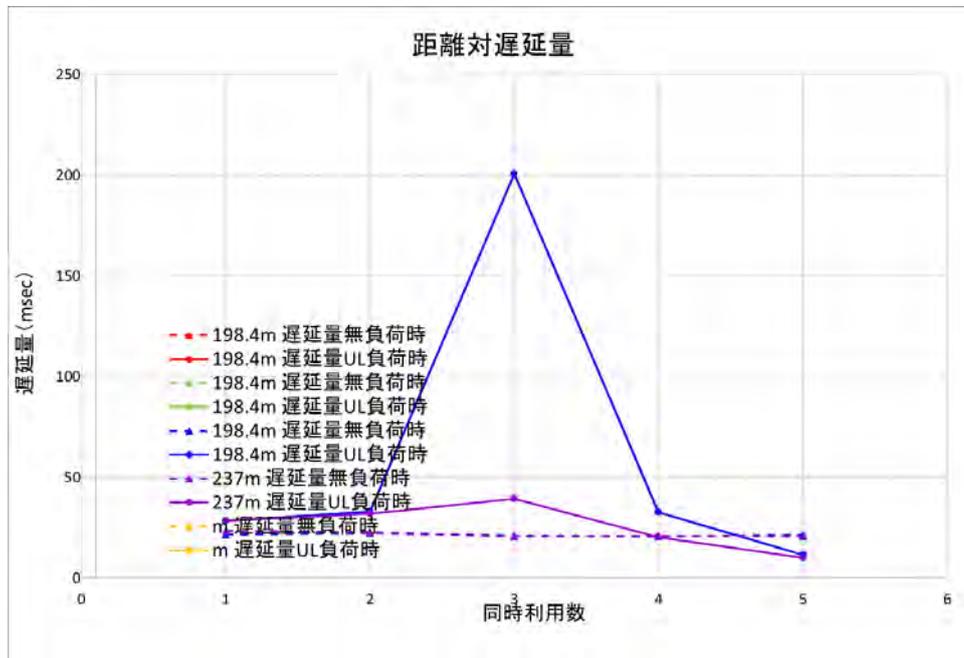


図 5-109 同時利用数における距離対遅延量

図 5-110 に同時利用数をパラメータとした伝送遅延時間の距離特性も示す。

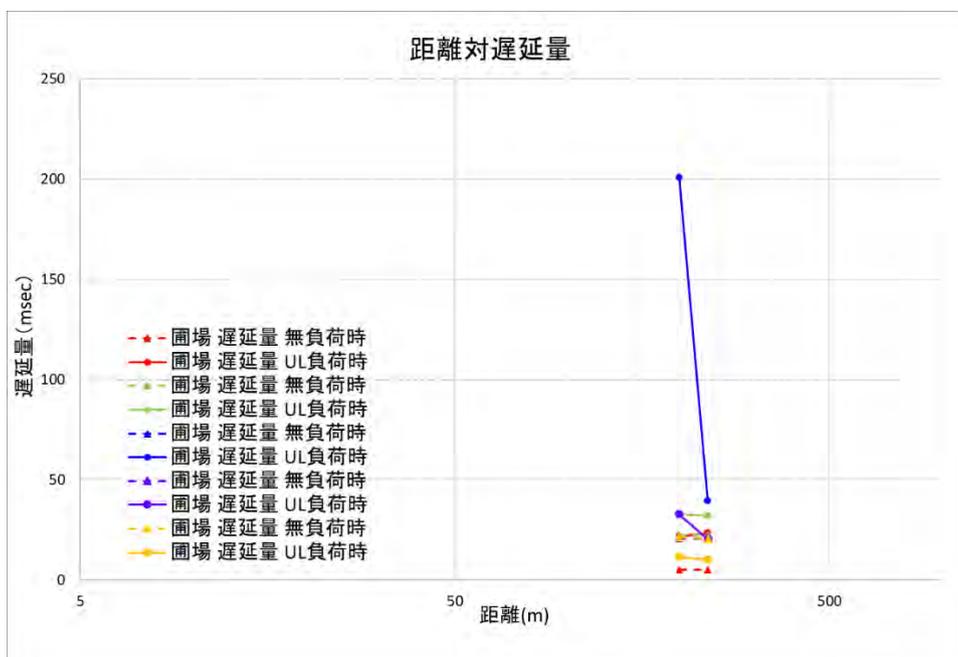


図 5-110 同時利用数における距離対遅延量

5.3.5 技術的課題の解決方策

農業用ハウス、雨よけ及び圃場のそれぞれの条件の違いにより、伝搬損失の距離特性が以下のように異なる。

- ハウスと雨よけの NLOS における伝搬損失を比較すると、ハウスの伝搬損失が雨よけの伝搬損失よりも約 3dB だけ大きい。この理由としては、ハウスの方がぶどうの木の葉が多かったことが考えられる。
- 圃場は、伝搬損失のデータを取得できた範囲が 200~240m であり、ハウスや雨よけと比較して、伝搬距離が長い場所であるが、自由空間損失との差は余り変わらなかった。

このように、ハウス、雨よけ及び圃場のそれぞれの条件の違いにより伝搬距離対受信電力特性が異なるが、その差異を十分に定量化できていない。そのため、その条件の違いを定量的に反映した、圃場環境におけるローカル 5 G のエリア構築に活用可能な電波伝搬モデルを導出することで、圃場環境における様々な条件の違いに応じたエリア設計を可能とすることが、技術的課題である。

その解決方策としては、測定データより、条件の違いにより異なる遮蔽損失を定量的に反映した圃場環境に適した電波伝搬モデルを導出し、農業分野に適した電波伝搬モデルを用いたエリア設計手法を確立することが考えられる。

(1) 更なる技術的課題等

課題解決システムに求められる要求値の実現については、以下のような結果となった。

匠ソリューションにおける映像伝送を想定した UL で最大 25Mbps (5Mbps×最大 5 台) の大容量に関しては、雨よけでは、図 5-83 5 台同時利用による距離対スループット (積上げ) に示した通り、確認を行った全ての測定地点で要求値を達成した。

一方、圃場では、図 5-90 5 台同時利用による距離対スループット (積上げ) に示した通り、最大で 19Mbps と要求値の 25Mbps を下回る地点があった。

匠ソリューションにおける 80msec 以下の低遅延に関しては、雨よけでは、図 5-102 同時利用数における距離対遅延量に示した通り、確認を行った全ての測定地点で要求値を達成した。一方、圃場においては、200msec の遅延時間となったケースがあったが、殆ど全てのケースで 80msec 以下となった。

防犯ソリューションにおける 4K カメラ映像伝送を想定した UL で合計 60Mbps (20Mbps/台×3 台) の大容量に関しては、図 5-85 4K カメラ映像伝送想定 スループット時間変動に示した通り、各 CPE で 20Mbps の伝送スループットが得られており、3 台合計で 60Mbps の要求値を達成した。

上記のように、圃場では匠ソリューションにおける伝送スループットの要求値である 25Mbps を達成できない測定地点があるため、その要求値を実現することが課題となる。

匠ソリューションにおける伝送スループットの要求値を実現するための方策を検討する

ため、受信電力対伝送スループット特性を確認した。

図 5-111 に匠ソリューションにおける映像伝送を想定して 1 台の CPE で上り送信を行った際の受信電力対伝送スループット特性を示す。この図では、ハウス、雨よけ及び圃場のデータを合わせて示す。

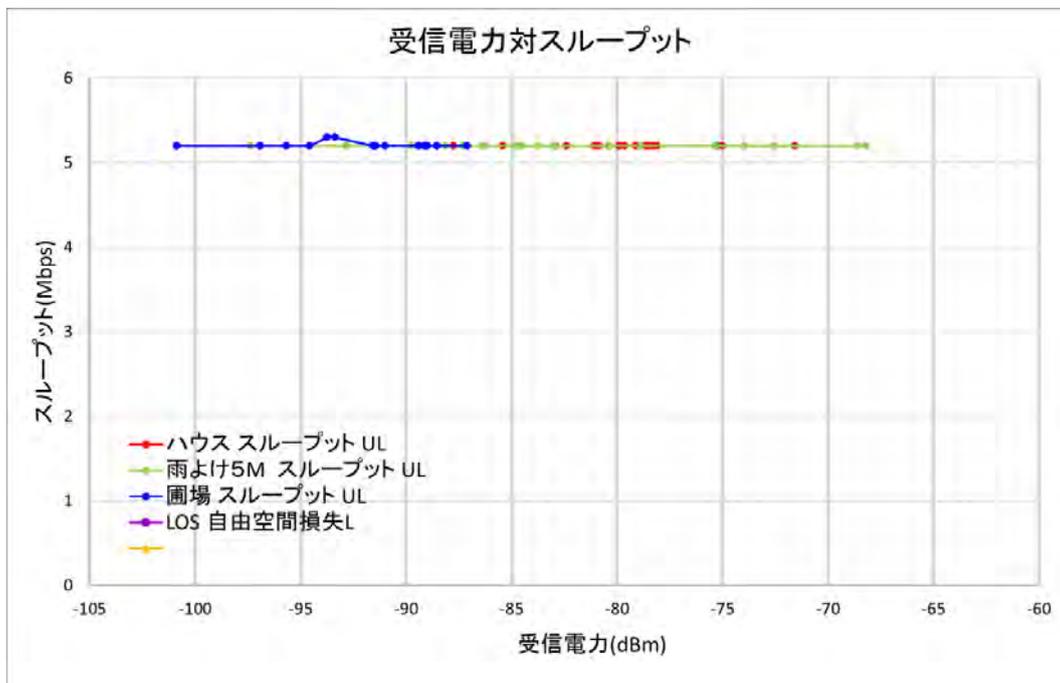


図 5-111 受信電力対スループット

また、図 5-112 に、匠ソリューションにおける最大 5 台のスマートグラスの同時利用を想定して上り送信を行った際の受信電力対伝送スループット特性を示す。この図では、雨よけ及び圃場のデータを合わせて示す。

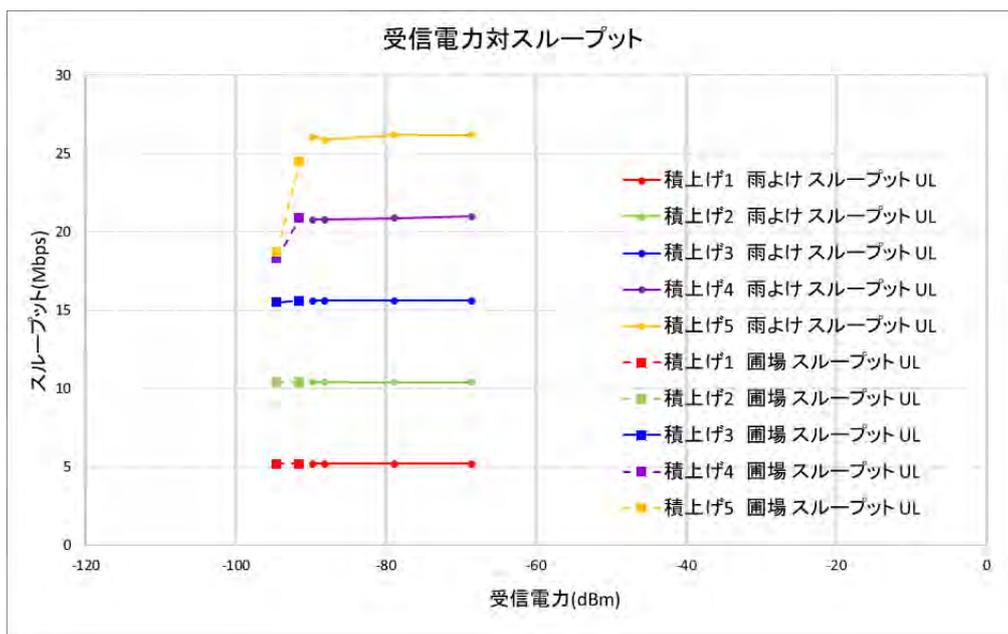


図 5-112 雨よけ/圃場 受信電力対スループット

図 5-111 より、雨よけでは、受信電力が最も低い測定地点で-89.8dBm となっており、この測定地点でも 25Mbps の伝送スループットを達成できているが、圃場で 25Mbps の伝送スループットを達成できなかった測定地点での受信電力は、-90dBm を下回っていることが分かる。これらの測定地点は、伝搬距離が 200m を超えていて受信電力が低くなっていることから、要求値を実現する方策としては、基地局アンテナをより近い場所に設置するなど、受信電力が-90dBm 以上となるようにエリア設計を行うことが考えられる。

5.4 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等

5.4.1 実施概要

圃場環境におけるローカル5Gのエリア構築に活用可能な電波伝搬モデルを導出した。

5.4.2 評価・検証項目

圃場環境における最適なローカル5Gのエリア構築やシステム構成について検証し、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。特に、調査検討事項アでとりまとめたローカル5Gの受信電力等の各種データを用いて、圃場環境に適した電波伝搬モデルの導出を行った。その際、実証地域と類似する他の多くの地域で活用可能な電波伝搬モデルを導出することとし、国際規格に依拠した電波伝搬モデルを基本モデルとして選定したうえで、圃場の植生等の遮蔽損失を測定した結果を踏まえ、当該基本モデルの補正をすることで、電波伝搬モデルを導出した。

さらに、所定の無線品質を満たすカバーエリア率を算出できるように、フェージングの標準偏差値等を算出し、算出した結果を踏まえ、電波伝搬モデルを導出した。

5.4.3 評価・検証方法

実証地域と類似する他の多くの地域で活用できるように、国際規格に依拠した電波伝搬モデルを基本モデルとして、圃場環境に適した電波伝搬モデルの導出を行った。

基本モデルは、自由空間損失、拡張坂上式 (Report ITU-R M.2135)、拡張秦式 (Report ITU-R SM.2028) 及び IMT-2020 用評価モデル (Report ITU-R M.2412) を候補として選定した。選定した基本モデルに基づき計算した受信電力と測定データとの比較を、果樹試験場 (農業用ハウス及び雨よけ) 及び圃場のそれぞれの環境に分けて行った。

そして、その誤差の分析より、遮蔽物 (農業用ハウス及び雨よけ) による追加の伝搬損失を求めるとともに、必要に応じて果樹園の植生等の影響で伝搬距離に依存するによる追加の伝搬損失を求める。これらの追加の伝搬損失を補正值として基本モデルに加えることで、電波伝搬モデルを導出した。

さらに、導出した電波伝搬モデルによる計算値と測定値の比較により、フェージングの標準偏差等を算出する。そして、所定の無線品質を満たすカバーエリア率を算出する手法を提示する。

効果的・効率的に検証や電波伝搬モデルの導出を行うために、技術実証全体調整事業者と調整のうえ、作業日程や要員等の制約を考慮して実施内容やスケジュール等を定める。

5.4.4 性能評価結果

取得した電波伝搬特性データを用いて、圃場環境に適した電波伝搬モデルを導出した。

電波伝搬モデルの導出にあたって比較対象とする基本モデルとしては、以下の点を考慮し、自由空間損失モデルを選定した。

- 実証環境における伝搬距離は、農業用ハウスで最大約 30m、雨よけで最大約 50m である。
- 圃場では、伝搬距離が約 200m～240m の範囲でのみ伝搬損失データを取得している。

- ぶどう棚及びぶどうの木以外の遮蔽物が少ない伝搬環境である。

以下のように、自由空間損失モデルを基本モデルとして農業用ハウス、雨よけ及び圃場の各々の伝搬環境に応じた伝搬損失計算式を求め、電波伝搬モデルを導出した。

- ぶどう棚及びぶどうの木により NLOS（見通し外）となる測定地点の伝搬損失データを用いる。
- 伝搬損失計算式の減衰乗数は、自由空間損失モデルと同一とした。
- 農業用ハウスでは自由空間損失に比べて伝搬損失が比較的大きいことから、自由空間損失 L_{fs} に補正項 Dgh を加えた $L_{fs}+Dgh$ と、農業用ハウスにおいて測定した受信電力から算出した伝搬損失の RMSE が最小になる Dgh を求め、農業用ハウスの伝搬損失計算式を $L_{fs}+Dgh$ とした。
- 雨よけ及び圃場に関しても、自由空間損失に対する補正項をそれぞれ Drs 、 Dfd として伝搬損失計算式を $L_{fs}+Drs$ 、 $L_{fs}+Dfd$ とした。そして、雨よけ及び圃場のそれぞれで測定した受信電力から算出した伝搬損失の RMSE が最小になる Drs 、 Dfd を求めた。
- 農業用ハウス、雨よけ及び圃場の各々に関して、 Dgh 、 Drs 及び Dfd を求めた際に最小となった RMSE の値をフェージング（短区間中央値変動）の標準偏差として扱うこととした。
- 農業用ハウス、雨よけ及び圃場に対する伝搬損失計算式を合わせて、以下の電波伝搬モデルを導出した。

$$\begin{aligned}
 L &= L_{fs} + Dgh && \text{: 農業用ハウス} \\
 &= L_{fs} + Drs && \text{: 雨よけ} \\
 &= L_{fs} + Dfd && \text{: 圃場}
 \end{aligned}$$

表 5.4.4-1 に導出した電波伝搬モデルの補正項の値とフェージングの標準偏差となる RMSE の値を示す。

表 5.4.4-1 電波伝搬モデルの補正項と RMSE

場所	補正項 [dB]		RMSE [dB]
農業用ハウス	Dgh	17.4	4.8
雨よけ	Drs	14.2	5.0
圃場	Dfd	13.3	3.9

圃場では、上述の通り、伝搬距離が約 200m～240m の範囲のみの伝搬損失データを用いて伝搬損失計算式を求めた。このため、圃場の伝搬損失計算式の適用は、基地局アンテナ高を 10m などと高くすることで、基地局アンテナから 200m 程度離れた場所などにカバーエリアを構築する場合を想定することが適切と考えられる。

農業用ハウス、雨よけ及び圃場の各々について、測定した受信電力から算出した伝搬損失の値とともに、導出した電波伝搬モデル、自由空間損失モデル及びローカル 5G の無線局免許審査基準に採用されている電波伝搬モデル（以下、審査基準モデルと記載）を、図 5-113～図 5-115 に示した。また、直線近似モデルを含めて、各々のモデルに対する測定値の RMSE の値を表 5.4.4-2 に示す。

審査基準モデルにおいて、市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正値 S は、開放地の 32.5 とした。そのため、評価した伝搬距離が 100m 以内であったハウスと雨よけでは、審査基準モデルは、自由空間損失モデルとほぼ同一となり、RMSE の値もほぼ同一となった。

表 5.4.4-2 ハウス、雨よけ及び圃場の RMSE [dB]

場所	導出した電波伝搬モデル (再掲)	自由空間損失モデル	審査基準モデル	直線近似モデル
ハウス	4.8	18.1	18.0	4.6
雨よけ	5.0	15.1	15.0	4.0
圃場	3.9	13.9	11.5	3.6

導出した電波伝搬モデルの RMSE は、自由空間損失モデルや審査基準モデルの RMSE に比べて大幅に小さくなり、直線近似モデルとほぼ同等となった。

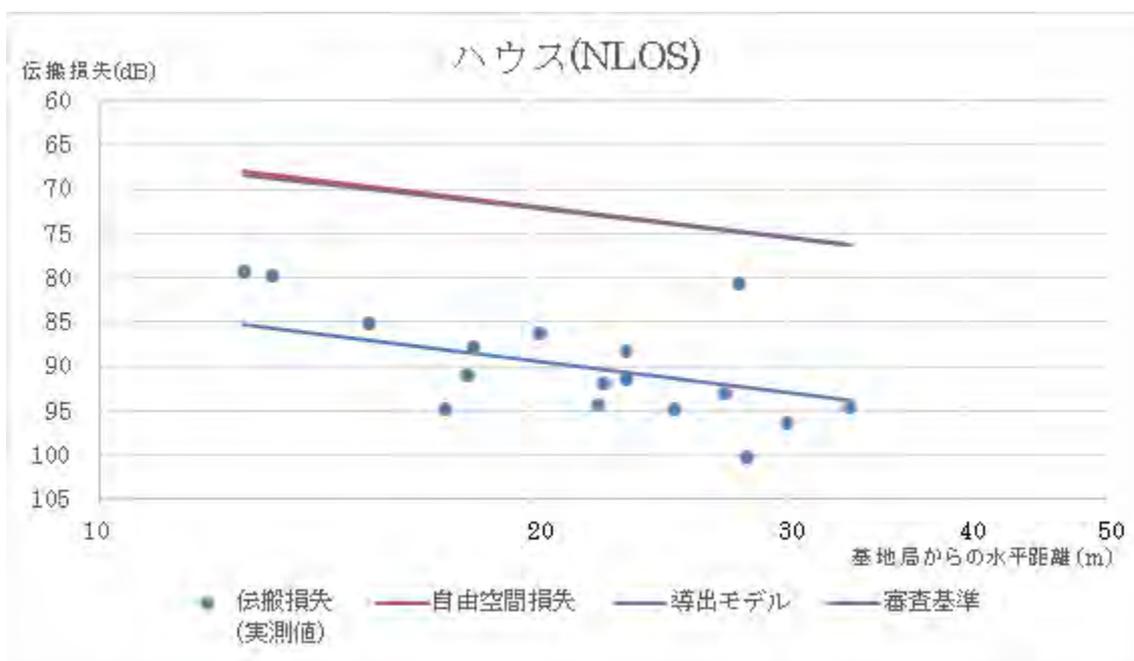


図 5-113 ハウス 各種電波伝搬モデルと伝搬損失 (測定値) の比較

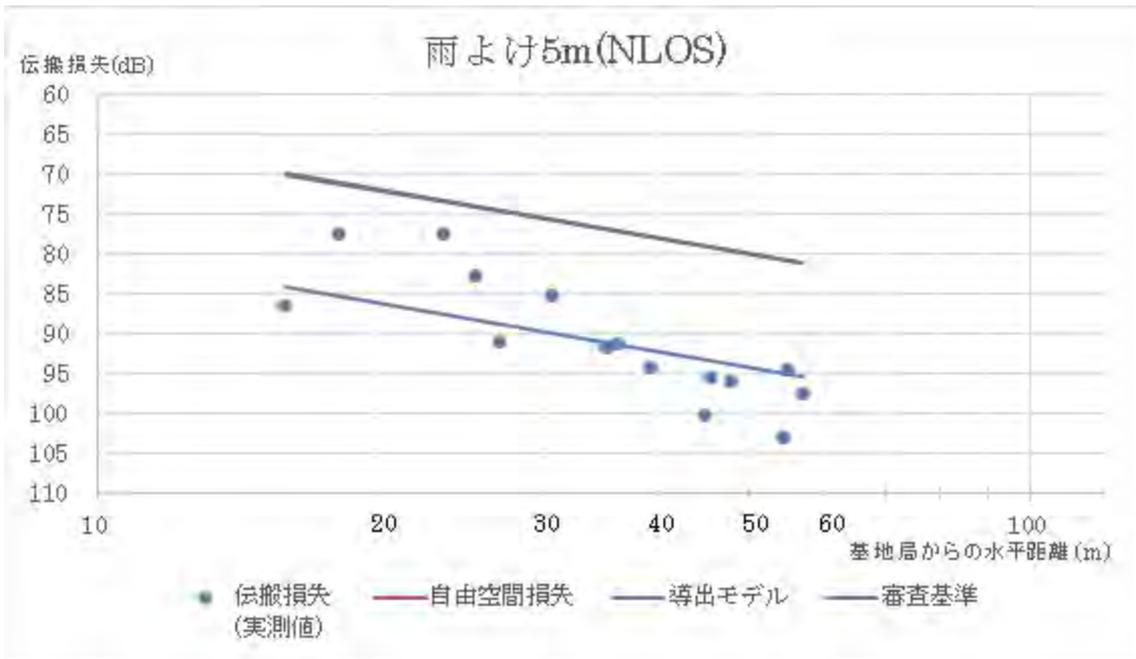


図 5-114 雨よけ 各種電波伝搬モデルと伝搬損失（測定値）の比較

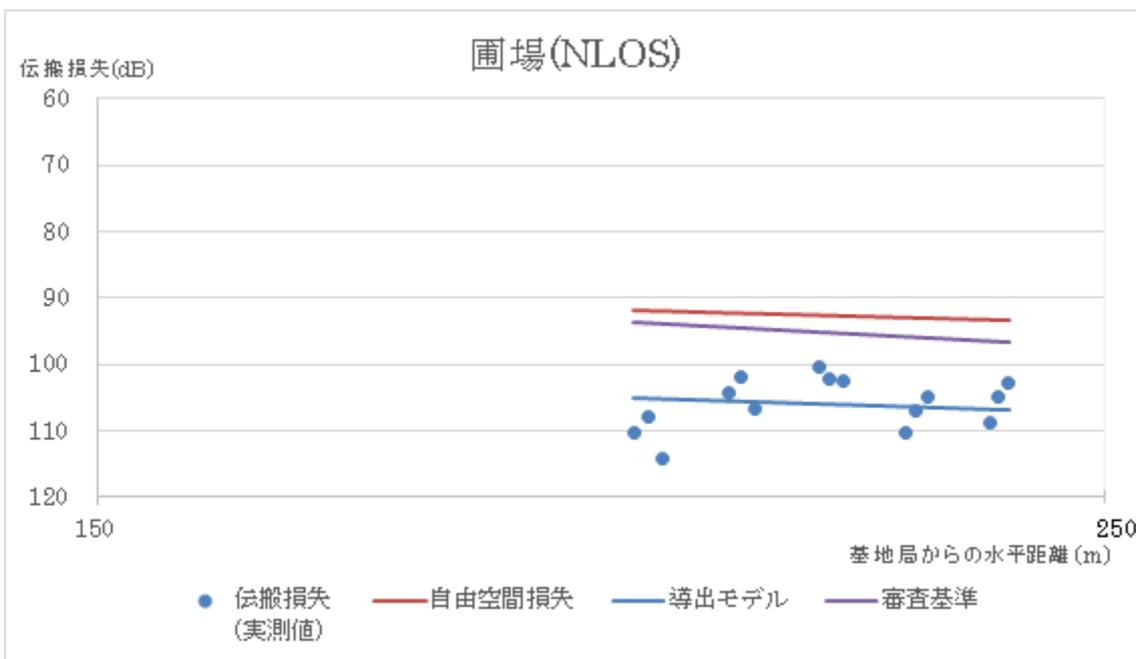


図 5-115 圃場 各種電波伝搬モデルと伝搬損失（測定値）の比較

所定の無線品質を満たすカバーエリア率を算出する手法を以下のように整理した。

- (1) カバーエリア率算出の要件整理を行う。
- 評価対象エリア
 - 所望の伝送スループット
 - 端末を利用する環境（ハウス、雨よけなど）

(2) カバーエリア判定の基準値等を求める。

- 所望の伝送スループット及び受信電力対伝送スループット特性より、所望の受信電力 P_{req} を求める。
- 端末を利用する環境より、導出した電波伝搬モデルにおいて適用する計算式を選択する。

(3) カバーエリアを判定する。

- 基地局アンテナの設置場所、高さ、メインビーム方向（水平面）、チルト角を定める。
- 評価対象エリアを一定面積のセグメントに区切り、セグメント毎に選択した計算式を用いて伝搬損失を計算し、さらに基地局アンテナ補正值等を考慮して受信電力の中央値 P_{mid} を計算する。
- セグメント毎 (i をセグメント番号とする) に、受信電力の中央値 P_{mid} 、フェージングの標準偏差 σ より、受信電力が所望の受信電力 P_{req} を下回る劣化率 $P_{outage,i}$ を計算する。
 - フェージング（短区間中央値変動）は、対数正規分布に従って変動するものとし、劣化率 $P_{outage,i}$ は、正規分布において $\{(P_{mid} - P_{req}) / \sigma\} \sigma$ を超える確率として計算する。（正規分布において一定値を超える確率の具体的な計算方法としては、Excel の NORM.DIST 関数を用いる方法がある。）
- 以下の式のように、評価対象エリアの全てのセグメント(1~N)に対して計算した劣化率の平均値を求め、カバーエリア率 $P_{coverage}$ を 1 から劣化率の平均値を差し引いた値として算出する。

$$P_{coverage} = 1 - (\sum P_{outage,i})/N \quad (\sum \text{の下の添え字は } i=1, \text{ 上の添え字は } N)$$

5.4.5 検証結果を踏まえた考察（仕様毎固有のテーマ・視点への対応等）

ぶどう棚、ぶどうの木、農業用ハウスの覆い等の遮蔽物の影響について考察を行った。

農業用ハウスは、図 5-12 想定される遮蔽物、反射物の例 2（農業用ハウス・ぶどうの幹、枝、葉 支柱）の写真に示したように、ぶどうの葉が生えている状態であり、雨よけは、図 5-13 想定される遮蔽物、反射物の例 3（雨よけ・ぶどうの幹、枝、葉 支柱）の写真に示したように、ぶどうの葉が生えていない状態であった。表 5.4.4-1 電波伝搬モデルの補正項と RMSE に示したように農業用ハウスと雨よけの補正項がそれぞれ 17.4dB と 14.2dB であったことから、ぶどうの葉による遮蔽損失は、約 3dB であると推定される。

(1) 技術的課題の解決策

カバーエリア算出に用いられる既存の電波伝搬モデルは、ハウスや雨よけ等を含む圃場環境に特有のぶどうの木などの植物やハウスや雨よけによる遮蔽損失を十分に考慮したものになっていない。

圃場環境において、より精緻なカバーエリアの算出を行うため、ぶどうの木などの植物やハウスや雨よけによる遮蔽損失の影響を、既存の電波伝搬モデルにおいて補正項のオプションとして反映させることが、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性として考えられる。

この補正項については、表 5.4.4-1 の値が得られているが、これらの値は限られた実証環境で取得したデータにより算出されたものであるため、無線局免許審査基準において用い

る電波伝搬モデルに採用するためには、さらに多くの圃場環境においてデータを取得して、統計的信頼度（精度）を高めることが課題になると考えられる。

（2）更なる技術的課題等

実証を行った時期において、ハウスではぶどうの木の葉が生えている状態であり、雨よけと圃場では、葉が生えていない状態であった。実際にぶどうの栽培にローカル5Gを使用するときには、ぶどうの木の葉が異なった状態であることが想定されるため、その影響を評価して考慮することが残された課題である。

5.5 その他ローカル5Gに関する技術実証

5.5.1 実施概要

圃場環境において通信品質の確保とローカル5G基地局アンテナの設置・保守コスト抑制を両立する方法について検討した。

- 補足

ローカル5G基地局は、所望のエリアにおける通信品質を確保できるようにアンテナ高を決める必要があるが、ローカル5Gの普及を促進するためには、できるだけアンテナ高を低く抑え、設置及び保守のコストを抑制することが重要である。特に圃場においては、基地局アンテナの設置に適した建物がなく、鉄塔や柱の設置が必要になる場合が多い。また、圃場に設置する基地局アンテナは、周囲に建物がほとんどなく強風の影響を受けやすい環境において、近年多発する台風にも耐えられる強度の確保も必要である。

このため、必要な基地局アンテナ高を正確に見積もり、基地局アンテナの設置・保守コストを抑制することは重要な課題である。

5.5.2 評価・検証項目

圃場環境において、所望のエリアにおける通信品質確保とローカル5G基地局アンテナの設置・保守コスト抑制を両立する方法について検討を行った。

5.5.3 評価・検証方法

果樹試験場（雨よけ）に設置するローカル5G基地局のアンテナの高さ（5m程度を想定）を低くした場合（例えば4m及び3mなど）について、調査検討事項アと同様の測定機材を使用して受信電力（RSRP）の測定を行い、伝搬距離対受信電力特性を整理した。

そして、調査検討事項イで導出した電波伝搬モデルによる計算値と測定値の比較分析を行うことで、アンテナ高の影響をより正確に反映できる電波伝搬モデルを導出し、環境条件や無線パラメータ等の前提とともに整理した。

その際、基地局アンテナ高が低いために植生等の影響がより大きくなり、また、圃場等の広い範囲に棚が設置されている場合にその影響が大きくなることも想定し、調査検討事項イで導出した電波伝搬モデルで基地局アンテナ高を反映した計算ができる場合であっても、必要に応じて、電波伝搬モデルにアンテナ高に応じた補正項をさらに加えることも検討した。

さらに、アンテナ高の影響をより正確に反映できる電波伝搬モデルを用いて、通信品質確保とローカル5G基地局アンテナの設置・保守コスト抑制を両立する手法を示す。

- 補足

圃場は、離れた場所に基地局を設置するため、本評価・検証は、果樹試験場（雨よけ）で実施することとする。

測定機	モデル	
アンリツ	ML8780A + MU878070A	アンテナZ1911B

アンテナ高を 5 m から 4 m と 3 m の合計 3 種類の RSRP の測定を実施する。

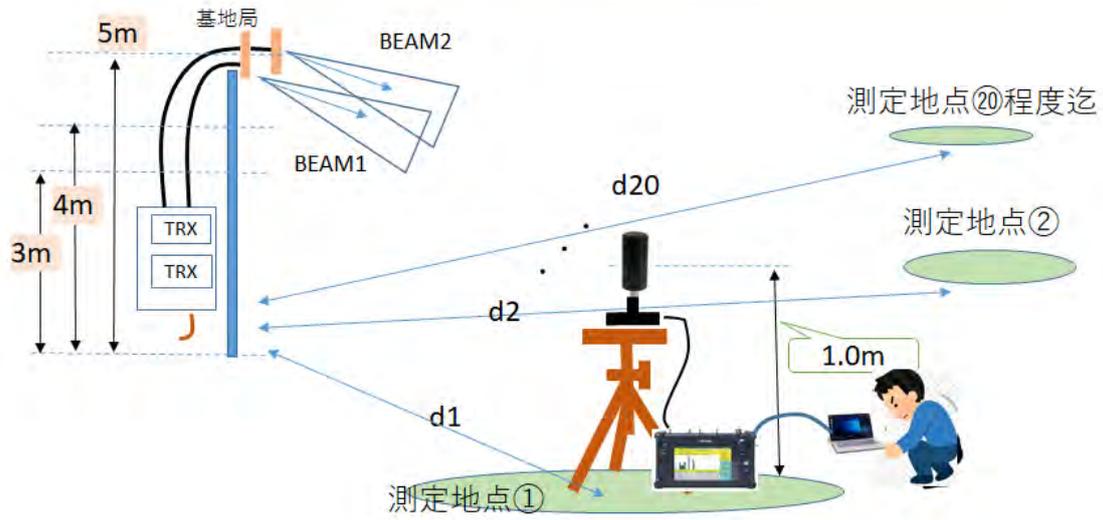


図 5-116 アンテナ高変更による測定方法

5.5.4 性能評価結果

雨よけに設置した基地局アンテナの高さを変更して、受信電力の測定を行った。図 5-117～図 5-119 に、雨よけの測定地点における基地局アンテナ高を 5m、4m 及び 3m とした場合の受信電力の距離特性を、見通し外 (NLOS) 及び見通し内 (LOS) を区別して示す。基地局アンテナ高の影響を同じ測定地点で比較できるように、基地局アンテナ高 4m 及び 3m の測定地点は、基地局アンテナ高 5m の測定地点と同一とした。

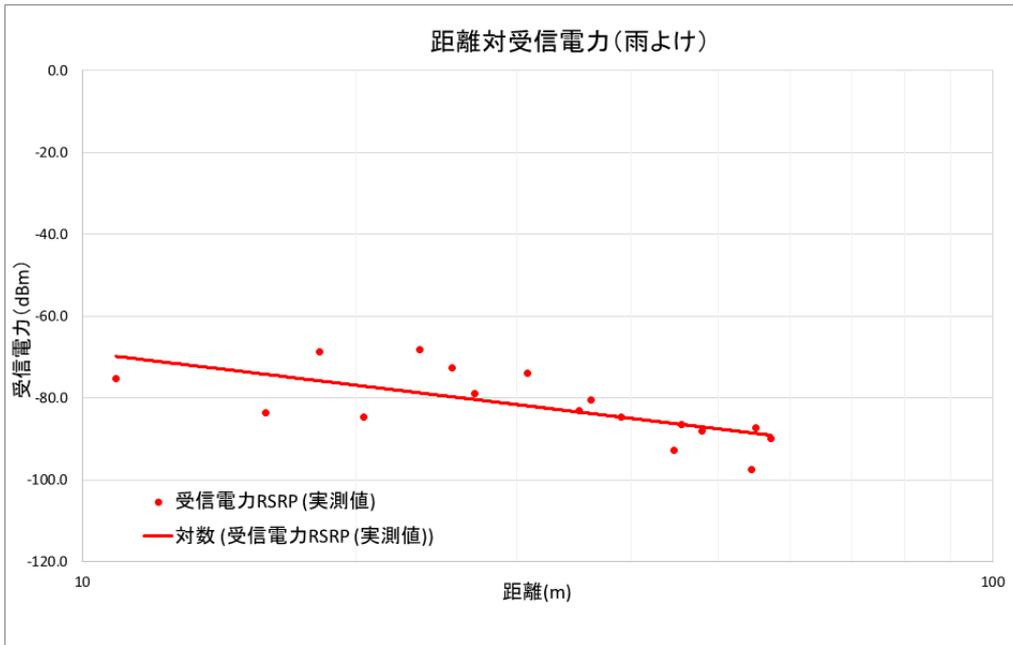


図 5-117 雨よけ 5m 距離対受信電力

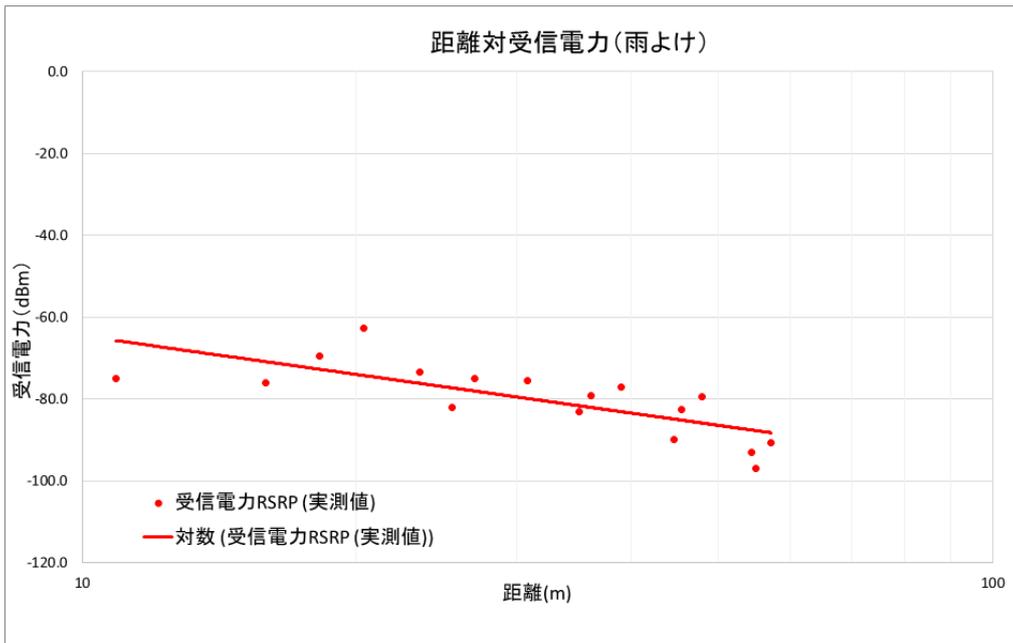


図 5-118 雨よけ 4m 距離対受信電力

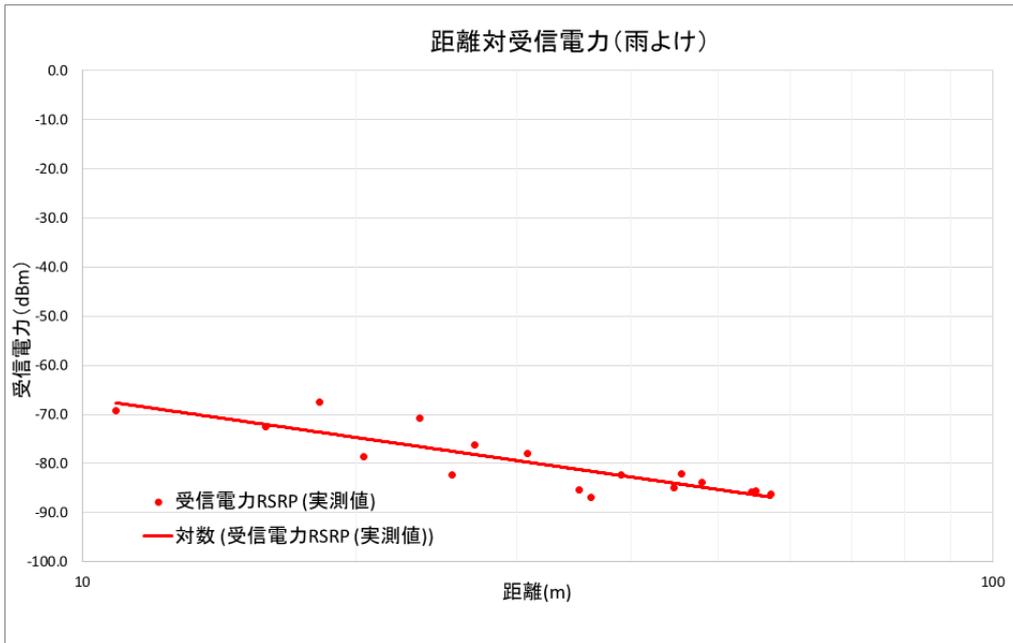


図 5-119 雨よけ 3m 距離対受信電力

雨よけにおいて基地局アンテナ高を 5m、4m 及び 3m とした場合に測定した受信電力より、各測定地点における基地局アンテナからの水平角及び俯角に応じたアンテナ利得等の補正值を考慮して伝搬損失を計算した。

図 5-120～図 5-122 に、その伝搬損失の距離特性を、見通し外 (NLOS) 及び見通し内 (LOS) を区別して示す。計算された伝搬損失に対して最小二乗法で求めた近似直線も示した。さらに、比較のため自由空間損失モデルによる伝搬損失の計算値も示す。

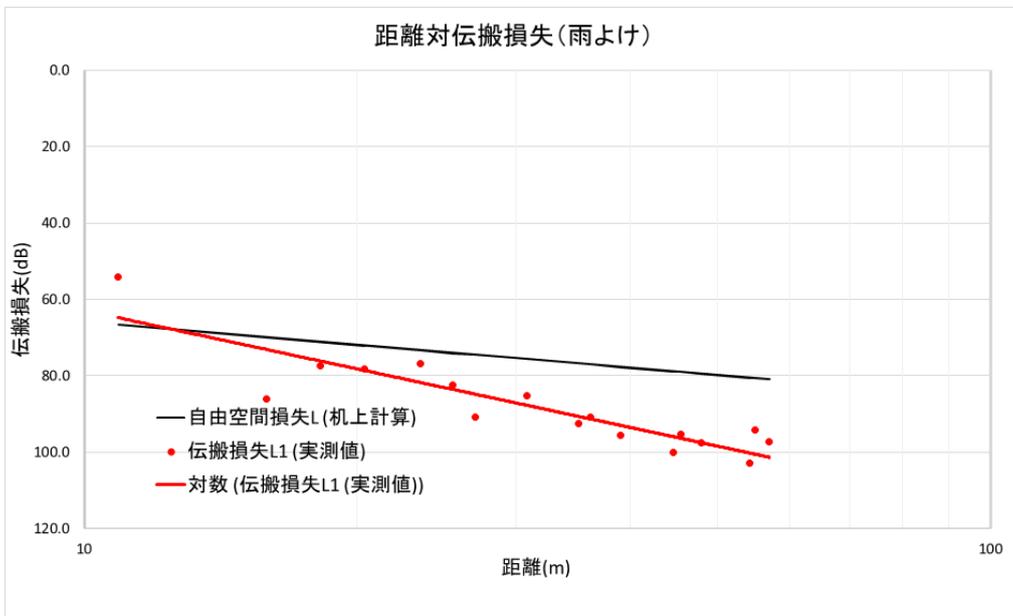


図 5-120 雨よけ 5m 距離対伝搬損失

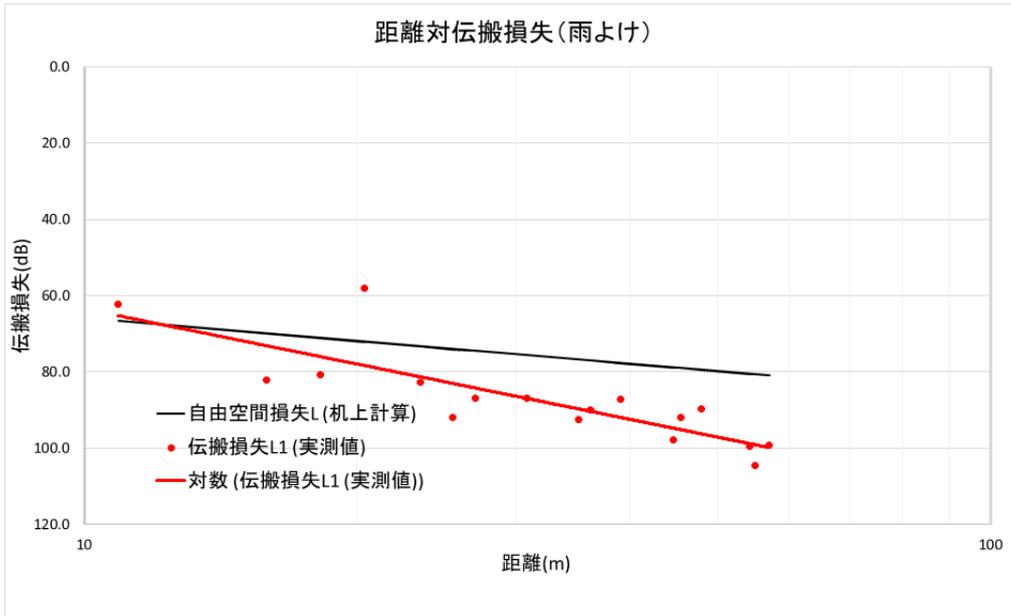


図 5-121 雨よけ 4m 距離対伝搬損失

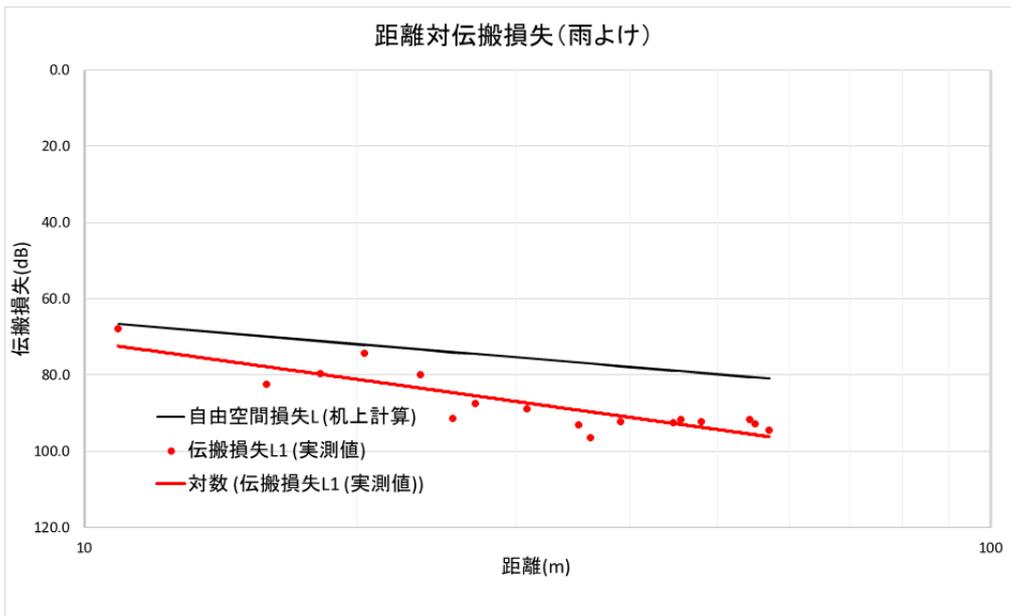


図 5-122 雨よけ 3m 距離対伝搬損失

次に、基地局のアンテナ高が低い場合に適用できる電波伝搬モデルの導出（既存の電波伝搬モデルにおける基地局アンテナ高に応じた新たな係数・補正項の検討）を行った。

雨よけにおける端末利用場所は、ぶどう棚の下であり、見通し外（NLOS）となるため、基地局のアンテナ高が低い場合に適用できる電波伝搬モデルの検討は、見通し外の測定地点において取得したデータを用いて行った。

基地局アンテナ高が異なる伝搬損失を比較するため、図 5-123 に基地局アンテナ高 5m、4m 及び 3m のときの伝搬損失を合わせて示す。

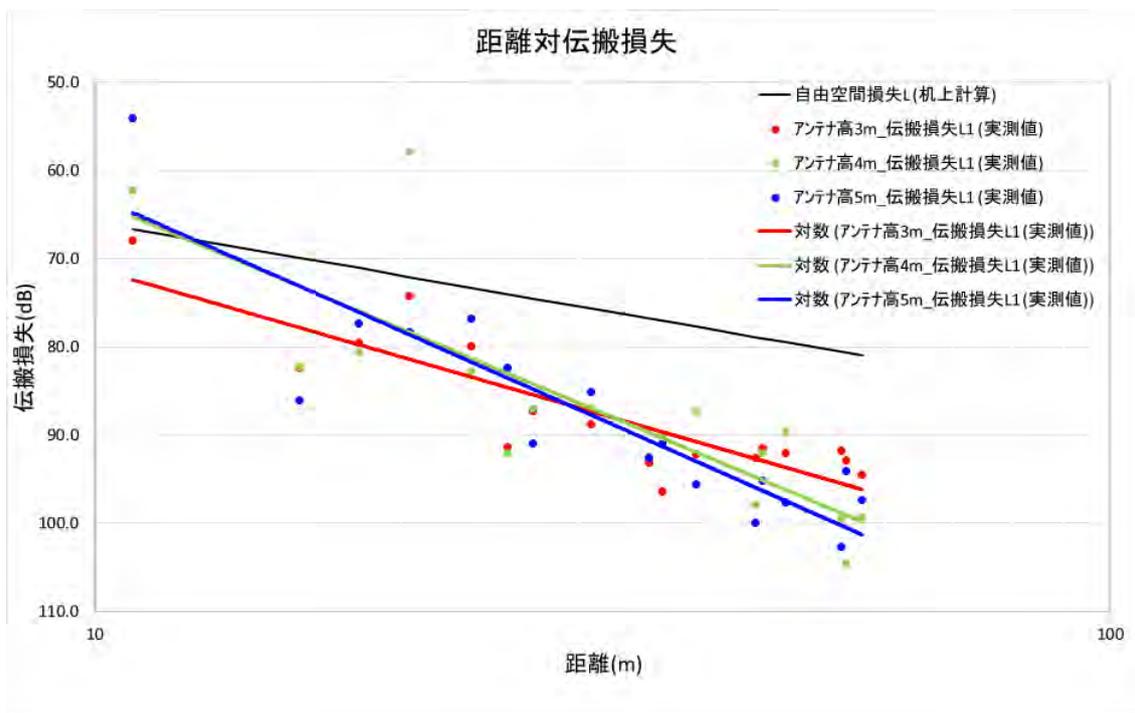


図 5-123 雨よけ 5m/4m/3m 伝搬損失

図 5-123 より、基地局アンテナ高を低くした場合の伝搬損失の変化について明らかな傾向が認められないことから、自由空間損失モデルを基本モデルとした電波伝搬モデルの導出を行い、さらに、自由空間損失モデル、審査基準に採用されている電波伝搬モデル及び直線近似モデルとの比較分析を行った。

自由空間損失モデルを基本モデルとした電波伝搬モデルの導出では、5.4 節と同様に、以下に示すように、基地局アンテナ高 4m 及び 3m の場合について、自由空間損失 L_{fs} に補正項を加えた伝搬損失 L に対して、計算された伝搬損失の RMSE が最小となるように補正項を求めた。基地局アンテナ高 5m の場合については、5.4 節において計算した D_{rs} が補正項である。表 5.5.4-1 に求めた補正項と RMSE を示す。

$$\begin{aligned}
 L &= L_{fs} + D_{rs} && : 5m \\
 &= L_{fs} + D_{4m} && : 4m \\
 &= L_{fs} + D_{3m} && : 3m
 \end{aligned}$$

表 5.5.4-1 自由空間損失モデルを基本モデルとした伝搬損失計算式の補正項と RMSE

基地局アンテナ高 [m]	補正項 [dB]	RMSE [dB]
5	D_{rs}	14.2
4	D_{4m}	13.9
3	D_{3m}	12.7

測定した受信電力から算出した伝搬損失の値と共に、導出した電波伝搬モデル、自由空間損失モデル及び審査基準モデルを、図 5-124～図 5-126 に示した。

導出した電波伝搬モデル、自由空間損失モデル、審査基準モデル及び直線近似モデルに対する測定値の RMSE の値を表 5.5.4-2 に示す。審査基準モデルにおいて、市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正値 S は、開放地の 32.5 とした。

表 5.5.4-2 RMSE [dB]

基地局アンテナ高 [m]	導出した電波伝搬モデル (再掲)	自由空間損失モデル	審査基準モデル	直線近似モデル
5	5.0	15.1	15.0	4.0
4	4.4	14.5	14.4	4.0
3	3.2	13.1	12.7	3.2

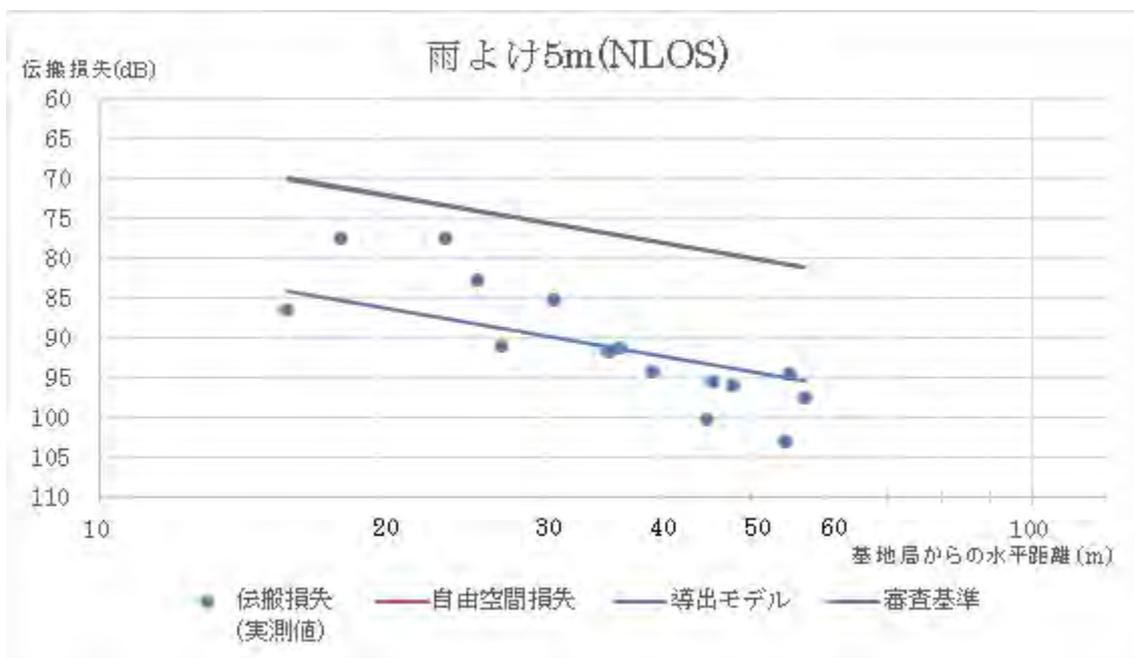


図 5-124 雨よけ 5m 各種電波伝搬モデルと伝搬損失 (測定値) の比較 (再掲)

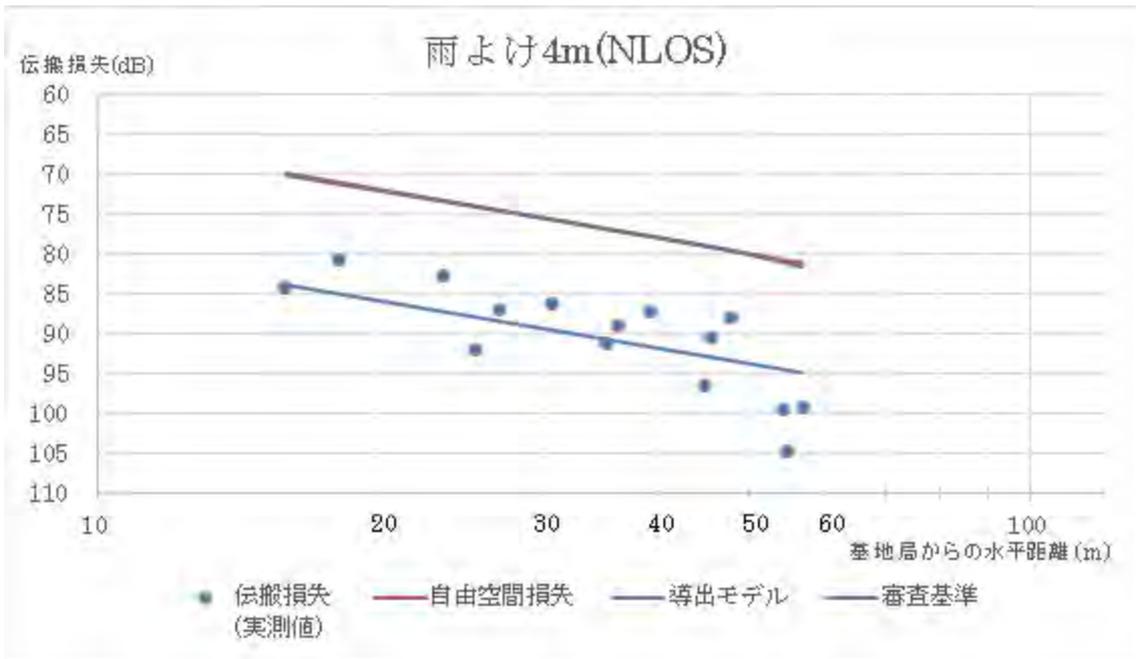


図 5-125 雨よけ 4m 各種電波伝搬モデルと伝搬損失（測定値）の比較

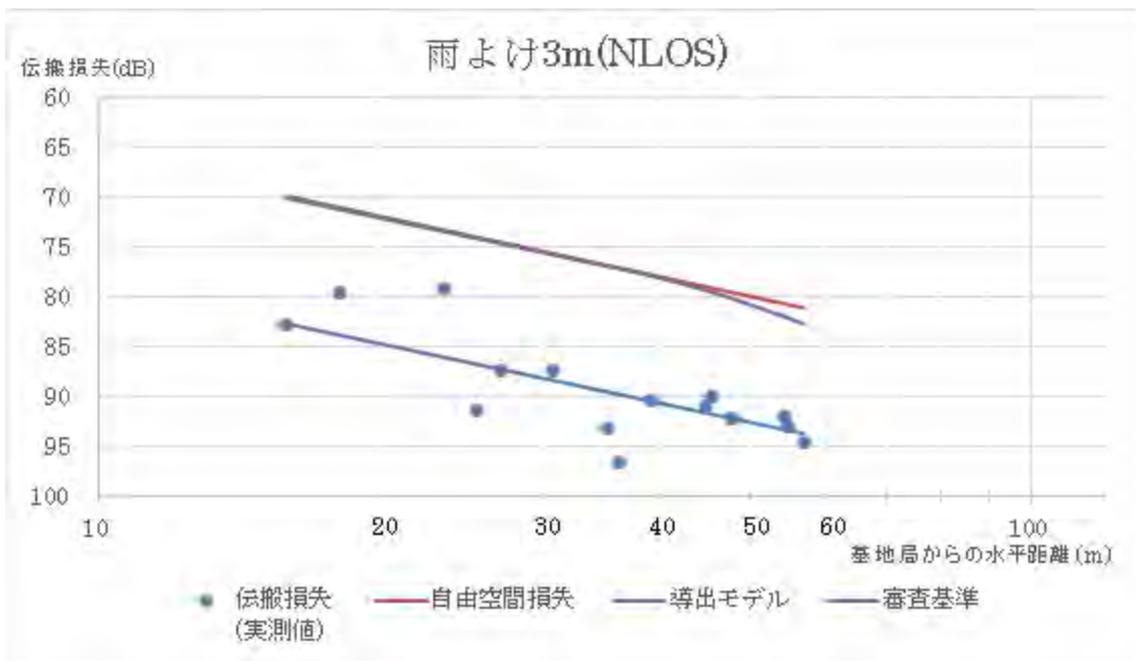


図 5-126 雨よけ 3m 各種電波伝搬モデルと伝搬損失（測定値）の比較

表 5.5.4-1 及び表 5.5.4-2 より、以下のことが言える。

- 導出した電波伝搬モデルの補正項は、基地局アンテナ高 5m 及び 4m のときに比べて 3m の場合に約 1dB 小さく、基地局アンテナ高が低いときに伝搬損失が大きくなる傾向はない。
- 審査基準モデルは、自由空間損失モデルと RMSE がほぼ同じである。
- 導出した電波伝搬モデルは、直線近似モデルと RMSE がほぼ同じであり、その差が最

も大きい基地局アンテナ高 5m の場合で 1dB である。

以上において、基地局アンテナ高が 3m の場合に伝搬損失が小さくなった理由としては、雨よけの屋根により電波がさほど遮られなかった可能性が考えられる。これらの点より、基地局のアンテナ高が低い場合に適用できる電波伝搬モデルとしては、基地局アンテナ高を用いた係数を付加するのではなく、比較検討した電波伝搬モデルの中では、自由空間損失モデルを基本モデルとして導出した電波伝搬モデルが、基地局のアンテナ高が低い場合に適用できる電波伝搬モデルに比較的適している。

ここで改めて表 5.5.4-1 に示した自由空間損失モデルを基本モデルとした伝搬損失計算式の補正項の値について検討すると、基地局アンテナ高が 3m のときに、5m や 4m に比べて伝搬損失が小さくなる理由は、雨よけの屋根の影響以外に考えられないことから、3m の場合に補正項の値を小さくすることは適切ではないと考えられる。

以上の考察より、以下の所望エリアで所望の通信品質を確保するための基地局アンテナ高を求める手法に関する検討では、基地局のアンテナ高が低い場合に適用できる電波伝搬モデルとして、基地局アンテナ高が 3m~5m の範囲で補正項の値を変更することなく、5m の場合と同じ電波伝搬損失の計算式を利用することとする。

導出した基地局のアンテナ高が低い場合に適用できる電波伝搬モデルや受信電力対伝送スループット特性より、所望エリアで所望通信品質が確保できる基地局のアンテナ高を求める手法を以下のように整理した。

(1) 要件整理を行う

- 端末での通信を所望するエリア
- 所望の伝送スループット
- エリア境界付近におけるカバー率の基準値 $P_{outage, req}$
- 基地局アンテナの設置場所
- 利用可能な基地局アンテナ

(2) 所望の通信品質の基準値を求める

- 受信電力対伝送スループット特性より所望の受信電力 P_{req} を求める。

(3) カバーエリアを判定する

- 基地局アンテナの設置場所、高さ、メインビーム方向（水平面）、チルト角（垂直面）の初期値を定める。
- 受信電力分布を計算する。
- 所望エリアを一定面積のセグメントに区切り、セグメント毎に、基地局のアンテナ高が低い場合に適用できる電波伝搬モデルを用いて伝搬損失を計算し、さらに基地局アンテナ補正值等を考慮して受信電力の中央値 P_{mid} を計算する。

- セグメント毎 (i をセグメント番号とする) に、受信電力の中央値 P_{mid} 、フェージングの標準偏差 σ より、受信電力が所望の受信電力 P_{req} を下回る劣化率 $P_{outage,i}$ を計算する。この計算方法は、5.4 に記載した通りである。

(4) エリア及び基地局アンテナ高を最適化する

- 基地局アンテナの高さ、メインビーム方向、チルト角を変更してエリアの計算を繰り返す。
- 所望エリアの全てのセグメントにおいて、 $P_{outage,i} < P_{outage,req}$ を満たす基地局アンテナの高さ、メインビーム方向、チルト角を求める。
- 上記条件を満たす基地局アンテナの高さ、メインビーム方向、チルト角の組み合わせのうち、基地局アンテナの高さを最も低くできるものを選ぶ。

ここでは、基地局のアンテナ高が低い場合に適用できる電波伝搬モデルとして、基地局アンテナ高が 3m～5m の範囲で、自由空間損失モデルに一定の補正項の値を加えた電波伝搬損失の計算式を利用することとしているため、最適な基地局アンテナ高は 3m となる。

5.5.5 技術的課題の解決策

カバーエリア算出に用いられる既存の電波伝搬モデルは、基地局アンテナ高が 5m 以下の場合における圃場環境を十分に考慮したものになっていない。5.4.5 において、圃場環境において、より精緻なカバーエリアの算出を行うため、ぶどうの木などの植物やハウスや雨よけによる遮蔽損失の影響を、既存の電波伝搬モデルにおいて補正項のオプションとして反映させることについて検討したが、同様に基地局アンテナ高が 5m 以下の場合において求めた補正項をオプションとして反映することも考えられる。しかし、本実証で基地局アンテナ高を変更した電波伝搬特性の測定では、基地局アンテナ高が 5m や 4m の場合よりも 3m の場合の伝搬損失が小さくなり、基地局アンテナ高が 3m～5m の間では、基地局アンテナの設置コストも勘案し、3m が最適との結論になった。

一方、基地局アンテナ高が 3m の場合の伝搬損失が比較的小さくなった理由として、雨よけの屋根の影響を受けた可能性が考えられることから、基地局アンテナと、農業用ハウスや雨よけの屋根との位置関係をパラメータとして、最適な基地局アンテナ高を求める手法を確立することが、更なる技術的課題として考えられる。

5.6 まとめ

農業用のハウスや雨よけを含む圃場環境における、ローカル 5G のエリア構築に関する技術的課題を整理した。農業分野においてローカル 5G を広く普及させるためには、圃場におけるローカル 5G エリア構築において、所望のエリアで所望の通信品質が確保できることが必要である。そして、そのようなローカル 5G エリア構築とローカル 5G 基地局アンテナの設置・保守コスト抑制が両立できることが技術的課題である。その際、圃場環境に特有な様々な条件として、ハウス、雨よけ及び圃場の電波伝搬環境を考慮する必要があると考えられる。

このような技術的課題の解決に向けて、ハウス、雨よけ及び圃場の3カ所に構築したローカル5Gの実証環境において、電波伝搬特性の測定を行い、取得した電波伝搬特性データを用いて、圃場環境に適した電波伝搬モデルを導出した。電波伝搬モデルの導出にあたっては、自由空間損失モデルを基本モデルとして選定し、ハウス、雨よけ及び圃場の各々の条件に応じて、自由空間損失に対して補正項を加えた形で伝搬損失計算式を求めた。このようにして条件の違いによる電波伝搬損失への影響を定量化し、補正項の値として、ハウスで17.4dB、雨よけで14.2dB、圃場で13.3dBという値を得た。また、フェージング（短区間中央値変動）の標準偏差は、ハウスと雨よけで5dB、圃場で4dBとなった。

そして、導出した電波伝搬モデルを用いて、所定の無線品質を満たすカバーエリア率を算出する手法を整理した。その手順としては、まず、要件整理を行い、カバーエリア判定の基準値を求め、評価対象エリアを細分化したセグメント毎に受信電力が所望の受信電力を下回る劣化率を求め、評価対象エリア全体のカバーエリア率を算出することとした。この中で、端末を利用する環境より、導出した電波伝搬モデルにおいて適用する計算式を選択すると共に、上記のフェージングの標準偏差を用いることで、圃場環境に適したカバーエリア率の算出を可能とした。

また、周囲に建物がほとんどなく強風の影響を受けやすい圃場環境において、できるだけアンテナ高を低く抑え、設置及び保守のコストを抑制できるエリア構築を行えるようにするため、雨よけにおいて、基地局のアンテナ高を5mから4m及び3mに下げた場合についても電波伝搬特性を評価し、自由空間損失に対して補正値を加えた形で伝搬損失計算式を求めた。そして、所望のエリアで所望の通信品質が確保できる基地局のアンテナ高を求める手法を整理した。その結果、基地局のアンテナ高が低い場合に適用できる電波伝搬モデルとしては、基地局アンテナ高が3m～5mの範囲で補正項の値を変更する必要がなく、最適な基地局アンテナ高は3mとなった。

無線局免許審査基準においてカバーエリア算出に用いられる既存の電波伝搬モデルに関しては、圃場環境においてより精緻なカバーエリアの算出を行うため、ぶどうの木などの植物やハウスや雨よけによる遮蔽損失の影響を、追加の補正項のオプションとして反映させることが、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性として考えられる。

残された課題としては、自由空間損失に対する補正項やフェージングの標準偏差に関して、より多くの圃場環境でデータ収集を行い、統計的信頼度を高めることが挙げられる。今回の実証では、ハウス、雨よけ及び圃場の各々カ所において取得した伝搬損失データより伝搬損失計算式の補正項を求めたが、限られた実証環境における測定データで求めた数値であり、その精度は評価できていない。十分な精度を得るためには、より多くの実証環境において測定データを収集して評価することが必要となる。

また、実証を行った時期において、ハウスでは、ぶどうの木の葉が生えている状態であり、雨よけと圃場では、葉が生えていない状態であった。実際にぶどうの栽培にローカル5Gを使用する季節では、ぶどうの木の葉が今回の測定時とは異なる状態であることが想定されるため、その影響を評価して反映することも残された課題である。

6. 実装及び横展開に関する検討

本章では、実証実験の結果に基づく、実装及び横展開の検討内容を記載する。

6.1 前提条件

実施体制メンバーによる連携を進め、協議会等を設置し、地域ステークホルダーを含めて以下を検討、基本的な考え方を整理した。

- ①持続可能な事業モデル等の構築・計画策定
- ②横展開に資する普及モデルに関する検討
- ③共同利用型プラットフォームに関する検討

2021年度も農研機構事業（農林水産省）として実証を継続するため、2022年度以降の実装及び横展開について検討した。

2021年度の農林水産省の実証事業にて、ブドウの実際の生育期間に合わせて圃場にて課題解決システムを実証する（AIモデルの改善及び強化を含む）予定であり、最終的な提供価値についての実証成果は現時点では明らかになっていない。このため、実装及び横展開の方針は、2021年度の実証成果が明らかになった時点で最終的に判断するものとする。

本報告書においては、2021年度の実証にて期待する成果※が得られた場合を前提とした、現時点の方針の記載である。

- ※……経験の浅い農業従事者がスマートグラスを使うことで使わない場合に対し
40～55%の作業時間短縮（効率化）、秀品率の向上（品質向上）、など

6.1.1 実装・横展開に係る関係者の意向

実装・横展開に係る関係者の意向を以下に示す。

表 6.1.1-1 実装・横展開に係る関係者の意向

企業・団体名	意向
日本電気株式会社 (NEC)	<ul style="list-style-type: none">・次世代農業ソリューションの確立・シェア型のローカル5G提供モデルの実現
山梨県	<ul style="list-style-type: none">・「匠の技」継承による就農者の技術向上、新規就農者の拡大・独自手法によるシャインマスカットの県内限定の実装・横展開・他のブドウ品種への拡大・独自手法に抵触しない他構成要素展開による地域産業、地場業者の育成
山梨市	<ul style="list-style-type: none">・「アグリイノベーション Lab」（Wi-Fi 及び LPWA を活用したスマート農業）による取組みを推進中であり、相互に連携していくことで価値拡大
株式会社 YSK e-com	<ul style="list-style-type: none">・匠ソリューションの実装及び横展開・防犯ソリューションの実装及び横展開
国立大学法人 山梨大学	<ul style="list-style-type: none">・匠ソリューションの実装に向けて、AI・AR 技術のスマート農業への応用方法などの助言

株式会社 デジタルアライアンス	<ul style="list-style-type: none"> ・地域に根差したローカル5Gを含む通信サービスの展開 ・地域ケーブルTV事業者と連携した新サービスの検討、展開
全国農業協同組合連合会 山梨県本部（全農 やまなし）	<ul style="list-style-type: none"> ・県内のJAの取りまとめ、開発したソリューションの組合員への普及、及びスマート農業の推進
フルーツ山梨農業協同組合	<ul style="list-style-type: none"> ・山梨県内の果樹生産における先進的な取り組みの展開 ・開発したソリューションの組合員への普及、及びスマート農業の推進

また、主な意見について、以下に補足する。

山梨県としては、本実証の目的であるAIやスマートグラスを利用して「匠の技」を継承することで、就農者の技術向上を図るとともに、新規就農者の拡大を目指している。実装・横展開の検討においては、その核となる課題解決システム（匠ソリューション）の実効性を検証するとともに、その成果を主に県内の農業振興に活かしたい意向である。特に、シャインマスカットに関する山梨県独自の手法（山梨県版カラーチャート※など）を活用した育成技術に関連する部分は、県内限定での実装・横展開を想定している。また、ブドウ農家は多品種栽培をする場合が多いことから、他のブドウ品種への拡大も期待している。一方で、山梨県独自の要件ではない匠ソリューションの構成要素や防犯ソリューションについては、県外への横展開を否定するものではなく、地域産業や地場業者の育成を見据え、前向きに取り組む方向性である。

※……山梨県版カラーチャートとは、収穫期前後のシャインマスカットの果粒画像より果皮の平均色を求めて開発した、濃緑色～黄緑色の5段階で表したシャインマスカット専用のカラーチャート。現在、日本園芸農業協同組合連合会（日園連）のホームページより購入することができる。（※非公開情報を含むため一部文章を削除）

代表企業であるNECにおいては、本実証の目的を踏まえ、実装・横展開ともに前向きに取り組む意向である。特に、Society5.0の実現に向け、そのプラットフォームとしてローカル5G及びその周辺ソリューションに期待しており、本実証を契機に、次世代農業ソリューションの確立、ならびに新規就農者の拡大とその定住を見据えたシェア型のローカル5G提供モデルの実現を目指す。

匠ソリューションと防犯ソリューションの開発及び実証を担当するYSK e-comにおいては、今回構築した各ソリューションの実装・横展開を積極的に推進する意向である。

実証エリアにおける回線事業を手掛けるデジタルアライアンスにおいては、今回構築した課題解決システム及びそれ以外の用途を含めて、地域ケーブルTV事業者との連携も視野に、地域に根差したローカル5Gを含む通信サービスの展開を目指す。

6.1.2 実装・横展開における制約条件等

実装・横展開における制約条件を以下に示す。

課題解決システム（匠ソリューション）は、山梨県独自のシャインマスカット栽培技術に

基づき AI モデルを構築しているため、その独自技術を活用する分野においては山梨県内に限定した実装・横展開が前提となる。

今回の実証構成要素のうち、果樹の AI 育成支援を行うモデルは、他の果樹や山梨県以外のシャインマスカット栽培においても活用可能であるが、該当する AI モデルを別途構築する必要がある。

6.1.3 実装・横展開の全体イメージ

今回の実証に関する実装・横展開の全体像について、下の図に示す。

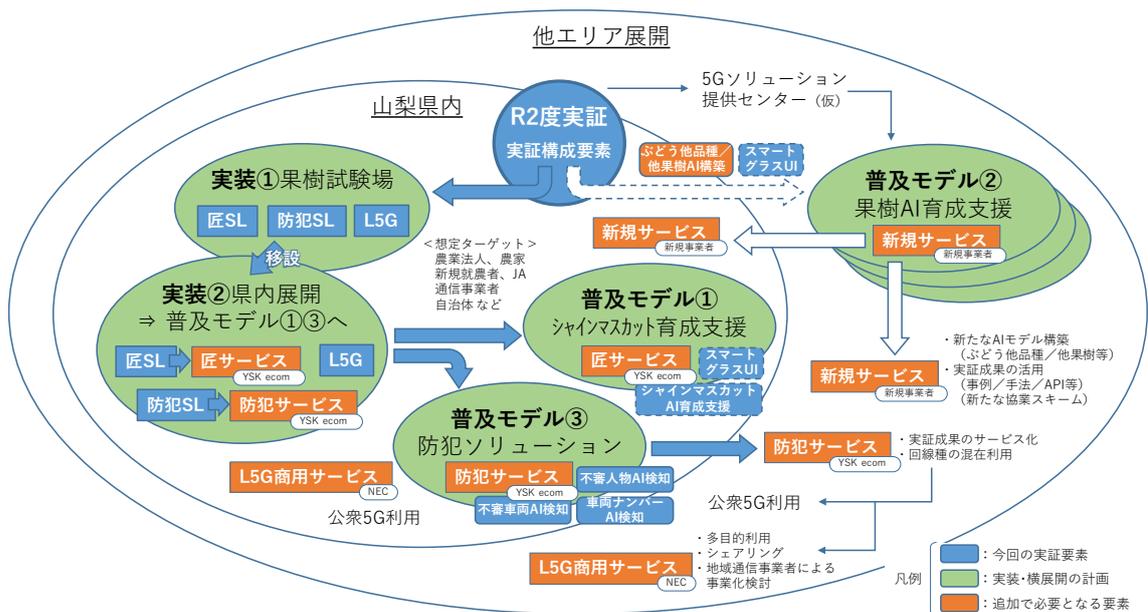


図 6-1 実装・横展開の全体イメージ

今回の実証を構成する各要素に対して、持続可能な事業モデルとするべく、実装を二段階、横展開を3つの普及モデルとして計画する。

実装においては、今回の実証場所である果樹試験場において継続利用しながら匠ソリューション及び防犯ソリューションを見本展示し、県内の農業法人へ展開することを目指す。

横展開においては、山梨県独自技術を活用する「シャインマスカット AI 育成支援」については農業法人への実装後に普及モデル①として県内展開を目指す。また、それまで培った AI モデル構築の知見を活かし、ブドウ他品種や他の果樹に関する AI モデルを別途構築することを前提に、普及モデル②として AI 育成支援の他エリア展開を目指す。防犯ソリューションについても、普及モデル③としてサービス化による県内及び他エリア展開を目指す。

6.1.4 実装・横展開に向けた実証構成要素の分解

6.1.3 で示した実証構成要素について、次のように分解し、整理した。

表 6.1.4-1 実証構成要素の整理

構成要素		説明	実装・横展開における留意事項
ローカル 5 G 環境	5 G システム (NSA 4.75GHz)	ローカル 5 G 環境の根幹を成すシステム。5 G 基地局、4 G 基地局、コアネットワークより形成される。	周波数や設置条件について、最新の制度に沿って対応することが必要である。
	5 G 対応端末 (CPE)	5 G 対応モバイルルータ	
匠ソリューション	シャインマスカット AI 育成支援システム	山梨県独自のシャインマスカット栽培技術に基づき、房づくり、摘粒、適期収穫の過程における熟練就農者の知見を AI モデルとして構築する。	本実証で構築した課題解決システムは、山梨県の知財にあたるため、県内限定の横展開となる。他県及び多品種への適用にあたっては、AI モデルの再構築が必要である。
	スマートグラス UI システム	画像判定 AI※を搭載したスマートグラス投影に必要な機能を提供する。※画像判定に必要な AI モデルの構築は、シャインマスカット AI 育成システムに含む。	別途、画像判定に必要な AI モデル構築が必要である。
	植生指数、画像解析システム	圃場上空からのドローン映像を解析し、植生異常箇所を検知する機能を提供する。	現時点で価値に繋がっておらず、実装・横展開の主たる要素から除外する。
防犯ソリューション	不審人物 AI 検知システム	圃場に設置した防犯カメラの映像から、人物を検知する AI モデルを構築し、圃場に近づく不審人物を発見し、圃場の管理者（就農者）のスマートフォンへ自動通報する機能を提供する。	実用化にあたり、今回使用した 4K カメラだけではなく、廉価に購入可能な IP カメラ等での活用についての検証が必要である。
	不審車両 AI 検知システム	圃場に設置した防犯カメラの映像から、車両を検知する AI モデルを構築し、圃場に近づく不審車両を発見し、圃場の管理者（就農者）のスマートフォンへ自動通報する機能を提供する。	実用化にあたり、実際に盗難被害にあった場合の届出まで考慮し、ナンバープレート情報が判別できるカメラ画像の提供等も検討する必要がある。

	<p>車両ナンバー AI 検知システム</p>	<p>上記のオプションとして、車両と合わせてナンバープレート検知する AI モデルを構築し、検知した映像をデータ保存し提供を可能とする。</p>	<p>実用化にあたり、実際に盗難被害にあった場合の届出まで考慮すると、本機能の良い級度が高いと推測される</p>
--	-----------------------------	--	--

6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定

6.2.1 実証終了後の継続利用

6.2.1.1 対象とする地域課題

- ・山梨県内におけるシャインマスカット「匠の技」の継承、栽培管理技術の効率化、品質向上、売上増加、ブランド強化
- ・山梨県内におけるシャインマスカット新規就農者の拡大
- ・ブドウ農家におけるシャインマスカット盗難（防犯対策）

6.2.1.2 本事業で開発した課題解決システムの実証終了後の継続利用の見通し

実証終了後の継続利用について、下記に示す実装の全体計画を基本方針とする。

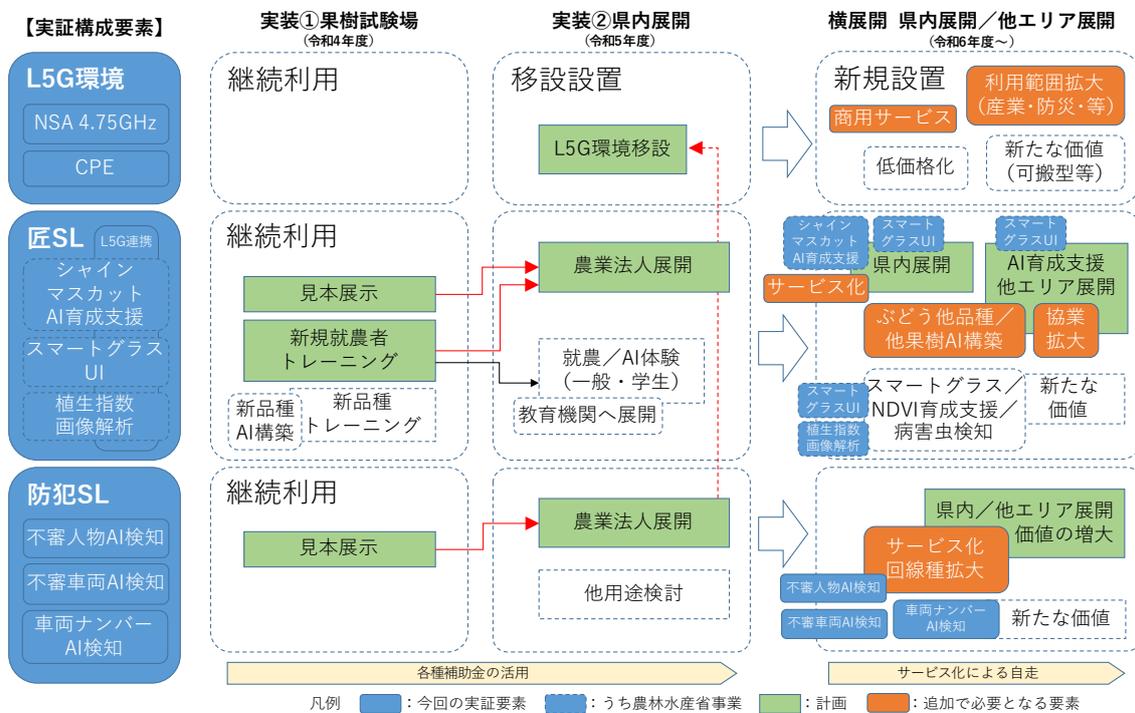


図 6-2 実装の全体計画

2021年度の農林水産省実証の結果、経験の浅い農業従事者がスマートグラスを使うことで使わない場合に対し40～55%効率化、品質向上、売上増加、ブランド強化などの成果が得られた場合、本事業で開発した課題解決システムを果樹試験場で継続利用し、新規就農者向けのトレーニング環境を整備するとともに、山梨県内農業法人への展開を目指して見本展示することを検討する。また、2023年度には実証設備の有効利用と実証成果の実用性検証を目的として特定の農業法人へ展開することを前提に、ローカル5G環境を移設し、課題解決システムのサービス化を検討する。

(1) 運営体制・内容

2022 年度は下表に示す 2021 年度までの農研機構事業（農林水産省）の運営体制及びコンソーシアム内の役割分担を維持し、継続利用する予定である。

表 6.2.1-1 2022 年度運用体制と役割分担

企業・団体名	役割
株式会社 YSK e-com	代表機関、プロジェクト管理、ソリューション開発及び構築、保守、サービス化検討、※課題解決システムトレーニング環境整備・見本展示、※募集・プロモーション活動
山梨県	現地実証における開発技術の実用性の検証、改善指導
日本電気株式会社 (NEC)	ローカル 5 G 環境の構築・保守、実証試験局免許の申請、サービス化検討、※課題解決システムトレーニング環境・見本展示支援、※募集・プロモーション活動
株式会社 NTT ドコモ CS	気象センサー知見の提供・商用 5 G
国立大学法人 山梨大学	AI、AR 及びスマート農業への応用技術などの助言
全国農業協同組合連合会 山梨県本部（全農やまなし）	県内へのスマート技術の普及助言
フルーツ山梨農業協同組合	組合員へのスマート技術現地実証・普及

※前年度から追加

2023 年度は山梨県内農業法人への展開を前提とし、実証体制を継続しつつ、ビジネスプランに応じて体制を見直す。ローカル 5 G 環境及び課題解決システムは農業法人に移設する。

(2) 課題

2022 年度から 2023 年度の環境維持費やサービス利用料、ならびに 2023 年度の移設費用については、受益者負担によるビジネスモデル確立が難しいため、2024 年度以降の普及モデルが実現するまでの間、現在の Society5.0 交付金に相当するような各種補助の活用を視野に検討を進める。

2023 年度の山梨県内農業法人の確保に向け、2022 年度中に移設先の募集、プロモーション活動を展開する必要がある。

(3) 条件

- ・ 2022 年度から 2023 年度の各種補助金の活用
- ・ 2023 年度に展開する山梨県内農業法人の確保

なお、2021年度の実証結果において期待する成果が得られなかった場合には、果樹試験場内での継続利用（新品種への適用検討含む）あるいは、農業系教育機関での利活用といった継続利用の在り方を検討する方針である。

6.2.2 事業モデル

実装における事業モデルを以下に示す。実装は二段階で構成し、今回の実証場所である果樹試験場においてローカル5G環境を含めて継続利用しながら匠ソリューション及び防犯ソリューションを見本展示し、2023年度までに県内の農業法人へ展開することを目指す。

6.2.2.1 実装①果樹試験場継続利用（2022年度）

(1) 実装①の概要

2021年度の農林水産省実証において期待する成果が得られることを前提に、本事業で開発したローカル5G環境及び課題解決システム「匠ソリューション」「防犯ソリューション」を果樹試験場で継続利用し、新規就農者向けのトレーニング環境を整備するとともに、山梨県内農業法人への展開を目指して見本展示する。並行して、移設先の募集、プロモーション活動を展開する。

表 6.2.2-1 実装①果樹試験場継続利用の概要

項目	概要
対象エリア	山梨県果樹試験場（山梨県山梨市、本実証場所への継続設置）
実装内容 （対象ソリューション）	ローカル5Gシステム、匠ソリューション、防犯ソリューション 実証事業で構築した上記の継続利用、トレーニング環境整備、 見本展示、移設先募集・プロモーション活動
想定される導入効果	ローカル5G環境及び課題解決システムで期待される効果
想定ターゲット	山梨県内のシャインマスカットを生産する農業法人
運営体制、役割分担	2021年度までの農林水産省実証の運営体制及びコンソーシアム 内の役割分担を継続
マネタイズの方法	環境維持等の発生コストに対し、各種補助の活用を前提に2021 年度に検討 ※非公開情報を含むため一部文章を削除
経済性、他領域への活用	ローカル5G環境：果樹試験場で継続利用 課題解決システム：果樹試験場で継続利用 他領域への活用：6.3項で検討
前提条件	ローカル5G：実証試験局免許の継続（免許人：NEC）

(2) 対象エリア

山梨県果樹試験場（山梨県山梨市、本実証場所への継続設置）とする。

(3) 実装内容（対象ソリューション）

2021 年度の農林水産省実証に続き、2022 年度も実証事業で構築したローカル 5 G システム及び課題解決システム（匠ソリューション、防犯ソリューション）を継続利用する。

2022 年度においては、果樹試験場内で新規就農者向けの匠ソリューションのトレーニングを実施できるように、課題解決システムの環境を整備するとともに、生育時期に合わせてイベントを企画し、告知等の集客を図る。

2023 年度より県内の農業法人に展開するために、展開先となる農業法人の募集を目的として、課題解決システムの見本展示を行うとともに、トレーニング環境と合わせてイベントを企画するなど、各種プロモーション活動（以下を想定）を行う。

- 課題解決システムの見本展示、見学会の開催
- 課題解決システム「匠ソリューション」のトレーニング環境整備、イベント開催
- コンソーシアム構成者が発行する機関誌やマスコミへの告知掲載、成果報告
- 県内農業法人の候補を選定し、個別にアプローチ

(4) 想定される導入効果

以下の効果が期待できる。

- ローカル 5 G システムによる高速低遅延な通信環境
- 匠ソリューションによる作業時間短縮、秀品率向上、雇用労働者活用、新規就農者の増加
- 防犯ソリューションによる果実等盗難の防犯対策

(5) 想定ターゲット

2023 年度に山梨県内のシャインマスカットを生産する農業法人への移設を予定。

(6) 運営体制、役割分担

2022 年度は、2021 年度までの農林水産省実証の運営体制及びコンソーシアム内の役割分担を継続する。詳細は前掲「表 6.2.1-1 2022 年度運用体制と役割分担」に示す。

(7) マネタイズの方法

2022 年度の実装①において発生するコストを以下に示す。

※非公開情報を含むため一部文章を削除

表 6.2.2-2 実装①果樹試験場継続利用に係るコスト（2022年度）

項 目		導入準備費	維持費（年間）
ローカル 5 G環境	ローカル5 G設備（3 基地局）	本実証で導入済	※非公開情報を含むため一部文章を削除（以下同様）
	CPE モバイルルータ（5 台）		
課題解決 システム	匠ソリューション	農林水産省実証で導入済	
	防犯ソリューション	本実証で導入済	
	データセンター、サーバ機器等	本実証で導入済	
利用者 端末	スマートグラス（10 台）、カメラ（3 台）、パトランプ（1 台）等	本実証で導入済	
その他	見学会等イベント経費		—
計	小 計		
	合 計		

これらコストは、本来であれば受益者負担によるビジネスモデルを確立して需要と供給のバランスをとりながら自走できる環境とするべきであるが、ローカル5 G黎明期として受益者負担モデルの確立が難しい段階であるため、2024年度以降の自走モデルが実現するまでの間、現在の Society5.0 交付金に相当するような各種補助の活用を視野に検討を進める。詳細は2021年度に検討する。

（8）経済性、他領域への活用

実証事業で構築したローカル5 G環境については、実装①において果樹試験場で継続利用した後に、設備の有効活用を図るべく、実装②において県内の農業法人への移設を検討する。

実証事業で構築した課題解決システム（匠ソリューション、防犯ソリューション）については、実装①において果樹試験場で継続利用した後に、より価値を明確化した上でサービス化を行うべく、実装②において県内の農業法人への移設して実環境で検証する。

他領域への活用については、6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討の項で検討する。

（9）前提条件

ローカル5 Gを含む無線環境については、実証試験局免許の継続を前提とする。免許人は NEC が継続して役割を担う。

6.2.2.2 実装②県内展開：山梨県内農業法人への展開（2023年度）

(1) 実装②の概要

山梨県内の農業法人に対する2022年度の果樹試験場における見本展示及び各種プロモーション活動等により、実装構成の移設先を募集・確定し、実証設備の有効利用と実証成果の実証性検証を目的として、2023年度にローカル5G環境を移設し、課題解決システムを実装する。並行して、課題解決システム提供事業者であるYSK e-comにおいて「匠ソリューション」「防犯ソリューション」によるサービス化を進め、2024年度からは当該農業法人においても有償によるサービス利用を推進する。

表 6.2.2-3 実装②県内展開：山梨県内農業法人への展開の概要

項目	概要
対象エリア	山梨県内の農業法人（未定、2022年度中に募集・確定予定）
実装内容 （対象ソリューション）	ローカル5Gシステム、匠ソリューション、防犯ソリューション 実証事業で構築した上記3つを果樹試験場から移設し利用する
想定される導入効果	ローカル5G環境及び課題解決システムで期待される効果
想定ターゲット	山梨県内のシャインマスカットを生産する農業法人
運営体制、役割分担	2022年度までの運営体制及びコンソーシアム内の役割分担を継続しつつ、山梨県内農業法人へ移設後、ビジネスプランに応じて体制を見直す。
マネタイズの方法	移設を含む環境維持等の発生コストに対し、各種補助の活用を前提に2021年度に検討 ※非公開情報を含むため一部文章を削除
経済性、他領域への活用	ローカル5G環境：果樹試験場から移設し継続利用 課題解決システム：果樹試験場から移設し継続利用 他領域への活用：6.3項で検討
前提条件	ローカル5G：移設先における実証試験局免許の新規取得（免許人：NEC）

(2) 対象エリア

山梨県内の農業法人（未定、2022年度中に募集・確定予定、山梨県果樹試験場より実装構成を移設予定）

(3) 実装内容（対象ソリューション）

2022年度に果樹試験場において継続使用するローカル5Gシステム及び課題解決システム（匠ソリューション、防犯ソリューション）を、山梨県内の農業法人（2022年度中に確定）に移設し、実証設備の有効利用と実証成果の実証性検証を目的として継続利用する。

(4) 想定される導入効果

以下の効果が期待できる。

- ローカル5Gシステムによる高速低遅延な通信環境
- 匠ソリューションによる作業時間短縮、秀品率向上、雇用労働者活用、新規就農者の増加
- 防犯ソリューションによる果実等盗難の防犯対策

(5) 想定ターゲット

山梨県内のシャインマスカットを生産する農業法人とする。

(6) 運営体制、役割分担

2022年度までの運営体制及びコンソーシアム内の役割分担を継続しつつ、2023年度より山梨県内農業法人へ移設し、以降、ビジネスプランに応じて体制を見直す。

(7) マネタイズの方法

2023年度の実装②において発生するコストを以下に示す。

※非公開情報を含むため一部文章を削除

表 6.2.2-4 実装②県内展開：山梨県内農業法人への展開に係るコスト（2023年度）

項目		導入準備費	維持費（年間）
ローカル5G環境	ローカル5G設備（3基地局）	本実証で導入済	※非公開情報を含むため一部文章を削除（以下同様）
	CPE モバイルルータ（5台）		
	上記環境の移設・再調整 （実験試験局免許の新規取得含む）		
課題解決システム	匠ソリューション	農林水産省実証で導入済	
	防犯ソリューション	本実証で導入済	
	データセンター、サーバ機器等	本実証で導入済	
	上記の移設・再調整、操作説明		—
利用者端末	スマートグラス（10台）、カメラ（3台）、パトランプ（1台）等	本実証で導入済	
	上記端末の移設・再調整、操作説明		—
計	小計		
	合計		

これらコストは、本来であれば受益者負担によるビジネスモデル確立を確立して需要と供給のバランスをとりながら自走できる環境とするべきであるが、ローカル5G黎明期と

して受益者負担モデルの確立が難しい段階であるため、2024年度以降の自走モデルが実現するまでの間、現在の Society5.0 交付金に相当するような各種補助の活用を視野に検討を進める。詳細は 2021 年度に検討する。

(8) 経済性、他領域への活用

実証事業で構築したローカル 5 G 環境について、設備の有効活用を図るべく、実証②において県内の農業法人への移設する。

実証事業で構築した課題解決システム（匠ソリューション、防犯ソリューション）については、実証②において県内の農業法人への移設して実環境で検証する。

他領域への活用については、6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討の項で検討する。

(9) 前提条件

ローカル 5 G を含む無線環境については、移設先において実証試験局免許を新規に取得する。免許人は NEC が継続して役割を担う。

6.2.3 実装計画

6.2.3.1 2021 年度以降の事業に係る費用計画及び展開計画（実証終了後 5 年間～）

以下に、事業スケジュールを示す。



図 6-3 事業スケジュール

費用計画は下記の通りである。

- ※非公開情報を含むため一部文章を削除
- ※非公開情報を含むため一部文章を削除
- 2024 年度以降：サービス化による自走（2023 年度に移設した山梨県内農業法人含む）

サービス化による自走に向けた実証構成要素の想定コストについて、以下の内容を前提として試算した。なお、この自走として検討した内容は次項にて、普及モデル①及び普及モデル③として詳細を記載した。

ローカル 5 G 環境は、NEC を事業主体として商用サービス（SA 方式）を展開する。以下

の試算は、1 圃場につき、ローカル 5 G 基地局一か所の新規設置と CPE 端末 1 台を想定し、商用局免許の取得支援も含めた想定コストとなる。

課題解決システムは、匠ソリューションと防犯ソリューションを開発する YSK e-com を事業主体とし、実証機能をベースにそれぞれ「匠サービス（仮称）」「防犯サービス（仮称）」としてサービス化する。以下の試算は山梨県内 50 圃場への展開を想定し、同じく山梨県内にあるデータセンターからサービス提供する場合の想定コストとなる。

ローカル 5 G 基地局とデータセンター間の回線コストは含まない。（別途必要）

表 6.2.3-1 ローカル 5 G 商用サービスの想定コスト（2024 年度）

項 目		導入準備費 ※1 基地局 1 端末	維持費（年間） ※1 基地局 1 端末
ローカル 5 G 環境	ローカル 5 G 設備 （SA 方式の商用サービス）	※非公開情報を含むため一部文章を削除（以下同様）	
	商用局免許の取得支援		
計	小 計		※a
	合 計		

※二年目以降は、a のみが必要となる。

表 6.2.3-2 匠サービス（仮称）、防犯サービス（仮称）の想定コスト（2024 年度）

項 目 ※山梨県内 50 圃場への展開を想定		導入準備費 ※1 端末あたり	維持費（年間） ※1 端末あたり
課題解決 システム	匠サービス（仮称）	—	非公開情報を含むため一部文章を削除（以下同様）
	防犯サービス（仮称）	—	
	データセンター、サーバ機器等		
利用者 端末	スマートグラス（1 台）		
	カメラ（1 台）		—
	パトランプ（1 台）		—
計	小 計		※b
	合 計		

※二年目以降は、b のみが必要となる。

6.2.3.2 上記の妥当性(ユースケースとの関係等) や理由・経緯、留意点・制約条件等

ローカル 5 G 商用サービスについては、1 圃場につき、ローカル 5 G 基地局一か所の新規設置と CPE 端末 1 台を想定して、（※非公開情報を含むため一部文章を削除）が想定コストとなる。NEC を事業主体とする商用サービス（SA 方式）であり、ローカル 5 G 環境構築に必要な一式を含んでいる（5 G コア、RU1 台、CUDU2 台、CPE1 台、その他オプション、ネットワーク構築、無線免許取得支援を含む）。本実証の導入コストより安価であり、

商用サービスとして一定の標準化、ならびに自走が始まる 2024 年度までにさらなる低価格化が期待できる。一方で、匠サービス（仮称）及び防犯サービス（仮称）のみの単独価値で利用できる程度までの低価格化は期待できないため、この商用サービスの導入地域内で多目的利用（シェアリング含む）し、全体の価値を高める検討が必要となる。また、圃場環境や利用者の状況により必要となる基地局や CPE の数が変わってくるため、事前のアセスメントが必須となる。

匠サービス（仮称）及び防犯サービス（仮称）については、YSK e-com を事業主体とし、山梨県内 50 圃場への展開を前提として、1 端末（スマートグラス 1 台、カメラ 1 台、パトランプ 1 台）あたり、（※非公開情報を含むため一部文章を削除）が想定コストとなる。無線環境はローカル 5 G 商用サービスを採用する以外に、将来的な環境整備に伴い、キャリア 5 G も選択肢となる。スマートグラス、カメラ、パトランプは必要数に応じて乗ずる必要がある。

6.2.3.3 事業化における課題と検討の方向性

事業化における課題と事業化に向けた検討の方向性は次の通り。事業化計画の中で解決を図ることが必要である。

(1) 課題解決システム導入、維持に要するコストの負担

課題解決システムをベースとした「匠サービス（仮称）」「防犯サービス（仮称）」の利用には、「ローカル 5 G 商用サービス」及び、スマートグラスやカメラ等の設備が必要となるが、受益者負担によるシステム提供の仕組みを検討するにあたっては、コスト負担が非常に大きくなることが課題である。「ローカル 5 G 商用サービス」においては、導入地域内での多目的利用による全体価値を高めること、スマートグラス等においては可能な限りシェアリングを検討すること等、事業化計画の中で検討する。

(2) ネットワーク回線敷設に要する地権者等との調整負担

利用エリア拡大にあたっては、利用場所へのローカル 5 G 基地局設置が必要であり、既存の回線がないエリアの場合、基地局までの回線敷設の調整が必要である。今回の実証地域においても、ローカル 5 G 基地局設置予定箇所までの回線敷設経路に複数の地権者が関わっており、すべての許可を取り敷設調整をするためには数か月もの調整期間を要することが判明した。本実証では基地局設置予定箇所の変更により、ネットワーク回線敷設に要する調整を回避したが、今後、利用エリアを拡大する際には、個別にこれらの調整が発生することが想定される。

6.2.4 実験試験局と商用局の無線局免許申請の相違について

(1) ローカル5G無線局免許の種類と相違

ローカル5G無線局免許には、本実証のような実験や試験等で利用する場合の実験試験局免許と、実運用で利用する場合の商用局免許の2種類がある。それぞれの免許についての相違は下表の通り。

表 6.2.4-1 ローカル5G無線局免許の種類と相違

項目	実験試験局免許	商用局免許
利用可能な周波数	4.7Gz帯と28GHz帯	4.7Gz帯と28GHz帯 (2020年12月より)
有効期間	最大5年	最大5年※ ※再免許申請により延長可能
利用可能な範囲	他社の土地でも利用可	自己土地利用が基本
免許申請手続き	商用局と同じ手続き	免許申請 ↓ 審査 ※ ↓ 予備免許 ↓ 落成検査 ↓ 免許 ← ※条件次第で簡易な手続きが可能

(2) ローカル5G無線局免許申請に必要な書類について

実験局免許と商用局免許では、免許申請において必要な書類にも相違がある。それぞれの申請に必要な書類は下表のとおり。

表 6.2.4-2 ローカル5G無線局免許申請書類の相違

書類名	実験試験局免許	商用局免許
免許申請書	免許申請書(用紙あり)	左記同様
無線局事項書	無線局事項書(用紙あり)備考欄でセキュリティ対策に言及	左記同様
工事設計書	工事設計書(用紙あり)	左記同様
無線設備系統図	工事設計書 無線設備系統図	左記同様

アンカーの調達	アンカーの調達を示す書類 ：BWA 免許状、卸契約書等 ※SA 方式の場合は不要。尚、同一免許人がローカル5Gと自営等 BWAを同じ場所で開設する場合、1 免許で取得可能。	左記同様
免許主体	不要	「免許主体になれないもの」に該当しないことを示す資料（事項全部証明書等）
自己土地	不要	<ul style="list-style-type: none"> 自己土地の範囲図 登記事項証明書 賃借契約書 所有者からの依頼状など ※他者土地利用の場合は不要
混信等の防止	<ul style="list-style-type: none"> 基地局設置場所 業務区域の図 	<ul style="list-style-type: none"> 基地局設置場所 業務区域の図 カバーエリアの図 アンカーのカバーエリアの図 調整対象区域の図 他ローカル5G事業者との同意書（必要に応じて）
物理遮蔽の防止	不要	全国28GHz帯携帯事業者との同意書（または許容されているパラメータを設定することの記載）
サービスの計画	実験の計画書	<ul style="list-style-type: none"> サービスの計画（地域社会の諸課題の解決に寄与するための内容を含む） 実行体制 実施スケジュールなど（基地局等が免許の日から6か月以内に運用開始することを示す資料※） ※基地局等が正当な理由なく免許の日から6か月以内に運用されない場合、総務大臣は 免許を取り消すことができる
運用・保守の対応体制	不要	サービスの提供及び無線設備の保守・運用の対応体制に関する計画
無線従事者	無線従事専任届 （無線従事者の配置計画など）	左記同様

6.2.5 その他考察

本実証において採用した機種以外の機器（スマートグラス、カメラ等）についても、2021

年度の農林水産省の実証事業にて検証する可能性がある。ブドウの実際の生育期間に合わせた課題解決システムの実証と合わせて、2021年度実証の中で最終的な提供価値について検証し、実装及び横展開の方針を判断するものとする。

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

今回の実証に関する横展開においては、同様の課題を抱える他地域における実装や検討に資する標準的な普及モデルとなることを念頭に、実証構成要素単位で検討を行い、下の図で示す3つの普及モデルを検討した。

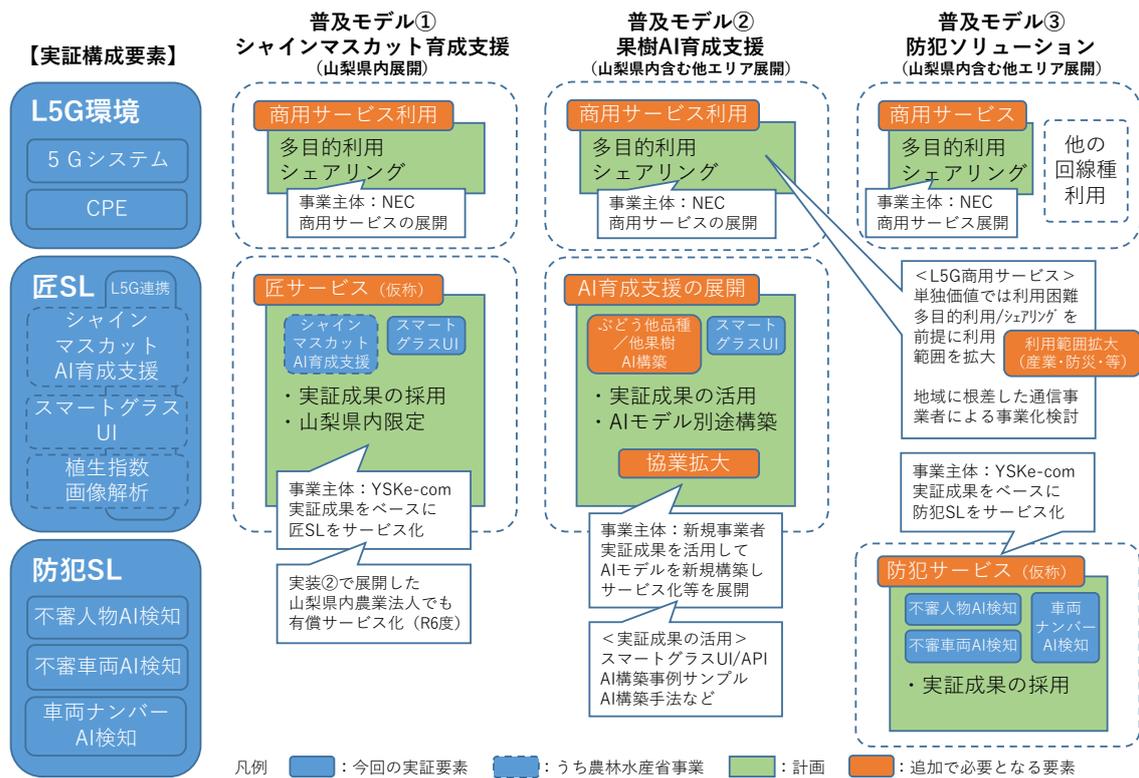


図 6-4 横展開：普及モデルの全体像

6.3.1.1 普及モデル① シャインマスクット育成支援（山梨県内展開）

(1) 普及モデルの概要

実証事業内の匠ソリューションとして検証する「シャインマスクットAI育成支援」と「スマートグラスUI」の成果を採用した新サービスとして、開発元である YSK e-com を事業主体として匠サービス（仮称）を展開する。なお、事業展開は山梨県内限定とする。

ローカル5G環境について、商用サービスを利用する。NECを事業主体とした商用サービスを利用し、上記の匠サービス（仮称）を展開する。

2024年度より上記サービスを開始する。

(2) 想定ターゲット

- 匠サービス（仮称）
 - 山梨県内のシャインマスカットを生産する農業法人、熟練農家(匠)、一般農家、新規就農者、JA など
- ローカル5G商用サービス
 - 同上の農業法人、農家、新規就農者、地域の受益者、通信事業者、自治体など

(3) 想定される導入効果

- 匠ソリューションで実証される導入効果
 - 房づくり/摘粒等作業時間：現状 200～150h/10a→目標 90h/10a（40～55%削減）
 - 秀品率向上（スマートグラス指示による高品質な生産と適期収穫色判断による）
 - 雇用労働者活用による規模拡大（農業法人、熟練農家(匠)、一般農家）
 - 新規就農者の増加
- ローカル5G環境を導入する農村地域における通信環境の向上

(4) 課題と対応策

匠サービス（仮称）に採用する「シャインマスカット AI 育成支援」は、山梨県の独自技術（カラーチャート等）を利用して AI モデルを構築しており、山梨県外への展開については山梨県の了解が必要となる。当面は山梨県内限定の事業展開とし、事業計画の見直しの中で山梨県と調整する。

ローカル5Gの商用サービスについて、商用サービス自体は普及モデル開始予定の2024年までに一定の低価格化は見込めるものの、匠サービス（仮称）のみの単独価値で利用できる程度までの低価格化は期待できない。そのため、この商用サービスを導入地域内で多目的利用（シェアリング含む）し、全体の価値を高めた他事業展開を目指す。また、商用サービスとして NEC を事業主体として検討する案以外に、地域に根差した通信事業者（デジタルアライアンスなど）が他事業展開の事業主体（免許人）となる案も検討する。

6.3.1.2 普及モデル② 果樹 AI 育成支援（山梨県内を含む他エリア展開）

(1) 普及モデルの概要

実証事業内の匠ソリューションとして検証した「シャインマスカット AI 育成支援」の AI モデル構築事例と「スマートグラス UI」の成果を活用し、今回の山梨県産シャインマスカット以外のブドウ他品種や他果樹を対象に新たな AI モデルを別途新規構築し、新たな事業主体においてサービス化等を実施するモデル。対象となる作物の例を以下に示す。

- 山梨県産以外のシャインマスカット
- ピオーネ等他のブドウ品種
- 他の果実（果樹になる永年作物／果実的な野菜（野菜に分類されるイチゴなど）

ローカル5G環境について、商用サービスを利用する。NECを事業主体とした商用サービスを利用し、上記の新サービスを展開する。

実装モデル及び普及モデル①を契機に、上記の事業主体として新規事業者を募り、協業範囲を調整した上で2024年度以降に上記サービスを開始する。

(2) 想定ターゲット

- 果樹AI育成支援サービス
 - 対象となる果樹を生産する農業法人、熟練農家(匠)、一般農家、新規就農者、JAなど
- ローカル5G商用サービス
 - 同上の農業法人、農家、新規就農者、地域の受益者、通信事業者、自治体など

(3) 想定される導入効果

- 匠ソリューションで実証される導入効果から推計される効果
- ローカル5G環境を導入する農村地域における通信環境の向上

(4) 課題と対応策

今回の実証成果を元に、AIモデルの新規構築及び実効性のあるサービスモデル構築を実現できるかが課題となる。AIモデル構築に向けては今回の「シャインマスカットAI育成支援」で培った手法と構築事例に係る概要をサンプルとなるよう、成果報告書にまとめた。スマートグラスを用いた果樹育成支援については「スマートグラスUI」の成果であるUI及びAPIを活用する。また、これら新規事業者との間で協業範囲などを調整し、実証体系普及に向けた取り組みを推進する。

上記のAIモデル構築において、匠ソリューションではシャインマスカットの山梨県版カラーチャート等の山梨県独自技術を活用したが、新たなAIモデル構築においてもその対象に対する知見が必要となる。例えば、農作物の生育や収穫時期を判定するのに必要なカラーチャートなど、画像で判定できる指標が確立している作物、地域があれば、実証成果を横展開しやすいと考えられる。これら画像処理できる指標が無い作物(ジャガイモなど作物の生育状況を画像で見ることができない根菜類等)や地域では慎重に検討する必要がある。これら知見を得るために、連携先として県農業試験場、農研機構、JA等の専門的な知見を有するところを検討することが有効である。

新規事業者の獲得に向けて、農業関連事業者等を対象に実装フェーズの見本展示を活用し見学会を開催する。また、コンソーシアム構成者が発行する機関誌やマスコミ等に、スマート農業事例として掲載を依頼する。そのほか、コンソーシアム構成者が属する協業スキーム(例:NECの全国販売パートナー網「NETグループ」内等)の中で具体的なプロモーション活動を行う。

ローカル5Gの商用サービスについて、普及モデル①と同様に、導入地域内で多目的利用(シェアリング含む)し、全体の価値を高めた他事業展開を目指す。また、地域に根差し

た通信事業者（地域ケーブル TV 事業者など）が他事業展開の事業主体（免許人）となる案も検討する。

6.3.1.3 普及モデル③防犯ソリューション（山梨県内を含む他エリア展開）

（1）普及モデルの概要

実証事業内の匠ソリューションとして検証する「不審人物 AI 検知」「不審車両 AI 検知」「車両ナンバーAI 検知」の成果を採用した新サービスとして、開発元である YSKe-com を事業主体として防犯サービス（仮称）を展開する。

ローカル 5 G 環境について、普及モデル①②と連携して NEC を事業主体とした商用サービスを利用し、上記の新サービスを展開する。また、普及モデル③単体で様々な用途での利活用も見込まれるため、ローカル 5 G 以外の回線種利用を組み合わせることも可能とする。

2024 年度より上記サービスを開始する。

（2）想定ターゲット

- 防犯サービス（仮称）
 - 匠サービス（仮称）ユーザ、各種農業法人、農家、その他一般法人/個人など
- ローカル 5 G 商用サービス
 - 同上の農業法人、農家、地域の受益者、通信事業者、自治体など
- 他の回線種利用
 - 一般法人/個人など

（3）想定される導入効果

- 防犯ソリューションで実証される導入効果
 - 不審人物/不審車両検知によるサービス利用者へのメール通報、現地アラーム発報
 - 検知した車両ナンバーによる盗難被害の回復支援（警察への届出時に利用する等）
 - 果樹等盗難被害の減少、抑止効果
 - 一般的な防犯対策
- ローカル 5 G 環境を導入する農村地域における通信環境の向上

（4）課題と対応策

防犯による安心感の獲得と投資コストのバランスが課題となる。今回の実証においてはシャインマスカットの盗難防止として夜間の圃場等の非常に暗い場所での検知に重きを置き、4Kカメラと赤外線投射装置の組み合わせで実証を行い基本モデルとしたが、用途においては廉価な IP カメラで代用できる可能性がある。

ローカル 5 G の商用サービスについて、普及モデル①と同様に、導入地域内で多目的利

用（シェアリング含む）し、全体の価値を高めた他事業展開を目指す。また、地域に根差した通信事業者（地域ケーブル TV 事業者など）が他事業展開の事業主体となる案も検討する。

6.3.1.4 その他の普及モデル検討

本実証においては上記1)～3)の普及モデルを横展開対象として検討したが、将来的には課題解決システムの色・画像判別の技術の応用により、以下の分野への横展開も可能である。普及モデルを含む、本実証における横展開の可能性について以下に示す。

本事業で構築した、課題解決システムの技術を軸に、対象品種・分野・エリア拡大による普及を目指す。ローカル5Gを含むプラットフォームの分野横断による幅広い活用を推進する。



図 6-5 普及モデルを含む横展開の可能性

<普及モデル1)～3)以外に検討対象となった候補>

- シャインマスカット等ブドウの集荷判定（色）（農業分野）
- 農作物集荷/加工判定（色、虫など）（農業分野）
- 遠隔指導（農作業、その他作業）（農業分野等）
- 精肉（卸肉市場など）
- 魚肉（市場マグロ尾切断面など）
- 工芸品（染物、陶器など）
- 不審人物検知（顔認証連携による個人特定）（防災分野）
- 害獣検知（シカ、イノシシなど）（防災分野）
- 駐車車両管理
- 防犯見守りカメラ（高齢者、子ども）（防災分野）
- 観光農園（バーチャル果実狩り）（観光分野）
- 地域特産品（観光分野）
- 体験農園／生産実習（教育分野）
- 生育データ分析、営農支援（天候／市場データ連携）

6.3.2 農業分野におけるローカル5G等の活用に向けた推進対応方策

今回の実証及び実装・横展開の検討を踏まえて、農業分野におけるローカル5G等の活用に向けた推進方策について検討した。

本実証においては、ローカル5Gを用いて、匠ソリューションと防犯ソリューションに取り組んだが、ここで求められる要件は以下の図に示す通り大容量データと即時性であり、これを実現する通信システムとして現時点では5Gが最適であり、農業という特定分野、あるいは農村地域の特定エリアにおける干渉の少ない無線環境を整備するという観点でローカル5Gは適していると言える。

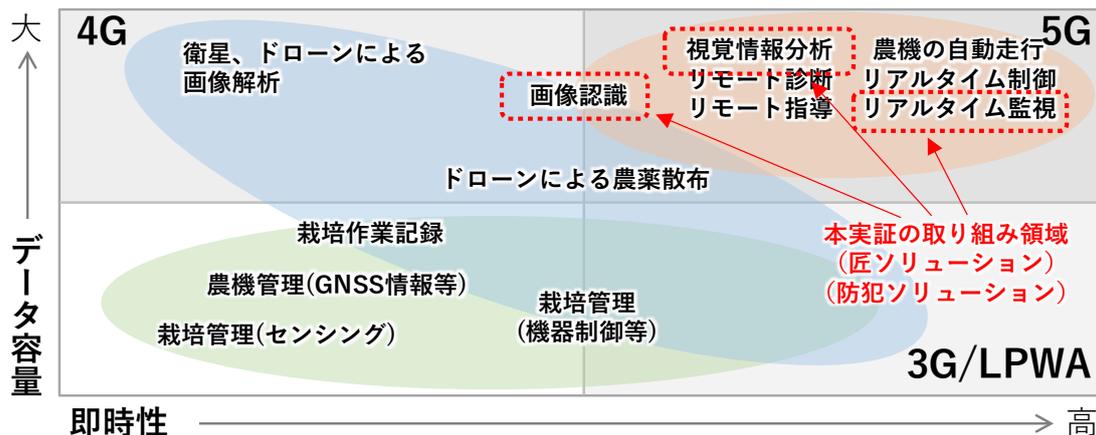


図 6-6 農業分野における通信システムの用途

一方で、実装・横展開を検討する中で、ローカル5Gを推進する上での課題も顕在化した。その中で最も大きな課題は、以下の図に示す通り、ローカル5G環境の導入・維持管理コストの削減と、導入・維持管理体制の整備である。農業分野でローカル5Gの活用を推進する上ではこの課題への対策が必要となる。



図 6-7 実証及び実装・横展開検討で顕在化したローカル5Gの課題と対策

農業分野は、農業で得られる収入を考慮すると、受益者としての農業従事者に大きなコス

ト負担を求めることは難しく、ローカル5G環境の導入・維持管理コストの削減が求められる。これに係る主な対策を以下に示す。

表 6.3.2-1 ローカル5G導入・維持管理コスト削減の主な対策

主な対策	補 足
クラウド化	専用機器で構成されている基地局の環境を仮想化し、IaaS 上での構築あるいは SaaS 等のクラウド化を実現することで、コストを削減する。
SA 方式の採用	SA（スタンドアローン）方式のローカル5G環境を採用することで、4Gのアンカー環境が不要となり、コスト削減となる。
多目的利用	特定の農作物や防犯等の目的に限定するのではなく、農業分野以外も含めた様々な領域で基地局設備を活用し、複数の目的でシェアリングすることによりコスト負担を分散する。
可搬型基地局	小型化して可搬型となった基地局設備を利用し、繁忙期の異なる複数の農作物や離れた圃場での利用を可能とし、設備の回転率を上げることでコスト負担を分散する。

また、コスト削減と合わせて、ローカル5G環境の導入・維持管理に係る体制の整備も課題である。これに係る主な対策を以下に示す。

表 6.3.2-2 ローカル5G導入・維持管理体制整備の主な対策

主な対策	補 足
サービス化	ローカル5Gの導入から維持管理に必要となる各種機能や運用保守をサービスとして提供する形態。商用サービス化により、低コスト化に加え、安定的な環境維持を実現する。
地域スキームの確立	提供エリアが限定されるローカル5Gの特性に合わせ、該当するエリアでの多目的利用や安定的な環境維持を実現するために、受益者や地域通信事業者、各種サービス提供事業者、JA、自治体などによる地域スキームを確立する。

6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討

今回の実証事業の先には、5Gがあらゆる分野や地域において浸透し、徹底的に使いこなされている「Beyond 5G ready」な環境の実現に向けて、多様なステークホルダによるローカル5G等を活用したユースケースの横展開を促進する取り組みが期待されている。その実現方策の一つとして、低廉かつ容易に利用できるような、例えば、エッジと連携したクラウド型（SaaS）の共通プラットフォーム（「5Gソリューション提供センター（仮称）」）仕組みが考えられている。この共通プラットフォームの在り方について、実証プロジェクトの立場から検討を実施した。

6.4.1 共通プラットフォームに資する実証構成要素

今回の実証を構成する各構成要素のうち、横展開を促進する共通プラットフォームとして有効と思われる要素を記載する。これら各構成要素の機能モジュール、機能仕様、インタフェース（API等）、データ連携仕様（フォーマット等）、あるいは成果物や事例等が横展開の促進に資すると想定する。

6.4.1.1 ローカル5Gシステム

ローカル5Gシステムの構成例を以下に示す。

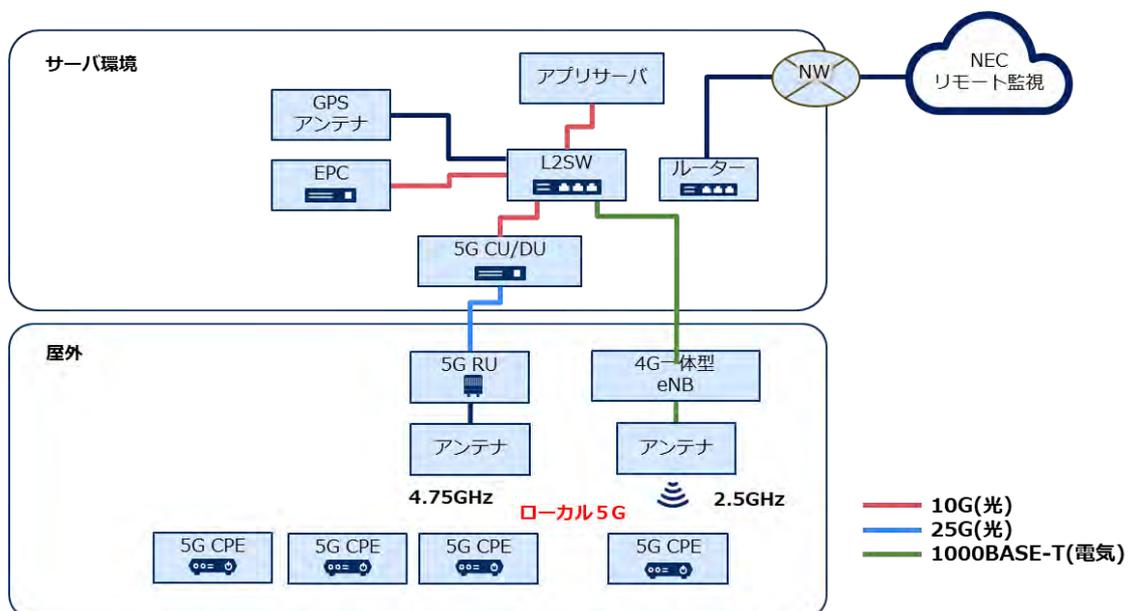


図 6-8 ローカル5Gシステム構成（例）

ローカル5Gシステムは、5Gコア、RU、CU/DU、アンテナ、CPE 端末、および光/LAN 回線、スイッチ等の機器から構成される。今回の普及モデルの検討においては、ローカル5G商用サービスの採用を想定しており、そのサービスにおいては機器を提供することのほか、各機器の設定及びチューニング、ネットワーク構築、無線免許取得支援等をサービス

提供することを想定している。

なお、3章で示す今回の実証におけるローカル5Gシステムも、上記ローカル5Gシステムの一例に該当する。

6.4.1.2 シャインマスカット AI 育成支援システム

山梨県が知財を有するシャインマスカット栽培技術に基づき、房づくり、摘粒、適期収穫の過程における熟練就農者の知見を AI モデルとして構築した。山梨県内限定での横展開となるが、エリア限定が可能であれば、共通プラットフォームに資することが可能となる。

今回の普及モデル検討においては、「普及モデル①シャインマスカット育成支援」を構成する匠サービス（仮称）として横展開を図る。

また、「普及モデル②果樹 AI 育成支援」において、上記のシャインマスカット AI 育成支援を AI モデル構築事例として、ブドウ他品種や他果樹を対象とする新たな AI モデルの構築を想定している。以下に AI 開発環境を示す。

表 6.4.1-1 AI 開発環境（山梨県シャインマスカット）

項目	内容
使用 OS	Ubuntu
コンテナシステム	Docker
Web アプリケーション フレームワーク	Django
AI 推論エンジン	TritonInferenceServer
テキストエディタ	Visual Studio Code
使用言語	Python3.7
ライブラリ	GDAL Pyproj Pytorch OpenCV Pillow MMDetection Triton Inference Client

6.4.1.3 スマートグラス AI 投影システム

画像判定 AI を搭載したスマートグラス投影に必要な機能を提供する。画像判定に必要な AI モデルの構築が別途必要であるが、スマートグラス投影の UI システムとして、共通プラットフォームに資することが可能である。

今回の普及モデル検討においては、「普及モデル①シャインマスカット育成支援」では山梨県知財で構築されたシャインマスカット AI モデルと連携して、匠サービス（仮称）として横展開を図る。さらに、「普及モデル②果樹 AI 育成支援」では、ブドウ他品種や他果樹を対象とする新たな AI モデルと連携して新サービスを構成することを想定している。以下に

スマートグラスの開発環境を示す。

表 6.4.1-2 スマートグラスの開発環境

項 目	内 容
使用デバイス	BT2000 / Android スマートフォン
使用 OS (BT2000)	Android 4.0
使用 OS (スマートフォン)	Android 8.0
統合開発環境	Android Studio 4.1
	Android4.2 Preview
使用言語	Java
ライブラリ	Volley

6.4.1.4 不審人物／不審車両 AI 検知システム

圃場に設置した防犯カメラの映像から、人物を検知する AI モデルを用いて圃場に近づく不審人物を発見し、圃場の管理者（就農者）のスマートフォンへ自動通報する機能を提供する。同様に、車両を検知する AI モデルを用いて圃場に近づく不審車両を発見し、圃場の管理者（就農者）のスマートフォンへ自動通報する機能を提供する。さらに、車両と合わせてナンバープレート検知する AI モデルを用いて検知した映像及び車両ナンバーをデータ保存し提供を可能とする。これらを共通プラットフォームに資することが可能である。

今回の普及モデル検討においては、「普及モデル③防犯ソリューション」を構成する防犯サービス（仮称）として横展開を図る。

6.4.2 共通プラットフォームへの提供イメージと合致した製品のパターン・スキーム

6.4.2.1 通信制御領域におけるローカル 5 G 商用サービスの導入

5 G ソリューションを構成する各種ソフトウェア、ハードウェアの提供イメージについて、PMO から提示されたローカル 5 G ソリューション構成を元に、アプリ領域、通信制御領域、機器制御領域に分類し、下の図に示す通り、通信制御領域においてローカル 5 G 商用サービスを導入する際のパターン、ビジネススキームについて例を示す。

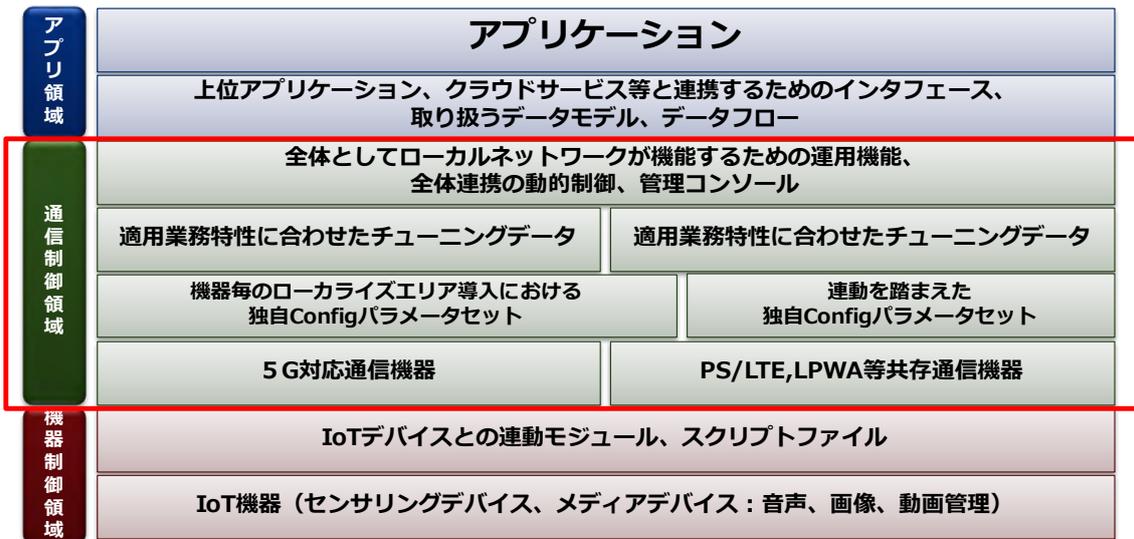


図 6-9 ローカル5Gソリューション構成における通信制御領域

ローカル5G商用サービスにおいては、調査・企画段階のコンサルティングから、導入工程の構築や無線免許申請支援、お客様に代わりシステム運用など、ローカル5Gの企画、導入から運用まで広範囲に渡りサービス型で提供する予定である。フェーズ毎の提供サービス例を以下に示す。



図 6-10 ローカル5G商用サービスの提供サービス例

出展：NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>

各サービスの詳細内容を以下に示す。

(1) コンサルティングサービス

ローカル5Gを構築する準備段階に必要な企画・要件定義から電波測定、5G端末検証、実証実験を提供し、お客様のニーズと現地環境に応じた最適なネットワークサービスと今後の進め方を提案する。各サービスの内容例を以下に示す。

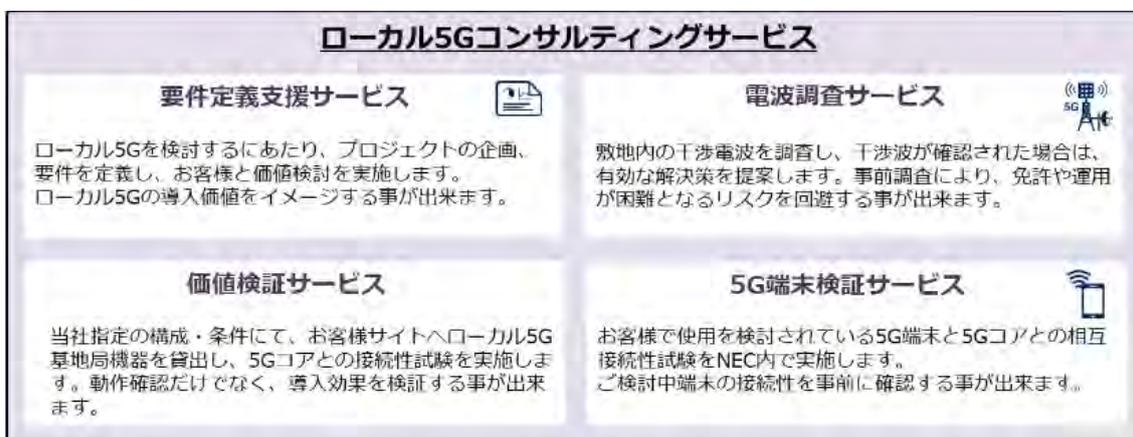


図 6-11 ローカル5Gコンサルティングサービス内容例

出展：NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>

(2) インテグレーションサービス

ネットワークのスペシャリストが無線局免許の取得支援から、ネットワーク構築に至る現地調査、設計、検証を行い、信頼性の高い、安全・安心なネットワークを構築します。5G基地局のラインナップにSub6(4.7GHz)帯域対応のSA型を加え、お客様の最適なネットワーク構築と運用に貢献すると考えられる。各サービスの内容例を以下に示す。

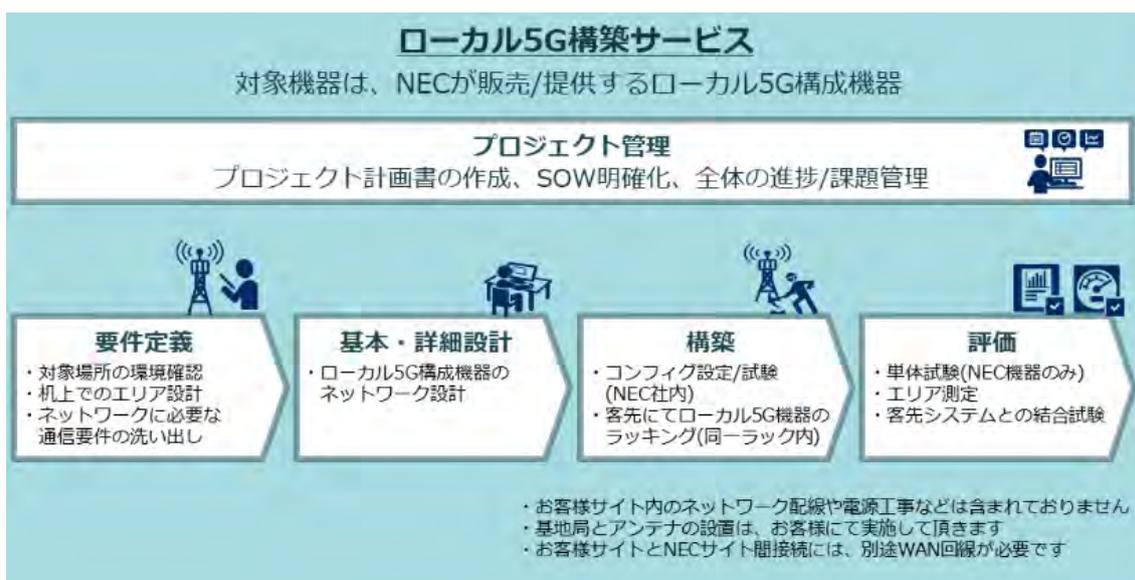


図 6-12 ローカル5G構築サービス内容例

出展：NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>

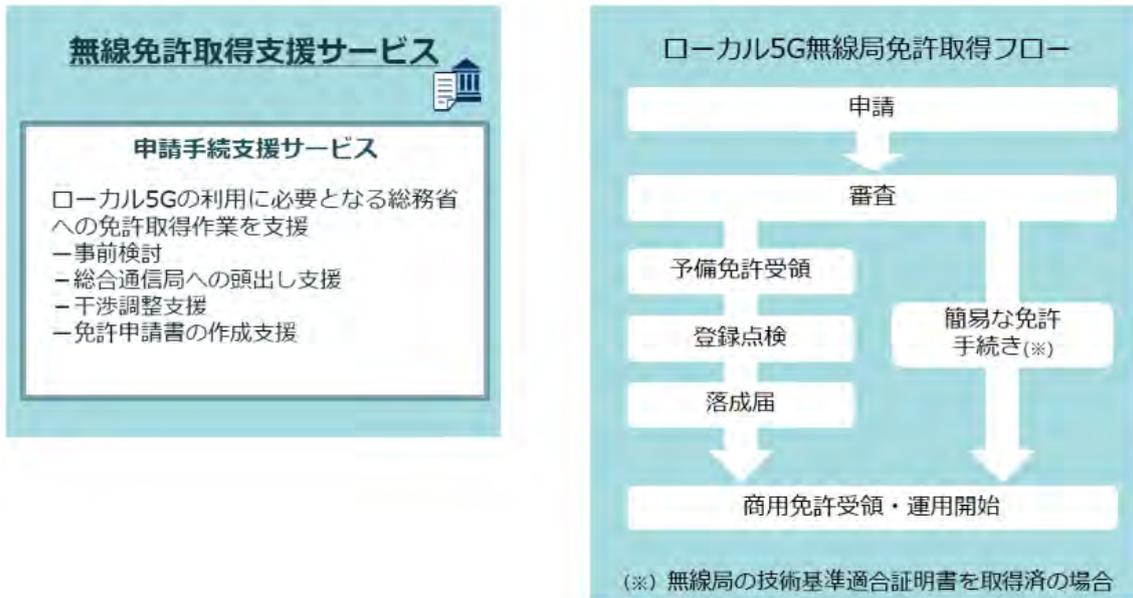


図 6-13 無線免許取得支援サービス内容例

出展) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>

(3) マネージドサービス

5Gネットワークの常時監視(24時間 365日対応)や問い合わせ対応、保守手配・復旧対処といった運用に関する業務をサービス提供します。また、コアネットワーク、基地局といった5Gシステムを構成する機器と保守サービスをセットで月額料金で提供するメニューを用意して、初期投資の抑制に貢献すると考えられる。各サービスの内容例を以下に示す。



図 6-14 ローカル5G マネージドサービス内容例

出展 : NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>

お客様のニーズに応じて、エントリーパック、スタンダードパックの2種類の提供を行う。また、5G基地局機器については、お客様の初期投資を抑えることができるサブスクリプション型サービスについて、メニュー内容例を以下に示す。

ローカル5G エントリーパック	5Gコア、お客様主体のネットワーク運用を支援 <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid #003366; padding: 2px;">5G コア</div> <div style="border: 1px solid #003366; padding: 2px;">復旧 支援</div> </div> 保守窓口、リモート切り分け、保守手配・復旧対処 アラート検知や異常申告等のインシデントの管理実施
ローカル5G スタンダードパック	5Gコア、ネットワーク運用をNECが対応 <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid #003366; padding: 2px;">5G コア</div> <div style="border: 1px solid #003366; padding: 2px;">運用 管理</div> </div> ローカル5Gネットワークの稼働監視（24時間 365日） 問い合わせ窓口、リモート切り分け、保守手配・復旧対処 インシデント・問題・変更管理やネットワーク構成の管理
機器サブス サービス	ローカル5G基地局機器と機器保守をセットで提供 <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid #003366; padding: 2px;">機器 提供</div> <div style="border: 1px solid #003366; padding: 2px;">機器 保守</div> </div> CU/DU(*1)、RU(*2)などのローカル5G機器を月額提供 障害時の機器交換対応 <small>*1: Central Unit/Distributed Unit: 5G基地局 集約部/リモート部 *2: Radio Unit: 5G基地局 無線部</small>

図 6-15 マネージドサービスメニュー例

出展：NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/service.html>

6.4.2.2 アプリ領域、機器制御領域の導入

前項で記載したローカル5Gソリューション構成のうち、アプリ領域、機器制御領域を導入する際のパターン、ビジネススキームについて例を示す。

アプリ領域	アプリケーション	
通信制御領域	上位アプリケーション、クラウドサービス等と連携するためのインタフェース、 取り扱うデータモデル、データフロー 全体としてローカルネットワークが機能するための運用機能、 全体連携の動的制御、管理コンソール	
機器制御領域	適用業務特性に合わせたチューニングデータ	適用業務特性に合わせたチューニングデータ
機器制御領域	機器毎のローカライズエリア導入における 独自Configパラメータセット	連動を踏まえた 独自Configパラメータセット
機器制御領域	5G対応通信機器	PS/LTE, LPWA等共存通信機器
機器制御領域	IoTデバイスとの連動モジュール、スクリプトファイル	
機器制御領域	IoT機器（センシングデバイス、メディアデバイス：音声、画像、動画管理）	

図 6-16 ローカル5Gソリューション構成におけるアプリ領域、機器制御領域

アプリ領域、機器制御領域の提供例として、以下に示す環境での提供が考えられる。

表 6.4.2-1 アプリ領域、機器制御領域の提供環境例

環 境	概 要
クラウド型	クラウドのアプリを使用する
MEC (MobileEdgeComputing)型	近隣地区で共有使用が可能なアプリを使用する
現地型	オンプレミスのアプリを使用する

今回の実証においては、一部の機能を除き、現地型の構成で行われた。この場合、初期導入にコストがかかることが課題に挙げられる。

コストの課題対策として、一般的には、クラウドのアプリを利用することが考えられるが、ローカル5Gの性質である「大容量」「低遅延」「多接続」を考慮すると、クラウド型は必ずしも有用ではない。

そのため、MEC型として、クラウドを利用するわけではないが、近隣地域で同じ機能を使う際に共有できる仕組みを提供することが望ましいと考える。

6.4.3 5Gソリューション提供センター（仮称）への提言

仕様書に記される、「5Gソリューション提供センター」の目的「「Beyond 5G ready」な環境に向け、多様なステークホルダによるローカル5G等を活用したユースケースの横展開を促進する取り組み」に沿って、「5Gソリューション提供センター」の企画・設立展開に資すると思われる要素についてPMO及びコンソーシアムで検討を行った。

「共同利用型プラットフォーム機能をユーザー企業・団体や開発主体等が容易に利用できるよう、当該プラットフォームが具備すべきモジュールや機能群、必要とされるインターフェース（API等）、データ連携仕様（フォーマット等）などに係る仕様案をとりまとめること。」が活動として想定されている

そのため、PMOとディスカッションして示された機能群などの仕様案の他、容易に利用できるような取り組みが必要と考えた。

以下の図に、取りまとめる仕様案と、ローカル5Gを活用するプロセスから想定するから考えられる必要事項を挙げた。

容易に利用できるために必要な要素は、プロセス標準化、人材育成の提供、人材・会社紹介、技術支援・コンサルタント、各産業が利活用できるような機器毎のユースケース収集・提示、DCの括りとしての導入・IF収集・提示、規格・検証、設計・導入、運用監視・保守の各プロセスの手順や標準、3GPPや上位アプリケーション、IoT規格の動向の提供、解説、英訳の提供、ハードウェア/バックボーンネットワークのシェアリングが考えられる。

また、ローカル5Gシステムは、規格である3GPPの版数により、提供できるネットワーク性能や機能が変わってくるため、各要素において、3GPP規格版数の明確化をすることも必要であると考える。

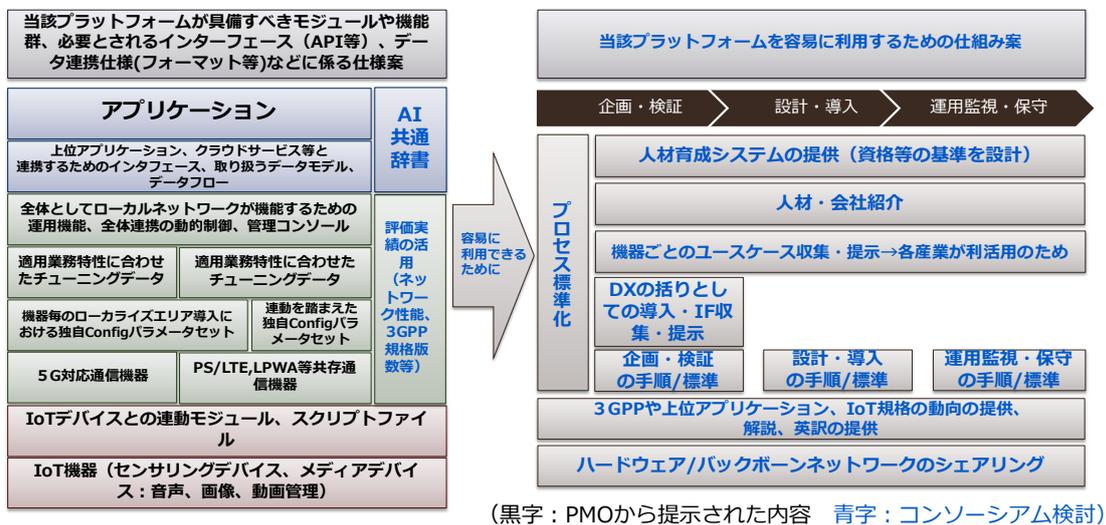


図 6-17 ローカル5Gソリューション構成におけるアプリ領域、機器制御領域

6.5 まとめ

今回の実証に関する実装・横展開のまとめについて、下の図に示す。

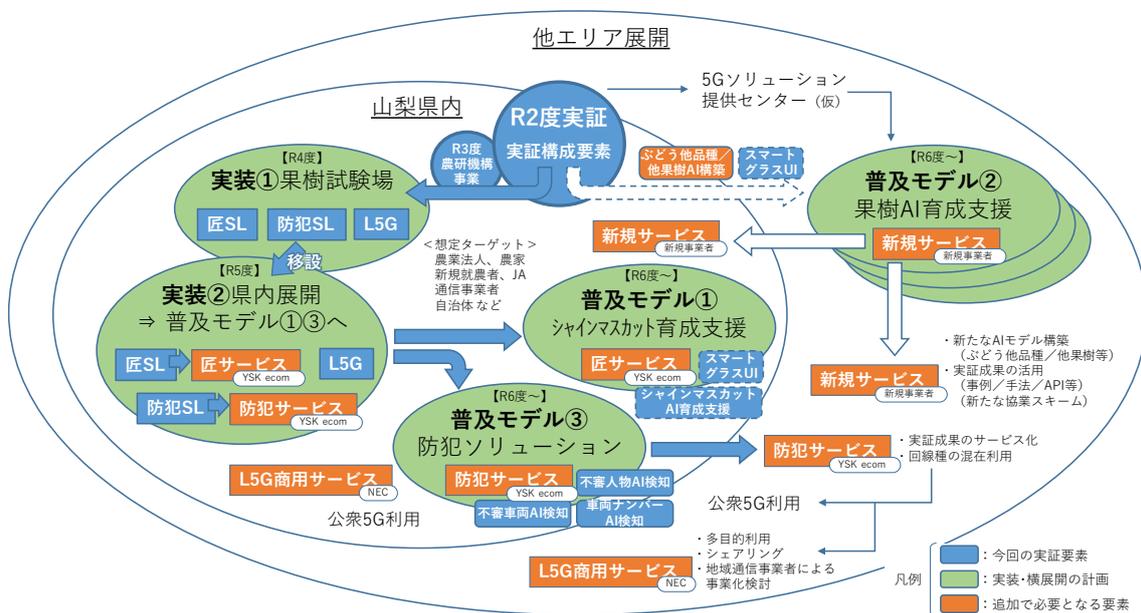


図 6-18 実装・横展開のまとめ

今回の実証内容を構成要素毎に整理し、持続可能な事業モデルとするべく、実装を二段階、横展開を3つの普及モデルとして計画した。

実装においては、2021年度の農研機構事業（農林水産省）の運営体制及び役割分担を維持することを基本とし、2022年度は今回の実証場所である果樹試験場において継続利用しながら匠ソリューション及び防犯ソリューションを見本展示し、2023年度に県内の農業法人へ展開することを目指す。

横展開においては、山梨県独自技術を活用する「シャインマスカット AI 育成支援」について県内の農業法人への実装後に2024年度より普及モデル①として県内展開を目指す。また、それまで培った AI モデル構築の知見を活かし、ブドウ他品種や他の果樹に関する AI モデルを別途構築することを前提に、普及モデル②として AI 育成支援の他エリア展開を目指す。防犯ソリューションについても、2024年度より普及モデル③としてサービス化による県内及び他エリア展開を目指す。

また、普及モデル展開時におけるローカル 5G 環境については、商用サービスの利用を想定しているが、普及モデル開始予定の2024年までに一定の低価格化は見込めるものの、匠サービスや防犯サービス（ともに仮称）のみの単独価値で利用できる程度までの低価格化は期待できない。そのため、この商用サービスを導入地域内で多目的利用し、特定の農作物や防犯等の目的に限定することなく農業分野以外も含めた様々な領域でサービスを活用し、複数の目的でシェアリングすることによりコスト負担の分散を目指す。

さらに、提供エリアが限定されるローカル 5G の特性に合わせ、該当するエリアでの多目的利用促進や安定的な環境維持を実現するために、地域に根差した通信事業者が事業展開

の事業主体（免許人）となる案も検討する。

加えて、普及モデルの展開にあたっては、ローカル5Gの更なる浸透と、多様なステークホルダによる横展開を促進する取り組みが期待されることから、共同利用型プラットフォーム（「5Gソリューション提供センター（仮称）」）の仕組みを有効活用する。

7. 会合等の開催（該当する活動がある場合）

7.1 開催内容

7.1.1 対外的な会合

本実証にて実施した対外的な会合を以下に示す。週次の進捗報告会のほか、農研機構との成果検討会や、現地企業と共同にて展示会における実証内容の共有などを実施した。

表 7.1.1-1 会合の開催内容（対外）

日付	内容
令和2年8月19日	総務省 PMO（株式会社クニエ）初回打合せ （対面及び遠隔会議）
令和2年9月9日	9月第2週週次報告（遠隔会議）
令和2年9月16日	9月第3週週次報告（遠隔会議）※月次定例会と同日開催
令和2年9月30日	9月第4週週次報告（遠隔会議）
令和2年10月7日	9月月次定例会（遠隔会議）
令和2年10月14日	10月第2週週次報告（遠隔会議）
令和2年10月21日	10月第3週週次報告（遠隔会議）
令和2年10月26日	技術実証 PMO との確認協議（遠隔会議）
令和2年10月27日	実装及び横展開検討会（山梨県）
令和2年10月28日	10月第4週週次報告（遠隔会議）
令和2年11月4日	11月第1週週次報告（遠隔会議）
令和2年11月5日	総務省 PMO（株式会社クニエ、株式会社三菱総合研究所、 一般社団法人電波産業会）技術実証ヒアリング
令和2年11月10日	「高品質シャインマスカット生産のための匠の技の「見える 化」技術の開発・実証（ローカル5G活用）計画検討会」 （※農研機構事業）
令和2年11月11日	11月第2週週次報告（遠隔会議）
令和2年11月18日	11月第3週週次報告（遠隔会議）
令和2年11月24日	「高品質シャインマスカット生産のための匠の技の「見える 化」技術の開発・実証（ローカル5G活用）スマート農機等見 学会」（※農研機構事業）
令和2年11月25日	11月第4週週次報告（遠隔会議）
令和2年11月26日	実装及び横展開検討会（山梨県）
令和2年12月4日	12月月次報告（遠隔会議）
令和2年12月9日	12月第2週週次報告（遠隔会議）
令和2年12月16日	「高品質シャインマスカット生産のための匠の技の「見える 化」技術の開発・実証（ローカル5G活用）成果検討会」 （※農研機構事業）
令和2年12月17日	実験試験用無線局免許交付式
令和2年12月17日	12月第3週週次報告（遠隔会議）

令和2年12月17日	実装及び横展開検討会（山梨県）
令和2年12月23日	12月第4週週次報告（遠隔会議）
令和3年1月27日	1月第4週週次報告（遠隔会議）
令和3年2月3日	2月月次報告（遠隔会議）
令和3年2月10日	2月第2週週次報告（遠隔会議）
令和3年2月10日	山梨テクノ ICT メッセ オンライン展示会 （※山梨県地域 ICT 推進協議会主催）
令和3年2月17日	2月第3週週次報告（遠隔会議）
令和3年2月24日	2月第4週週次報告（遠隔会議）
令和3年3月3日	3月月次報告（遠隔会議）
令和3年3月10日	3月第2週週次報告（遠隔会議）
令和3年3月17日	3月第3週週次報告（遠隔会議）
令和3年3月24日	3月第4週週次報告（遠隔会議）

7.1.2 内部的な会合

本実証にて実施した内部的な会合を以下に示す。主に各実証グループの進捗確認を目的とした定例会を週次にて実施した。

表 7.1.2-1 会合の開催内容（内部）

日付	内容
令和2年8月5日	内部キックオフ
令和2年8月11日	現地工事打合せ
令和2年9月1日	内部定例会
令和2年9月8日	内部定例会
令和2年9月15日	内部定例会
令和2年9月29日	内部定例会
令和2年10月6日	内部定例会
令和2年10月13日	内部定例会
令和2年10月20日	内部定例会
令和2年10月27日	内部定例会
令和2年11月9日	機器調達打合せ
令和2年11月10日	内部定例会
令和2年11月17日	内部定例会
令和2年11月24日	内部定例会
令和2年12月1日	成果報告書検討会議
令和2年12月8日	内部定例会
令和2年12月15日	内部定例会
令和2年12月22日	内部定例会
令和3年1月5日	内部定例会

令和3年1月12日	内部定例会
令和3年1月19日	内部定例会
令和3年1月26日	内部定例会
令和3年2月2日	内部定例会
令和3年2月9日	内部定例会
令和3年2月16日	内部定例会
令和3年2月22日	内部定例会
令和3年3月2日	内部定例会
令和3年3月9日	内部定例会
令和3年3月12日	成果報告書検討会議
令和3年3月16日	内部定例会
令和3年3月22日	内部定例会

8. まとめ

我が国の農業は、農業従事者の高齢化、新規就農者の減少による労働力不足・技術継承の危機・収益力低下といった課題に直面しており、センサー、ビッグデータ等を利活用した農林水産業の生産性向上・高付加価値化を図る ICT への期待・重要性が益々高まっている。

今回の実証地域とした山梨県の農業の上記課題に対し本実証実験においては、山梨県特産のブドウ（シャインマスカット）を対象に、ローカル 5 G 等の無線通信システムを用いてスマートグラスを活用した画像伝送及び熟練農業者技術（匠の技）を反映した AI 解析結果表示による農作業の効率化を柱とする匠ソリューションと、果樹盗難防止のための映像監視による不審人物・車両検知の防犯ソリューションを課題解決システムと位置付け、その実現を目指して取り組んだ。

今回の実証に関する実施内容及び実装・横展開計画を含む全体のまとめについて、以下の図に示す。

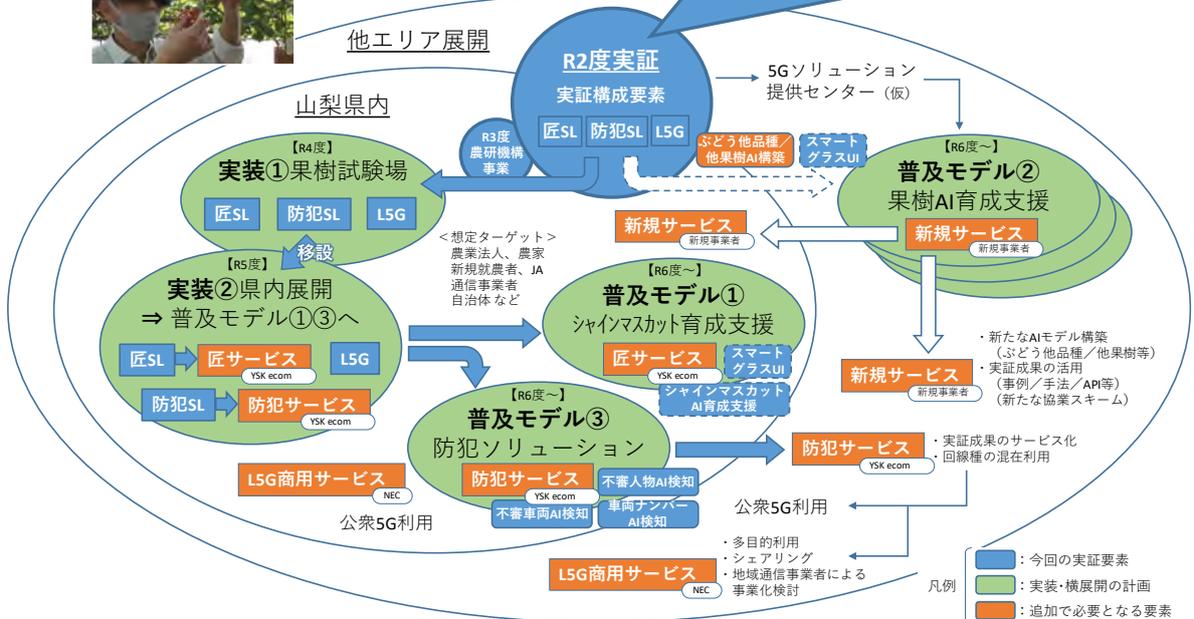
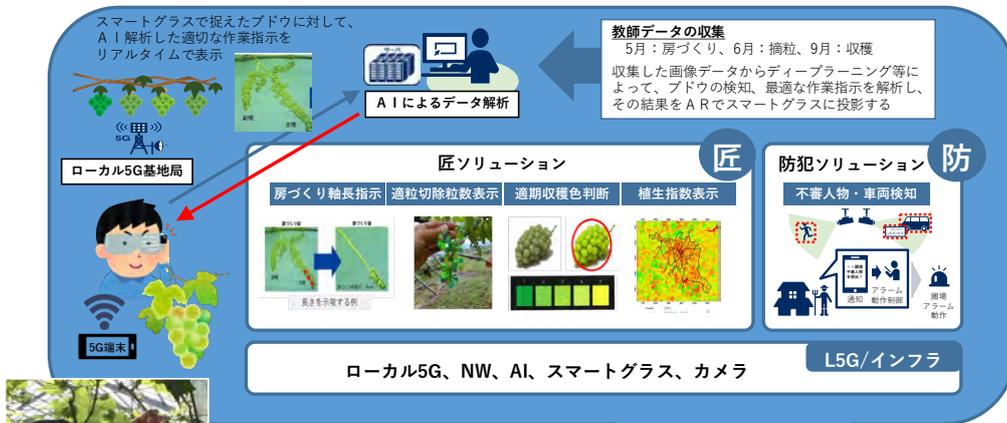


図 8-1 本実証のまとめ

以下に、取り組んだ実証内容に対する、定義した目標と実証成果について示す。

表 8-1 実証内容に対する目標と成果

実証内容	目標	成果
匠ソリューション ①房づくり 軸長指示	表示：軸長の表示まで 2 秒 検出精度：95%	表示：1.81 秒 ※4G 参考：6.76 秒 検出精度：89.61%（房づくり前） 93.51%（房づくり後）
匠ソリューション ②摘粒切除 粒数表示	表示：粒数の表示まで 2 秒 検出精度：95%	表示：2.11 秒 検出精度：88.51%
匠ソリューション ③適期収穫 色判断	表示：カラーチャート表示まで 3 秒 検出精度：85%	表示：2.77 秒 ※4G 参考：8.88 秒 検出精度：54.25%
匠ソリューション ④植生指数	誤差：2m 程度	誤差：2m 以内
防犯ソリューション ⑤不審人物 検知	昼夜／検出率：90% 最大検知距離の測定 アラートメール送信：10 秒以内	全体検出率：93.80% 最大検知距離：31m アラート通知メール：1 秒以内
防犯ソリューション ⑥不審車両 検知	昼夜／検出率：距離 8m 時速 20Km 以下で 90% アラートメール送信：10 秒以内	全体検出率：86.7% （左記の目標条件：97%） アラート通知メール：1 秒以内
防犯ソリューション ⑦車両ナンバー 検知	上記⑥に準じる	全体検出率：43.2% （左記の目標条件：59.1%） アラート通知メール：1 秒以内
ローカル 5 G	遅延 80msec 以下	遅延 80msec 以下を達成 （計 52 測定地点）
	UL: 60Mbps、DL800Mbps （匠 UL: スマートグラス 5Mbps×5） （防犯 UL: カメラ 20Mbps×3）	匠 UL：25Mbps を達成（2 か所） （圃場のみ 19Mbps 地点あり） 防犯 UL：60Mbps を達成
	アンテナ高検討（5m／4m／3m）	通信性能・設置コストを勘案し、 3m を最適な高さとした

実証結果として、ローカル 5 G の無線ネットワークを最大限に活かして、ブドウ農家の生産性向上・高付加価値化を図る仕組みとしては一定の成果を上げることができたと考えている。

課題実証においては、スマートグラスの撮影画像伝送及び AI 解析結果の表示速度は、概ね生産者の使用に適した速度（2 秒前後）を達成した。AI 解析についても概ね目標の検出精度（9 割前後）を達成したが、一部機能（適期収穫判断）において検出精度が 5 割程度に留まり、今後改善の余地がある。監視映像を解析した不審人物・車両の検出率は、概ね期待する 90% 前後を実現した。検知後は 1 秒以内のアラート（メール送信）を実現した。

技術実証においては、農業用ハウス等における通信性能（遅延時間やスループット等）は

概ね目標を達成し、電波のカバーエリア算出法を整理するとともに、栽培ハウス、雨よけ施設、及び屋外圃場の各ユースケースの電波伝搬モデルを導出した。また、基地局のアンテナ高について、通信性能や設置コストを勘案しつつ、本環境で最適な高さ（3m）を明らかにした。引き続き、作業者の作業中、思考や行動の妨げにならないよう、通信品質の向上、分析技術の向上、デバイス技術の向上が求められる。

実装・横展開の検討においては、実証内容を構成要素毎に整理し、持続可能な事業モデルとするべく、実装を二段階、横展開を3つの普及モデルとして計画した。本実証で取り組んだ課題解決システムにおいては通信要件として大容量データと即時性が求められており、これを実現し、なおかつ農業分野、あるいは農村地域の特定エリアにおける干渉の少ない無線環境を整備するという観点でローカル5Gは適している。一方で、農業で得られる収入を考慮すると、農業分野単独では、受益者としての農業従事者に大きなコスト負担を求めることは難しく、ローカル5G環境の導入・維持管理コストの削減が課題となった。商用サービスの利用に加え、導入地域内で多目的利用し、特定の農作物や防犯等の目的に限定することなく農業分野以外も含めた様々な領域でサービスを活用し、複数の目的でシェアリングすることによりコスト負担を抑えるべきとの結論に至った。

加えて、普及モデルの展開にあたっては、ローカル5Gの更なる浸透と、多様なステークホルダによる横展開を促進する取り組みが期待されることから、共同利用型プラットフォーム（「5Gソリューション提供センター（仮称）」）の仕組みを有効活用する。

これら今回の実証で得られた成果と、顕在化した諸処の課題への対応、果樹農家の利益に貢献できるサービスモデルの検討については、今後も継続して取り組んでいくことが必要である。例えば、社会システムとしては、当然のことながら誰もが安心して安全に利活用できる環境を確保することが不可欠である。サービスの提供に関わる事業者が多様化・複雑化していく中においても、インフラ全体として安全・信頼性を確保していくとともに、利用者と関係事業者がWin-Winの関係が成り立つ必要がある。また、こうした技術革新の恩恵は、希望する利用者すべてに届くことが重要である。このため、システムの構築や利活用の方法をできるだけ効率化する工夫も求められる。

今後に向けて、本実証実験で明らかになった課題等の解決に取り組むため、コンソーシアム関係者間で共有し、実装・横展開に向けて検討を継続する。

9. 参考資料

- (1) 平成 27 年国勢調査確定値基準、”
<https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/kekka.html>”
- (2) 山梨県 高齢者統計情報、
<https://www.pref.yamanashi.jp/chouju/24909311206.html>
- (3) やまなし農業基本計画、
https://www.pref.yamanashi.jp/nousei-som/r1_kihonkeikaku.html
- (4) 山梨市地域新エネルギービジョン報告、”
https://www.city.yamanashi.yamanashi.jp/citizen/docs/energy_vision.html”

10. 用語集

本書にて使用する用語を以下に示す。

用語	説明
匠ソリューション	ブドウの重要な生育期の作業について、スマートグラスを使用し、作業中の生産者を支援するためのシステム及び運用方法。
防犯ソリューション	圃場内及び周辺について、4Kカメラを使用し、生産者不在時の不審な人物や車両を検知するシステム及び運用方法。
ユースケース	システムの利用方法を表現したもの。本書では、匠ソリューション及び防犯ソリューションによって実現される項目群を指す。
圃場	作物を栽培する田畑。農園。
雨よけ	作物を雨から保護するための設備及びその設備が設置された場所のこと。
ハウス	作物の温室栽培を行うための設備及びその設備が設置された場所のこと。
房作り	ブドウ栽培の工程。外観良い房を作るために、花穂が育成した初期段階で、適正な軸長（花穂の長さ）に処理を施すこと。 本検討においては、適正な軸長をAIによって示す「房づくり軸長指示」を匠ソリューションのユースケースの1つとして実施した。
摘粒	ブドウ栽培の工程。実ができてからブドウの粒同士が押し合って割れたり、房が重くなりすぎたりしないよう粒を切って密度を下げること。外観良い房を作るために適正な粒数に処理を施す。果実が肥大する前に行う。
植生	区域内に生えている植物の全体的な様相。植生の健康状態を数値化したものが植生指数という。数値（-1から1）で示され、1に近いほど健康であることを示す。
果（花）房管理	房作り、摘粒等のブドウの生育管理作業の総称。
カラーチャート	色の表。本書においては、ブドウの収穫時期を判断するためにブドウの果皮色の度合いを表にしたものを指す。
スマートグラス	メガネ型のウェアラブルデバイス（身体に装着して使用する端末）。実際に見える光景に、情報を重ねて表示することができる。
可視光カメラ	人間の目で見ることができる光の波長「可視光線」をとらえるカメラ。通常のカメラ。
赤外線カメラ	人間の目で見ることができない光の波長「赤外線」をとらえるカメラ。 温度を可視化できるカメラ。
マルチスペクトル	複数の波長帯の光（電磁波）のこと。可視光線に加え紫外線や赤外線、遠赤外線などが該当する。本調査検討で使用するドローン（農林水産省様事業で準備される想定）は、このマルチスペクトル画像に対応している。

用語	説明
4 K (ヨンケー)	画像表示の解像度のこと。HDの解像度は1280×720ピクセル、フルHDの解像度は1920×1080ピクセルとなっているが、4Kの解像度は3840×2160ピクセルとなる。なお、8Kの解像度は7680×4320ピクセルとなる。 本実証実験では4Kの高解像度のカメラを果房管理、植生管理、不審人物/車両の検知に使用した。
GPS	地球上での現在位置を測定するためのシステム。カーナビ等で使用される仕組み。 ※GPS=Global Positioning System なお、アメリカが運営しているGPS、欧州が運営しているGALILEO、ロシアが運営しているGLONASS、日本の準天頂衛星などの測位衛星を総称して、GNSS (Global Navigation Satellite Systems) と呼ぶ。
人工知能 AI	人間の行う高度で知的な作業や判断を、コンピュータ等を用いた人工的なシステムにより行えるようにしたもの。 ※AI=Artificial Intelligence
深層学習 (ディープラーニング)	コンピュータ上に人間の脳を模した神経回路を作成し、認識や推論を行う仕組み。画像認識領域の業界で最も採用されており、非常に高い精度を実現することが可能。画像・テキスト等の特徴抽出（入力データの数値化）を自動で発見し、学習する。
SaaS	インターネット経由で提供・利用するソフトウェア及びそのサービス形態のこと。 ※SaaS=Software as a Service
エッジコンピューター	利用者と物理的に近い場所に属する端末機器。
IoT	様々な物体（モノ）に通信機能を持たせ、インターネットに接続し相互通信による自動制御や遠隔操作、遠隔計測などを行うこと。 ※IoT=Internet of Things（モノのインターネット）
MEC	利用者と物理的に近い場所に存在する機器によって主要な計算処理を行うことで、低遅延かつ大容量処理を実現するシステム構成のこと。 ※MEC=Mobile Edge Computing
UI	人間が機器やシステムなどを利用する際の、情報のやり取りの仕組み。情報の表示方法や提供方法、機器やシステムを操作する手段や方式、使い勝手などを表す。 ※UI=User Interface（ユーザーインターフェース）
UX	人間が機器やサービスとの関りから得る体験や印象のこと。 ※UX=User Experience（ユーザーエクスペリエンス）
AR	拡張現実。人が知覚する情報を増やすための技術や、技術により実現された環境のこと。本検討ではスマートグラスに表示する情報が該当する。 ※AR=Augmented Reality

用語	説明
Society5.0	日本国にて提唱する未来社会のコンセプト。サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより実現される社会のこと。
5 G	5 G(第5世代移動通信システム)は、1 G、2 G、3 G、4 G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あり、高速大容量・低遅延・多数同時接続の性能を有するもの。
ローカル5 G (L 5 G)	地域・産業のニーズに応じて地域の企業や自治体等が個別に利用できる5 Gシステムのこと。通信事業者が全国で展開する均一な5 Gの通信サービスに対して、ローカル5 Gは、地域・企業が主体となって、自らの建物内や敷地内といった特定のエリアで自営の5 Gネットワークを構築・運用・利用することができる。
3GPP	3 G、4 G及び5 Gの標準仕様を策定する国際プロジェクト。 ※3GPP=Third Generation Partnership Project
コアネットワーク	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。 ※ LTE 世代のコアネットワークは EPC。
SA 方式	スタンドアローンのシステム構成。コアネットワークも含めて5 Gの新しい技術に基づいた5 Gシステム。
NSA 方式	非スタンドアローン型のシステム構成。4 Gのコアネットワーク（EPC、後述）と5 Gの基地局（gNB、後述）とを組み合わせた構成の5 Gシステム。
4.7GHz 帯	ローカル5 Gで使用される sub6（6GHz 未満）の周波数帯域。
28GHz 帯	ローカル5 Gで使用されるミリ波の周波数帯域。
基地局	移動する無線通信機の中継拠点として、地上に固定的に設置された通信設備のこと。本調査検討では、ローカル5 Gの基地局を設置する。
EPC	高速通信規格「LTE」のアクセス網を収容するコアネットワークのこと。 音声もデータもすべてパケット化することで、シンプルで効率のよいネットワーク構成。また、端末が常にネットワークに接続される常時接続が実現されている。 ※EPC=Evolved Packet Core
CU	無線基地局のデータ処理を行う。コアネットワーク側のファンクション群。CUが複数のDUを集中制御することで、無線ネットワークの効率的な運用に貢献。 ※CU=Central Unit
DU	電波の送受信を行うリモート局の無線信号処理装置。無線周波数側のファンクション群。 ※DU=Distributed Unit
RU	無線子局の無線装置。 ※RU=Radio Unit
UE	ユーザーが利用する端末。 ※UE=User Equipment

用語	説明
gNB (=gNodeB)	SA システムにおいて NR 無線（5 G の無線）を提供する無線基地局 ※gNB=next generation Node B
eNB (=eNodeB)	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。 ※eNB=evolved Node B
EPC	NSA 方式 5 G コアネットワークで、端末のモビリティ管理やデータパケットの転送などを行う装置。 ※EPC=Evolved Packet Core
CPE	通信サービスで利用される通信機器のうち、加入者宅や加入者施設に設置される中継機器や終端機器、通信端末のこと。 ※CPE=Customer Premises Equipment（顧客構内設備）
L2SW	ネットワークを中継する機器。データを含むレイヤ 2 フレーム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。 ※L2SW=Layer 2 Switch
L3SW	ネットワークの中継する機器。ネットワーク層（第 3 層）とリンク層（第 2 層）の両方の制御情報に基づいて、中継動作を行うスイッチ。 ※L3SW=Layer 3 Switch
スループット	通信回線や装置のデータ入出力の性能であり、単位時間あたりに送受信できるデータ量。
Gbps/Mbps	1秒あたりに送信できる通信容量の単位。毎秒10億ビットのデータを伝送できるのが1Gbpsである。MbpsはGbpsの1000分の1。 ※Gbps =Giga bits per second ※Mbps =Mega bits per second
アップリンク (UL)	無線通信で端末から基地局に向けて発射される電波や、その通信速度や周波数、それに乗せて送られる信号やデータ。
ダウンリンク (DL)	無線通信で基地局から端末に向けて発射される電波や、その通信速度や周波数、それに乗せて送られる信号やデータ。
MIMO	無線通信において基地局と端末の双方で複数のアンテナを使い、通信品質を向上させるワイヤレス通信技術 ※MIMO=multiple-input and multiple-output
2×2MIMO	送信用(基地局)と受信用(端末)に各 2 本のアンテナを使い、通信品質を向上させるワイヤレス通信技術。
SIMO	MIMOの送信側が単一アンテナとなった縮退状態。 ※SIMO=single input and multi output
64QAM	アナログ信号やデジタルデータと、電波や電気信号の間で相互に変換を行うための変調方式の一つ。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。64 値のシンボルを用いて一度に 6 ビットを伝送。 ※QAM=Quadrature Amplitude Modulation

用語	説明
256QAM	アナログ信号やデジタルデータと、電波や電気信号の間で相互に変換を行うための変調方式の一つ。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。256値のシンボルを用いて一度に8ビットを伝送。
QPSK	アナログ信号やデジタルデータと、電波や電気信号の間で相互に変換を行うための変調方式の一つ。周波数の位相の変化に4つの値を持たせる方式のこと。 ※QPSK=quadrature phase-shift keying
OFDM	アナログ信号やデジタルデータと、電波や電気信号の間で相互に変換を行うための変調方式の一つ。複数の周波数を用いて複数の情報を送ることが可能。 ※OFDM=Orthogonal Frequency Division Multiplexing 本方式の拡張技術としてOFDMA（～multiple access）、DFT-Spread OFDM（Discrete Fourier Transform Spread～）などがある。
1セル (セル方式)	移動する無線通信システムにおいて、基地局と電波がどのように利用されているかを説明する用語。1つの基地局から電波が届く範囲を「セル」と呼ぶエリアに分割し、移動端末が通信中のセルの範囲から出て、他の場所へ移動しても、再び次の範囲（セル）にある基地局と通信する方式のこと。1つのセルを1セルと呼ぶ。
BWA	広帯域移動無線アクセスシステムであり、室内で利用する無線LANとは異なり、無線基地局から出力される電波によりデータ通信を行う。 ※BWA=Broadband Wireless Access
LPWA	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。 ※LPWA=Low Power Wide Area
電波伝搬	無線通信の電波が空間を伝わり、離れた場所に届くこと。
伝搬特性	電波の伝わり方。周波数や環境に応じて伝わり方が変化する。本項目を求めるための様々な計算モデルが存在する（自由空間損失モデル、拡張坂上式モデル、拡張秦式モデル等）。
伝搬損失	電波がある地点からある地点まで伝わる際の電波の弱まり（劣化）の度合いのこと。
自由空間損失	障害物がない状態で、発射した電波が、発信した場所から伝搬するにつれて弱まる（損失する）具合のこと。
RMSE（平均二乗偏差）	計算モデル等による予測値と実測値が、どの程度離れているのかを評価する関数のこと。 ※RMSE=Root Mean Squared Error
ダイナミックレンジ	電気信号の大きさ、情報量を示す指標。単位はdB。
プロセスゲイン (加算利得)	受信器等が電波を受信する際にフィルタリング等の処理を行うことにより、伝送路で混入したノイズが除去されること。

用語	説明
フェージング (短区間中央値 変動)	無線局の移動や時間経過等により、無線局での電波の受信レベルが変動する現象。
見通し外 (NLOS)	送受信アンテナが互いに見通せない距離にある伝搬通路で行う通信のこと。 ※NLOS=Non Line of Sight
見通し内 (LOS)	送受信アンテナが互いに見通せる伝搬通路で行う通信のこと。 ※LOS=Line of Sight
エリアカバレッジ	無線通信において、電波の送受信が可能な地域の範囲のこと。
メディアコンバーター	異なる媒体（光通信と電気通信等）の通信を相互接続するための機器のこと。
UDP	インターネットで使用されているプロトコルのひとつ。インターネットを利用するアプリケーションなどの通信では、TCPとUDPのいずれかのプロトコルが使用されている。 ※UDP=User Datagram Protocol
TCP	インターネットで使用されているプロトコルのひとつ。TCPは、相手と接続を確立してから通信を行うため、UDPに比べて信頼性が高いプロトコル。 ※TCP=Transmission Control Protocol
PING	インターネットなどのTCP/IPネットワークで、ネットワーク上で特定のIPアドレスを持つ機器からの応答を確認するためのプログラム。 ※PING=Packet Internet Groper