

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

【開発実証事業】

ローカル5Gを活用した
自動収穫ロボットやAI画像認識等による
農産物の生産・収穫工程の省人化の実現

成果報告書

令和5年3月

東日本電信電話株式会社

目次

1.	実証概要	1
1.1	背景・目的.....	1
1.2	実証の概要	1
2.	実証環境の構築.....	3
2.1	対象周波数帯	3
2.2	実施環境	3
2.3	ネットワーク・システム構成	3
2.3.1	ローカル 5G システム.....	7
2.3.2	課題解決システム	24
2.4	システム機能・性能・要件.....	50
2.4.1	ローカル 5G システム.....	50
2.4.2	課題解決システム	51
2.5	その他.....	53
2.5.1	実証システムの拡張性等	53
2.5.2	実証システムの安全性確保のための対策.....	54
3.	ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)	57
3.1	実証概要	57
3.2	実証環境	57
3.3	実施事項	59
3.3.1	電波伝搬モデルの精緻化	59
3.3.2	エリア構築の柔軟性向上.....	108
3.3.3	準同期 TDD の追加パターンの開発	161
4.	ローカル 5G 活用モデルに関する検討(課題実証)	162
4.1	実証概要	162
4.1.1	背景となる課題.....	162
4.1.2	本実証におけるローカル 5G 活用モデル.....	163
4.1.3	実証内容の新規性・妥当性.....	169
4.1.4	実証目標.....	170
4.2	実証環境	171
4.3	実施事項	174
4.3.1	ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証	174

4.3.2	ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証.....	241
4.3.3	ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出および解決策の検討	274
4.3.4	ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開	279
5.	普及啓発活動の実施	300
5.1	映像制作	300
5.2	実証視察会の実施	301
5.3	その他普及啓発活動	302
6.	実施体制	303
6.1	実施体制の全体像	303
6.2	実施体制内の役割	303
7.	スケジュール	306

1. 実証概要

1.1 背景・目的

高齢化・人口減少社会を迎えて脆弱化が懸念される国内食料生産基盤の強靱化を図るため、スマート農業技術の生産現場実証により超省力化技術の社会実装を実現し、生産性・利益の向上を図る必要があります。しかし、最先端スマート農業技術導入による生産コストの増加に伴い、経営体の利益は必ずしも改善しておらず、社会実装加速の妨げとなっています。そのため、生産コスト低減のため産地単位で作業集約／シェアリングモデルを実証することで、スマート農業の社会実装加速が望まれています

1.2 実証の概要

このような状況の中、本実証では、生産から販売に至るフードチェーンの各段階でローカル 5G の高速伝送を活用し、高精細動画やリアルメタバース技術等による以下の産地活性化モデルを実証しました。

(1) 遠隔指導

リアルメタバース空間上での遠隔指導、AI 教師データを活用した収穫適期判定

(2) イチゴ収穫・運搬ロボット

ロボットによるイチゴの自動収穫・運搬、ロボットの遠隔制御

(3) 遠隔ショッピング

リアルメタバース空間上での遠隔ショッピング



図 1.2.1 課題実証イメージ

本実証プロジェクトと連動展開を予定する農林水産省「スマート農業産地モデル実証（ローカル 5G）」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に向け、生産から販売に至るフードチェーンの各段階をローカル 5G の高速伝送を活用した高精細動画やリアルメタバース等による産地活性化モデルの実証をしました。

表 1.2.1 各課題実証の事業区分

課題実証システム	区分	名称	事業区分
遠隔指導システム	NW 環境	ローカル 5G（ローカル 5G 端末含む）	総務省実証
	利用機器	リアルメタバース技術（アプリ）	
		360° カメラ	
	利用機器	収穫適期判定システム用サーバ	農水省実証
		MR ゴーグル（両システム共用）	
イチゴ収穫・運搬ロボットシステム	NW 環境	ローカル 5G（ローカル 5G 端末含む）	総務省実証
	利用機器	イチゴ収穫・運搬ロボット	農水省実証
遠隔ショッピングシステム	NW 環境	ローカル 5G（ローカル 5G 端末含む）	総務省実証
	利用機器	リアルメタバース技術（アプリ）	
		360° カメラ	

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

本実証では、4.8-4.9GHz の 100MHz 幅システムを使用しました。本実証は屋内環境および半屋外環境におけるローカル 5G を利用した各種ソリューションを実施することを目的としています。そのため、ミリ波帯に比べて広域なカバレッジエリアが期待できる 4.7GHz 帯(4.6GHz~4.9GHz)を選定し、そのうち屋外利用が可能とされている 4.8-4.9GHz において、最大の帯域幅となる 100MHz 幅システムを使用するものとしました。

2.2 実施環境

本実証では、潟上市天王細谷長根 57-1 に所在するイチゴ農園「フルーツパーク DETO」および美郷町天神堂赤城 54 に所在する「秋田食産コーヒーハウス」の 2 拠点はビニールハウス内、鹿角市十和田大湯字中谷地 19 に所在する「道の駅おおゆ」の拠点は屋内を実証エリアとし、実証環境を構築しました。ビニールハウス内の場合は、ローカル 5G 基地局をハウス外に設置し、半屋外環境として実証を行いました。詳細は「2.3 ネットワーク・システム構成」にて示します。

2.3 ネットワーク・システム構成

本実証において使用するローカル 5G 基地局の概略を以下に示します。

表 2.3.1 ローカル 5G システム(基地局)の概要

	基地局装置 (OutdoorRU)	基地局装置 (IndoorRU)
製造ベンダ	サムスン電子	サムスン電子
台数	2 台	1 台
設置場所 (屋内/屋外)	半屋外	屋内
同期/準同期	同期・準同期 TDD1	同期・準同期 TDD1
UL : DL 比率	同期 1:4 準同期 TDD1 1:1	同期 1:4 準同期 TDD1 1:1
周波数帯	4.8GHz 帯	4.8GHz 帯
SA/NSA	SA	SA
UL 周波数	4.8~4.9GHz	4.8~4.9GHz
DL 周波数		
UL 帯域幅	100MHz	100MHz
DL 帯域幅		

UL 中心周波数	4849.98MHz	4849.98MHz
DL 中心周波数		
UL 変調方式	QPSK/16QAM/64QAM/256QAM	QPSK/16QAM/64QAM/256QAM
DL 変調方式		
MIMO	4×4MIMO	4×4MIMO

本実証において構築するシステムの構成図を以下に示します。

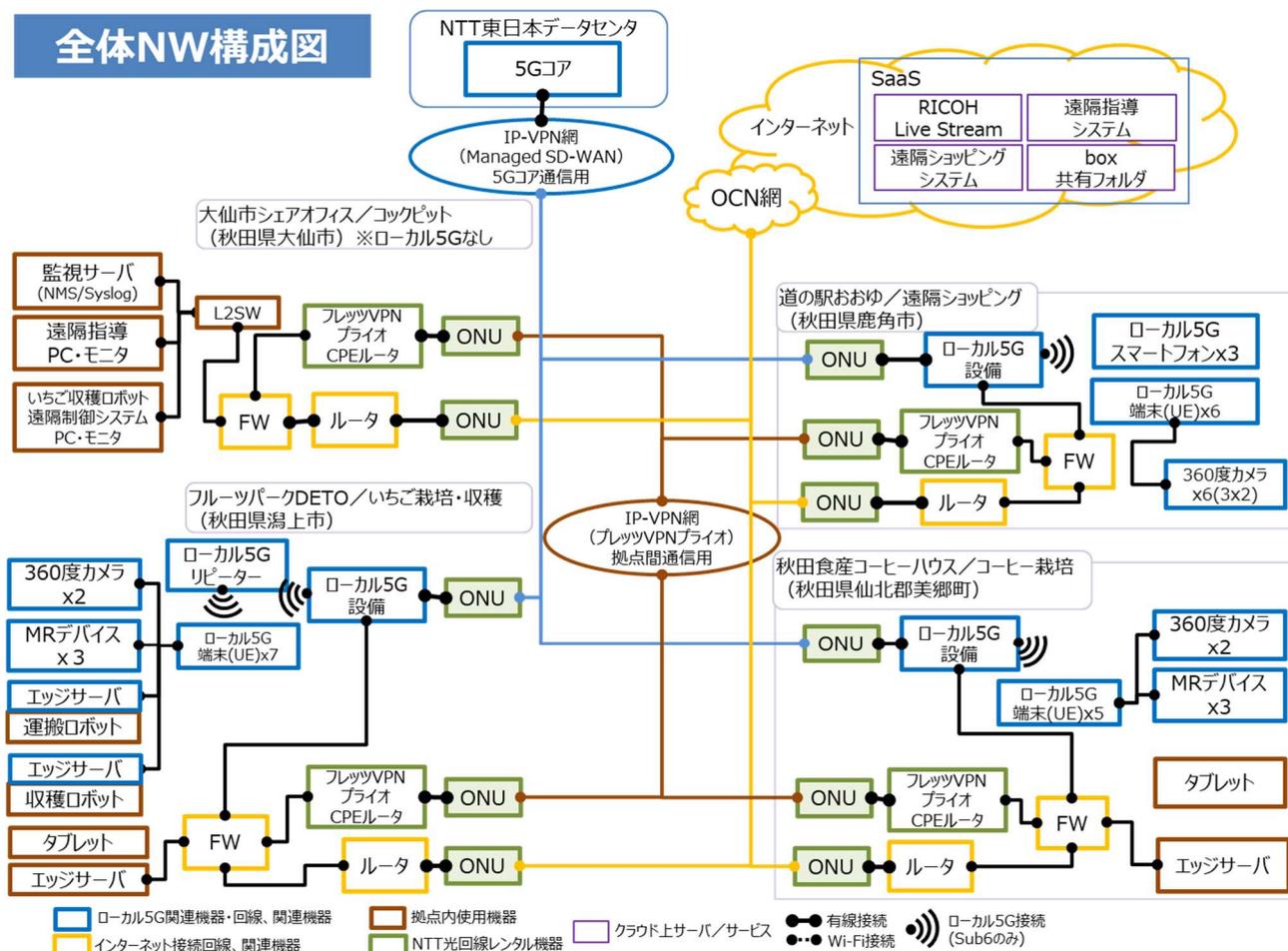


図 2.3.1 実証システム NW 構成図

設置場所、基地局エリアカバレッジは以下の通りです。

ア. フルーツパーク DETO 【ハウス内 (基地局は屋外)】

秋田県潟上市天王細谷長根 57-1

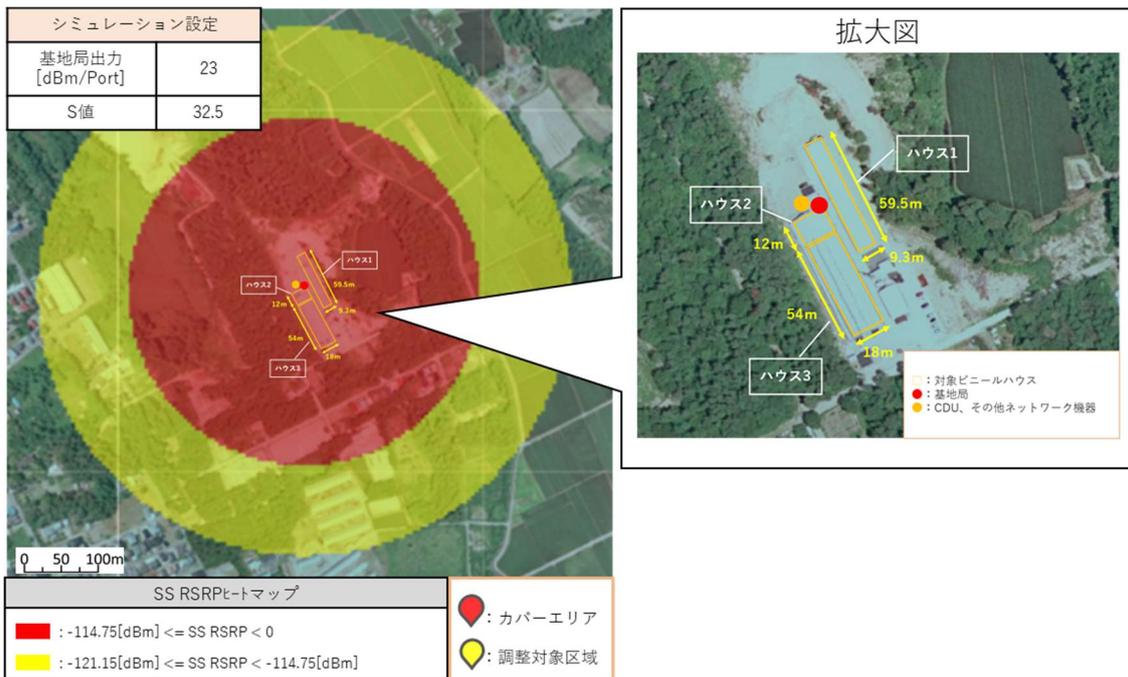


図 2.3.2 フルーツパーク DETO 建物・エリアカバレッジ概要
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

イ. (株) 秋田食産コーヒーハウス【ハウス内(基地局は屋外)】

秋田県仙北郡美郷町天神堂赤城 54

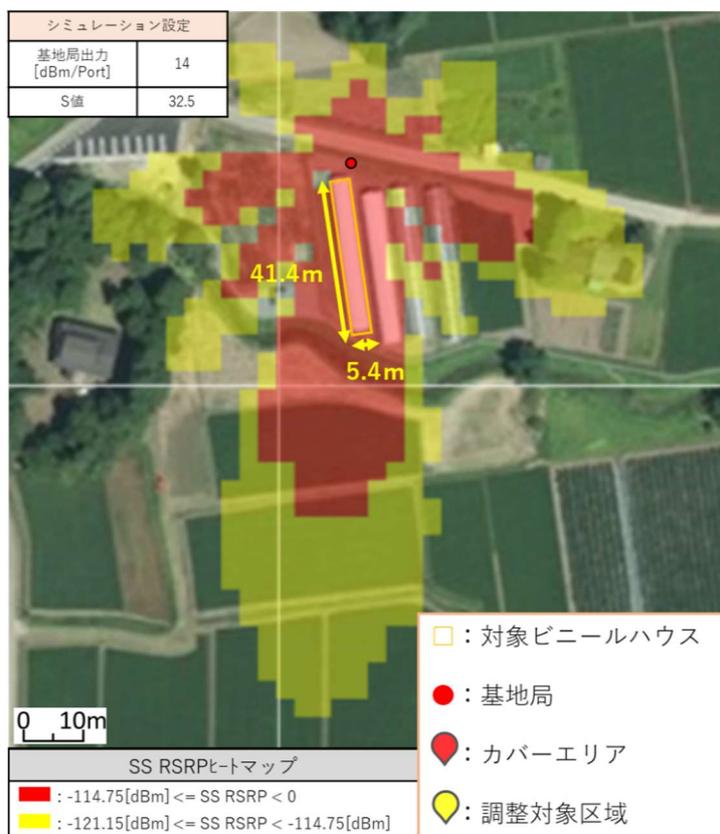


図 2.3.3 秋田食産コーヒーハウス建物・エリアカバレッジ概要
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

ウ. 道の駅おおゆ【屋内】

秋田県鹿角市十和田大湯字中谷地 19

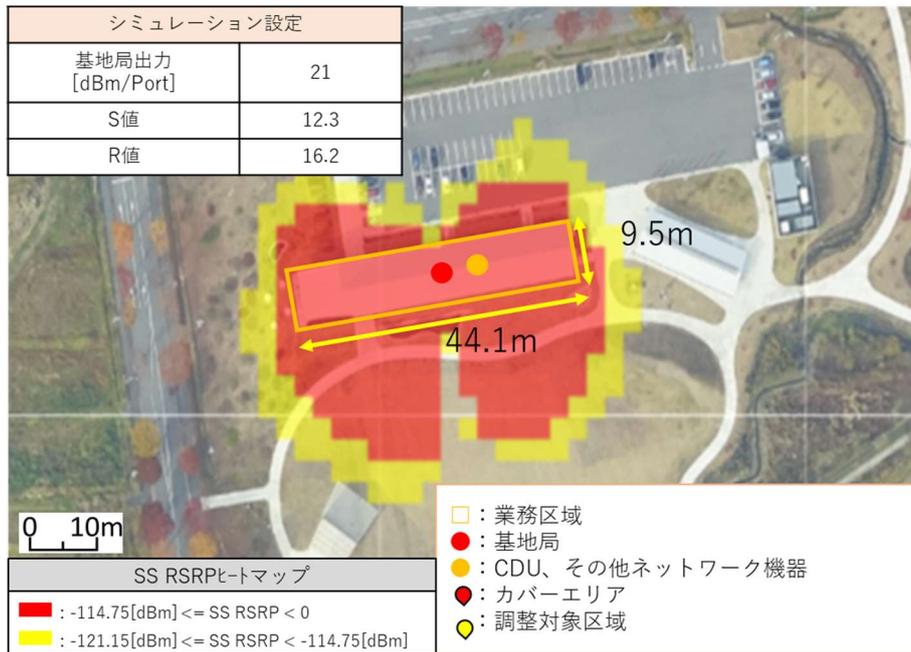


図 2.3.4 道の駅おおゆ建物・エリアカバレッジ概要
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

2.3.1 ローカル 5G システム

構築するローカル 5G のコアネットワークおよび基地局等無線通信システムについて、構成図および各機器の詳細を以下に示します。

ローカル5G構成図

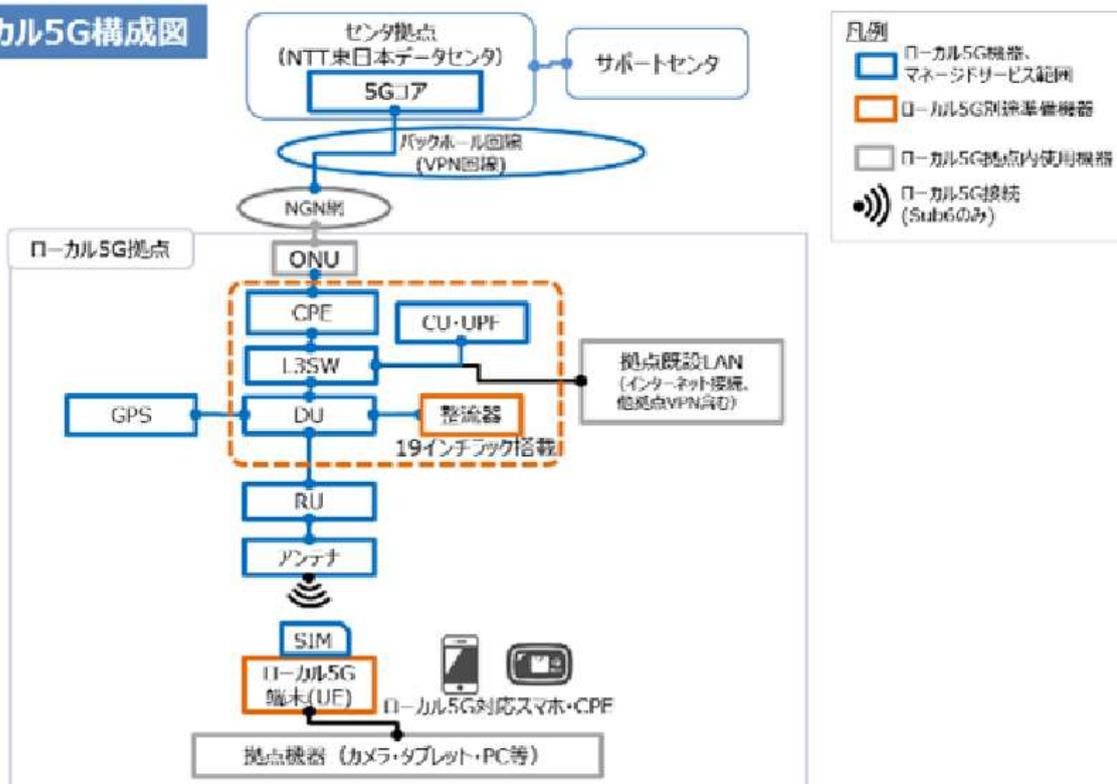


図 2.3.5 ローカル 5G 構成図

(1) ローカル 5G ネットワーク

本実証で利用するコアネットワーク装置、およびローカル 5G 基地局等無線通信システムについては、東日本電信電話株式会社の提供するマネージドサービスのローカル 5G システムである「ギガらく 5G」を使用しました。

同サービスの基地局(RU)にはサムスン社製の機器を使用しています。システムの最大接続数は、1DU あたり基地局(RU)6 台まで接続可能です。1 基地局(RU)あたり、端末(UE)の同時接続数は 512 台となります。

端末は 2 種類使用し、モバイルルータタイプは京セラ社製、スマートフォンタイプはFCNT 製を使用しました。

ローカル 5G 評価・検証用の測定器については、VIAVI 社製、シミュレーションソフトウェアはレイトレースシミュレーションが可能な RANPLAN 社製を使用しました。

本システムにて使用する機器は以下の「表 2.3.2」のとおりです。

表 2.3.2 ローカル 5G システム機器一覧

No.	物品	メーカー	型番	数量
1	5G コア装置	NTT 東日本	ギガらく 5G	1
2	CU+UPF 装置	DELL	Server PER640	3
3	L3 スイッチ	サムスン	ubiQuoss E7124	3
4	DU	サムスン	DU	3

5	整流器	菊水電子工業	PWX750ML	3
6	GPS アンテナ	日本電業工作	GZ00001	3
7	ローカル 5G 基地局 (屋外用)	サムスン	OutdoorRU	2
8	ローカル 5G 基地局 指向 性アンテナ (屋外用)	電気興業	X25-3545FTD	1
9	ローカル 5G 基地局 無指 向性アンテナ (屋外用)	電気興業	VH360-3450FTD	1
10	ローカル 5G 基地局 (屋内用)	サムスン	IndoorRU	1
11	ローカル 5G リピーター	電気興業	RF リピーター	1
12	ローカル 5G 端末 (モバイルルータタイプ)	京セラ	K5G-C-100A	18
13	ローカル 5G 端末 (スマートフォンタイプ)	FCNT	SD01	3
14	ONU	NTT 東日本	GE-PON-ONU	3
15	CPE ルータ	Cisco	C1111-8P	3
16	5G コア アクセス VPN サー ビス	NTT 東日本	Managed SD-WAN	3
17	5G コア アクセス回線	NTT 東日本	フレッツ光ネクスト ファミ リー ギガラインタイプ	3
18	ローカル 5G 測定器 (エリ アスキャナー)	VIAMI	OneAdvisor-800	1
19	ローカル 5G 測定器 (ネッ トワークテスタ)	VIAMI	MTS-5800	1
20	ローカル 5G シミュレー ションソフト	RANPLAN	Ranplan Professional	1

各物品の詳細は以下のとおりです。

① 5G コア装置

本実証では、価格低減や今後の拡張性を念頭にマネージドサービスのローカル 5G システムを導入しました。

当該マネージドサービスの 5G コアは、データセンターに構築された共用のクラウドコアであり、コアサーバの諸元は非公開となります。

② CU+UPF 装置 (3 台、固定)

CU+UPF 装置は、ベースバンド機能のうち CU 機能とユーザプレーンを司る UPF を統合した装置です。CU+UPF ソフトウェアを汎用サーバへインストールし構築しました。動作検証

済のサーバとして、DELL 社の機器を使用し、ローカル 5G 設置拠点内のラックに設置しました。ハードウェア仕様は以下のとおりです。

表 2.3.3 CU+UPF 仕様

機種名	DELL:Server PER640
寸法	482mm(W) × 805.8mm(D) × 42.8mm(H)
重量	21.9kg
消費電力	MAX:716.1ワット/ 100%:492ワット/ 70%:387ワット ※MAX:理論計算値の最大値電力値 100% : CPU ロード 100% 時の電力値 70%:CPU 負荷 70%の時の電力値
備考	—

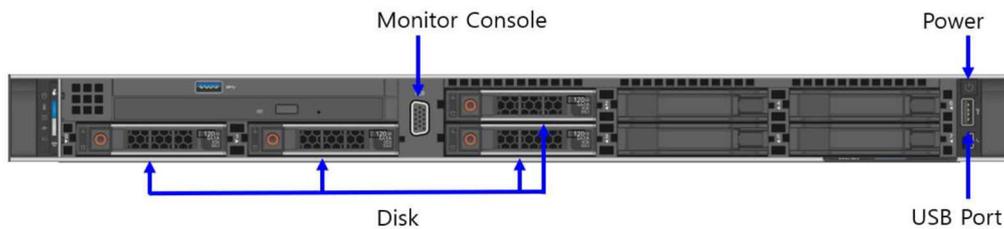


図 2.3.6 CU+UPF 装置

③ L3 スイッチ (3 台、固定)

コアネットワーク内や外部ネットワークを接続する基幹 L3 スイッチです。動作検証済の L3 スイッチとして、サムスン社の機器を使用し、ローカル 5G 設置拠点内のラックに設置しました。ハードウェア仕様は以下のとおりです。

表 2.3.4 L3 スイッチ仕様

機種名	サムスン:ubiQuoss E7124
寸法	440mm (W) x 400mm (D) x 44mm(H)
重量	9.35kg
消費電力	(1) 常温 (25 度) 最大消費電力:175W (2) 50 度最大消費電力:201W
備考	—



図 2.3.7 L3 スイッチ

④ ベースバンドユニット (DU) (3 台、固定)

ベースバンド機能のうち DU 機能を具備しました。本装置は RU を収容する装置です。ローカル 5G 設置拠点内のラック内に設置しました。ハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.5 DU 仕様

機種名	サムスン:CDU50
寸法	434mm (W) × 385mm (D) × 88mm (H)
重量	18kg
消費電力	- GMA1+GCB1x1 : Max 477W @25 °C, Max 577W @50 °C - GMA1+GCB1x3 : Max1079W@25 °C, Max1219W@50 °C
備考	—



図 2.3.8 DU 装置

⑤ 整流器 (3 台、固定)

ベースバンドユニット (DU 装置) に対し、DC 電源供給を行う装置です。定格出力以内で電力を供給します。ローカル 5G 設置拠点内のラックに設置しました。ハードウェア仕様は以下のとおりです。

表 2.3.6 整流器仕様

機種名	菊水電子工業: PWX750ML
寸法	214 (W) × 490 (D) × 55 (H)
重量	5kg
消費電力	750W, 0~80V/0~28A 薄型ワイドレンジ直流電源
備考	—



図 2.3.9 整流器 装置

⑥ GPS アンテナ (3 台、固定)

TDD 同期運用に必要な GPS 信号をベースバンドユニット (DU) へ供給するための GPS アン

テナです。椰外かつ GPS 信号の受信強度が良好なローカル 5G 設置拠点の屋外に設置しました。

表 2.3.7 GPS アンテナ仕様

機種名	日本電業工作 GZ00001
寸法	—
消費電力	—
備考	—



図 2.3.10 GPS アンテナ 装置

⑦ ローカル 5G 基地局 (RU) (2 台、屋外、固定)

Sub6 ローカル 5G 周波数帯 (4700-4900MHz) に対応した屋外用のローカル 5G 基地局装置です。

機器仕様は以下のとおりです。

表 2.3.8 RU 仕様

機種名	サムスン:OutdoorRU
寸法	221mm(W) × 82.9mm(D) × 264mm(H)
重量	4.9kg
消費電力	MAX:101VA
備考	—

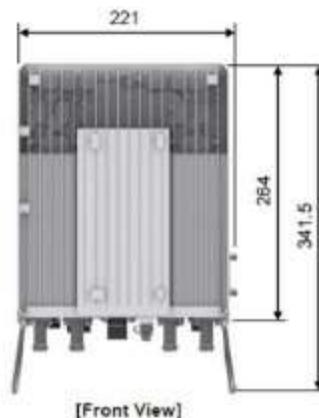


図 2.3.11 RU 装置

⑧ ローカル 5G アンテナ (アンテナ) (1 台、固定)

Sub6 ローカル 5G 周波数帯 (4700~4900MHz) に対応した指向性の屋外用のローカル 5G ア

ンテナです。

コーヒーハウスに設置しました。

表 2.3.9 アンテナ(X25-3545FTD)仕様

機種名	電気興業：X25-3545FTD
寸法	200mm(W)×27mm(D)×200mm(H)
重量	2.0kg
消費電力	－
備考	－ (RU より入力)



図 2.3.12 アンテナ(X25-3545FTD) 装置

⑨ ローカル 5G アンテナ (アンテナ) (1 台、固定)

Sub6 ローカル 5G 周波数帯 (4700～4900MHz) に対応した無指向性の屋外用のローカル 5G アンテナです。

フルーツパーク DETO に設置しました。

表 2.3.10 アンテナ(VH360-3450FTD)仕様

機種名	電気興業：VH360-3450FTD
寸法	45mm(Φ)×158mm(D)
重量	400g
消費電力	－
備考	－ (RU より入力)



図 2.3.13 アンテナ(VH360-3450FTD) 装置

⑩ ローカル 5G 基地局 (RU) (1 台、屋内、固定)

Sub6 ローカル 5G 周波数帯（4700-4900MHz）に対応した屋内用のローカル 5G 基地局装置です。道の駅おおゆに設置しました。

機器仕様は以下のとおりです。

表 2.3.11 RU 仕様

機種名	サムスン: IndoorRU
寸法	250mm(W) × 95mm(D) × 250mm(H)
重量	5kg
消費電力	MAX:71W
備考	—

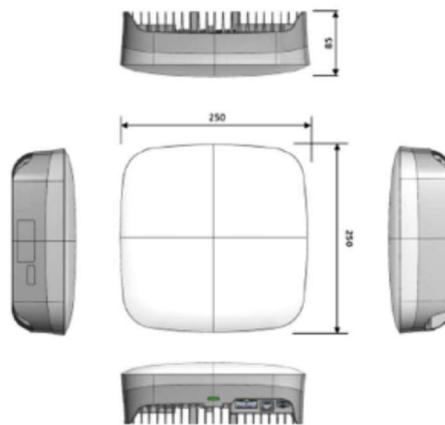


図 2.3.14 アンテナ(IndoorRU)装置

⑪ ローカル 5G リピーター（リピーター）

ローカル 5G のカバレッジを補間することを目的に導入するのが、ローカル 5G 4.7GHz 帯 RF リピーターです。

表 2.3.12 リピーター仕様

寸法	292(W) × 345(H) × 157(D) mm
容積	約 15.8 リットル
重量	約 18kg 以下（取り付け金具除く）
送受信構成	2T2R
対応周波数	4.8-4.9GHz 帯（帯域幅 100MHz）
送信出力電力	+10dBm/1T、+13dBm/2T
装置内利得	40dB～60dB
装置内遅延	約 300ns
電源	AC100V、50W 以下
備考	ドナーアンテナは電気興業 X25-3545FTD、サービスアンテナは電気興業 VH360-3450FTD を使用する



図 2.3.15 リピーター 装置

⑫ ローカル 5G 端末 (モバイルルータタイプ) (18 台、可搬)

ローカル 5G に対応した京セラ社製のモバイルルータ「K5GC-100A」です。今回使用するサムスン社製基地局装置との動作検証済の製品で、空冷機構を搭載しており放熱に考慮された機種です。Sub6/ミリ波両対応であり、今回は Sub6 でのみ使用しております。計 18 台利用しました。機器仕様は以下のとおりです。

表 2.3.13 ローカル 5G 端末(モバイルルータタイプ)仕様

機種名	京セラ : K5G-C-100A
寸法	78mm(W) x 165mm(H) x 27mm(D)
質量	326g
電池容量	リチウムイオン電池(6,000mAh)
位置測位	GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo/みちびき/A-GPS
インターフェース	USB Type-C
通信方式	5G NR (Sub6/mmW)、Local5G(Sub6/mmW)、 4G LTE (マルチバンド)
ネットワークタイプ	NSA/SA ※SA はローカル 5G でのみ使用可能。
SIM	nano SIM x2



図 2.3.16 ローカル 5G 端末(モバイルルータタイプ) 装置

⑬ ローカル 5G 端末 (スマートフォンタイプ) (3 台、可搬)

ローカル 5G に対応した FCNT 社製のスマートフォン「SD01」です。FCNT から発売されるロー

カル 5G 対応スマートデバイス 2 号機となります。

今回使用するサムスン社製基地局装置との動作検証済の製品です。公衆網および Sub6 対応であり、今回は sub6 を使用しております。計 3 台利用しました。機器仕様は以下のとおりです。

表 2.3.14 ローカル 5G 端末(スマートフォンタイプ)仕様

機種名	FCNT ローカル 5G 対応スマートデバイス SD01		
サイズ/質量	約 151.8x71.8x8.5mm/約 162g		
CPU/モデム	Snapdragon765G(SM7250+SDX55M) Snapdragon 765G		
メモリ	RAM:8GB ROM:128GB		
OS	Android 11		
ディスプレイ	約 6.3 インチ FullHD+ (2280×1080)、有機 EL		
カメラ	フロント：16M, リア：48M+8M(広角)+ 深度リア：48MP+8MP (広角) +5MP (深度) /フロント：16MP		
コネクティビティ	WLAN(802.11a, b, g, n, ac 2x2MIMO)/Bluetooth5.1/ NFC+FeliCaWi-Fi (IEEE802.11a, b, g, n, ac) /Bluetooth 5.1/NFC+FeliCa		
生体認証	指紋認証		
外部 I/O	USB3.1 (Type-C)		
センサー	位置情報, 加速度, ジャイロ, 近接, 地磁気, 照度		
電池容量	3,600mAh		
防水/防塵	IPX5, 8/IP6X		
SIM	nano SIM		
NR(5G)	Sub6 (NAS/SA)	Band	[ローカル 5G] n79(4.6GHz 4.9GHz) [公衆] n 78, n79
		MIMO	DL:4x4MIMO/UL:2x2 MIMO
	mmWave (NSA)	Band	—
		MIMO	—
LTE	Band		[自営網] B39 sXGP [公衆]B1, 3, 19, 21, 42
	CA, MIMO		[ローカル 5G] — [公衆]DL:5CA, 4x4 MIMO/UL:2 CA, MIMO なし
温湿度条件			
温度 5～35℃、湿度 45%～85%RH			



図 2.3.17 ローカル 5G 端末(スマートフォンタイプ)

⑭ ONU

ONU は光回線の終端装置です。ローカル 5G 各拠点に 1 台設置しました。仕様は以下のとおりです。本装置は光回線サービス利用によるレンタル機器となります。

表 2.3.15 ONU 仕様

項目	仕様	備考
準拠規格	1000BASE-T、100BASE-TX、10BASE-T	
消費電力	6.5W 以下 (電源アダプタを含む)	
外形寸法(高さ×幅×奥行き)	1.1 × 4.4 × 17.1 cm	
重量	600g 以下 (電源アダプタは含まず)	



図 2.3.18 ONU 外観

⑮ IP-VPN CPE

IP-VPN CPE は IP-VPN 網(Managed SD-WAN サービス)の終端装置です。ローカル 5G 設置各拠点に 1 台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2.3.16 IP-VPN CPE 仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース	2 × 1GE (WAN) 8 × 1GE (LAN)	
消費電力	66W	
外形寸法(高さ×幅×奥行き)	4.2 x 32.3 x 23 cm	

重量	約 2.1kg	
----	---------	--



図 2.3.19 IP-VPN CPE 外観

⑩ 5G コア アクセス VPN

5G コア アクセス VPN は NTT 東日本のデータセンターにある、5G コアにアクセスするための VPN サービスです。ローカル 5G 設置各拠点で契約しました。仕様は以下のとおりです。

表 2.3.17 5G コア アクセス VPN 仕様

項目	仕様	備考
サービス名	NTT 東日本 Managed SD-WAN	
サービス種別	ベストエフォート型 IP-VPN サービス	
最大スループット	1Gbps	

⑪ 5G コア アクセス回線

5G コア アクセス VPN 通信を行うためのフレッツ網へのアクセス回線です。ローカル 5G 設置各拠点で契約しました。仕様は以下のとおりです。

表 2.3.18 ローカル 5G コア アクセス回線仕様

項目	仕様	備考
サービス名	NTT 東日本 フレッツ光ネクスト ファミリー ギガラインタイプ	
サービス種別	フレッツ網アクセスサービス	
最大スループット	1Gbps	

⑫ ローカル 5G 測定器 (エリアスキャナー) 仕様

ローカル 5G の受信電力 (SS-RSRP) の実測を行うための測定器です。仕様は以下のとおりです。

表 2.3.19 ローカル 5G 測定器(エリアスキャナー)仕様

機種名	VIAVI : OneAdvisor-800
寸法	269mm(W) x 170mm(H) x 41mm(D)※バンパ装着時
質量	1.4 kg
備考	5G NR シグナルアナライザ (SS-RSRP 測定、SS-RSRP ヒートマップ測定)



図 2.3.20 ローカル 5G 測定器(エリアスキャナー) 外観

⑱ ローカル 5G 測定器 (ネットワークテスタ) 仕様

ローカル 5G のスループット・伝送遅延値の実測を行うための測定器です。仕様は以下のとおりです。

表 2.3.20 ローカル 5G 測定器(ネットワークテスタ)仕様

機種名	VIAMI : MTS-5800
寸法	178mm(W) x 241mm(H) x 80mm(D)
質量	2.4kg
備考	無線区間を含めた伝送路試験 (スループット測定、伝送遅延測定)



図 2.3.21 ローカル 5G 測定器(ネットワークテスタ) 外観

⑳ ローカル 5G シミュレーションソフト仕様

ローカル 5G の電波伝搬シミュレーションを行うためのソフトウェアです。仕様は以下のとおりです。

表 2.3.21 ローカル 5G シミュレーションソフト仕様

ソフトウェア名	RANPLAN : Ranplan Professional
推奨 CPU	Core i7 7th 3.0Ghz 以上

推奨 Memory	16GBbyte 以上
対応 OS	Windows10
必要 HDD 容量	SSD100GB 以上
推奨ディスプレイ	1920×1080
備考	レイトレースシミュレーション機能の他、本実証評価・検証に必要な機能を具備

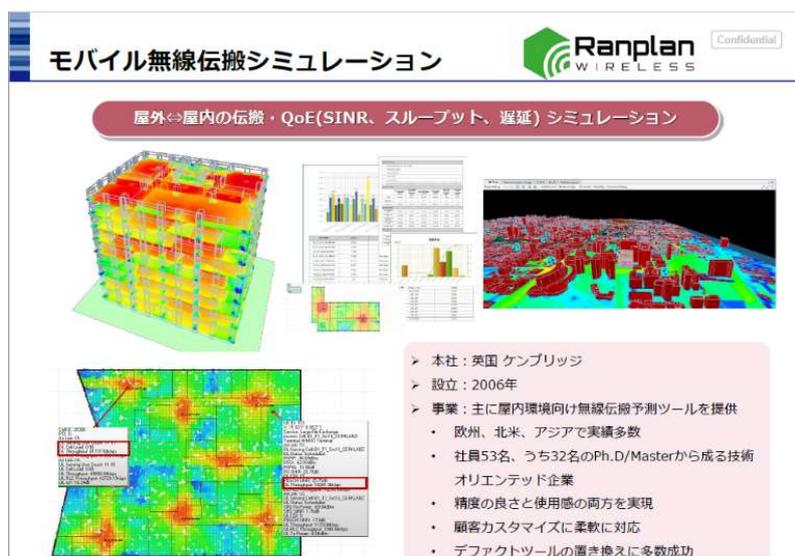


図 2.3.22 RANPLAN シミュレーションイメージ

(2) 拠点間・拠点内ネットワーク・システム

本実証で拠点間および拠点内を構成するネットワークは以下の「図 2.3.23 拠点間・拠点内ネットワーク・システム機器構成」のとおりです。本実証モデルにおいては今後の水平展開を考慮し、専用線等の高価な拠点間ネットワークは利用せず、ローカル 5G による高速大容量通信の上位ネットワークとして十分なスループットを備え、専用線と比較すると安価に構築可能な IP-VPN 網を利用しました。なお、「2.4 システム機能・性能・要件」に記載の性能要件を鑑み、不安定要素の多いインターネットの影響を受けない閉域網による拠点間ネットワーク構築が最も有力であると考えました。

拠点間ネットワークについては、IP-VPN 網(フレッツ VPN プライオ)を用意しました。

また、パブリッククラウド(Amazon Web Services(以降、AWS))、その他 SaaS への接続は、拠点集約によるトラフィックの集中を避けるため、各拠点のインターネット接続回線を経由して直接アクセスする構成としました。その際のデータは HTTPS やその他の暗号化された安全性の高い方式によってアップロード・ダウンロードするものとしました。

拠点内ネットワークについては、各拠点にそれぞれフレッツ・VPN プライオ用の機器および拠点間接続用機器を用意しました。

拠点内 LAN とクラウドや SaaS につながるインターネット接続では、ファイアウォール (FW) を用いることにより必要最低限の通信を許可させるものとしました。

拠点間・拠点内ネットワークシステム機器構成

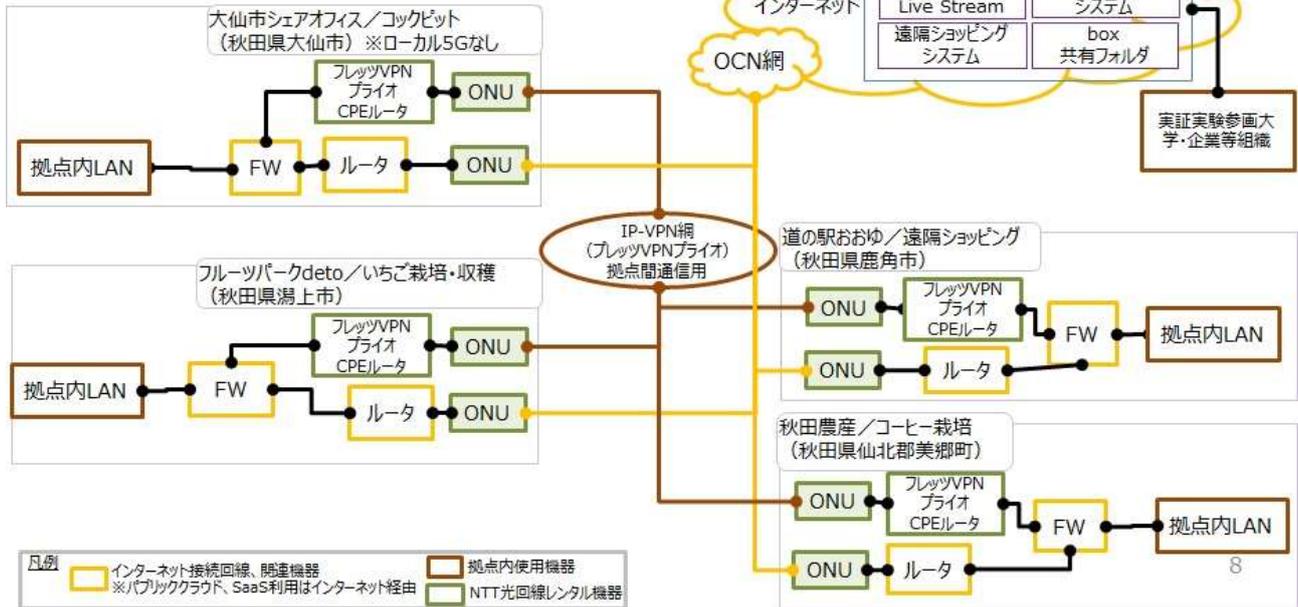


図 2.3.23 拠点間・拠点内ネットワーク・システム機器構成

本システムにて使用する機器は以下の表 2.3.22 のとおりです。

表 2.3.22 拠点間・拠点内ネットワーク・システム機器一覧

No.	物品	メーカー	型番	数量
1	ONU	NTT 東日本	GE-PON-ONU	8
2	IP-VPN CPE (VPN 用)	Cisco	C1111	4
3	ルーター (インターネット接続用)	YAMAHA	NVR510	4
4	FW	FortiNet	FortiGate 80F	4
5	IP-VPN	NTT 東日本	フレッツ VPN プライオ	4
6	アクセス光回線	NTT 東日本	フレッツ 光ネクストファミリー・ギガラインタイプ	8
7	インターネットサービスプロバイダ (ISP)	NTT コミュニケーションズ	OCN 光「フレッツ」IPoE IP1	4

各物品の詳細は以下のとおりです。

① ONU

ONU は光回線の終端装置です。各拠点に各 2 台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2.3.23 ONU 仕様

項目	仕様	備考
準拠規格	1000BASE-T、100BASE-TX、10BASE-T	
消費電力	6.5W 以下 (電源アダプタを含む)	

外形寸法(高さ×幅×奥行き)	1.1 × 4.4 × 17.1 cm	
重量	600g 以下 (電源アダプタは含まず)	



図 2.3.24 ONU 外観

② IP-VPN CPE

IP-VPN CPE は IP-VPN 網(フレッツ・VPN プライオ)の終端装置です。各拠点 1 台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2.3.24 IP-VPN CPE 仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース	2 × 1GE (WAN) 8 × 1GE (LAN)	
消費電力	66W	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	4.2 x 32.3 x 23 cm	
重量	約 2.1kg	



図 2.3.25 IP-VPN CPE 外観

③ ルータ

ルータはインターネット接続のため、各拠点 1 台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2.3.25 ルータ仕様

項目	仕様	備考
ネットワークインターフェース	1 × 1GE (WAN) 4 × 1GE (LAN)	
その他インターフェース	2 × TEL ポート (PB/DP 自動判別) 1 × microSD スロット (SDHC 対応) 1 × USB ポート (USB 2.0) 1 × コンソールポート (RJ-45)	
消費電力	12.5W	
外形寸法	20 (W) × 41 (H) × 161.9 (D) mm	

重量	650g	
----	------	--



図 2.3.26 ルータ 外観

④ FW

パブリッククラウド等の SaaS を使用する際には、接続速度を考慮し各拠点からインターネット経由で接続しました。インターネット上では様々な情報セキュリティの脅威が存在しており、FW を導入することで必要最低限の通信を許可、またログを取得し通信許可・拒否等の証跡を保存することで、万が一のインシデントの際にも追跡が可能となります。

表 2.3.26 FW 仕様

項目	仕様	備考
インターフェース	2 × GbE RJ45/SFP 共有 2 × WAN GbE RJ45 6 × GbE RJ45 2 × GbE RJ45 FortiLink	
スループット	IPS スループット 1.4Gbps NGFW スループット 1Gbps 脅威保護スループット 800Mbps	
寸法	40 × 216 × 178 mm	
重量	1.1kg	
形状	デスクトップ/壁面マウント/ラックトレイ	
電源	100~240V AC, 50~60Hz	
消費電力	12.69W /15.51W	
認定	ICSA Labs 認定：ファイアウォール、IPSec、IPS、アンチウイルス、SSL VPN	



図 2.3.27 FW 外観

⑤ IP-VPN

フレッツ・VPN プライオはNTT 東日本が提供する最大スループット 1Gbps のベストエフォート型閉域 VPN (IP-VPN) サービスです。「2.4 システム機能・性能・要件」に記載の性能要件を鑑み、不安定要素の多いインターネットの影響を受けない閉域網によるネットワーク構

築が最も有力であると考えました。本実証では横展開を見据え、ローカル 5G による高速大容量通信の上位ネットワークとして十分なスループットを備え、専用線と比較すると安価に構築可能な本サービスを選定しました。仕様は以下のとおりです。

表 2.3.27 IP-VPN 仕様

項目	仕様	備考
サービス名	フレッツ・VPN プライオ	
サービス種別	ベストエフォート型 IP-VPN サービス	
最大スループット	1Gbps	
通信端末	IP-VPN CPE	IP-VPN CPE 参照

⑥ アクセス回線

拠点間ネットワーク接続、インターネット接続のアクセス回線として使用しました。

表 2.3.28 アクセス回線仕様

項目	仕様	備考
サービス品目	フレッツ光ネクスト ファミリー ギガラ インタイプ	
サービス種別	フレッツ網アクセスサービス	
最大スループット	1Gbps	

⑦ インターネットサービスプロバイダ (ISP)

パブリッククラウドサービスにアクセスするにあたりインターネット接続を行うため、NTT コミュニケーションズのプロバイダを利用しました。

表 2.3.29 インターネットサービスプロバイダ(ISP)仕様

項目	仕様	備考
サービス種別	OCN 光「フレッツ」 IPoE IP1	
最大スループット	1Gbps	
接続方式	IPoE トンネル方式。 法人向け固定 IPv4 アドレス付与	

2.3.2 課題解決システム

構築する課題解決システムについて、構成図および各機器の詳細を以下に示します。

(1) 遠隔指導システム

本システムについて、構成図および各機器の詳細を以下に示します。

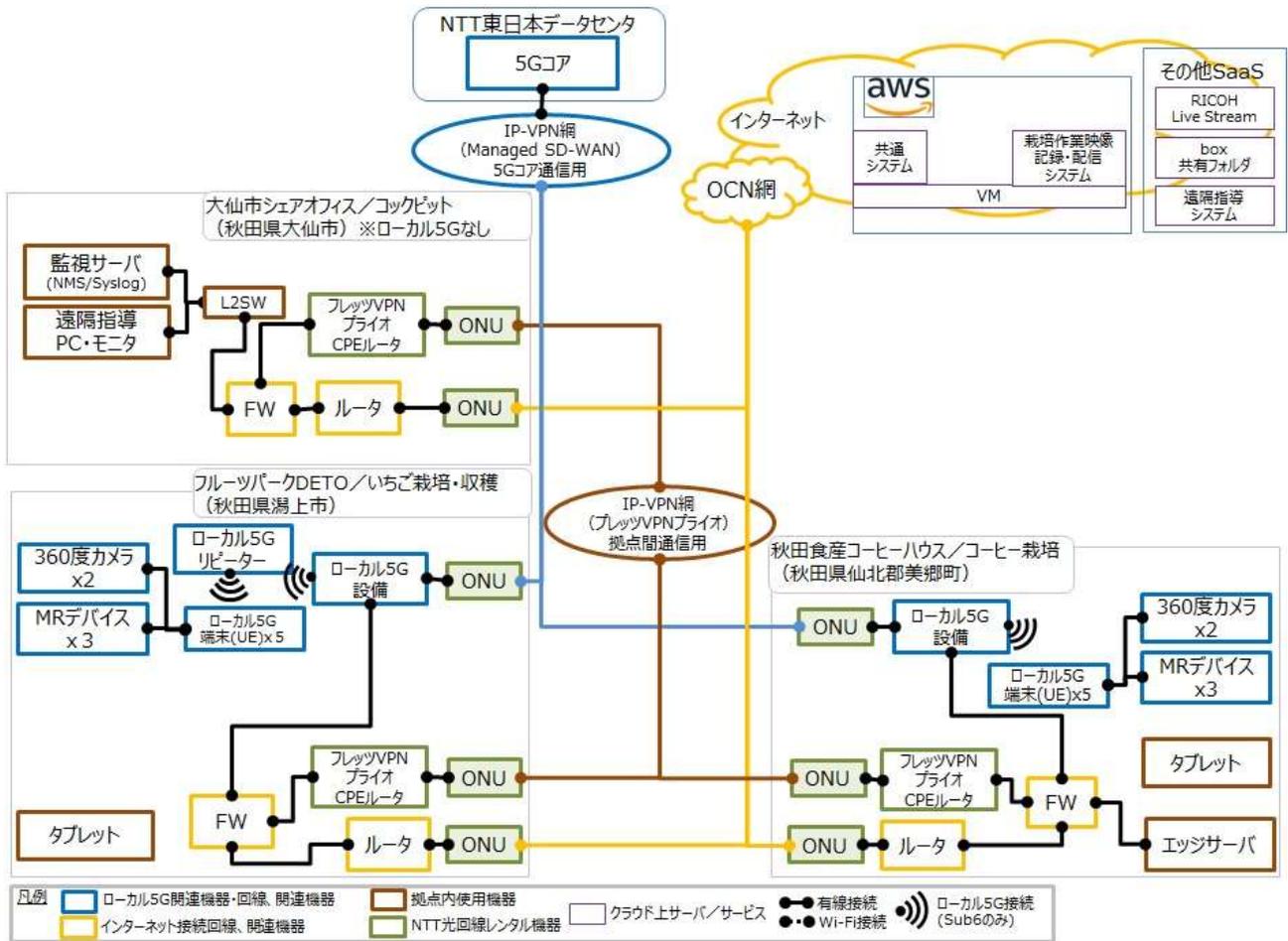


図 2.3.28 遠隔指導システム構成図

表 2.3.30 遠隔指導システムの物品一覧表

物品	メーカー	型番	数量
1 MR ゴーグル	Microsoft	HoloLens2	6
2 360° カメラ	RICOH	RICOH THETA Z1	4
		RICOH Live Streaming (クラウドサービス)	1
3 遠隔指導システム	ポケット・クエリ ーズ	Faci-L-lite XR (ソフトウェア)	1
	BOX	ファイル共有サイト BOX (クラウドサービス)	1
4 タブレット	Apple	iPad Pro	1
5 PC	Microsoft	Surface laptop studio	1
6 モニター	LG	24MD4KL-B	1
7 エッジサーバ	-	自作サーバ (※)	1

※山梨大学側でパーツを用意し、組み立てたものになります。

① MR ゴーグル (HoloLens2)

遠隔指導システムに利用する MR ゴーグルのハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.31 MR ゴーグル仕様

分類	項目	仕様
製品名 : HoloLens 2		
ディスプレイ	光学方式	シースルーホログラフィックレンズ (導波路)
	解像度	2k 3:2 光エンジン
	ホログラフィック密度	2.5k 光点 (ラジアンあたりの光点)
	アイベースのレンダリング	3次元での目の位置に対するディスプレイの最適化
デバイスセンサー	ヘッドトラッキング	4台の可視光カメラ
	アイトラッキング	2台の赤外線カメラ
	深度	1-MP ToF (Time of Flight) 深度センサー
	IMU	加速度計、ジャイロスコープ、磁力計
	カメラ	静止画 8-MP、1080p30 ビデオ
オーディオと音声	マイクロフォンアレイ	5チャンネル
	スピーカー	空間音響を搭載
環境認識	6DoF トラッキング	世界規模の位置追跡
	空間マッピング	リアルタイム環境メッシュ
	Mixed Reality キャプチャ	ホログラムと物理環境の複合写真、複合ビデオ
プロセッサと 接続	SOC	Qualcomm Snapdragon 850 コンピューティングプラットフォーム
	HPU	第2世代オーダーメイドホログラフィック処理装置
	メモリ	4GB LPDDR4x システム DRAM
	ストレージ	64-GB UFS 2.1
	WiFi	Wi-Fi : Wi-Fi 5 (802.11ac 2x2)
	Bluetooth	5
	USB	USB Type-C
処理能力	バッテリー駆動時間	2~3時間 (連続使用の場合)
	充電	USB-PD (急速充電の場合)
	冷却	パッシブ (ファン非搭載)
	電池	リチウム搭載
サイズ	シングルサイズ	メガネの上からの装着可能
	重量	566g



図 2.3.29 MR ゴーグル(HoloLens2) 外観

② 360° カメラ

メタバース空間を生成するために、映像／画像を撮影します。360° カメラをライブストリームで利用する場合、RICOH Live Streaming サービスを利用しました。ハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.32 360°カメラ仕様

項目	仕様
製品名：RICOH THETA Z1	
外形・寸法	48mm（幅）× 132.5mm（高さ）× 29.7mm(24mm)（奥行き）
質量	約 182 g
静止画解像度	6720× 3360（約 2000 万画素）
動画解像度/フレームレート/ビットレート	4K： 3840×1920 /29.97fps/56Mbps
	2K： 1920 × 960 /29.97fps/16Mbps
ライブストリーミング_解像度/フレームレート(USB)	4K： 3840 × 1920 /29.97fps /120Mbps
	2K： 1920 × 960 /29.97fps /42Mbps
マイク	4ch
記録媒体/記録可能枚数、時間	RICOH THETA Z1 51GB： 内蔵メモリ 約 51GB 静止画：RAW+ 約 900 枚，JPEG 約 6350 枚 動画（1 回の記録時間）：最大 5 分/25 分*3*4 動画（合計の記録時間）：（4K, H. 264）約 110 分 2K, H. 264）約 360 分
	RICOH THETA Z1： 内蔵メモリ 約 19GB 静止画：RAW+ 約 350 枚，JPEG 約 2400 枚 動画（1 回の記録時間）：最大 5 分/25 分*3*4 動画（合計の記録時間）：（4K, H. 264）約 40 分 2K, H. 264）約 130 分
撮影距離	約 40cm～∞（レンズ先端より）

撮影モード	静止画、動画：オート、シャッター優先、ISO 優先、マニュアル
	ライブストリーミング：オート
露出制御モード	プログラム AE、絞り優先 AE、シャッター優先 AE、ISO 優先 AE、マニュアル
露出補正	-2.0～+2.0EV 1/3EV ステップ
ISO 感度（標準出力感度）	静止画・動画：[オート・シャッター優先] ISO80～6400 (ISO 上限設定 ISO200～6400)、(マニュアルモード) ISO80～6400
	ライブストリーミング：ISO80～6400
ホワイトバランスモード	静止画・動画：オート、屋外、日陰、曇天、白熱灯 1、白熱灯 2、昼光色蛍光灯、昼白色蛍光灯、白色蛍光灯、電球色蛍光灯、色温度 (2500K～10000K) *3 ライブストリーミング：オート
シャッタースピード	静止画：(オート) 1/25000 秒～1/8 秒、 (シャッター優先モード) 1/25000 秒～15 秒 (マニュアルモード) 1/25000 秒～60 秒
	動画：(オート) 1/25000 秒～1/30 秒 (シャッター優先、マニュアル) 1/25000 秒～1/30 秒
	ライブストリーミング：(オート) 1/25000 秒～1/30 秒
撮影機能	静止画：ノイズ低減、DR 補正、HDR 合成、手持ち HDR、インターバル撮影、インターバル合成撮影、マルチブラケット撮影、セルフタイマー (2～10 秒)、マイセッティング
	動画：セルフタイマー (2～10 秒)、マイセッティング
電源	リチウムイオンバッテリー (内蔵)
電池寿命	静止画：約 300 枚
	動画：約 60 分
記録ファイル形式	静止画：RAW (DNG), JPEG (Exif Ver2.3)
	動画：MP4 IEEE802.11 a/b/g/n/ac (2.4GHz/5GHz) 映像：MPEG4 AVC/H.264、音声：AAC-LC (モノラル) +Linear PCM (4ch 空間音声)
	ライブストリーミング：映像：H.264、音声：Linear PCM (4ch)
外部インターフェース	USB Type-C(USB3.0)
リモートリリース	CA-3 に対応
レンズ構成	10 群 14 枚

F 値	F2.1, 3.5, 5.6
撮像素子 サイズ	1.0 型(x2)
撮像素子 有効画素数	約 2,000 万画素 (x2)
出力画素数	約 2,300 万画素
無線標準規格】	IEEE802.11 a/b/g/n/ac (2.4GHz/5GHz)
	IEEE802.11 b/g/n (2.4GHz のみ)
	Bluetooth 4.2
無線対応チャンネル	2.4GHz : 1~11ch または 1~13ch
	5GHz : W52 (36~48ch, チャンネル帯域幅 20/40/80MHz に対応)



図 2.3.30 360°カメラ 外観

③ 遠隔指導システム

ポケット・クエリーズ社が開発したソフトウェア Faci-Lite XR をベースに遠隔指導システムを開発しました。ボックス社が提供するセキュアなクラウドコンテンツ管理ツールBOXと連携しファイル共有等を行いました。

④ タブレット

遠隔指導システムを閲覧するために利用しました。ハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.33 タブレット仕様

項目	仕様
製品名	iPad Pro Wi-Fi + Cellular : A2461
容量	128 GB、256 GB、512 GB、1 TB、2 TB

サイズと重量 ²	幅： 214.9 mm、高さ： 280.6 mm、厚さ： 5.9 mm、重量： 643 g
ディスプレイ	<p>Liquid Retina ディスプレイ IPS テクノロジー搭載 12.9 インチ（対角）LED バックライト Multi-Touch ディスプレイ 2,732 x 2,048 ピクセル解像度、264ppi ProMotion テクノロジー 広色域ディスプレイ（P3） True Tone ディスプレイ 耐指紋性撥油コーティング フルミネーションディスプレイ 反射防止コーティング 1.8%の反射率 600 ニトの輝度 Apple Pencil（第2世代）</p>
ビデオ撮影	<p>4K ビデオ撮影（広角：24fps、30fps または 60fps、超広角：60fps） 1080p HD ビデオ撮影（30fps または 60fps） 720p HD ビデオ撮影（30fps） より明るい True Tone フラッシュ 1080p スローモーションビデオ（広角：120fps または 240fps、超広角：240fps）に対応 手ぶれ補正機能を使ったタイムラプスビデオ 映画レベルのビデオ手ぶれ補正（1080p と 720p） 連続オートフォーカスビデオ ノイズリダクション 再生ズーム ビデオへのジオタグ添付 ビデオ撮影フォーマット：HEVC、H.264</p>
ビデオ通話	<p>FaceTime ビデオ iPad から全ての FaceTime 搭載デバイスに Wi-Fi または携帯電話ネットワーク経由</p>
オーディオ通話	<p>FaceTime オーディオ iPad から全ての FaceTime 搭載デバイスに Wi-Fi または携帯電話ネットワーク経由で</p>
スピーカー	4 スピーカーオーディオ
マイクロフォン	通話、ビデオ撮影、オーディオ録音のための 5 つのスタジオ品質マイクロフォン
携帯電話/ワイヤレス通信方式	UMTS/HSPA/HSPA+/DC-HSDPA（850、900、1,700/2,100、1,900、2,100MHz）、GSM/EDGE（850、900、1,800、1,900MHz）

	ギガビット級LTE（モデル A2068 と A2069：バンド1、2、3、4、5、7、8、12、13、14、17、18、19、20、25、26、29、30、34、38、39、40、41、42、46、48、66、71） データのみ eSIM
SIM カード	nano-SIM（Apple SIM に対応 ⁶ ） eSIM
センサー	Face ID LiDAR スキャナー 3 軸ジャイロ 加速度センサー 気圧計 環境光センサー
充電と拡張性	USB-C
オペレーティングシステム	iPadOS 14



図 2.3.31 タブレット 外観

⑤ PC

遠隔指導システムを閲覧するために利用しました。ハードウェア仕様は以下の通りです

表 2.3.34 PC 仕様

項目	仕様
製品名	Surface Laptop Studio

本体サイズ	323.28 mm x 228.32 mm x 18.94 mm
ディスプレイ	画面: 14.4 インチ 2 PixelSense™ Flow ディスプレイ リフレッシュ レート: 最大 120Hz 解像度: 2400 x 1600 (201 PPI) 縦横比: 3:2 コントラスト比: 1500:1
メモリ	16GB
プロセッサ	クアッドコア第 11 世代インテル® Core™ H35 i5-11300H プロセッサ
グラフィックス	インテル® Core™ i5 モデル: インテル® Iris® Xe グラフィックス
セキュリティ	エンタープライズ クラスのセキュリティと BitLocker 対応のファームウェア TPM Windows Hello 顔認証サインインによるエンタープライズ クラスのセキュリティ Windows 拡張ハードウェア セキュリティ
ソフトウェア	Office Home & Business 2021
重量	インテル® Core™ i5 モデル 1742.9 g
ストレージ	SSD (取り外し可能なソリッド ステート ドライブ) ⁶ のオプション: 256GB、512GB、1TB、2TB
バッテリー駆動時間	インテル® Core™ i5: 通常のデバイス使用で最長 19 時間
外部端子	USB 4.0/Thunderbolt™ 4 搭載 USB-C® x 2 3.5 mm ヘッドホン ジャック Surface Connect ポート x 1
マイク	声質機能を搭載したデュアル スタジオ マイク ⁹ が、超広帯域で自然な全二重 (フルデュプレックス) 会話を可能にします
ワイヤレス機能	Wi-Fi 6: 802.11ax 対応 Bluetooth Wireless 5.1 テクノロジー
バッテリー容量	公称バッテリー容量 (WH): 58.0



図 2.3.32 PC 外観

⑥ モニター

遠隔指導システムを表示するために利用しました。ハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.35 モニター仕様

分類	項目	仕様
製品名：23.7インチ UltraFine 4K モニター		
液晶パネル	画面サイズ	23.74 インチ
	パネル・タイプ	IPS
	解像度	3840×2160
	表示色	約 10.7 億色
	輝度(標準値)	500cd/m ²
	応答時間 (ms)	14ms (GTG)
	アスペクト比	16:9
入出力端子	USB アップストリーム	1 (USB Type-C)
	USB Type-C™出力	1
	USB ダウンストリーム	3 (USB-C (USB 3.0))
スピーカー	最大出力	5W+5W
電源	消費電力 (最大)	200W
機能	HDCP	○ (HDCP2.2)
幅×高さ×奥行き	セット (スタンドなし)	556×329×50 (mm)
重量	セット (スタンドなし)	5.2 (kg)



図 2.3.33 モニター 外観

⑦ エッジサーバ

遠隔指導システムの収穫適期判定用 GPU サーバです。ハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.36 エッジサーバ仕様

項目	仕様
製品名：自作サーバ (※)	
CPU	CPU : Intel(R) Core(TM) i7-9800X CPU @ 3.80GHz
GPU	1 枚×NVIDIA RTX 2080ti 11GB
マザーボード	intel X299Chipset
メモリ	64GB (16GB×4) Micron Technology 16ATF2G64AZ-2G6E1
ストレージ	BootDevice : SSD 960GB DataDevice : HDD 4TB
ネットワーク	onboard intel-ethernet-connection-i219v 1GBASE-T
ケース	DeepCool MATREXX 55 ミドルタワーケース (W210xH440xD480mm)
電源	100V 入力 最大 1200W 100V-15A x1 ライン
電源ケーブル	Ubuntu 22.04 LTS
OS	CPU : Intel(R) Core(TM) i7-9800X CPU @ 3.80GHz

※農水省実証で調達。大学側でパーツを用意し、組み立てたものになります。



図 2.3.34 エッジサーバ 外観

(2) イチゴ収穫・運搬ロボットシステム

本システムについて、構成図および各機器の詳細を以下に示します。

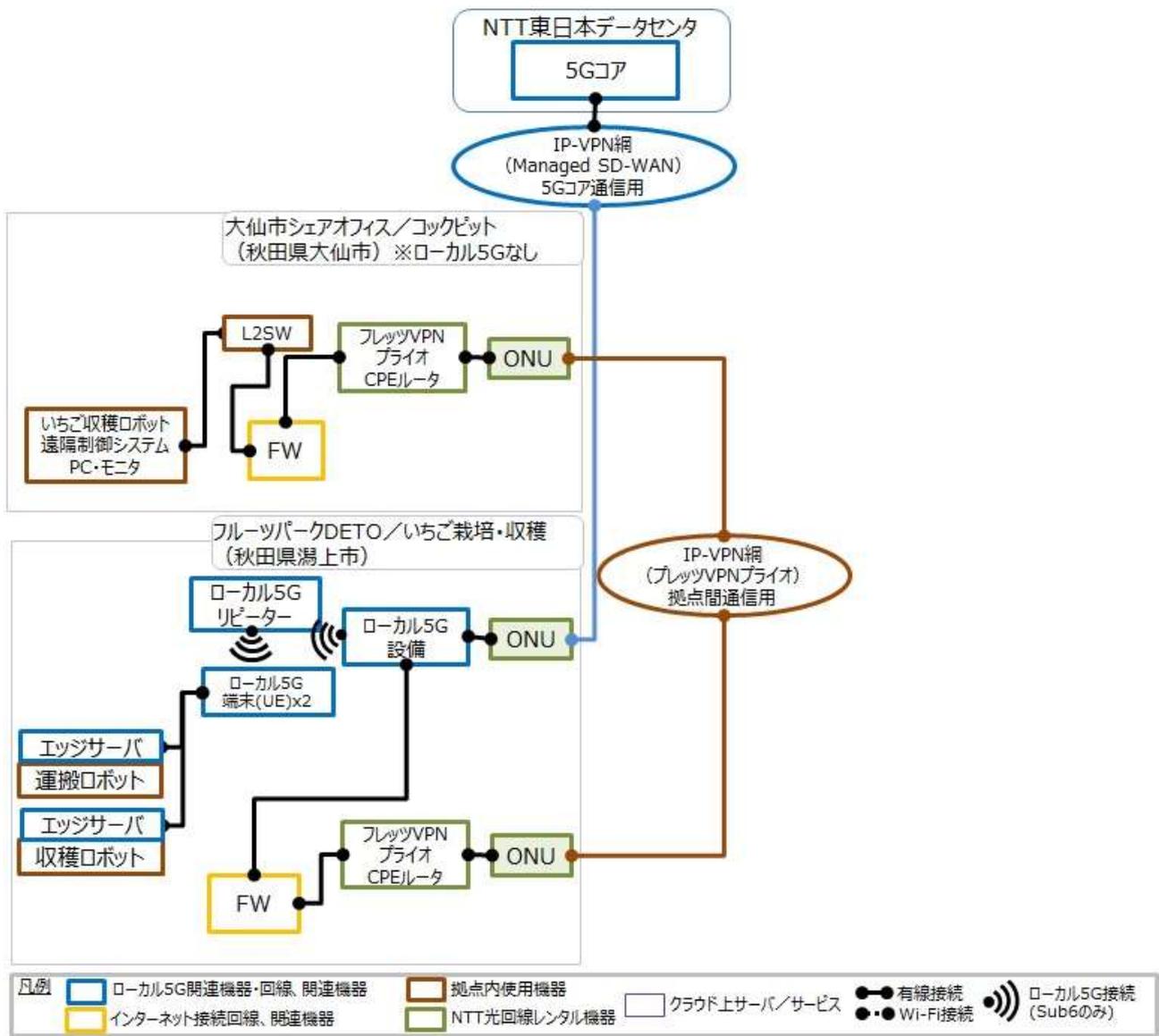


図 2.3.35 イチゴ収穫・運搬ロボットシステム構成図

表 2.3.37 イチゴ収穫・運搬ロボットシステム物品一覧表

	物品	メーカー	型番	数量
1	収穫・運搬 ロボット台車	REACT	-	2
2	イチゴ自動収穫用マ ニピュレータ	REACT	-	1
3	画像転送ユニット (エッジサーバ) /マ ニピュレータモ ジュール制御ユニッ ト	Intel	Intel NUC 12 Pro RNUC12WSKV70000	2

4	2Kカメラ	ロジクール	C920s	7
5	4Kカメラ	ロジクール	Brio C1000s Ultra 4K HD 60fps	2
6	Depth カメラ	Intel	D405	1
7	キーボード	ロジクール	K400p	2
8	モバイルモニター 15.6 インチ 4K	JAPANNEXT	JN-MD-IPS1560UHDR	1
9	モバイルモニター 12.5 インチ HD	JAPANNEXT	JN-MD-IPS125FHDR	1
10	ポータブル電源	EcoFlow	RIVER2	2

※上記全て農林水産省『スマート農業産地モデル実証（ローカル 5G）』にて調達

※検証の結果により、本システムの機能上必要な台数として記載

① 収穫・運搬ロボット台車

イチゴの収穫・運搬に利用するロボット台車のハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.38 収穫・運搬ロボット台車仕様

項目	仕様
製品名：収穫・運搬ロボット台車	
寸法	全長 760mm 以内×全幅 560 mm以内×全高 410mm 前後（調整）
駆動方式	前2 動輪による推力偏向方式
動力	ブラシレスモーター
防水機能	防雨形
センシング機能	カメラ映像
制御方式	リモコン操作、遠隔操作、LIDAR による物体認識
最高走行速度	4 km/h(狭隘部では減速を要する)
最大勾配	15 度(滑りにくい路面)
使用可能温度	0℃～40℃
稼働時間	6 時間（交換可能、使用条件による）



図 2.3.36 収穫・運搬ロボット台車 外観

② イチゴ自動収穫用マニピュレータ

イチゴの収穫・運搬に利用するロボットマニピュレータのハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.39 イチゴ自動収穫用マニピュレータ仕様

項目	仕様
製品名：イチゴ自動収穫用マニピュレータ	
寸法	全長 760mm 以内×全幅 560 mm以内×全高 1200mm 以内（調整）
動力	ステッピングモーター
防水機能	防滴
センシング機能	カメラ映像
制御方式	遠隔操作、カメラによる認識
電源	台車から供給もしくはバッテリー搭載
使用可能温度	0℃～40℃



図 2.3.37 イチゴ自動収穫用マニピュレータ 外観

③ 画像転送ユニット (エッジサーバ)

イチゴの収穫・運搬に利用する画像伝送ユニットのハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.40 画像転送ユニット(エッジサーバ)仕様

項目	仕様
製品名	画像転送ユニット (エッジサーバ) /マニピュレータ収穫ユニット
ベース組込み PC	Intel・Intel NUC 12 Pro RNUC12WSKV70000
メモリ	KVR32S22S8/16・32GB (16GB × 2 枚) DDR4 3200MT/s(PC4-25600) CL22 SODIMM 260pin
SSD	Western Digital・WDS200T3B0CCrucial・M.2 NVMe 接続、2.0TB

※農林水産省『スマート農業産地モデル実証 (ローカル 5G) 』にて調達



図 2.3.38 画像転送ユニット(エッジサーバ)/収穫モジュール搭載イチゴ認識ユニット 外観

④ 2K カメラ

イチゴの収穫・運搬に利用する 2K カメラのハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.41 2K カメラ仕様

項目	仕様
製品名 : C920s	
寸法	H44mm×W95mm×D71mm
ケーブル長	1.5m
重量	162g
最大解像度	1080p/30 fps - 720p/ 60 fps
カメラ画素数 (メガピクセル)	3
フォーカスタイプ	オートフォーカス
レンズタイプ	ガラス
内蔵マイク	ステレオ
マイク集音範囲	最大 1m
対角視野 (dFoV)	78°
デジタルズーム	1.2x



図 2.3.39 2K カメラ 外観

⑤ 4K カメラ

イチゴの収穫・運搬に利用する 4K カメラのハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.42 4K カメラ仕様

項目	仕様
製品名 : Brio C1000s Ultra 4K HD	
(ウェブカメラ) 寸法	H27mm×W102mm×D27mm
(ウェブカメラ) ケーブル長	2.2m
(ウェブカメラ) 重量	63g
(マウントクリップ) 寸法	H19mm×W36mm×D63mm
(マウントクリップ) 重量	44g
複数解像度	4K/30fps (最大 4096 x 2160 ピクセル) 1080p/30 または 60 fps (最大 1920 x 1080 ピクセル) 720p/30、60、または 90 fps (最大 1280 x 720 ピクセル)
カメラ画素数 (メガピクセル)	13
フォーカスタイプ	オートフォーカス
レンズタイプ	ガラス
内蔵マイク	ステレオ
マイク集音範囲	最大 1.22m
対角視野 (dFoV)	90° /78° /65°
デジタルズーム	5 倍

※農林水産省『スマート農業産地モデル実証 (ローカル 5G) 』にて調達。



図 2.3.40 4K カメラ 外観

⑥ Depth カメラ

イチゴの収穫・運搬に利用する Depth カメラのハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.43 Depth カメラ仕様

項目	仕様
製品名 : Intel D405	
寸法	H42mm×W42mm×D23mm
重量	200g
動作範囲 (最小-最大)	7cm - 50cm
Depth 解像度と FPS	720p 30FPS
Depth 視野	H: 87, V: 58
インターフェース	USB

※農林水産省『スマート農業産地モデル実証（ローカル 5G）』にて調達。



図 2.3.41 Depth カメラ 外観

⑦ キーボード

イチゴの収穫・運搬に利用するキーボードのハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.44 キーボード仕様

項目	仕様
製品名 : K400 Plus タッチパッド キーボード・K400pBK 相当 (※)	
寸法	H139.9mm×W354.3mm×D23.5mm
重量	390g(電池を含む)

※農林水産省『スマート農業産地モデル実証（ローカル 5G）』にて調達。



図 2.3.42 キーボード 外観

⑧ モバイルモニター 15.6 インチ 4K

イチゴの収穫・運搬に利用するモバイルモニター15.6 インチ 4K のハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.45 モバイルモニター仕様

項目	仕様
製品名	JAPANNEXT JN-MD-IPS1560UHDR
寸法	36.4 x 22.5 x 1.05 cm
スタンディング スクリーンディスプ レイサイズ	15.6 インチ
重量	0.56kg
解像度	3840 x 2160 Pixels
USB-C ポート数	2
HDMI ポート数	1

※農林水産省『スマート農業産地モデル実証（ローカル 5G）』にて調達。



図 2.3.43 モバイルモニター 15.6 インチ 4K 外観

⑨ モバイルモニター 12.5 インチ HD

イチゴの収穫・運搬に利用するモバイルモニターのハードウェア 12.5 インチ HD 仕様は以下の通りです。

表 2.3.46 モバイルモニター 12.5 インチ HD 仕様

項目	仕様
製品名	JAPANNEXT N-MD-IPS125FHDR
寸法	28.7 x 18.4 x 9.6 cm
スタンディング スクリーンディスプレイ レイサイズ	12.5 インチ
重量	0.44kg
解像度	1920 x 1080 Pixels
USB-C 用ポート数	2
miniHDMI ポート 数	1

※農林水産省『スマート農業産地モデル実証（ローカル 5G）』にて調達。



図 2.3.44 モバイルモニター 外観

⑩ ポータブル電源

イチゴの収穫・運搬に利用するポータブル電源のハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.47 ポータブル電源仕様

項目	仕様
製品名	EcoFlow RIVER2
寸法	24.5 x 21.5 x 14.5 cm
重量	3.5 kg

充電温度範囲	0-45° C +/- 3° C
放電温度範囲	-10~45° C +/- 3° C
バッテリー容量	256 Wh (20Ah 12.8V)
電池素材	リチウムイオン
テストと認証規格	RoHS

※農林水産省『スマート農業産地モデル実証（ローカル 5G）』にて調達。



図 2.3.45 ポータブル電源 外観

⑪ PC

イチゴの収穫・運搬の遠隔制御をするために利用する PC のハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.48 PC 仕様

項目	仕様
製品名：マウスコンピューター DAIV 6P-B	
本体サイズ	353.7 x 245.3 x 18.5 mm
ディスプレイ	16 型 液晶パネル(ノングレア) 2560×1600
メモリ	DDR4-3200
プロセッサ	Intel @Core™ i7-12700H プロセッサ
重量	1.49 kg
ストレージ	M.2 SSD
バッテリー駆動時間	リチウムポリマー 約 12.5 時間

※農林水産省『スマート農業産地モデル実証（ローカル 5G）』にて調達。



図 2.3.46 PC(遠隔操作) 外観

(3) 遠隔ショッピングシステム

本システムについて、構成図および各機器の詳細を以下に示します。

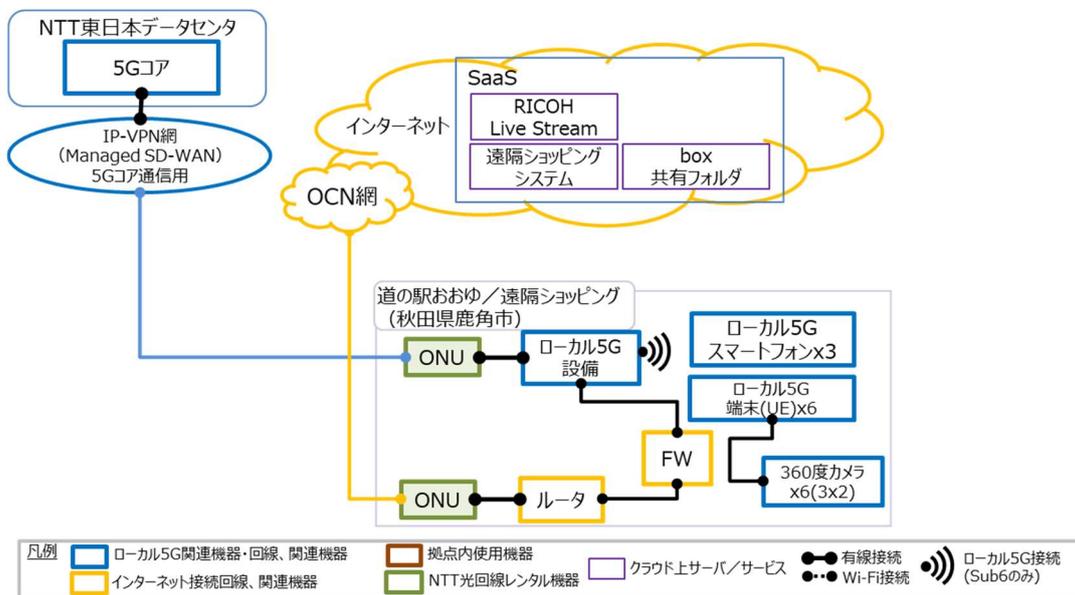


図 2.3.47 遠隔ショッピングシステム構成図

表 2.3.49 遠隔ショッピングシステム物品一覧

	物品	メーカー	型番	数量
1	360° カメラ	RICOH	RICOH THETA Z1	6
			RICOH Live Streaming	1

			(クラウドサービス)	
2	遠隔ショッピングシステム	ポケット・クエリーズ	iVoRi 360 (ソフトウェア)	1
		BOX	ファイル共有サービスBOX (クラウドサービス)	1
3	ローカル 5G 端末 (スマートフォンタイプ)	FCNT	FCNT ローカル 5G 対応スマートデバイス SD01	3

① 360° カメラ

メタバース空間を生成するために、映像／画像を撮影します。運用上、定期的に 3 台ごとの切り替えを想定しました。360° カメラをライブストリームで利用するため、RICOH Live Streaming サービスを利用しました。ハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.50 360°カメラ 仕様

項目	仕様
製品名 : RICOH THETA Z1	
外形・寸法	48mm (幅) × 132.5mm (高さ) × 29.7mm (24mm) (奥行き)
質量	約 182 g
静止画解像度	6720 × 3360 (約 2000 万画素)
動画解像度/フレームレート/ビットレート	4K : 3840 × 1920 /29.97fps/56Mbps
	2K : 1920 × 960 /29.97fps/16Mbps
ライブストリーミング_解像度/フレームレート(USB)	4K: 3840 × 1920 /29.97fps /120Mbps
	2K: 1920 × 960 /29.97fps /42Mbps
マイク	4ch
記録媒体/記録可能枚数、時間	RICOH THETA Z1 51GB : 内蔵メモリ 約 51GB 静止画 : RAW+ 約 900 枚, JPEG 約 6350 枚 動画 (1 回の記録時間) : 最大 5 分/25 分*3*4 動画 (合計の記録時間) : (4K, H. 264) 約 110 分 2K, H. 264) 約 360 分
	RICOH THETA Z1 : 内蔵メモリ 約 19GB 静止画 : RAW+ 約 350 枚, JPEG 約 2400 枚 動画 (1 回の記録時間) : 最大 5 分/25 分*3*4 動画 (合計の記録時間) : (4K, H. 264) 約 40 分 2K, H. 264) 約 130 分
撮影距離	約 40cm~∞ (レンズ先端より)

撮影モード	静止画、動画：オート、シャッター優先、ISO 優先、マニュアル
	ライブストリーミング：オート
露出制御モード	プログラム AE、絞り優先 AE、シャッター優先 AE、ISO 優先 AE、マニュアル
露出補正	-2.0～+2.0EV 1/3EV ステップ
ISO 感度（標準出力感度）	静止画・動画：[オート・シャッター優先] ISO80～6400 (ISO 上限設定 ISO200～6400)、(マニュアルモード) ISO80～6400
	ライブストリーミング：ISO80～6400
ホワイトバランスモード	静止画・動画：オート、屋外、日陰、曇天、白熱灯 1、白熱灯 2、昼光色蛍光灯、昼白色蛍光灯、白色蛍光灯、電球色蛍光灯、色温度 (2500K～10000K) *3 ライブストリーミング：オート
シャッタースピード	静止画：(オート) 1/25000 秒～1/8 秒、 (シャッター優先モード) 1/25000 秒～15 秒 (マニュアルモード) 1/25000 秒～60 秒
	動画：(オート) 1/25000 秒～1/30 秒 (シャッター優先、マニュアル) 1/25000 秒～1/30 秒
	ライブストリーミング：(オート) 1/25000 秒～1/30 秒
撮影機能	静止画：ノイズ低減、DR 補正、HDR 合成、手持ち HDR、インターバル撮影、インターバル合成撮影、マルチブラケット撮影、セルフタイマー (2～10 秒)、マイセッティング
	動画：セルフタイマー (2～10 秒)、マイセッティング
電源	リチウムイオンバッテリー (内蔵)
電池寿命	静止画：約 300 枚
	動画：約 60 分
記録ファイル形式	静止画：RAW (DNG), JPEG (Exif Ver2.3)
	動画：MP4 映像：MPEG4 AVC/H.264、音声：AAC-LC (モノラル) +Linear PCM (4ch 空間音声)
	ライブストリーミング：映像：H.264、音声：Linear PCM (4ch)
外部インターフェース	USB Type-C(USB3.0)
リモートリリース	CA-3 に対応
レンズ構成	10 群 14 枚
F 値	F2.1, 3.5, 5.6

撮像素子 サイズ	1.0 型 (x2)
撮像素子 有効画素数	約 2,000 万画素 (x2)
出力画素数	約 2,300 万画素
無線標準規格】	IEEE802.11 a/b/g/n/ac (2.4GHz/5GHz)
	IEEE802.11 b/g/n (2.4GHz のみ)
	Bluetooth 4.2
無線対応チャンネル	2.4GHz : 1~11ch または 1~13ch
	5GHz : W52 (36~48ch, チャンネル帯域幅 20/40/80MHz に対応)



図 2.3.48 360°カメラ 外観

② 遠隔ショッピングシステム

ポケット・クエリーズ社が開発したソフトウェア iVoRi 360 をベースに遠隔ショッピングシステムを開発しました。ボックス社が提供するセキュアなクラウドコンテンツ管理ツール BOX と連携しファイル共有等を行いました。

③ ローカル 5G 端末 (スマートフォンタイプ)

ローカル 5G 端末 (スマートフォンタイプ)

ローカル 5G に対応した FCNT 社製のスマートフォン「SD01」です。

遠隔ショッピングシステムにて利用するハードウェア仕様は以下の通りです。

表 2.3.51 ローカル 5G 端末(スマートフォンタイプ)仕様

項目	仕様
製品名	FCNT ローカル 5G 対応スマートデバイス SD01
サイズ/質量	約 151.8x71.8x8.5mm/約 162g
CPU/モデム	Snapdragon765G (SM7250+SDX55M) Snapdragon 765G

メモリ	RAM:8GB ROM:128GB
OS	Android 11
ディスプレイ	約 6.3 インチ FullHD+ (2280×1080)、有機 EL
カメラ	フロント：16M, リア：48M+8M(広角)+ 深度リア：48MP+8MP (広角) +5MP (深度) /フロント：16MP
コネクティビティ	WLAN(802. 11a, b, g, n, ac2x2MIMO)/Bluetooth5. 1/ NFC+FeliCaWi-Fi (IEEE802. 11a, b, g, n, ac) /Bluetooth 5. 1/NFC+FeliCa
生体認証	指紋認証
外部 I/O	USB3. 1 (Type-C)
センサー	位置情報, 加速度, ジャイロ, 近接, 地磁気, 照度
電池容量	3, 600mAh
防水防塵	IPX5, 8/IP6X
SIM	nano SIM
ローカル 5G 対応バンド構成	5G(SA) : n79 (4. 6-4. 9GHz) 自営網として B39 (sXGP) に対応
公衆網対応バンド構成	LTE : B1、B3、B19、B21、B42 5G (NSA) : n78、n79



図 2.3.49 ローカル 5G 端末(スマートフォンタイプ) 外観

2.4 システム機能・性能・要件

2.4.1 ローカル 5G システム

本実証の課題実証にて利用する各システムについて、本実証の実施および目的の達成に必要な機能および性能を具備することを説明します。また、各システムの所要性能を明記し、ローカル 5G システム環境下での性能評価に利用しました。なお、次項課題解決システムの(1)については使用する場所が異なるため同時に使用しません。ローカル 5G システムに要求する所要性能としては、各場所に要求される UL スループット等を下表に示します。

表 2.4.1 ローカル 5G システム 所要性能

場所	UL スループット	対象区間
イチゴ栽培ハウス	75Mbps/ハウス	ローカル 5G 端末～ エッジサーバ
コーヒー栽培ハウス	55Mbps/ハウス	ローカル 5G 端末～ エッジサーバ
道の駅	69Mbps/店舗	ローカル 5G 端末～ルータ

2.4.2 課題解決システム

3つのシステムから構成しております、以下にそれぞれのシステムについて示します。

(1) 遠隔指導システム（イチゴ栽培ハウスおよびコーヒー栽培ハウス）

所要性能を下表に示します。

表 2.4.2

項目	条件
UL スループット	55Mbps/ハウス

UL スループットについては、360° カメラ 1 台あたり 20Mbps、MR ゴーグル 1 台あたり 5Mbps を必要とするため、1 ハウスあたり 360° カメラ 2 台、MR ゴーグル 3 台で所要性能としては計 55Mbps となります。そして、遠隔指導を行う際には果実の状況を細かく知るために、非常に高精細な映像/画像の伝送が必要とされることとなります。

本システムの機能・性能・要件を以下に示します。

現場の状況について 360° カメラを活用して確認し、現場に配置したドキュメントをホログラム越しに確認、現場空間へのマーキングによる指示を音声会話や映像/画像を見て作業実施します。

また、複数人でメタバース空間上の同一ドキュメントを閲覧・再生することも可能となりました。

本システムの機能・性能・要件を以下に示します。

<遠隔指導>

① 360° カメラ

- ・指導者が現場にいるかのようにリアルメタバース空間で指導するために高精細映像/画像を撮影可能であること。

② クラウド基盤

- ・360° カメラで撮影された映像/画像をリアルタイムでネットワークから受信し、カメラに映る作物を検知可能であること。
- ・検知結果をリアルタイム転送可能であること。

- ・画像処理システムや AI 解析システム等を柔軟に構成可能であること。
- ・実証利用に必要なリソース (CPU, MEM, DISK, GPU) が準備可能であること。

③ MR ゴーグル

- ・指導者が PC 上で指定したドキュメントおよび指示事項 (マーキング等) を作業者が現場でホログラム越しに確認でき、また音声会話ができること。

<収穫適期判定>

① MR ゴーグル

- ・作業者が収穫適期に判定に必要な高精細な映像を撮影可能であること。
- ・作業者が収穫適期判定の結果を閲覧できること。

② エッジサーバ

- ・MR ゴーグルで撮影した映像をもとに収穫適期判定が可能であること。

(2) イチゴ収穫・運搬システム (イチゴ栽培ハウス)

所要性能を下表に示します。

表 2.4.3 自動収穫・運搬システム 所要性能

項目	条件
UL スループット	20Mbps/ハウス

UL スループットについては、自動収穫・運搬ロボットに搭載されたエッジサーバ 2 台に遠隔地からリモート接続 (10Mbps/台) が必要となり、トータル容量については、20Mbps となる。

本システムの機能・性能・要件を以下に示します。

<イチゴ収穫・運搬ロボットシステム>

① カメラ

- ・果実の色彩判定状況を解析するデータとして高精細映像/画像が撮影可能であること。

② 自立走行型ロボット

- ・ビニールハウス内の高設架台間 (90 cm) を走行およびターンが可能であること。
- ・カメラ、センサー等を用いて自己位置認識し、自立走行が可能であること。

③ 収穫

- ・色彩判定した適期の果実を自動で損傷なく収穫できること。

④ 遠隔制御

- ・遠隔地からの収穫・運搬ロボットが制御可能であること。

(3) 遠隔ショッピングシステム (道の駅)

所要性能を下表に示します。

表 2.4.4 遠隔ショッピングシステム 所要性能

項目	条件
----	----

UL スループット	69Mbps/店舗
-----------	-----------

UL スループットについては、360° カメラ 1 台あたり 20Mbps を必要とするため、1 店舗あたり 6 台(運用上、定期的に 3 台ごとに切り替えを想定)の所要性能としては計 69Mbps となります。また、ローカル 5G 対応スマートフォン 3 台については 1 台あたり 3Mbps となります。

本システムの機能・性能・要件を以下に示します。

<遠隔ショッピング>

- ① 360° カメラ
 - ・道の駅の販売物とその位置を高精細映像/画像で撮影可能であること。
- ② クラウド基盤
 - ・360° カメラで撮影された映像/画像をリアルタイムでネットワークから受信し、カメラに映る商品や位置を検知可能であること。
 - ・検知結果をリアルタイム転送可能であること。
 - ・画像処理システムや AI 解析システム等を柔軟に構成可能であること。
 - ・実証利用に必要なリソース(CPU, MEM, DISK, GPU)が準備可能であること。
- ③ ローカル 5G 対応スマートフォン (FCNT)
 - ・遠隔ショッピングシステムに接続し、お客様からの呼び出し応答可能なこと。

2.5 その他

2.5.1 実証システムの拡張性等

本実証システムの拡張性等に関して、以下それぞれのシステムに分けて示します。

(1) ローカル 5G システム

構築するローカル 5G システムにおいては、3GPP 準拠の機器を使用し、将来的な機能拡張を考慮したシステム設計としました。拡張性については各機器の項に具体的に記載しております。

(2) 遠隔指導システム

- ① リアルメタバース空間を活用した遠隔指導システム

リアルメタバース空間を活用した遠隔指導システムは、Web、HoloLens 2 用アプリである Faci-L-lite XR Tiny 版として提供されており、オープンな技術で構成されているため、柔軟に機能追加ができる設計となっております。また、システム基盤は、Azure を採用しており、システム拡張においても柔軟に対応することが可能です。
- ② 収穫適期判定システム

収穫適期判定システムは、オープンなゲームエンジンである Unity を使って開発しており

ます。またイチゴの AI 判定については、公開されている学習モデルを使用する等、オープンな技術を使って構築しているため、機能拡張がしやすい設計になっております。

(3) イチゴ収穫・運搬ロボットシステム

本実証にて構築した自動収穫・運搬ロボットシステムは、ROS や OpenCV といった AI フレームワークには依拠しておりませんが、現在オープンソースとのハイブリッド化を進めています。ただし、オープンソースが増えるということは、ロボットの内部システムが統一されることで、差別化ができなくなってしまうことや、オープンソースなので安定版は少々遅れて実装されるといった弊害もあります。そのため、本実証のロボットの横展開としては、導入した各地域のエンジニアや生産者が協力して必要な機能を拡張するのが適切だと考えています。

本実証のシステムは移動ロボットとマニピュレータの組み合わせたものであるため、柔軟に機能拡張が可能です。具体的な例としては薬剤タンクと機材を積んで作業者を追従するものや、枝選定作業の補助・枝結束のための機械を搭載したものが上げられ、様々な作業を可能にする機能を後付けで実装できると考えます。今後の農作業シーンにおいては、草刈りモジュールを搭載した自動圃場草刈り、カメラを搭載し圃場状態の監視・管理しながらの自動走行、散布モジュールを搭載した無人の自動散布等を考えております。他にも、イチゴだけでなく、梨やぶどう等他品種での実証実績もあり、十分に拡張性と展開性を兼ねそなえております。

(4) 遠隔ショッピングシステム

遠隔ショッピングシステムは、Android、iOS アプリである iVoRi360 で提供されており、オープンな技術で構成されているため、柔軟に機能追加ができる設計となっております。また、システム基盤は、AWS を採用しており、システム拡張においても柔軟に対応することが可能です。

2.5.2 実証システムの安全性確保のための対策

(1) 特定高度情報通信技術活用システム

構築するローカル 5G システムにおいては、3GPP 準拠の機器を使用し、将来的な機能拡張を考慮したシステム設計としました。

ローカル 5G 等を含む本実証で導入するシステムについては「開発供給計画認定」を受けた実績はございませんが、「IT 調達に係る国等の物品等または役務の調達方針および調達手続きに関する申し合せ」（関係省庁；令和 3 年 7 月一部改正）等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じました。

機器メーカーであるサムスン社による具体的な対策状況は、以下の通りです。

・米国国家情報保証パートナーシップ (NIAP) 製品準拠リスト (PCL) およびカナダサイバーセキュリティセンターの認定製品リストに認定されています。

また、代表機関である東日本電信電話株式会社は ISMS 認証を取得しており、情報セキュリティが十分に確保されるように適正に管理しています。また業務委託先に機密情報を提供するにあた

り、安全かつ適切な取り引きを行うためのセキュリティ調査を行います。また業務委託先が、再委託を行う場合には再委託実施時の安全管理措置について確認します。確認項目は以下のとおりです。

- ・機密情報を取り扱う業務委託の実施にあたって、情報を適正に取り扱うと認められる企業等を選定するための基準が設けられている。
- ・受託した業務の全部または一部を第三者に再委託する際は、弊社が求める水準またはそれと同等の水準を満たす事業者を選定することを、弊社との秘密保持契約において遵守する。
- ・機密情報を取り扱う業務委託契約を締結する際は、情報の取り扱い方法（受け渡しから廃棄まで）等の契約要件を明確化し、契約書を締結している。
- ・業務委託を実施する際は、締結した契約書に基づき、契約要件が履行されているか定期的および不定期に確認（点検）している。

(2) その他の実証システム

本実証で導入する課題解決システムについては、「IT 調達に係る国等の物品等または役務の調達方針および調達手続きに関する申し合せ」（関係省庁；令和3年7月一部改正）3等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じました。なお、サプライチェーンの詳細については、「サプライチェーンリスク対策に関わる資料」に示しております。

本実証では、クラウドサービスを利用しており、外部のネットワークへの接続やデータ伝送を行いました。個人情報の管理等を含め、情報の流通経路全般にわたるセキュリティが適切に確保されるよう、情報の流通経路全般を見渡し、必要なセキュリティとしてクラウド側は実績のあるセキュアな構成を組むとともに、拠点側はFWやSyslogサーバ等の対策を実施しました。インターネットからの不正アクセスの防止、ログの保全等のセキュリティを実施しました。

本実証において、実施する課題実証の要件に対応し、必要に応じて機能改善を行えるように進めました。

横展開が容易に実現可能とするため、各システムのサービスがクラウド上での構築を許容する場合はクラウド利用とし、共有利用環境とスケーラビリティを確保しました。

本実証では、開発を伴う機器等としては、収穫適期判定システム、自動収穫・運搬ロボット、遠隔ショッピングアプリとなります。

本機器等について、事前に試験環境で環境要因を極力排除した機器固有の性能を確認しました。また、開発を伴わない機器についても、ベンダの品質保証試験評価データ等を入手するか、入手が困難な場合は事前に試験環境で環境要因を極力排除した機器固有の性能を確認しました。

また実証開始前に、実証参加する生産者や販売員等に対し、システム利用に関する研修を実施し、実証目的および実証内容等を説明しました。実証期間中、連絡体制を構築し、実証参加者等からの問い合わせ等への対応と不具合発生時の現地駆けつけ対応の体制を整備し、迅速な原因の特定と対処に努めました。

※本実証中の実証環境に係る不具合や問い合わせ等は記録し、本報告の際に改めて取りまとめ、トレーサビリティの確保を致します。

3. ローカル 5 G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要

本実証ではビニールハウス 2 拠点に基地局を 1 基ずつ設置しローカル 5G の環境構築および技術検証を行いました。ローカル 5G システムのエリア構築に関する技術の確立およびエリア構築の柔軟性向上を技術実証の目的とし下記 2 つのテーマに取り組みました。

- テーマ I. 電波伝搬モデルの精緻化
- テーマ II. エリア構築の柔軟性向上

テーマ I ではビニールハウスの周辺環境における効率的なエリア構築を目標にフルーツパーク DETO と秋田食産コーヒーハウス 2 つの環境において 4.8GHz 帯におけるパラメータ S の精緻化を実施しました。テーマ II では、課題実証システムの運用上隣接する 3 つのビニールハウスをエリア化する必要があるフルーツパーク DETO において、1 基地局だけではカバーしきれず受信電力が減衰するエリアに対してリピーター活用による受信電力・伝送性能の改善度合いを検証・評価し本ユースケースにおけるリピーターの活用可能性を示しました。

本実証では 4.8GHz 帯におけるエリア算出式の精緻化を行うとともにリピーター利用条件やリピーター利用におけるエリア設計手法を取りまとめ技術審査基準改定に向けた提言を行うことで、農業分野における効率的なエリア設計手法・活用モデルを示し同ユースケースの横展開に資する知見等を示すことを目標としました。

3.2 実証環境

実証環境を以下に示します。本実証では、ビニールハウスを有する圃場 2 拠点にローカル 5G 環境を構築し課題解決システムの各種検証を行いました。具体的には下記に示すイチゴ農場であるフルーツパーク DETO とコーヒー農場である秋田食産コーヒーハウスにて実証を行いました。

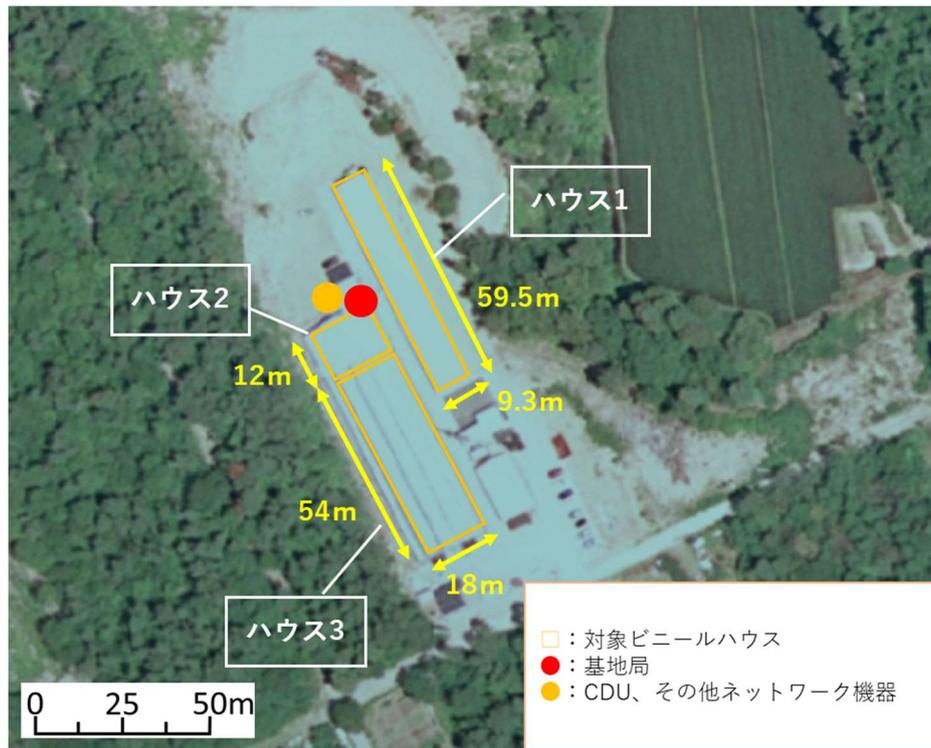


図 3.2.1 フルーツパーク DETO 実証環境
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

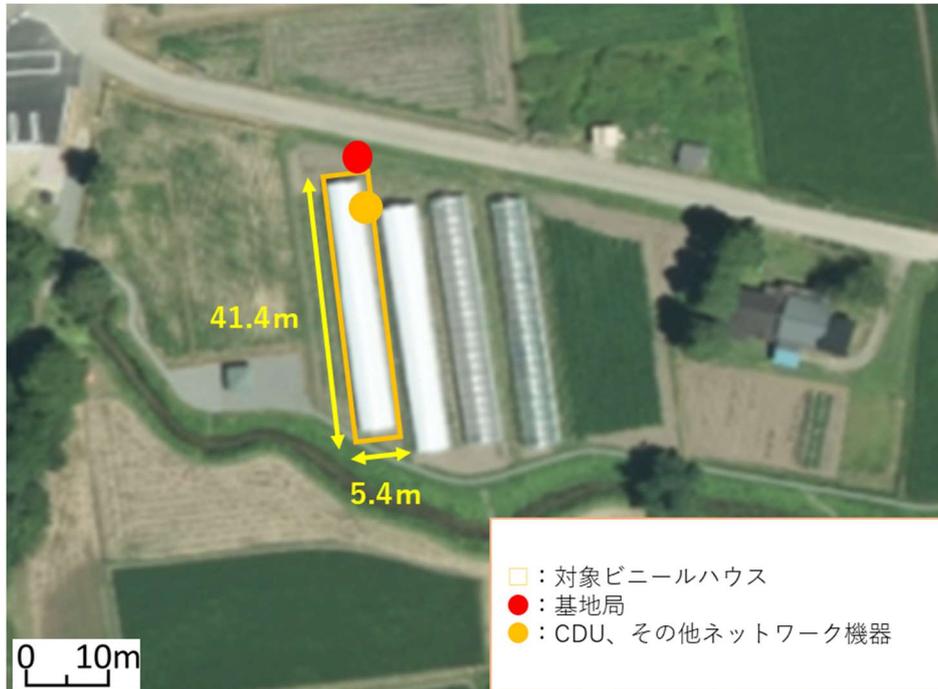


図 3.2.2 秋田食産コーヒーハウス 実証環境
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

本実証では、秋田食産コーヒーハウスのみ「2.3 ネットワーク・システム構成」で示した指向

性アンテナを使用しました。理由としては、不要なエリアカバーの最小化が挙げられます。本実証環境のように特定の比較的狭いエリアのみのカバーを必要とする場合、指向性の強いアンテナを使用することでカバーエリアを絞り、結果的に不要なエリアカバーを最小化出来ると考えました。フルーツパーク DETO では隣接する3つのハウスをエリア化するため中央地点に屋外基地局を設置し無指向性アンテナを選定し広く電波を発射するよう設計しました。また、道の駅おおゆでも不要なカバーエリアを最小化しつつ建物全体をカバーエリアとするために、無指向性アンテナを選定して建物中央に配置しました。

また、本実証ではビニールハウス近傍の屋外に基地局を設置し、ビニールハウス内部へ電波を発射しました。理由としていずれのハウスもイチゴの栽培棚やコーヒーの木のようにハウス屋内に高さのある遮蔽物が多く、屋外のハウス近傍にポールを立て上方向から電波を発射することで遮蔽物による電波の減衰を最小限に抑えエリア化が可能との考えから屋外基地局を選定しました。また、施工上の観点からハウス屋内に基地局を設置するにはハウスの天井付近の高い位置へ設置し電波を発射する必要がありますが、ハウス骨組みの強度から重量のある基地局の設置は難しいことが懸念される他、ハウス内部を一定の温度に保つためシートの開閉機構がついており天井付近への設置が物理的に困難であると想定されるため、ハウス屋外への基地局設置としました。

3.3 実施事項

3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化

(1) 実証の目的・目標

1) 背景となる技術的課題と実証目的

本実証では農業というユースケースのうち、ビニールハウスを有するルーラルエリアの圃場というフィールドにおいてローカル 5G を用いたソリューションを適用させることを想定し、その電波伝搬モデルの精緻化を行うことを目的としました。

日本全国において数多く存在するビニールハウスを有する農園において、第4章で記載する遠隔指導、自動収穫・運搬ロボットのような各種システムは農業分野で重視されている生産性向上、省力化という課題解決に対し非常に有用なソリューションとなります。本ユースケースを普及展開していくために、同様のルーラルエリアのビニールハウスを有する圃場環境における最適なエリア設計手法を示すことが重要です。実証地であるフルーツパーク DETO・秋田食産コーヒーハウスの周辺は樹木や田畑に囲われた環境となっており、フィールド周辺の遮蔽物によってエリア算出法で机上計算したカバーエリア端・調整対象区域端と閾値が実測されるエリア端に乖離が生じることが考えられます。本実証では 4.8GHz 帯におけるパラメータ S (選択基準の詳細化) の精緻化を目的とし実環境を考慮した補正值 S を導出しました。

また、「3.3.2 エリア構築の柔軟性向上」で検証するリピーター利用時のように複数送信点が隣接する場合には、それぞれ発射する電波が合成されカバーエリア端・調整対象区域端について机上計算より広く電波が到達する恐れがあります。しかし電波法関係審査基準で定められているエリア算出法では、このような複数の送信点が隣接するモデルにおける詳細な算出法が明示されていません。本実証において複数の送信点が隣接する際のエリア算出法について改善提言に資する知見を示すことを目的としました。



図 3.3.1 フルーツパーク DETO ハウス1の外観



図 3.3.2 フルーツパーク DETO 周辺環境



図 3.3.3 フルーツパーク DETO 基地局設置位置



図 3.3.4 秋田食産コーヒーハウス 外観



図 3.3.5 秋田食産コーヒーハウス 周辺環境



図 3.3.6 秋田食産コーヒーハウス 基地局設置位置

2) 実証目標

エリア算出法の伝搬損失式のうち、4.8GHz 帯における S（選択基準の詳細化）のパラメータの精緻化を実施しました。本パラメータの精緻化を実施することで、同様の農業ユースケースを展開する際のエリア設計の一例を示し、エリア設計の精度向上に寄与することを目標としました。

また、本実証のように基地局とリピーターが隣接する場合、カバーエリアおよび調整対象区域

の受信電力は双方の機器から受信する電力の総和となることが考えられます。しかし電波法関係審査基準で定められているエリア算出法では、このような複数の送信点が隣接するモデルにおける詳細な算出法が明示されていません。本実証において基地局単独運用した場合とリピーター運用した場合とを比較し、仮説とした総和の受信電力と比較・評価することで、複数の送信点が隣接する際のエリア算出法について改善提言に資する知見を示すことを目標としました。

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

同様のビニールハウスを有する圃場環境を対象にした令和3年度 課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証の No. 3「新型コロナからの経済復興に向けたローカル 5G を活用したイチゴ栽培の知能化・自動化の実現」実証では、S（選択基準の詳細化）のパラメータの精緻化を目標にイチゴ畑花園（埼玉県深谷市）と農研機構（茨城県つくば市）の両拠点で定点測定によって取得した実測値で精緻化を行っています。本実証では、精緻化の精度を向上させるため定点測定に加えて歩行測定を実施しより多くのサンプルから精緻化を行いました。実測結果から基地局から測定点までの距離区間ごとの伝搬損失の特性を分析し、シミュレーション結果と比較することで、農業環境における適切な S 値を提言しました。また、過年度実証では基地局から測定点まで遮蔽物が多い NLOS 環境と、開けており見通しの良い LOS 環境の複数地点の測定結果より統一の S 値を導出した結果、精緻化後の S 値を導入したシミュレーションと実測図に乖離が生まれる結果となっています。本実証では S の精緻化において支配的要因となる LOS・NLOS ごとに S の精緻化を行いました。例えば NLOS の中でもハウスによって見通し外となる地点と樹木によって見通し外となる地点といった形で細分化し分析・考察を行い個別の S 値を導出し周辺の遮蔽環境に応じた最適な S を選択できるように提言を行いました。

また、実証前仮説検討についても精度を高める目的でレイトレース法によるシミュレーション結果を用いて仮説の S 値を定めました。実証後に測定データを分析・考察した S 値をエリア算出法に適用した場合の結果とレイトレースシミュレーションのどちらがより実測結果に近似した結果を得られるか比較検討し、ルーラルエリアの圃場における最適なエリア設計手法の提言を行いました。

さらに、従来のエリア算出法の改定に資する知見を示すことを目標に、本実証環境のように基地局とリピーターという 2 つの送信点が隣接する場合の最適なエリア算出モデルを検討する点でも発展性・新規性があります。

(2) 実証仮説

課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証の No. 3「新型コロナからの経済復興に向けたローカル 5G を活用したイチゴ栽培の知能化・自動化の実現」における実証環境のイチゴ畑花園（埼玉県深谷市）および農研機構（茨城県つくば市）と類似しています。令和3年度上記実証の成果報告書において、電波伝搬モデルの精緻化をテーマとした実証の中では、定点測定によって取得した実測値から拡張秦式における S 値を次のとおり導出しています。

表 3.3.1 昨年度実証における精緻化後 S 値

環境	補正後の S[dB]
仮説	12.3
イチゴ畑花園	24.4
農研機構	29.2

イチゴ畑花園(埼玉県深谷市)で $S=24.4$ 、農研機構(茨城県つくば市)では $S=29.2$ という結果を得ており、この S 値はエリア算出式における郊外地($S=12.3$)と開放地($S=32.5$)のおおよそ中間に位置しています。

フルーツパーク DETO と秋田食産コーヒーハウスにおいても近似した S 値になると推測することができ、仮説値は郊外地と開放地の中間の $S=22.4$ と想定されますが、本実証では仮説 S 値の精度を高める目的で、レイトレース法によるシミュレーション結果を用いて仮説の S 値を定め仮説エリア図を作成します。

レイトレース法とは電波を「光」に見立てて伝搬経路を求める計算手法のことで、この計算手法を用いたシミュレーションをレイトレースシミュレーションと言います。今回採用した Ranplan Professional の 3D レイトレースシミュレーションは 3 次元光線追跡モデルとなり、エリア算出法ではできなかった遮蔽物による電波の損失・回折・反射等を再現可能なため、実環境での電波伝搬に近いシミュレーションが可能です。レイトレースシミュレーションの採用により、精度の高い仮説 S 値が得られることを期待する一方で、シミュレーション精度はシミュレーションに使用する 3D モデルの精度に依存するため、高精度の結果を得るには実環境の遮蔽物の位置や材質、地形等を 3D モデルにて正確に再現する必要があります。さらにシミュレーション時間も要することから、レイトレースシミュレーションの有効性については費用対効果の面からの考察も必要と考え、(5)実証結果および考察にて実測結果とも比較し分析・考察しています。

表 3.3.2 仮説 S の導出手順

項番	大項目	小項目
1	算出法エリア図の作成	<ul style="list-style-type: none"> エリア算出法シミュレーションでのカバーエリア/調整対象区域図を作成
2	レイトレースシミュレーションの作成	<ul style="list-style-type: none"> RANPLAN 社の Ranplan Professional を利用してレイトレースシミュレーションを作成
3	シミュレーション伝搬損失カーブの作成	<ul style="list-style-type: none"> レイトレースシミュレーション結果から基地局からの距離に対する伝搬損失をプロットし、中央値からシミュレーション伝搬損失カーブを作成
4	仮説 S 値の導出	<ul style="list-style-type: none"> エリア算出法の伝搬損失計算式を用いて基地局からの距離に対するエリア算出法伝搬損失カーブを作成 エリア算出法伝搬損失カーブとシミュレーション伝

		搬損失カーブの差 (ΔS) は $S=32.5$ (開放地) との差分であるため仮説 S 値 $=32.5 - \Delta S$ によって導出
--	--	--

フルーツパーク DETO、秋田食産コーヒーハウスはいずれも「図 3.3.2」「図 3.3.5」のように田畑や樹木に囲われたルーラルエリアであることから開放値相当とし $S=32.5$ で算出法エリア図を作成しました。なお、秋田食産コーヒーハウスと比較しフルーツパーク DETO は樹木が周辺に多く存在する環境ですが、測定を行う冬季は枝葉が少なく樹木を介しても見通しがあると想定し開放地相当と考えました。

なお、本実証で使用する基地局は 4 ポートのうち 2 ポートのみ SSB(※1)発射を行う装置のため送信電力を半分の値である送信電力(P_t) -3 [dB]として算出しました。また、人体吸収損はエリア算出式上 8dB が指定されていますが、測定結果のゆらぎを防止するため本実証では人体吸収の影響が生じないように測定を行うことから考慮しないものとししました。

上記より本実証において受信電力を計算する際の計算式は、次のとおりとします。

受信電力(P_r) = 送信電力(P_t) -3 [dB] + 送信アンテナ利得(G_t) $-$ 送信給電線損失(L_f) $-$ 伝搬損失(L)

100MHz 幅のときカバーエリア・調整対象区域の閾値は次のように置き換えて扱うものとしします。

- カバーエリアの閾値は -79.6 [dBm] ($=-84.6$ [dBm] : 電波法関係審査基準の値 -3 [dB] $+8$ [dB])
- 調整対象区域の閾値は -86.0 [dBm] ($=-91.0$ [dBm] : 電波法関係審査基準の値 -3 [dB] $+8$ [dB])

また、本実証では受信電力に代えて SS-RSRP を測定しました。100MHz 幅のとき、受信電力と SS-RSRP の換算は次の式で行います。

SS-RSRP[dBm] = 受信電力(P_r) [dBm] -35.15 [dB]

(※ -35.15 [dB]は $1/(12 \times 273)$ を dB 表記したもの)

SS-RSRP に換算した際のエリアの閾値は次のとおりです。

- カバーエリアの閾値は -114.75 [dBm] ($=-79.6$ [dBm] -35.15 [dB])
- 調整対象区域の閾値は -121.15 [dBm] ($=-86.0$ [dBm] -35.15 [dB])

※1 : Synchronization Signal Block 同期信号ブロック

フルーツパーク DETO、秋田食産コーヒーハウスのエリア算出法によるカバーエリアおよび調整対象区域を「表 3.3.3」より算出し「図 3.3.7」～「図 3.3.12」のように図示しました。

表 3.3.3 基地局パラメータ情報

	フルーツパーク DETO	秋田食産コーヒーハウス
アンテナ名	VH360-3450FTD	X25-3545FTD

送信出力	23[dBm/Port] (2ポート合計 26[dBm])	14[dBm/Port] (2ポート合計 17[dBm])
設置位置 緯度	39.84859105	39.40916691
設置位置 経度	140.03184515	140.55110470
アンテナ方位角	—	185[°]
アンテナチルト角	—	25[°]
利得	0.052[dB] (アンテナ利得・給電線損失・コネクタ損失等を含む)	16.052[dB] (アンテナ利得・給電線損失・コネクタ損失等を含む)
アンテナ高	地上 4[m]	地上 4[m]
計算メッシュ	屋外 : 5[m]	屋外 : 5[m]

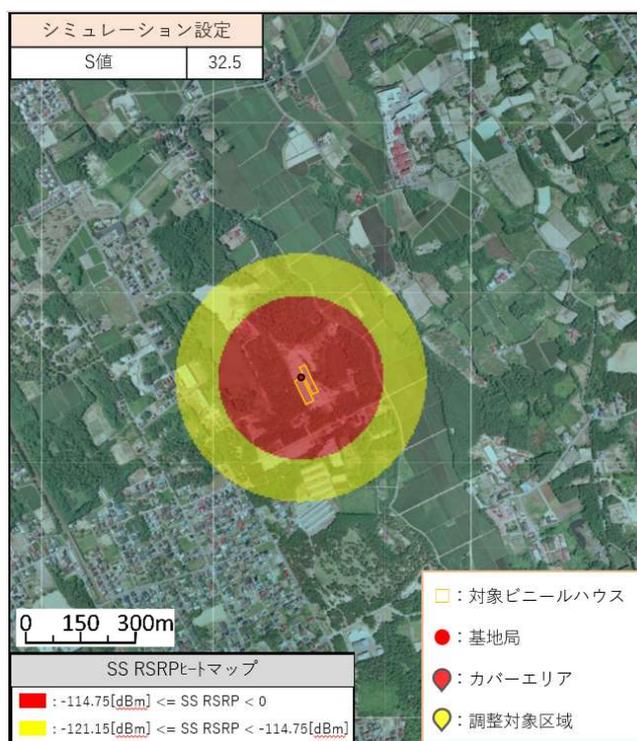


図 3.3.7 フルーツパーク DETO 算出法エリア図
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

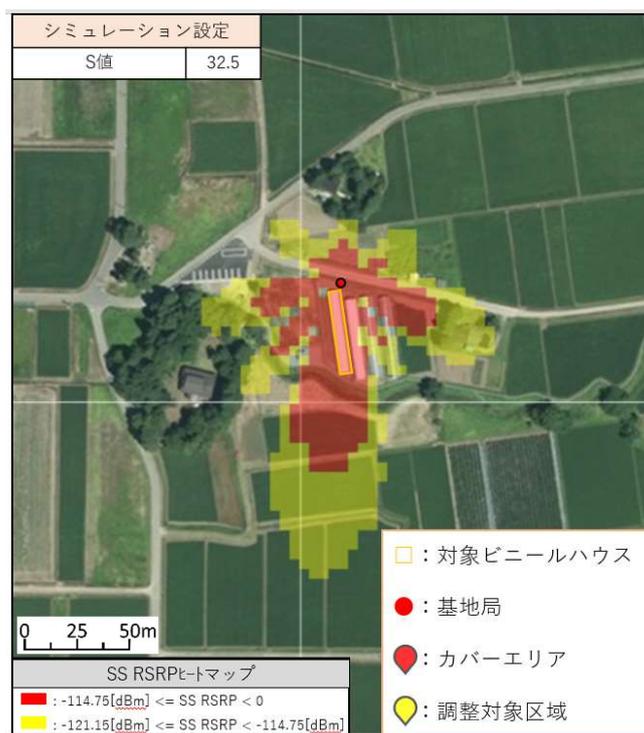


図 3.3.8 秋田食産コーヒーハウス 算出法エリア図
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

続いてレイトレースシミュレーション結果を下記「図 3.3.9」～「図 3.3.12」に示します。

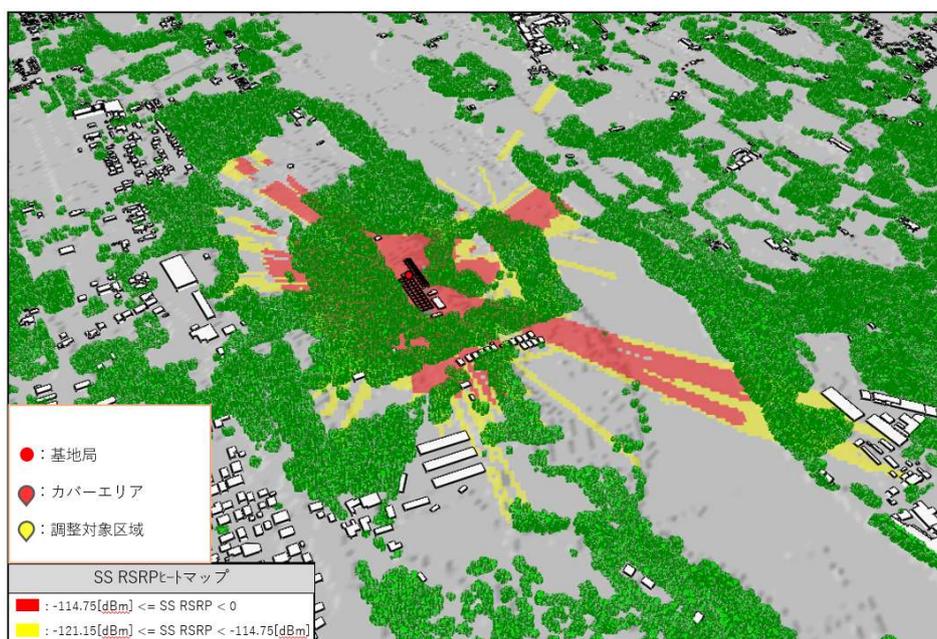


図 3.3.9 フルーツパーク DETO レイトレースシミュレーション結果(3D)

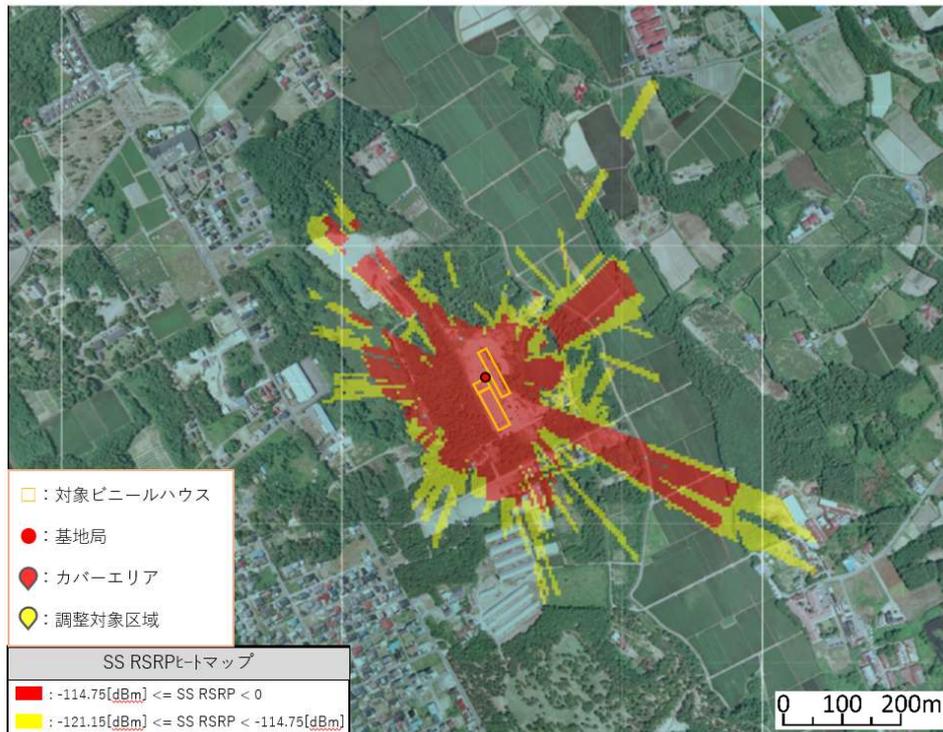


図 3.3.10 フルーツパーク DETO レイトレースシミュレーション結果
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

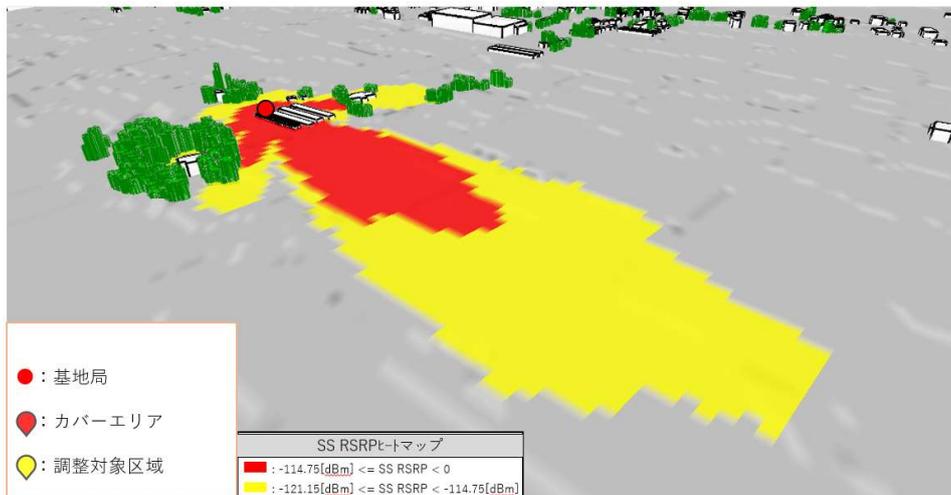


図 3.3.11 秋田食産コーヒーハウス レイトレースシミュレーション結果(3D)

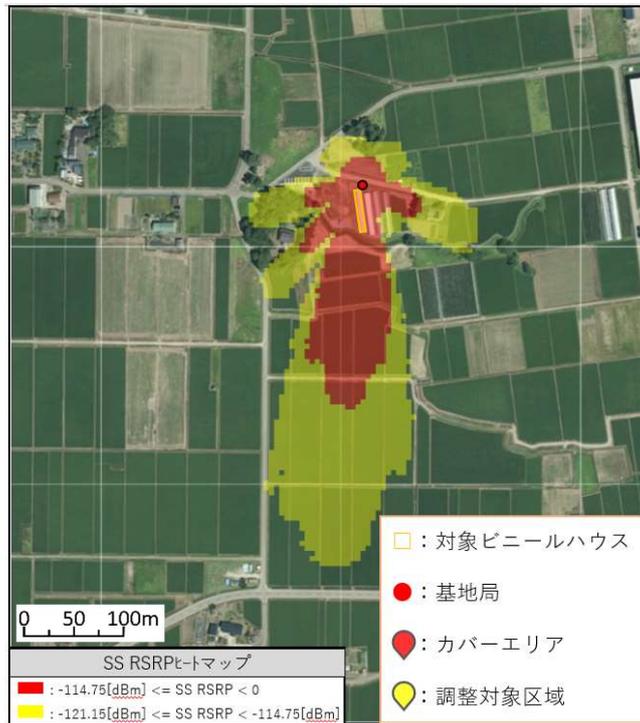


図 3.3.12 秋田食産コーヒーハウス レイトレースシミュレーション結果
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

レイトレースシミュレーション結果より、基地局からの距離に対する伝搬損失の特性についてシミュレーション伝搬損失カーブを作成しました。また、エリア算出法の伝搬損失計算式からエリア算出法損失カーブを作成しました。

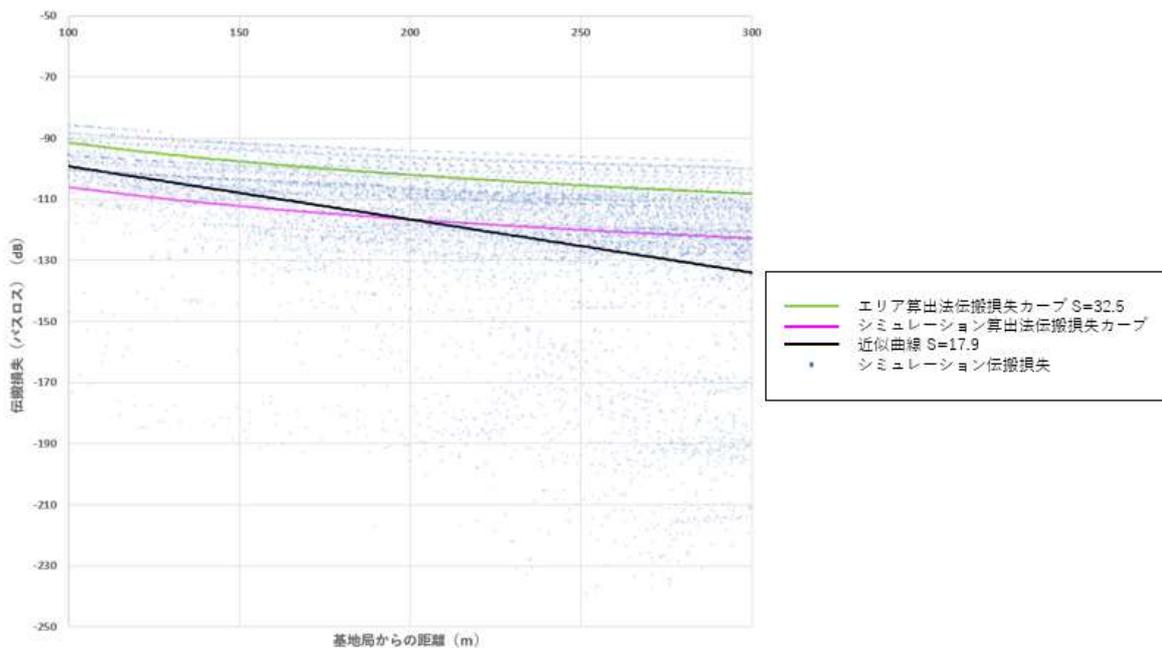


図 3.3.13 フルーツパーク DETO シミュレーション伝搬損失カーブ

基地局からの距離が同じ地点であっても伝搬損失値にばらつきが生じていますが、これは各ポ

イントが LOS か NLOS による差異であり、NLOS の中でもその方位ごと樹木の密集度によって大きく伝搬損失が変わるためです。

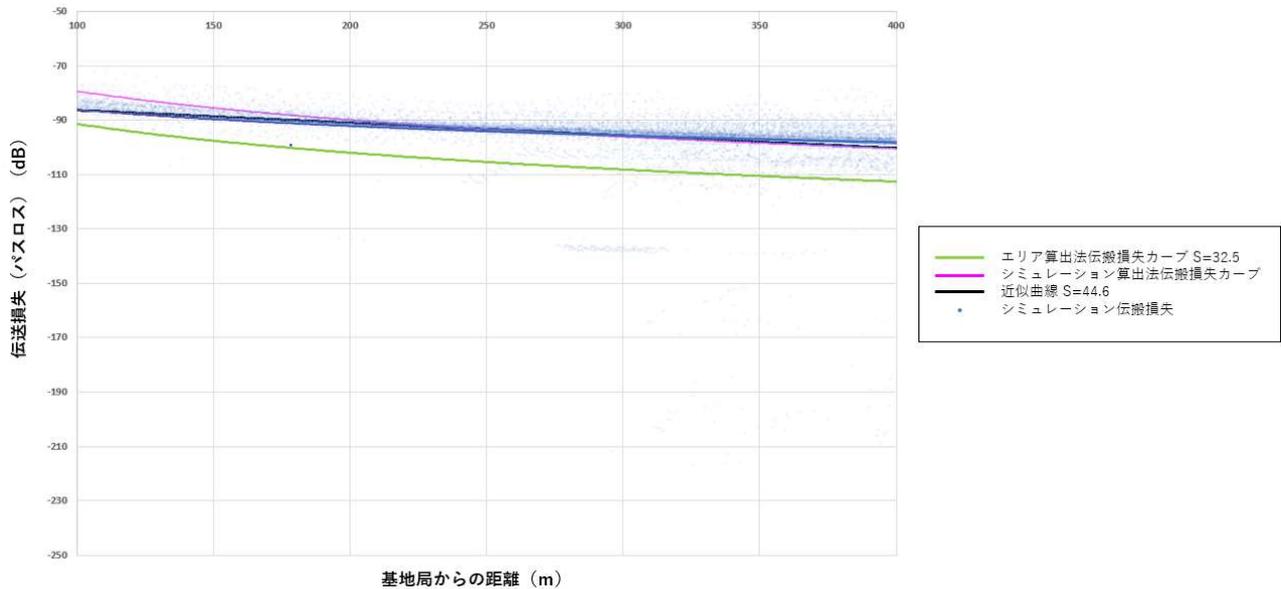


図 3.3.14 秋田食産コーヒーハウス シミュレーション伝搬損失カーブ

エリア算出法伝搬損失カーブとシミュレーション伝搬損失カーブの差 (ΔS) より、仮説 $S=32.5 - \Delta S$ によって導出しフルーツパーク DETO は仮説 $S=17.9$ 、秋田食産コーヒーハウスは仮説 $S=44.6$ を導出しました。仮説エリア図を以下の「図 3.3.15」「図 3.3.16」のように作成しました。



図 3.3.15 フルーツパーク DETO 仮説エリア図
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

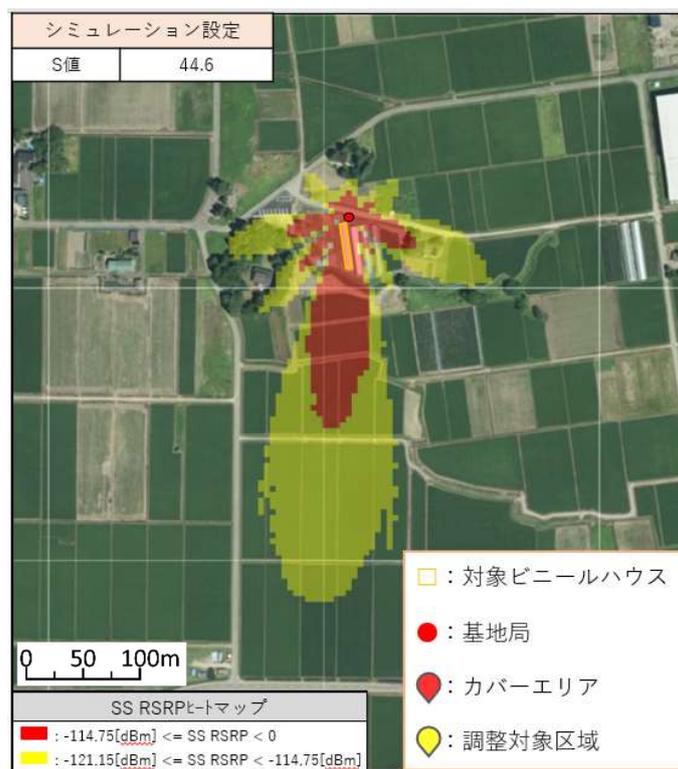


図 3.3.16 秋田食産コーヒーハウス 仮説エリア図
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

また、本実証環境のように基地局とリピーターという2つの送信点が隣接する設計の場合、各測定点の受信電力は複数アンテナから受信する電力の総和となると仮定します。なお、仮説の受信電力値は精緻化後のSを用いて算出し実測値と比較を行います。

(3) 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下の表の通りです。

表 3.3.4 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	S の精緻化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測定点における SS-RSRP シミュレーションと仮説 S 値の導出 ・ 測定点における SS-RSRP 実測値の確認 ・ 基地局と測定点の位置関係（距離・高さ）の確認 ・ 測定点から基地局までの見通し・主な遮蔽物の確認 ・ 実測値から S 値の算出 ・ 実測値から得られた S 値と仮説 S 値の比較と、差分の要因分析 ・ S 値の精緻化 ・ レイトレースシミュレーション値と実測結果の比較 ・ 差分が生じる場合は要因分析
2	リピーター運用時における受信電力の総和の仮説検討および実測との差分確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測定点に対して基地局とリピーターからの受信電力の総和を机上計算（このときの S 値は項番 1 で精緻化した値を参照）

(4) 評価・検証方法

本実証では、精緻化に有効な測定点を多く確保するため、最初に各実証地で歩行測定による SS-RSRP ヒートマップを作成し定点測定位置を決定する手順としました。また、精緻化後の S で算出法エリア図を作成し実測結果と比較する他レイトレースシミュレーションと実測結果との比較も行い、その有用性について考察を行いました。

「

表 3.3.4]の項番1に関する試験手順は以下の「
表 3.3.5]の通りです。

表 3.3.5 S の精緻化の試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	<p>【歩行測定によるヒートマップ作成および測定点の選定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実証環境エリアにおいて SS-RSRP の歩行測定を実施 ・ 歩行測定の結果から実証環境エリアの SS-RSRP ヒートマップを作成 ・ シミュレーション結果およびヒートマップから精緻化対象となる定点測定の測定点を選定 ・ 算出法エリア図と仮説エリア図のカバーエリアおよび調整対象区域端における測定点として、基地局からの距離、方向が異なる測定点を 30 地点以上選定 ・ 複数の方位でのエリア算出法に定めるカバーエリアおよび調整対象区域の閾値がそれぞれ実測される測定点を選定 ・ その他精緻化に有効と思われる測定点を選定 	<p>図 3.3.17 図 3.3.19 ～ 図 3.3.26</p>
2	<p>【定点測定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ SS-RSRP を測定 ・ エリア算出式の条件に倣い、測定器は空中線利得 0dBi、給電線損失 0dB、空中線地上高 1.5m で測定 ・ 定在波の影響を避けるため、1つの測定点において 10λ (λ は波長 の範囲) で測定位置を動かしながら測定を実施 ・ 人体吸収損の影響を除去するため、測定中は作業による人体遮蔽が発生しない措置を講ずる ・ 1つの測定点において 1000 サンプル以上取得 ・ 取得したサンプルから中央値、標準偏差、上位 10%値、下位 10%値を算出 ・ SS-RSRP の中央値から受信電力を算出 	<p>図 3.3.18</p>
3	<p>【分析および考察】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 定点測定の結果から、基地局からの距離に対する伝搬損失の特性カーブ(実測損失カーブ)を作成 ・ 実測結果の傾向によっては複数のカーブを作成 	<p>図 3.3.29 図 3.3.30</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実測損失カーブから精緻化 S 値を算出 ・ 実測損失カーブとシミュレーション損失カーブ図を比較 ・ 精緻化後 S 値にてエリア算出法シミュレーションでのカバーエリア/調整対象区域図の作成(精緻化後エリア図) ・ 精緻化後エリア図と実測結果を比較し、差異について検証・考察 ・ レイトレースシミュレーション結果と実測結果を比較し、適合率を割り出す 	
--	--	--



図 3.3.17 OneAdvisor800 を用いた歩行測定イメージ

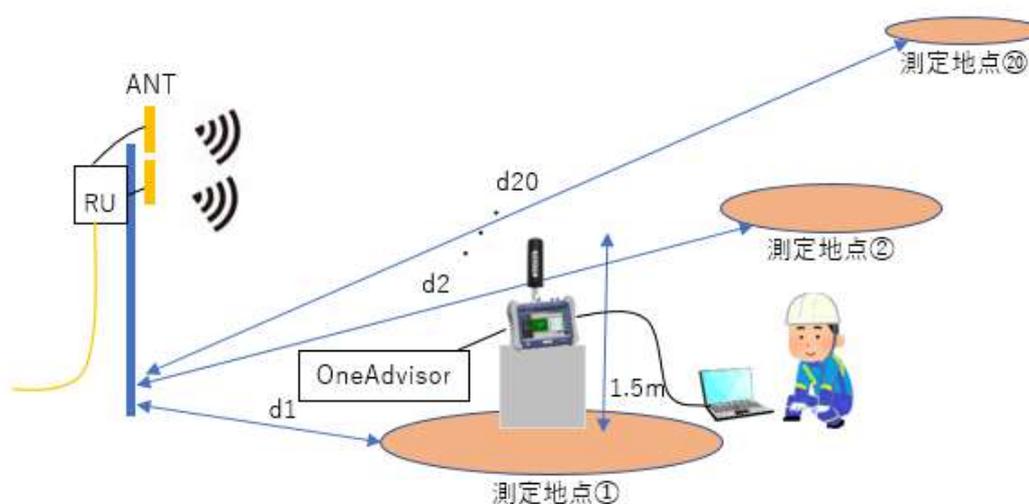


図 3.3.18 OneAdvisor800 を用いた定点測定イメージ

また、本実証では従来のエリア算出法に定められていない基地局とリピーターという2つの送信点が隣接する場合の最適なエリア算出モデルを検討するため測定点ごと各アンテナの受信電力の総和を求めた仮説受信電力の値と、実測結果を比較し差分について考察しました。「

表 3.3.4」の項番 2 に関する試験手順は以下の「表 3.3.6」の通りです。

表 3.3.6 リピーター運用時における受信電力の総和の仮説検討および実測との差分確認の試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	・ 測定点ごとに各アンテナの受信電力の総和を求め仮説受信電力値の一覧表を作成	表 3.3.29
2	・ リピーター設置後の受信電力の測定	
3	・ 測定結果より仮説と実測値の差分確認 ・ 測定結果および差分確認事項より、考察の実施	

「表 3.3.5」の工程1より、定点測定点を確定させるために実証環境エリアで歩行測定を実施し、SS-RSRP ヒートマップを作成しました。立ち入り可能なエリアにて全方位満遍なく歩行測定し電波環境の確認を行いました。

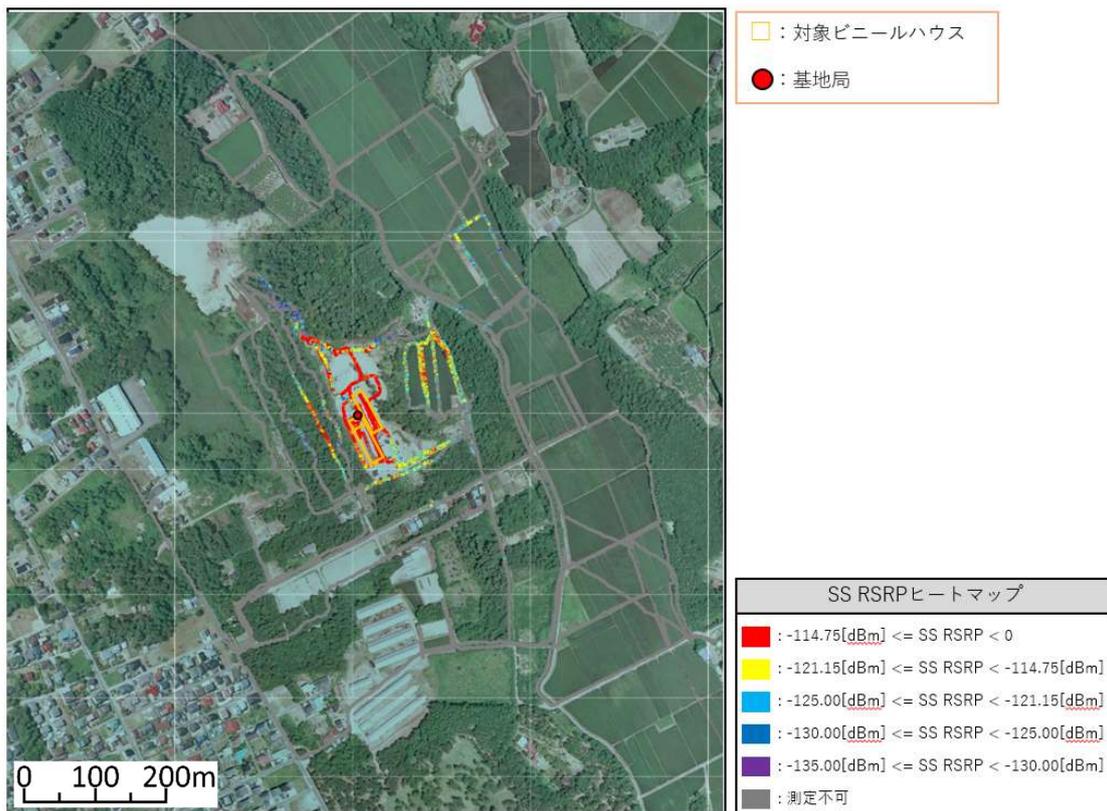


図 3.3.19 フルーツパーク DETO SS-RSRP ヒートマップイメージ
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

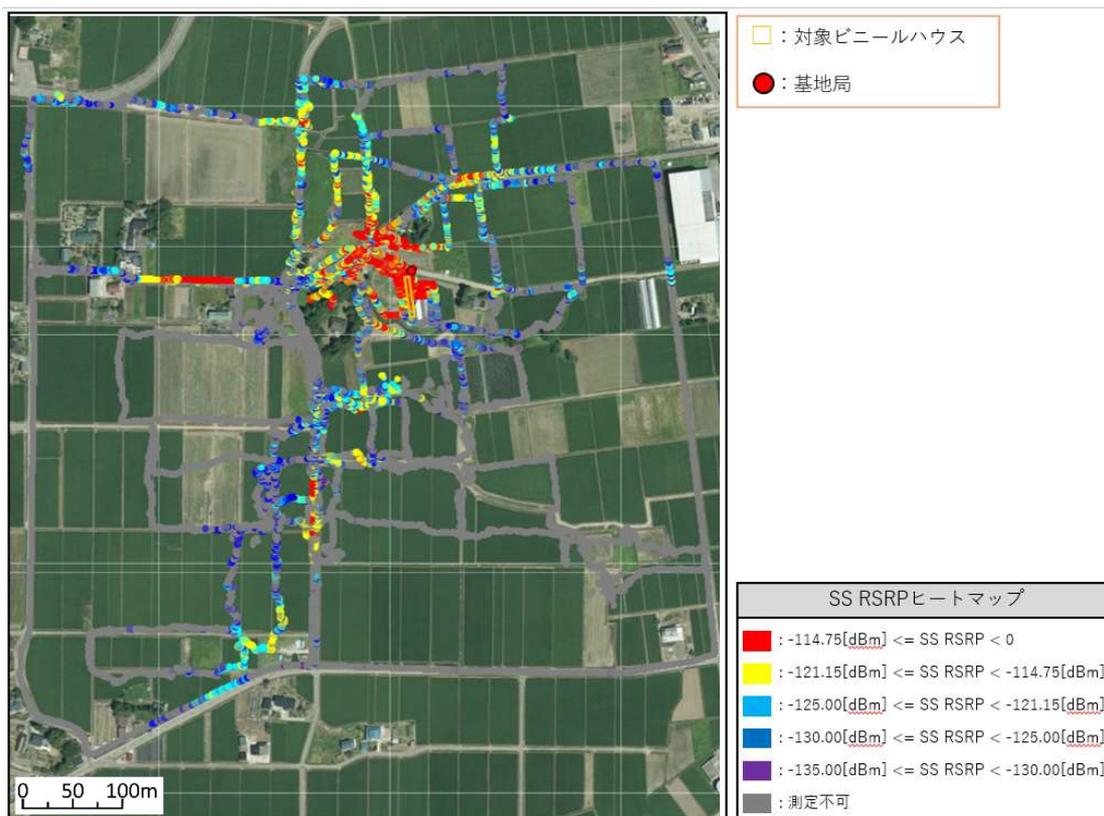


図 3.3.20 秋田食産コーヒーハウス SS-RSRP ヒートマップイメージ
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

続いてシミュレーション結果と SS-RSRP ヒートマップをもとに測定点を選定しました。フルーツパーク DET0 では算出法エリア図上で 4 方位に分けカバーエリア端 4 ポイント、調整対象区域端 4 ポイントを選定し、レイトレースシミュレーション結果より導出した $S=17.9$ を用いて作図した仮説エリア図上では各方位満遍なくカバーエリア端 8 ポイント・調整対象区域端 10 ポイントを選定しました。

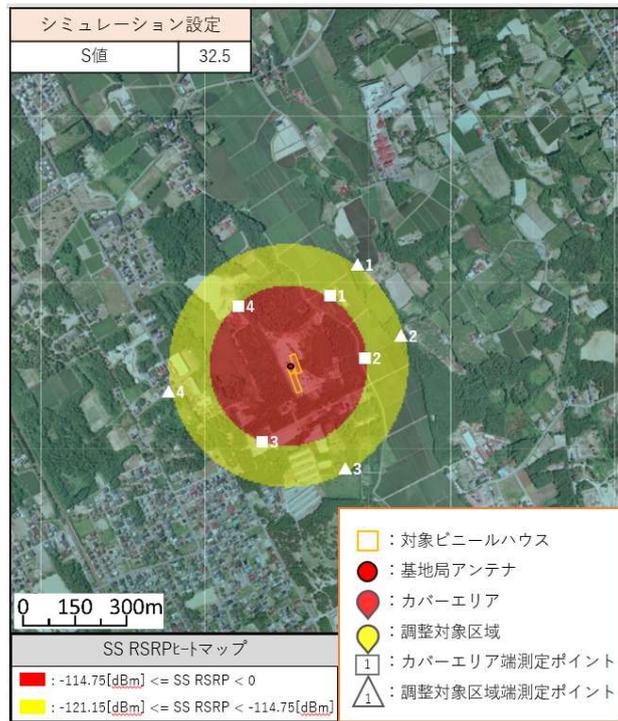


図 3.3.21 フルーツパーク DETO
 算出法エリア図におけるカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL: <https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成)

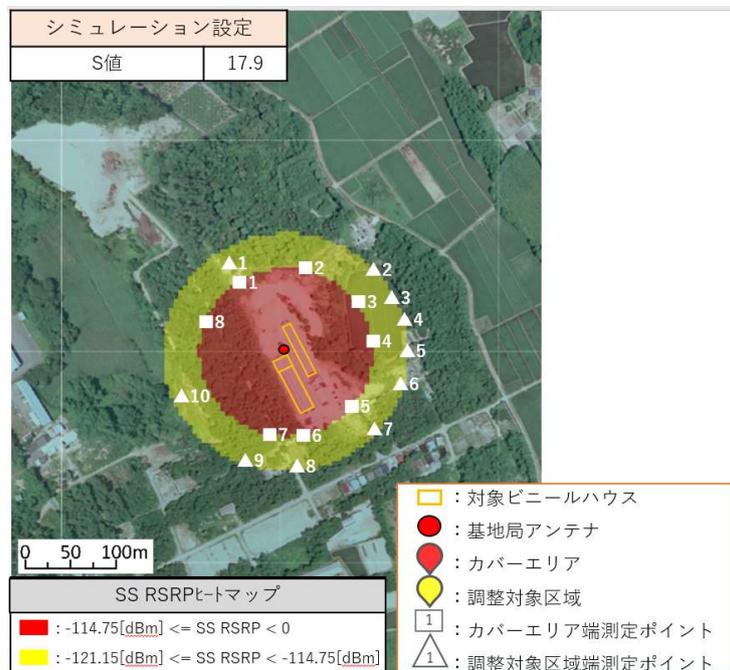


図 3.3.22 フルーツパーク DETO
 仮説エリア図におけるカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL: <https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成)

秋田食産コーヒーハウスでは算出法エリア図上の指向方向でカバーエリア端 8 ポイント、調整対象区域端 8 ポイントを選定し、レイトレースシミュレーション結果より導出した $S=44.6$ を用いて作図した仮説エリア図上ではカバーエリア端 8 ポイント・調整対象区域端 10 ポイントを選定しました。

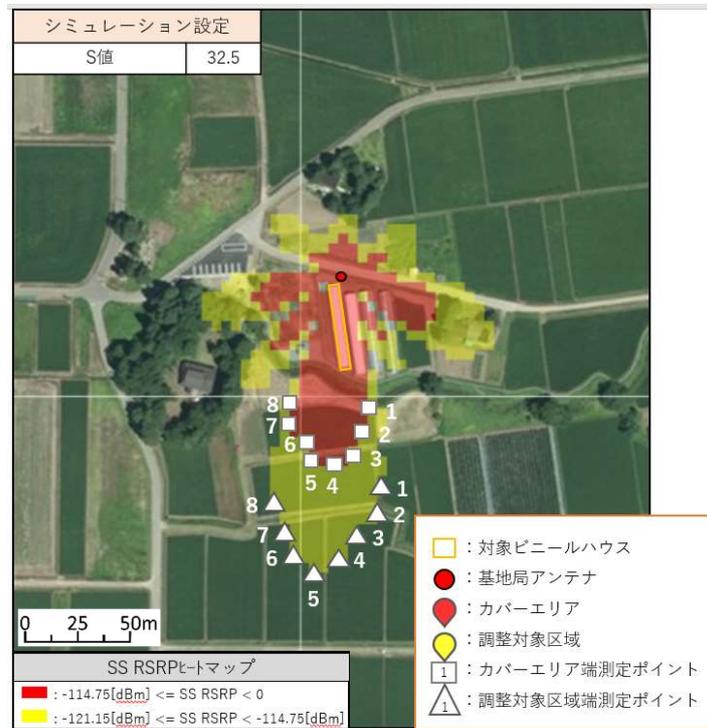


図 3.3.23 秋田食産コーヒーハウス
算出法エリア図におけるカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

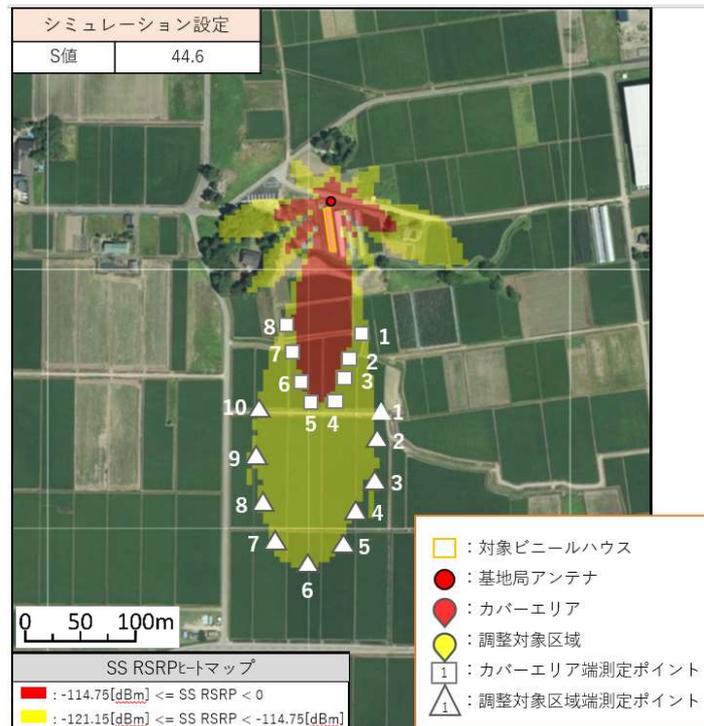


図 3.3.24 秋田食産コーヒーハウス 仮説エリア図における
カバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント

(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

上記「図 3.3.21」～「図 3.3.24」で選定した測定点で実測値を測定しました。測定点では測定点情報として LOS・NLOS、基地局との水平・3D 距離、実測受信電力値を計測しエリア算出法で算出した受信電力と実測値の差分をまとめました。

また、フルーツパーク DETO・秋田食産コーヒーハウスにおいてエリア算出法上のカバーエリアの閾値、調整対象区域の閾値が実測される地点で定点測定を行い基地局から測定点の距離をまとめました。「図 3.3.25」「図 3.3.26」は実測端のイメージ図です。

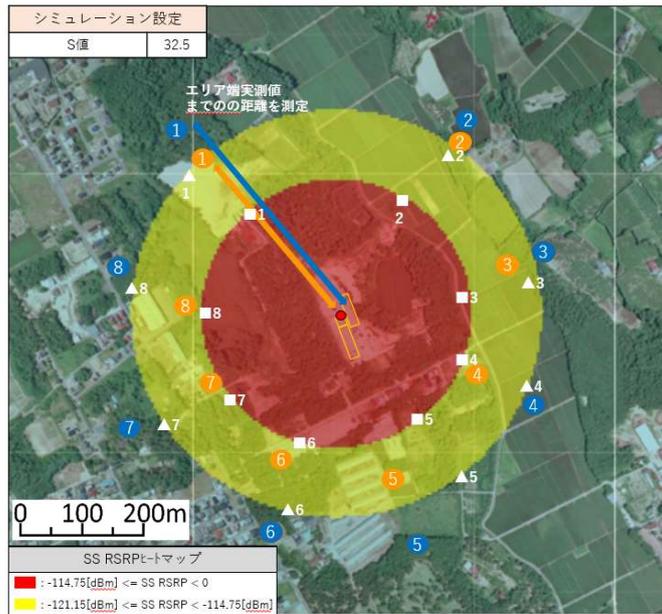


図 3.3.25 フルーツパーク DETO

カバーエリアおよび調整対象区域の閾値が実測された基地局からの距離のイメージ
(国土地理院(電子国土 Web)(URL: <https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成

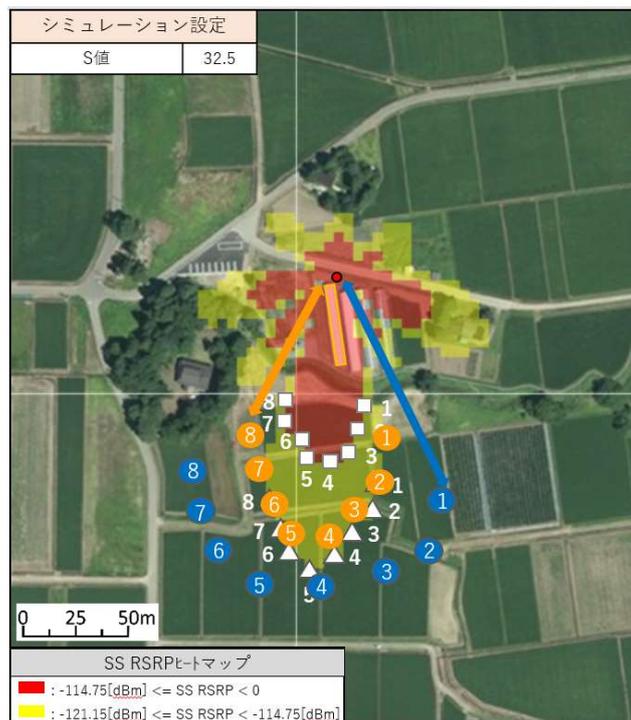


図 3.3.26 秋田食産コーヒーハウス

カバーエリアおよび調整対象区域の閾値が実測された基地局からの距離のイメージ
(国土地理院(電子国土 Web)(URL: <https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成

(5) 実証結果および考察

1) S の精緻化

評価・検証項目で定義した測定点「図 3.3.21」～「図 3.3.26」で定点測定を行い、各測定点の LOS・NLOS、基地局と測定点の 3D・水平距離、エリア算出法で算出した受信電力（SS-RSRP）、実測値をまとめます。

まず、フルーツパーク DETO の算出法エリア図「図 3.3.21」上のカバーエリア・調整対象区域端における実測結果を以下の「表 3.3.7」「表 3.3.8」に示します。

表 3.3.7 フルーツパーク DETO 算出法エリア図における
カバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイ ント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離 [m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	差分 [dB]	実測 値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	1	234.84	234.57	-107.04	-122.88	-15.84	1.69	-120.25	-125.33
2	1	234.18	233.97	-108.00	-	-	-	-	-
3	1	238.02	237.91	-110.48	-	-	-	-	-
4	1	228.65	228.58	-111.75	-	-	-	-	-

※表の「-」記載箇所はエリアテストの受信電力下限値が SS-RSRP-130dBm であるため、下限値を下回り測定不可となったポイントです。以降も同様です。

表 3.3.8 フルーツパーク DETO 算出法エリア図における
調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイ ント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離 [m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	差分 [dB]	実測 値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	1	325.47	325.33	-113.03	-122.12	-9.09	2.68	-118.48	-125.97
2	1	332.35	332.19	-112.67	-	-	-	-	-
3	1	322.69	322.64	-116.66	-	-	-	-	-
4	1	332.98	332.90	-115.27	-	-	-	-	-

続いてフルーツパーク DETO の仮説エリア図「図 3.3.22」上のカバーエリア・調整対象区域端における実測結果を以下の「表 3.3.9」「表 3.3.10」に示します。

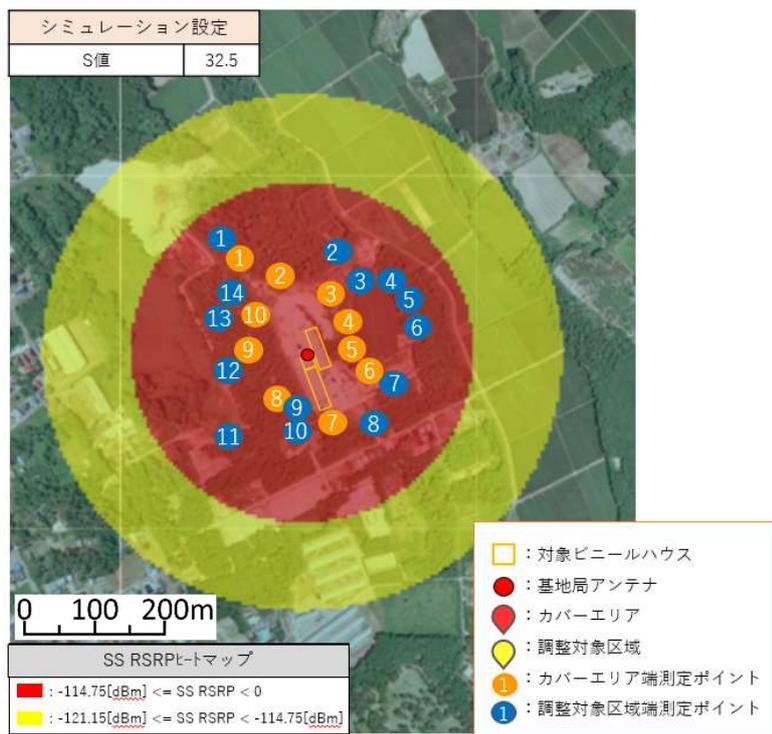
表 3.3.9 フルーツパーク DETO 仮説エリア図における
カバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイ ント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離 [m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	差分 [dB]	実測 値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	0	118.28	118.27	-112.71	-106.01	6.69	0.81	-104.46	-107.33
2	1	104.59	104.22	-100.95	-124.46	-23.51	2.52	-120.08	-128.71
3	1	109.09	108.55	-101.31	-123.89	-22.58	3.43	-118.43	-129.48
4	1	82.19	81.48	-100.10	-125.38	-25.29	2.85	-120.91	-129.77
5	1	94.12	94.05	-102.76	-123.75	-20.98	3.12	-118.89	-129.20
6	1	88.43	88.34	-101.95	-119.08	-17.13	3.25	-114.54	-125.31
7	1	89.70	89.54	-100.35	-126.62	-26.27	2.09	-123.70	-129.40
8	1	92.24	92.15	-101.97	-118.77	-16.81	2.56	-114.87	-123.13

表 3.3.10 フルーツパーク DETO 仮説エリア図における
調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイ ント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離 [m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	差分 [dB]	実測 値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	0	131.99	131.97	-110.74	-107.51	3.24	0.94	-106.00	-109.29
2	1	117.64	117.14	-101.63	-119.14	-17.51	3.15	-115.19	-125.57
3	1	109.87	109.34	-101.37	-117.32	-15.94	5.17	-112.71	-127.96
4	1	101.31	100.72	-101.05	-121.10	-20.05	3.18	-116.07	-126.90
5	1	100.36	99.77	-100.96	-126.60	-25.64	2.56	-122.43	-130.52
6	1	120.20	119.98	-101.67	-120.54	-18.86	2.46	-116.38	-124.82
7	1	111.05	111.03	-107.46	-125.22	-17.76	3.05	-120.40	-130.12
8	1	111.82	111.65	-101.20	-127.74	-26.54	2.13	-125.29	-130.57
9	1	114.76	114.60	-101.83	-128.82	-26.99	0.57	-127.78	-129.57
10	1	108.42	108.04	-101.07	-127.01	-25.93	1.32	-125.38	-128.75

続いてフルーツパーク DETO にてカバーエリアの閾値、調整対象区域の閾値が実測された地点の実測結果と、基地局からの距離について以下の「図 3.3.27」「表 3.3.11」「表 3.3.12」に示します。



測定点	距離[m]	測定点	距離[m]
1	125.87	1	141.26
2	103.22	2	147.55
3	78.53	3	119.21
4	57.60	4	145.35
5	41.91	5	139.98
6	86.62	6	144.58
7	90.71	7	122.99
8	73.49	8	114.74
9	74.50	9	67.28
10	76.39	10	89.26
		11	94.35
		12	98.12
		13	108.44
		14	115.89

図 3.3.27 フルーツパーク DETO

カバーエリアおよび調整対象区域の閾値が実測された基地局からの距離
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

表 3.3.11 フルーツパーク DETO カバーエリアの閾値が実測された基地局からの距離

測定 ポイ ント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離 [m]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	実測値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	0	125.87	125.87	-115.42	2.05	-111.85	-118.80
2	1	103.23	103.22	-114.77	0.77	-113.71	-116.32
3	1	78.53	78.53	-114.40	1.03	-112.75	-116.31
4	1	58.01	57.60	-114.85	1.57	-112.39	-117.92
5	1	42.31	41.91	-114.48	1.05	-113.54	-116.95
6	1	86.82	86.62	-113.19	2.04	-109.92	-116.89
7	1	90.80	90.71	-114.32	0.73	-112.96	-115.35
8	1	73.62	73.49	-114.61	0.79	-113.15	-115.87
9	1	74.68	74.50	-114.48	0.70	-113.54	-115.89
10	1	76.42	76.39	-114.79	0.45	-113.98	-115.55

表 3.3.12 フルーツパーク DETO 調整対象区域の閾値が実測された基地局からの距離

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平 距離 [m]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	実測値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	1	141.28	141.26	-119.44	3.00	-115.89	-126.16
2	1	147.56	147.55	-119.09	1.36	-116.94	-121.66
3	1	119.69	119.21	-119.53	0.93	-118.24	-121.30
4	1	145.66	145.35	-121.17	0.84	-120.01	-122.92
5	1	140.25	139.98	-122.08	2.06	-118.88	-125.80
6	1	144.85	144.58	-121.88	1.08	-120.20	-123.81
7	1	123.32	122.99	-121.33	1.69	-117.89	-123.76
8	1	115.24	114.74	-121.23	2.87	-117.29	-127.10
9	1	67.64	67.28	-120.03	2.29	-115.60	-122.34
10	1	89.46	89.26	-120.62	2.15	-117.64	-125.16
11	1	94.38	94.35	-122.59	1.40	-120.43	-125.03
12	1	98.26	98.12	-121.14	1.30	-118.93	-123.31
13	1	108.56	108.44	-121.18	2.69	-117.13	-125.97
14	1	116.01	115.89	-121.78	3.11	-116.39	-125.75

続いて秋田食産コーヒーハウスの算出法エリア図「図 3.3.23」上のカバーエリア・調整対象区域端における実測結果を以下の「表 3.3.13」「表 3.3.14」に示します。

表 3.3.13 秋田食産コーヒーハウス 算出法エリア図における
カバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平 距離 [m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	差分 [dB]	実測 値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	1	65.63	65.44	-111.36	-125.65	-14.29	2.75	-122.80	-130.14
2	0	80.04	79.89	-112.16	-116.94	-4.78	1.55	-114.02	-119.44
3	1	94.83	94.70	-111.16	-125.58	-14.42	3.84	-123.35	-131.11
4	1	96.20	96.07	-108.72	-126.92	-18.20	4.13	-124.88	-134.31
5	0	94.92	94.73	-108.26	-121.02	-12.76	1.08	-119.41	-123.14
6	0	89.76	89.56	-107.77	-122.35	-14.57	3.96	-120.29	-130.52

7	0	87.44	87.24	-112.00	-114.78	-2.78	1.52	-113.12	-117.08
8	0	72.57	72.40	-114.35	-119.45	-5.10	2.91	-117.24	-123.34

表 3.3.14 秋田食産コーヒーハウス 算出法エリア図における調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平 距離 [m]	エリア 算出法 での SS-RSRP [dBm]	実測値 SS-RSRP 中央値 [dBm]	差分 [dB]	実測 値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	0	108.32	108.20	-117.06	-122.90	-5.84	2.61	-119.24	-126.07
2	0	118.58	118.47	-116.51	-122.36	-5.85	2.93	-119.43	-126.18
3	0	129.44	129.34	-115.06	-124.49	-9.43	2.90	-122.56	-128.21
4	0	138.89	138.80	-117.30	-130.44	-13.14	3.58	-127.79	-137.81
5	0	147.24	147.15	-116.48	-137.84	-21.36	7.10	-132.66	-149.45
6	0	136.54	136.45	-114.90	-122.28	-7.38	1.85	-120.18	-125.25
7	0	135.10	135.01	-117.02	-125.49	-8.47	2.99	-123.24	-129.62
8	0	119.98	119.83	-114.73	-119.10	-4.37	1.38	-117.66	-120.98

続いて秋田食産コーヒーハウスの仮説エリア図「図 3.3.24」上のカバーエリア・調整対象区域端における実測結果を以下の「表 3.3.15」「表 3.3.16」に示します。

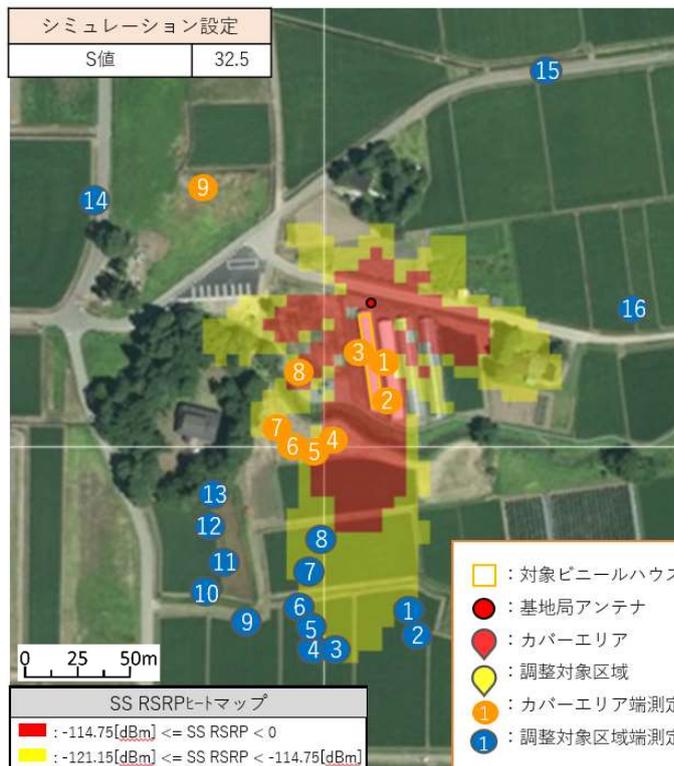
表 3.3.15 秋田食産コーヒーハウス 仮説エリア図におけるカバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平 距離 [m]	エリア 算出法 での 受信電力 [dBm]	実測値 受信電力 SS-RSRP 中央値 [dBm]	差分 [dB]	実測 値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	0	116.28	116.18	-115.44	-121.35	-5.91	2.45	-119.43	-124.07
2	0	137.22	137.13	-118.24	-117.29	0.95	2.12	-115.76	-120.01
3	0	154.73	154.68	-121.53	-119.66	1.87	2.72	-118.41	-123.07
4	0	181.38	181.34	-122.85	-	-	-	-	-
5	0	180.89	180.82	-120.15	-	-	-	-	-
6	0	159.58	159.50	-117.29	-	-	-	-	-
7	0	136.80	136.71	-117.75	-123.29	-5.54	2.67	-120.67	-127.12
8	0	120.89	120.74	-114.06	-114.94	-0.88	0.86	-113.35	-116.40

表 3.3.16 秋田食産コーヒーハウス 仮説エリア図における調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平 距離 [m]	エリア 算出法 での 受信電力 [dBm]	実測値 受信電力 SS-RSRP 中央値 [dBm]	差分 [dB]	実測 値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	0	205.91	205.87	-131.20	-129.12	2.08	3.24	-127.02	-132.99
2	0	228.14	228.11	-130.66	-123.40	7.26	2.73	-121.21	-128.08
3	0	268.84	268.79	-129.20	-	-	-	-	-
4	0	284.20	284.15	-127.83	-	-	-	-	-
5	0	306.67	306.63	-128.23	-131.34	-3.11	1.56	-128.97	-134.99
6	0	330.18	330.15	-128.44	-	-	-	-	-
7	0	311.67	311.61	-126.80	-	-	-	-	-
8	0	289.38	289.32	-127.02	-	-	-	-	-
9	0	247.80	247.75	-127.46	-	-	-	-	-
10	0	205.81	205.75	-126.68	-122.92	3.76	3.10	-120.99	-127.54

続いて秋田食産コーヒーハウスにてカバーエリアの閾値、調整対象区域の閾値が実測された地点の実測結果と、基地局からの距離について以下の「図 3.3.28」「表 3.3.17」「表 3.3.18」に示します。



測定点	距離[m]	測定点	距離[m]
①	25.36	①	140.97
②	46.94	②	145.66
③	28.46	③	145.60
④	63.32	④	144.65
⑤	69.09	⑤	139.91
⑥	72.90	⑥	133.41
⑦	71.04	⑦	120.06
⑧	48.07	⑧	105.82
⑨	89.53	⑨	152.69
		⑩	146.90
		⑪	133.33
		⑫	119.28
		⑬	112.10
		⑭	121.48
		⑮	118.07
		⑯	108.93

図 3.3.28 秋田食産コーヒーハウス
 カバーエリアおよび調整対象区域の閾値が実測された基地局からの距離
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

表 3.3.17 秋田食産コーヒーハウス カバーエリアの閾値が実測された基地局からの距離

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離 [m]	実測値 受信電力 SS-RSRP 中央値 [dBm]	実測値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	1	25.68	25.36	-114.46	1.27	-112.50	-116.97
2	0	47.11	46.94	-114.30	0.81	-113.45	-116.19
3	1	28.74	28.46	-114.47	0.86	-113.01	-116.00
4	0	63.52	63.32	-114.44	1.41	-113.32	-117.68
5	0	69.27	69.09	-114.45	1.68	-112.99	-118.66
6	0	73.07	72.90	-114.22	0.83	-113.20	-115.70
7	0	71.22	71.04	-114.14	1.23	-113.00	-116.28
8	0	48.33	48.07	-114.24	1.08	-113.25	-115.96
9	0	89.62	89.53	-114.73	0.77	-113.59	-116.29

表 3.3.18 秋田食産コーヒーハウス 調整対象区域の閾値が実測された基地局からの距離

測定 ポイン ト	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平 距離[m]	実測値 受信電力 SS-RSRP 中央値 [dBm]	実測値 σ	実測値 SS-RSRP 上位 10% [dbm]	実測値 SS-RSRP 下位 10% [dbm]
1	0	141.05	140.97	-120.66	2.24	-119.02	-123.47
2	0	145.72	145.66	-120.93	1.93	-119.46	-123.09
3	0	145.69	145.60	-120.89	1.54	-119.14	-123.07
4	0	144.73	144.65	-120.97	2.94	-119.31	-124.66
5	0	140.00	139.91	-120.92	2.23	-119.38	-123.95
6	0	133.50	133.41	-120.70	2.45	-119.10	-124.18
7	0	120.16	120.06	-120.63	2.07	-119.40	-123.32
8	0	105.99	105.82	-120.79	0.67	-119.49	-121.90
9	0	152.81	152.69	-120.83	2.12	-119.82	-123.24
10	0	147.02	146.90	-121.03	1.48	-120.05	-122.55
11	0	133.46	133.33	-121.02	2.46	-119.48	-124.52
12	0	119.43	119.28	-121.06	0.83	-120.00	-122.34
13	0	112.26	112.10	-121.01	1.17	-119.69	-122.33
14	0	121.54	121.48	-121.06	1.44	-119.37	-124.14
15	0	118.09	118.07	-120.94	0.63	-119.87	-122.09
16	0	108.95	108.93	-120.88	1.25	-119.09	-122.44

上記の実測結果より本実証環境における精緻化後 S 値を導出します。フルーツパーク DETO・秋田食産コーヒーハウスにおいて基地局から 100m以上の地点で取得した定点測定の実測結果より基地局からの距離に対する実測損失カーブを作成しました。なお、フルーツパーク DETO では LOS 環境下での測定データが 3 ポイントのみであったため NLOS 環境下の取得結果から S 値を導出、秋田食産コーヒーハウスでは NLOS 環境下における測定データが 100m以上では該当なしのため LOS 環境下の取得結果から S 値を導出しています。

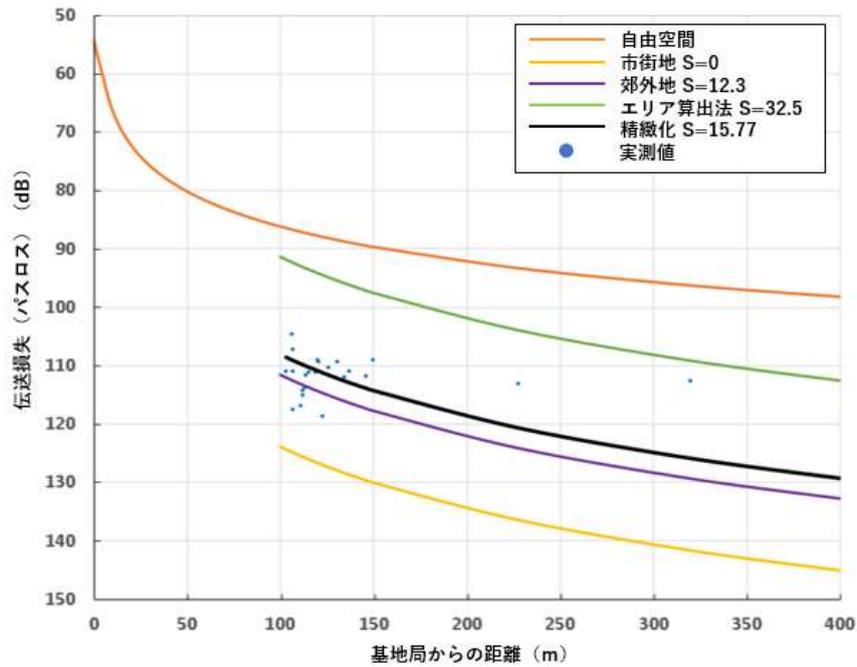


図 3.3.29 フルーツパーク DETO 実測損失カーブ(NLOS)

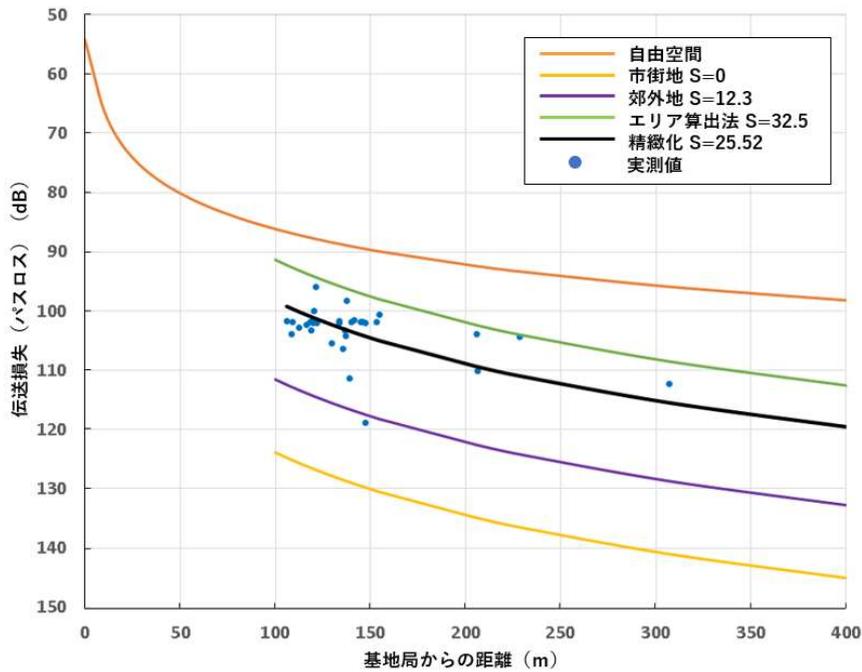


図 3.3.30 秋田食産コーヒーハウス 実測損失カーブ(LOS)

エリア算出法伝搬損失カーブと実測伝搬損失カーブの差 (ΔS) より、精緻化後の $S=32.5 - \Delta S$ によって導出し、下記の精緻化後 S 値を導出しました。

- フルーツパーク DETO : $S(NLOS)=15.77$
- 秋田食産コーヒーハウス : $S(LOS)=25.52$

導出した精緻化後 S 値を評価するため、精緻化後 S 値のエリア算出値と実測値をフルーツパーク DETO と秋田食産コーヒーハウスそれぞれで比較し差分を求めました。

表 3.3.19 フルーツパーク DETO カバーエリアの閾値実測値と精緻化後(S=15.77)の算出式の比較

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平距離 [m]	実測値の 受信電力 SS-RSRP [dBm]	精緻化後の エリア算出式 による受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
1	0	125.87	125.87	-115.42	-129.52	14.10
2	1	103.23	103.22	-114.77	-127.20	12.43
3	1	78.53	78.53	-114.40	-123.70	9.30
4	1	58.01	57.60	-114.85	-105.28	-9.57
5	1	42.31	41.91	-114.48	-99.65	-14.83
6	1	86.82	86.62	-113.19	-113.73	0.54
7	1	90.80	90.71	-114.32	-116.60	2.28
8	1	73.62	73.49	-114.61	-111.27	-3.34
9	1	74.68	74.50	-114.48	-110.92	-3.56
10	1	76.42	76.39	-114.79	-115.15	0.36

表 3.3.20 フルーツパーク DETO 調整対象区域の閾値実測値と精緻化後(S=15.77)の算出式の比較

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平距離 [m]	実測値の 受信電力 SS-RSRP [dBm]	精緻化後の エリア算出式 による受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
1	1	141.28	141.26	-119.44	-127.16	7.72
2	1	147.56	147.55	-119.09	-127.92	8.83
3	1	119.69	119.21	-119.53	-115.12	-4.41
4	1	145.66	145.35	-121.17	-118.69	-2.48
5	1	140.25	139.98	-122.08	-118.78	-3.30
6	1	144.85	144.58	-121.88	-119.10	-2.78
7	1	123.32	122.99	-121.33	-116.75	-4.58
8	1	115.24	114.74	-121.23	-114.76	-6.47
9	1	67.64	67.28	-120.03	-108.02	-12.01
10	1	89.46	89.26	-120.62	-114.43	-6.19

11	1	94.38	94.35	-122.59	-120.87	-1.72
12	1	98.26	98.12	-121.14	-117.09	-4.05
13	1	108.56	108.44	-121.18	-118.68	-2.50
14	1	116.01	115.89	-121.78	-119.56	-2.22

表 3.3.21 秋田食産コーヒーハウス
カバーエリアの閾値実測値と精緻化後(S=25.52)の算出式の比較

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平距離 [m]	実測値の 受信電力 SS-RSRP [dBm]	精緻化後の エリア算出式 による受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
1	1	25.68	25.36	-114.46	-90.17	-24.29
2	0	47.11	46.94	-114.30	-105.74	-8.56
3	1	28.74	28.46	-114.47	-92.11	-22.36
4	0	63.52	63.32	-114.44	-109.97	-4.47
5	0	69.27	69.09	-114.45	-115.76	1.31
6	0	73.07	72.90	-114.22	-130.31	16.09
7	0	71.22	71.04	-114.14	-135.39	21.25
8	0	48.33	48.07	-114.24	-123.15	8.91
9	0	89.62	89.53	-114.73	-140.00	25.27

表 3.3.22 秋田食産コーヒーハウス
調整対象区域の閾値実測値と精緻後(S=25.52)の算出式の比較

測定 ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局 との 水平距離 [m]	実測値の 受信電力 SS-RSRP [dBm]	精緻化後の エリア算出式 による受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
1	0	141.05	140.97	-120.66	-125.64	4.98
2	0	145.72	145.66	-120.93	-129.05	8.12
3	0	145.69	145.60	-120.89	-123.05	2.16
4	0	144.73	144.65	-120.97	-122.84	1.87
5	0	140.00	139.91	-120.92	-122.78	1.86
6	0	133.50	133.41	-120.70	-121.68	0.98
7	0	120.16	120.06	-120.63	-119.63	-1.00
8	0	105.99	105.82	-120.79	-116.89	-3.90

9	0	152.81	152.69	-120.83	-127.91	7.08
10	0	147.02	146.90	-121.03	-137.22	16.19
11	0	133.46	133.33	-121.02	-132.02	11.00
12	0	119.43	119.28	-121.06	-145.02	23.96
13	0	112.26	112.10	-121.01	-140.00	18.99
14	0	121.54	121.48	-121.06	-147.00	25.94
15	0	118.09	118.07	-120.94	-151.08	30.14
16	0	108.95	108.93	-120.88	-151.74	30.86

精緻化後の算出値と実測値を比較した結果、フルーツパーク DETO とコーヒーハウスの平均差分は下記の通りとなりました。なお、フルーツパーク DETO は NLOS ポイント、秋田食産コーヒーハウスは LOS ポイントから算出しています。

- フルーツパーク DETO の平均差分：5.5 dB
- コーヒーハウスの平均差分：12 dB

上記平均差分の通りフルーツパーク DETO は±6dB 範囲内と近似する結果となったものの、秋田食産コーヒーハウスでは 12dB もの差分がでました。精緻化後のエリア算出式と実測値との乖離理由としては、精緻化に使用した定点測定データ数がフルーツパーク DETO では 23 ポイント、コーヒーハウスでは 33 ポイントとサンプル数が少なく乖離が生じていると考えました。

以上の考察結果をもとにサンプル数が多い歩行測定データを使用して再度 S 値の精緻化を行いました。歩行測定データから同様に基地局からの距離に対する伝搬損失カーブを作成し、精緻化後の S 値を導出しました。なお、フルーツパーク DETO は 100m 以上のサンプルが全て NLOS 環境下であるため NLOS における S を導出し、秋田食産コーヒーハウスでは LOS・NLOS ごとの S 値を導出しています。

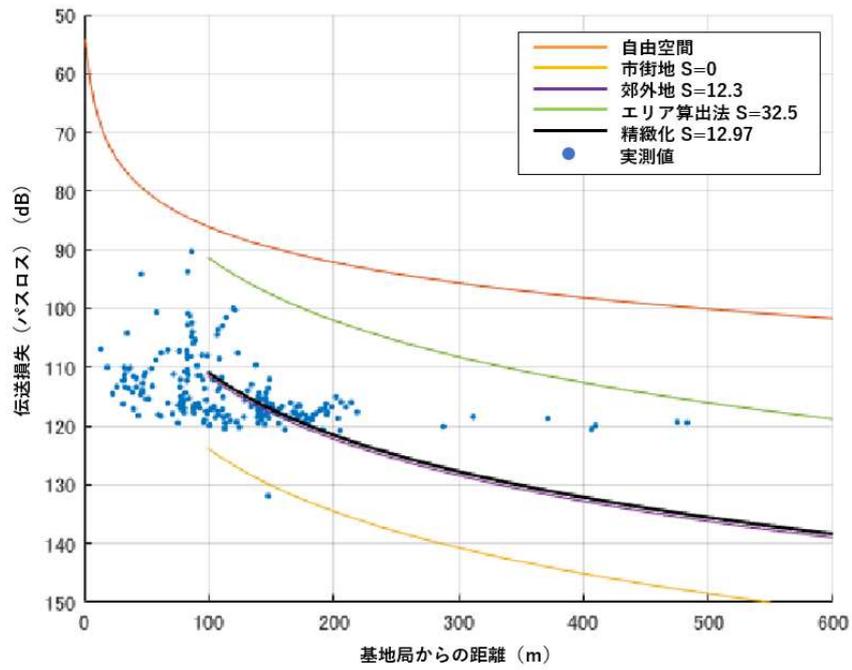


図 3.3.31 フルーツパーク DETO 実測損失カーブ(NLOS)

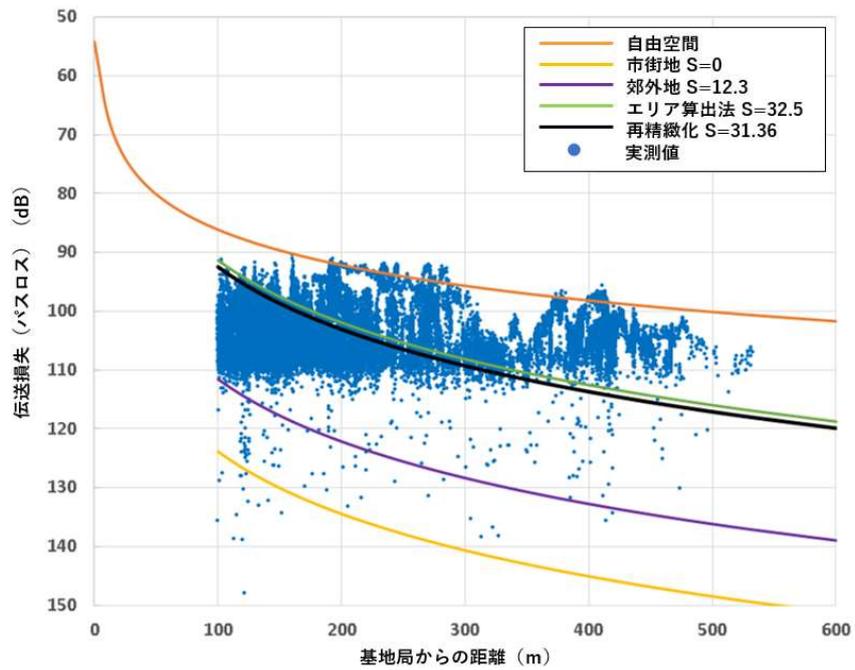


図 3.3.32 秋田食産コーヒーハウス 実測損失カーブ(LOS)

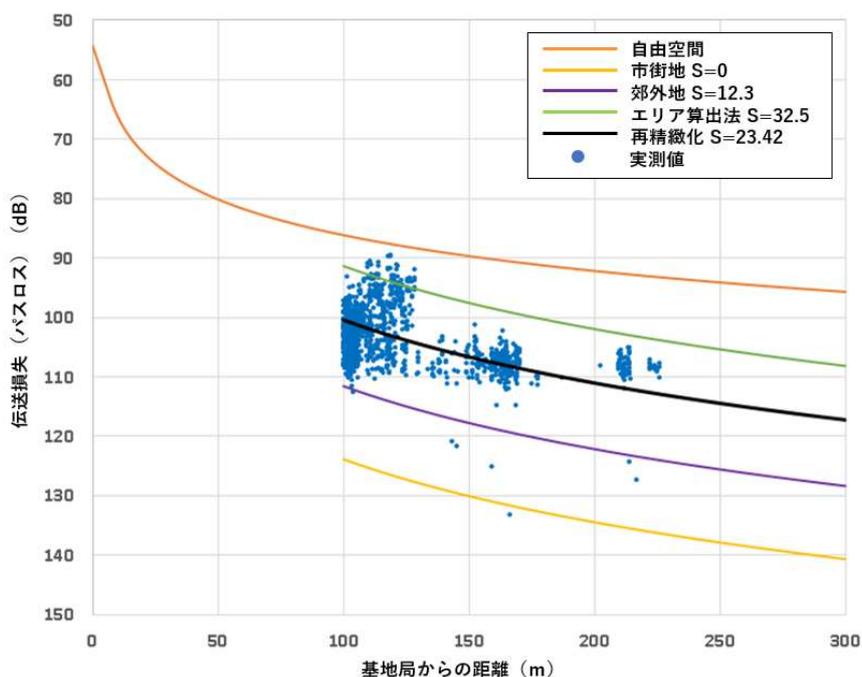


図 3.3.33 秋田食産コーヒーハウス 実測損失カーブ(NLOS)

- フルーツパーク DETO (NLOS) : S=12.97
- コーヒーハウス (LOS) : S=31.36
- コーヒーハウス (NLOS) : S=23.42

精緻化に使用するサンプル数を増やしたことで、実測値との差分に変化が生じたか確認するために精緻化後 S 値のエリア算出値と実測値との差分を比較しました。

表 3.3.23 フルーツパーク DETO カバーエリアの閾値実測値と精緻化後(NLOS:S=12.97)の算出式の比較(歩行測定データ使用)

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平距離 [m]	実測値の 受信電力 SS-RSRP [dBm]	精緻化後の エリア算出式 による受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
1	0	125.87	125.87	-115.42	-132.32	16.90
2	1	103.23	103.22	-114.77	-130.00	15.23
3	1	78.53	78.53	-114.40	-125.76	11.36
4	1	58.01	57.60	-114.85	-106.40	-8.45
5	1	42.31	41.91	-114.48	-99.80	-14.68
6	1	86.82	86.62	-113.19	-116.09	2.90
7	1	90.80	90.71	-114.32	-119.11	4.79

8	1	73.62	73.49	-114.61	-113.13	-1.48
9	1	74.68	74.50	-114.48	-112.82	-1.66
10	1	76.42	76.39	-114.79	-117.13	2.34

表 3.3.24 フルーツパーク DETO 調整対象区域の閾値実測値と精緻化後(NLOS:S=12.97)の算出式の比較(歩行測定データ使用)

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平距離 [m]	実測値の 受信電力 SS-RSRP [dBm]	精緻化後の エリア算出式 による受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
1	1	141.28	141.26	-119.44	-129.96	10.52
2	1	147.56	147.55	-119.09	-130.72	11.63
3	1	119.69	119.21	-119.53	-117.92	-1.61
4	1	145.66	145.35	-121.17	-121.49	0.32
5	1	140.25	139.98	-122.08	-121.58	-0.50
6	1	144.85	144.58	-121.88	-121.90	0.02
7	1	123.32	122.99	-121.33	-119.55	-1.78
8	1	115.24	114.74	-121.23	-117.56	-3.67
9	1	67.64	67.28	-120.03	-109.61	-10.42
10	1	89.46	89.26	-120.62	-116.88	-3.74
11	1	94.38	94.35	-122.59	-123.49	0.90
12	1	98.26	98.12	-121.14	-119.83	-1.31
13	1	108.56	108.44	-121.18	-121.48	0.30
14	1	116.01	115.89	-121.78	-122.36	0.58

表 3.3.25 秋田食産コーヒーハウス カバーエリアの閾値実測値と精緻化後(LOS:S=31.37,NLOS:S=23.42)の算出式の比較(歩行測定データ使用)

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平距離 [m]	実測値の 受信電力 SS-RSRP [dBm]	精緻化後の エリア算出式 による受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
1	1	25.68	25.36	-114.46	-90.17	-24.29
2	0	47.11	46.94	-114.30	-104.72	-9.58
3	1	28.74	28.46	-114.47	-92.11	-22.36
4	0	63.52	63.32	-114.44	-107.03	-7.41

5	0	69.27	69.09	-114.45	-112.27	-2.18
6	0	73.07	72.90	-114.22	-126.47	12.25
7	0	71.22	71.04	-114.14	-131.72	17.58
8	0	48.33	48.07	-114.24	-121.97	7.73
9	0	89.62	89.53	-114.73	-134.86	20.13

表 3.3.26 秋田食産コーヒーハウス 調整対象区域の閾値実測値と精緻後(LOS:S=31.37,NLOS:S=23.42)の算出式の比較(歩行測定データ使用)

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との 水平距離 [m]	実測値の 受信電力 SS-RSRP [dBm]	精緻化後の エリア算出式 による受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
1	0	141.05	140.97	-120.66	-119.79	-0.87
2	0	145.72	145.66	-120.93	-123.20	2.27
3	0	145.69	145.60	-120.89	-117.20	-3.69
4	0	144.73	144.65	-120.97	-116.99	-3.98
5	0	140.00	139.91	-120.92	-116.93	-3.99
6	0	133.50	133.41	-120.70	-115.83	-4.87
7	0	120.16	120.06	-120.63	-113.78	-6.85
8	0	105.99	105.82	-120.79	-111.04	-9.75
9	0	152.81	152.69	-120.83	-122.06	1.23
10	0	147.02	146.90	-121.03	-131.37	10.34
11	0	133.46	133.33	-121.02	-126.17	5.15
12	0	119.43	119.28	-121.06	-139.17	18.11
13	0	112.26	112.10	-121.01	-134.15	13.14
14	0	121.54	121.48	-121.06	-141.15	20.09
15	0	118.09	118.07	-120.94	-145.23	24.29
16	0	108.95	108.93	-120.88	-145.89	25.01

「表 3.3.23」～「表 3.3.26」に示した実測値との差分を下記の通り導出しました。

- ▶ フルーツパーク DETO の平均差分：4.8 dB
- ▶ コーヒーハウスの平均差分：11.1 dB

上記の平均差分をサンプル数の少ない定点測定データによる精緻化後エリア算出式と比較した結果、フルーツパーク DETO および秋田食産コーヒーハウスで約 1dB の改善が確認できました。

以上の精緻化後 S 値の比較結果から、歩行測定データから精緻化した S 値の方が実測値に近い値と確認できたため本実証では歩行測定データから導出した S 値を精緻化結果とします。

なお、実測値との差分がプラスの差分となったポイントについては、算出法エリア図と比較し遠方まで電波が到達し干渉影響を及ぼす可能性があります。干渉調整の観点から、マージンを取ったエリア設計等、プラスの差分影響を考慮した設計が望ましいと考えます。

精緻化後の S 値を用いたエリア算出法に基づくカバーエリアおよび調整対象区域を算出し図示しました。

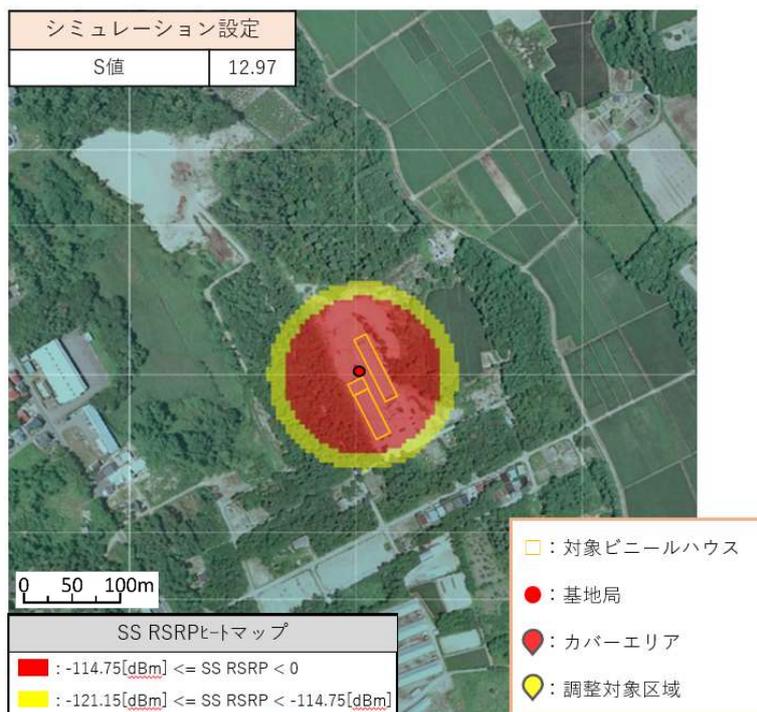


図 3.3.34 フルーツパーク DETO 精緻化 S=12.97(NLOS)におけるカバーエリアおよび調整対象区域 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

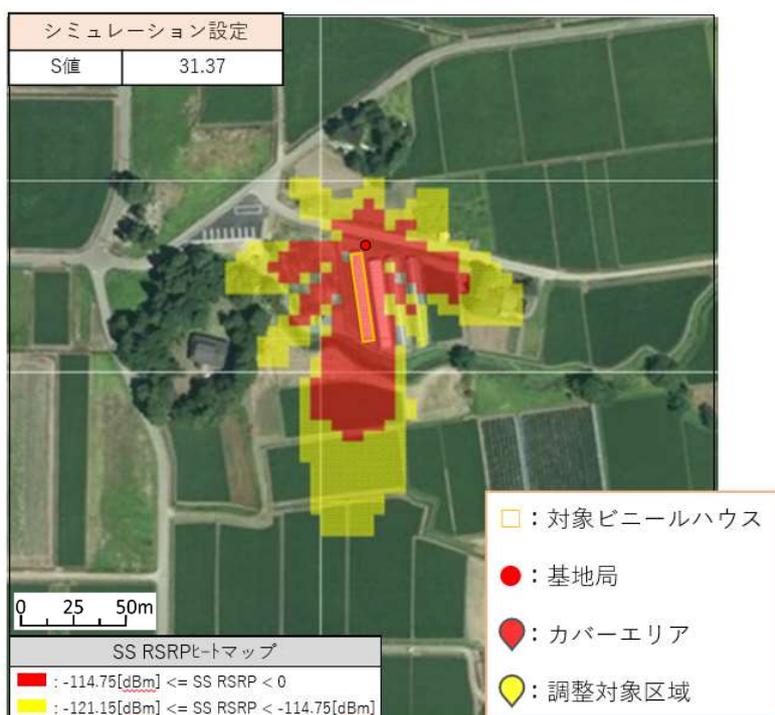


図 3.3.35 秋田食産コーヒーハウス精緻化 S=31.37(LOS)
 におけるカバーエリアおよび調整対象区域
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

エリア算出法規定値の S 値、レイトレースシミュレーション結果から導出した仮説の S 値、実測結果から導出した精緻化後の S 値を比較し表にまとめました。

表 3.3.27 フルーツパーク DETO、秋田食産コーヒーハウスにおける S 値の比較

実証拠点	規定値 [dB]	仮説 S 値 [dB]	精緻化後の S 値 [dB]
フルーツパーク DETO	32.5	17.9	12.97 (NLOS)
秋田食産コーヒーハウス	32.5	44.6	31.37 (LOS) 23.42 (NLOS)

精緻化後の S 値について実測値との乖離箇所について考察します。まず、フルーツパーク DETO の下記「測定写真①」のようなポイントでは、基地局と測定点の間に遮蔽となるビニールハウスや倉庫、樹木等の遮蔽が比較的少なく精緻化後のエリア図と近似する結果となりました。一方で、「測定写真②」のような樹木の枝葉の密度が高く、電波遮蔽影響の大きい環境では精緻化後のエリア図より実測結果のカバーエリア、調整対象区域が縮小する傾向が見られました。本実証フィールドは、ビニールハウス周辺が樹木に囲われた環境ですが、測定を行う冬季は落葉し見通し環境が多くなると想定し開放地相当と仮説していました。実際には、測定を実施した 12 月～1 月についても周囲の樹木には枝葉が測定写真②のように生い茂っており樹木による伝搬損失が想定より大きくエリア算出図との乖離が生じたものと推測できます。

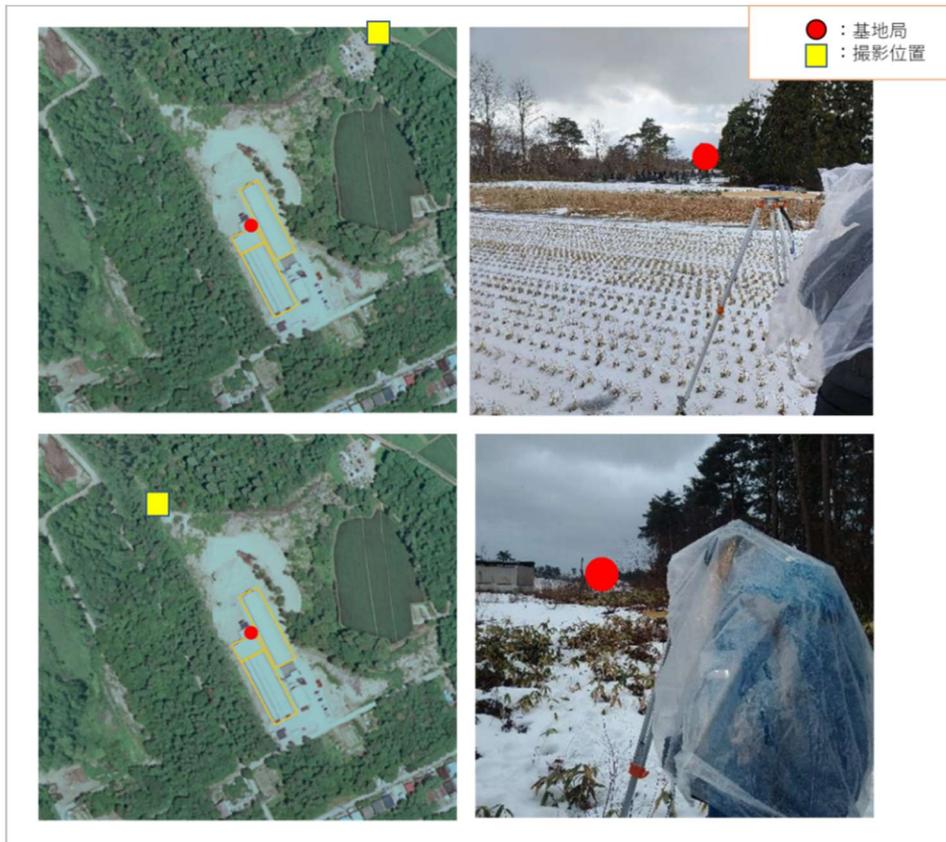


図 3.3.36 フルーツパーク DETO 測定写真①

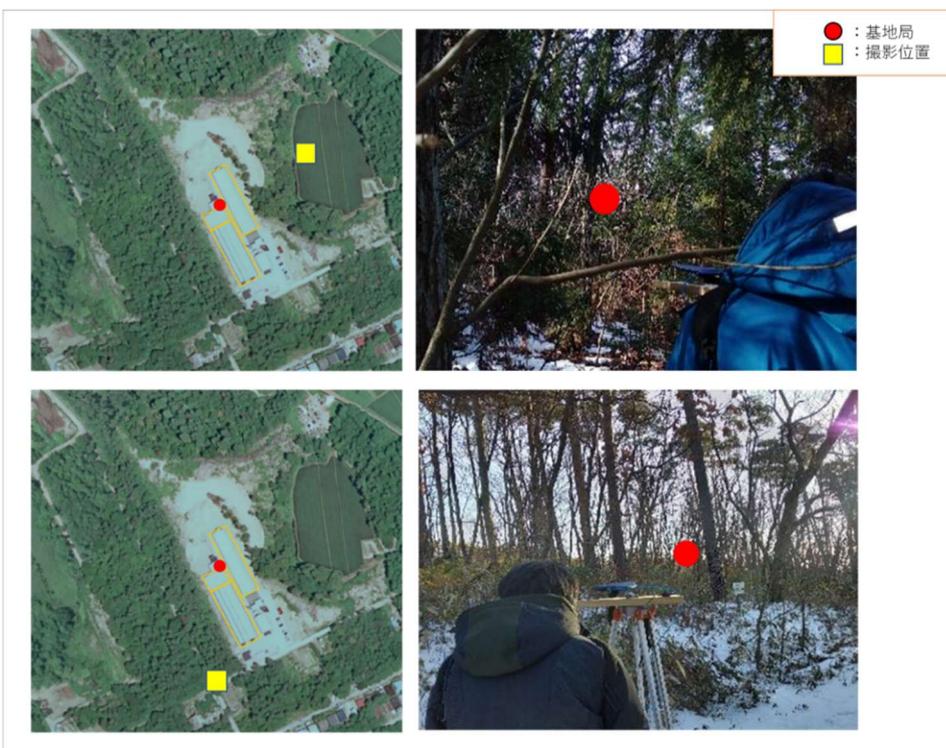


図 3.3.37 フルーツパーク DETO 測定写真②

コーヒーハウスではカバーエリア・調整対象区域の閾値が実測出来たポイントが全て LOS 環境であったため、LOS 環境下の精緻化後 S 値=31.37 のシミュレーション結果から考察します。

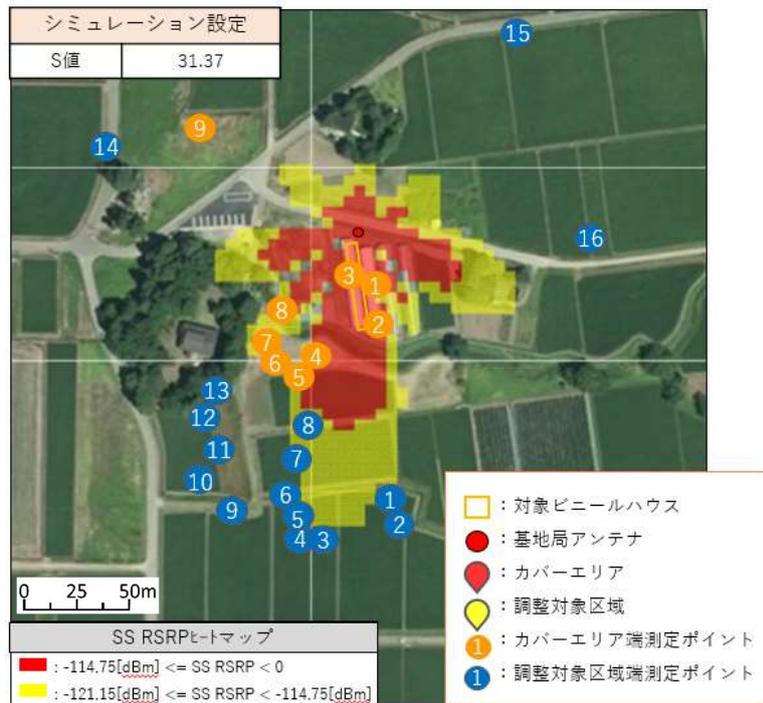


図 3.3.38 秋田食産コーヒーハウス S=31.37(LOS)エリア図
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

「図 3.3.38」S=31.37 (LOS) エリア図よりカバーエリア端についてはハウス内を除いて概ねシミュレーション結果に近似した結果になったと推察します。北東、西、東南西方向にそれぞれ電波が乱れて飛んでいる結果となりました。「図 3.3.39」に示すポイントから見られる「図 3.3.40」「図 3.3.41」のハウス付近にある構造物で電波が乱反射し想定した主ビーム方向以外へ複雑に電波伝搬しているのではないかと推察します。そのために、構造物で反射した電波が南西方向に伝搬しシミュレーション結果と乖離が出たと考えます。

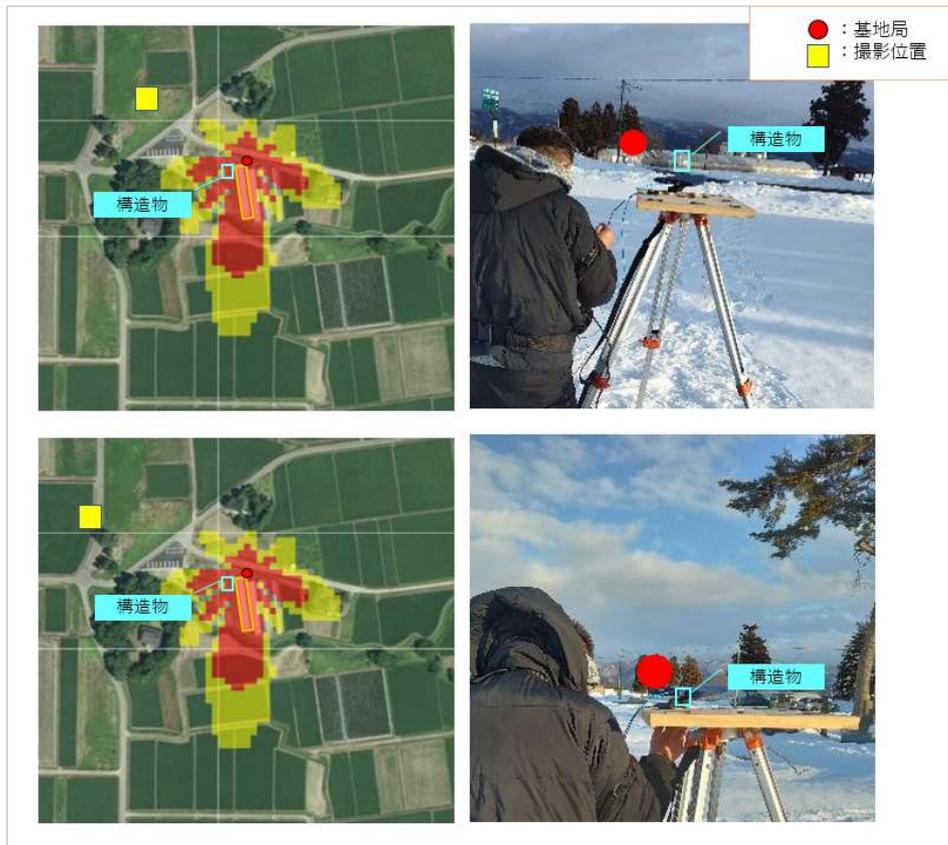


図 3.3.39 秋田食産コーヒーハウス 測定写真



図 3.3.40 秋田食産コーヒーハウス 現地構造物①



図 3.3.41 秋田食産コーヒーハウス 現地構造物②

最後にレイトレースシミュレーション結果と実測値を比較分析し、その適合率を求めます。

まず、レイトレースシミュレーション結果から導出した仮説 S 値と精緻化後 S 値は「表 3.3.27」のとおり、フルーツパーク DETO では仮説の S と精緻化後の S の乖離は 4.93dB とほぼ近似する結果となりました。一方で秋田食産コーヒーハウスでは、仮説 S に対し LOS は 13.23dB、NLOS は 21.18dB と乖離が大きく見られました。

レイトレースシミュレーションから導出した S 値の乖離要因を確認するため、レイトレースシミュレーション結果と実測値を比較し、差が±6[dB]以内であれば適合、それ以外であれば不適合としてレイトレースシミュレーションと実測値の適合率を割り出しました。各拠点にて割り出した適合率は下記の通りです。

- フルーツパーク DETO : 34.09[%] (16/44 ポイント適合) 平均差分 11.6 dB
- コーヒーハウス : 26.00[%] (13/50 ポイント適合) 平均差分 10.2 dB

上記の通り、フルーツパーク DETO、コーヒーハウスいずれも適合率は低い値でした。適合率が低い原因としては、いずれの拠点も実測では樹木通過後の受信電力低下が大きいため、樹木による伝搬損失値が想定値(シミュレーション値)より大きかったことが要因であると推測できます。

実測値から両拠点の樹木の損失値を増加させると適合率は 6 割以上に向上しました。具体的には、フルーツパーク DETO では樹木に対する枝葉の比率(シミュレーターのパラメータ「Canopy Ratio」の値)を 0.5 から 0.9 に変更し再シミュレーションを実施しました。また、秋田食産コーヒーハウスでも樹木に対する枝葉の比率を 0.1 から 0.9 に変更し、加えてハウス内に高さ 2 m 程のコーヒーの木が密集しているためハウス屋内の樹木損失を 5[dB/m]増加しました。(屋内は

「Canopy Ratio」のパラメータが変更できない仕様であるため樹木損失値を変更し再シミュレーションを実施しています。）

- ▶ フルーツパーク DETO : 63.64[%] (28/44 ポイント適合) 平均差分 5.8 dB
- ▶ コーヒーハウス : 62.00[%] (31/50 ポイント適合) 平均差分 5.8 dB

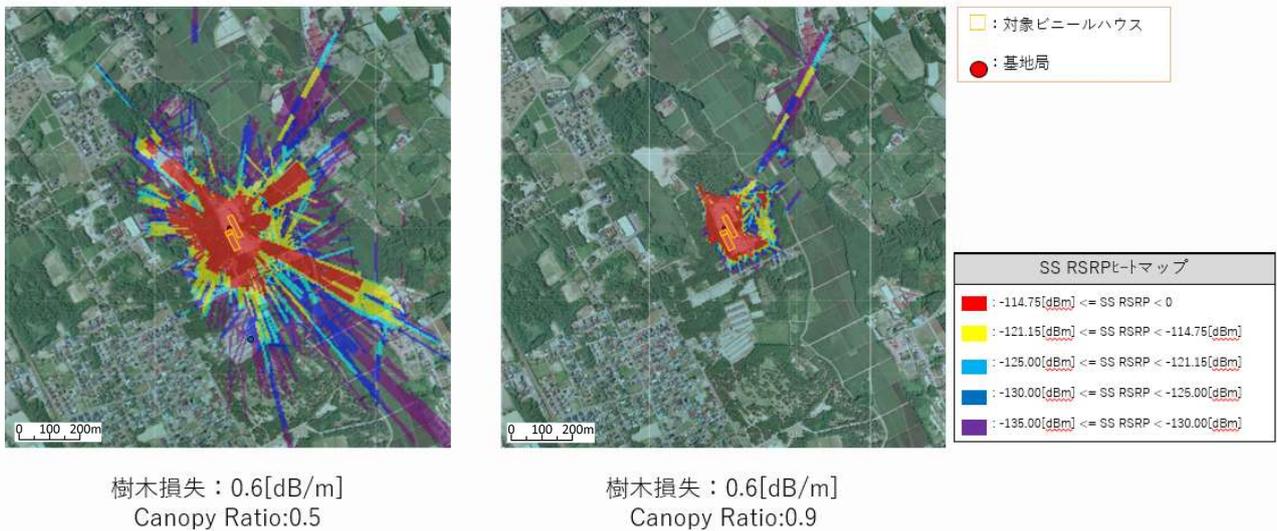


図 3.3.42 フルーツパーク DETO 樹木損失、Canopy Ratio 修正前後の
レイトレースシミュレーション結果
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

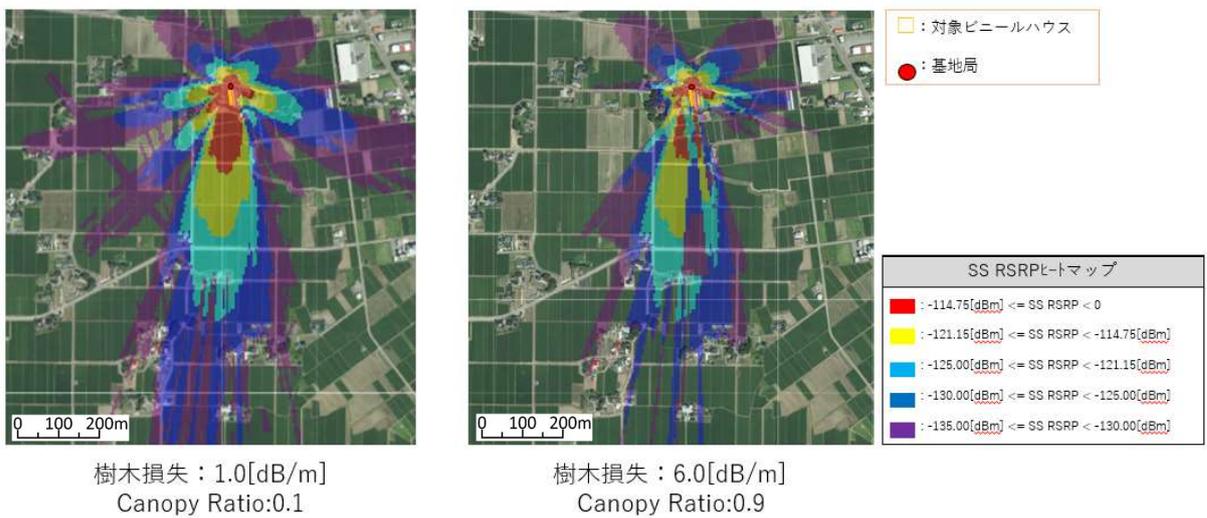


図 3.3.43 秋田食産コーヒーハウス 樹木損失、Canopy Ratio 修正前後の
レイトレースシミュレーション結果
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

本実証結果より、フルーツパーク DETO では $S=12.97$ と郊外地相当の S を導出しました。秋田食産コーヒーハウスでは LOS 環境で $S=31.37$ 、NLOS 環境で $S=23.42$ と LOS 環境は開放地相当、NLOS 環境では開放地と郊外地の中間の値を導出しました。同じルーラルエリアの圃場環境であっても、

フルーツパーク DETO、秋田食産コーヒーハウスでSの値には差分が生じており、各環境における樹木や周辺建屋等の遮蔽物の大小に応じて適切なS値を見極める必要があると考えます。フルーツパーク DETO・秋田食産コーヒーハウスそれぞれの拠点における遮蔽物面積率を割り出し、S値との関係性を確認するため、下図の黄色の調整対象区域内のエリアにおける建物・樹木の遮蔽物面積率を算出しました。

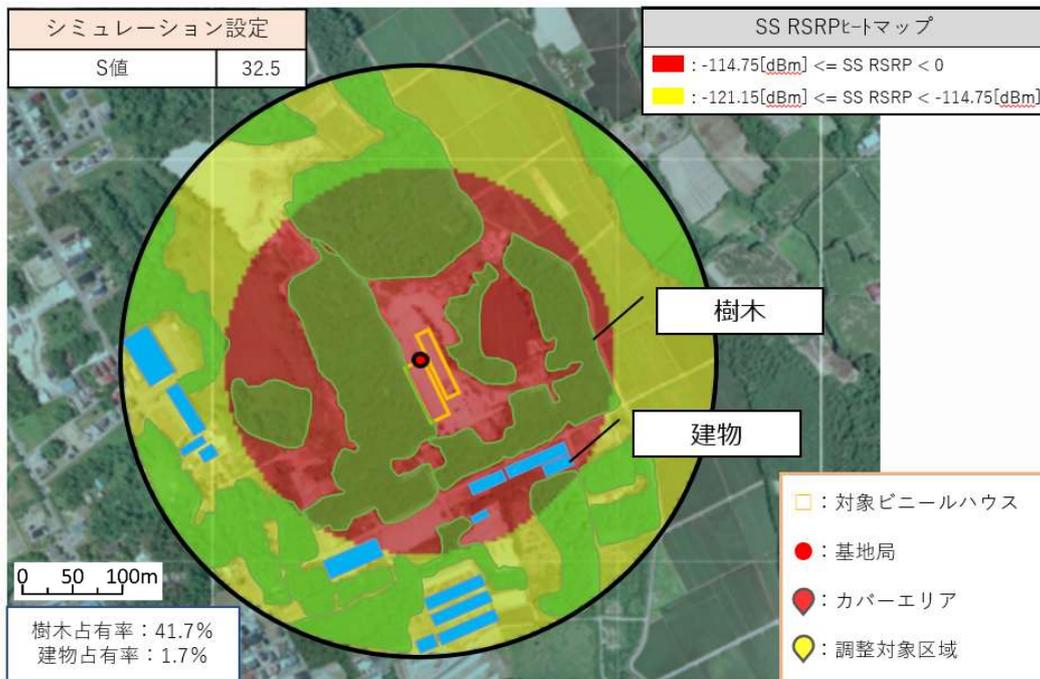


図 3.3.44 フルーツパーク DETO 面積率導出結果の図
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

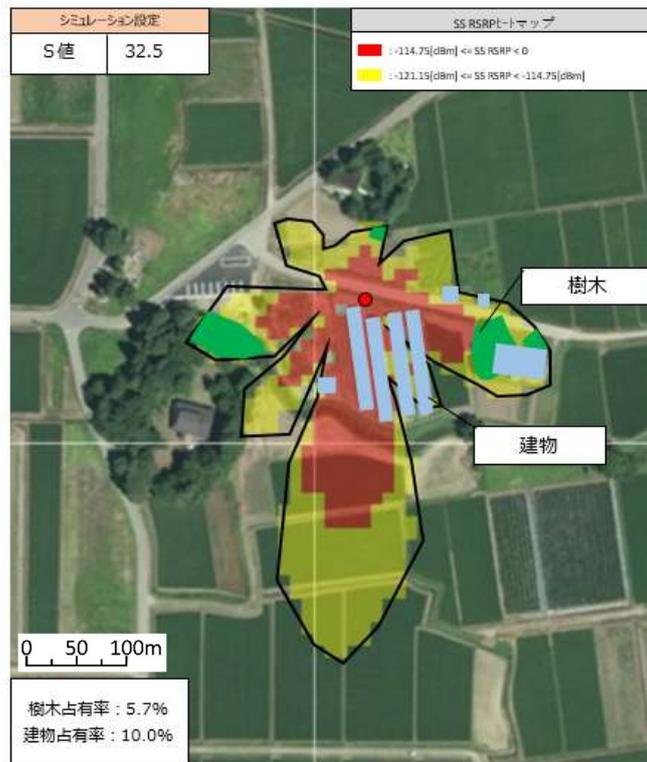


図 3.3.45 秋田食産コーヒーハウス面積率導出結果の図
(国土地理院(電子国土 Web)(URL: <https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成

表 3.3.28 遮蔽物面積率

実証拠点	精緻化後 S 値 [dB]	樹木遮蔽率 [%]	建屋遮蔽率 [%]
フルーツパーク DETO	12.97	41.7	1.7
秋田食産コーヒーハウス	31.37 (LOS) 23.42 (NLOS)	5.7	10.0

フルーツパーク DETO では樹木・建屋の遮蔽率を合算し遮蔽物面積率は 43.4%、NLOS 環境下で郊外地相当の S を導出しています。秋田食産コーヒーハウスでは、樹木・建屋の遮蔽率を合算し遮蔽物面積率は 15.7%、LOS 環境で開放地相当、NLOS 環境で開放地と郊外地の中間相当の S 値を導出しています。本実証結果より、下記に記す環境下では同様の S 値が適用可能と考察しました。

- 遮蔽物面積率が 4 割程度で基地局から 100m 以内のエリアに樹木・建屋等の遮蔽物が密集し NLOS となる圃場環境下では S=13.0 が適当
- 遮蔽物面積率が 2 割程度で基地局から 100m 以内のエリアに樹木・建屋等の遮蔽物が点在する圃場環境で、LOS で S=31.4、NLOS で S=23.4 が適当

今後、類似の圃場環境における適切な S 値を選択する際には、上述した樹木・建屋の遮蔽率を事前に参照し S 値を選択することで実測との乖離を減らすことが出来ると考えます。

なお、本実証結果では2つのフィールドを対象に遮蔽物面積率と S 値の比較を行いました。今後の課題として様々な異なる環境下の実証等を通じて遮蔽物面積率に応じた精緻化後 S 値のサンプルデータを収集し類似環境から最適な S 値を判断し選択できるよう知見を蓄積していくことが望まれます。

一方で、1つの圃場環境であっても本実証のように LOS・NLOS ごと、さらに NLOS の中でも樹木の密集率の大小に応じて S の値は変動するため、エリア算出法のように一概に決められたパラメータ S を使用しても実測とは乖離が生じてしまうことが懸念されます。より詳細に方位ごとに遮蔽物を考慮し机上検討を行う場合にはレイトレースシミュレーションが有用ですが、レイトレースシミュレーションの活用には技術面・費用面の課題があります。本実証で得た知見からレイトレースシミュレーションの普及・活用促進に向けた今後の課題について記します。

まず技術面については、本実証環境のような圃場環境においてレイトレースシミュレーションを実施する際には、実際の電波環境を再現するために現地調査を事前に実施し樹木の種別（落葉樹か否か）、密集度、高さ等を確認しシミュレーション時に再現することが重要です。本実証でも樹木の枝葉の割合を修正することで現地環境の再現性が高まり実測値とシミュレーション結果の適合率が向上していました。このようにシミュレーションソフトの扱いには、現地環境を考慮したシミュレーターの種類パラメータの調整や遮蔽物の 3D モデリング技術が必要となります。本実証では樹木の枝葉の割合を調整しましたが、シミュレーションを行うエリアに応じて調整すべき環境パラメータが異なるため、レイトレースシミュレーションの精度向上のために様々な環境下の実証等を通じてパラメータ自体の精度を高めることが重要です。また、このような環境下では環境パラメータを X から Y に変更し近似した、といった検証結果から得た知見を蓄積・共有する仕組みの整備が期待されます。

費用面に関しては、シミュレーションソフト・地図データは一事業者が用意するには高額でありサブスクリプション型のサービス等を利用する場合でも、本実証で想定される農業従事者等、一免許主体がシミュレーションのために費用を負担することは現実的に困難です。今後エリア算出法以上に精緻にシミュレーションを実施するためには、専門組織によるシミュレーション代行やシミュレーションツールの提供、それに準じた干渉影響の判断手法の明示化等、普及に向けた支援体制の充足が望まれます。

2) リピーター時運用における受信電力の総和の仮説検討および実測との差分確認の試験手順

本実証ではフルーツパーク DETO のハウス 3 に発生する不感地帯に対してリピーターを活用した検証を後述する「3.3.2 エリア構築の柔軟性向上」にて実施しました。

基地局とリピーターという複数の送信点が隣接する場合のエリア設計手法は、電波法関係審査基準のエリア算出式に定められておらず、複数送信点から受信する電力が合成され実際のカバーエリア・調整対象区域とシミュレーション結果に乖離が生じることが懸念されます。

本実証では、基地局とリピーター双方から受信する電力値の総和を仮説受信電力値として机上計算し実測値との比較を行いました。仮説の机上計算には 3.3.1(1)で導出した精緻化後 S 値 (S=12.97) を用いています。また、後述する「3.3.2 エリア構築の柔軟性向上」の「図 3.3.54」にて定義する測定点において仮説値と実測値の比較を行いました。なお、表の測定ポイントではリピーターのサービスアンテナからの距離が全て 40m未満のため、S 値による補正は基地局からの受信電力のみに適応されています。

表 3.3.29 各測定ポイントの仮説受信電力と実測受信電力一覧

測定ポイント	基地局アンテナとの距離[m]	サービスアンテナとの距離[m]	仮説受信電力 SS-RSRP [dBm]	実測受信電力 SS-RSRP [dBm]	差分 [dB]
1	20.8	25.5	-92.4	-100.2	-7.8
2	28.7	18.1	-95.0	-109.7	-14.7
3	36.7	11.6	-96.5	-106.8	-10.4
4	44.6	8.4	-98.8	-106.5	-7.7
5	50.0	10.0	-101.4	-110.3	-8.9
6	55.6	13.9	-104.7	-112.1	-7.3
7	61.0	18.5	-107.2	-112.8	-5.5
8	66.6	23.6	-109.7	-109.5	0.2
9	20.7	24.2	-92.5	-99.0	-6.5
10	28.7	16.2	-94.9	-94.3	0.6
11	36.6	8.5	-95.8	-91.2	4.6
12	44.6	2.9	-93.5	-85.6	8.0
13	50.0	6.2	-98.7	-92.0	6.7
14	55.6	11.4	-103.7	-96.9	6.8
15	61.0	16.7	-106.6	-97.0	9.6
16	66.6	22.2	-109.4	-96.3	13.0
17	22.0	24.1	-93.1	-100.1	-7.0
18	29.6	16.2	-95.2	-99.9	-4.7
19	37.4	8.4	-95.9	-93.0	2.9

20	45.2	2.6	-93.2	-87.6	5.6
21	50.5	6.0	-98.6	-90.6	8.1
22	56.1	11.4	-103.7	-97.9	5.8
23	61.4	16.7	-106.7	-104.6	2.1
24	67.0	22.2	-109.4	-107.9	1.6
25	24.6	25.3	-94.0	-106.3	-12.4
26	31.6	17.9	-95.8	-100.7	-4.8
27	39.0	11.4	-96.9	-98.9	-2.0
28	46.5	8.2	-99.4	-94.9	4.5
29	51.7	9.8	-101.7	-96.6	5.2
30	57.2	13.8	-105.0	-103.1	1.9
31	62.4	18.4	-107.4	-106.8	0.6
32	67.9	23.5	-109.9	-107.3	2.6
A	52.2	11.2	-102.8	-105.9	-3.1
B	57.6	14.8	-105.6	-108.2	-2.6
C	62.8	19.2	-107.8	-111.5	-3.7
D	68.2	24.2	-110.1	-114.2	-4.0

測定ポイントごと実測値と仮説値の差分を分析した結果、全 36 ポイントの差分の中央値は-0.6dB と乖離が±1dB 以内の結果となりました。仮説値と実測値で結果が近似したことから、複数送信点隣接問い合わせの受信電力は両送信点の受信電力の総和として机上計算が可能であり、Pr(基地局)と Pr (リピーター) をそれぞれ算出しカバーエリア図は Pr=Pr (基地局) +Pr (リピーター) で算出することが可能であることがわかりました。

本実証結果より、複数送信点隣接時における受信電力の机上計算手法を示すことができました。リピーター、DAS等を利用する際には汎用的に利用できる知見であると考えます。

3.3.2 エリア構築の柔軟性向上

(1) 実証の目的・目標

1) 背景となる技術的課題と実証目的

本実証フィールドのイチゴ農場であるフルーツパーク DETO においては、複数のビニールハウス内をカバーエリアとすることが求められるため、無指向性アンテナ 1 基では不感地帯が発生する可能性があります。このような実証環境でのエリア化について、基地局をむやみに増設することなく対処する方法の 1 つとしてリピーターによるエリア化の有効性を検討しました。

また、フルーツパーク DETO の所要性能 (UL スループット 100Mbps 以上・遅延 50ms 以下) をリピーターの活用によって達成するための方策、およびリピーターを活用したエリア構築方法について取りまとめることを目的としました。

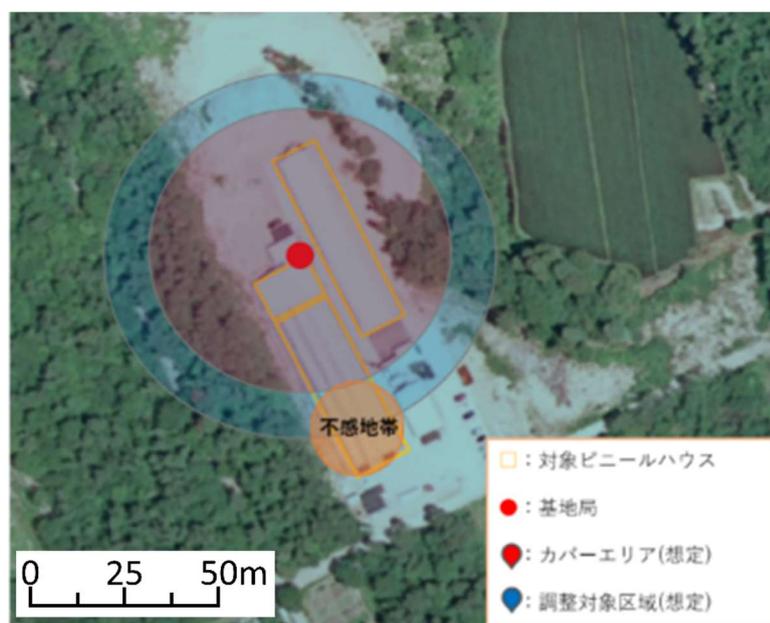


図 3.3.46 カバーエリアと想定される不感地帯イメージ
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

2) 実証目標

本実証項目の目標としては、リピーター未利用時と比較してリピーター利用時に不感地帯での受信電力 (RSRP 値) が改善することです。具体的にはリピーター利用時の不感地帯にて、カバーエリアの閾値以上の受信電力を取得でき、尚且つ課題実証システムの所要性能 (UL スループット 100Mbps 以上・遅延 50ms 以下) を達成することを目標としています。

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

本実証と似た環境においてエリア構築の柔軟化に取り組んだ実証としては、令和 3 年度課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証における「新型コロナからの経済復興に向けたローカル 5G を活用したイチゴ栽培の知能化・自動化の実現」があります。この実証結果としては、反射板による不感地帯の改善はエリアが限定的で、面的なエリア化が困難というものでした。本実証では、反射板に代わる不感地帯の改善方法として、無線リピーターであるリピーターを用いることとしました。リピーター以外の方法として DAS もありますが、本実証フィールドのような豪雪地の屋外の環境においては、運用面を考えると設置にあたり追加の配線が不要なりピーターがよ

り適していると考えられるため、本実証ではリピーターを用いて検証しました。

(2) 実証仮説

リピーターの設置により不感地帯が解消し、ビニールハウス全体がエリアカバーされると、結果的に本ユースケースにおけるソリューションがそのパフォーマンスを下げることなく効率的に実施され、農家の抱える課題の解決に大きく寄与することが期待されます。

本実証環境のように長方形型のビニールハウスを複数カバーする設計の場合、農業機具を保管する倉庫や什器、ハウス内の栽培棚等の遮蔽影響により基地局から遠方の箇所(図 3.3.46)が不感地帯になると想定しました。

リピーターによって不感地帯の受信電力が改善される場合の模式図を下図に示します。

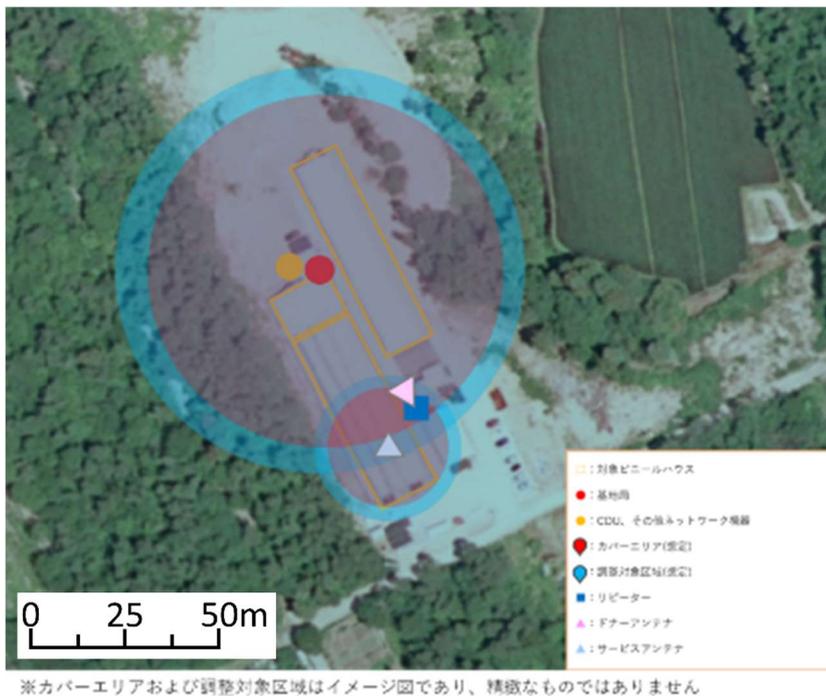


図 3.3.47 リピーター設置後のカバーエリアイメージ
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

ここで、本実証における不感地帯とはカバーエリアの閾値未満であるエリアとし、受信電力(Pr)で「-79.6dBm」未満、SS-RSRP 換算で「-114.75dBm」未満のエリアを不感地帯と定義しました。

不感地帯を事前に机上検討するため、エリア算出法に加えレイトレースシミュレーションによって不感地帯の位置や受信レベル、改善目標値を算出しました。エリア算出法・レイトレースシミュレーションに用いた基地局の設定値は以下の「表 3.3.30」の通りです。

表 3.3.30 基地局パラメータ情報

設定情報	
アンテナ名	VH360-3450FTD

送信出力	14[dBm/Port] (2ポート合計 17[dBm])
設置位置 緯度	39.84859105
設置位置 経度	140.03184515
利得	0.052[dBi] (アンテナ利得・給電線損失・コネクタ損失等を含む)

はじめにエリア算出法シミュレーション結果より「図 3.3.49」に示すように業務区域であるハウス1～3いずれもカバーエリアの閾値以上である赤いエリアとなり不感地帯は発生しない結果となりました。

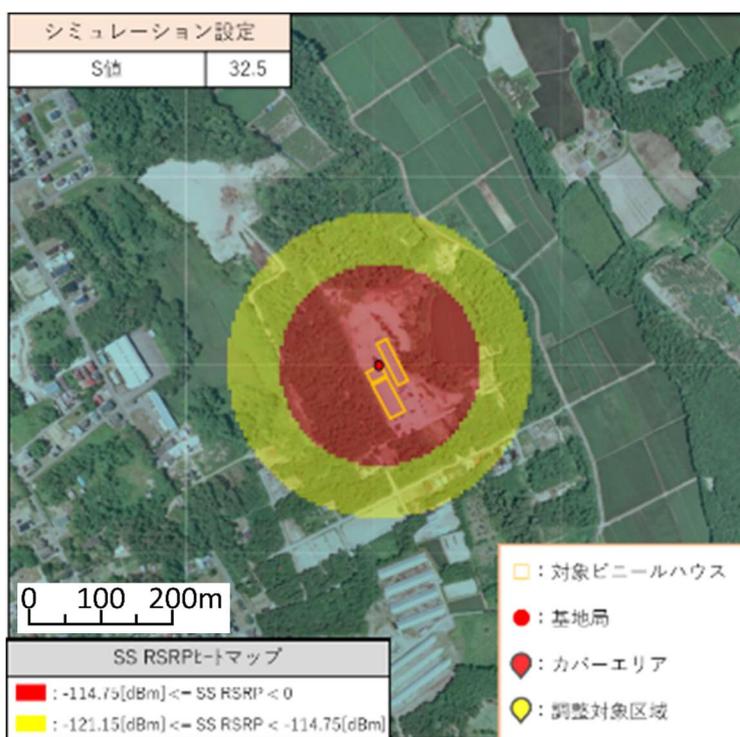


図 3.3.48 リピーター設置前の算出法エリア図(屋外)
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

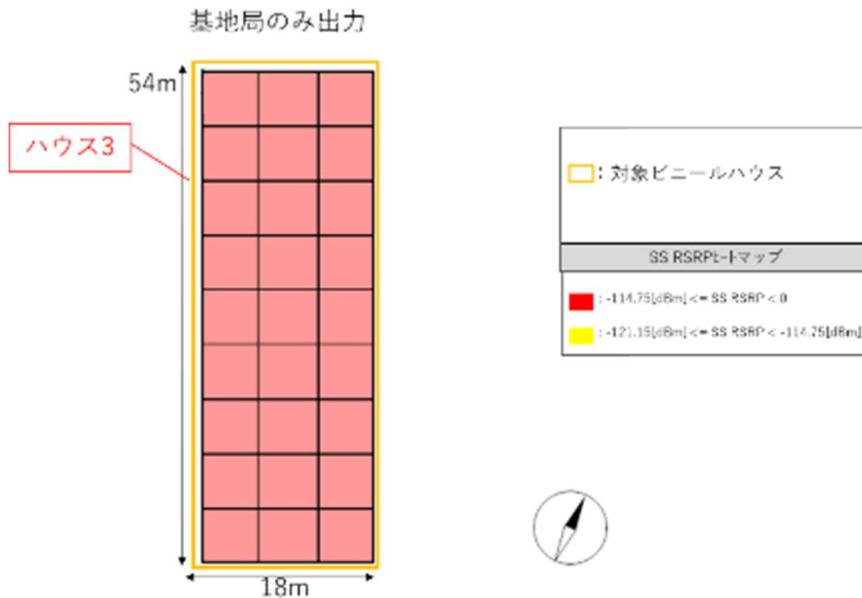


図 3.3.49 リピーター設置前の算出法エリア図(ハウス内)

続いて仮説の精度向上のためレイトレースシミュレーションでも机上検討を行いました。屋外は5mメッシュ、ハウス内は0.5mメッシュでシミュレーションを実施しています。業務区域であるハウス1～3のうち、ハウス3の「図 3.3.51」に示す水色・紫色のエリアが不感地帯となることがわかりました。

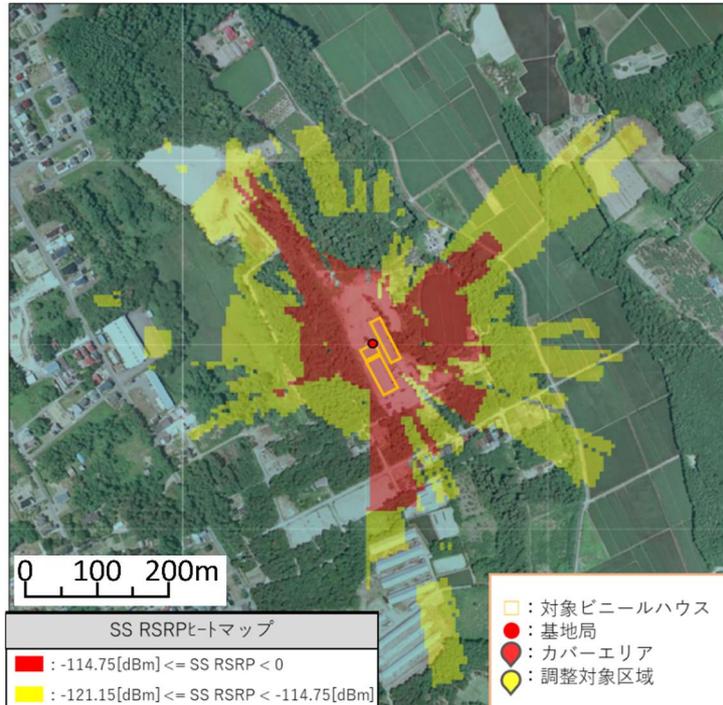


図 3.3.50 リピーター設置前のレイトレースシミュレーション図(屋外)
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

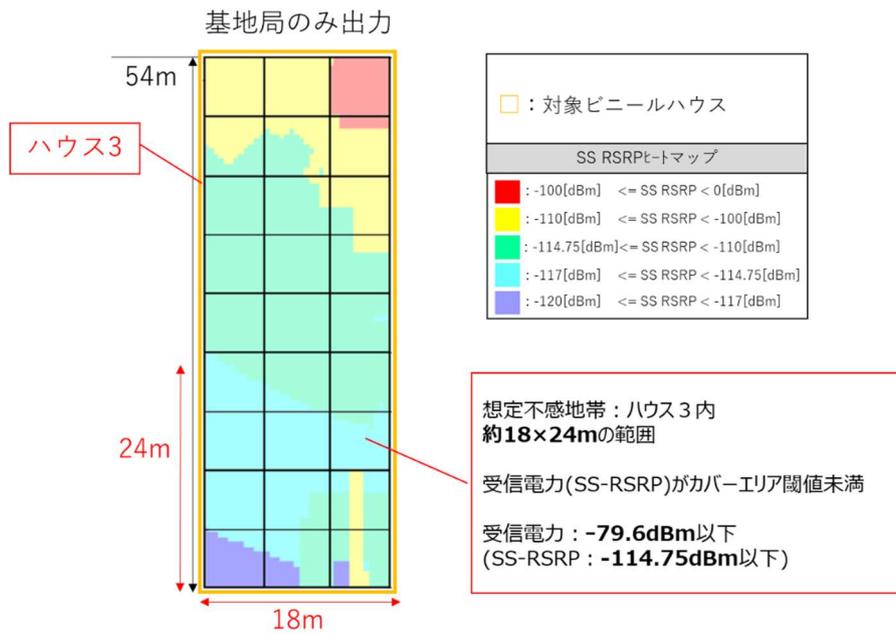
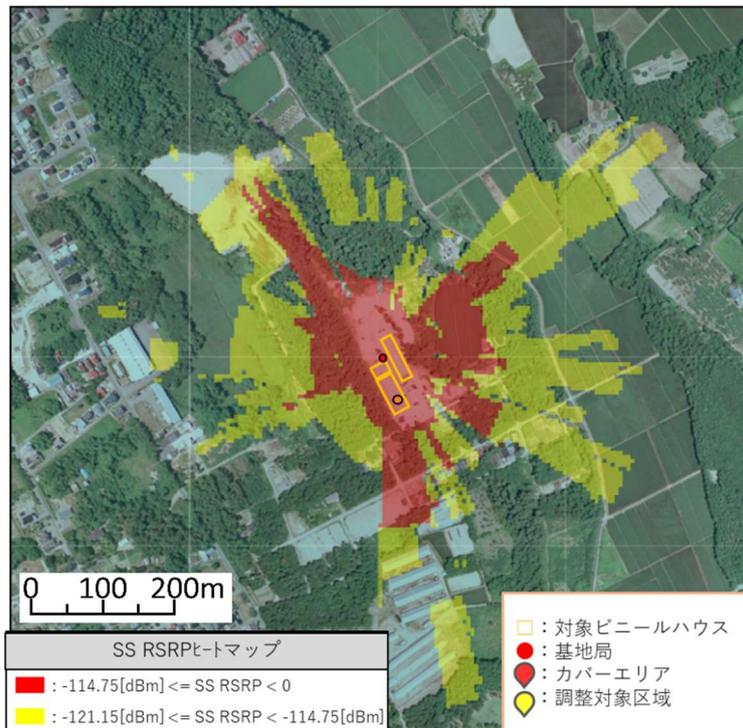


図 3.3.51 リピーター設置前のレイトレースシミュレーション図(ハウス内)

不感地帯付近に机上検討でリピーターを仮設置し、レイトレースシミュレーション結果から所要改善量の確認を行いました。



※リピーター設置場所は机上検討時の設置場所です。実際の設置場所は現地電波環境を確認し決定しました。

図 3.3.52 机上検討によるリピーター設置後のレイトレースシミュレーション図(屋外)
(国土地理院(電子国土 Web)(URL: <https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成)

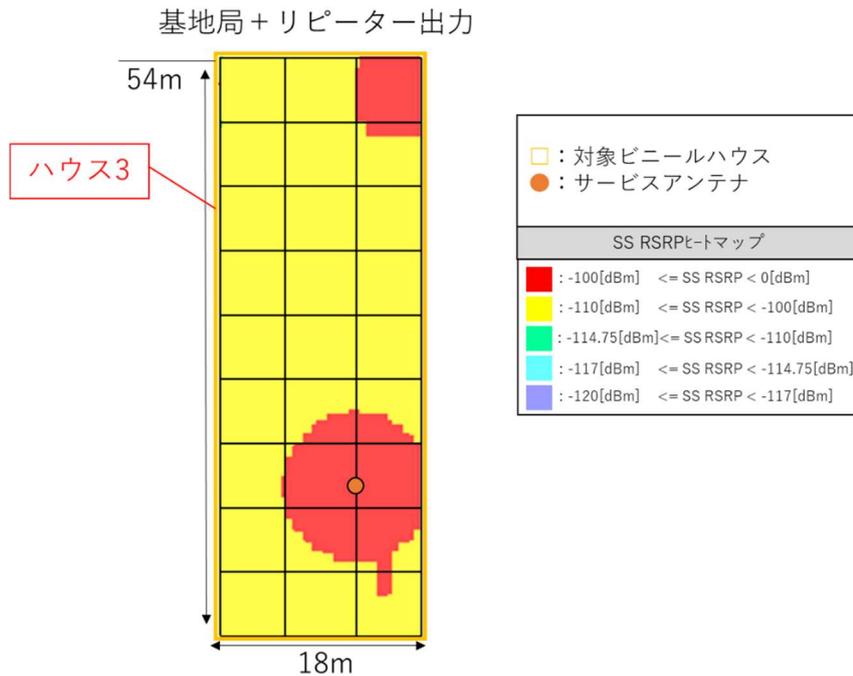


図 3.3.53 机上検討によるリピーター設置後のレイトレースシミュレーション(ハウス内)

ハウス3内に満遍なく「図 3.3.54」のように測定点をプロットし、レイトレースシミュレーションの結果から不感地帯となるポイントのリピーター設置前後の受信電力値を「表 3.3.31」のとおり算出しました。

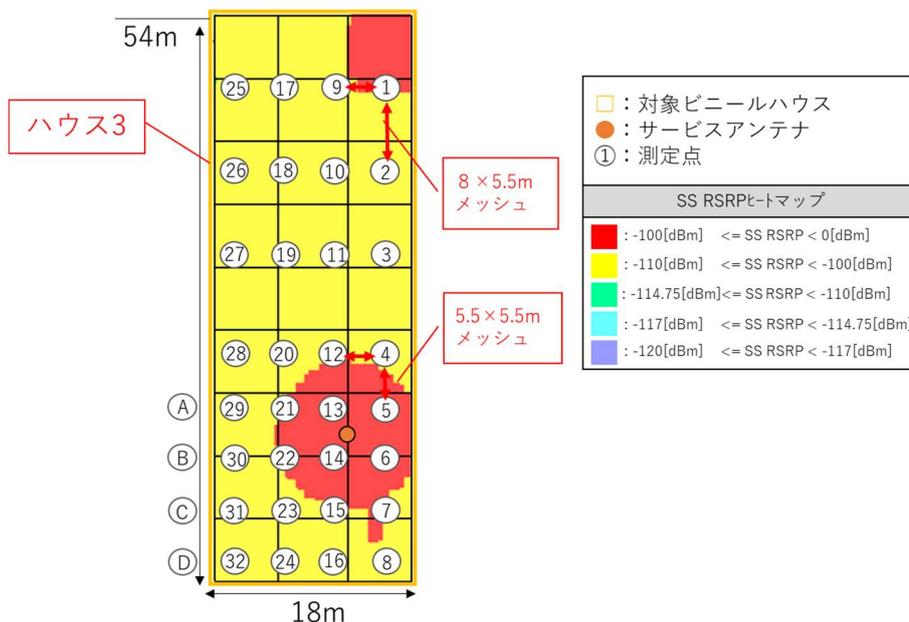


図 3.3.54 机上検討によるレイトレースシミュレーションに基づく不感地帯と測定点

机上検討の結果、「表 3.3.31」に示す 13 の測定点が不感地帯となることがわかりました。同じ型番の基地局・端末を使用した弊社屋外検証データより、UL100Mbps・伝送遅延 50ms の達成には

受信電力 (SS-RSRP) がカバーエリアの閾値である-114.75dBm 以上・SINR7dB 以上であることが求められるため、無線性能は SS-RSRP-114.75dBm 以上・SINR7dB 以上を目標値として設定しました。以下の表「表 3.3.31」に各測定点におけるサービスレベル改善目標をカバーエリアの閾値である -114.75dBm との差から求めました。また、レイトレースシミュレーションの結果から各測定点におけるリピーター設置後の改善予想値を算出し「表 3.3.31」にまとめました。

表 3.3.31 不感地帯における受信電力算出値

測定点	リピーターなし 受信電力 SS-RSRP [dBm]	サービスレベル 改善目標 [dB] ※-114.75dBm との差分	リピーターあり 受信電力 SS-RSRP [dBm]	サービスレベル 改善予想値 [dB]
5	-114.92	0.17	-96.92	18
6	-114.92	0.17	-96.35	18.57
13	-114.8	0.05	-92.05	22.75
14	-114.9	0.15	-90.09	24.81
21	-115.14	0.39	-97.65	17.49
22	-115.96	1.21	-97.14	18.82
23	-116.6	1.85	-100.61	15.99
24	-117.32	2.57	-104.33	12.99
28	-114.88	0.13	-103.94	10.94
29	-115.55	0.8	-102.41	13.14
30	-116.3	1.55	-102.25	14.05
31	-116.9	2.15	-103.63	13.27
32	-117.57	2.82	-105.86	11.71

また、リピーター運用時に想定される同一セル内干渉については①基地局からの直接波とリピーターによる中継波の遅延時間による影響、②希望波(直接波または中継波)とそれ以外の波のレベル差による影響の2つの影響が想定されますが、①については本リピーター装置の内部遅延時間(約300ns)等を考慮し問題ないと判断しました。②については、サブキャリアの集合体であるOFDM(5G)ではレベルが強くなるサブキャリアと弱くなるサブキャリアが周期的に現れることとなり、希望波(直接波または中継波)とそれ以外の波のレベル差によって通信速度に影響を及ぼします(希望波とそれ以外の波のレベル差が小さい場合、通信速度の低下やパケットロス等が生じる可能性があります)。同一セル内においても、希望波とそれ以外の波のレベル差を大きくすることで通信品質を高めることが重要であり、具体的な改善方策として以下2点を検討しました。

- ハウス内の電波強度を測定し、レベル差が最適化されるよう基地局とリピーターの送信出力を調整する
- リピーターの設置位置、指向方向、チルト角等を最適化し同一セル内の干渉影響を低

減する

なお、本実証では、希望波とレベル差の具体的な目標値は設定しておりません。現地でサービスアンテナを複数パターンで設置し、より受信レベルの改善度の高い場所に設置位置を決定し測定を行います。

(3) 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下の表のとおりです。

表 3.3.32 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	リピーター設置前後の業務区域の不感地帯改善・カバーエリアおよび調整対象区域の確認	<ul style="list-style-type: none">リピーター設置前後の不感地帯を中心とした各測定ポイントでの受信電力 (SS-RSRP)、通信品質 (SIR または SINR)、および伝送性能 (UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延) の測定リピーター設置前後のカバーエリアおよび調整対象区域の閾値が実測される地点の測定測定点と基地局およびリピーターとの位置関係 (距離・高さ)測定点と基地局およびリピーターまでの見通し・遮蔽物

(4) 評価・検証方法

本実証で使用するリピーターの諸元は「図 3.3.55」「表 3.3.33」のとおりです。

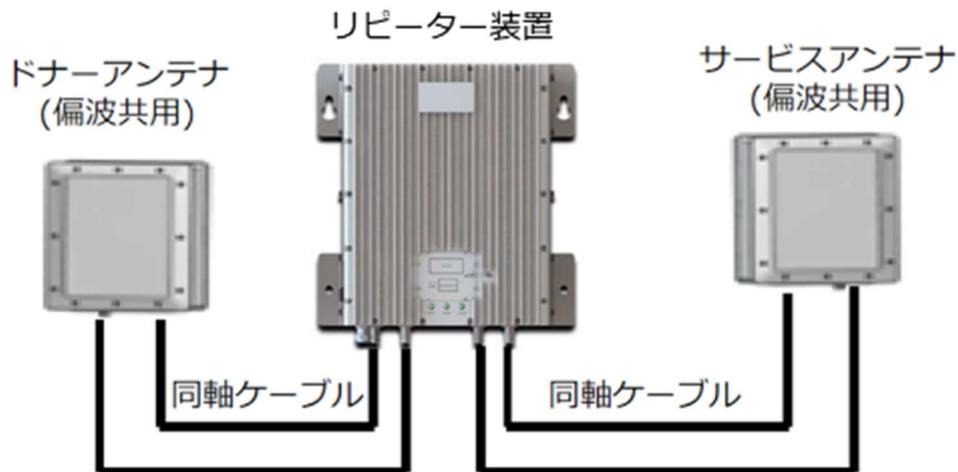


図 3.3.55 リピーター接続図

表 3.3.33 リピーター諸元

項目	
送信/受信経路数	2T2R
対応周波数帯	4.8-4.9GHz帯域
送信出力電力	+10dBm/1T +13dBm/2T
利得	47.13~67.13[dB] (アンテナ利得・給電線損失・コネクタ損失等を含む)
装置内遅延	約300ns
重量	約15.8リットル 約18kg以下(取り付け金具除く) WHD= 292 x 345 x 157 mm以下
電源	AC100V、50W以下
サービスアンテナ名	VH360-3450FTD
サービスアンテナ設置位置 緯度	39.84820953
サービスアンテナ設置位置 経度	140.03201152
サービスアンテナ設置地上高	2[m]
ドナーアンテナ名	X25-3545FTD
ドナーアンテナ方位角	327[°]
ドナーアンテナ設置位置緯度	39.848380
ドナーアンテナ設置位置経度	140.032030
ドナーアンテナ設置地上高	3[m]
計算メッシュ	屋外：5[m] 屋内：0.5[m]

リピーターに接続するアンテナの垂直・水平パターン図は「図 3.3.56」「図 3.3.57」のとおりです。

リピーター用ドナーアンテナ
(基地局対向側)

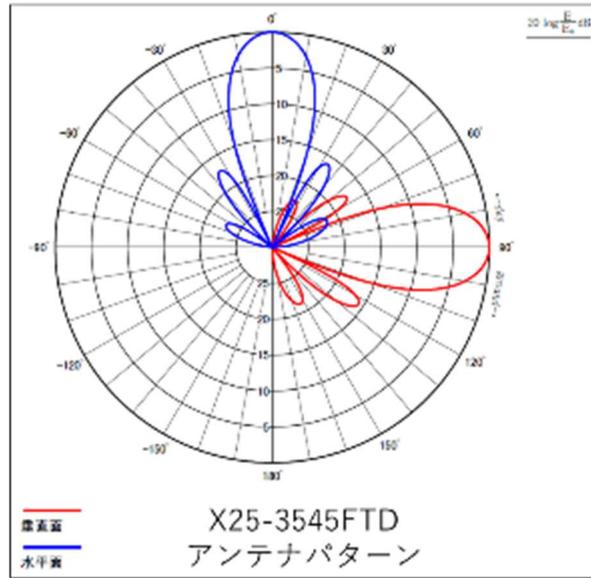


図 3.3.56 ドナーアンテナ(X25-3545FTD)パターン図

リピーター用サービスアンテナ
(移動局対向側)

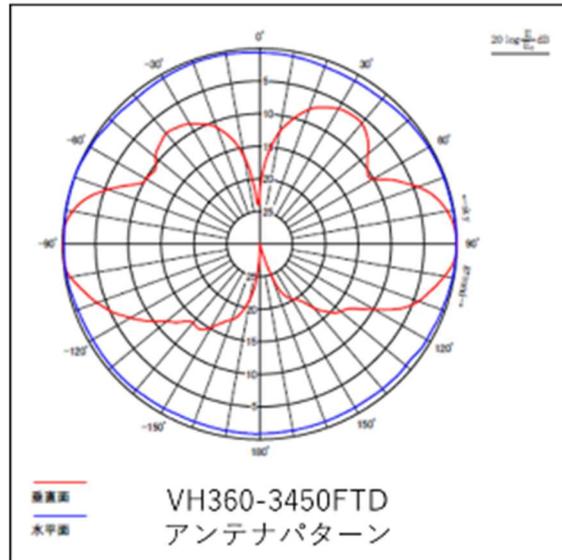


図 3.3.57 サービスアンテナ(VH360-3450FTD)パターン図

本実証の試験手順は、以下の表のとおりです。

表 3.3.34 リピーター設置前後の業務区域の不感地帯改善・
カバーエリアおよび調整対象区域の確認試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	<p>事前シミュレーション</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ リピーター無しでのエリア算出法シミュレーションの作成 ・ リピーター無しでのレイトレースシミュレーションの作成 ・ リピーター有りでのエリア算出法シミュレーションの作成 ・ リピーター有りでのレイトレースシミュレーションの作成 <p>所要改善量の算出</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ レイトレースシミュレーションによる所要改善量の算出 <p>測定点の選定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 不感地帯を中心にリピーターによる改善効果が明確になる30以上の測定点 ・ リピーター無し状態でエリア算出法に定めるカバーエリアおよび調整対象区域の閾値がそれぞれ実測される測定点 ・ リピーター有りの状態でエリア算出法に定めるカバーエリアおよび調整対象区域の閾値がそれぞれ実測される測定点 ・ 他者土地電波漏洩軽減策の確認のためビニールハウスを隔てた屋外測定点 	<p>図 3.3.48 ～ 図 3.3.54</p>
2	<p>リピーター設置前の現地電波環境の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実証エリアにおいてSS-RSRPの歩行測定を実施 ・ 歩行測定の結果から実証環境エリアのリピーター無しSS-RSRPヒートマップを作成 ・ シミュレーション結果およびリピーター無しSS-RSRPヒートマップヒートマップから不感地帯を把握 ・ リピーター設置前定点測定の実施 	<p>図 3.3.59 図 3.3.61</p>
3	<p>ドナーアンテナ設置位置・サービスアンテナ設置位置の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 回線設計でドナーアンテナの必要受信レベル、サービスアンテナの送信電力を決定 ・ 現地に仮設置し最適な設置位置を確認 ・ ドナーアンテナ・サービスアンテナの設置位置決定 	<p>図 3.3.62 ～ 図 3.3.76</p>
4	<p>リピーター設置後定点測定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 項番1で定義した測定点で定点測定を実施 	<p>図 3.3.79 図 3.3.80</p>

5	<p>分析および考察</p> <p>シミュレーション結果、ヒートマップおよび定点測定の結果を確認</p> <ul style="list-style-type: none"> 測定点におけるリピーターによる測定項目の改善量の確認 カバーエリアの閾値が実測される点の変化を確認 ビニールハウス材による遮蔽物透過損を確認するため、ビニールハウスの壁面を隔てて隣接する屋内・屋外測定点の受信電力を比較 リピーターの有効性評価（設置容易性・コスト） 最適なユースケースの提案 リピーター設計手法のモデル化 	<p>図 3.3.82 ～ 図 3.3.100</p>
---	---	-------------------------------------

受信電力の測定は「図 3.3.17」「図 3.3.18」のとおり実施しました。伝送性能の測定は MTS5800 を用いて下図に示す構成で測定しました。

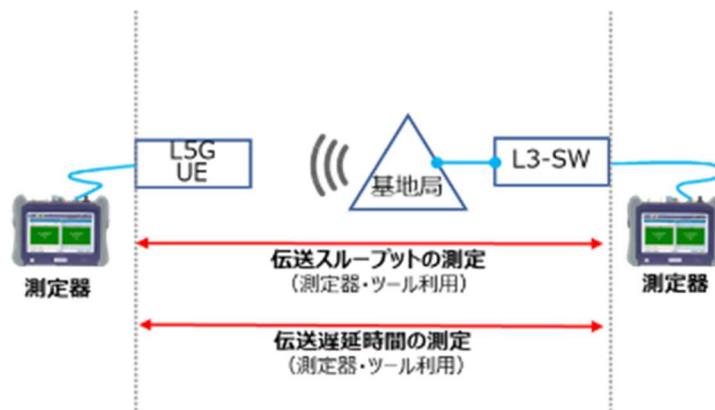


図 3.3.58 MTS5800 を用いた伝送性能測定図

まず、「表 3.3.34」記載の工程 2 より、リピーター設置前の現地電波環境の確認を実施するため実証エリアにおいて SS-RSRP の歩行測定を実施しました。歩行測定の結果から下図のように SS-RSRP ヒートマップを作成しました。

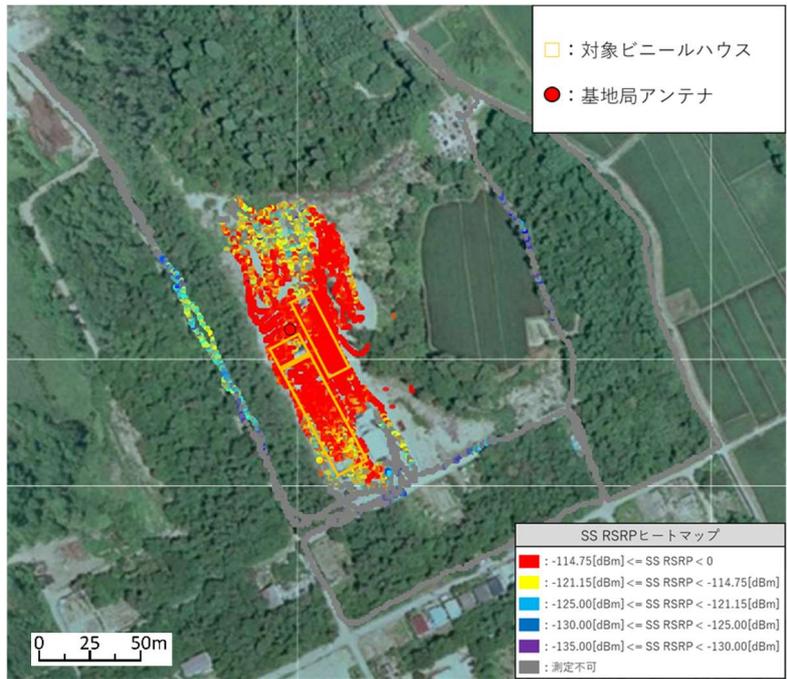


図 3.3.59 SS-RSRP ヒートマップ(リピーター設置前)
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

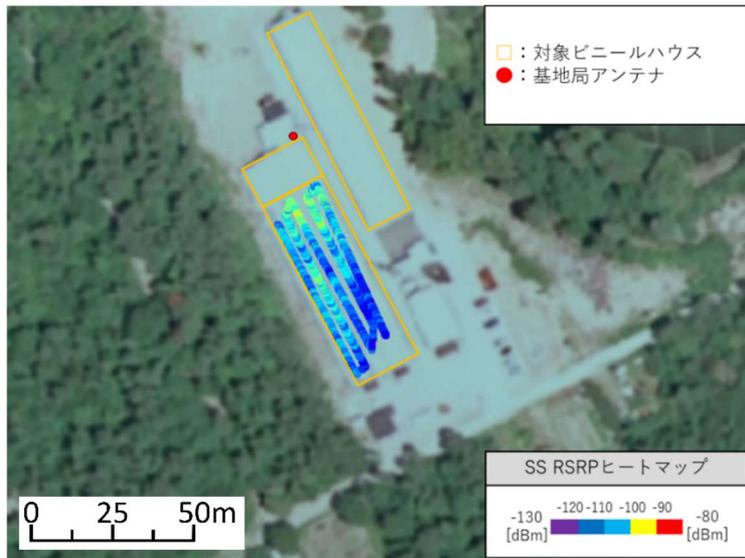


図 3.3.60 SS-RSRP ヒートマップ(ハウス 3、リピーター設置前)
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

続いてハウス 3 内部の「図 3.3.54」で定義した 32 の測定点で受信電力・伝送性能を測定し電波環境の確認を行いました。測定結果を下記「表 3.3.35」に示します。

表 3.3.35 リピーター設置前の受信電力・伝送性能測定結果

測定ポイント	受信電力 SS-RSRP	SINR [dB]	UL スループット	DL スループット	UL 伝送遅延 [ms]	DL 伝送遅延 [ms]
--------	-----------------	--------------	-----------	-----------	-----------------	-----------------

	[dBm]		[Mbps]	[Mbps]		
1	-101.97	13.32	282.1	155.3	8.7	7.8
2	-112.77	5.12	259.2	139.4	8.6	7.7
3	-111.78	5.77	238.0	128.4	8.8	8.0
4	-117.14	4.09	43.5	3.9	8.7	109.5
5	-116.53	4.13	116.8	72.5	13.1	7.7
6	-114.68	4.44	54.9	26.9	8.7	20.9
7	-114.94	4.43	45.0	0.8	8.7	7.8
8	-115.76	4.18	52.2	23.0	8.8	7.7
9	-104.48	10.22	287.3	168.8	8.7	7.9
10	-105.86	9.57	221.0	118.0	8.8	7.7
11	-115.19	4.57	214.8	100.6	8.7	7.8
12	-118.37	3.95	55.9	22.8	7.8	26.3
13	-118.00	3.92	108.7	68.2	8.8	7.8
14	-117.22	4.01	154.8	66.4	8.7	7.8
15	-119.55	3.83	1.6	-	13.1	31.1
16	-116.86	4.18	48.1	0.8	8.7	20.8
17	-102.06	12.79	251.5	150.1	7.8	7.8
18	-112.96	4.71	243.3	126.7	8.7	7.7
19	-113.43	5.25	217.0	95.8	7.8	7.6
20	-113.78	4.54	161.6	69.4	13.0	20.9
21	-116.74	4.13	147.0	74.7	8.7	13.0
22	-118.17	3.80	53.3	28.2	33.7	26.3
23	-118.43	3.87	44.5	20.8	8.8	13.0
24	-119.04	3.83	1.6	0.4	8.7	7.8
25	-109.14	7.04	220.0	120.1	8.7	7.7
26	-110.31	6.36	245.9	120.8	8.8	7.7
27	-117.45	4.00	164.6	67.8	8.6	7.7
28	-116.45	4.14	0.00008	69.6	13.0	20.9
29	-117.36	3.96	52.3	39.0	8.8	7.6
30	-117.47	4.01	68.9	0.8	156.4	7.9
31	-117.84	3.96	60.7	6.5	13.1	21.0
32	-118.04	4.01	51.8	25.9	13.1	10.5

※表の「-」記載箇所はエリアテストの受信電力下限値が SS-RSRP-130dBm であるため、下限値を下回り測定不可となったポイントです。以降も同様です。

上記測定結果より、定義したカバーエリアの閾値以下の受信電力が実測された地点・なおかつ

所要性能 UL100Mbps・伝送遅延 50ms 以下を下回る地点を確認するとハウス内測定点 32 ポイント中 20 ポイントが不感地帯であることがわかりました。また、定義した不感地帯はいずれも SINR7dB 未満の結果となりました。下図に実測された不感地帯 (SS-RSRP-114.75 未満・所要性能未滿) を図示します。

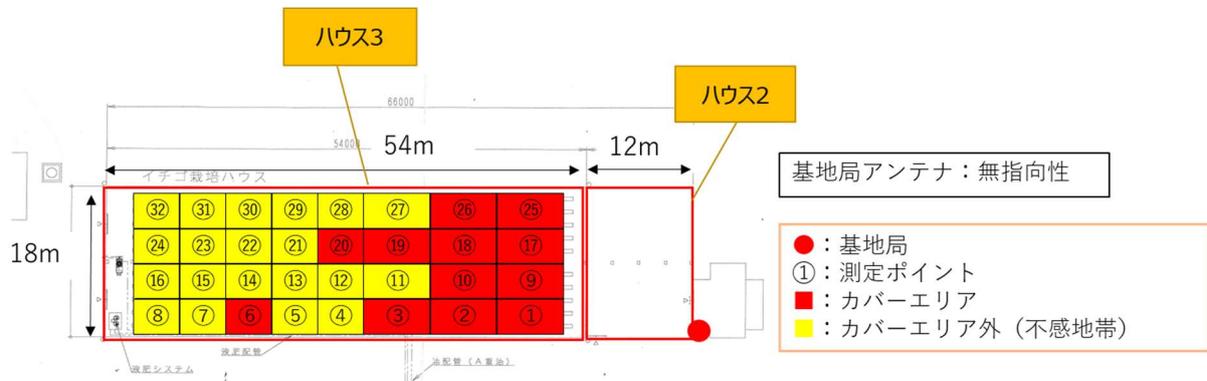


図 3.3.61 不感地帯確認結果

現地電波環境の把握結果から、リピーターのリンクバジェット算出を行いました。ドナーアンテナは基地局から見通し環境にあり、間に遮蔽物がなく運用上も障壁にならない場所として基地局から約 30m 地点に設置することとし、基地局→ドナーアンテナ間、サービスアンテナ→端末間のリンクバジェットを下記にまとめました。

基地局→リピーター リンクバジェット			
※電波法関係審査基準エリア算出法に基づいた回線設計書			
パラメーター	計算値	単位	備考
f	4849.98	MHz	使用する周波数
H _b	4	m	基地局の空中線地上高
H _m	3	m	陸上移動局の空中線地上高
dxy	0.03	km	基地局と伝搬損失を算定する地点との距離
α	1	—	遠距離考慮係数
a(H _m)	-0.001	—	移動局考慮係数
b(H _b)	-17.501	—	基地局考慮係数
K	0	—	補正值
R	0	—	建物侵入損
S	32.5	—	補正值 (開放地)
P _t	16.052	dBm	送信電力-給電線損失
G _t	1	dBi	送信アンテナ利得
G _r	0	dBi	受信アンテナ利得
EIRP	20.052	dBm	等価等方輻射電力 Pt+G _t -L _f
L	75.662	dB	伝搬損失 32.4+20*LOG10(f)+10*LOG10((dxy)^2+(H _b -H _m)^2/1000000)+R
P _r	-58.61	dBm	受信電力 Pt+G _t +G _r -L-L _f

図 3.3.62 基地局・リピーター間のリンクバジェット

リピーター→受信端末 リンクバジェット			
※電波法関係審査基準エリア算出法に基づいた回線設計書			
パラメータ	計算値	単位	備考
f	4849.98	MHz	使用する周波数
H _b	2	m	基地局の空中線地上高
H _m	1.5	m	陸上移動局の空中線地上高
dxy	0.035	km	基地局と伝搬損失を算定する地点との距離
α	1	—	遠距離考慮係数
a(H _m)	-0.001	—	移動局考慮係数
b(H _b)	-23.522	—	基地局考慮係数
K	0	—	補正值
R	0	—	建物侵入損
S	32.5	—	補正值 (開放地)
P _t	-1.48	dBm	送信電力(受信電力-58.61dBm+装置内利得57.13)
G _t	1	dBi	サービスアンテナ 送信アンテナ利得
G _r	1	dBi	UE 受信アンテナ利得
EIRP	-0.48	dBm	等価等方輻射電力 P _t +G _t -L _f
L	76.997	dB	伝搬損失 32.4+20*LOG10(f)+10*LOG10((dxy)^2+(H _b -H _m)^2/1000000)+R
P _r	-84.48	dBm	受信電力 P _t +G _t +G _r -L-L _f

図 3.3.63 リピーター・端末間のリンクバジェット

上記回線設計に基づき、ドナーアンテナの利得を考慮した受信レベルは、
 リピーターの受信電力(P_r)-ドナーアンテナ利得(G_r)=-58.61+14.82=-43.79dBm
 SS-RSRP で換算すると-43.79+35.15=-78.94dBm となります。

上記回線設計に基づき、ドナーアンテナの利得を考慮した受信レベルは、
 リピーターの受信電力(P_r)-ドナーアンテナ利得(G_r)=-58.61+14.82=-43.79dBm
 SS-RSRP で換算すると-43.79+35.15=-78.94dBm となります。

- 利得設定 40dB 時: -30dBm/ポート (= 10dBm/ポート - 40dB)
- 利得設定 60dB 時: -50dBm/ポート (= 10dBm/ポート - 60dB)

実運用後の利得調整等を考えて安定した品質を確保するためには、サービス側最大出力が得られるドナー側受信最大電力値をもとに、利得設定値の決定を行うことが望ましいと考えます。

この場合、ドナー側受信許容最大電力値は -30 ~ -50dBm/ポートとなります。

SS-RSRP で換算すると-65 ~ -85dBm であり、ドナーアンテナの受信電力目標値となります。

実際に基地局から約 30m 地点に設置したドナー入力端子における受信電力(SS-RSRP)の約 5 分間の計測結果は下記の通りで概ね目標値を達成できました。

表 3.3.36 ドナーアンテナ受信電力実測値

測定項目	測定結果
中央値	-84.3dBm
上位 10%値	-83.8dBm
下位 10%値	-85.0dBm

標準偏差	0.3dB
------	-------

また、受信電力の時間遷移を下記に示します。図の通り安定した受信電界値が得られていることがわかります。フェージングに相当する 2σ 値は、 $\pm 0.6\text{dB}$ (時間率:約 95%)です。変動の理由は、実証利用のため屋外可搬ポールに固定しているドナーアンテナの風による揺れの影響と推測します。

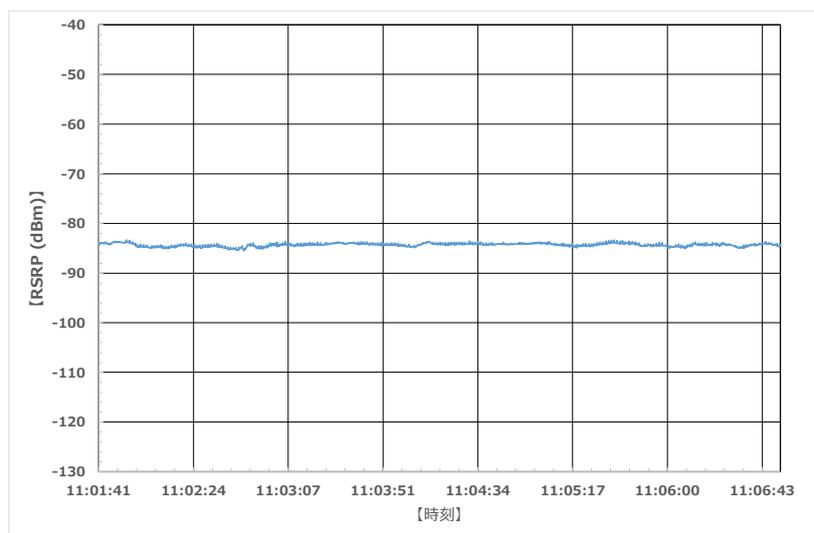


図 3.3.64 ドナーアンテナ実測受信電力の時間遷移

基地局対向器受信レベル(ドナー入力レベル)について、計算値が実測値より約 5dB 大きい結果となっております。その要因は、ドナーアンテナの偏波面のずれ、降雪による影響(反射波の出現等)、フレネルゾーンに障害物があること等が上げられます。

続いてサービスアンテナの設置場所を検討します。「図 3.3.65」「図 3.3.66」のように、不感地帯の近傍①②の位置にサービスアンテナを仮設置し歩行測定を行うことで、最適な設置場所を確認しました。

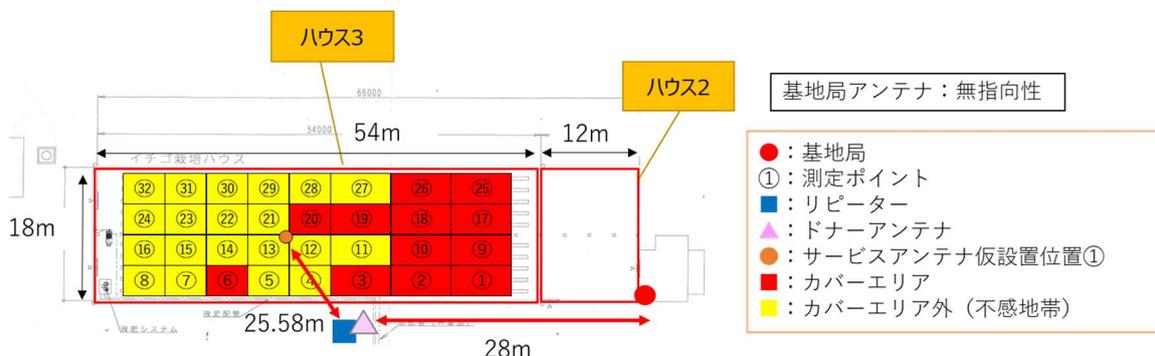


図 3.3.65 サービスアンテナ仮設置位置①

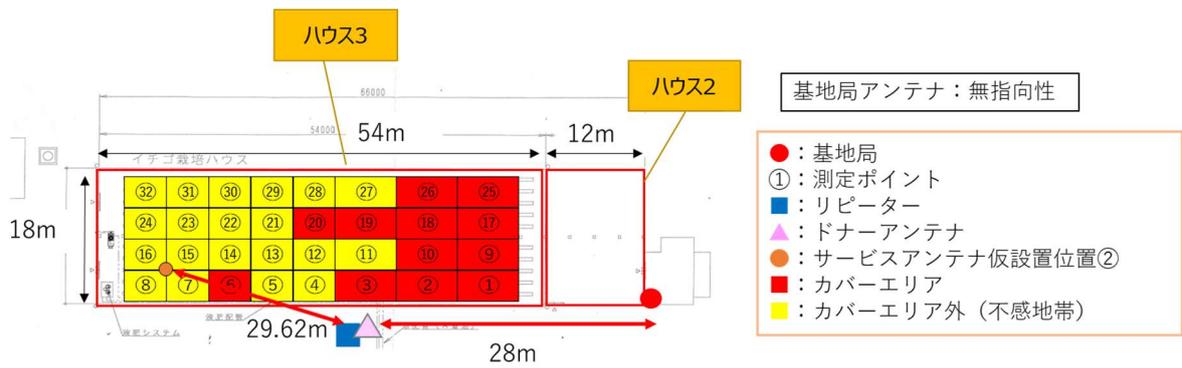


図 3.3.66 サービスアンテナ仮設置位置②

設置位置①②へリピーターを設置し歩行測定を実施した結果から、SS-RSRP ヒートマップを下図のように作図しました。

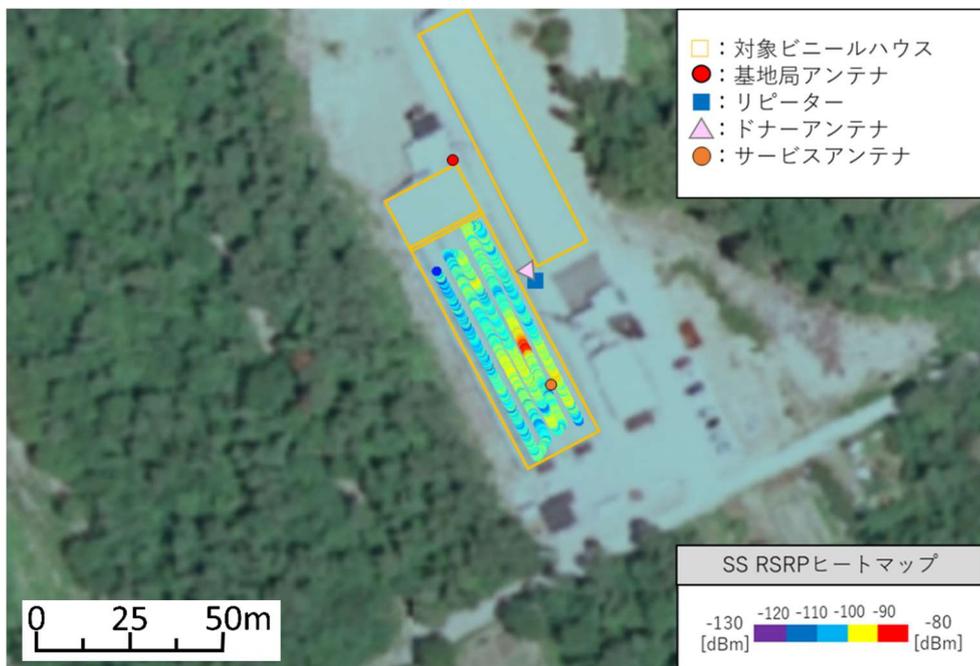


図 3.3.67 SS-RSRP ヒートマップ(リピーター設置後) 仮設置位置①

(国土地理院(電子国土 Web)(URL: <https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成

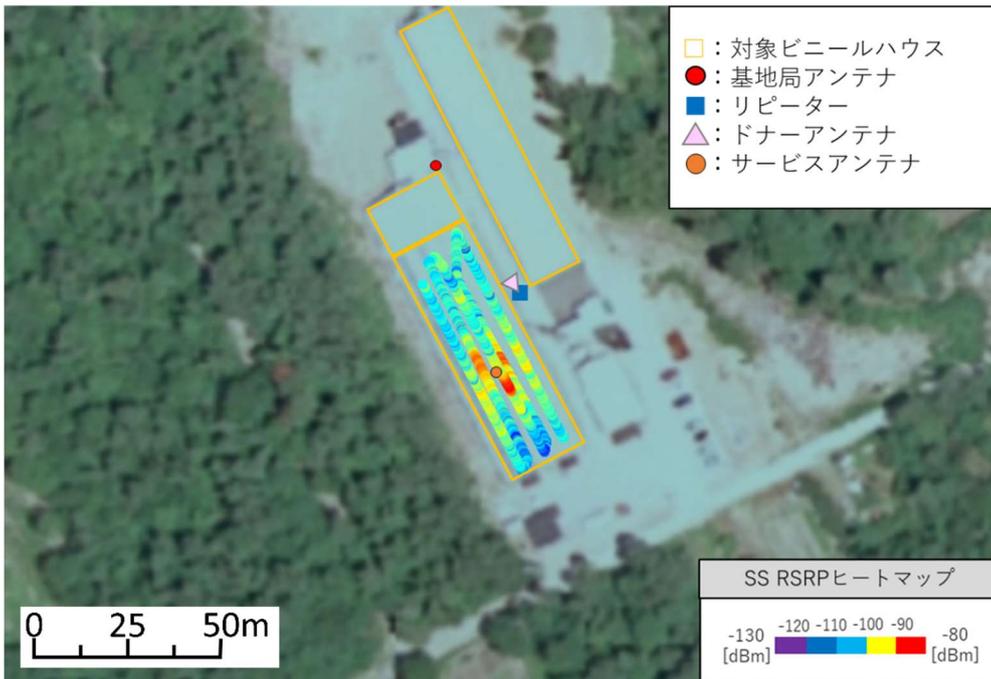


図 3.3.68 SS-RSRP ヒートマップ(リピーター設置後) 仮設置位置②
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL: <https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成

実測結果を比較し、よりリピーター設置後に受信電力の高い赤や黄色のエリアの広がりが見え改善効果が大きかった仮設置位置②にサービスアンテナを設置することを決定しました。

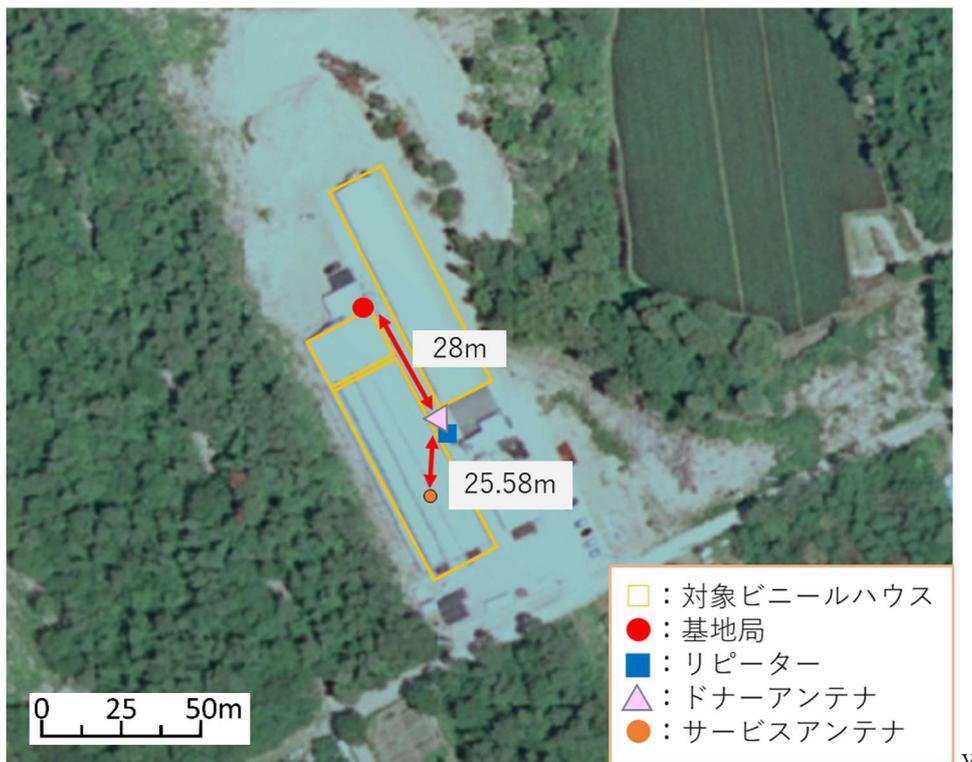


図 3.3.69 リピーター設置図(水平図)
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL: <https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成

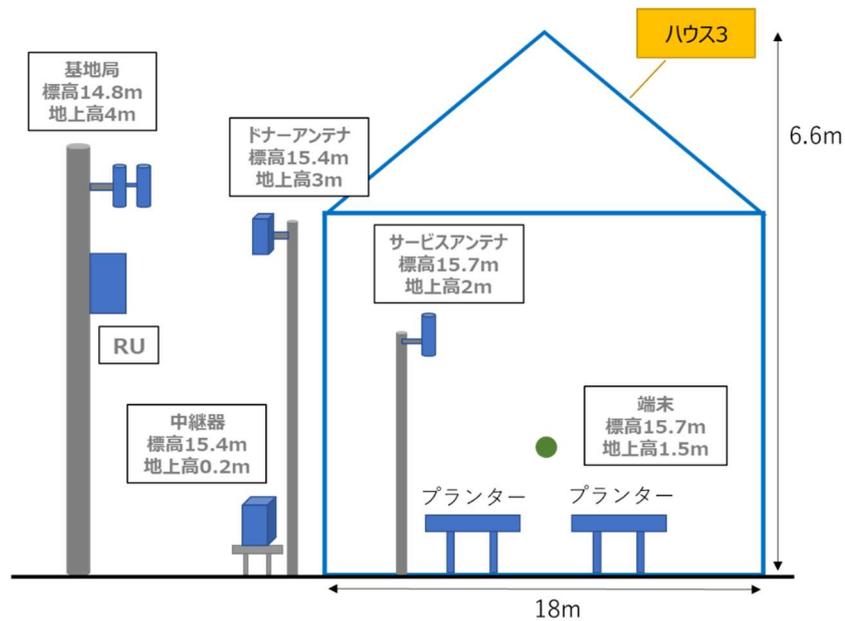


図 3.3.70 リピーター設置図(垂直図)

リピーター設置時のハウス外ヒートマップ結果を「図 3.3.71」に示します。また、リピーター設置状態の写真を下記「図 3.3.72」～「図 3.3.76」に示します。

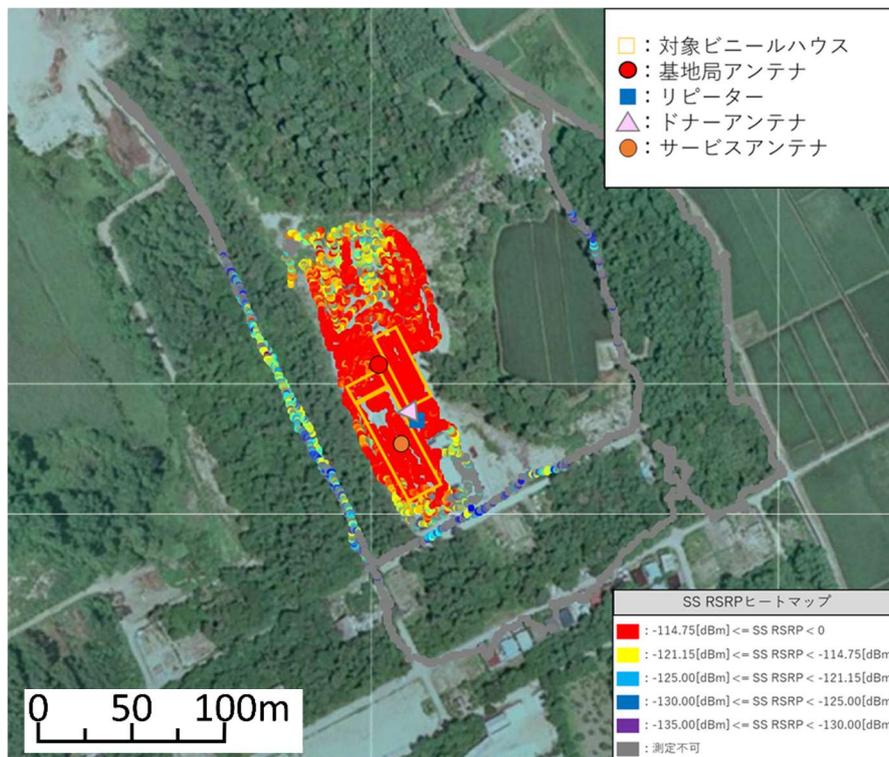


図 3.3.71 SS-RSRP ヒートマップ(リピーター設置後、全体)
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成

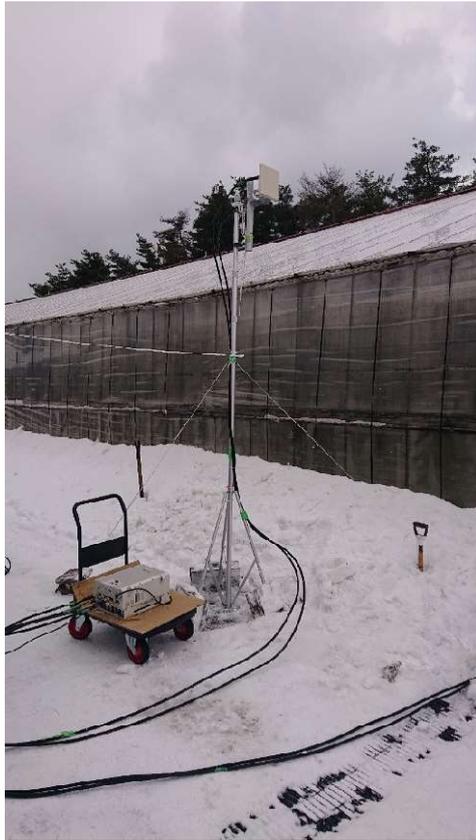


図 3.3.72 リピーター設置状態



図 3.3.73 リピーター設置状態(背面から基地局方向)



図 3.3.74 ドナーアンテナ設置状態



図 3.3.75 サービスアンテナ設置状態①



図 3.3.76 サービスアンテナ設置状態②

次にリピーター設置後のカバーエリアと調整対象区域図をエリア算出法、レイトレースシミュレーションでそれぞれ作図しました。

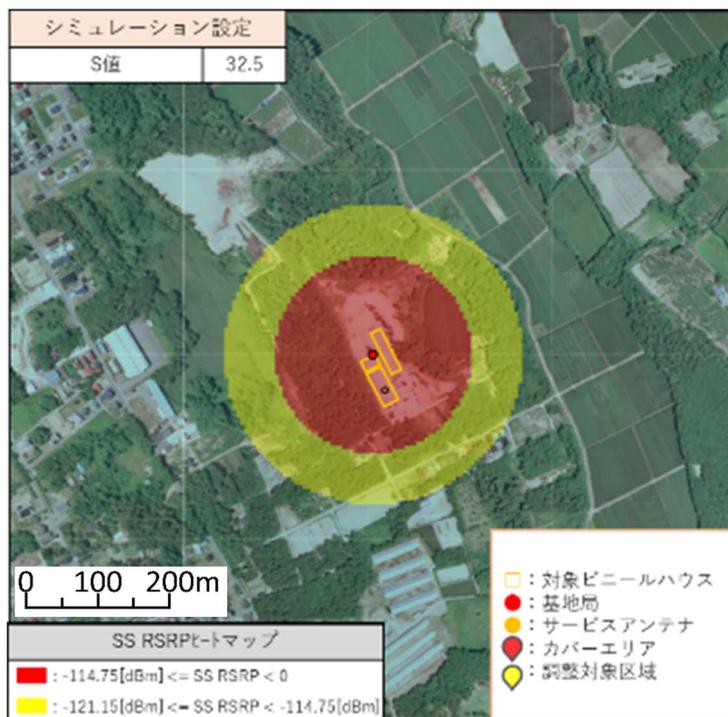


図 3.3.77 リピーター設置後の算出法エリア図(屋外)
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成

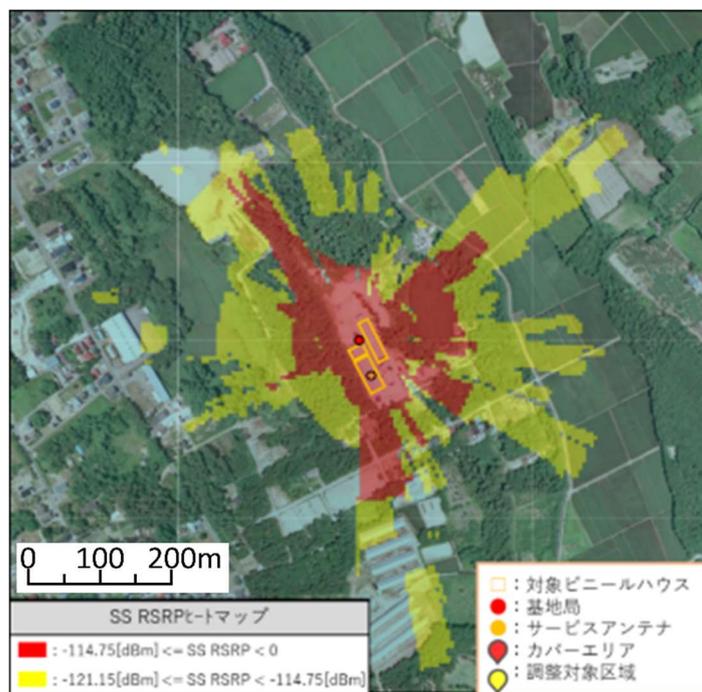


図 3.3.78 リピーター設置後のレイトレースシミュレーション(屋外)
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成

測定ポイントのハウス内測定点は「図 3.3.54」の通りとし、ハウス屋外のカバーエリア・調整対象区域の閾値が実測される位置の確認は「図 3.3.79」「図 3.3.80」のようにリピーター設置前後でカバーエリア・調整対象区域の実測位置を4方向で確認しました。

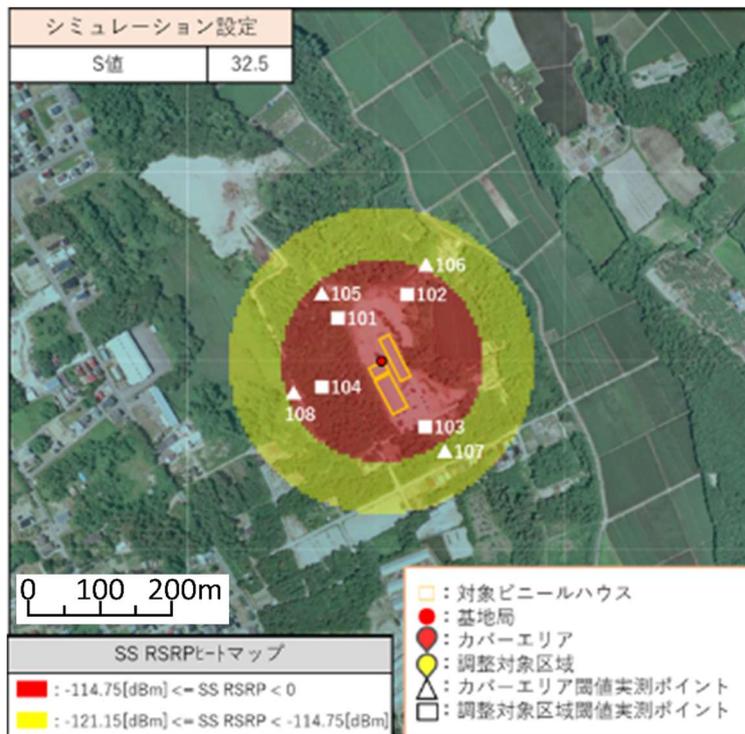


図 3.3.79 リピーター設置前のカバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイント(イメージ)
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

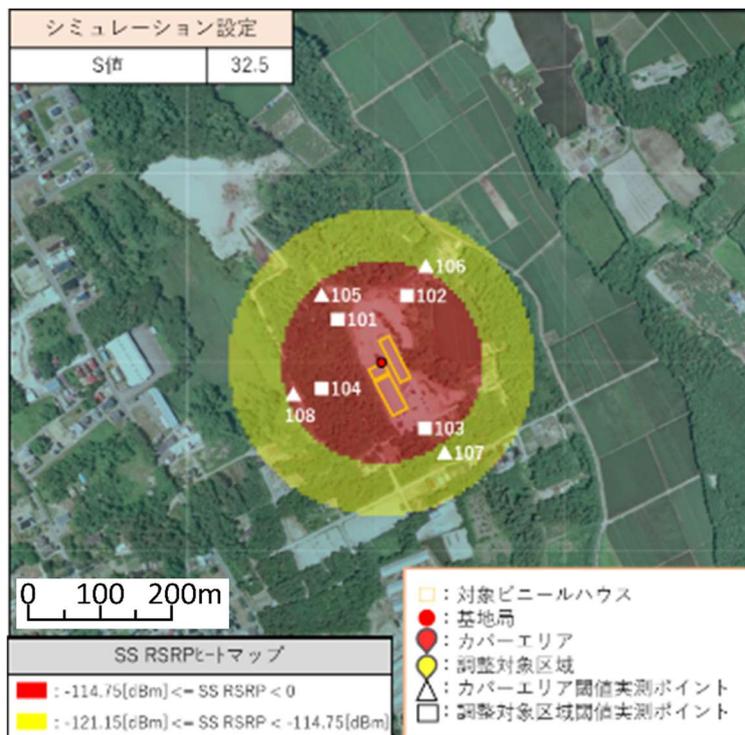


図 3.3.80 リピーター設置後のカバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイント(イメージ)
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

実際のエリア端が実測された地点のプロット図、基地局・リピーターからの距離の測定結果は「(5) 実証結果および考察」にて記載しました。

(5) 実証結果および考察

まず、リピーター設置前後の受信電力・伝送性能の比較・考察を行います。ハウス3内のポイント1~32で測定したリピーター設置後の受信電力・伝送性能の測定結果を下記の表にまとめました。

表 3.3.37 リピーター設置後の電波性能測定結果

測定ポイント	受信電力 SS-RSRP (dBm)	SINR [dB]	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	UL 伝送遅延(ms)	DL 伝送遅延(ms)
1	-100.23	7.4	307.8	285.6	8.5	7.4
2	-109.66	6.2	281.4	243.2	8.0	7.1
3	-106.85	4.8	274.0	254.0	8.1	7.2
4	-106.49	6.8	256.3	292.1	8.0	7.1
5	-110.31	4.9	258.5	237.5	8.1	7.2
6	-112.06	4.9	251.7	258.7	7.9	7.0
7	-112.78	4.9	259.2	225.1	8.1	7.3
8	-109.52	6.5	225.5	230.4	8.1	7.4
9	-98.99	7.0	313.6	266.5	8.3	7.2
10	-94.32	12.8	289.9	129.6	8.0	7.1
11	-91.16	16.6	266.9	266.4	8.0	7.2
12	-85.55	15.2	229.8	402.7	8.0	7.1
13	-92.03	14.4	245.3	317.5	8.0	7.1
14	-96.90	11.8	227.2	281.0	8.0	7.1
15	-97.01	13.5	201.9	223.8	8.0	7.3
16	-96.34	14.1	225.2	225.2	8.1	7.4
17	-100.07	8.0	287.3	252.4	8.3	7.4
18	-99.89	10.6	279.9	244.2	8.3	7.2
19	-93.05	13.8	264.0	285.1	8.0	7.2
20	-87.58	16.7	219.7	354.3	8.0	7.1
21	-90.58	15.3	289.6	289.6	7.9	7.1
22	-97.95	10.9	230.1	237.5	8.0	7.2
23	-104.58	9.3	224.9	212.5	8.0	7.2
24	-107.85	6.7	217.7	198.1	8.0	7.4

25	-106.34	4.7	266.6	196.7	8.3	7.4
26	-100.65	10.9	266.3	264.0	8.1	7.1
27	-98.93	13.8	261.4	284.4	8.2	7.2
28	-94.88	18.0	238.1	322.2	8.0	7.1
29	-96.55	16.3	219.7	276.1	8.1	7.2
30	-103.12	12.5	204.2	196.7	8.0	7.2
31	-106.81	8.3	209.7	197.0	7.9	7.3
32	-107.27	7.7	199.6	189.0	8.0	0.8

上記の結果から、実証目的である不感地帯での受信電力・伝送性能改善に対するリピーターの有効性を以下で評価します。

リピーター設置前の「表 3.3.35」とリピーター設置後の「表 3.3.37」の比較結果より、全測定ポイントにおいてリピーター設置後に受信電力および伝送性能の改善が見られました。設置前後の不感地帯のハウス3内における割合の変化を下図に示します。設置前ハウス3内部の黄色のエリア、62.5%が不感地帯に該当していましたが、設置後全てのエリアが赤色カバーエリア閾値以上の受信電力となり不感地帯 0%へ解消されました。ハウス内の受信電力はサービスアンテナ付近で最大+32.8dB の改善効果が見られ、平均値でも+13.9dB の受信電力の改善を確認出来ました。

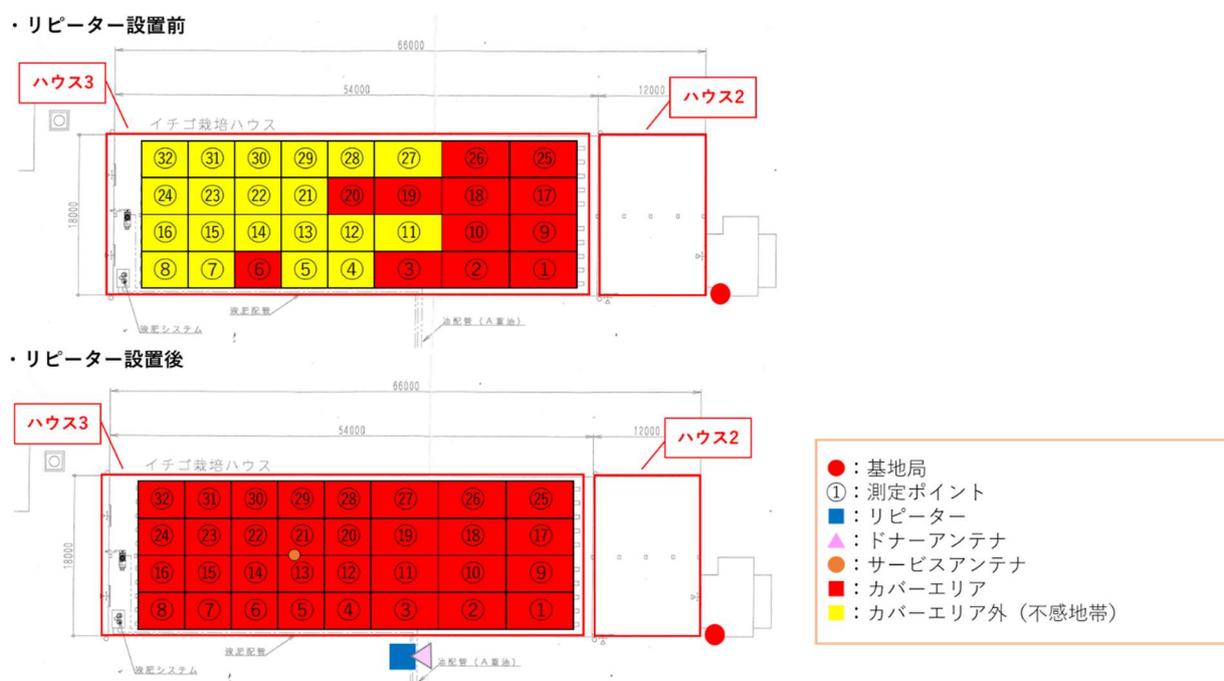


図 3.3.81 リピーター設置前後の不感地帯確認結果

以降のグラフにリピーター設置前後の受信電力・伝送性能の変化を示します。

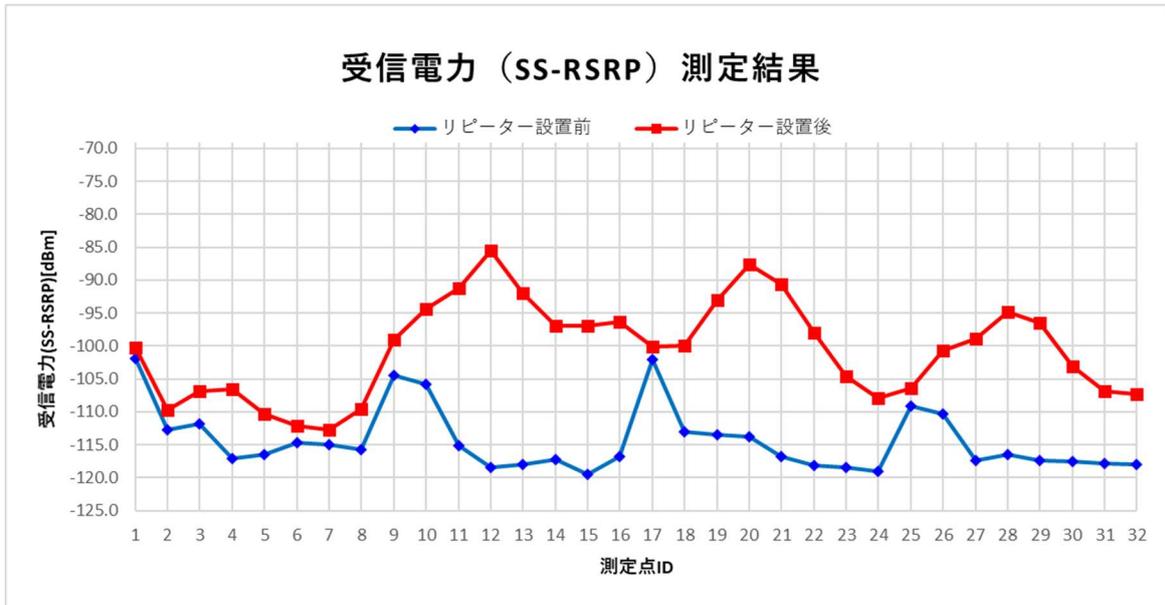


図 3.3.82 リピーター設置前後の受信電力測定結果

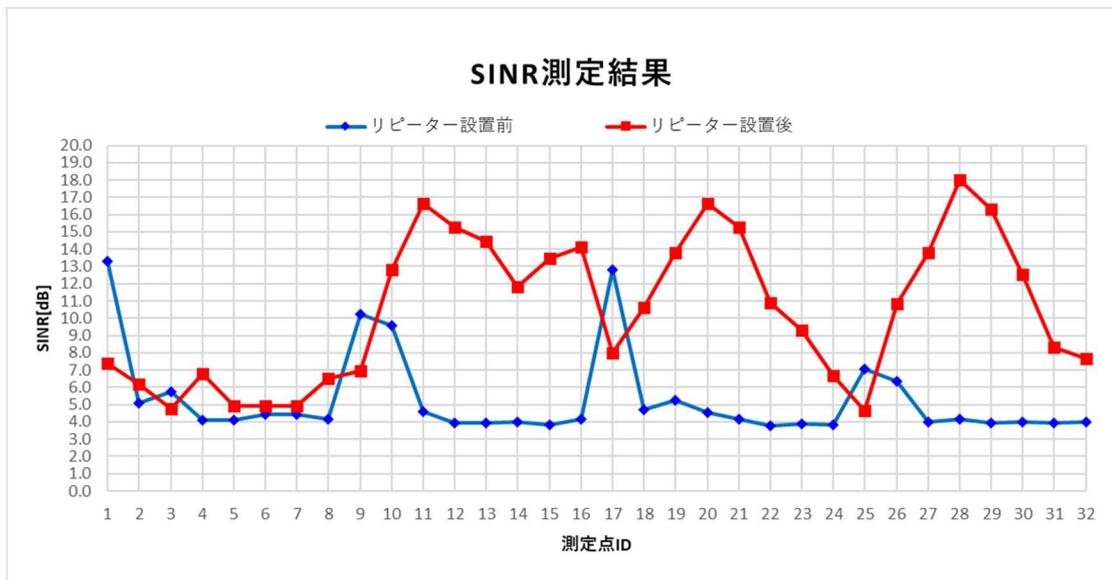


図 3.3.83 リピーター設置前後の SINR 測定結果

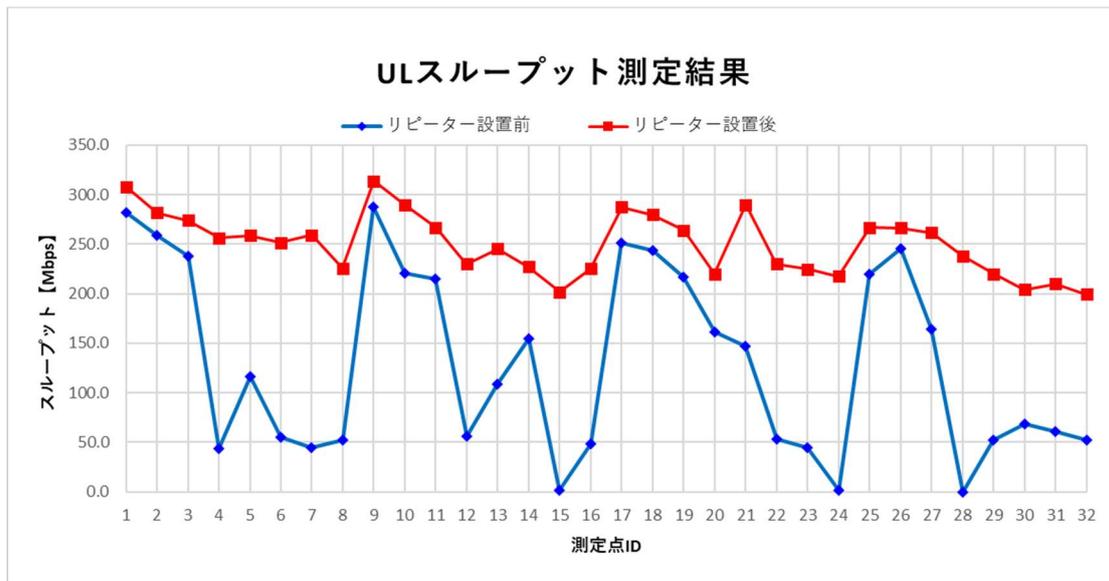


図 3.3.84 リピーター設置前後の UL スループット測定結果

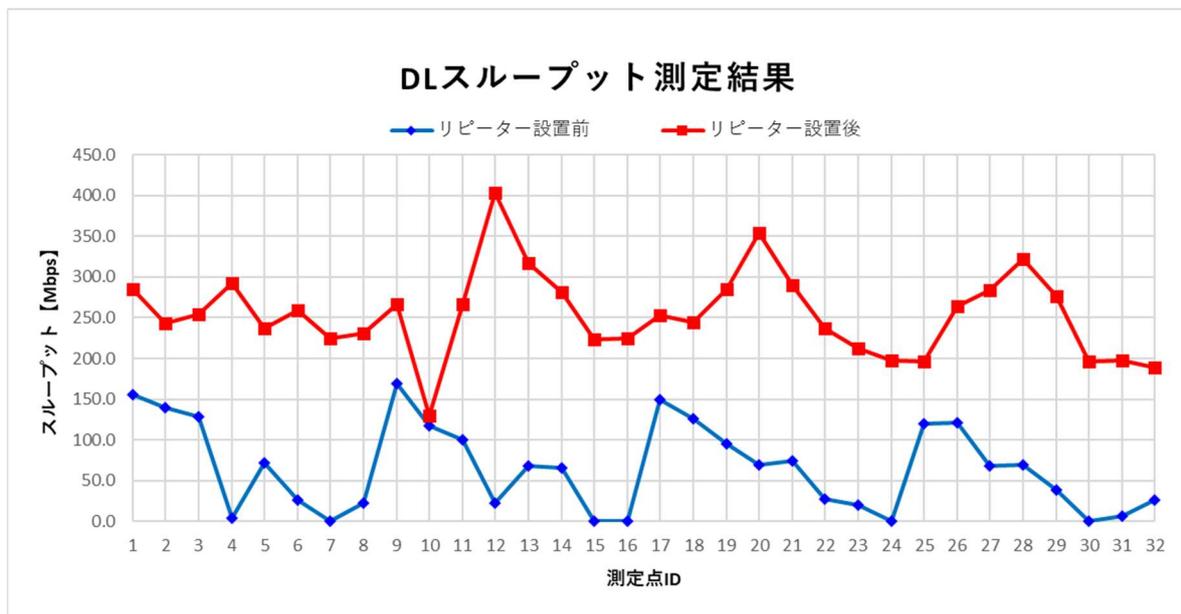


図 3.3.85 リピーター設置前後の DL スループット測定結果

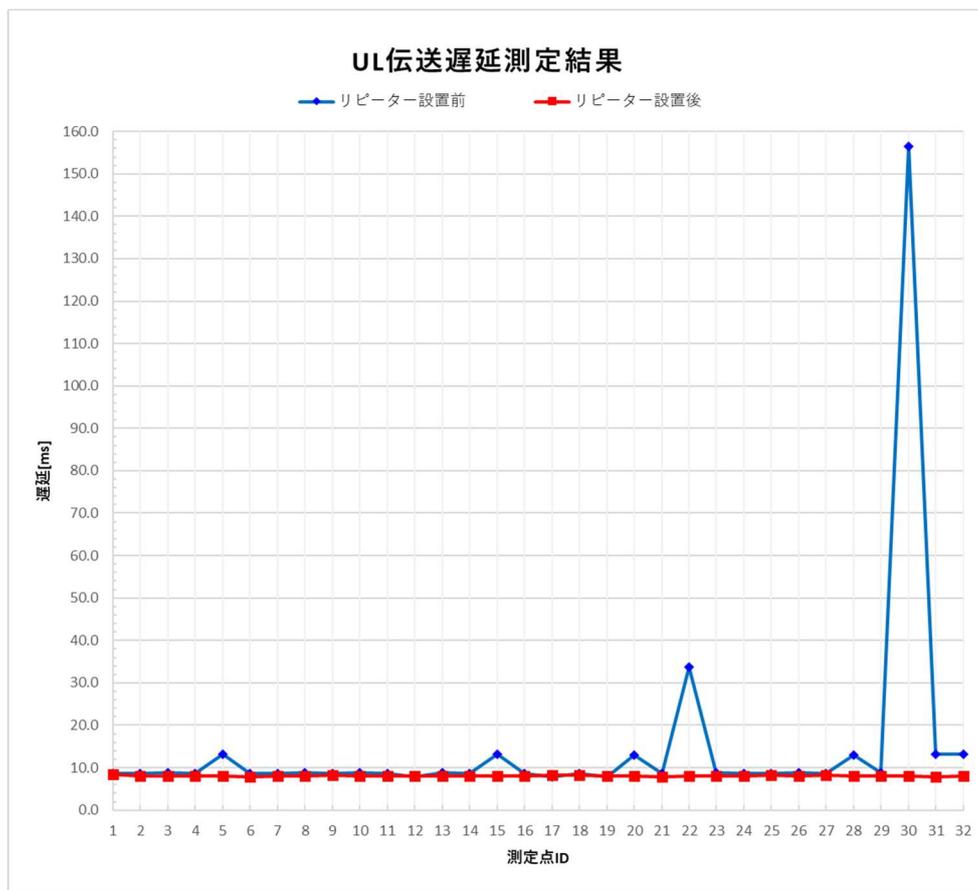


図 3.3.86 リピーター設置前後のUL 伝送遅延測定結果

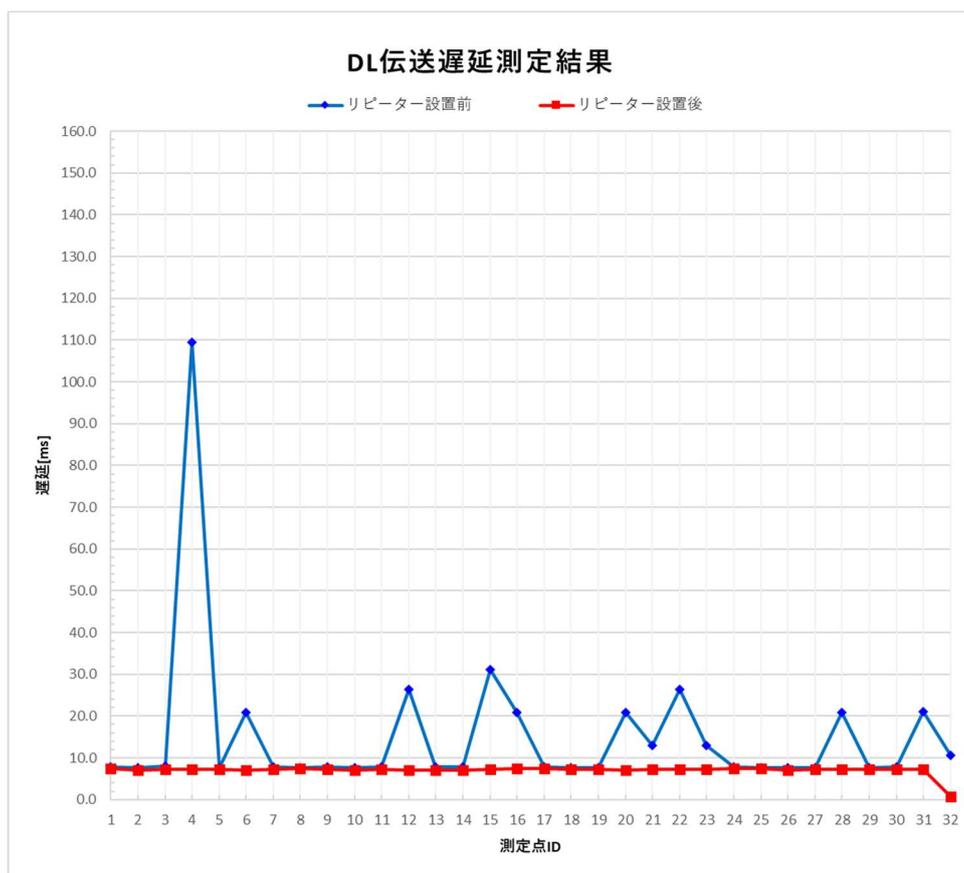


図 3.3.87 リピーター設置前後の DL 伝送遅延測定結果

上記のグラフに示した通り、所要性能である UL スループット 100Mbps 以上・遅延 50ms 以下を全測定点で達成することができ、本実証におけるリピーター活用は非常に有効でした。サービスアンテナ付近で UL スループット最大+238Mbps、平均値で+120Mbps の改善を確認しました。DL スループットは最大+380Mbps、平均値で+188Mbps の改善が確認できました。伝送遅延についてはリピーター設置前に 50ms を超える遅延が発生しているポイントがありましたが（UL はポイント 30、DL はポイント 4）リピーター設置後に遅延値が改善しハウス全体で遅延値は 10ms 以下と低遅延通信を実現することができました。

なお、本実証で使用したローカル 5G システムは DMCS を採用しているため、各測定点における理論値との詳細な比較は実施できません。システム諸元から想定される MCS 値、理論値を算出しました。

【計算パラメータ】

Band	Sub-6	Sub-6
Direction	Downlink	Uplink
MIMO	4	2
f	1	1
N-RB	273	273
T-Symbol	0.0000357	0.0000357
R-OH	0.14	0.08
R-UL/DL	0.5	0.5

256QAM ONの場合

MCS Index I _{MCS}	Modulation Order Q _m	Target code Rate R x [1024]	Spectral efficiency	DLスループット	ULスループット
				Sub-6 4.9GHz	Sub-6 4.9GHz
0	2	120	0.2344	37.0	9.9
1	2	193	0.377	59.5	15.9
2	2	308	0.6016	94.9	25.4
3	2	449	0.877	138.4	37.0
4	2	602	1.1758	185.6	49.6
5	4	378	1.4766	233.1	62.3
6	4	434	1.6953	267.6	71.6
7	4	490	1.9141	302.1	80.8
8	4	553	2.1602	340.9	91.2
9	4	616	2.4063	379.8	101.6
10	4	658	2.5703	405.7	108.5
11	6	466	2.7305	431.0	115.3
12	6	517	3.0293	478.1	127.9
13	6	567	3.3223	524.4	140.2
14	6	616	3.6094	569.7	152.4
15	6	666	3.9023	615.9	164.7
16	6	719	4.2129	664.9	177.8
17	6	772	4.5234	714.0	190.9
18	6	822	4.8164	760.2	203.3
19	6	873	5.1152	807.4	215.9
20	8	682.5	5.332	841.6	225.1
21	8	711	5.5547	876.7	234.5
22	8	754	5.8906	929.7	248.7
23	8	797	6.2266	982.8	262.8
24	8	841	6.5703	1037.0	277.3
25	8	885	6.9141	1091.3	291.9
26	8	916.5	7.1602	1130.1	302.2
27	8	948	7.4063	1169.0	312.6

図 3.3.88 スループット理論値算出結果

上図、および実測スループットより、リピーター設置前の平均 UL スループットは 130Mbps、DL スループットが 66Mbps であったことから MCS 値は UL で 13～18 程、理論値は表より 140.2Mbps～203.3Mbps と推測します。DL は MCS 値 2～4 程、理論値は表より 94.9Mbps～185.6Mbps です。

同様にリピーター設置後の平均 UL スループットは 250Mbps、DL スループットは 250Mbps であったことから MCS 値は UL で 23～27 程、理論値は 262.8～312.6Mbps、DL は MCS 値 6～9 程で理論値は 267.6～379.8Mbps と推測します。

なお、SINR は(2)実証仮説で 7dB 以上を目標値として設定しましたが、32 ポイント平均で SINR はリピーター設置前が 5.3dB、リピーター設置後は 10.5dB へ改善し 7 割のエリアで 7dB 以上を取得することができました。なお、一部のポイントでは劣化が見られたため、測定結果からその要因を考察します。

今回の実証でハウス内測定ポイント、1, 3, 9, 17, 25 においてリピーター設置後でスループット・

伝送遅延は改善しているものの、SINRのみ低下する結果となりました。

以下の「図 3.3.89」の赤色で示す部分が SINR の劣化が見られた 5 ポイントのリピーター設置前後の SINR、SS-RSRP の実測結果です。

No	リピーター			リピーター		
	設置前SINR(dBm)	設置後SINR(dBm)	差分	設置前SS-RSRP(dBm)	設置後SS-RSRP(dBm)	差分
1	13.32	7.41	-5.91	-101.97	-100.23	1.74
2	5.12	6.18	1.06	-112.77	-109.66	3.11
3	5.77	4.79	-0.98	-111.78	-106.85	4.93
4	4.09	6.81	2.72	-117.14	-106.49	10.65
5	4.13	4.95	0.82	-116.53	-110.31	6.22
6	4.44	4.94	0.50	-114.68	-112.06	2.62
7	4.43	4.93	0.50	-114.68	-112.06	2.62
8	4.18	6.49	2.32	-114.94	-112.78	2.17
9	10.22	6.97	-3.25	-115.76	-109.52	6.24
10	9.57	12.83	3.26	-105.86	-94.32	11.54
11	4.57	16.63	12.06	-115.19	-91.16	24.03
12	3.95	15.24	11.29	-118.37	-85.55	32.81
13	3.92	14.44	10.52	-118.00	-92.03	25.97
14	4.01	11.84	7.83	-117.22	-96.90	20.32
15	3.83	13.49	9.66	-119.55	-97.01	22.55
16	4.18	14.15	9.96	-116.86	-96.34	20.52
17	12.79	7.97	-4.82	-102.06	-100.07	1.99
18	4.71	10.61	5.90	-112.96	-99.89	13.07
19	5.25	13.81	8.56	-113.43	-93.05	20.38
20	4.54	16.67	12.13	-113.78	-87.58	26.21
21	4.13	15.26	11.13	-116.74	-90.58	26.16
22	3.80	10.91	7.11	-118.17	-97.95	20.22
23	3.87	9.28	5.42	-118.43	-104.58	13.85
24	3.83	6.67	2.83	-119.04	-107.85	11.19
25	7.04	4.67	-2.37	-109.14	-106.34	2.80
26	6.36	10.86	4.50	-110.31	-100.65	9.66
27	4.00	13.80	9.80	-117.45	-98.93	18.52
28	4.14	18.01	13.87	-116.45	-94.88	21.56
29	3.96	16.31	12.35	-117.36	-96.55	20.80
30	4.01	12.53	8.52	-117.47	-103.12	14.35
31	3.96	8.34	4.38	-117.84	-106.81	11.03
32	4.01	7.67	3.65	-118.04	-107.27	10.77

図 3.3.89 SINR 劣化が見られた測定ポイント 実測結果

SINR、RSRP ともに他の測定ポイントとそれほど大差がないという結果が読み取れます。本実証の測定結果で判断すると、SINR（ポイント③については誤差と判断）と、スループットに直接的な因果関係は結びつかない結果となっております。

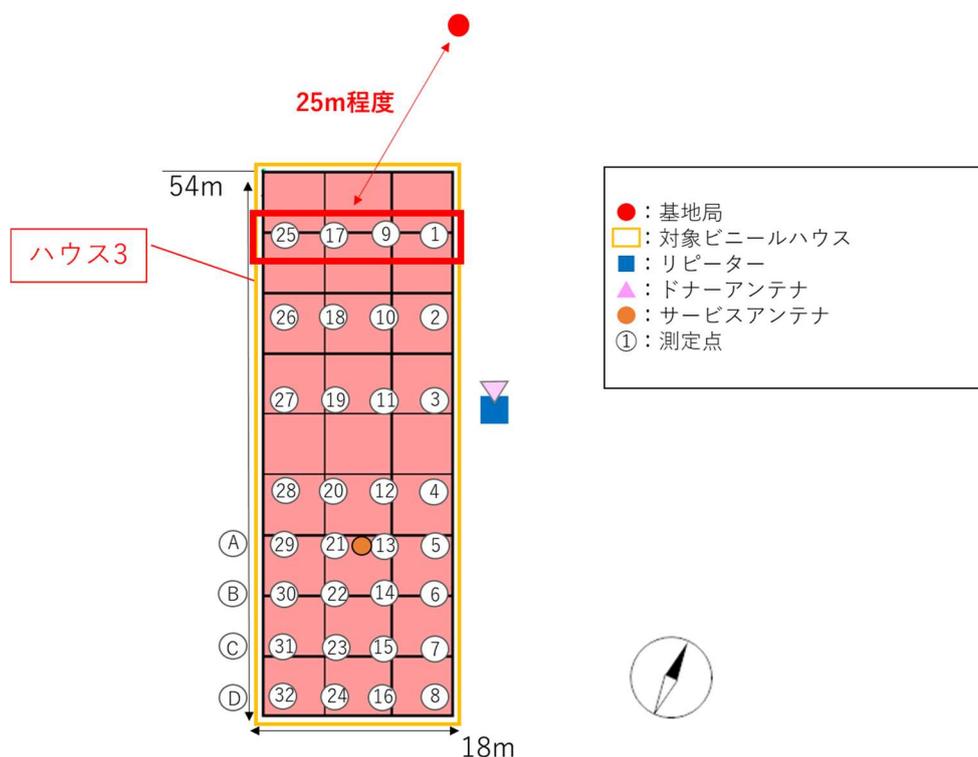


図 3.3.90 SINR 劣化が見られた測定ポイント

SINR とスループットに直接的な因果関係が見えないために、それ以外の要因を検討します。劣化が見られた 4 ポイントの共通要因として、基地局から測定ポイントまでの距離が短いという事が言えます。基地局から各測定ポイントまでの 3D 距離は以下の通りです。
 ポイント 1 : 20.8m、ポイント 9 : 20.7m、ポイント 17 : 22.0m、ポイント 25 : 24.6m

いずれも基地局からの 3D 距離が 25m 以内となっております。他の測定ポイントで 25m 未満のポイントはありません。今回の測定ポイントごとの SINR と、スループットの要因については 3D 距離と因果関係があると推定が出来ました。今後、それ以上の因果関係を導くためには、ハウス外の 25m 以上のポイント等様々条件下で測定する事でより詳細な要因が導けると推察します。なお、リピーター設置後の SINR は最小値でも 4.67dB と 5dB 近くの値を取得できているため、伝送性能の劣化にはつながらない結果となりました。

続いてリピーター設置前後のエリア端の確認を行うため、エリア算出式 (S=32.5) で示したカバーエリアと調整対象区域と実測データを比較した結果を下記に示します。

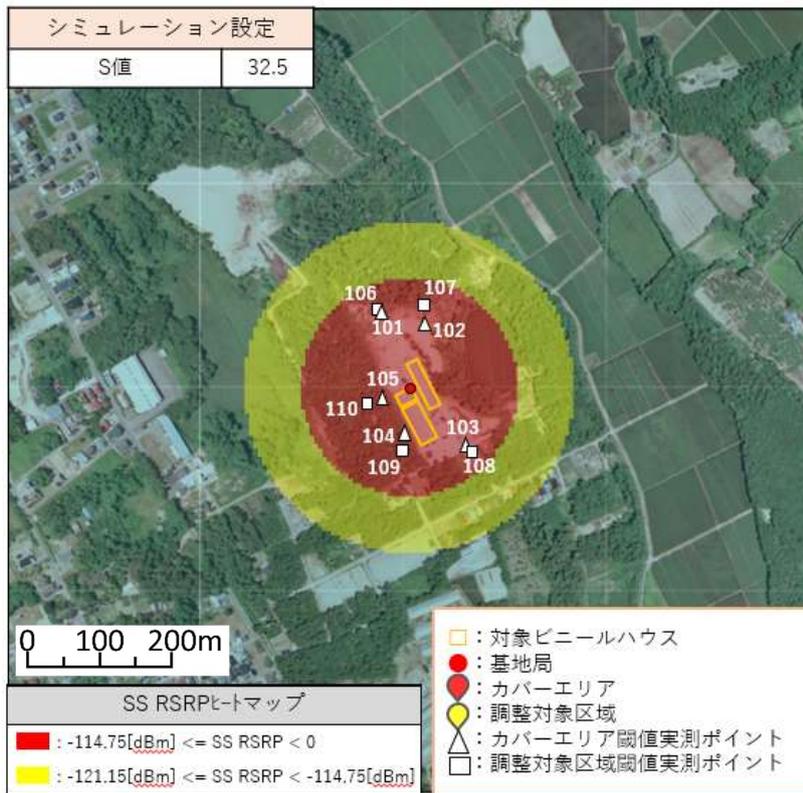


図 3.3.91 リピーター設置前のカバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイント (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

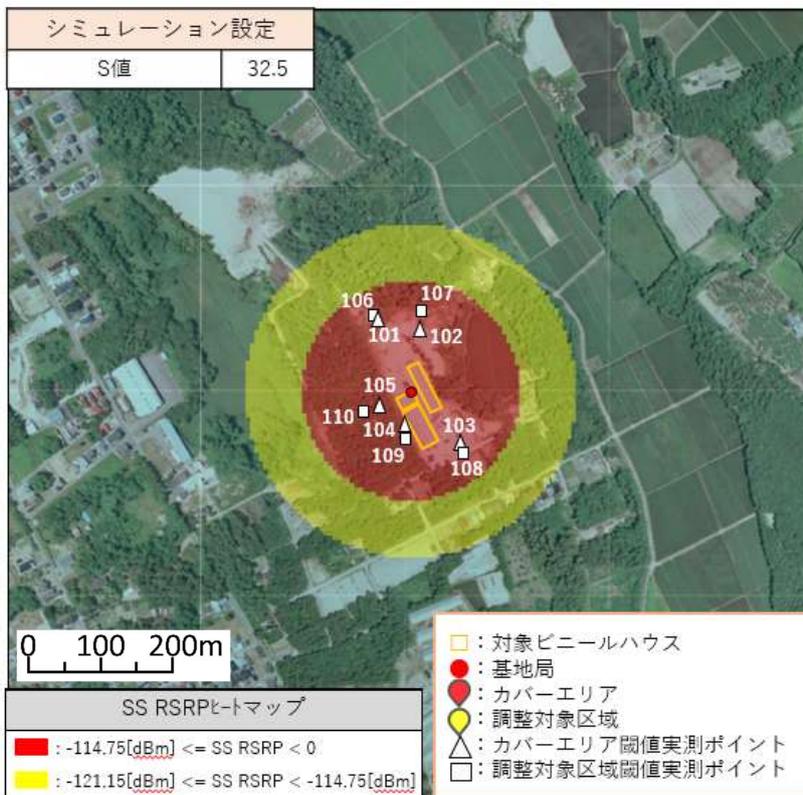


図 3.3.92 リピーター設置後のカバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイント (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

表 3.3.38 リピーター設置前
カバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイントと基地局との距離

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局との 3D 距離 [m]	基地局との水平距離[m]
101	0	97.11	97.11
102	1	78.70	78.69
103	0	71.73	71.68
104	1	35.24	35.16
105	1	30.33	30.18
106	1	95.25	95.25
107	1	85.42	85.40
108	0	72.12	72.08
109	1	46.85	46.77
110	1	45.19	44.96

表 3.3.39 リピーター設置後
カバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイントと基地局・リピーターとの距離

測定ポイント	LOS (0:LOS 1:NLOS)	基地局 との 3D 距離 [m]	基地局と の水平距 離 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	サービスア ンテナとの 3D 距離 [m]	サービスア ンテナとの 水平距離 [m]
101	0	100.42	100.41	0	144.99	144.99
102	1	75.14	75.14	1	117.49	117.48
103	0	87.29	87.25	0	47.80	47.78
104	1	59.46	59.38	1	25.62	25.58
105	1	28.26	28.15	1	53.19	53.19
106	1	101.33	101.32	1	145.86	145.86
107	1	83.00	82.98	1	124.89	124.89
108	1	96.20	96.15	1	58.39	58.37
109	1	73.72	73.58	1	37.90	37.80
110	1	47.64	47.36	1	60.65	60.55

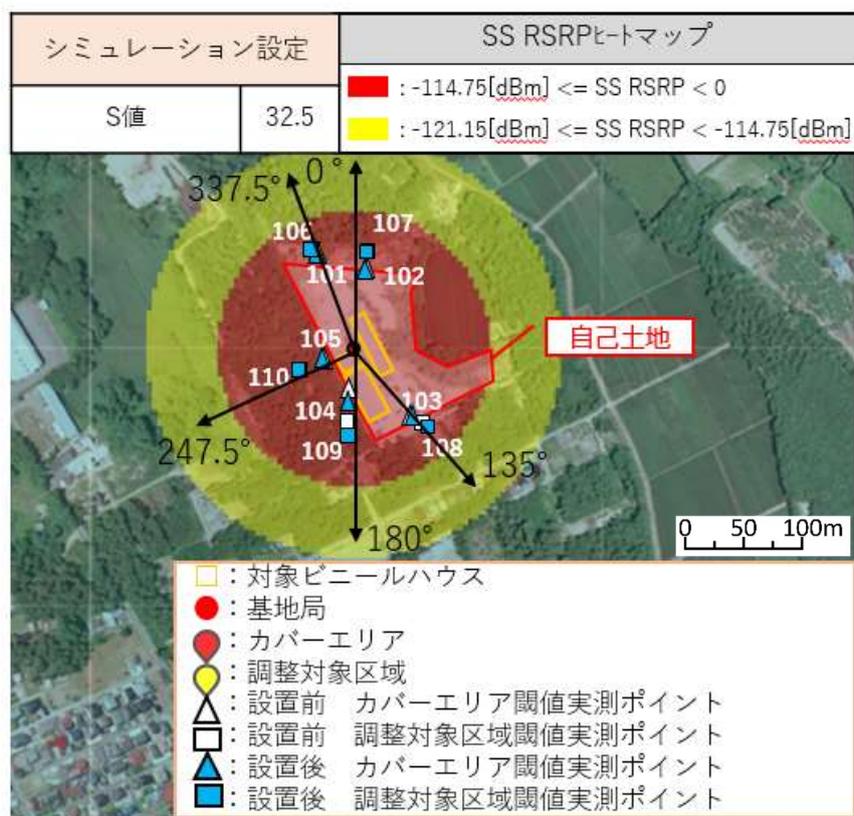


図 3.3.93 リピーター設置後 カバーエリア・調整対象区域の閾値が実測されるポイントの変化 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:https://maps.gsi.go.jp/)のデータを使用して作成)

表 3.3.40 リピーター設置前後の
カバーエリア・調整対象区域の閾値が実測される地点の距離の変化

方位角 *基地局から真北を0°とする	カバーエリアの閾値を 実測した距離		調整対象区域の閾値を 実測した距離	
	リピーター 設置前	リピーター 設置後	リピーター 設置前	リピーター 設置後
0°	78.69	75.14	85.40	82.98
135°	71.68	87.25	72.08	96.15
180°	35.16	59.38	46.77	73.58
247.5°	30.18	28.15	44.96	47.36
337.5°	97.11	100.41	95.25	101.32

リピーター設置後、カバーエリアおよび調整対象区域に大きな変化は見られませんでした。エリア算出法での閾値と各測定ポイントでの実測値に乖離が生じました。その理由については、「3.3.1. 実証結果および考察」にて記載の通り、本実証では周辺環境を考慮し、開放地であるS=32.5を適用させ、カバーエリアおよび調整対象区域を算出しましたが、実際の基地局の周辺環境においては、樹木の遮蔽が多く S=12.97 と郊外地に近いカバーエリアとなったと考えられます。

続いて、ハウス内部・屋外の受信電力測定結果から本実証におけるレイトレースシミュレーションの有用性を評価しました。(2)実証仮説で作図したレイトレースシミュレーション結果と実測結果の適合率を±6dB以内の差分であれば適合とし算出しました。ハウス内部についてはリピーター設置前で32ポイント中31ポイントが適合し、適合率97%（平均差分2.4dB）という結果を得ることができました。「図3.3.51」に示したように不感地帯の位置・大きさも実測結果「図3.3.81」と近似しており、エリア設計時の不感地帯予測において十分にレイトレースシミュレーションは有効であったと言えます。リピーター設置後は適合率41%（平均差分5.9dB）と低い適合結果となりました。リピーターゲインを最大の60dB時の出力に設定し再レイトレースシミュレーションを実施したところ適合率66%（平均差分4.6dB）に向上することを確認できました。

屋外測定点はリピーター設置前で20%（平均差分12.7dB）、リピーター設置後で40%（平均差分9.5dB）と低い適合率となりました。「3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化」で示したように、フルーツパーク DETO はハウス周辺が樹木に囲われた環境であり樹木による伝搬損失によって乖離が生じているため、樹木の枝葉の割合を修正し再レイトレースシミュレーションを実施しました。その結果、リピーター設置前で60%（平均差分7.5dB）、リピーター設置後で70%（平均差分7dB）と適合率が向上することを確認できました。

続いてビニールハウス材における遮蔽物透過損を確認するため、ビニールハウスの壁面を隔てて隣接する屋内・屋外の測定点の受信電力を比較し分析・考察しました。

R3年度開発実証 No.3「新型コロナからの経済復興に向けたローカル5Gを活用したイチゴ栽培の知能化・自動化の実現」においてビニールハウスによる建物侵入損としてR=5.77dBという結果を得ております。本実証において、リピーターのサービスアンテナをビニールハウス内部に設置することでビニールハウス屋外へ漏洩する電波をR=5.77dBに近似した値で減衰すると想定されるため、その点も踏まえてビニールハウス遮蔽による電波漏洩軽減の効果について考察しました。

リピーター設置前後のハウス内29～32、ハウス外A～Dの測定結果をそれぞれ比較します。

表 3.3.41 遮蔽物透過損確認結果(リピーター設置前)

測定ポイント	遮蔽なし 受信電力 SS- RSRP [dBm]	遮蔽あり 受信電力 SS- RSRP [dBm]	遮蔽効果 [dB]
29-A	-117.4	-121.7	4.31
30-B	-117.5	-119.7	2.19
31-C	-117.8	-119.0	1.18
32-D	-118.0	-121.2	3.14
		平均	2.71

表 3.3.42 遮蔽物透過損確認結果(リピーター設置後)

測定ポイント	遮蔽なし 受信電力 SS- RSRP [dBm]	遮蔽あり 受信電力 SS- RSRP [dBm]	遮蔽効果 [dB]
29-A	-96.6	-105.9	9.31
30-B	-103.1	-108.2	5.07
31-C	-106.8	-111.5	4.73
32-D	-107.3	-114.2	6.90
		平均	6.50

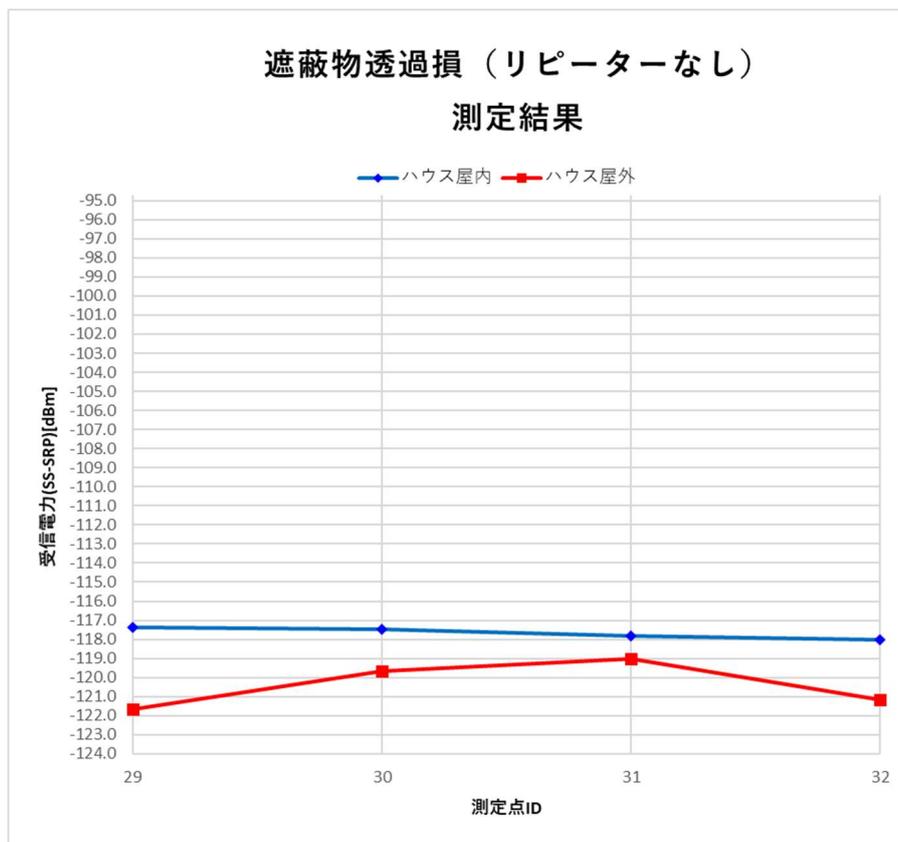


図 3.3.94 遮蔽物透過損(リピーターなし)測定結果

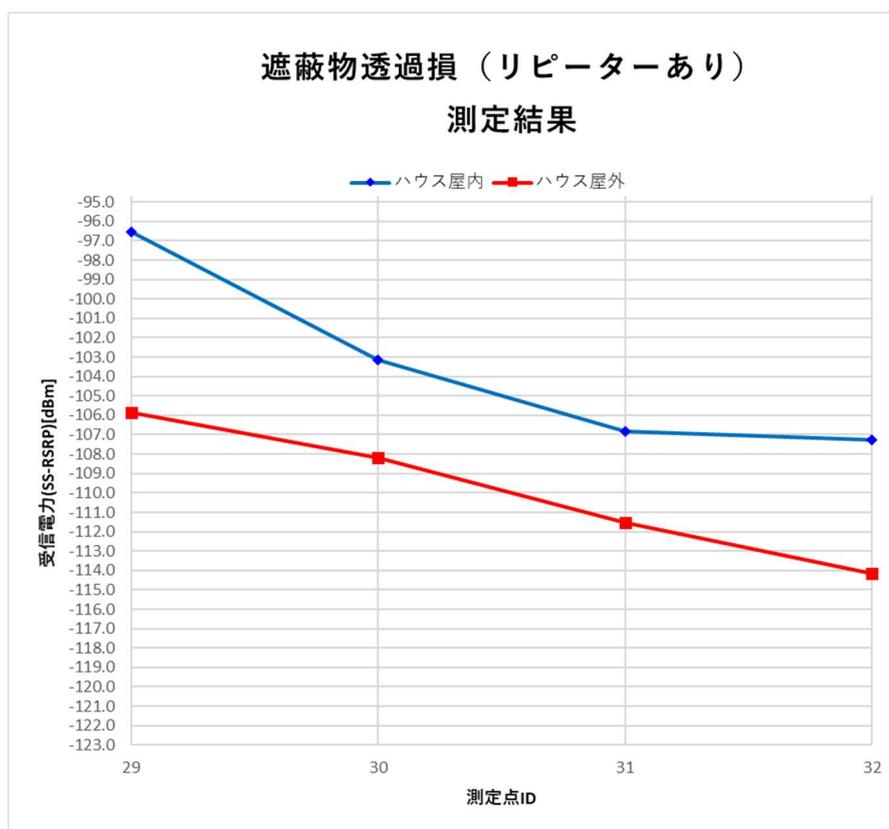


図 3.3.95 遮蔽物透過損(リピーターあり)測定結果

上記より、基地局のみ出力時はビニールハウスの壁面前後の透過損は平均で 2.71dB となりました。骨組み部分が遮蔽とならず、壁面のビニール材のみが電波遮蔽となっている場合、R3 年度開発実証 No. 3「新型コロナからの経済復興に向けたローカル 5G を活用したイチゴ栽培の知能化・自動化の実現」の仮説検証で実施したビニール傘の検証結果同様に本実証結果からも 2dB 程の減衰にとどまることがわかりました。

また、リピーター設置後の透過損は平均で 6.5dB となりましたが、これはサービスアンテナと屋外測定点の直線状にビニールハウスの骨組みが重なっており、基地局から直接波を受信する際には発生しなかった遮蔽物が存在するため値に乖離がでたものと考えられます。ビニール材・骨組み双方を考慮し導出した昨年 R3 年度開発実証 No. 3 の R=5.77 に近似した結果であるといえます。以上より、ビニールハウスの壁面前後において電波が減衰することを確認できました。より高い電波の遮蔽効果を求める他者土地隣接エリアにおいては、本実証で確認された透過損を考慮し別途電波遮蔽シート等を用いた漏洩軽減策の導入が望まれます。

続いて、設置の容易性やコストについてリピーターを使用しない解決方法（電波反射板・DAS・LCX）と比較しリピーターが有効となる条件や使い方を導出しました。

表 3.3.43 設置の容易性比較

評価項目	電波反射板	リピーター	分散アンテナシ	漏洩同軸ケーブル
------	-------	-------	---------	----------

	(反射板材質：金属板(アルミ合金板))		ステム(DAS)	ル(LCX)
設置位置 (アクセス容易、面積)	アクセス容易性：容易 面積：最低1m角の面積の空きスペースがあり、かつ反射板の取り付け金具が支持可能な鋼材がある事 ※不感地帯の大きさ次第で反射板サイズも大きくなる	アクセス容易性：比較的容易(平地の場合) 高所の場合は別途、高所作業車要 面積：数m×数mの空きスペースが必要	アクセス容易性：比較的容易 高所の場合は別途、高所作業車要	アクセス容易性：比較的容易 高所の場合は別途、高所作業車要 敷設がグラウンドの場合は地上転がして敷設
付帯設備(電源・バッテリー等)の必要性	不要	必要(AC電源)	必要(AC電源)	不要
伝送路の必要性	不要：自由空間	必要(電気、同軸、の伝送路)	必要(同軸の伝送路)	必要(同軸の伝送路)
施工の容易性	難易度低 (平地、地面から1.5m程度の高さを想定)	難易度中	難易度中	難易度低 (敷設用の伝送路がある事が条件)
導入リードタイム	設計～製作まで3～4ヶ月程度	設計～製作まで半年～1年以上	設計～製作まで4～5ヶ月程度	設計～製作まで3～6ヶ月程度
移設の容易性	比較的容易	比較的容易	困難	困難
設置の容易性 総合評価	○	○	△	△
リピーターが有効となる条件や使い方	<ul style="list-style-type: none"> 基地局、ドナーアンテナ間で見通しがあり必要な受信レベルが確保できる場合。 リピーター設置位置に電気・同軸の伝送路を確保可能な場合。 			

表 3.3.44 設置のコスト比較

評価項目	電波反射板 (反射板材質：金属板(アルミ合金板))	リピーター	分散アンテナシステム(DAS)	漏洩同軸ケーブル(LCX)
設備費用	50万～数百万程	100万～数百万	100万～一千万	100万～数百万

	度	程度	程度	程度
設備施工費用	10万～数十万程度	数十万～100万程度	数百万～1000万程度	数十万～数百万程度
付帯設備費用(電源、バッテリー等)	不要 ※反射板を支持する鋼材が存在する想定	数十万～100万程度	数十万～100万程度	数十万～100万程度
付帯設備施工費用(電源、バッテリー等)	不要 ※反射板を支持する鋼材が存在する想定	数十万～100万程度	数十万～100万程度	数十万～100万程度
伝送設備費用(光、無線)	不要	10万～数十万程度	10万～数十万程度	10万～数十万程度
伝送設備施工費用(光、無線)	不要	数十万～100万程度	数十万～100万程度	数十万～100万程度
運用・保守費用	50万～100万 ※反射板が破損、故障想定	数十万～100万程度 ※設置箇所が高所で、高所作業車を利用して交換を実施する想定	数十万～100万程度 ※設置箇所が高所で、高所作業車を利用して交換を実施する想定	数十万程度 ※設置箇所がグラウンドで地上転がしを想定
概算合計金額	100万～数百万程度	数百万程度～1千万程度	数百万程度～2千万程度	数百万程度～1千万程度
設置のコスト 総合評価	◎	△	△	△
リピーターが有効となる条件や使い方	<ul style="list-style-type: none"> ・ 予算の上限が数百万程度で、新規で基地局開設が困難な場合。 ・ 不感地帯が特定の1部分にある場合。 			

リピーターを使ったエリア構築の柔軟化策について、最適なユースケースについて検討しました。リピーターは基地局・ドナーアンテナ間の見通し環境下で十分な受信電力を確保できる場所であれば、基地局・ドナー間の配線不要でエリア拡大が可能となること、さらにサービスアンテナを指向性・無指向性を選択し柔軟に設計が可能である点に優位性があります。また、同じく配線不要でエリア改善が可能な反射板と比較してもドナーアンテナ、サービスアンテナの角度を柔軟に調整できるため、基地局～反射板～端末のように設置角度の制約に縛られずエリア改善が可能となります。

例えば本実証環境のように積雪影響で屋外配線が物理的に困難である場合や、配管埋設にはコ

ストと時間の問題があり DAS や LCX の同軸配線が困難となる場合にリピーターによって基地局～ドナーアンテナ間を無線接続が可能なリピーターは有効であると考えます。また、屋内でエリア構築を行うユースケースとして、商業施設や病院・工場等で DAS のように同軸配線をするには防火壁への穴あけ工事等設置に時間とコストを要する環境下ではリピーターを選定することで比較的容易に設置が可能であると考えます。

続いて、リピーターを用いたエリア設計には事前のシミュレーション・リンクバジェット算出、アンテナ設置位置等留意すべき事項が多くあるため、以降にリピーター活用時の最適なエリア設計手法モデル化に向け設計手順を記します。

表 3.3.45 エリア設計手法のモデル化手順

手順	項目	内容
1	不感地帯の把握 他者土地電波漏洩の予測	・レイトレースシミュレーションの実施 ・遮蔽物に応じた補正值 (S, R) の適用
2	解決方策の検討	反射板/リピーター/DAS/LCX から最適な解決方策を選定
3	設備・設置仕様の検討 ※手順 3 以降はリピーターを選定した場合について記載	・リピーターに求められる仕様 ・アンテナ設置位置の要件整理
4	解決方策適応前後のリンクバジェット・シミュレーション実施	・不感地帯改善予測 (リンクバジェット・レイトレースシミュレーション) ・ドナーアンテナの設置位置決定 ・サービスアンテナの設置位置決定
5	解決方策の適応	・リピーター設置時の留意事項
6	不感地帯・他者土地電波漏洩軽減確認	・電波強度、伝送性能等を測定し不感地帯や他者土地電波漏洩の確認
7	次回設計へのフィードバック	・手順 4, 手順 5 の結果を比較し、次回設計へのフィードバックを検討

◆ 手順①：不感地帯の把握・他者土地電波漏洩の予測

実施環境において机上検討で事前に不感地帯の把握・他者土地への電波漏洩レベルを予測する際には、本実証のようにレイトレースシミュレーションを実施する手法を推奨します。レイトレースシミュレーションを用いた事前検討時には「3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化」の実証結果および考察で記したように、農業機具を保管する倉庫やビニールハウス内の柱・什器類による遮蔽や周辺の樹木による遮蔽を考慮した 3D モデリングの作成・パラメータ調整を行い、現地環境を模してシミュレーションを実施します。シミュレーション結果より、不感地帯の受信レベルを確認し発生する位置・大きさの確認と他者土地への電波漏洩レベルの確認を実施します。

なお、レイトレースシミュレーションは 1 事業者が調達するには費用負担が大きいことや、

3Dモデリング等の技術的知見が必要となるため、レイトレースを実施しない場合の事前検討手法としては、エリア算出式を用いて環境ごとLOS・NLOS、遮蔽損を引用し机上検討を行う手法を推奨します。

本実証環境と類似のビニールハウスを有する圃場環境において、エリア算出式を用いて机上検討を行う場合に考慮すべきパラメータについて記します。まず、本実証結果より基地局のみ出力時の受信電力を測定し、基地局からの3D距離と伝搬損失をグラフにまとめました。

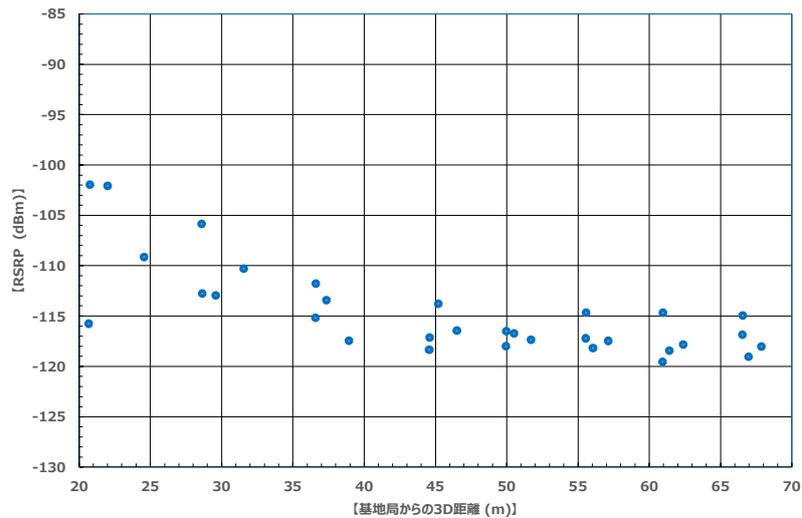


図 3.3.96 基地局からの3D距離と受信電力(SS-RSRP)

本実証の基地局出力は17dBm(2port)であるため、基地局のSSB出力電力を-18dBmとし、測定点におけるアンテナの指向性減衰量を加味した伝搬損失(PL: Path Loss)と距離の関係を以下に示します。

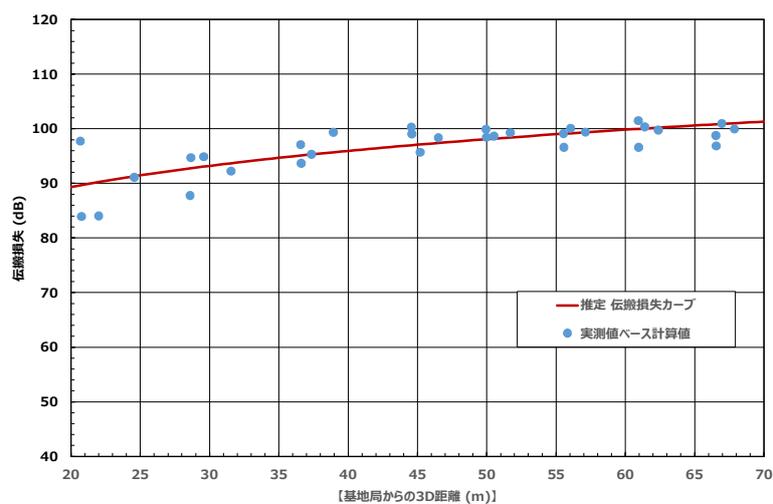


図 3.3.97 推定伝搬損失カーブ

図中の赤線は、算出した伝搬損失値の近似値式をベースに求めた伝搬損失カーブです。伝搬損

失カーブは、ビニールハウス内であることから、ITU 勧告、ITU-R P. 1238 をもとに算出しました。

$$L_{total} = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + L_f(n) - 28 \quad \text{dB}$$

N : distance power loss coefficient

f : frequency (MHz)

d : separation distance (m) between the base station and portable terminal (where $d > 1$ m)

L_f : floor penetration loss factor (dB)

n : number of floors between base station and portable terminal ($n \geq 1$).

求めた距離減衰項である N 、および実証実験では外部からの建物侵入損にあたる L_f は以下の通りです。

➤ $N = 22$

➤ $L_f = 15$

距離減衰項 $N=22$ は商業施設環境相当の値となりますが、基地局と実証エリアであるハウス 3 の間に位置するプレハブ小屋が倉庫となっており、栽培設備等設置されていることで遮蔽となり環境減衰が大きく影響していると考えます。また、ハウス 3 内部のイチゴの栽培棚や什器類による環境減衰も影響していると考えます。外部からハウス内部への建物侵入損にあたる $L_f=15$ はビニールハウスの屋根や壁の損失にあると推定します。伝搬損失値と推定カーブの差分(シャドウイング/短区間変動に相当)は、平均値で-0.2dB、標準偏差は 2.0dB で、ビニールハウス内は基地局からの電波に対しては変動の少ない環境であると言えます。(変動マージン ± 4.0 dB で場所率: 約 95%)

以上より、類似環境において算出法で計算する際には上記 $N=22$, $L_f=15$ を参考値として活用し机上計算を行うことが有効であると考えます。

他者土地漏洩に関しては、エリア端の把握のためリピーター設置前後のカバーエリア端・調整対象区域端を算出法エリア図で作図し確認を行います。その際に用いる補正值 S は「3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化」の実証結果を参照し、周辺が樹木に囲まれ NLOS となり、遮蔽物面積率 40% ほどの環境ではフルーツパーク DETO で導出した $S = 12.97$ のように郊外地の S 値を選択することを推奨します。また、秋田食産コーヒーハウスのように遮蔽物面積率 3% と一桁台程で周辺が開けた環境では LOS 環境では導出した $S = 31.37$ のように開放地の S を選択、NLOS 環境では $S = 23.42$ を導出した結果より、開放地と郊外地の中間となる S 値を選択することが望ましいと考えます。

◆ 手順②：解決方策の検討

手順①の机上検討の結果より、反射板/リピーター/DAS/LCX の中から、不感地帯の解消に最適な解決方策を検討します。不感地帯が発生する位置や大きさから表をもとに選定します。

表 3.3.46 解決方策の検討

評価項目	電波反射板 (反射板材質： 金属板(アルミ 合金板))	メタマテリ アル反射板	リピーター	分散アンテナ システム	漏洩同軸ケー ブル (LCX)
対応周波数 帯	Sub6・ミリ波	ミリ波	Sub6・ミリ波	Sub6	Sub6
不感地帯の 分布	単一箇所	単一箇所	単一箇所	散在	散在
不感地帯の 範囲	1~20 m ²	50~200 m ²	100~2000 m ²	100~1000 m ² (1基あたり)	100~2000 m ² (ケーブル長 100m程度の場合・線状型エリア)
基地局から の クリアラン ス	必要	必要	基地局ード ナーアンテナ 間は必要	不要	不要
伝送路の必 要性	不要	不要	・基地局〜ド ナーアンテナ 間は不要 ・リピーター 〜サービスア ンテナ間は必 要(電気、同 軸の伝送路)	必要(電気、 同軸の伝送 路)	必要(同軸の 伝送路)
付帯設備 (電源・ バッテリー 等)の必要 性	不要	不要	必要(AC電源)	必要(AC電 源)	不要
設置制約	・基地局一反 射板間で強電 界を得られる こと ・数m×数m の取り付け金 具が支持可能	・最低1m角 の面積 ※反射させ て利用する 無線エリア が広くなる ほど大型化	・基地局〜ド ナーアンテナ 間で強電界を 得られること ・ドナー〜リ ピーター・リ ピーター〜	・基地局から 張り出しアン テナまでの同 軸配線が物理 的に可能であ ること ・同軸の給電	・基地局から の同軸配線が 物理的に可能 であること ・同軸の給電 線損失が許容 できる距離で

	な鋼材があること ・基地局～反射板～不感地帯の3ポイントの角度を考慮し設置位置検討が必要	・反射板設置位置～基地局、反射板～対象エリアが見通し環境であること ・フレネルゾーンを確保できること	サービスアンテナ間の同軸配線が物理的に可能であること	線損失が許容できる距離での配線	の配線
--	---	---	----------------------------	-----------------	-----

上記の表より、本実証環境のように Sub6 帯を利用・単一箇所にも不感地帯が発生するフィールドにおいては、反射板もしくはリピーターの設置が適当です。しかし、金属反射板設置の際にはハウス内に縦横数 $m \times$ 数 m の反射板を設置できるスペースの確保、反射板の取り付け金具が支持可能な鋼材があることが必須となります。また、令和3年度 課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証の No.3 「新型コロナからの経済復興に向けたローカル 5G を活用したイチゴ栽培の知能化・自動化の実現」の結果からも不感地帯の改善効果は狭域な結果にとどまっており、不感地帯が大きいほど必要となる反射板のサイズ・枚数も多くなることが懸念されます。よって、本実証環境のように広く不感地帯がハウス内に発生する環境ではリピーターの選定が有効です。

◆ 手順③：設備・設置仕様の検討

手順②解決手法の検討結果、リピーターが最適な解決方策である場合について以下に記述します。

まずリピーターに求められる仕様を示し、ドナーアンテナ・サービスアンテナの設置位置の要件について整理します。リピーターのドナー側・サービス側の最大送信出力および装置内利得値を確認します。本実証で使用したリピーターの諸元は以下の通りです。

- 最大送信出力：10dBm/ポート 13dBm/2ポート（ドナー側/サービス側とも）
- 装置利得：40 - 60dB

上記より、サービス側最大送信出力：10dBm/ポートを得るために必要なリピーターのドナー側受信最大電力値は以下の通りです。

- 利得設定 40dB 時：-30dBm/ポート（= 10dBm/ポート - 40dB）
- 利得設定 60dB 時：-50dBm/ポート（= 10dBm/ポート - 60dB）

実運用後の利得調整等を考えて安定した品質を確保するためには、サービス側最大出力が得られるドナー側受信最大電力値をもとに、利得設定値の決定を行うことが望ましいです。この場合、ドナー側受信許容最大電力値は -30 ~ -50dBm/ポートとなります。SS-RSRP で

表現すれば-65 ~ -85dBm であり、ドナーアンテナ側の受信レベル目標値となります。

リピーターを使用したシステム全体の電波経路を以下に示します。

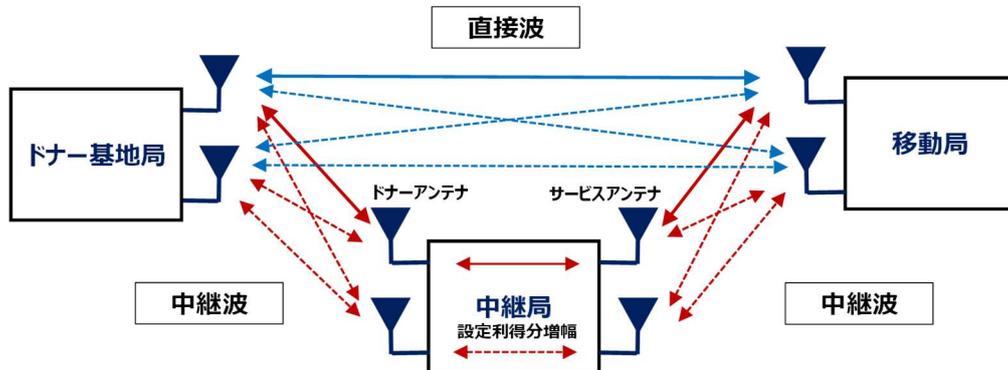


図 3.3.98 ドナー基地局、リピーター、移動局電波経路イメージ

上図で青線は直接波(基地局⇄移動局)、中継波(基地局⇄リピーター⇄移動局)の電波経路、実線は SSS 信号(リファレンス信号)の支配的な電波経路を示します。

上図でわかるように、中継波の電波経路は、基地局⇄リピーター、リピーター⇄移動局の2つのパートから構成されます。中継波は直接波に比べて電波経路が多い分変動の影響が大きくなり(変動が重畳され)、よりスループットの変動も大きくなります。従って、慎重な RF 回線設計が必要となります。リピーターのドナーアンテナは一度設置位置を決めればポール等に取り付け固定となることが想定され、基地局⇄リピーターの電波経路は「固定通信」として運用されるため、電波経路は一定でありスループットの変動も小さくなります。一方、リピーター⇄移動局の経路は移動局の移動に伴い、電波経路は変化し、スループットの変動もダイナミックに変化しやすい環境にあると考えます。

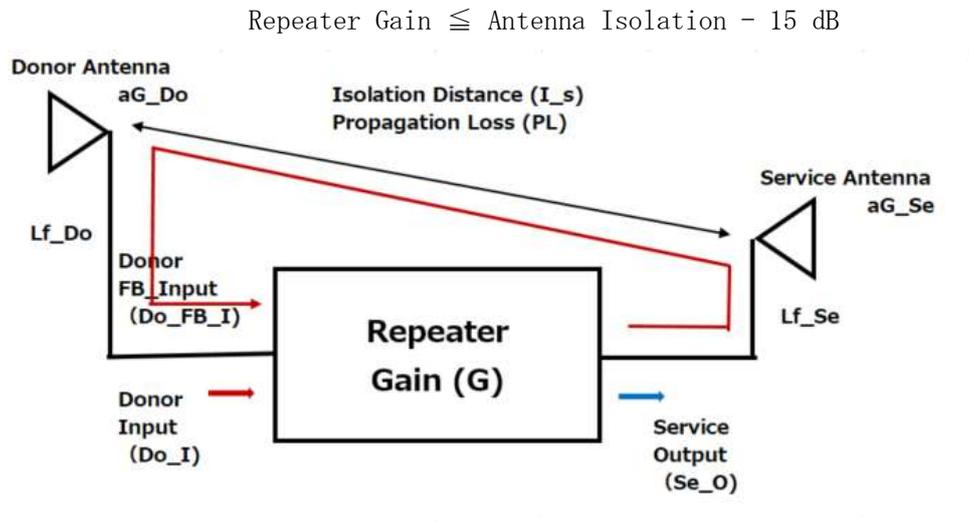
以上より、中継波による良好な品質の電波通信を得るためには、基地局⇄リピーター間は、安定した品質の電波通信が確保できるようドナーアンテナの設置位置を決めることが必要不可欠となります。具体的には、下記があげられます。

- 基地局ーリピータードナーアンテナが見通し(LOS)であること。
(経路上に障害物がないこと)
- 経路の近くに、反射波を生じさせるような障害物がないこと。
- フレネルゾーンを確保できること。
- リピータードナーアンテナとは自由空間伝搬となる伝搬状態が望ましい。
- ドナーアンテナ・サービスアンテナのアイソレーションを確保すること。

アイソレーションの確保については、3GPP で規定されている下記の TR25.956 より、リピーターゲイン+15dB が規格となります。本実証で仕様するリピーターゲインは最大 60dB であるため、60dB+15dB=75dB に 5dB のマージンを見込み 80dB を目標にアイソレーションが確保できれば問題ないと判断しました。

<参考>3GPP TR 25.956 より抜粋

In order to prevent oscillation of the system, the feedback must be lower than the amplifier gain. This loss in the feedback path is called the Antenna Isolation. It must be 15 dB higher than the repeater gain to guarantee an adequate protection against self-oscillation of the repeater.



<計算条件>

- 1) 机上では、最悪時の動作を考慮してレピーター最大ゲインで計算を行います。
(本実証では 60dB)
- 2) Path Loss は、自由空間伝搬式により計算します。
- 3) 机上計算では、マージンを考慮して、15dB⇒20dB で計算・判定を行います。

$$\text{Se}_0 = \text{Do}_I + G$$

$$\text{Do}_{\text{FB}_I} = \text{Se}_0 - Lf_{\text{Se}} + aG_{\text{Se}} - PL + aG_{\text{Do}} - Lf_{\text{Do}}$$

$$\text{Do}_{\text{FB}_I} \leq \text{Do}_I - 15(20)$$

$$\Rightarrow \underline{G \leq PL - (aG_{\text{Do}} + aG_{\text{Se}}) + (Lf_{\text{Do}} + Lf_{\text{Se}}) - 15(20)}$$

◆ 手順④：解決方策適応前後のリンクバジェット・シミュレーション実施

次に、手順③で確認した設置要件を考慮し基地局～レピーター間とレピーター～端末間の2つの区間のリンクバジェットを算出します。リンクバジェットで考慮すべきパラメータは下記となります。(計算値は本実証における値を適用しています。)

基地局→リピーター リンクバジェット			
※電波法関係審査基準エリア算出法に基づいた回線設計書			
パラメーター	計算値	単位	備考
f	4849.98	MHz	使用する周波数
H _b	4	m	基地局の空中線地上高
H _m	3	m	陸上移動局の空中線地上高
dxy	0.03	km	基地局と伝搬損失を算定する地点との距離
α	1	—	遠距離考慮係数
a(H _m)	-0.001	—	移動局考慮係数
b(H _b)	-17.501	—	基地局考慮係数
K	0	—	補正值
R	0	—	建物侵入損
S	32.5	—	補正值（開放地）
P _t	16.052	dBm	送信電力-給電線損失
G _t	1	dBi	送信アンテナ利得
G _r	0	dBi	受信アンテナ利得
EIRP	20.052	dBm	等価等方輻射電力 Pt+G _t -L _f
L	75.662	dB	伝搬損失 $32.4+20*\text{LOG}10(f)+10*\text{LOG}10((dxy)^2+(H_b-H_m)^2/1000000)+R$
P _r	-58.61	dBm	受信電力 Pt+G _t +G _r -L-L _f

図 3.3.99 基地局・リピーター間のリンクバジェット(例)

リピーター→受信端末 リンクバジェット			
※電波法関係審査基準エリア算出法に基づいた回線設計書			
パラメータ	計算値	単位	備考
f	4849.98	MHz	使用する周波数
H _b	2	m	基地局の空中線地上高
H _m	1.5	m	陸上移動局の空中線地上高
dxy	0.035	km	基地局と伝搬損失を算定する地点との距離
α	1	—	遠距離考慮係数
a(H _m)	-0.001	—	移動局考慮係数
b(H _b)	-23.522	—	基地局考慮係数
K	0	—	補正值
R	0	—	建物侵入損
S	32.5	—	補正值（開放地）
P _t	-1.48	dBm	送信電力(受信電力-58.61dBm+装置内利得57.13)
G _t	1	dBi	サービスアンテナ 送信アンテナ利得
G _r	1	dBi	UE 受信アンテナ利得
EIRP	-0.48	dBm	等価等方輻射電力 Pt+G _t -L _f
L	76.997	dB	伝搬損失 $32.4+20*\text{LOG}10(f)+10*\text{LOG}10((dxy)^2+(H_b-H_m)^2/1000000)+R$
P _r	-84.48	dBm	受信電力 Pt+G _t +G _r -L-L _f

図 3.3.100 リピーター・端末間のリンクバジェット(例)

なお、上記リンクバジェット例では、受信端末の受信電力を-84dBm程とカバーエリアの閾値で算出していますが、実際のエリア設計ではシミュレーションと実測で誤差が生じることを考慮し、+5dB程のマージンを持たせるよう考慮した設計が重要です。

リンクバジェット結果および手順③に示した設置要件をもとにドナーアンテナ・サービスアンテナの設置位置を決定します。設置位置決定後、リピーター設置後のレイトレースシミュレーションを実施し所要改善量を確認し設置後の受信電力の改善目標値（dB）を設定します。

◆ 手順⑤：解決方策の適応

リピーター設置手順、設置時の留意事項

実際に現地にリピーターを設置します。リピーター設置時には、手順③の設置要件を満たすよう下記の点を満たしていること、および手順④のリンクバジェットに基づき基地局～ドナーアンテナ・サービスアンテナ～不感地帯の距離を確認しアンテナを設置します。

- 基地局～リピータードナーアンテナが見通し (LOS) であること。
- (経路上に障害物がないこと)
- 経路の近くに、反射波を生じさせるような障害物がないこと。
- フレネルゾーンを確保できること。
- リピータードナーアンテナとは自由空間伝搬となる伝搬状態が望ましい。
- ドナーアンテナ・サービスアンテナのアイソレーションを確保すること。

ポール等で仮設置する場合、風の揺れであっても電波伝搬に影響を及ぼすため出来る限りアンテナは固定し風等の影響を受けないよう設置することが望ましいです。

ドナーアンテナの受信レベルを確認するため、1000 サンプル以上のデータ取得を行い、受信レベルが目標値を満たしており安定していることを確認しておきます。

◆ 手順⑥：不感地帯・他者土地電波漏洩軽減の確認

リピーター設置後の不感地帯・他者土地電波漏洩軽減効果の確認手法を記します。不感地帯を中心に、等間隔でメッシュ上にハウス内を区分けし測定点をプロットします。定義した測定点でリピーター設置前後の受信電力・伝送性能を取得し改善効果を比較します。取得するパラメータは以下の通りです。

- 受信電力 (SS-RSRP)
- 伝送性能 (SINR, UL・DL スループット・UL・DL 伝送遅延)

他者土地漏洩軽減の確認には、ビニールハウスを隔てた前後の測定点 (屋内・屋外) の受信電力を比較し、差分から透過損失を確認します。

[ローカル 5G] n79 (4.6GHz 4.9GHz) [公衆] n 78, n79

◆ 手順⑦：次回設計へのフィードバック

手順④のリンクバジェットと手順⑥で確認した不感地帯における受信レベルを比較します。目標値未達の場合においては、下記の方策によって性能向上する可能性について検討します。

- 基地局の送信出力や角度変更によって性能向上する可能性
- リピーターの設置位置や角度変更によって性能向上する可能性

前述のとおり、リピーターの利得設定値を一定 (60dB) とした場合、リピーターサービスアンテナの送信出力はドナーアンテナの受信レベルに応じて決定されます。事前の回線設計では、ドナーアンテナの受信電力が良好である位置に設置できるよう基地局の送信出力および設置角度、リ

ピーターの設置位置および設置角度を考慮したエリア設計を行う必要があります。

具体的には、下記があげられます。

- ▶ SS-RSRP：-65 ～ -85dBm の範囲での受信レベルの確保(本実証の場合)
- ▶ 基地局アンテナーリピータードナーアンテナが見通し(LOS)であること(経路上に障害物がないこと)
- ▶ 経路の近くに、反射波を生じさせるような障害物がないこと
- ▶ フレネルゾーンを確保できること
- ▶ 基地局アンテナーリピータードナーアンテナは自由空間伝搬となる伝搬状態が望ましい

本実証では、基地局アンテナの近傍にビニールハウス(ハウス 2)があり、フレネルゾーンに引っかかっていることやドナーアンテナが見通し環境となる設置位置に限りがあったため、前述の受信レベル(図 3.3.64 参照)、設置位置関係(図 3.3.69 参照)となりました。上記で挙げた設計条件がクリアになることで、ドナーアンテナ受信レベルがより向上し、結果的に所要性能をさらに上回ることが想定されます

基地局からの直接波とリピーターによる中継波が重なり合う場合には下記方策が有効です。

- ▶ 干渉する可能性を避けるため基地局アンテナ位置またはチルト角の変更(アンテナ高を下げる、チルトを深くかける等)
- ▶ リピーターサービスアンテナの指向性変更
- ▶ チルト変更(指向性の鋭いアンテナを使用する、チルトを深くかける)

本実証ではサービスアンテナは無指向性アンテナを使用しましたが、基地局の直接波によるカバーエリアと重複する範囲を軽減させるため、基地局方向とは真逆の方向に指向性を向けられる位置にサービスアンテナを設置することで、干渉影響を低減できると考えます。また、同様の理由から、本実証で用いたサービスアンテナのようにチルト 0 度ではなく、深いチルト(20~30 度等)のサービスアンテナを使用することも有用だと考えます。

最後に、本実証におけるリピーターの有効性評価を行います。本実証では「(1)実証の目的・目標」記載の通り、システムの所要性能である UL スループット 100Mbps 以上、伝送遅延 50ms 以下を達成することを掲げていました。実証結果より、リピーター設置後にハウス内の不感地帯が満遍なく解消しシステムの所要性能を全測定点で達成していることを確認できました。

リピーター設置前はハウス 3 内部の 62.5%がカバーエリアの閾値未満の受信電力値であり、不感地帯となっていました。リピーター設置後に不感地帯 0%となりハウス内全体が満遍なく改善されたことがわかりました。ハウス内の受信電力はサービスアンテナ付近で最大+32.8dB の改善効果が見られ平均値でも+13.9dB の受信電力の改善を確認出来ました。

スループットに関しても、サービスアンテナ付近で UL スループット最大+238Mbps、平均値で+120Mbps の改善を確認しました。DL スループットは最大+380Mbps、平均値で+188Mbps の改善が確認できました。

本実証結果より、ビニールハウス内の一部分に生じる不感地帯に対して、リピーターによるエリア改善は確かな電波環境の改善効果が確認出来ており非常に有効性が高いことが確認できました。また、本実証結果からリピーター利用時における不感地帯の予測手法やリンクバジェット、アンテナ設置位置の検討手法を取りまとめモデル化を実施しました。

今後の課題として、サービスアンテナを指向性に変えた場合等、複数種のアンテナを用いた場合の改善効果を比較・検証し、不感地帯の発生位置や大きさ、基地局との位置関係に応じた最適なエリア設計手法のノウハウを蓄積していくこと、さらに蓄積した知見を共有する仕組みの整備が望まれます。

また、本実証で有効性が示されたリピーターは現状、商用局の中継局免許（陸上移動中継局）として制度化されていません。陸上移動中継局の制度化にあたっては、予め指定した一定の範囲内における可搬型の利用も可能とする制度化の実現が望まれます。本実証環境のようなビニールハウスを有する圃場環境では、基地局～ドナーアンテナ、サービスアンテナ～端末のクリアランスが農業機具、什器類の位置変更によって変化することや、カバーしたいエリアが作物の生育時期によって通年で変化することも十分に考えられます。よって、ドナーアンテナ・サービスアンテナをあらかじめ指定した一定の範囲内で移動・設置可能とする制度の整備が望ましいと考えます。なお、新世代モバイル通信システム委員会 技術検討作業班では、与干渉影響の検討においてローカル 5G 陸上移動中継局の EIRP は「移動局対向：71dBm/100MHz」、「基地局対向：29dBm/100MHz」の値で検討が進められています。この EIRP 上限値で制度化されることで、圃場環境に必要な送信性能を満たしていると考察します。今後上述のような制度化が早期に実現されることで、ローカル 5G の効率的なエリア拡大に寄与する設備として普及拡大されていくことが望まれます。

3.3.3 準同期 TDD の追加パターンの開発

このテーマには取り組まない

4. ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）

4.1 実証概要

4.1.1 背景となる課題

高齢化・人口減少社会を迎えて秋田県の人口は2017年に100万人を割り込み、農業従事者数もここ数年で25%以上減少しています。秋田県では米に代わる新たな「地域ブランド」による地域活性化、新規就農者増に資する研修生募集や就農支援等の各種施策を実施しており、この効果を最大化するためにもスマート農業技術の導入による超省力化、生産性・利益の向上が求められています。しかし、最先端スマート農業技術導入による生産コストの増加に伴い、経営体の利益は必ずしも改善しておらず、社会実装加速の妨げとなっています。そのため、生産コスト低減のため産地単位で作業集約／シェアリングモデルを実証することで、スマート農業の社会実装加速が望まれています。

上記を踏まえ、産地における課題をヒアリングした結果、下記課題を抽出しました。

【課題1】新規就農者や新規作目栽培へ取り組む生産者への技術指導の強化

秋田県の新規就農者は増加傾向にあり、新規就農者や新規作目栽培へ取り組む生産者への技術指導の強化（収穫適期判定やアドバイス）が必要であるが、遠隔に分散されている圃場での技術指導を実施するには移動時間がかかり、冬場は降雪のため指導者が生産現場に行くことができない場合もあります。

【課題2】栽培・収穫作業の効率化・省力化

イチゴは、秋田県で冬場に収穫が可能な数少ない作目ではあるものの、収穫に多くの時間を費やしており、収穫作業時間の短縮が課題となっています。

【課題3】農産物の売上向上

人口の減少に伴い、地消される農作物の需要は減少しており、旅行者等の購買についても、対面販売を実施している道の駅等ではコロナ禍により来客数が半減し、売り上げも減少しています。

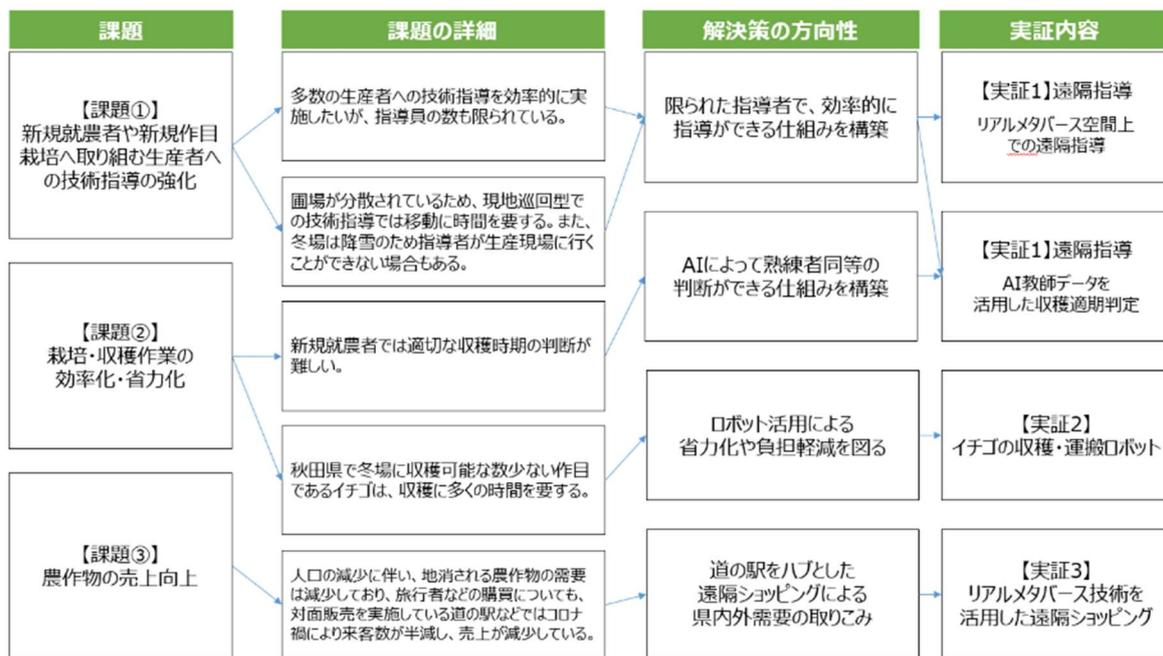


図 4.1.1 課題整理

4.1.2 本実証におけるローカル 5G 活用モデル

(1) ローカル 5G を用いたソリューション

生産から販売に至る農業関連の各種情報を、ローカル 5G やリアルメタバース技術を活用して現場空間をシェアリングするとともに、収穫ロボットや AI を活用した超省力化を実現し、下記項目を複数経営体に対して導入しました。シェアリングや作業集約等普及性を考えたデータ駆動型農業を実現することで、持続可能な農業経営・所得向上を目指し、産地活性化モデルを実証しました。

【実証 1】遠隔指導

① リアルメタバース空間上での遠隔指導

高精細カメラ(360°カメラ)や MR ゴーグル、リアルメタバース技術を活用した技術指導・監視のリモート化による遠隔営農指導を実現します。指導者が、現場の状況について 360°カメラを活用して確認し、生産者は現場に配置したドキュメントをホログラム越しに確認することができます。また、指導者が現場空間にマーキングした指示を音声会話や映像を見ながら作業することができます。さらに、複数人で MR 空間上の同一ドキュメントを閲覧・再生することも可能です。

② AI 教師データを活用した収穫適期判定

MR ゴーグルの映像をサーバ上で深層学習モデルを用いて解析します。指示情報を再度 MR ゴーグルに送信するという仕組みを活用することで、新規就農者でも収穫適期を見極めることを可能にします。また、今回実績のあるイチゴだけではなく、コーヒー豆の収穫適期

といった、他作物への展開も可能です。

遠隔指導システム

①リアルメタバース：リアルメタバース技術を活用した遠隔指導に関する実証

②収穫適期判定：高精細カメラを搭載したMRゴーグルとAI解析を用いた収穫適期判定に関する実証

【ローカル5Gの活用ポイント】

リアルメタバース空間生成及び収穫適期判定に必要な複数の高精細映像／画像の取得（360°カメラ：20Mbps／カメラ、MRゴーグル：5Mbps）において、ローカル5Gの安定した大容量アップロード通信が必要不可欠である

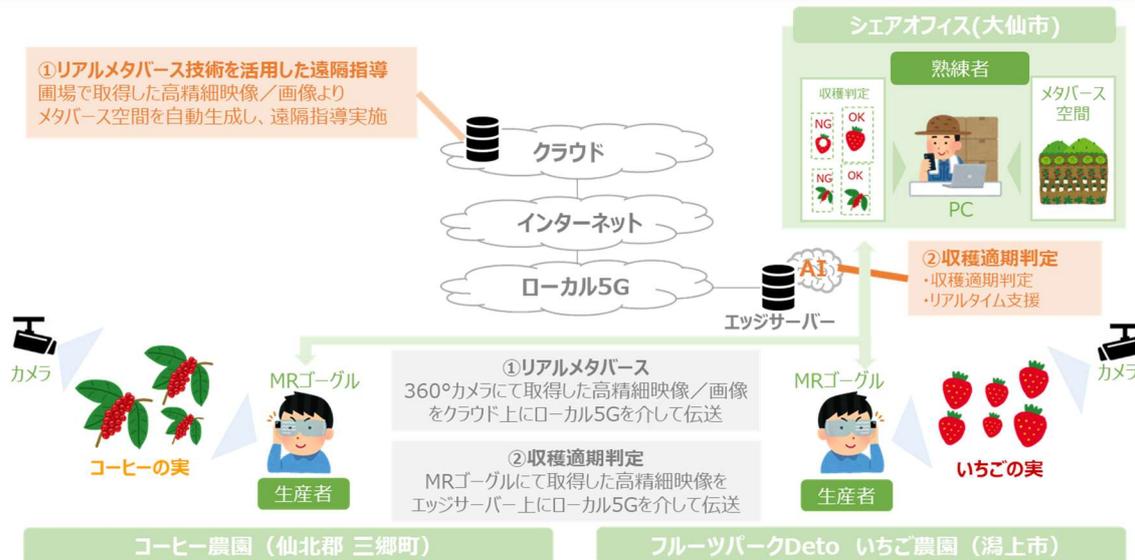


図 4.1.2 遠隔指導システムのイメージ

【実証2】イチゴ収穫・運搬ロボット

イチゴは大きさも形も千差万別なため、形状判定が不可能であっても色彩判定であれば収穫すべきイチゴを見極めることが可能になります。そのため、XYZカメラをセンサーとして活用することで、イチゴの葉と茎を見分けることが可能になり完熟したイチゴのみを正確に選別して収穫することが可能になります。また、収穫したイチゴを運搬ロボットの上においたトレイと連携することで早朝での収穫作業を実現できるようにします。さらに、ロボット等に問題が生じた際には、遠隔から信号を送りロボットの遠隔制御も可能なものとなります。実証終了後の未来としてはロボットによる植生観察・育成データの収集の自動化にも繋げていきます。

イチゴ収穫・運搬ロボット

- ① 収穫：収穫適期の自動判定及び自動収穫に関する実証
- ② 遠隔制御：ロボットの遠隔制御に関する実証

【ローカル5Gの活用ポイント】

複数ロボットの遠隔制御に必要なリモート接続用（10Mbps/ロボット）通信において、ローカル5Gの安定した大容量通信が必要不可欠である

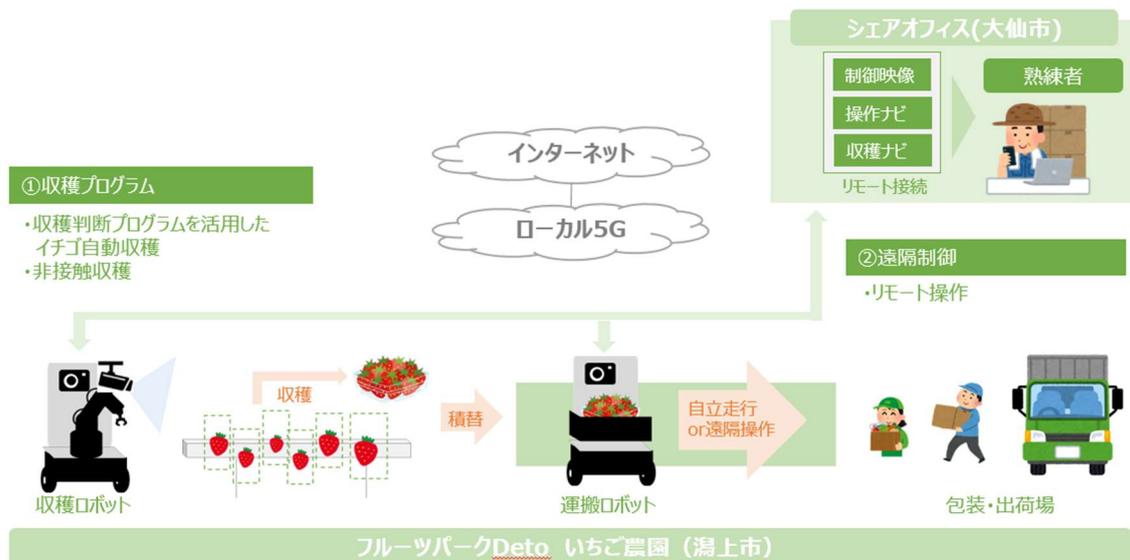


図 4.1.3 イチゴ収穫・運搬ロボットシステムのイメージ

【実証3】遠隔ショッピング

遠隔地からリアルメタバース空間に入って商品を閲覧・購入することを可能にします。商品の詳細説明等が欲しい場合はリアルタイムで販売員を呼び出し、リアルメタバース空間で直接コミュニケーションしながら商品を購入することが可能になります。また、VR店舗設置も可能になるため、道の駅に出荷していない、別地域の店舗の物も販売することができます。そのため、本実証生産者の生産地域と道の駅は片道3時間以上かかる位置にあります。そのため、輸送等の時間と品質を落とさない販売が実現できます。

本技術を活用し、秋田県内では高齢者の買い物難民に対して移動販売車にタブレットを持たせ販売をすることで、いつもと異なる生活の向上を与えることも可能にします。さらに、全国のユーザーを顧客ターゲットにして、リアルメタバースを活用したユーザーが秋田に訪れていただける仕組みにします。(アンケートによると約70%のユーザーがリアルメタバース活用後現地を訪れたいと回答)

遠隔ショッピングシステム

■リアルメタバースを活用した遠隔ショッピングに関する実証

【ローカル5Gの活用ポイント】

リアルメタバース空間生成に必要な複数の高精細映像／画像（20Mbps／カメラ）取得において、ローカル5Gの安定した大容量アップロード通信が必要不可欠である

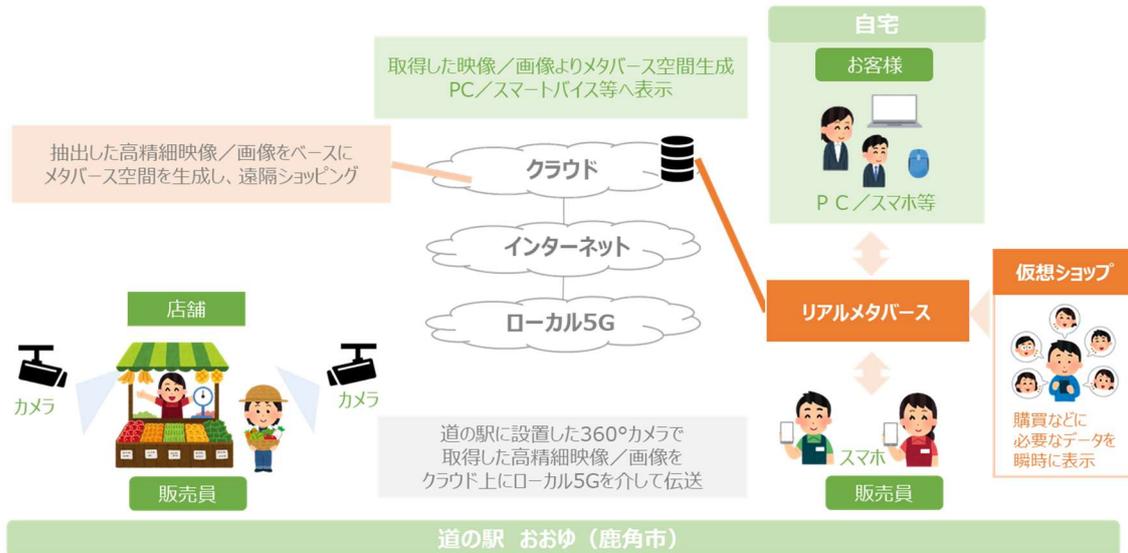


図 4.1.4 遠隔ショッピングシステムのイメージ

(2) ローカル 5G 活用モデル（当初仮説）

本実証は、以下の 2 つのプランにて事業継続に取り組みます。

- ① 生産から販売に対する新たな DX パッケージとしてモデルケース化および他品種への展開
ローカル 5G 機器を活用した、生産現場における MR ゴーグル、AI 解析を用いたシステムによる収穫適期判定、自動収穫・運搬ロボット、また販売のシーンではリアルメタバースを活用した遠隔ショッピングのシステムを新たな農業方式としてモデルケース化します。また、イチゴやコーヒーに限らず、他品種に対しての横展開を目指します。
- ② コンソーシアムでの（ローカル 5G×ロボット×AI×リアルメタバース）遠隔支援モデル化
本実証参加しているコンソーシアムが、それぞれの立場から本実証ビジネスモデルを推進・普及展開を目指していきます。

表 4.1.1 各ステークホルダの実装および普及の考え・意向

ステークホルダ	考え・意向
【事業推進者】 東日本電信電話株式会社 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構	本実証ビジネスモデルを推進していくことで、既存の生産者をはじめ、新規営農者にとって、事業参入支援となることから、生産者の拡大に向けたモデル推進を検討していきます。

<p>【サービス提供事業者】 株式会社ポケット・クエリーズ</p>	<p>本実証でローカル 5G 対応のリアルメタバースを活用したシステムを開発実証することで、今後、遠隔営農の在り方や県外への販売展開を拡大し、高精細映像とリアルメタバースを活用した更なるサービス提供も検討していきます。</p>
<p>【設備構築・保守者】 東日本電信電話株式会社</p>	<p>本実証でローカル 5G ネットワーク環境を構築・運用保守することで得たノウハウをもとに、農業分野でのローカル 5G の利活用の展開や、自動収穫・運搬ロボットやその他機器と連携を検討していきます。</p>
<p>【事業協力・支援者】 秋田県仙北地域振興局、大仙市、美郷町、鹿角市、潟上市、秋田県立大学</p>	<p>秋田県の目指す「新ふるさと秋田農林水産ビジョン」の実現に向け、農業振興に資するスマート農業の実証・社会実装戦略の取組との整合性を図りつつ、新たなスマート農業のモデルとして発信していきます。</p>

(3) ローカル 5G の必然性・必要性

① 遠隔指導システム

本システムは、360° カメラから、イチゴ／コーヒー圃場のメタバース空間生成に必要な高精細映像／画像を習得し、カメラからクラウドまで大容量データ伝送が必要となります。具体的には、本実証において1ハウスにつき、生育確認用の360° カメラ(約20Mbps)を2台設置させ、さらにはMRゴーグルを3台活用(約5Mbps/台)し合計55Mbps/1ハウスの映像伝送を可能とする大容量「アップロード」通信が必要となります。また、より高精度なイチゴやコーヒーの生育確認の実現にあたり、解析データのもととなる高精細映像/画像の伝送においてデータの損失のない安定的な伝送路(パケットロス率0%)が必要となり、ローカル 5G の特徴である他の電波と干渉がなく安定通信が必要となります。さらに、ビニールハウス内の高設架台の栽培レーン等に有線にて対応するのは困難であり、高品質な無線ネットワークが必要となります。

② 自動収穫・運搬ロボットシステム

本システムは、収穫・運搬ロボット等に搭載するエッジサーバに対して、遠隔地に設置したPCよりリモート接続します。遠隔地のコックピットから収穫・運搬ロボットを遠隔制御するために、大容量データの伝送が必要となります。具体的には、本実証において1ハウスにつき、複数台のリモート制御用通信(10Mbps/ロボット)を必要とするため、大容量「アップロード」通信が必要となります。また、ロボット遠隔制御の実現にあたり、リモートデスクトップ接続用データの伝送においてデータの損失のない安定的な伝送路が必要となるため、データの損失がない安定的な伝送路(パケットロス率0%)が必要となり、ローカル 5G の特徴である他の電波と干渉がなく安定した通信が必要となります。さらに、ビ

ニールハウス内の高設架台の栽培レーンの間 (90 cm) をロボットで自立走行させる必要があります、また、ロボット等に問題が生じた際には、遠隔から信号を送りロボットの遠隔制御する必要があるため、有線ではなく高品質な無線ネットワークが必要となります。

※本実証では、コーヒーハウスについては(1)のみの利用となり、合計 55Mbps/ハウス程度の安定的な映像伝送機能が必要です。また、イチゴハウスでは(1)と(2)は同時に利用するため、合計 75Mbps/ハウス程度の安定的な映像伝送機能が必要となるため、準同期によるアップロード通信の比率を高めたユースケースに関する実証を行いました。

- ③ 本システムは、道の駅の売り場に複数の 360° カメラを設置して、道の駅売り場内のエリアをカバー、リアルタイムで映像/画像を取得する必須であり、それらを伝送する大容量通信が必要となります。具体的には、本実証において 6 台のカメラ(運用上 30 分ごとの切り替えを想定)で売り場の商品や人物を認識させる解像度が必要なため、商品、人物検知用の 360° カメラ (約 20Mbps) を 6 台設置(常時稼働 3 台)し、合計 75Mbps 程度/店舗の映像/画像伝送を可能とする「アップロード」通信が必要となります。また、メタバース空間生成にあたり、解析データのもととなる高精細映像/画像の伝送においてデータの損失のない安定的な伝送路 (パケットロス率 0%) が必要となり、ローカル 5G の特徴である他の電波と干渉がなく安定した通信が必要となります。さらに、道の駅のような大きな売り場においてカメラを利用する場合、有線のカメラであると設置場所までの配線を都度施さなければならない、加えて設置位置のフレキシブルな運用が困難と想定されます。また、連携アプリを搭載したスマートデバイスを販売員が保持し店舗内をシームレスに移動できる必要があるため、安定した高速大容量の無線ネットワークとの組み合わせが望ましいと考えます。今後、ローカル 5G の電波を直接受けられるカメラの開発が進み、安価に市中に出てきた場合は、最低限のカメラ台数、工事でフレキシブルな運用が期待できます。

表 4.1.2 ローカル 5G 活用の必然性

システム区分	本事業のシステム要件	NWに必要な要件	ローカル5Gの必然性
遠隔指導システム	■リアルメタバース技術を活用した遠隔指導 360°カメラから、イチゴ/コーヒータンクのメタバース空間生成に必要な高精細映像/画像を習得する。カメラからクラウドまで大容量データ伝送が必要となり、本実証では1ハウスにつきカメラを複数台利用する。 ■収穫適期判定 MRゴーグルより取得する高精細フルHDカメラ映像から、イチゴ/コーヒータンの収穫判定に必要な高解像度なイチゴ/コーヒータンの映像を習得する。MRゴーグルからエッジサーバーまで高精細フルHD映像の大容量データ伝送が必要となる。本実証では1ハウスに収穫適期判定用のMRゴーグルを複数台利用する。	複数台の高精細映像/画像 (360°カメラ: 20Mbps /カメラ、フルHD: 5Mbps /MRゴーグル) を伝送可能な大容量アップロード通信が必要	高速大容量通信・準同期によるアップロード比率の向上
	■リアルメタバース技術を活用した遠隔指導/収穫適期判定 (共通) 高精度解析の実現にあたり、解析データの元となる高精細映像/画像の伝送においてデータの損失のない安定的な伝送路が必要となる。	パケットロス率 0%	干渉のない安定的通信
	■収穫適期判定 MRゴーグルをかけた生産者がハウス内をシームレスに移動できる必要がある。	有線ではなく、無線通信である必要がある	無線通信
イチゴ収穫・搬送ロボットシステム	収穫・運搬ロボット等に搭載するエッジサーバーに対して、遠隔地に設置したPCよりリモート接続する。遠隔地コックピットから収穫・運搬ロボットを遠隔制御するために、大容量データの伝送が必要となる。本実証では1ハウスにつき、収穫ロボット・運搬ロボット計2台を利用する。	複数台のリモート制御用通信 (10Mbps/ロボット) を伝送可能な大容量通信が必要	高速大容量通信・準同期によるアップロード比率の向上
	ロボット遠隔制御の実現にあたり、リモートデスクトップ接続用データの伝送においてデータの損失のない安定的な伝送路が必要となる。	パケットロス率 0%	干渉のない安定的通信
	高設架台の栽培レーン間 (90cm) をロボットで走行させる必要がある	有線ではなく、無線通信である必要がある	無線通信
遠隔ショッピングシステム	店舗内に設置する360°カメラから、メタバース空間生成に必要な店舗内の高精細映像/画像を習得する。360°カメラからクラウドまで大容量データ伝送が必要となる。本実証では1店舗につき、360°カメラを複数台利用する。	複数台の高精細映像/画像 (360°カメラ: 20Mbps /カメラ) を伝送可能な大容量アップロード通信が必要	高速大容量通信・準同期によるアップロード比率の向上
	メタバース空間生成にあたり、解析データの元となる高精細映像/画像の伝送においてデータの損失のない安定的な伝送路が必要となる。	パケットロス率 0%	干渉のない安定的通信
	連携アプリを搭載したスマートデバイスを販売員が保持し、店舗内をシームレスに移動できる必要がある。	有線ではなく、無線通信である必要がある	無線通信

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

(1) 実証内容の新規性

スマート農業の実現を目標に収穫適期診断 AI や自動収穫・運搬ロボットを導入し、生産・収穫工程の省人化を目指しました。果樹は付加価値が高い一方、傷等による品質劣化の影響を受けやすいため過去の実証では病害検知や、遠隔指導等にとどまっていた。本実証では AI によって収穫適期を判定する MR ゴーグルの利用だけでなく、イチゴの自動収穫・運搬ロボットの検証も行うことで、栽培工程だけでなく収穫工程の省人化も目指すものです。また、遠隔指導においても MR ゴーグルによる作業員視線の映像伝送だけではなく、リアルメタバース技術も導入し、作業員が見落とすような異変にも気づくことが可能になります。リアルメタバースの同システムを活用して遠隔ショッピングシステムも構築し、県外需要拡大も目指しました。

(2) 過年度実証事業との関連性

過去の総務省令和2年度および令和3年度開発実証における農業分野の実証では費用対効果が得にくいという課題が残りました。その課題を受けて、本実証ではシステム化対象作物を拡大し、経済効率性の向上を目指しました。また、システム化対象工程も生育工程だけでなく、収穫・販売工程にも拡大し、過去の実証システムと組み合わせることでより省人化を促進できるシステムを選定しました。

また、スマートグラスを用いた実証としては令和2年度開発実証「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」でも取り組まれ、AIと組み合わせてぶどうの軸長診断や適期収穫色診断の検証を行い、一定の成果を達成しました。令和3年度開発実証「中山間地域でのEVロボット遠隔制御等による果樹栽培支援に向けたローカル5Gの技術的条件および利活用に関する調査検討」でもスマートグラスを活用していますが、こちらはAI診断ではなく遠隔地にいる熟練技術者からの指導を受けるために導入し、こちらも一定の成果を達成しています。スマートグラスは多様な用途に用いられているものの、いずれもあくまで作業者の目線の映像でとらえた映像の範囲内ではしか判断できないという課題がありました。令和3年度開発実証「中山間地域でのEVロボット遠隔制御等による果樹栽培支援に向けたローカル5Gの技術的条件および利活用に関する調査検討」では果樹園内の病虫害予防には別のAIカメラを導入していることからスマートグラスで見回り業務まで行えないことは明らかです。

本実証ではスマートグラスに代わりMRゴーグルを用いるだけでなくリアルメタバース技術も活用することで、ハウスの環境を再現し、作業者が気づかない(=MRゴーグルでは撮影できない)異変等も検知することが可能になると考えました。令和3年度開発実証「中山間地域でのEVロボット遠隔制御等による果樹栽培支援に向けたローカル5Gの技術的条件および利活用に関する調査検討」では広大な果樹園がフィールドだったため、自動走行するEV車にAIカメラを搭載して見回り業務を代行させましたが、本実証フィールドはハウス内のため、360°カメラを複数設置し、バーチャル空間に再現することで栽培指導に役立てました。

さらに、生育・収穫過程だけでなく、販売過程にもシステムを導入しました。本実証エリアの秋田県は人口減少が著しく、県内の流通だけでは需要が縮小していくという課題があります。本実証では遠隔指導に用いるリアルメタバース技術を活用し、道の駅の環境をメタバース空間に再現し、現地の方と交流しながら商品を選べる遠隔ショッピングシステムを導入し、県外の販路拡大に向けた検証も行いました。

4.1.4 実証目標

本実証はスマート農業の実現に向け、品質向上や省人化の実現を目指しました。過去の総務省令和2年度および令和3年度開発実証における農業分野の実証では費用対効果が得にくいという課題が残りました。コスト按分効果のためにローカル5G等システム機器をシェアすることを提言していましたが、ローカル5Gコア装置所有者の負担が大きく、また、費用対効果を得るためには大規模なシェアグループを構成する必要がありました。

本実証ではマネージド・ローカル5Gを選定していることにより、過去2年間と比較し、ローカル5G導入・運用費用を低減することが可能になりました。また、費用対効果向上のため、本実証システムの導入対象となる作物を拡張し、効率的なシステム利用の在り方を検証しました。

以上のことから、本実証では以下を目標と定めました。総務省実証としては導入初年度のKPIを達成すること目標としました。

表 4.1.3 今年度実証目標

システム名	具体的な導入効果	総務省目標
遠隔指導システム	指導による作業効率化 (作業時間削減効果)	22万円
	移動時間、交通費等削減	
イチゴの収穫・運搬 ロボットシステム	収穫作業時間減	16万円
	出荷量増加	
遠隔ショッピングシステム	収益拡大(利益ベース)	49万円

4.2 実証環境

本実証は、株式会社秋田食産(秋田県仙北郡美郷町土崎上野乙 205-9)が保有しているビニールハウス(イチゴ)において「遠隔指導システム」、「自動収穫・運搬ロボット」の実証を行いました。

同様に、ビニールハウス(コーヒー)においては「遠隔指導システム」の実証を行いました。

また、株式会社恋する鹿角カンパニー(秋田県鹿角市十和田大湯字中谷地 19 番)が運営している道の駅おおゆにおいては「リアルメタバースを活用した遠隔ショッピングシステム」の実証を行いました。

<株式会社秋田食産 実証フィールド>



図 4.2.1 フルーツパーク DETO 実証環境
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

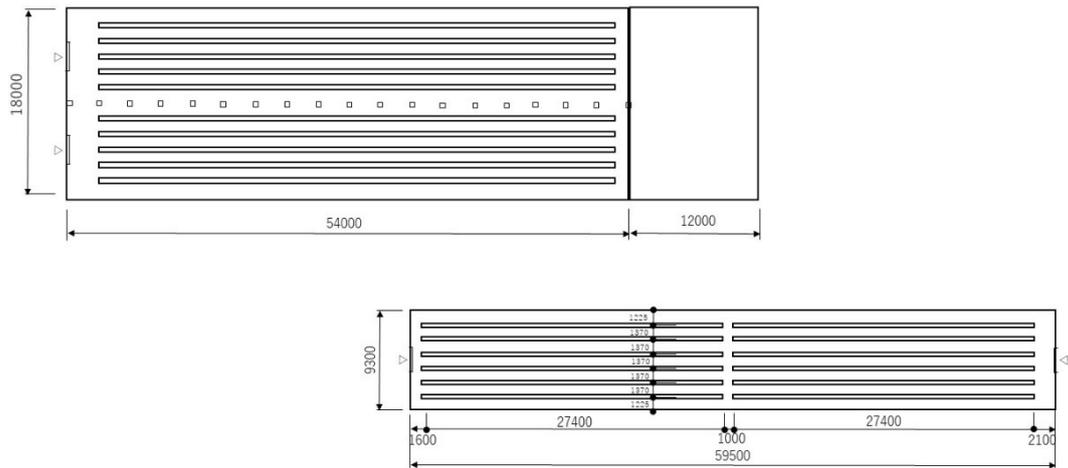


図 4.2.2 フルーツパーク DETO 対象ハウス



図 4.2.3 秋田食産コーヒーハウス 実証環境
 (国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>)のデータを使用して作成)

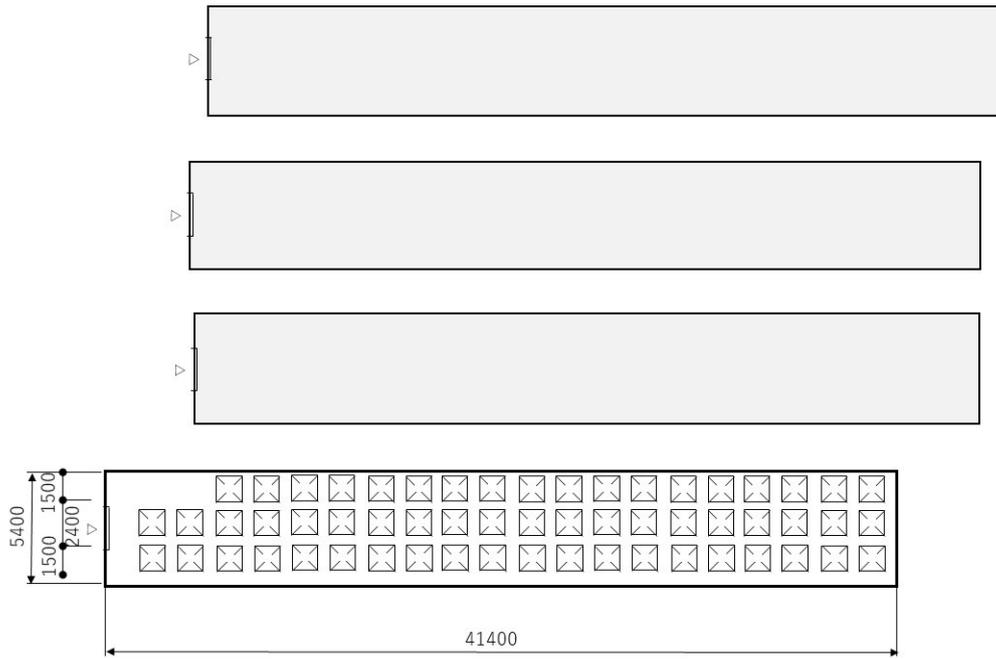


図 4.2.4 コーヒーハウス 対象ハウス



図 4.2.5 株式会社恋する鹿角カンパニー道の駅おおゆ 実証環境
(国土地理院(電子国土 Web)(URL:<https://maps.gsi.go.jp/>))のデータを使用して作成)

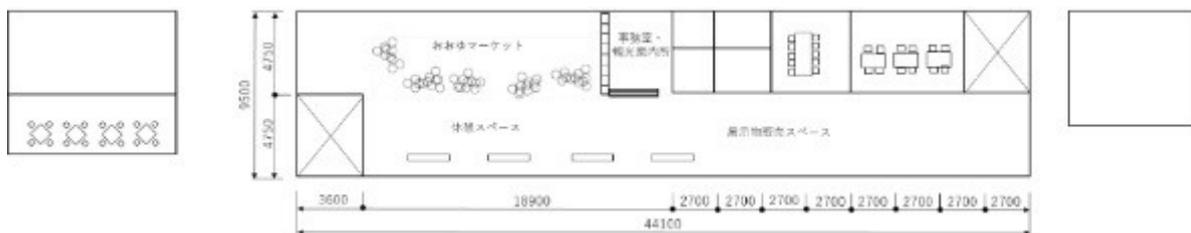


図 4.2.6 道の駅おおゆ 対象施設

4.3 実施事項

4.3.1 ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証

(1) 機能検証

本実証を通じてローカル 5G を用いたソリューションについて評価・分析し、実証地域での継続利用および他地域への展開につながる機能について検証しました。

必要な各機能についての具体的な検証項目、検証方法および検証結果を、以下に示します。

本実証においては各システムのローカル 5G 区間で映像等を伝送させるため、各システムで要求されるスループットを達成したかどうかおよびパケットロスが発生したかどうか検証を行いました。遅延値については、本実証ではシステム利用者間のコミュニケーションに問題が発生しないと考えているため、測定対象外としました。総務省 令和 2 年度「地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」No. 16 によると、ビデオ会議における体感品質低下が発生しない遅延値としては映像 1050msec 以下、音声 800msec 以下とされています。また、4K 対応 Web カメラを用いた end-to-end の処理遅延結果として、拠点間をインターネット経由で接続した場合 565msec となっており、ネットワーク区間遅延 28msec を引くとインターネット区間+カメラの処理遅延として約 540msec ということがわかります。総務省 令和 2 年度「地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」No. 16 の構成と本実証構成は類似点が多いため、上記測定結果を参考とし、品質低下許容遅延値から考えるとカメラの処理遅延の影響は軽微なものと考えました。

1) 検証項目

a. 遠隔指導

- ① リアルメタバース技術を活用した技術指導、監視のリモート化による遠隔営農を実現。

ア 撮影機能 (360° カメラ)

ビニールハウス内における作物 (コーヒー・イチゴ) 映像/画像の撮影

イ 伝送機能 (ローカル 5G システム)

複数台の 360° カメラより取得した高精細映像/画像伝送 (20Mbps/カメラ) におけるパケットロス率の測定

※メタバース技術開発環境下で WiFi を利用した場合でもコミュニケーションに支障をきたすような遅延の問題ありませんでした。WiFi の遅延値は平均 60msec といわれており、本実証においてもローカル 5G 区間で同等の数値を下回ることによって問題なく利用可能と考えます。

エンコード・デコード処理遅延については、SaaS 型 360° カメラストリーミング機能を利用しますが、インターネット経由での利用となるため、条件・状況を制御できず、検証結果の再現性が得られないことから検証対象外としました。

ウ メタバース空間生成機能

取得した高精細映像/画像を用いて メタバース空間を作成

エ 遠隔指導機能(リアルメタバース)

ハウス内で撮影した高精細映像/画像をメタバース空間にて表示し、遠隔指導を実施

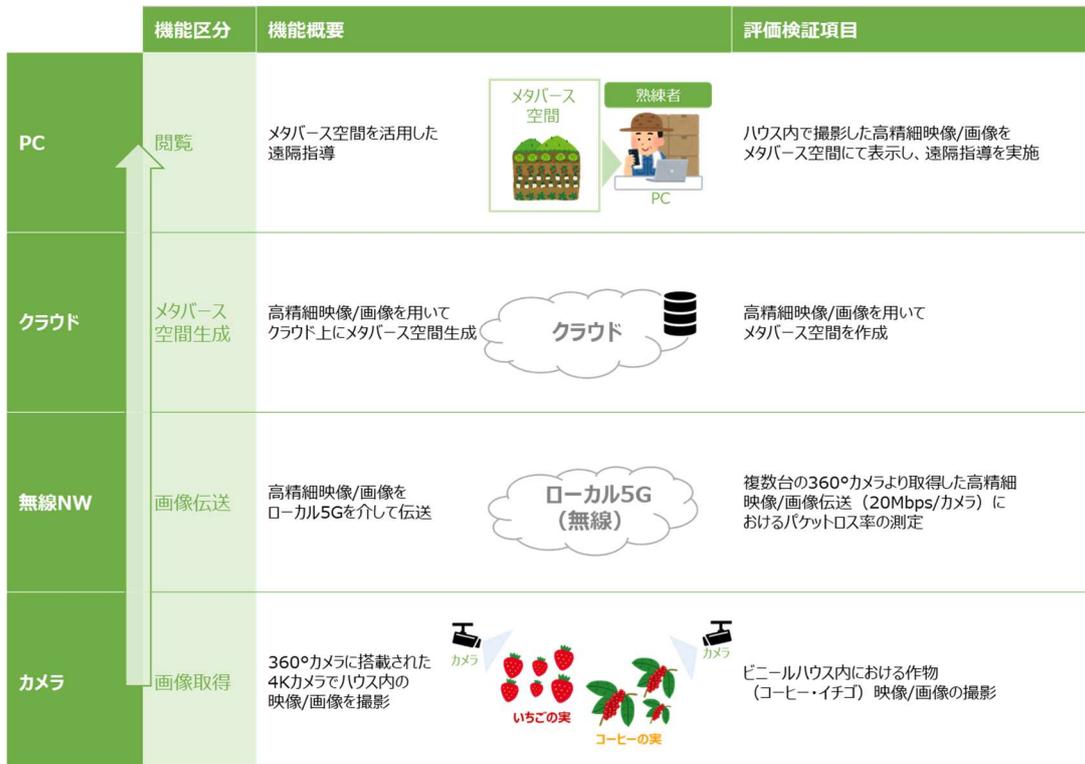


図 4.3.1 リアルメタバース技術を活用した技術指導、監視のリモート化による遠隔営農概念図

② 収穫適期判定

ア 撮影機能 (MR ゴーグル)

ビニールハウス内における作物 (コーヒー・イチゴ) 映像の撮影

イ 伝送機能 (ローカル 5G システム)

複数台の MR ゴーグルに搭載したフル HD カメラの映像伝送 (5Mbps / ゴーグル) におけるパケットロス率の測定

※AI の診断結果出力については LTE 環境下でスマートグラス～サーバ区間の往復で平均 50~70msec だったという結果を得られており、本実証はローカル 5G 環境下での実証となるため、同等以上の成果を得られる見込みがあることから検証項目としては不要であると判断しました。検証期間中に利用者から「回答が遅い」といった意見が出た場合は運用検証内で対応策を検討します。

ウ 収穫時期自動判定機能 (AI アプリ)

取得した高精細フル HD 映像を用いて 作物 (イチゴ・コーヒー) の収穫適期判定をエッジサーバで実施

エ 閲覧機能

複数台の MR ゴーグルに収穫判定結果を表示



図 4.3.2 MR ゴーグルを活用した収穫適期判定概念

b. イチゴ収穫・運搬ロボット

ア 撮影機能（マルチアングルカメラ）

収穫・運搬ロボットに搭載されたマルチアングルカメラでハウス内およびイチゴ映像の撮影

イ 自動判定・収穫機能

取得したマルチアングルカメラ映像を用いてイチゴの収穫適期を判定し、損傷なく収穫
※ネットワーク区間については、開発環境下で Wi-Fi を利用した場合でも操作・走行に支障をきたすような遅延の問題ありませんでした。Wi-Fi の遅延値は平均 60msec といわれており、本実証においてもローカル 5G 区間で同等の数値を下回ることによって問題なく利用可能と考えました。

画像取得、エンコード・デコードの処理遅延については、プロセッサの性能および画像サイズによっても変わりますが、10~40msec 程度に調整することは可能です。また、原則自立走行・自動収穫を行うものであるため、本システムの機能・性能への影響はないと考えました。

ウ 伝送機能（ローカル 5G システム）

遠隔地（コックピット）に設置する PC からイチゴ収穫ロボットまでのパケットロス率の測定

エ 遠隔制御機能

遠隔地（コックピット）に設置する PC よりイチゴ収穫・運搬ロボットにリモート接続し遠

隔制御（停止・再起動等）

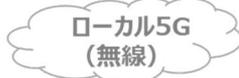
	機能区分	機能概要	評価検証項目
ロボット	遠隔制御	 <p>イチゴ収穫・運搬ロボット 遠隔制御</p> <p>イチゴ収穫・運搬ロボットを 遠隔地（コックピット）より制御</p>	
無線NW	伝送	 <p>リモート接続用通信を ローカル5Gを介して伝送</p> <p>遠隔地（コックピット）に設置するPCから イチゴ収穫ロボットまでのデータ転送 （10Mbps/ロボット・サーバ）における パケットロス率の測定</p>	
エッジサーバー	自動判定・ 収穫	 <p>エッジサーバー上で イチゴ自動判定・収穫</p> <p>取得したマルチアングル映像を用いて イチゴの色彩を判定し収穫 ※対象は自動収穫ロボットのみ</p>	
高精細カメラ	撮影	 <p>マルチアングルカメラで ハウス内の映像を撮影</p> <p>収穫・運搬ロボットに搭載されたマルチアングルカメラ でハウス内及びイチゴの映像を撮影</p>	

図 4.3.3 イチゴ収穫・運搬ロボット概念図

c. 遠隔ショッピング

ア 撮影機能（360° カメラ）

店舗内に設営した 360° カメラにて店舗内の映像/画像を撮影。

イ 伝送機能（ローカル 5G システム）

店舗内に設営した 360° カメラの映像/画像伝送（20Mbps/カメラ）におけるパケットロス率の測定。

※遅延値の影響については、遠隔指導システムと同様に本システムの機能・性能に対して軽微なものと考えため検証対象外とします。

ウ メタバース空間生成機能

取得した店舗内の高精細映像/画像を用いてリアルメタバース空間を生成。

エ 閲覧・通話機能

店舗内で撮影した高精細映像/画像をリアルメタバース空間にて表示し、遠隔ショッピングを体験。

お客様が店員を呼ぶと、店員のローカル 5G スマートフォンに通知を送付。

	機能区分	機能概要	評価検証項目
スマートデバイス	閲覧	リアルメタバース空間を活用した遠隔ショッピングの体験  PC/スマホ等 	店舗内で撮影した高精細映像をリアルメタバース空間にて表示し遠隔ショッピングを体験
クラウド	メタバース空間	取得した360°カメラ映像を用いてクラウド上にリアルメタバース空間生成 	取得した店舗内の高精細映像を用いてリアルメタバース空間を作成
無線NW	映像伝送	取得した360°カメラ映像をローカル5Gを介して伝送 	店舗内に設置した360°カメラの映像伝送（20Mbps/カメラ）におけるパケットロス率、遅延時間の測定
高精細カメラ	映像取得	360°カメラで店舗内の映像を撮影 	店舗内に設置した360°カメラにて店舗内の映像を撮影

図 4.3.4 遠隔ショッピング概念図

2) 検証方法

a. 遠隔指導

- ① リアルメタバース技術を活用した技術指導、監視のリモート化による遠隔営農を実現

ア 撮影機能（360°カメラ）

指導者が遠隔地から圃場の対象株の発育状況等を詳細に把握できるかを確認するため、ビニールハウス内における作物（コーヒー・イチゴ）を360°カメラにて4K映像として撮影できていることを目視で確認しました。

カメラ2台の設置位置は以下の通りです。

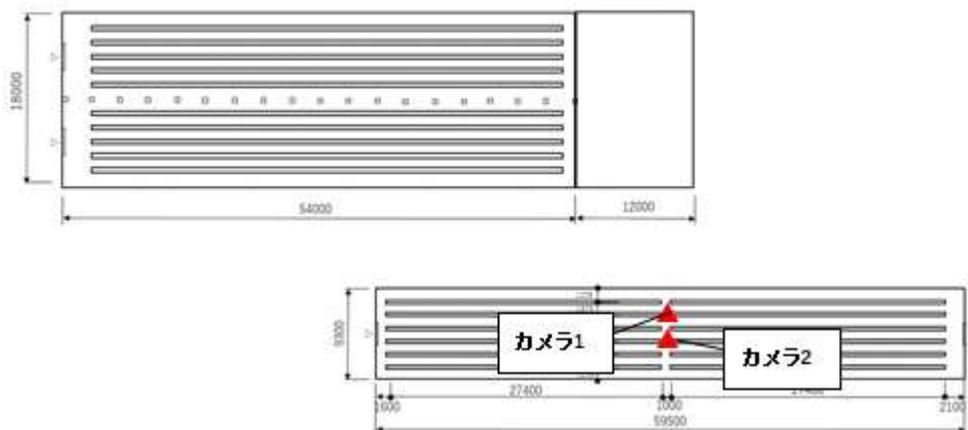


図 4.3.5 遠隔指導における 360°カメラの設置位置

イ 伝送機能 (ローカル 5G システム)

【フルーツパーク DETO】 想定ビットレート計 75Mbps

遠隔地の指導者に対しカメラ映像がリアルタイムかつ劣化せずに伝送できるか確認するため、フルーツパーク DETO の所要性能 (75Mbps) と同等の負荷をかけた状態で、ローカル 5G 区間に 2 台の PC を設置し、PC 間における Ping のパケットロスが 0%であることを確認しました。

【コーヒー圃場】 想定ビットレート計 55Mbps

遠隔地の指導者に対しカメラ映像がリアルタイムかつ劣化せずに伝送できるか確認するため、コーヒーハウスの所要性能 (55Mbps) と同等の負荷をかけた状態で、ローカル 5G 区間に 2 台の PC を設置し、PC 間における Ping のパケットロスが 0%であることを確認しました。

ウ メタバース空間生成機能

指導者が遠隔地から圃場の対象株および生産者の位置や動作を常に把握できる状態であることを確認するため、メタバース空間が生成されることを PC で目視確認しました。

エ 遠隔指導機能 (リアルメタバース)

指導者が遠隔地から圃場にいる生産者に対し、より具体的な位置を示したり (対象株の葉、茎、果実等)、より専門的な技術をわかりやすく指導したりすることができるかを確認するため、遠隔からビニールハウス内で撮影した映像/画像をメタバース空間に表示しながら遠隔で指導 (ライン・文字による指示と合わせて会話) 可能なことを確認しました。

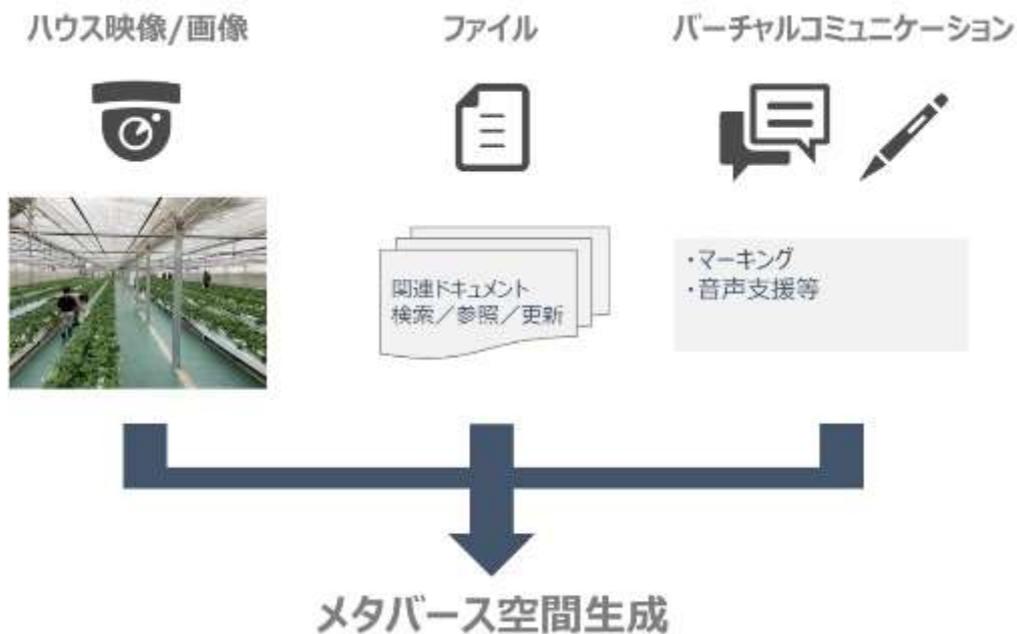


図 4.3.6 メタバース空間生成イメージ

メタバース空間で情報共有

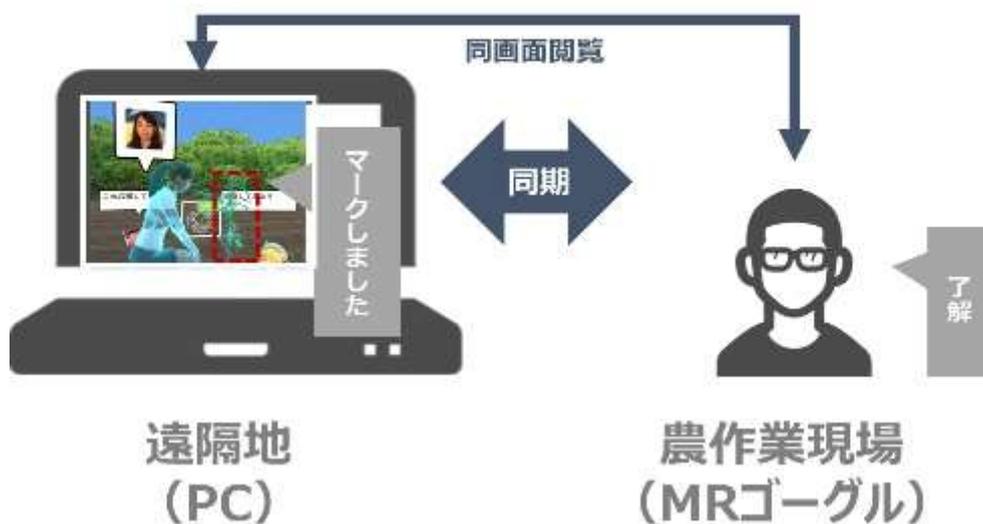


図 4.3.7 メタバース空間での遠隔指導イメージ

② 収穫適期判定

ア 撮影機能 (MR ゴーグル)

AI システムが収穫適期判定を十分な精度で行えるだけの映像/画像を撮影できるかを確認するため、ビニールハウス内で生産者に MR ゴーグルをかけていただき、ゴーグルに搭載されたフル HD(1080P)で作物やハウス内の映像が画角に収まっているか目視で

確認しました。

イ 伝送機能（ローカル 5G システム）

【フルーツパーク DETO】 想定ビットレート計 75Mbps

AI システムにカメラ映像をリアルタイムかつ劣化せずに伝送できることを確認するため、フルーツパーク DETO の所要性能(75Mbps)と同等の負荷をかけた状態で、ローカル 5G 区間に 2 台の PC を設置し、PC 間における Ping のパケットロスが 0%であることを確認しました。

【コーヒー圃場】 想定ビットレート計 55Mbps

AI システムにカメラ映像をリアルタイムかつ劣化せずに伝送できることを確認するため、コーヒーハウスの所要性能(55Mbps)と同等の負荷をかけた状態で、ローカル 5G 区間に 2 台の PC を設置し、PC 間における Ping のパケットロスが 0%であることを確認しました。

ウ 収穫時期自動判定機能（AI）

イで取得した高精細映像から取得された作物（コーヒー・イチゴ）を AI により正しく解析（収穫適期解析）されているかを確認し、取得した映像における検知精度を評価しました。

収穫に適した（適していない）イチゴの判断については、実際の圃場でベテラン農家が収穫適期として判断します。AI の学習においてもベテラン農家が収穫適期と判定したイチゴの画像を学習させることで、機械判定を可能なものとします。

なお、収穫時期自動判定機能については、明るさや障害物の影によって判定結果にばらつきが生じる可能性があったため、現地での天候や時間帯に応じて複数条件下で測定致しました。具体的には朝 9:00-10:00, 昼 12:00-13:00, 夕方 15:00-16:00 等、時間帯を変えて測定しました。測定時期を 1 月～2 月としているため、現地の天候はほとんど曇りもしくは雪でしたので、天候条件については得られた条件下で測定致します。

<目標> 収穫適期認識正答率 70%以上

※計測条件等は実施開始後に改めて定期報告会等で報告させていただきます。

※収穫適期認識正答率・・・スマートグラスで収穫適期判定を行った際に人の目（ベテラン農家）と比較した際の正答率

エ 閲覧機能

遠隔指導時に複数人が同時に指導を受けられることを確認するため、同時複数台の MR ゴーグル映像に収穫判定結果が表示されるか確認しました。

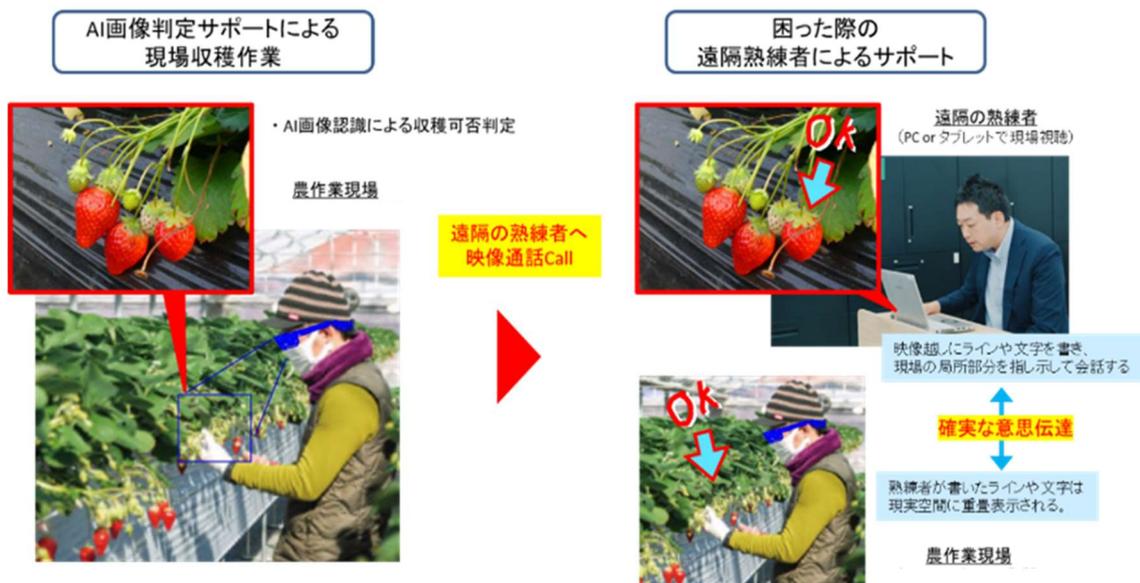


図 4.3.8 MR ゴーグルを活用した収穫適期判定イメージ



図 4.3.9 収穫時期自動判定機能イメージ

b. イチゴ収穫・運搬ロボット

ア 撮影機能 (マルチアングルカメラ)

イチゴ収穫・運搬ロボットシステムがイチゴの実と判断できる程度の映像/画像を撮影できるかを確認するため、ビニールハウス内でマルチアングルカメラを搭載した収穫・運搬ロボットを走行させ、ハウス内および高設架台にあるイチゴの映像を取得し、イチゴが識別

できるレベルで撮影できているかを目視で確認しました。

イ 自動判定・収穫機能

イチゴ収穫・運搬ロボットシステムが任意の時間帯・天候状況でも収穫適期のイチゴを適切に判断し、収穫できるかを確認するため、マルチアングルカメラ映像からエッジサーバでイチゴの画像を抽出し、取得した画像における色彩判定および収穫作業の精度を評価しました。

収穫に適した（適していない）イチゴの判断については、実際の圃場でベテラン農家が収穫適期として判断します。AIの学習においてもベテラン農家が収穫適期と判定したイチゴの画像を学習させることで、機械判定を可能なものとします。

なお、自動判定機能については、明るさや障害物の影によって判定結果にばらつきが生じる可能性があり、現地での天候や時間帯に応じて複数条件下で測定しました。具体的には朝 9:00-10:00, 昼 12:00-13:00, 夕方 15:00-16:00 等、時間帯を変えて測定することを考えています。測定時期を 1 月～2 月としているため、現地の天候はほとんど曇りもしくは雪であったため、天候条件については得られた条件下で測定しました。

<目標>適正判定率 90%、収穫率 90%以上、非判定・収穫率 10%以下

※計測条件等は実施開始後に改めて定期報告会等で報告させていただきます。

※適正判定率・・・イチゴの自動収穫ロボットにより収穫したイチゴが、収穫に適したイチゴの正答率

※収穫率・・・イチゴの収穫ロボットにより収穫したイチゴと取り残したイチゴの割合

※非判定・収穫率・・・収穫に適していないイチゴを判定した際の正答率

ウ 伝送機能（ローカル 5G システム）

イチゴ収穫・運搬ロボットシステムにカメラ映像をリアルタイムかつ劣化せずに伝送できるかを確認するため、フルーツパーク DETO の所要性能(75Mbps)と同等の負荷をかけた状態で、ローカル 5G 区間に 2 台の PC を設置し、PC 間における Ping のパケットロスが 0%であることを確認しました。

エ 遠隔制御機能

故障等トラブル発生時に、遠隔からでもロボットの手動操作が可能であることを確認するため、収穫・運搬ロボットを遠隔地（コックピット）より遠隔制御（操作映像を確認し停止・再起動等）出来ることを確認しました。

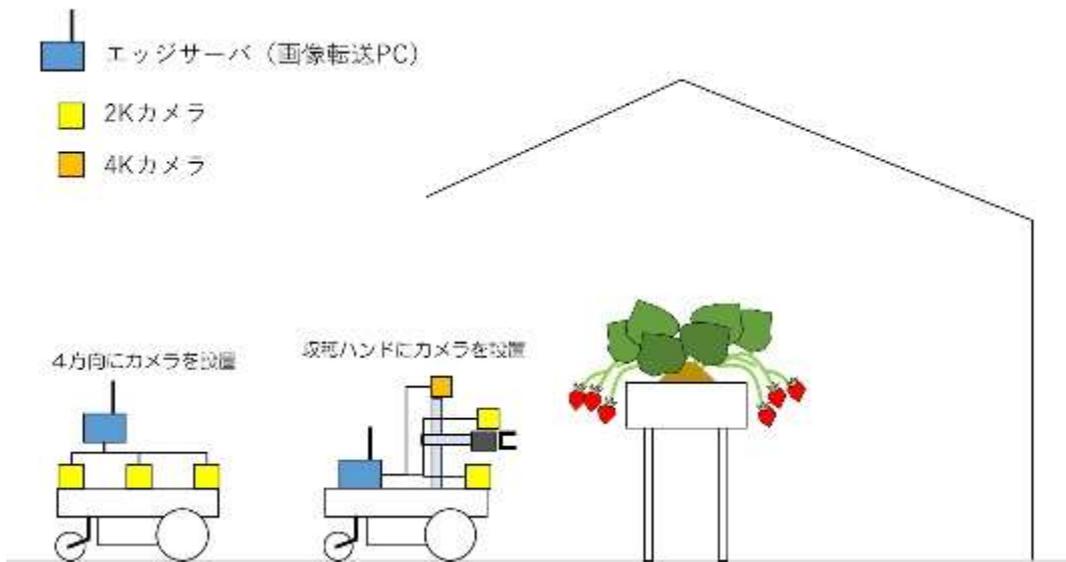


図 4.3.10 イチゴの収穫・運搬ロボットイメージ

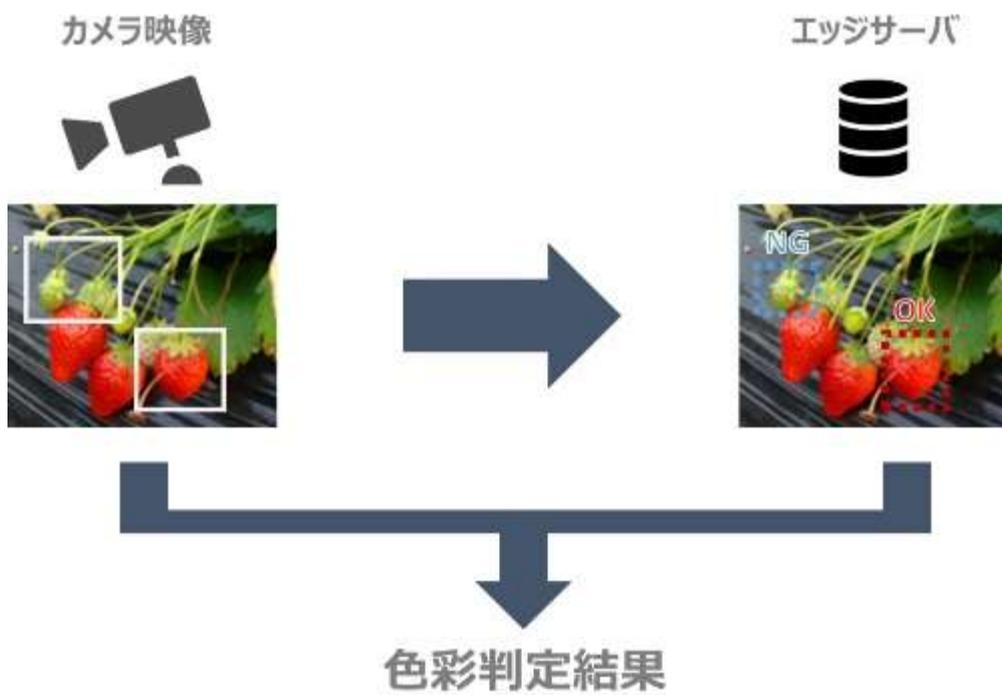


図 4.3.11 色彩判定イメージ

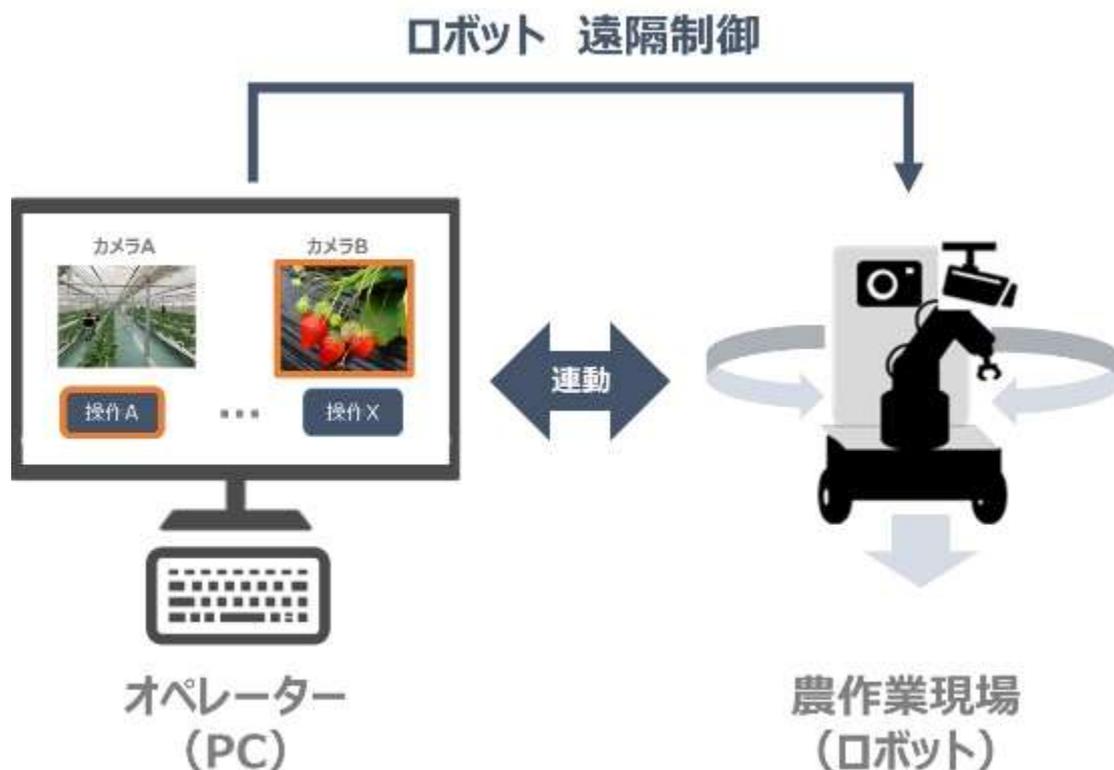


図 4.3.12 遠隔制御イメージ

c. 遠隔ショッピング

ア 撮影機能 (360° カメラ)

遠隔ショッピングシステム利用者が店内および商品を開覧できること確認するため、店舗内に設置した6台 (運用上、定期的に3台ごとの切り替えを想定) の360°カメラで映像/画像を取得し、店舗内の商品等が識別できるレベルで撮影できているかを目視で確認しました。

なお6台のカメラの設置位置は、以下のようになっています。

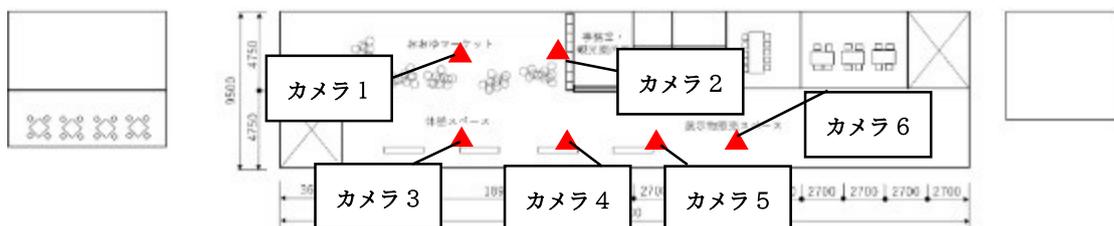


図 4.3.13 遠隔ショッピングにおける360°カメラの設置位置

イ 伝送機能 (ローカル5Gシステム)

想定ビットレート 69Mbps

遠隔ショッピングシステムの中でカメラ映像をリアルタイムかつ劣化せずに伝送できることを確認するため、道の駅おおゆの所要性能(69Mbps)と同等の負荷をかけた状態で、ローカル5G区間に2台のPCを設置し、PC間におけるPingのペケットロスが0%であることを

確認しました。

ウ メタバース空間生成機能

遠隔ショッピングシステム利用者が店内を自由に回覧し、商品を選択できることを確認するため、システム内でメタバース空間の生成および、商品コンテンツが閲覧できる状態であることを目視確認しました。

エ 閲覧・通話機能

遠隔ショッピングシステム利用者が実際にアプリを通じて商品を購入することができることを確認するため、メタバース空間で遠隔ショッピングが可能か確認しました。

遠隔で画面越しに現地の販売員への呼びかけ・会話が可能なことも確認しました。

お客様がスマートフォンを通じて呼びかけ、店員のローカル 5G スマートフォンに通知が表示されることを確認しました。



図 4.3.14 リアルメタバースを活用した遠隔ショッピングイメージ

以下が検証項目および、検証目標になります。

表 4.3.1 検証項目および検証目標

検証項目 (大)	検証項目 (中)	検証項目 (小)	目標
a. 遠隔指導	①リアルメタバース	撮影機能	360° カメラの4K ストリミング映像を RICOH Live Streaming 上で確認できること。
		伝送機能	条件下(検証方法参照)で ping によるパケットロスが 0%。

		メタバース空間生成機能	PC 上でメタバース空間の生成を確認できること。
		遠隔指導機能(リアルメタバース)	メタバース空間上へのラインの描画、資料共有、会話の実施を確認できること。
	②収穫適期判定	撮影機能 (MR ゴーグル)	生産者による MR ゴーグルでの FHD 映像の確認。
		伝送機能 (ローカル 5G システム)	条件下(検証方法参照)で ping によるパケットロスが 0%。
		収穫時期自動判定機能 (AI アプリ)	コーヒー/イチゴの収穫適期判定率 70%以上。
閲覧機能	同時複数台の MR ゴーグルに収穫判定結果が表示されること。		
b. イチゴ収穫・運搬ロボット	撮影機能 (マルチアングルカメラ)	2K/4K でのイチゴの撮影結果を目視確認できること。	
	自動判定・収穫機能	イチゴの適正判定率/収穫率が 90%以上。	
	伝送機能 (ローカル 5G システム)	条件下(検証方法参照)で ping によるパケットロスが 0%。	
	遠隔制御機能	ロボットの遠隔制御 (操作映像の確認、移動、停止/再起動) ができること。	
c. 遠隔ショッピング	撮影機能 (360° カメラ)	360° カメラの 4K ストリーミング映像を RICOH Live Streaming 上で確認できること。	
	伝送機能 (ローカル 5G システム)	条件下(検証方法参照)で ping によるパケットロスが 0%。	
	メタバース空間生成機能	PC 上で 360° カメラ 3 台分のメタバース空間の生成および商品が閲覧できること。	
	閲覧・通話機能	ユーザー側が遠隔で店員と話し、商品の購入ができること。	

3) 検証結果および考察

a. 遠隔指導

① リアルメタバース技術を活用した技術指導、監視のリモート化による遠隔営農を実現

ア 撮影機能 (360° カメラ)

フルーツパーク DETO、コーヒーハウスいずれに設置したカメラも 360° を撮影することができ、なおかつ 4K 映像で作物や人物の位置を把握できるレベルで撮影機能が担保されていることが確認できました。

表 4.3.2 フルーツパーク DETO での作物およびハウス内の映像/画像イメージ(2月24日撮影)

映像	
カメラ 1	
カメラ 2	

表 4.3.3 コーヒーハウスでの作物およびハウス内の映像/画像イメージ(2月14日撮影)

映像	
----	--

カメラ 1



カメラ 2



イ 伝送機能（ローカル 5G システム）

伝送機能の検証について、フルーツパーク DETO では所要性能が 75Mbps（360° カメラ 20Mbps×2 台、MR ゴーグル 5Mbps×3 台、イチゴ収穫運搬ロボット 10Mbps×2 台）であることから、Iperf3 で 75Mbps の負荷をかけ、Ping におけるパケットロス率を確認しました。また、コーヒーハウスでは所要性能が 55Mbps（360° カメラ 20Mbps×2 台、MR ゴーグル 5Mbps×3 台）であることから、Iperf3 で 55Mbps の負荷をかけ、Ping におけるパケットロス率を確認しました。

検証の結果、フルーツパーク DETO およびコーヒーハウス両方とも、ハウス内 3 か所において、Ping によるパケットロス率が 0%であることを確認できました。

また、Ping のラウンドトリップ概算時間も 15~21ms であり、WiFi の平均遅延値である 60ms を大きく下回ることが確認できました。

表 4.3.4 フルーツパーク DETO での伝送におけるパケットロス測定結果

lperf3による負荷情報

プロトコル	Bandwith(Mbps)	Interval(sec)
UDP	75.0	0.0 - 120.0

Ping統計 (ハウス入口付近)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	24	15

Ping統計 (ハウス中央)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
8	30	15

Ping統計 (ハウス後方)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	24	15

表 4.3.5 コーヒーハウスでの伝送におけるパケットロス測定結果

lperf3による負荷情報

プロトコル	Bandwith(Mbps)	Interval(sec)
UDP	55.0	0.0 - 120.0

Ping統計 (ハウス入口付近)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	27	21

Ping統計 (ハウス中央)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	28	15

Ping統計 (ハウス後方)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	540	21

ウ メタバース空間生成機能

360° カメラの映像から生成し、遠隔指導者側の PC でマウスを使ってメタバース空間

を操作できることを確認しました。

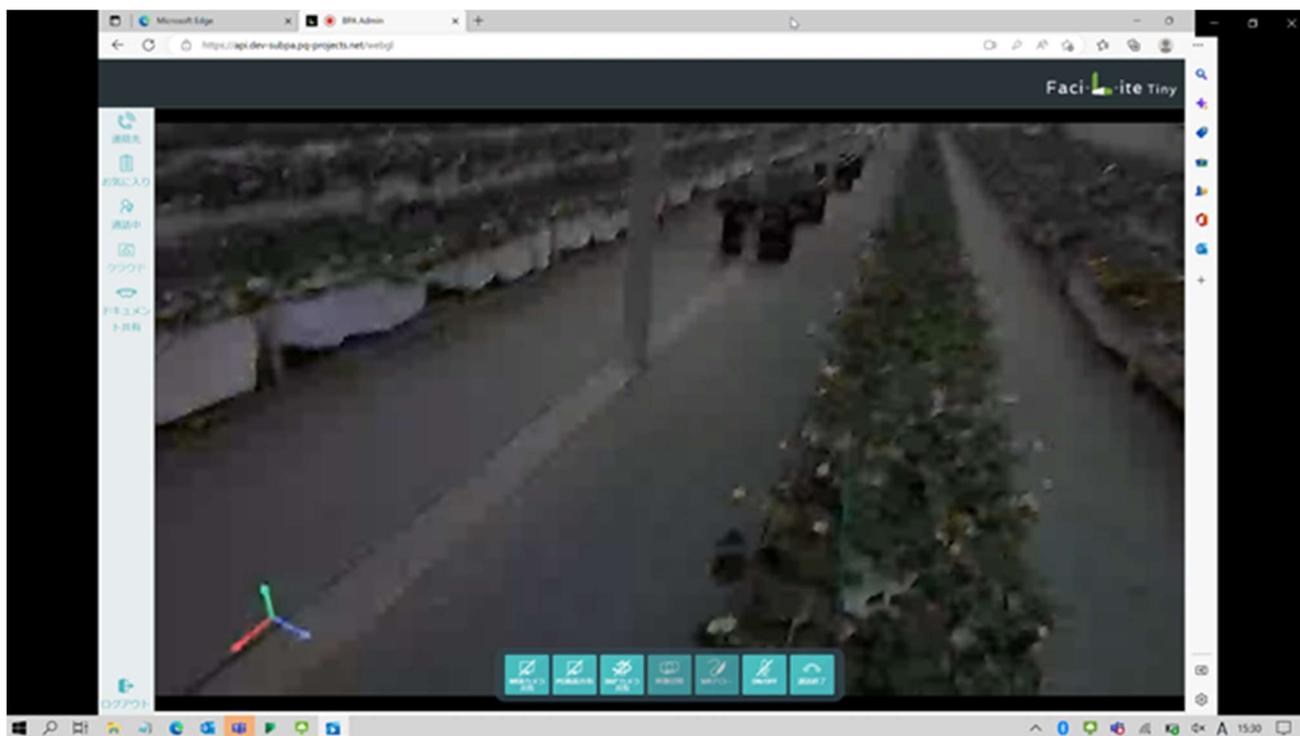


図 4.3.15 メタバース空間を生成し PC へ出力(フルーツパーク DETO)



図 4.3.16 メタバース空間生成したものを PC 上で 360°操作(フルーツパーク DETO)

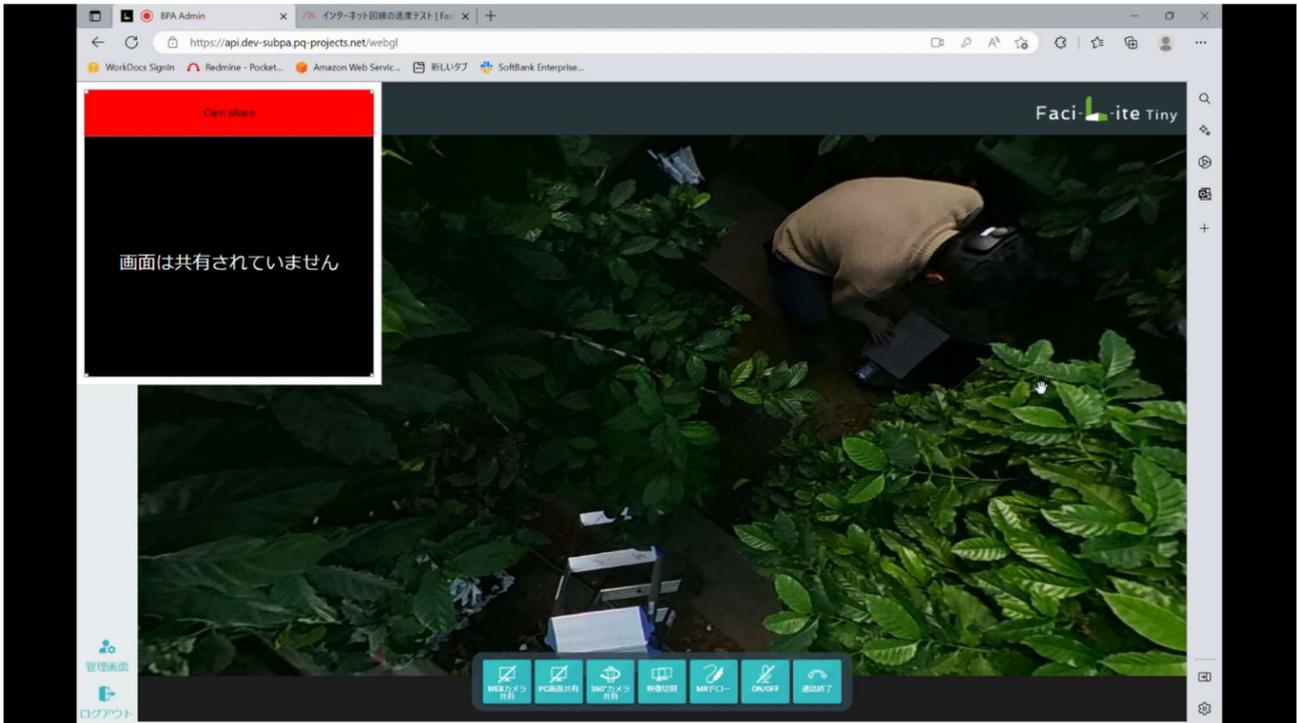


図 4.3.17 メタバース空間生成し PC へ出力(コーヒーハウス)

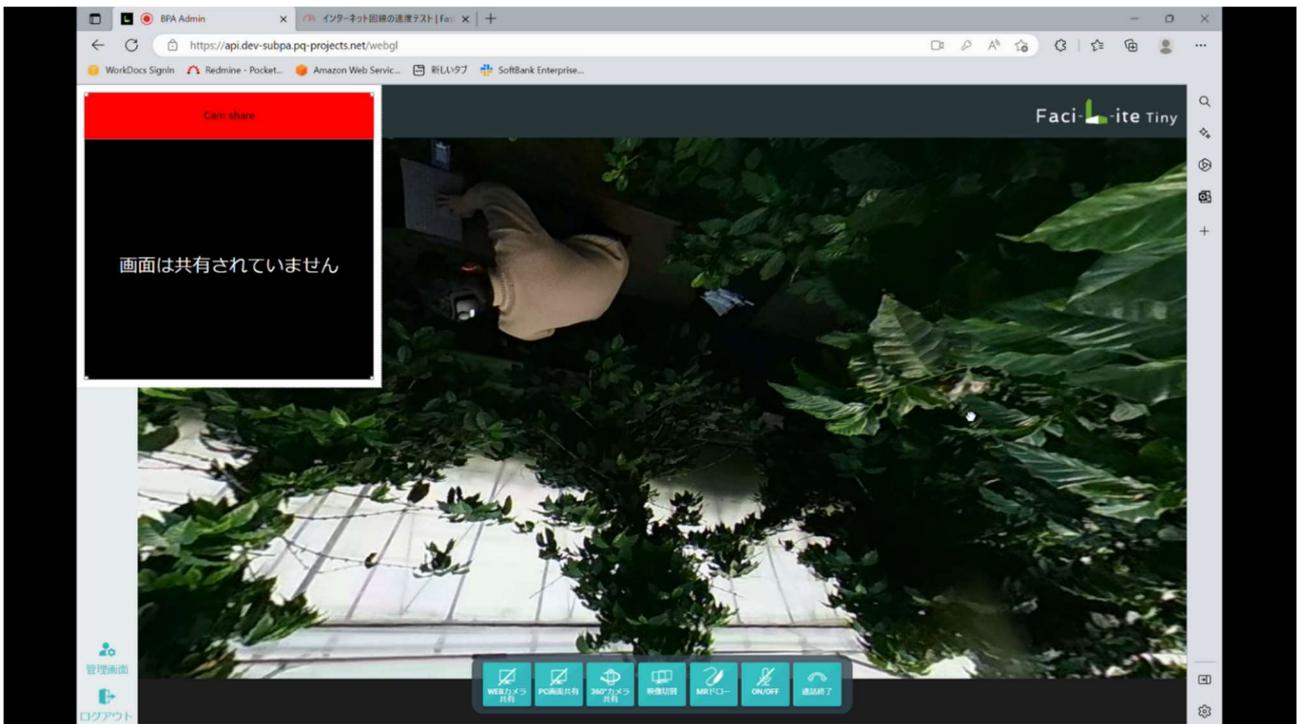


図 4.3.18 メタバース空間生成したものを PC 上で 360°操作(コーヒーハウス)

エ 遠隔指導機能(リアルメタバース)

指導者側でメタバース上に、印をつけそれがリアル世界と紐づいていることを、指導

者側の PC 上で確認しました。また、生産者側にも同じ印が見えることを確認しました。

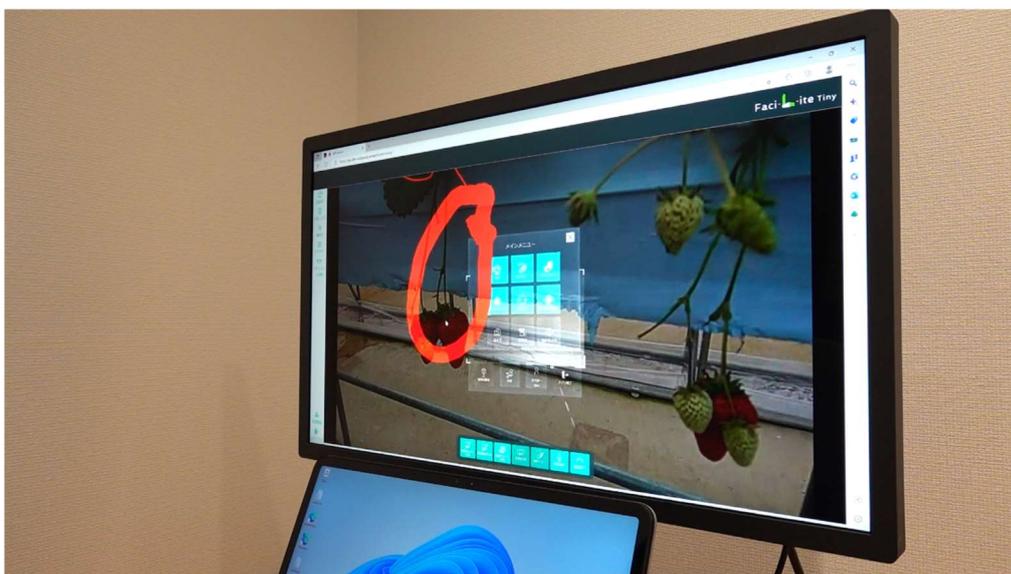


図 4.3.19 遠隔指導 指導者側画面①(フルーツパーク DETO)

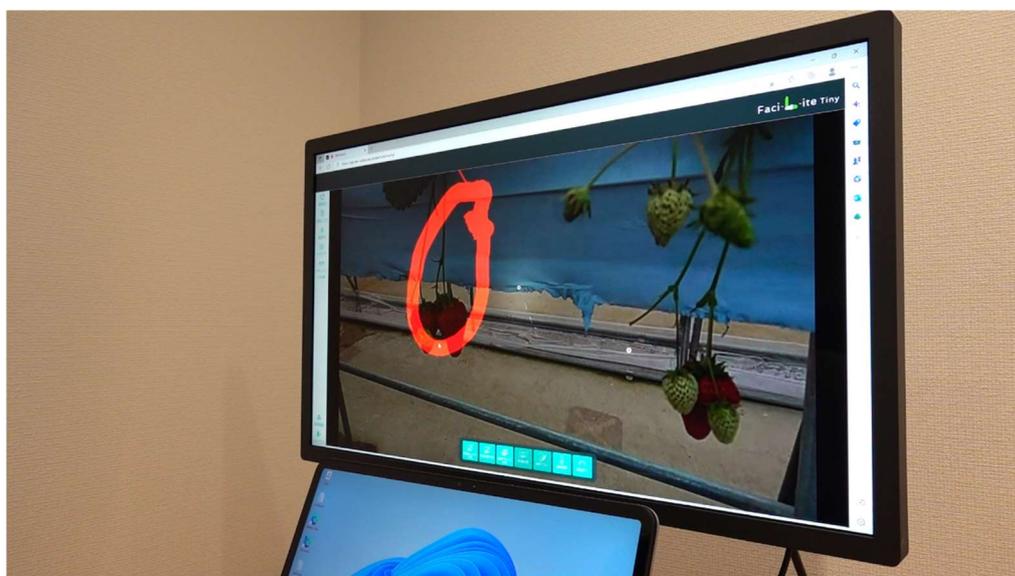


図 4.3.20 遠隔指導 指導者側画面②(フルーツパーク DETO)

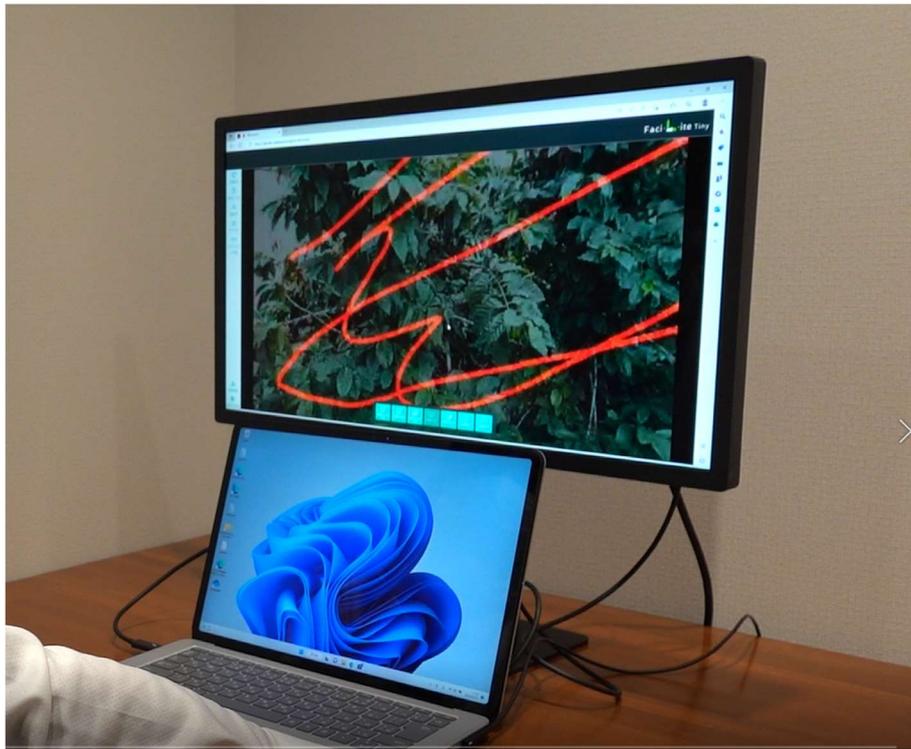


図 4.3.21 遠隔指導 指導者側画面①(コーヒーハウス)

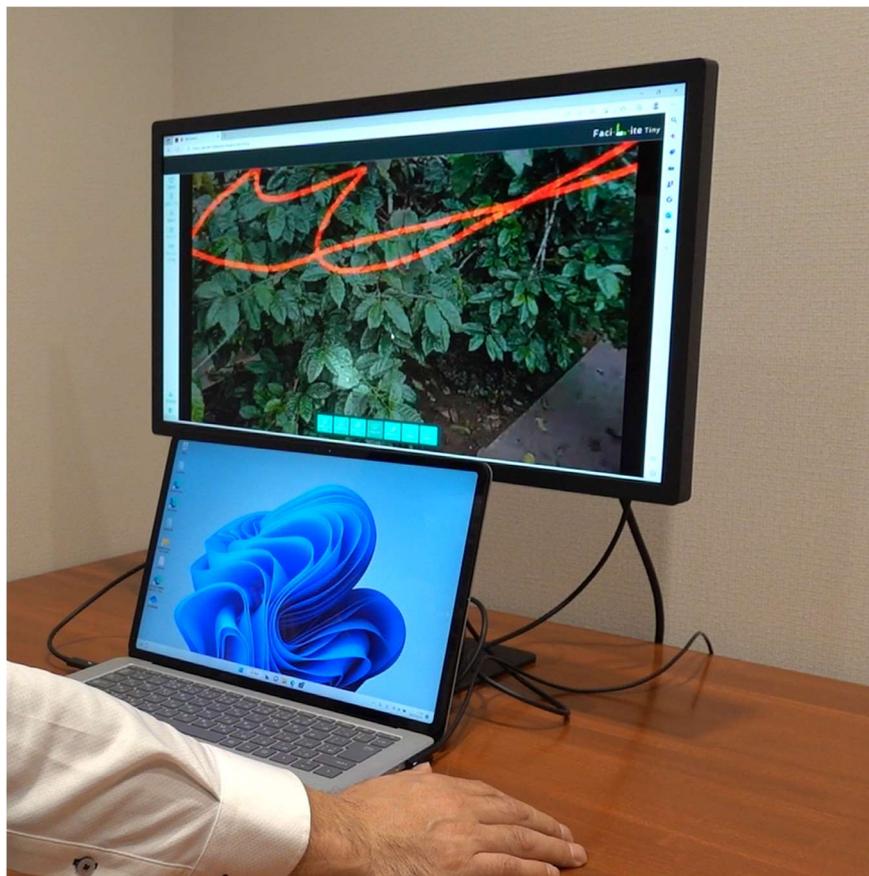


図 4.3.22 遠隔指導 指導者側画面②(コーヒーハウス)



図 4.3.23 遠隔指導 生産者側画面(コーヒーハウス)

② 収穫適期判定

ア 撮影機能 (MR ゴーグル)

イチゴ、コーヒーいずれについても赤く熟している果実を認識し、一定以上の熟度の際に発生する枠が確認できたため、イチゴまたはコーヒーを識別できるレベルで撮影機能が担保されていることがわかりました。

表 4.3.6 フルーツパーク DETO での作物およびハウス内の映像イメージ

映像 (イチゴ接写、遠写、ハウス内)	
MR ゴーグル	

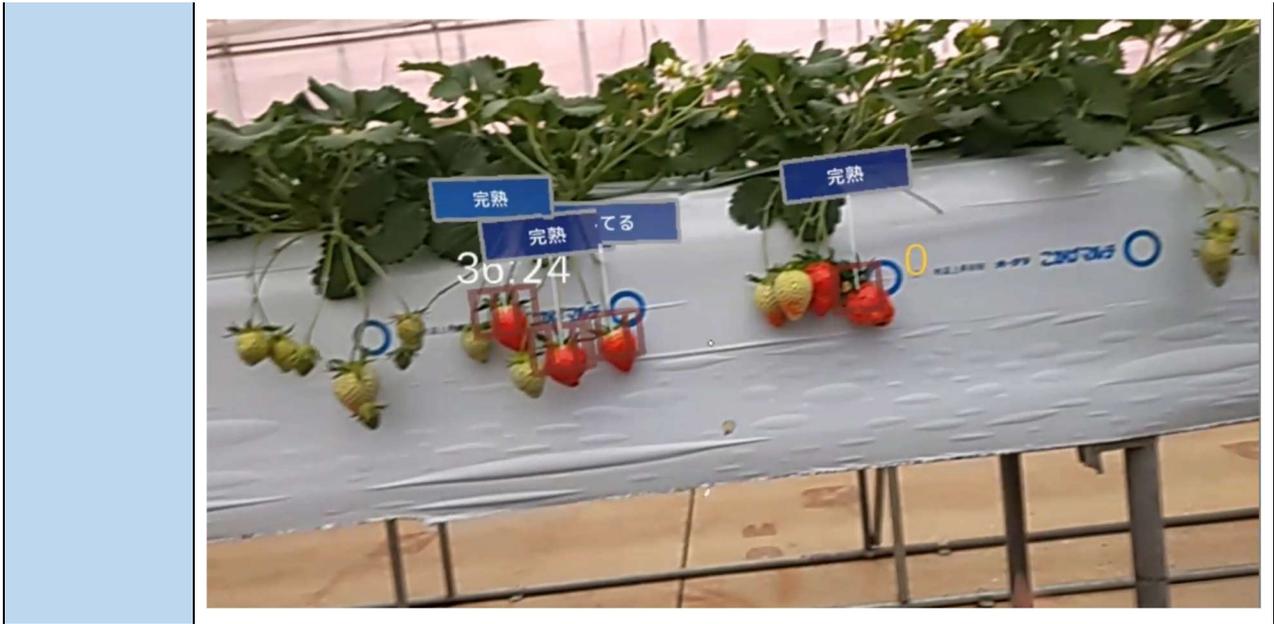
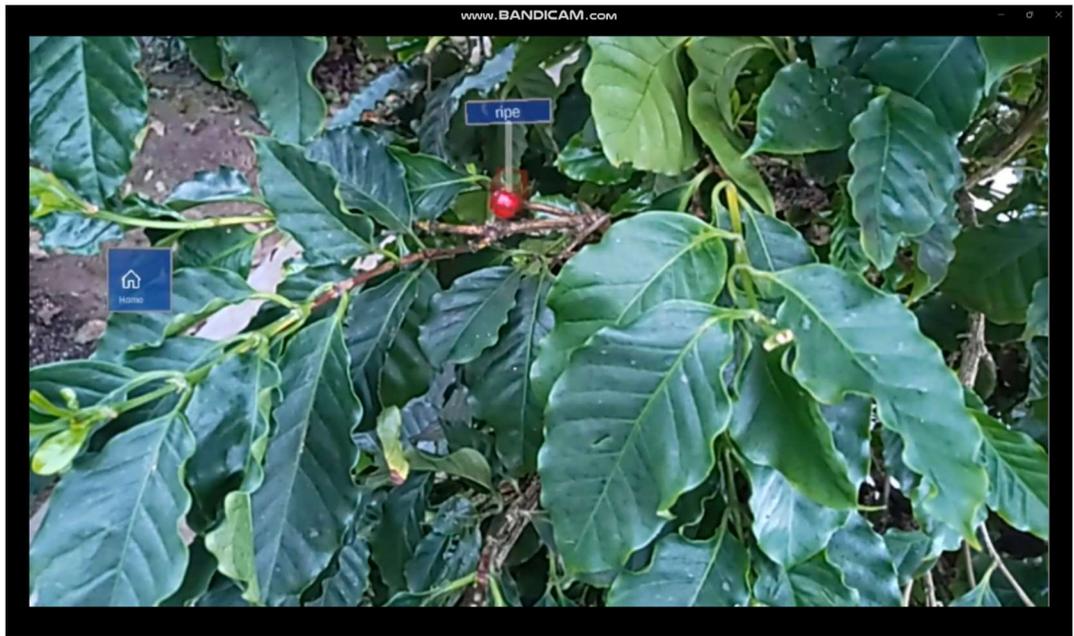


表 4.3.7 コーヒーハウスでの作物およびハウス内の映像イメージ

	映像（コーヒー接写、遠写、ハウス内）
--	--------------------



MR ゴーグル



イ 伝送機能（ローカル 5G システム）

伝送機能の検証について、フルーツパーク DETO では所要性能が 75Mbps（360° カメラ 20Mbps×2 台、MR ゴーグル 5Mbps×3 台、イチゴ収穫運搬ロボット 10Mbps×2 台）であることから、Iperf3 で 75Mbps の負荷をかけ、Ping におけるパケットロス率を確認しました。また、コーヒーハウスでは所要性能が 55Mbps（360° カメラ 20Mbps×2 台、MR ゴーグル 5Mbps×3 台）であることから、Iperf3 で 55Mbps の負荷をかけ、Ping におけるパケットロス率を確認しました。

検証の結果、フルーツパーク DETO およびコーヒーハウス両方とも、ハウス内 3 か所において、Ping によるパケットロス率が 0%であることを確認できました。

また、Ping のラウンドトリップ概算時間も 15～21ms であり、WiFi の平均遅延値である 60ms を大きく下回ることが確認できました。

表 4.3.8 フルーツパーク DETO での伝送におけるパケットロス測定結果(再掲)

lperf3による負荷情報

プロトコル	Bandwith(Mbps)	Interval(sec)
UDP	55.0	0.0 - 120.0

Ping統計 (ハウス入口付近)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	27	21

Ping統計 (ハウス中央)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	28	15

Ping統計 (ハウス後方)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	540	21

検証の結果、ハウス内 3 カ所で Ping によるパケットロス 0%を確認することができました。

また、Ping のラウンドトリップ概算時間も Wi-Fi の平均遅延値である 60ms を大きく下回る 15ms～21ms 程度であることも確認することができました。

表 4.3.9 コーヒーハウスでの伝送におけるパケットロス測定結果(再掲)

lperf3による負荷情報

プロトコル	Bandwith(Mbps)	Interval(sec)
UDP	55.0	0.0 - 120.0

Ping統計 (ハウス入口付近)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	27	21

Ping統計 (ハウス中央)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	28	15

Ping統計 (ハウス後方)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	540	21

ウ 収穫時期自動判定機能 (AI)

本実証で開発した収穫適期判定システムによる判定と熟練者の人の目による判定を比較することで、本システムがどの程度正確な判定を行っているかを検証しました。判定結果を表 4.3.10 に示します。当初目標していた判定精度 70%に対し、結果は判定精度 65%でした。

結果の値が目標値を下回った原因として、以下の2点が考えられます。

① AI 学習データの不足

今回の熟度分類モデルの学習に使用したイチゴの画像データは 45 個であり、うち収穫適期のイチゴの画像データは 26 個でした。加えて、同じイチゴの画像を複数回使用していたことから、AI への学習が不十分になっていたと考えられます。

② 収穫適期の定義のばらつき

熟練者の方からイチゴの収穫適期を判定いただいた際に、イチゴの収穫適期は品種や出荷先 (近場か遠隔地か)、収穫してその場でイチゴを食べるのか数日保管するのか、等の複数の要因によって、適期が異なるということがわかりました。今回開発した収穫適期判定システムではこのような詳細な収穫適期を定義しなかったことから、熟練者の判定との差異が生じてしまったと考えられます。

また、今回 AI 学習に使う教師データ作成の際にラベリング (画像、映像に映ったイチゴが適期かどうかのラベル付け) を行いましたが、生産者が直接ラベリングを行ったのではなく、生産者から判定の仕方を教わった山梨大学の担当者が行ったため、生産者と担当者間の判定基準が違う場合に、最終的な AI 判定結果も生

産者の目視結果と差異がでる可能性があります。そこでイチゴの写真ベースで大学担当者の目視結果とAI判定結果の一致率について「表 4.3.13」、「表 4.3.14」、「表 4.3.15」にまとめました。結果として大学担当者とAI判定の一致率が平均90%と高い精度となっていることから、AI学習自体の精度については問題ないと考えることができます。一方で、生産者とラベリングを行う人間の判定基準に差があったということにもなりますが、実際ラベリングを行う際には大量のデータを扱う必要があり、かつラベリングツールの操作に慣れが必要ということを見ると、普段の業務を行いながら生産者に直接ラベリングを行ってもらい時間と稼働を確保できるのか等課題があると考えています。

またコーヒー豆の収穫適期判定に関しては、2月24日の時点で、収穫に適した赤い実の数が少なく、データ量として十分な量を取れなかったため、3月8日に再度判定を行いました。2月24日については「表 4.3.16」、3月8日に関しては、朝・昼・夕の時間帯で判定を行った結果を「表 4.3.17」、「表 4.3.18」、「表 4.3.19」に示します。

結果としては全体を通じて、精度8割～9割ほどの一致率となり、高い精度を出すことができました。これにより、本収穫適期判定システムがイチゴだけでなくコーヒー等の他作物にも転用できるということを検証することができました。

表 4.3.10 MR Googleを活用したイチゴの収穫適期判定結果(2月13日朝 実施分)

測定時状況

時刻	天気
2/13 09:00 - 10:00	雪

収穫適期判定結果

No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の 巡回レベル)	結果	No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の 巡回レベル)	結果
1		収穫適期	収穫適期	一致	11		収穫適期	収穫適期外	不一致
2		収穫適期	収穫適期	一致	12		収穫適期	収穫適期外	不一致
3		収穫適期	収穫適期	一致	13		収穫適期	収穫適期	一致
4		収穫適期	収穫適期	一致	14		収穫適期	収穫適期外	不一致
5		収穫適期	収穫適期	一致	15		収穫適期	収穫適期	一致
6		収穫適期	収穫適期外	不一致	16		収穫適期	収穫適期	一致
7		収穫適期	収穫適期外	不一致	17		収穫適期	収穫適期	一致
8		収穫適期	収穫適期外	不一致	18		収穫適期	収穫適期	一致
9		収穫適期	収穫適期外	不一致	19		収穫適期	収穫適期外	不一致
10		収穫適期	収穫適期	一致	20		収穫適期	収穫適期	一致
								検知精度	60.0%

表 4.3.11 MR ゴーグルを活用したイチゴの収穫適期判定結果(2月13日昼 実施分)

測定時状況

時刻	天気
2/13 12:00 - 13:00	くもり

収穫適期判定結果

No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果	No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果
1		収穫適期	収穫適期外	不一致	11		収穫適期	収穫適期	一致
2		収穫適期	収穫適期	一致	12		収穫適期	収穫適期	一致
3		収穫適期	収穫適期	一致	13		収穫適期	収穫適期外	不一致
4		収穫適期	収穫適期	一致	14		収穫適期	収穫適期	一致
5		収穫適期	収穫適期	一致	15		収穫適期	収穫適期外	不一致
6		収穫適期	収穫適期	一致	16		収穫適期	収穫適期外	不一致
7		収穫適期	収穫適期	一致	17		収穫適期	収穫適期外	不一致
8		収穫適期	収穫適期	一致	18		収穫適期	収穫適期外	不一致
9		収穫適期	収穫適期	一致	19		収穫適期	収穫適期外	不一致
10		収穫適期	収穫適期外	不一致	20		収穫適期	収穫適期外	不一致
								検知精度	55.0%

表 4.3.12 MRゴーグルを活用したイチゴの収穫適期判定結果(2月13日夕 実施分)

測定時状況

時刻	天気
2/12 15:30 - 16:30	雪

収穫適期判定結果

No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果	No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果
1		収穫適期	収穫適期	一致	11		収穫適期	収穫適期	一致
2		収穫適期	収穫適期	一致	12		収穫適期	収穫適期外	不一致
3		収穫適期	収穫適期	一致	13		収穫適期	収穫適期	一致
4		収穫適期	収穫適期	一致	14		収穫適期	収穫適期外	不一致
5		収穫適期	収穫適期	一致	15		収穫適期	収穫適期	一致
6		収穫適期	収穫適期外	不一致	16		収穫適期	収穫適期外	不一致
7		収穫適期	収穫適期	一致	17		収穫適期	収穫適期	一致
8		収穫適期	収穫適期	一致	18		収穫適期	収穫適期外	不一致
9		収穫適期	収穫適期	一致	19		収穫適期	収穫適期	一致
10		収穫適期	収穫適期	一致	20		収穫適期	収穫適期	一致
								検知精度	75.0%

表 4.3.13 人による目視(山梨大学担当者)と AI 判定結果の一致率①

収穫適期判定結果

No	画像	AI 判定結果 (写真ベース)	人による目視 (山梨大学 担当者実施)	結果	No	画像	AI 判定結果 (写真ベース)	人による目視 (山梨大学 担当者実施)	結果
1		収穫適期	収穫適期	一致	11		収穫適期	収穫適期	一致
2		収穫適期外	収穫適期	不一致	12		収穫適期外	収穫適期外	一致
3		収穫適期	収穫適期	一致	13		収穫適期	収穫適期	一致
4		収穫適期	収穫適期	一致	14		収穫適期	収穫適期	一致
5		収穫適期	収穫適期	一致	15		収穫適期	収穫適期	一致
6		収穫適期外	収穫適期外	一致	16		収穫適期	収穫適期外	不一致
7		収穫適期外	収穫適期外	一致	17		収穫適期	収穫適期	一致
8		収穫適期	収穫適期	一致	18		収穫適期	収穫適期	一致
9		収穫適期外	収穫適期外	一致	19		収穫適期	収穫適期	不一致
10		収穫適期	収穫適期	一致	20		収穫適期	収穫適期	一致
検知精度									90.0%

表 4.3.14 人による目視(山梨大学担当者)と AI 判定結果の一致率②

収穫適期判定結果

No	画像	AI 判定結果 (写真ベース)	人による目視 (山梨大学 担当者実施)	結果	No	画像	AI 判定結果 (写真ベース)	人による目視 (山梨大学 担当者実施)	結果
1		収穫適期外	収穫適期	不一致	11		収穫適期	収穫適期	一致
2		収穫適期	収穫適期	一致	12		収穫適期	収穫適期	一致
3		収穫適期	収穫適期	一致	13		収穫適期	収穫適期	一致
4		収穫適期	収穫適期	一致	14		収穫適期	収穫適期	一致
5		収穫適期	収穫適期	一致	15		収穫適期	収穫適期	一致
6		収穫適期	収穫適期	一致	16		収穫適期	収穫適期	一致
7		収穫適期	収穫適期	一致	17		収穫適期	収穫適期	一致
8		収穫適期	収穫適期	一致	18		収穫適期外	収穫適期外	一致
9		収穫適期	収穫適期	一致	19		収穫適期	収穫適期	一致
10		収穫適期	収穫適期外	不一致	20		収穫適期外	収穫適期	不一致
検知精度									85.0%

表 4.3.15 人による目視(山梨大学担当者)と AI 判定結果の一致率③

収穫適期判定結果

No	画像	AI 判定結果 (写真ベース)	人による目視 (山梨大学 担当者実施)	結果	No	画像	AI 判定結果 (写真ベース)	人による目視 (山梨大学 担当者実施)	結果	
1		収穫適期	収穫適期	一致	11		収穫適期	収穫適期	一致	
2		収穫適期	収穫適期	一致	12		収穫適期	収穫適期	一致	
3		収穫適期	収穫適期	一致	13		収穫適期	収穫適期	一致	
4		収穫適期	収穫適期	一致	14		収穫適期	収穫適期	一致	
5		収穫適期	収穫適期	一致	15		収穫適期	収穫適期	一致	
6		収穫適期	収穫適期外	不一致	16		収穫適期外	収穫適期外	一致	
7		収穫適期	収穫適期	一致	17		収穫適期	収穫適期	一致	
8		収穫適期	収穫適期	一致	18		収穫適期外	収穫適期外	一致	
9		収穫適期	収穫適期	一致	19		収穫適期	収穫適期	一致	
10		収穫適期	収穫適期	一致	20		収穫適期	収穫適期	一致	
									検知精度	95.0%

表 4.3.16 MR ゴーグルを活用したコーヒーの収穫適期判定結果(2月24日実施分)

測定時状況

時刻	天気
2/24 15:00 - 16:00	くもり

収穫適期判定結果

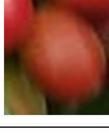
No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果	No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果
1		収穫適期	収穫適期	一致	11		収穫適期	収穫適期	一致
2		収穫適期	収穫適期	一致	12		収穫適期	収穫適期	一致
3		収穫適期	収穫適期	一致	13		収穫適期	収穫適期	一致
4		収穫適期	収穫適期外	不一致	14		収穫適期	収穫適期外	不一致
5		収穫適期	収穫適期	一致	15		収穫適期	収穫適期	一致
6		収穫適期	収穫適期	一致	16		収穫適期	収穫適期	一致
7		収穫適期	収穫適期	一致	17		収穫適期	収穫適期	一致
8		収穫適期	収穫適期	一致	18		収穫適期	収穫適期外	不一致
9		収穫適期	収穫適期外	不一致	19		収穫適期	収穫適期	一致
10		収穫適期	収穫適期	一致	20		収穫適期	収穫適期	一致
検知精度									80.0%

表 4.3.17 MR ゴーグルを活用したコーヒーの収穫適期判定結果(3月8日朝 実施分)

測定時状況

時刻	天気
3/8 9:00-10:00	晴れ

収穫適期判定結果

No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果	No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果	
1		収穫適期	収穫適期	一致	11		収穫適期	収穫適期外	不一致	
2		収穫適期	収穫適期	一致	12		収穫適期	収穫適期	一致	
3		収穫適期	収穫適期	一致	13		収穫適期	収穫適期	一致	
4		収穫適期	収穫適期	一致	14		収穫適期	収穫適期	一致	
5		収穫適期	収穫適期外	不一致	15		収穫適期	収穫適期	一致	
6		収穫適期	収穫適期外	不一致	16		収穫適期	収穫適期	一致	
7		収穫適期	収穫適期	一致	17		収穫適期	収穫適期	一致	
8		収穫適期	収穫適期	一致	18		収穫適期	収穫適期	一致	
9		収穫適期	収穫適期	一致	19		収穫適期	収穫適期	一致	
10		収穫適期	収穫適期	一致	20		収穫適期	収穫適期	一致	
									検知精度	85.0%

表 4.3.18 MR ゴーグルを活用したコーヒーの収穫適期判定結果(3月8日昼 実施分)

測定時状況

時刻	天気
3/8 13:00-14:00	晴れ

収穫適期判定結果

No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果	No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果	
1		収穫適期	収穫適期	一致	11		収穫適期	収穫適期	一致	
2		収穫適期	収穫適期	一致	12		収穫適期	収穫適期外	不一致	
3		収穫適期	収穫適期	一致	13		収穫適期	収穫適期	一致	
4		収穫適期	収穫適期	一致	14		収穫適期	収穫適期	一致	
5		収穫適期	収穫適期	一致	15		収穫適期	収穫適期	一致	
6		収穫適期	収穫適期	一致	16		収穫適期	収穫適期	一致	
7		収穫適期	収穫適期	一致	17		収穫適期	収穫適期	一致	
8		収穫適期	収穫適期	一致	18		収穫適期	収穫適期	一致	
9		収穫適期	収穫適期	一致	19		収穫適期	収穫適期	一致	
10		収穫適期	収穫適期外	不一致	20		収穫適期	収穫適期	一致	
									検知精度	90.0%

表 4.3.19 MR ゴーグルを活用したコーヒーの収穫適期判定結果(3月8日夕 実施分)

測定時状況

時刻	天気
3/8 15:30-16:30	晴れ

収穫適期判定結果

No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果	No	画像	AI 判定結果	人による目視 (通常の巡回レ ベル)	結果	
1		収穫適期	収穫適期	一致	11		収穫適期	収穫適期	一致	
2		収穫適期	収穫適期外	不一致	12		収穫適期	収穫適期	一致	
3		収穫適期	収穫適期	一致	13		収穫適期	収穫適期	一致	
4		収穫適期	収穫適期	一致	14		収穫適期	収穫適期	一致	
5		収穫適期	収穫適期	一致	15		収穫適期	収穫適期	一致	
6		収穫適期	収穫適期	一致	16		収穫適期	収穫適期	一致	
7		収穫適期	収穫適期外	不一致	17		収穫適期	収穫適期	一致	
8		収穫適期	収穫適期	一致	18		収穫適期	収穫適期	一致	
9		収穫適期	収穫適期	一致	19		収穫適期	収穫適期	一致	
10		収穫適期	収穫適期	一致	20		収穫適期	収穫適期	一致	
									検知精度	90.0%

エ 閲覧機能

複数の MR ゴーグルから、同一の判定結果が閲覧できることを確認しました。



図 4.3.24 複数台(2台)の MR ゴーグルによる収穫適期判定結果表示確認



図 4.3.25 複数台(2台)の MR ゴーグルによる収穫適期判定の実施風景

b. イチゴ収穫・運搬ロボット

ア 撮影機能 (マルチアングルカメラ)

表 4.3.20 作物およびハウス内の映像(マニピュレータ側カメラ)

	マニピュレータ側カメラ
--	-------------

<p>前方</p>	
<p>右側</p>	
<p>左側</p>	
<p>後方・ アーム カメラ</p>	

<p>俯瞰前 方</p>	
<p>俯瞰後 方</p>	

表 4.3.21 作物およびハウス内の映像(台車側カメラ)

台車側	
<p>前方</p>	
<p>右側</p>	



イ 自動判定・収穫機能

本実証で開発した自動判定・収穫機能による判定と熟練者の人の目による判定を比較することで、本機能がどの程度正確な判定を行っているかを検証しました。判定結果を「表 4.3.22」「表 4.3.23」「表 4.3.24」に示します。当初目標していた判定精度 90%に対し、結果は判定精度 50%でした。

結果の値が目標値を下回った原因として、以下の 2 点が考えられます。

①実際のイチゴの実の成り方に即した判定調整の不足

今回の実証は、イチゴの実の赤い部分が一定の面積以下である場合のみを収穫適期と判定しています。そのため、イチゴの果実の大きさのばらつきや、イチゴの実の成り方（独立している、複数に重なっている、未熟の実が収穫適期の実に被さっている、等）等環境的要因により、判定結果が左右されたと考えられます。

②ロボットの走行エリアの限定

今回の実証では、ロボットの走行レーンが実証区全体の約 4%（24 エリア中の 1 エリア）に限られていました。そのため、短時間で収穫を複数回繰り返すと収穫適期のイチゴの母数が減少し、それに伴って判定の精度も低下したと考えられます。

表 4.3.22 収穫ロボットによる自動判定・収穫結果(2月23日朝 実施分)

測定時状況

時刻	天気
2/13 09:00 - 10:00	晴れ

収穫適期判定結果

No	画像	画像判定結果	人による目視 (通常の巡回レベル)	結果	No	画像	画像判定結果	人による目視 (通常の巡回レベル)	結果
1		収穫適期	収穫適期	一致	6		収穫適期	収穫適期	一致
2		収穫適期	収穫適期	一致	7		収穫適期	収穫適期外	不一致
3		収穫適期	収穫適期	一致	8		収穫適期	収穫適期外	不一致
4		収穫適期	収穫適期	一致	9		収穫適期	収穫適期外	不一致
5		収穫適期	収穫適期	一致	10		収穫適期	収穫適期外	不一致
								検知精度	60.0%

表 4.3.23 収穫ロボットによる自動判定・収穫結果(2月22日昼 実施分)

測定時状況

時刻	天気
2/22 12:00 - 13:00	くもり

収穫適期判定結果

No	画像	画像判定結果	人による目視 (通常の巡回レベル)	結果	No	画像	画像判定結果	人による目視 (通常の巡回レベル)	結果
1		収穫適期	収穫適期	一致	6		収穫適期	収穫適期	一致
2		収穫適期	収穫適期	一致	7		収穫適期	収穫適期外	不一致
3		収穫適期	収穫適期	一致	8		収穫適期	収穫適期外	不一致
4		収穫適期	収穫適期	一致	9		収穫適期	収穫適期外	不一致
5		収穫適期	収穫適期	一致	10		収穫適期	収穫適期外	不一致
								検知精度	60.0%

表 4.3.24 収穫ロボットによる自動判定・収穫結果(2月22日夕 実施分)

測定時状況

時刻	天気
2/22 15:00 - 16:00	くもり

収穫適期判定結果

No	画像	画像判定結果	人による目視 (通常の巡回レベル)	結果	No	画像	画像判定結果	人による目視 (通常の巡回レベル)	結果
1		収穫適期	収穫適期	一致	6		収穫適期	収穫適期外	不一致
2		収穫適期	収穫適期	一致	7		収穫適期	収穫適期外	不一致
3		収穫適期	収穫適期	一致	8		収穫適期	収穫適期外	不一致
4		収穫適期	収穫適期	一致	9		収穫適期	収穫適期外	不一致
5		収穫適期	収穫適期	一致	10		収穫適期	収穫適期外	不一致
								検知精度	50.0%

ウ 伝送機能 (ローカル 5G システム)

伝送機能の検証について、フルーツパーク DETO では所要性能が 75Mbps (360° カメラ 20Mbps×2 台、MR ゴーグル 5 Mbps×3 台、イチゴ収穫運搬ロボット 10Mbps×2 台) であることから、Iperf3 で 75Mbps の負荷をかけ、Ping におけるパケットロス率を確認しました。

検証の結果、ハウス内 3 か所全てにおいて、Ping によるパケットロス率が 0%であることを確認できました。

また、Ping のラウンドトリップ概算時間も 14~15ms であり、WiFi の平均遅延値である 60ms を大きく下回ることが確認できました。

表 4.3.25 伝送におけるパケットロス測定結果(再掲)

lperf3による負荷情報

プロトコル	Bandwith(Mbps)	Interval(sec)
UDP	75.0	0.0 - 120.0

Ping統計 (ハウス入口付近)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	24	15

Ping統計 (ハウス中央)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
8	30	15

Ping統計 (ハウス後方)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	24	15

エ 遠隔制御機能

遠隔地 (大仙シェアオフィス) に設置した指導者用 PC からロボットに 11 回指示を出し、ロボットが指示通りに動作する回数との比較により検証を行いました。検証の結果、ロボット 11 回指示通りに動作し、遠隔制御が完全に機能していることが確認できました。

表 4.3.26 遠隔地からのロボット制御結果

①遠隔地(コックピット)からの操作	②ロボット状況	③結果
収穫	収穫	○
停止	停止	○
収穫	収穫	○
停止	停止	○
前進	前進	○
停止	停止	○
収穫	収穫	○
停止	停止	○
前進	前進	○
停止	停止	○
収穫	収穫	○
制御精度		100.0%

c. 遠隔ショッピング

ア 撮影機能 (360° カメラ)

道の駅おおゆにて、6 台全てのカメラで店舗内をくまなく撮影することができ、なおかつ 4K 映像で商品や人物を認識できるレベルで撮影機能が担保されていることが確認できました。

表 4.3.27 道の駅内の映像/画像

	画像
カメラ 1	 <p>A wide-angle, 360-degree camera view of the station's interior. The space is filled with curved wooden shelves displaying various goods. The ceiling features a series of white, curved structural ribs. A person is visible in the distance, and the overall atmosphere is bright and clean.</p>
カメラ 2	 <p>A second 360-degree camera view of the station's interior, showing a different perspective. It highlights the curved wooden shelving units and the central display area. The lighting is consistent, and the architectural details of the ceiling are clearly visible.</p>

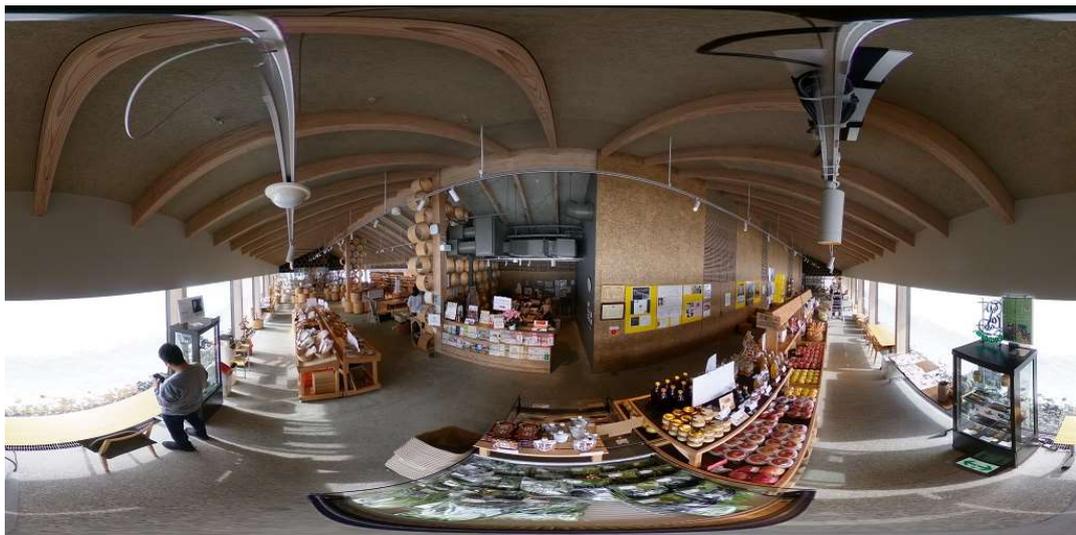
カメラ 3



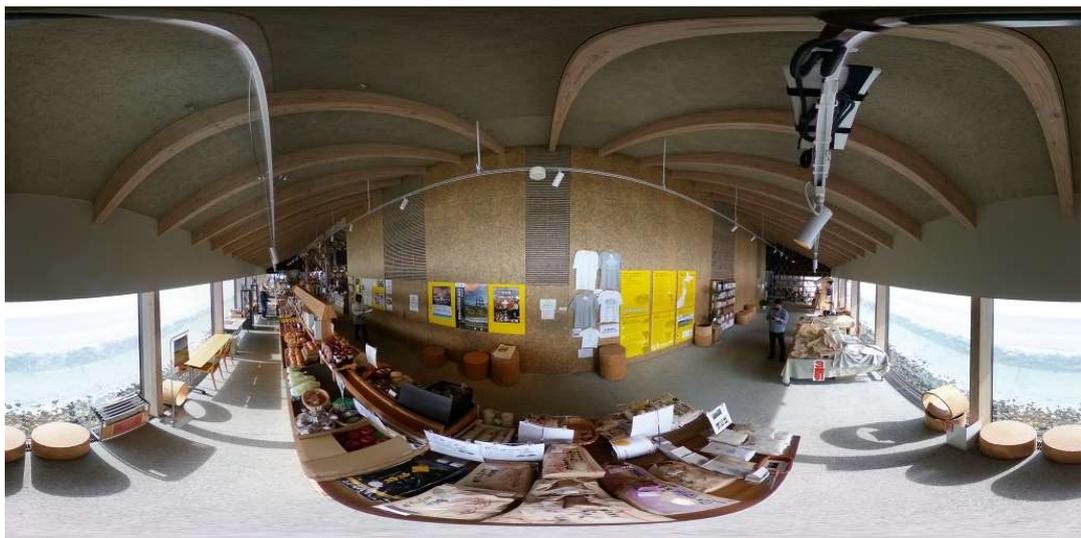
カメラ 4



カメラ 5



カメラ 6



イ 伝送機能（ローカル 5G システム）

伝送機能の検証については、遠隔ショッピングシステムの所要性能が 69Mbps（360° カメラ：20Mbps×3 台、ローカル 5G 対応スマートフォン：3 Mbps×3 台）であることから、Iperf3 で 69Mbps の負荷をかけ、Ping におけるパケットロスを確認しました。検証の結果、店舗内に設置しているカメラ 6 台全てにおいて、Ping によるパケットロス率が 0%であることを確認できました。また、Ping のラウンドトリップ概算時間も 14~15ms であり、WiFi の平均遅延値である 60ms を大きく下回ることが確認できました。

表 4.3.28 Iperf3 による負荷情報

Iperf3による負荷情報

プロトコル	Bandwith(Mbps)	Interval(sec)
UDP	69.0	0.0 - 120.0

表 4.3.29 伝送におけるパケットロスの測定結果(カメラ 1)

Ping統計 (カメラ 1)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
10	25	15

表 4.3.30 伝送におけるパケットロス測定結果(カメラ 2)

Ping統計 (カメラ 2)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
10	24	15

表 4.3.31 伝送におけるパケットロス測定結果(カメラ 3)

Ping統計 (カメラ 3)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	24	15

表 4.3.32 伝送におけるパケットロス測定結果(カメラ 4)

Ping統計 (カメラ 4)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	24	15

表 4.3.33 伝送におけるパケットロス測定結果(カメラ 5)

Ping統計 (カメラ 5)

パケット数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
100	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	25	15

表 4.3.34 伝送におけるパケットロス測定結果(カメラ 6)

Ping統計 (カメラ 6)

バイト数	パケット数	送信	受信	パケットロス	パケットロス率
32	100	100	100	0	0%

ラウンドトリップ概算時間(ms)

最小	最大	平均
9	23	14

ウ メタバース空間生成機能

360° カメラで取得した映像をもとにアプリ内でメタバース空間が生成されることを確認しました。

また、アプリ内で商品コンテンツが閲覧できることを確認しました。



図 4.3.26 遠隔ショッピング利用者アプリの画面キャプチャ①



図 4.3.27 遠隔ショッピング利用者アプリの画面キャプチャ②

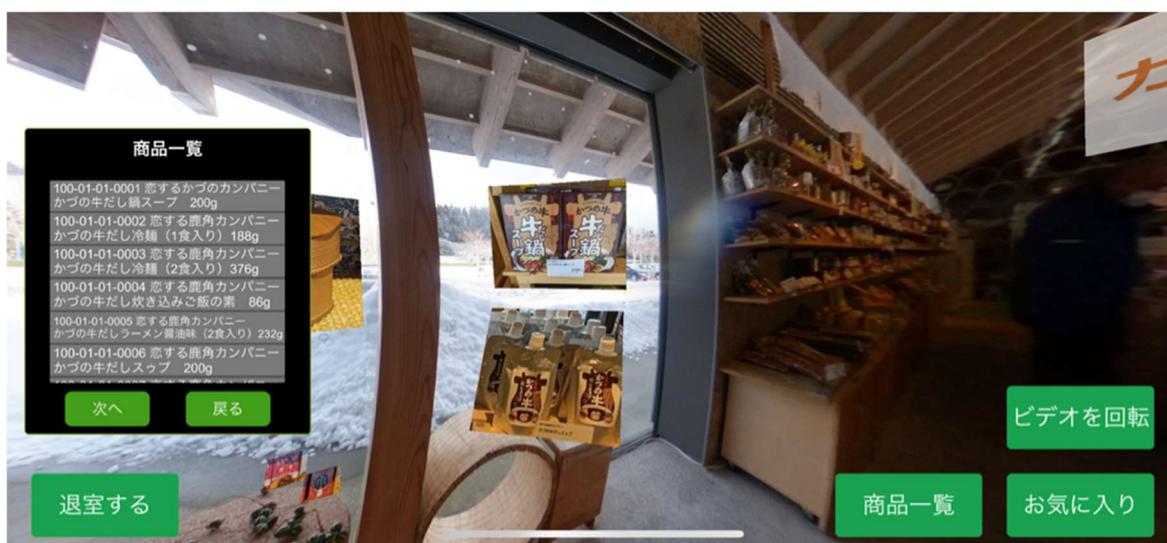


図 4.3.28 商品コンテンツ閲覧画面のキャプチャ

エ 閲覧・通話機能

利用者と店員がメタバース空間上で通話し、アプリを通じて商品を購入することができることを確認しました。

また、遠隔のお客様がアプリを通じて道の駅おおゆの店員へ呼びかけると、店員のローカル5Gスマートフォンに通知が表示されることを確認しました。



図 4.3.29 メタバース空間でのショッピングイメージ

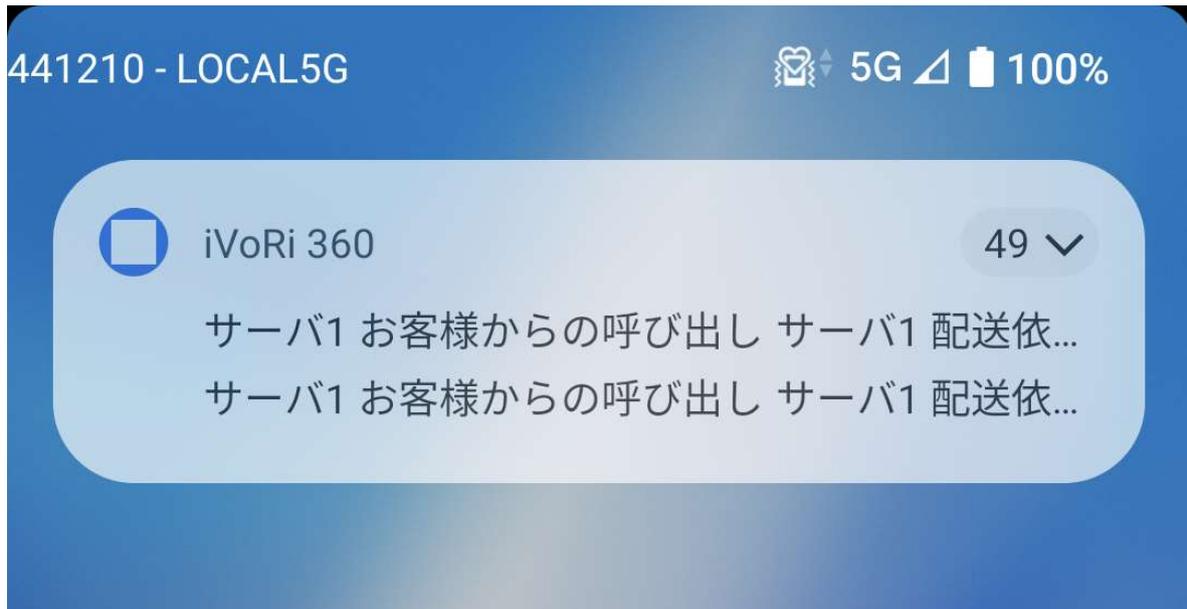


図 4.3.30 お客様からの呼び出し通知

(2) 運用検証

イチゴやコーヒーの圃場、道の駅における実運用をあらかじめ想定して運用作業の洗い出しを行い、運用検証を実施しました。また実証を通じて、運用面に関する課題の抽出・解決策の検討を行いました。検討に当たっては、他の地域への普及も踏まえ、できるだけ多くの形態で活用可能な方法を検討し、今後、農業従事者がスマート農機およびローカル 5G を導入するにあたって必要となる運用・保守規程および安全対策等について整理しました。

なお、本実証で用いるマネージド・ローカル 5G サービス「ギガらく 5G」は、運用を含めて提供するサービスとなるため、ユーザー企業や団体に対しての研修・トレーニング、運用マニュアルの作成は不要と考えております。

1) 検証項目支払い価格

- 各システム(遠隔指導システム、イチゴの自動収穫・運搬システム、遠隔ショッピング)
 - ・システム利用時の新たな業務フローに関する事項
(効率的、効果的な運用フローの策定)
 - ・各システム運用に関する事項
(利用手順、機器や端末の操作・接続方法等)
 - ・各システム故障時に関する事項
(保守体制、故障時の対応フロー等)

2) 検証方法

効果的・効率的な運用・保守を目的に検証項目について、実証期間中に実運用を想定した、運用面・保守面に関する課題の抽出・解決策の検討を生産者、利用者へのヒアリングを通じて、実

施しました。

遠隔ショッピングシステムについては、ヒアリング対象者を遠隔ショッピング利用者と定めたいえ、ヒアリング人数を 100 人程度（イベント参加者等含む）と設定しました。ヒアリング内容としては、アプリの使い勝手や改善点等を聞き、アウトプットはグラフ等を利用しました。

3) 検証結果および考察

a. 各種マニュアルの策定

今後、イチゴを中心とした、農業従事者や道の駅がローカル 5G を用いた本ソリューションを導入するにあたって必要となる運用・保守マニュアルを策定しました。また、当マニュアルを持ってコンソーシアムメンバーへ研修を実施しました。今年度実証期間中にイチゴ自動収穫ロボットを効率的に利用できる環境条件を整理し、栽培方法や栽培環境について提言をまとめました。

表 4.3.35 各種マニュアル一覧

No.	項目	概要
1	遠隔指導システムマニュアル	システムの業務フロー、設備運用、故障時対応に関して指導者および利用者が実施すべき事項
2	イチゴ自動収穫・運搬ロボットシステムマニュアル	システムの業務フロー、設備運用、故障時対応、利用時の環境条件に関して利用者が実施すべき事項
3	遠隔ショッピングシステムマニュアル	システムの業務フロー、設備運用、故障時対応に関して店員が実施すべき事項

また各システムについて個別に研修を行いました。

① 遠隔指導システム

研修日：2023 年 2 月 13 日(月) 14 時～

参加人数：2 名



図 4.3.31 遠隔指導システムの研修風景

② イチゴ収穫・運搬ロボットシステム

研修日：2023年2月19日(日) 15時～

参加人数：1名

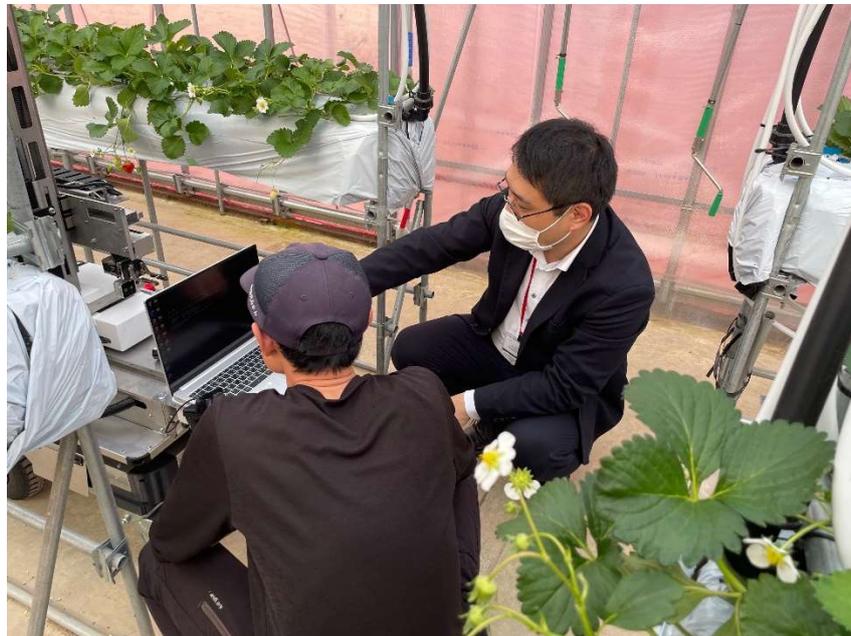


図 4.3.32 イチゴ収穫・運搬ロボットシステムの研修風景

③ 遠隔ショッピングシステム

研修日：2023年2月7日(火) 14時～

参加人数：1名



図 4.3.33 遠隔ショッピングシステムの研修風景

b. ヒアリング結果

遠隔ショッピングシステムに関して利用者向けに実施したアンケート内容と結果および考察は以下の通りです。103 人に対してアンケートを実施しました。

遠隔ショッピング アプリ利用者向け

* 必須

1. あなたの年齢を教えてください。*

- 20代以下
- 30代
- 40代
- 50代
- 60代以上

2. あなたの性別を教えてください。*

- 男性
- 女性
- その他

3. 遠隔指導ショッピングアプリの使い勝手はいかがでしたか？*

- とても使いやすかった
- 使いやすかった
- 使いづらかった
- とても使いづらかった

4. リアルメタバース（現地の映像が見える）状態でのショッピングはいかがでしたか？*

- 商品を見ながら選ぶことができてよかった
- 映像がきれいだった
- 現地にいる気分になった
- 繰り返し使ってみたいと思った
- その他

5. 商品を選ぶまでの手続きはいかがでしたか？*

- スムーズにできた
- スムーズではなかったが説明を聞いてできた
- 説明を聞いても難しかった
- 全くできなかった

図 4.3.34 遠隔ショッピング利用者アンケート①

6. 購入の手続きについて現地の店員とのやり取りはいかがでしたか？ *

店員と会話し購入ができた

店員と会話しできたが、うまくやり取りできなかった

店員と会話しできなかった

その他

7. 遠隔のものを購入するのに通しているシステムだと思いますか？ *

とてもそう思う

そう思う

あまりそう思わない

まったくそう思わない

8. マニュアルは分かりやすかったですか？ *

わかりやすかった

わかりづらかったが説明を聞いて理解できた

わかりづらく理解ができなかった

9. 今回の購入金額を教えてください。 *

0円-500円

501円-1,000円

1,001円-2,000円

2,001円-3,000円

それ以上

10. 今回のショッピングの満足度を教えてください。 *

😊😊😊😊😊😊😊😊😊😊

11. 改善した方がいいと思うところがあれば教えてください

このコンテンツは Microsoft によって作成または承認されたものではありません。送信したデータはフォームの所有者に送信されます。

 Microsoft Forms

図 4.3.35 遠隔ショッピング利用者アンケート②

表 4.3.36 遠隔ショッピングに関する利用者向けアンケート結果
アンケート内容と結果

3. 遠隔指導ショッピングアプリの使い勝手はいかがでしたか？

[詳細](#)

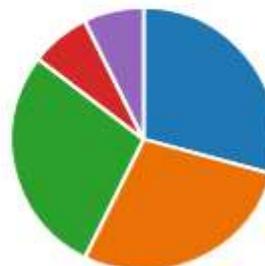
● とても使いやすかった	9
● 使いやすかった	56
● 使いづらかった	33
● とても使いづらかった	5



4. リアルメタバース（現地の映像が見える）状態でのショッピングはいかがでしたか？

[詳細](#)

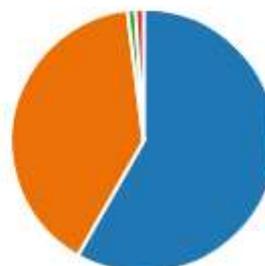
● 商品を見ながら選ぶことができてよか...	52
● 映像がきれいだった	50
● 現地にいる気分になれた	50
● 繰り返し使ってみたいと思った	13
● その他	13



5. 商品を選ぶまでの手続きはいかがでしたか？

[詳細](#)

● スムーズにできた	60
● スムーズではなかったが説明を聞いて...	41
● 説明を聞いても難しかった	1
● 全くできなかった	1



6. 購入の手続きについて現地の店員とのやり取りはいかがでしたか？

[詳細](#)

● 店員と会話し購入ができた	39
● 店員と会話できたが、うまくやり取...	9
● 店員と会話ができなかった	28
● その他	27



7. 遠隔のものを購入するのに適しているシステムだと思いますか？

[詳細](#)

[インサイト](#)

● とてもそう思う	21
● そう思う	72
● あまりそう思わない	10
● まったくそう思わない	0



改善した方がいいと思うところがあれば教えてください

- ・商品（酒等）を 360 度回転させて見てみたい
- ・オンライン決済がまだ実装されていないとのことでしたが、送り先等の入力フォームはあった方が良いでしょう。
- ・食品は原材料も見たいので、商品の裏面もあると良いと思いました。
- ・送料と代引き手数料込みの支払価格は確認の上後後程電話すると言われたが、その場で画面に表示されると良いと思いました。

【アンケートの考察】

利用者のほとんどが、マニュアルを見る、もしくは説明を聞くだけで利用することができ、初見でも使いやすいアプリになっていると感じた。しかしながら、購入者側の通信環境や、現地側の混雑状況によっては、接続がうまくいかない、呼び出しているが対応してもらえなかった等の課題もあったことがわかった。システム以外の部分の課題に関しては、運用面での解決方法についても今後模索していく必要がある。（※この状況を踏まえて、2月27日時点で従業員側の対応

可能者を2人から5人に増加させています。)

また、アプリの仕様上、商品リストが出てくる形となっているが、現地の状況を持と見たいという声もあったので、商品の出し方等には今後改善が必要だと感じた。アプリシステム自体の改善は今回の結果を踏まえて、次年度の実証で再検討していく。

(3) 効果検証

従来環境と比較して農作業、農園、道の駅運営における効率性および有用性について定量的かつ定性的な面から測定し、効果検証を行いました。効果検証の具体的な評価項目、評価方法および検証結果・考察を、以下に記載しました。

1) 検証項目

① : 遠隔指導システム

ア : 作業時間の削減効果

イ : 移動時間、交通費、燃料費の削減効果

② : イチゴの自動収穫・運搬ロボット

ア : 収穫時間削減効果

イ : ロス率の削減効果

③ : 遠隔ショッピングシステム

ア : コロナ渦による売り上げ増加効果

2) 検証方法

① 遠隔指導システム

ア 作業時間の削減効果

新規就農者や新規作目の生産者は通常の1.5倍程度の時間がかかります。生産者からのご質問に対して、専門家がリアルメタバース上で、複数同時指導を実現いたしました。さらに収穫前の作業について、普段の見回り業務、病害虫の有無をチェックしました。当システムを利用した場合と従来の場合で比較して当システムの効果について評価をしました。

作業時間の削減効果[分] = 遠隔指導なしの作業時間 - 遠隔指導有りの作業時間

イ 移動時間、交通費、燃料費削減効果

当システムを利用した場合と指導者が従来通りに現地訪問して指導実施した場合に要する時間、交通費、燃料代を比較し評価しました。

移動時間削減効果[分] = 指導回数 × 指導者の移動時間

交通費削減効果[円] = 指導回数 × 指導者の交通費

$$\text{燃料費削減効果[円]} = \text{指導回数} \times \text{指導者の移動にかかる燃料費}$$

② イチゴの自動収穫・運搬ロボット

ア 収穫時間削減

当システムを利用した場合と従来の場合での収穫時間の差を比較し、当システムの効果を評価しました。実施期間は2週間とします。

$$\text{収穫時間削減効果[分]} = \text{ロボットなしの作業時間} - \text{ロボットありの作業時間}$$

イ ロス率の削減効果

当システムを利用した場合と従来の場合での販売数(収穫パック数)を比較し、当システムの効果を評価しました。現状では、1日5パック程度廃棄しております。自動収穫システムを導入することで、人の目では収穫時期を見逃して収穫が行われず腐敗して廃棄するイチゴについて、自動収穫システムでは収穫時期を逃さず収穫可能であるため、1日4パック程度を救済できると考えました(実や葉で隠れている部分を除く、全体の8割が救済されます)。当システムを利用する期間を2週間としました。

$$\text{ロスの削減効果[パック]} = \text{システムなしのロス(5パック)} - \text{システムありのロス}$$

$$\text{ロスになるはずだったパックの販売額[円]} = 1 \text{パックあたりの値段} \times \text{ロスの削減効果}$$

ウ アンケートの実施

定性的な検証指標として、アンケートを実施し、生産者より有効性や使い勝手、改善点について確認をとりました。

③ 遠隔ショッピングシステム

ア 売上増加効果

当システムを利用した場合と従来の場合での販売額を比較し、当システムの効果を評価しました。当システムを利用する期間を2週間程度としました。

$$\text{売上増加効果} = \text{平時の平均販売額} - \text{システムありの販売額}$$

イ アンケートおよびイベントの実施

定性的な検証指標として、道の駅や自治体のHPへの掲載や各種県外向けイベントといったプロモーション活動に本案件の紹介を入れていただけるよう交渉、本システムを利用してみたいと思うユーザーを増やす取り組みの検討。県外のターゲットに向け、イベントで遠隔ショッピングシステムを利用してもらえる体験会を実施。収益性の経営的観点と利用者の満足度(CSR)を相対的にチェックする仕組みの検討をしました。

3) 検証結果および考察

①：遠隔指導システム

ア：作業時間の削減効果

遠隔指導システムによって、生産者の作業時間がどの程度削減できるかを確かめるため、イチゴの圃場で働いているアルバイト従業員を対象に、遠隔指導していないときとしているときの作業時間を比べてみました。事前ヒアリングにて、普段従業員がハウス内で作業している時間としてはおおよそ 2 時間(120 分)と確認しました。遠隔指導を行う以前は、事務所や他の場所にいる熟練作業員に作業の質問をしにいく想定で、1 回あたり往復 3 分程度かかると設定しました。検証では、10 分間の間に作業中何回従業員が質問をするかを計測しました。

遠隔指導なしの場合、10 分+質問の回数×3 分の時間がかかりますが、遠隔指導ありの場合は、その場で質問に回答してもらえるため、10 分で作業できると考えられます。遠隔指導なしの場合、何度か質問をするたびに移動時間が加算されて 120 分作業すると仮定すると、遠隔指導ありで同様の作業を何分で終了できるかという観点で計算した結果を以下の表に示します。

4 回の検証の結果、遠隔指導なしで 120 分していた作業について、平均 76.7 分削減できることがわかりました。

表 4.3.37 遠隔指導あり・なしでの作業時間

		従業員 A	従業員 B	従業員 C	従業員 D	平均
遠隔指導なし	時間	120 分	120 分	120 分	120 分	120 分
遠隔指導あり	時間	48.0 分	35.3 分	35.3 分	54.5 分	43.3 分
削減効果	時間	72 分	84.7 分	84.7 分	65.5 分	76.7 分

※同一の圃場にて実施

イ：移動時間、交通費、燃料費削減効果

ア. 作業時間の削減効果でもある通り、遠隔指導の検証を 4 回行いました。遠隔指導ありの場合と訪問指導で直接指導する場合のコスト比較について、以下の表にまとめました。

遠隔指導ありの場合、大仙シェアオフィスにて遠隔指導を実施するため指導者の自宅がある美郷町から、大仙シェアオフィスまで車で移動し、そこで遠隔指導を実施します。指導者宅から大仙シェアオフィスまでの距離が約 10.7km とすると、車で片道約 20 分かかります。移動に際して一般的なガソリン車を想定し、レギュラーガソリンの単価を 160 円/L、車両の燃費を 10km/L とすると、燃料費(ガソリン代)は片道で

$$160 \text{ 円/L} \times 10.7\text{km} \div 10\text{km/L} = 171.2 \text{ 円}$$

となります。また交通費として高速道路を利用しないため、0 円となります。

以上から、往復で移動時間として約 40 分、交通費としては 0 円、燃料費として約 342 円かかる計算になります。

一方、訪問指導の場合ですと、指導者の自宅がある美郷町から、フルーツパーク DETO に移動する必要があります。距離として約 83.8km、移動時間としては片道で約 90 分かかります。移動に際して先ほどと同条件で計算するとすると、燃料費は、

$$160 \text{ 円/L} \times 83.8\text{km} \div 10\text{km/L} = 1340.8 \text{ 円}$$

となります。また移動に際して高速道路(大曲 IC~昭和男鹿半島 IC)を利用するため、その高速料金として片道 1,930 円かかります。

以上から、往復で移動時間として、約 180 分、交通費として 3,860 円、燃料費として約 2,682 円かかる計算になります。

結果として、訪問指導を遠隔指導に置き換えることにより、1 回あたり移動時間として約 70 分、交通費として 3,860 円、燃料費として約 2,340 円削減できることがわかりました。

表 4.3.38 移動費・交通費・燃料費の削減効果(1 回あたり)

	移動時間	交通費 (高速道路代)	燃料費 (ガソリン代)
遠隔指導	40 分	0 円	342 円
訪問指導	180 分	3,860 円	2,682 円
削減効果	140 分	3,860 円	2,340 円

②：イチゴの自動収穫・運搬ロボット

ア：収穫時間削減

現地での実証が 2 月 18 日から行われていますが、開発段階のため無人かつ遠隔操作のみでの実装はまだ実現できていません。理由としては、システムの機能上の問題はないですが、現時点では安全な運用上、事故や誤作動を現地で監視する人が必要だからです。また、現在は運用環境ごとに、試験と調整を繰り返す必要があるため、今回の実証では、任意のベットのみにて自動走行・自動収穫ができるようにしております。

そのため本報告では、現時点でのロボットによるイチゴの自動収穫における時間を測定し、現在生産者が行っている収穫時間の何割を担うことができるのかを算出し削減時間を提示します。

今後の本実証環境での実装に向けた調整は、次年度の実証とその中で出てきた課題の解決を含め、約 2 年間で実施可能と想定しております。

ロボットは 1 ベット約 3 分 30 秒で往復することが可能で、イチゴ 1 個当たりの収穫には約 30 秒かかります。日によりそのベットで取れるイチゴの個数は異なりますが、平均 150 個取れることから、

$$3 \text{ 分 } 30 \text{ 秒} + 15 \text{ 秒} \times 150 \text{ 個} = 41 \text{ 分} / 1 \text{ ベット}$$

また、1 ハウスあたり 24 ベットあることから

$$41 \text{ 分} \times 24 \text{ ベット} = \text{約 } 16 \text{ 時間} / 1 \text{ ハウス}$$

生産者へのヒアリングから、生産者のみで実施すると 1 ベットあたり約 15 分かかっていることが判明しました。ハウスごとに換算すると下記時間がかかります。

$$15 \text{ 分} \times 24 \text{ ベット} = 6 \text{ 時間} / 1 \text{ ハウス}$$

1 ベットあたりの稼働時間を比較すると生産者：ロボット=3：1 の割合で稼働することが可能なため、ロボットを同時に用いることで、約 3 分の 1 をロボットが担うことができるようになります。

$$\text{生産者} : 15 \text{ 分} \times 18 \text{ ベット} = 4 \text{ 時間 } 30 \text{ 分}$$

$$\text{ロボット} : 41 \text{ 分} \times 6 \text{ ベット} = \text{約 } 4 \text{ 時間}$$

よって、約1時間30分の収穫時間削減を行うことが可能となります。

表 4.3.39 自動収穫における収穫時間削減

		1ハウス	差分
生産者のみ	時間	6時間	—
収穫ロボットあり	時間	4時間30分	1時間30分

イ：ロス率の削減効果

今回の実証では、ロボットの性能の担保の観点から、下記2点を条件に実施しました。

- ・任意のベットのみにて自動走行・自動収穫を行う
 - ・画像認識の制度を保つため、観光農園の営業終了後、生産者の収穫と同時刻での収穫
- ※上記条件外での実証については、開発検証を含め次年度実証にて実施予定です。

生産者の方が、観光農園の営業終了後に破棄されているイチゴのパック数は、ヒアリングにより2～3日で10パックほどです。

観光農園のため、完熟したイチゴは来場するお客様向けに残していますが、採られなかった分が過熟となり破棄に繋がっているため、ロボットで過熟前のイチゴを収穫し、加工用として販売することでロス率の削減の検証を行いました。

ロボットは今回1ベットのみの収穫で過熟が2日間で10個取ることができました。ハウス内にある24ベット分で算出すると、下記個数が取れると想定されます。

$$10 \text{ 個} \times 24 \text{ ベット} = 240 \text{ 個}$$

イチゴは1個当たり、20グラム程度なので、

$$240 \text{ 個} \times 20 \text{ グラム} = 4800 \text{ グラム}$$

1パックあたり約300グラムで計算していることから、

$$4800 \text{ グラム} \div 300 \text{ グラム} = 16 \text{ パック}$$

よって、10パック分のロスを削減することができ、16パック分の新たな収益を生むことができます。

表 4.3.40 ロス率削減イメージ

	システム利用有	システム利用無	差分
パック数合計	+16パック	-10パック	+26パック
販売額	+9,600円	-6,000円	+15,600円

ウ：アンケート実施

実際に利用いただいた方5名にアンケートを実施しました。

表 4.3.41 アンケート実施結果

設問	回答
----	----

イチゴ自動収穫・運搬ロボットの導入による身体的負担軽減の有無について	とても軽減できた 0人 多少だが軽減できた 3人 あまり軽減できなかった 2人 まったく軽減できなかった 0人
イチゴ自動収穫・運搬ロボットの導入による心理的負担軽減の有無について	とても軽減できた 1人 多少だが軽減できた 3人 あまり軽減できなかった 1人 まったく軽減できなかった 0人
イチゴ自動収穫・運搬ロボットの導入によるメリットは何か	・イチゴを落とさない 傷つけないはできて欲しい ・作業時間の短縮 ・収穫以外の仕事ができる
イチゴ自動収穫・運搬ロボットの導入によるデメリットは何か	・奇形果や枝折れ果の識別ができない。 ・種類の熟度が理解できていない ・メンテ等
イチゴ自動収穫・運搬ロボットの使い勝手はどうか	とても使いやすかった 0人 使いやすかった 2人 使いにくかった 3人 使い物にならなかった 0人
イチゴ自動収穫・運搬ロボットの改善点はどんなところか	・効率性

③：遠隔ショッピングシステム

ア：売上増加効果

遠隔ショッピングシステム利用なしと利用ありの売り上げベースについて比較を行いました。

システム利用有の場合、売上額は1,743,166円となっており、顧客単価は一人当たり4,211円となっております。システム利用なしの場合、売上額は1,557,877円となり、顧客単価は事前のアンケート結果から一人当たり3,243円としています。

結果として、顧客単価は968円、売上額は185,289円の増額となり、システムを導入することにより、売上増加効果があることを検証することができました。

表 4.3.42 遠隔ショッピングシステム利用あり・なしでの売上増加効果(2月15日～2月27日)

	システム利用有	システム利用無	差分
顧客単価	4,211円/人	3,243円/人	+968円/人
売上額	1,743,166円	1,557,877円	+185,289円
利益※	644,971円	576,414円	+68,557円

※利益率は37%に設定(道の駅へのヒアリング結果より)

(4) ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

1) 遠隔指導

遠隔指導システムの検証では、360°カメラで撮影した 4K 映像をもとにシステム上にリアルメタバース空間を生成し、遠隔にいる指導者が圃場にいる従業員に、通話をしたりメタバース空間にマーカを描いたりして農業指導を行うことが可能であることが確認できました。また、収穫適期判定システムの検証では、イチゴ、コーヒーともに学習したラベリングデータと判定結果を比較すると、高い精度で収穫適期を判定できていることがわかりました。

運用については、システム利用者の 4 割が「作業を効率化できる」と回答した一方、業務へ「ぜひ取り入れたい」と回答したのは 2 割でした。

システムの導入効果については、従来の業務フローと遠隔指導のシステムを利用した際の業務フローを比較すると、作業時間が 1 日あたり 76.7 分、交通費、燃料費が 1 ヶ月換算 (20 日勤務) で 124,000 円削減できたことが確認できました。

以上のことから、今回の実証で開発した遠隔指導システムと収穫適期判定システムを用いて遠隔地から圃場にいる従業員に指導を行うことで、作業の効率化と移動にかかる経費削減を実現できることがわかりました。一方で、業務へ「ぜひ取り入れたい」という農業従事者からの意見が少ないことから、システム利用にあたって何らかの障壁があると考えられます。具体的にどのような障壁があるのか、また、障壁を取り除くにはどのような対応策を取るべきかについては 4.3.2 以降に示し、次年度以降の課題としたいと思います。

2) イチゴ収穫・運搬ロボット

イチゴ収穫・運搬ロボットの検証では、ロボットが圃場内の特定のエリアを走行し、イチゴを収穫、積載、運搬する一連の流れができることが確認できました。また、ロボットの走行や収穫は遠隔からでも制御ができることが確認できました。一方で、色による自動収穫適期判定が熟練者の判断と比較して一致率 57% の精度であったこと、また、ロボットの走行エリアが圃場内の限られた範囲であることは、次年度以降改善すべき課題であると考えています。

運用については、システム利用者の 4 割が、作業負担を「あまり軽減できなかった」と回答しました。結果の背景として、ロボット操作にある程度の習熟期間が必要であることや、先述の自動収穫適期判定の精度向上、ロボット走行エリアの拡大が必要であることが考えられます。

システムの導入効果については、削減できる収穫作業時間が当初目標 1 日あたり 38 分であったことに対し、実績は 1 日あたり 90 分であり、目標の 2.3 倍の時間を削減できたことがわかりました。また、イチゴのパックロス削減は当初目標 4 万円分でしたが、実績は約 12 万円分と、金額ベースで目標の 3 倍のパックロスを削減できたことがわかりました。

以上のことから、イチゴ収穫・運搬ロボットによるイチゴの収穫自動化および遠隔制御化によって、収穫作業の時間を大幅に削減し、パックロスも削減できることがわかりました。一方で、作業負担を「あまり軽減できなかった」という意見がシステム利用者の 4 割を占めていることから、作業時間が削減できること以上に、習熟時間の確保や機能面での課題がネックになっていると考

えられます。習熟における課題や機能面での課題の詳細については 4.3.2 以降に示します。

3) 遠隔ショッピング

遠隔ショッピングシステムの検証では、360° カメラで撮影した 4K 映像をもとにスマートフォンアプリ上にリアルメタバー空間を生成し、遠隔にいるお客様がメタバー空間を通して道の駅おおゆの店舗にアクセスできることが確認できました。また、メタバー空間上で標品の映像や商品一覧を閲覧し、現地にいる販売員とアプリを通して通話することで、商品購入ができることを確認できました。

運用については、103 人に遠隔ショッピングを体験していただき、アンケートでは利用者の 54% が「映像がきれいだった」「現地にいる気分になれた」と回答しました。

システムの導入効果については、道の駅おおゆの売上がシステム経由で 2 週間で 18.5 万増収したこともあり、売上増加にもかなりの効果があることがわかりました。

以上のことから、遠隔ショッピングシステムによるリアルメタバーを介した遠隔のお客様の店舗へのアクセスが増加したことで、当初目標を大きく上回る売上増加をすることができました。一方で、実証期間中にローカル 5G 電波の不感による呼び出し通知や通話の不具合があったことから、機能面、環境面の改善が必要であると考えられます。

4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証

本実証終了後も、本実証において提案するローカル 5G を用いたソリューションの一部または全てを継続的に活用し、他のユーザーや他分野での課題解決等を図っていくためのローカル 5G 活用モデルについて検討しました。

本実証モデルの利用者やその他のステークホルダの役割を明確にし、継続利用方法を検討のうえ、他のユーザーや他分野への展開を図りました。

(1) 経済性・市場性の検証

1) 検証項目

本項目については本実証システムの利用に関する費用負担と、本実証によって得られる効果を比較し、経済性効果が得られることを検証しました。

本実証システムの導入にかかる費用および運用にかかる費用は「表 1.2.1」「表 4.3.43」のとおりです。

表 4.3.43 本実証システム費用および費用負担者

システム名	技術・機能	導入費用 (開発費用含む)	運用費用	費用負担者
ローカル5Gシステム		約4,000万円	約400万円/年 (約130万円/基地局/年)	秋田食産 恋する鹿角カンパニー
遠隔指導システム	リアルメタバース技術	約1,500万円	未定 ※実証期間中に設定予定	秋田食産
	収穫適期判定システム	約500万円※	未定 ※実証期間中に設定予定	秋田食産
イチゴ収穫・運搬ロボットシステム		約1,500万円※	未定 ※実証期間中に設定予定	秋田食産
遠隔ショッピングシステム		約2,500万円	未定 ※実証期間中に設定予定	恋する鹿角カンパニー

※農林水産省「スマート農業産地モデル実証（ローカル5G）」にて調達

本実証システムは農業従事者が費用を負担し、ローカル 5G システムおよび各システムを利用するモデルを検討しました。遠隔指導システムとイチゴ収穫・運搬ロボットシステムについてはイチゴおよびコーヒーの生産者である秋田食産が費用負担者となることを想定しました。遠隔ショッピングシステムについては、遠隔ショッピングの対象店舗「道の駅おおゆ」の運営会社恋する鹿角カンパニー株式会社が費用負担および売上利益を受け取ります。

各システムの得られる効果としては「4.3.1 (3)」に記載したとおりです。効果検証に記載した項目が本実証システムの費用対効果の算出項目となるため、得られた効果を合算し、本実証システムの費用対便益を算出しました。

なお、本実証システムについて、ユースケースや応用範囲の拡大、さらには他の地域のユーザー企業や団体、他分野の課題解決等に資する横展開の観点から、関連する業態・分野等のニーズについて深堀することで、市場規模や成長性等について整理し、便益が及ぶ範囲（ユーザー、業態・業界、社会等）についても多様な視点から整理しました。

2) 検証方法

効果検証によって得られた結果を人件費や売上金額に換算し、本実証システムの費用対効果を算出しました。また、ユースケースや応用範囲の拡大、横展開の観点からアンケート調査を行い、本実証システムの今後の展開方法を検討しました。具体的には他の作物を栽培している農業従事者や他地域の農業従事者、直売所、道の駅等にニーズ調査を行いました。その他にも秋田県内の別自治体に対してもヒアリングを実施しました。

また、今年度の実証目標については、対象期間を3か月とし、以下の通り検証を行いました。

【遠隔指導システム】

①作業時間削減に関しては、R8 年度時点での目標値として、新規就農者のイチゴ栽培にかかる時間について、指導を受けることにより年間 1009.5 時間の作業時間を削減できると試算しました。この削減時間に農水省単価の 1500 円をかけ合わせると年間 1009.5 時間×1500 円=151 万円

の費用削減が期待できます。

この R8 年度目標値 151 万円/年について、令和 4 年度～令和 8 年度までの 5 年間で平均的に成長していくことを想定すると $151 \text{ 万円} \div 5 = 30.2 \text{ 万円/年}$ となります。

その中でも令和 4 年度はローカル 5G 敷設後の 1 月～3 月の 3 か月で算出しているため、 $30.2 \text{ 万円} \div 4 = 7.5 \text{ 万円}$ (四捨五入で 8 万円) とします。

②交通費等について主要生産者の美郷町 (居住地) - 潟上市 (フルーツパーク DETO) 間での削減額 56 万円/年にて算出しています。R4 年度は実証スタートの 1 月～3 月を想定して $56 \text{ 万円} \div 4 = 14 \text{ 万円}$ 削減とします。

①+②=8 万円+14 万円=22 万円となります。

【イチゴ収穫・運搬ロボットシステム】

① 稼働削減効果

R8 年度時点での目標値として、232 時間削減と試算しています。この削減時間に対して生産者の単価 2,000 円を掛け合わせると、 $232 \text{ 時間} \times 2,000 \text{ 円} = 46.4 \text{ 万円}$ の費用削減が期待できます。

R4 年度は実証スタートの 1 月～3 月を想定して $46.4 \text{ 万円} \div 4 = 11.6 \text{ 万円}$ (四捨五入で 12 万円) とします。

② パックロス削減効果

売上ベースでは R8 年度時点での目標値として、 $670 \text{ 円} \times 4 \text{ パック} \times 30 \text{ 日} \times 6$ (収穫できる月数) = 48.2 万円/年で算出しています。

R4 年度は実証スタートの 1 月～3 月を想定して $48.2 \text{ 万円} \div 4 = 12.5 \text{ 万円}$ と試算しました。ただし、気候によって収穫時期に変動が生じる可能性があるため、少なく見積もり、四捨五入ではなく切り捨てで 12 万円とします。

利益額としては売上単価の約 4 割が利益になるということですので、 $12 \text{ 万円} \times 0.4 = 4.8 \text{ 万円}$ がパックロス削減による経済効果となります。ただし、売り上げ同様、気候による収穫量の変動等を鑑みてこちらも四捨五入ではなく切り捨てで 4 万円とします。

①、②の経済効果を合わせると、稼働削減 12 万円+パックロス 4 万円=16 万円が R4 年度の経済効果目標値となります。

【遠隔ショッピングシステム】

売上ベースでは R8 年度時点での目標値である 2,440 万円をもとに算出します。令和 4 年度～令和 8 年度の 5 年間で順当に売り上げが増加していくと仮定し、単年度での売り上げは $2440 \text{ 万円} \div 5 = 488 \text{ 万円/年}$ となります。

R4 年度は実証スタートの 1 月～3 月を想定して $488 \text{ 万円} \div 4 = 122 \text{ 万円/年}$ が売上目標となります。利益額は売上単価の約 4 割が利益になるということですので $122 \text{ 万円} \times 0.4 = 48.8 \text{ 万円}$ ※四捨五入して 49 万円が今年度の目標値となります。

また、既にアンケートを 106 名に実施し、利用者の平均支出額が一人当たり 3,243 円となっています。そのため、アンケート通り利用していただくために、秋田県内・県外に向けた周知活動

により、遠隔ショッピング利用者を増やす取り組みをする必要があります。施策案については別途ローカル 5G 設営後(11 月下旬目途)、自治体等と連携しながら県内外の利用者促進を促すイベントを開催します。

3) 検証結果および考察

検証結果と本実証システムの導入・運用費用を比較し費用対効果を明らかにします。

本項目では、今年度実証の結果を 12 か月換算したうえで今年度のみの考え方で検証・分析を行います。本実証の経済効果は削減できた作業時間等から金額に換算したものであり、試算の域にとどまります。本実証の効果検証結果をもとに次年度において、コンソーシアム内外の関係者と実装計画の精緻化を行います。

<遠隔指導システム>

システムにより削減した時間が約 77 分/日のため

$$77 \text{ 分} \times 20 \text{ 日} \times 12 \text{ か月} = 18,480 \text{ 分}$$

$$18,480 \text{ 分} / 60 \times 1,500 \text{ 円} / \text{時間} = 462,000 \text{ 円}$$

また、主要生産者の交通費・燃料費としては、1 回あたり 6,200 円削減できたことから、年間 240 日圃場に訪れると仮定して、6,200 円×240 日=1,488,000 円削減ができる。

よって遠隔指導システムでは、年間 1,950,000 円の削減が可能。

なお、本実証の目標値としては 3 ヶ月で 22 万円の削減となっていたため、今回の実証結果を 3 ヶ月換算すると、

$$1,950,000 / 4 = 487,500 \text{ 円}$$

となり、当初目標の 2 倍以上の削減効果を生み出すことができることを確認。

<イチゴ自動収穫・運搬ロボット>

生産者の時間削減が 1 日あたり 1.5 時間削減できたことから、単価 2,000 円のため、

$$1.5 \text{ 時間} \times 2,000 \text{ 円} = 3,000 \text{ 円} / \text{日}$$

$$3,000 \text{ 円} \times 20 \text{ 日} \times 12 \text{ か月} = 720,000 \text{ 円}$$

の人件費削減が可能と想定が可能。

また、パックのロス率も 3 日で 15,600 円のプラスを生むことが可能なことから、

$$15,600 \text{ 円} / 3 \text{ 日} \times 30 \text{ 日} \times 6 \text{ か月} = 936,000 \text{ 円}$$

よってイチゴ自動収穫・運搬ロボットでは 1,656,000 円利益を生み出すことが可能。

なお、本実証の目標値としては 3 ヶ月で 16 万円の削減効果となっていたため、今回の実証結果を 3 ヶ月換算すると、

$$1,656,000 / 4 = 414,000 \text{ 円}$$

となり、当初目標の 2.5 倍以上の削減効果を生み出すことができることを確認。

<遠隔ショッピング>

今回実証を行うことができた約 2 週間で本システムを利用して 185,289 円の増収だったため、これを 12 か月換算（1 か月 4 週間）すると

$$185,289 \text{ 円} \times 2 \times 12 \text{ か月} = 4,446,936 \text{ 円}$$

の売上を生み出すことが可能。

また粗利益としては利益率が約 37%だったため、

$$185,289 \times 0.37 = 68,557 \text{ 円}$$

となり、これを 12 か月換算（1 か月 4 週間）すると、

$$68,557 \text{ 円} \times 2 \times 12 \text{ か月} = 1,645,368 \text{ 円}$$

の利益を生み出すことが可能。

なお、本実証の目標値としては 3 ヶ月で 49 万円の利益となっていたため、今回の実証結果を 3 ヶ月換算すると、

$$1,645,368 / 4 = 411,342 \text{ 円}$$

となり、目標には約 8 万円届かなかった。

原因としては、利用者アンケートから UI の改善要望や、システム課題として呼び出し通知や通話の不具合があったため、これらに起因した機会損失によるものと考えられる。したがって、今後は機能面・環境面の課題を改善していくことにより機会損失を減らし、利益向上を目指す。

本実証では実証期間中の所有者にて実証終了後も継続利用することを前提としており、原則農林水産省実証終了後の令和 6 年度より実装されると計画しています。

構築したシステムが 5 年間利用されることから減価償却に基づき総務省側での構築金額 8,000 万円 \times 0.2 = 1,600 万円であることから

$$\text{構築費 } 1,600 \text{ 万円} < \text{収益 } 16,036,936 \text{ 円}$$

で経済性についても、条件等が整っていれば十分にありと考察できる。

なお、自治体や道の駅、農業従事者に対してヒアリングを通じたニーズ調査を行った結果に関しては以下の通りです。

表 4.3.44 自治体・道の駅・農業従事者に対するヒアリング結果

ヒアリング実施者	ヒアリング内容	検討結果
道の駅おおゆ	・現時点の課題は何か ・期待することは何か	・冬季間の集客を増やしたい ・販路が増えることを期待している
秋田食産	・現時点の課題は何か ・期待することは何か	・作業量が多い、人手不足 ・作業効率の向上、作業量の軽減に期待している
秋田県	・現時点での課題は何か ・期待することは何か	・生産者の高齢化や、労働力人口の確保が急務である。作業効率化を図るためには、技術・スキルの向上も必要である

		<p>め、育成・指導出来る人材の確保も必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スマート農業に係るイニシャルコストについては、補助金での活用も可能性としてはある。 ・労働力が不足している中、より効率的に作業ができるため、生産性の向上に期待している
秋田市	<ul style="list-style-type: none"> ・現時点での課題は何か ・期待することは何か 	<ul style="list-style-type: none"> ・米価下落により稲作経営が悪化していることから、高収益作物等による複合型生産構造への転換を図り、収益性の向上を図ることが課題となっている。 ・労働力が不足している中、より効率的に作業ができるため、生産性の向上に期待している
湯沢市	<ul style="list-style-type: none"> ・現時点での課題は何か ・期待することは何か 	<ul style="list-style-type: none"> ・生産現場での実装率が非常に低い。生産現場への情報提供もできず、足踏みしているのが現状 ・自治体の抱える課題解決や生産者、小売店の収益増加につながると期待している
大仙市	<ul style="list-style-type: none"> ・現時点での課題は何か ・期待することは何か 	<ul style="list-style-type: none"> ・農業生産現場での大規模経営化に伴い、スマート農業の活用やオペレーターの育成等が喫緊の課題となっている。 ・農業の生産現場での担い手の高齢化と労働力不足が深刻となっており、農作業の省力化や軽労化に期待している。
鹿角市	<ul style="list-style-type: none"> ・現時点での課題は何か ・期待することは何か 	<ul style="list-style-type: none"> ・観光客の満足度向上につながる施策を打ち出したい ・自治体の抱える課題解決や生産者・小売店の収益増加につながると期待している
潟上市 (道の駅てんのう)	<ul style="list-style-type: none"> ・期待することは何か 	<ul style="list-style-type: none"> ・販路が増えることを期待している。 ・店員、お客様の操作が視覚的にもわかりやすいシステムを期待している。 ・費用対効果については、今後更なる検証が必要であるが、作業効率化における

		効果は期待している
由利本荘市 (道の駅象潟)	・期待することは何か	・費用対効果については、今後更なる検証が必要であるが、作業効率化における効果は期待している

(2) 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

現時点でのビジネスモデルは、以下のとおりです。

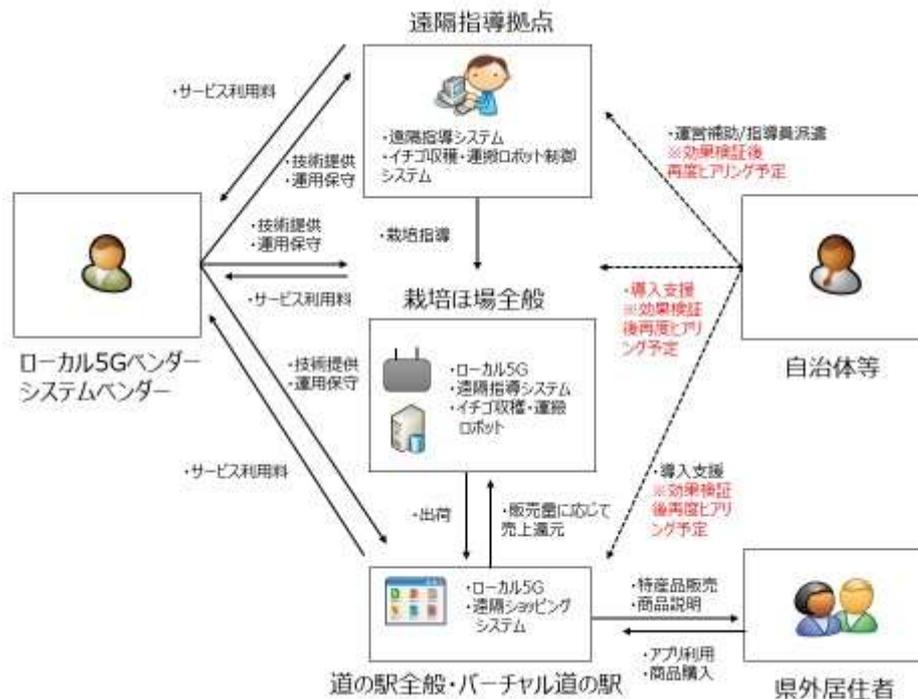


図 4.3.36 本実証ビジネスモデル

ビジネスモデルについては実証前の構想から大きな変更はなく、それぞれのシステム利用者がシステムベンダに利用料を支払い、システム利用によって得られる追加収入によってシステム利用料を賄います。収入拡大に向けては遠隔ショッピングサービスによる県外居住者からの商品購入による利益増が重要となります。また、遠隔指導による作業の効率化によるコスト削減も本システム利用料の原資となります。

※各システム導入・運用への自治体からの支援については、8月時点では難しいと回答を得ているものの、効果検証の結果をもとに再度ヒアリングを実施予定です。

ビジネスモデルに対する本コンソーシアム構成員以外の関連事業者や団体からのニーズ調査も実施し、また、追加して欲しい機能や価格帯についてもヒアリングし、本実証モデルの発展方法についても検討しました。ニーズ調査について対象とする道の駅や事業者の選定においては、秋田県内を県北・中央・県南3つに分けた際に、前向きに取り組む自治体を中心に有力な道の駅や事業者を選定しました。

1) 検証項目

本実証にて構築したシステムについては、各システム導入エリアの所有者にて所有、実装を検討しました。具体的には以下の「表 4.3.45」のとおりです。

表 4.3.45 本実証システム所有者一覧

システム名	導入エリア	実証期間中の所有者	実装時の所有者
ローカル 5Gシステム	コーヒー栽培ハウス (美郷町)	(株)秋田食産	(株)秋田食産
	いちご栽培ハウス (潟上市)	(株)秋田食産	(株)秋田食産
	道の駅おおゆ	(株)恋する鹿角カンパニー	(株)恋する鹿角カンパニー
遠隔指導システム	コーヒー栽培ハウス (美郷町)	(株)秋田食産	(株)秋田食産
	いちご栽培ハウス (潟上市)	(株)秋田食産	(株)秋田食産
イチゴ収穫・運搬ロボットシステム	いちご栽培ハウス (潟上市)	(株)秋田食産	(株)秋田食産
遠隔ショッピングシステム	道の駅おおゆ	(株)恋する鹿角カンパニー	(株)恋する鹿角カンパニー

実装時の運用費用については、経済性・市場性の検討にて記載したとおりであり、各システムの利用者負担を検討しました。

本実証システムの運用に当たっては「4.3.1 ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証」の検討の検証結果等をもとに有効性を検証し、その結果をもとに他の農業従事者や自治体等への展開を検討しました。

また、本実証システムの運用検証に当たってはローカル 5G ネットワーク、遠隔指導システム、イチゴ収穫・運搬ロボットシステム、遠隔ショッピングシステムそれぞれについて、機能要件・非機能要件、ネットワーク構成、機器の所有、運用・保守体制、契約体系、免許等許認可の要否について多角的な観点から検討し整理を行いました。

現時点では各項目について「表 4.3.46」のとおり仮説を立てました。最終的には整理した結果をもとにユーザーによってカスタマイズ可能かどうか検証し、本実証システムの展開として適当なターゲットや以下のビジネスモデルを検討しました。

① 生産者導入モデル

生産現場においては高精細カメラ(360°カメラ)やMRゴーグル、リアルメタバース技術を活用した技術指導・監視のリモート化による遠隔営農指導、AI教師データを活用した収穫適期判定、自動収穫・運搬ロボットのシステムを新たな農業方式としてモデルケース化します。また、イチゴやコーヒーに限らず、他品種に対しての横展開を目指します。

② 道の駅導入モデル

販売のシーンでは遠隔地からリアルメタバース空間に入って商品を閲覧・購入することを可能にします。また、VR店舗設置も可能になるため、道の駅に出荷していない、別地域の店舗の物も販売することができます。そのため、本実証生産者の生産地域と道の駅は片道

3 時間以上かかる位置にありますが、輸送等の時間と品質を落とさない販売が実現できます。さらに、全国のユーザーを顧客ターゲットにして、リアルメタバースを活用したユーザーが秋田に訪れてもらえる仕組みにします。

表 4.3.46 本実証システム要件仮説一覧

	ローカル5Gシステム	遠隔指導システム	イチゴ収穫・運搬ロボットシステム	遠隔ショッピングシステム
機能要件	UL最大スループット100Mbps以上 ※システム同時利用時	イチゴ及びコーヒーの収穫適期判断が可能なAIエンジンが備わっていること	無線通信で制御可能であること	買い物客からの呼び出しに応じてローカル5G端末に通知を出すこと
非機能要件	ローカル5G端末はロボットに搭載可能なサイズであること	十分な明るさが確保できる環境で利用すること (AIの判定結果に影響があるため)	栽培レーンの高さがロボットアームの高さと同一であること	実店舗のユーザ対応と合わせて遠隔ユーザ対応も可能な体制を整備すること
ネットワーク構成	クラウド上のシステムサーバとの接続環境が必要	・リアルメタバースシステムはクラウド上のシステムサーバとの接続環境が必要 ・収穫適期判断システムは利用拠点にAIサーバの設置が必要	遠隔監視拠点との接続が必要	クラウド上のシステムサーバとの接続環境が必要
機器の所有	原則土地所有者が所有	指導を受ける拠点はカメラ等機器を購入して所有	利用者が購入して所有	ショッピング施設にてカメラ等を購入して所有
運用・保守体制	ベンダーによる保守が必要	開発ベンダーによる保守が必要	開発ベンダーによる保守が必要	開発ベンダーによる保守が必要
契約体系	システム提供ベンダーとの契約が必要	システム提供ベンダーとの契約が必要	システム提供ベンダーとの契約が必要	システム提供ベンダーとの契約が必要
免許等許可の可否	無線局免許の取得が必要	不要	不要	不要

2) 検証方法

前項にて記載の「表 4.3.46」について、実証期間中に検証し、結果をもとにビジネスモデルをパターン化しました。パターン化したビジネスモデルをもとに本コンソーシアム構成員以外の関連事業者や団体へ導入したいと思うかニーズ調査を行いました。

具体的には秋田県内の別市町村、大仙市内の農業従事者のリストを追加し、検討しました。

具体的なニーズ調査の手順とスケジュールは以下の通りです。

- ① NTT 東日本および NTT アグリテクノロジーを中心にコンソーシアムメンバーである秋田県立大学、各自治体より、秋田県内の農林振興課や観光課等にアポイントを取得しました。(電話やメールで実施)
- ② 12月までにローカル5Gの設置や機器等の運用を実施し、12月の運用開始～2月頃までの3か月間にて秋田県内を県北・中央・県南に分け幅広いエリアでヒアリングを実施しました。

表 4.3.47 ヒアリング対象一覧

ヒアリング実施者	ヒアリング内容
秋田県	秋田県の農業者の現状 秋田県におけるスマート農業の取り組みと課題、現状認識 本取り組みに対する期待
湯沢市	湯沢市における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待
大仙市	大仙市における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待
鹿角市	鹿角市における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待
羽後町	羽後町における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待
潟上市 (道の駅てんのう)	本取り組みに対する期待
由利本荘市 (道の駅象潟)	本取り組みに対する期待
農業従事者 (A 氏)	本実証システムを使ってみたいと思うか、またその理由
農業従事者 (B 氏)	本実証システムを使ってみたいと思うか、またその理由

※イチゴ生産者を多数保有している、また農業分野により注力している自治体を選定しました。

3) 検証結果および考察

各自治体、農業従事者等にヒアリングした結果を以下に示します。

表 4.3.48 ヒアリング調査結果一覧

ヒアリング実施者	ヒアリング内容	検討結果
秋田県	秋田県の農業者の現状 秋田県におけるスマート農業の取り組みと課題、現状認識 本取り組みに対する期待	・生産者の高齢化や、労働力人口の確保が急務である。作業効率化を図るためには、技術・スキルの向上も必要であるため、育成・指導出来る人材の確保も必要である。後継者不足および新技術への理解不足も課題として認識している。 費用対効果については、今後更なる検証が必要であるが、作業効率化における効果は期待している。
湯沢市	湯沢市における農業分野の課題と取組	生産現場の高齢化、労働力人口不足

	本取り組みに対する期待	が喫緊の課題である。後継者不足および新技術への理解不足も課題として認識している。 生産現場への実装率を高めることが必要。農作業の省力化への期待が高い。
大仙市 農業従事者 (A氏、B氏)	大仙市における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待	生産現場の高齢化、労働力人口不足が喫緊の課題である。後継者不足および新技術への理解不足も課題として認識している。 費用対効果については、今後更なる検証が必要であるが、作業効率化における効果は期待している。
鹿角市	鹿角市における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待	生産現場の高齢化、労働力人口不足が喫緊の課題である。後継者不足および新技術への理解不足も課題として認識している。 費用対効果については、今後更なる検証が必要であるが、作業効率化における効果は期待している。
羽後町	羽後町における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待	生産現場の高齢化、労働力人口不足が喫緊の課題である。後継者不足および新技術への理解不足も課題として認識している。 費用対効果については、今後更なる検証が必要であるが、作業効率化における効果は期待している。
潟上市 (道の駅てんのう)	本取り組みに対する期待	費用対効果については、今後更なる検証が必要であるが、作業効率化における効果は期待している。
由利本荘市 (道の駅象潟)	本取り組みに対する期待	費用対効果については、今後更なる検証が必要であるが、作業効率化における効果は期待している。

(3) ローカル 5G 活用モデルの構築

生産から販売に至る農業関連の各種情報を、ローカル 5G やリアルメタバース技術を活用して現場空間をシェアリングするとともに、収穫ロボットや AI を活用した超省力化を実現し、シェアリングや作業集約等普及性を考えたデータ駆動型農業を実現することで、持続可能な農業経営・所得向上を目指し、産地活性化モデルを実証しました。

本実証は、以下の生産者導入モデル、道の駅導入モデルのプランにて事業継続に取り組み、本実証へ参加しているコンソーシアムが、それぞれの立場から本実証ビジネスモデルを推進・普及展開を目指しています。

1) ローカル 5G 活用モデルの全体像

①生産者導入モデルおよび②道の駅導入モデルについて、それぞれ a. ターゲット、b. 対象となるシステム、c. ビジネスモデルを分けて分析を行いました。対象となるターゲットおよびシステムは①および②で棲み分けがなされますが、ビジネスモデル全体を考えたときに相互に連携しながら収益向上を目指すモデルを構築します。以下が想定している全体像になります。

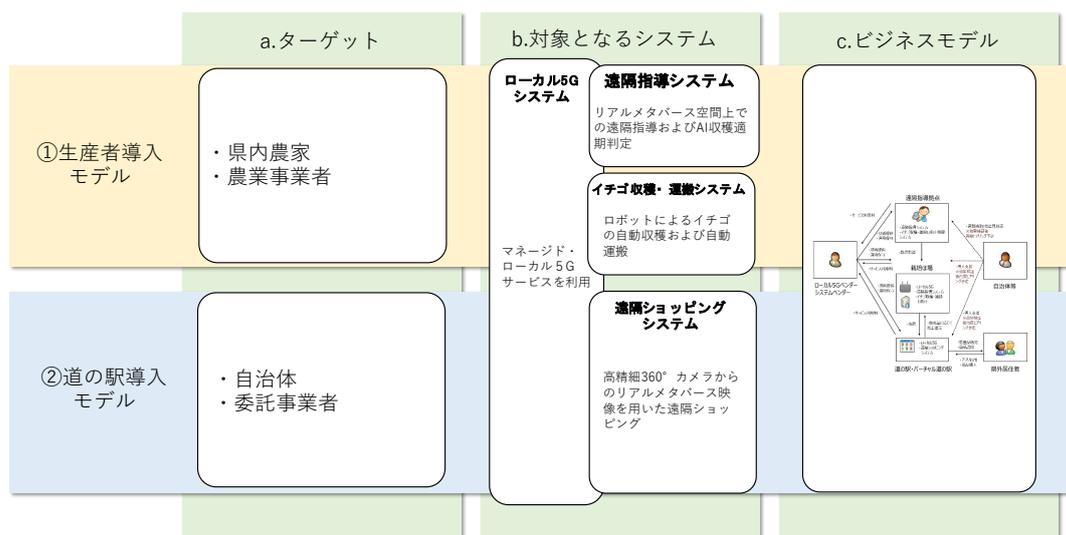


図 4.3.37 ローカル 5G モデルの全体像

a. ターゲット

「(3) ローカル 5G 活用モデルの構築」に記載の通り、検証結果を踏まえた2つのローカル 5G 活用モデルについて、実装・普及展開するためのターゲットを下記に記載します。

① 生産者導入モデル

ア ターゲット

本実証事業の実施エリアである秋田県を普及展開のターゲットとして計画しております。秋田県内のイチゴ生産者（約 110 経営体が存在、2020 年農林業センサス結果※より）に本実証事業の結果を積極的に発信し、生産者の声を聴くことで、パッケージ化や価格設定の在り方へと反映していきます。また、秋田県内のイチゴ生産者への普及

展開にあたっては、小規模農家や高設栽培を導入していない農家では本システムの費用対効果を得られない可能性が高いため、圃場の広さ等、利用条件を明確にし、普及展開活動を行っていきます。

イチゴ生産者のシステム導入費や利用費の負担軽減に向け、スマート農業の利活用に関する補助金等の活用の可否や、自治体普及モデルによる共同利用の可否についても引き続き秋田県や各自治体とも調整を行う必要があると考えられます。

また、秋田の近隣県である青森、岩手、宮城が夏秋イチゴの栽培に力を入れる計画があるため、イチゴの遠隔指導や自動収穫・運搬システムの横展開がしやすい状況であると考えており、こちらもターゲットになると想定されます。

※2020年農林業センサス結果 美の国あきたネット

(<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/54137>)

イ 前提条件

汎用的なローカル 5G 活用モデルとして提供するために、下記前提を満たすユーザーが展開をしていく上での条件となると考えられます。

表 4.3.49 道の駅導入モデルを提供するユーザーの前提条件

前提条件	理由
<ul style="list-style-type: none"> ・圃場の広さが 30a であること ・通路幅 80cm～90cm 以上であること ・平坦な通路であること（コンクリートで固めあることが望ましい） ・収穫の高さ方向での範囲は 40cm 以下の範囲であること 	<ul style="list-style-type: none"> ・システム導入による効果は廃棄率の削減が主なため、収益につなげるためには、ある程度の規模を持った圃場が必要なため。 ・収穫ロボットを走行させるための広さが必要なため。 ・凹凸が少ない通路の方が、収穫ロボットの車輪走行中の振動等の影響が少ないため。
<ul style="list-style-type: none"> ・関連団体・自治体等と連携すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・既存生産者のみではなく、新規就農者、移住者、農業ビジネスへの投資者等の多くのステークホルダが、事業モデルを活用する主体となることができるため。 ・ノウハウがなくても、本事業モデルを活用することで農業の新規参入をサポートすることができ、スタートアップの支援となることができるため。 ・同様の地域課題を持つ自治体の先行事例として推進することで、他のエリアへの普及展開が促進されるため。 ・補助金等の利用を検討することが可能になることで、コストによる導入ハードルを下げることができるため、普及促進ができるため。

② 道の駅導入モデル

ア ターゲット

本実証事業の実施エリアである秋田県より普及展開を始めることを計画しております。

道の駅に関してはコロナ禍で利用者が減っている状況であり、道の駅としても売上を補完する手段を模索している状況です。そのため、リアルメタバースを用いた遠隔ショッピングやVR店舗を使った販売実施することで、話題性向上と生産者導入モデルと連携して展開することによる、周辺農家や農業法人からの産地直送コーナーへの卸品目の増加および買い物難民と言われる高齢者の利用等が期待できると考えられるため、周辺地域から普及展開を始める方がより横展開が図りやすいと考えています。秋田県内33か所にある道の駅の多くには産地直送コーナーがあるため、本実証で検証したローカル5G活用モデルにおける、生産者から道の駅へ卸売りをを行うフローに則って普及展開を行うことが可能と考えております。

また、補助金や施設管理の面で関連団体や自治体等からの協力は必須であると考えられるため、連携が必須と考えています。

将来的には、秋田県内での実績を踏まえ東北エリアへの普及展開を目指すことが可能と考えており、こちらもターゲットになると想定されます。

イ 前提条件

汎用的なローカル5G活用モデルとして提供するために、下記前提を満たすユーザーが展開をしていく上での条件となると考えられます。

表 4.3.50 道の駅導入モデルを提供するユーザーの前提条件

前提条件	理由
<ul style="list-style-type: none"> カメラの高さ：2m～2.5m カメラの電源供給が必須 	<ul style="list-style-type: none"> 高すぎると商品が見えづらく、低すぎると利用客に危険なため。 カメラへの電源供給ルートが確保できないとカメラ機能が使えないため。
<ul style="list-style-type: none"> 産地直送の販売コーナーがあること 商品がカメラから見える位置に取り付けられること 	<ul style="list-style-type: none"> 今回の実証を行ったローカル5G活用モデルでは、遠隔指導システムや自動収穫・運搬システムが含まれるため。 商品配置がカメラの画角にないと遠隔にいる方に見てもらえないため。
<ul style="list-style-type: none"> 関連団体・自治体等と連携すること 	<ul style="list-style-type: none"> 道の駅の建物を管理が自治体のケースが多いため。 同様の地域課題を持つ自治体の先行事例として推進することで、他のエリアへの普及展開が促進されるため。 補助金等の利用を検討することが可能になることで、コストによる導入ハードルを下げることができるため、普及促進ができるため。

b. 対象となるシステム

令和7年までに農業の担い手のほぼ全てがデータを活用した農業を実践できるよう施策を集中展開していくと農林水産省は推進しています。今まで以上に、農業データの活用が促進されており、生育状況のコントロールや収集したデータを活用するデータ駆動型農業が求められ、更なる

高度化が重要であると考えています。本実証で取り組むモデルを、普及に資するソリューションパッケージとして以下の構成で推進していきます。

① 遠隔指導システム

MR ゴーグルを活用した収穫適期判定技術や 360° カメラを活用して確認し、現場に配置したドキュメントをホログラム越しに確認、現場空間へのマーキングによる指示を音声会話や映像を見て作業実施ができるように連携します。

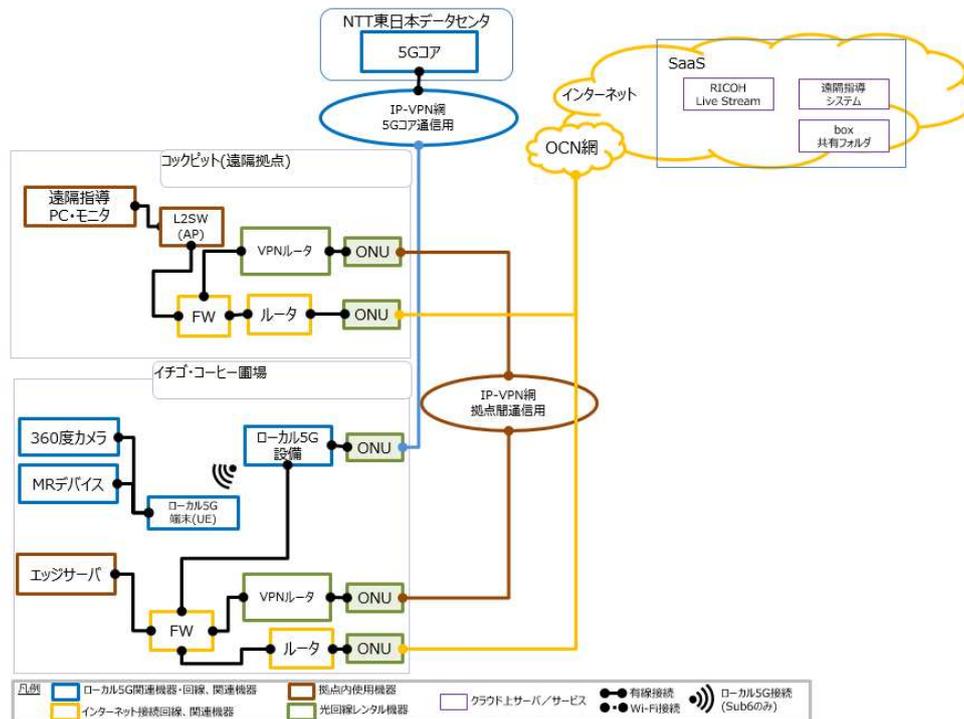


図 4.3.38 遠隔指導システム構成例

② イチゴ自動収穫・運搬システム

高精細 4K カメラを搭載した自動収穫・運搬ロボットをビニールハウス内で自立走行させハウス内のイチゴを自動収穫し、収穫したイチゴを運搬ロボットの上においたトレイと連携することで営業時間前後での収穫作業を実現できるようにします。また、ロボット等に問題が生じた際には、遠隔から信号を送りロボットの遠隔制御も可能なものにします。

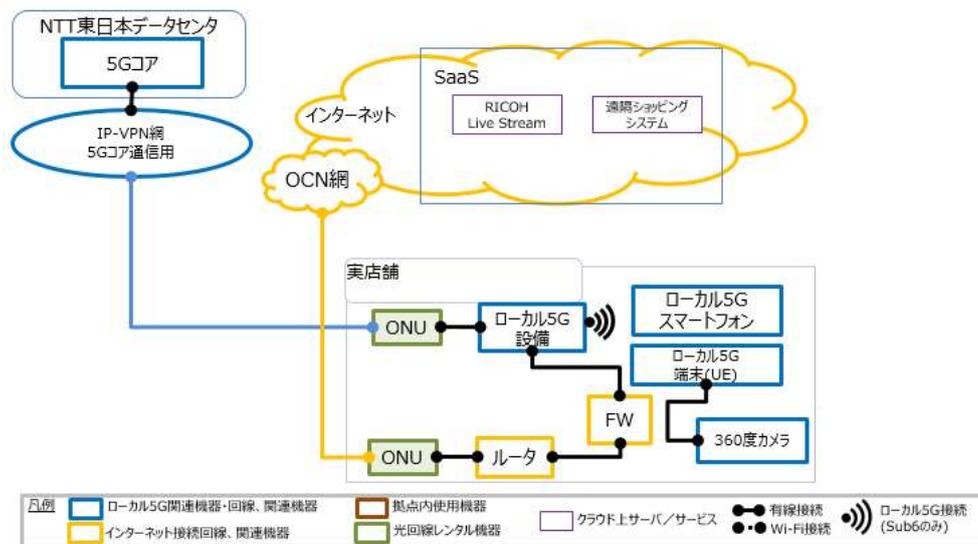


図 4.3.39 イチゴ自動収穫・運搬システム構成例

③ 遠隔ショッピングシステム

複数台の高精細 360° カメラを用いて、リアルメタバース空間に入って商品を閲覧・購入することを可能にします。顧客満足度の向上、およびコロナ渦による収益減に対応した施設運営の実現を目指します。

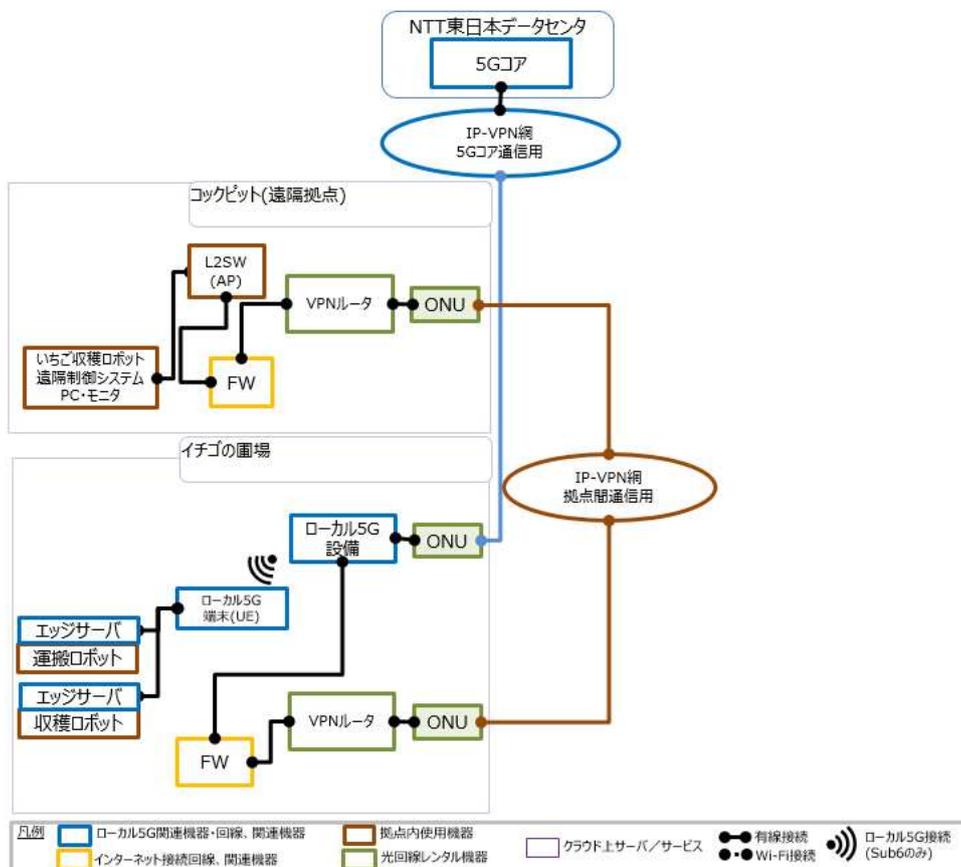


図 4.3.40 遠隔ショッピングシステム構成例

事前に実施計画書にて必要要件に関する仮説を立てました。検証の結果、各システムの機能要件、非機能要件および業務フローは以下の通りの整理となりました。

ア) 機能要件・非機能要件

実証結果を踏まえた各システムの機能要件を以下に示します。

表 4.3.51 各システムの機能要件

システム名	項目	要件内容
ローカル 5G システム	ア：周波数帯	4.8～4.9GHz の 100MHz 幅システムであること。
	イ：通信性能	スループットが 100Mbps 程度出ること。
遠隔指導システム	ア：撮影機能	360° カメラ：4K 以上の画質で作物を撮影できること。 MR ゴーグル：フル HD 以上の画質で作物やハウス内の映像が撮影できること。
	イ：伝送機能	・MR ゴーグル(5Mbps/1 台)、360° カメラ(20Mbps/1 台)を利用したときに、映像をリアルタイムかつ劣化なく伝送できること。 ・遅延値が 60ms 以下であること。
	ウ：メタバース空間生成機能	指導者が遠隔地から圃場の対象株および生産者の位置や動作を確認できるレベルのメタバース空間が生成できること。
	エ：遠隔指導機能 (リアルメタバース)	圃場内で撮影した映像をメタバース空間上に表示し、現地の生産者に対して、音声会話だけでなくライン・文字等で情報伝達できること。
	オ：収穫時期自動判定機能(AI)	日中の時間帯に収穫時期自動判定機能を使って収穫適期判定ができること。
イチゴ収穫・運搬ロボットシステム	ア：撮影機能	ロボットアームに搭載されたカメラ映像からイチゴの色彩判定ができること。
	イ：自動判定・収穫機能	コマンドもしくは決められた時刻にロボットが自動起動し、自動走行、イチゴの自動判定および自動収穫ができること。

	ウ：伝送機能	<ul style="list-style-type: none"> ・エッジサーバ(10Mbps/1台)を利用したときに、映像をリアルタイムかつ劣化なく伝送できること。 ・遅延値が60ms以下であること。
	エ：遠隔制御機能	・遠隔地からエッジサーバと通信を行い、遠隔操作ができること。
遠隔ショッピングシステム	ア：撮影機能	360°カメラ：4K以上の画質で店内商品を撮影できること。
	イ：伝送機能	ローカル5G端末（スマートフォンタイプ、3Mbps/1台）、360°カメラ(20Mbps/1台)を利用したときに、映像をリアルタイムかつ劣化なく伝送できること。
	ウ：メタバース空間生成機能	ショッピング利用者が遠隔地から商品を確認できるレベルのメタバース空間が生成できること。
	エ：閲覧・通話機能	ショッピング利用者が店舗の商品情報を閲覧できること。 ショッピング利用者と店員間で双方向に通話ができること。
	オ：プライバシー対策	モザイクをかける等、プライバシーに配慮した仕組みを構築すること

実証システムについて上記の機能要件を必要とする理由は、以下の通りです。

①ローカル5Gシステム

ア：周波数帯

4.8～4.9GHz帯は農業用ハウス等の屋外でも利用が可能とされている周波数帯のため、この周波数帯の採用を要件としております。

イ：通信性能

本実証環境と同一環境を構築する場合、必要な所要性能は導入先の環境によって変動しますが、同様の環境の場合は最大で69Mbpsとなります。そのため、システム拡張や同時接続端末数の増加を考慮すると、およそ100Mbps程度をカバーできる環境であることが望ましいと考えられるため、UIスループットの要件を100Mbps程度としております。

②遠隔指導システム

ア：撮影機能

360°カメラについては、指導者が遠隔地から圃場の対象株の発育状況等詳細に

把握できなければならないため、作物が認識できる程度の撮影機能を要件としております。
MR ゴーグルについては、AI システムが収穫敵機判定を十分な精度で行えるだけの十分な画像/
映像を撮影する必要があるため、フル HD 以上の画質で撮影できることを要件としております。

イ：伝送機能

遠隔指導システムを利用する際、少なくとも 360° カメラ 1 台 (5Mbps) と MR ゴーグル 1 台
(20Mbps) がネットワークに接続されている状況になります。その際に、遠隔地の指導者が
リアルタイムで詳細に状況把握できることが望ましいため、映像をリアルタイムで劣化なく
伝送することが必要になります。

また遅延値に関しては WiFi の遅延値は平均 60msec といわれておりますので、エッジサーバ
との通信が 60ms 以下であれば問題なく利用できると考えております。

収穫適期判定の際に、判定結果のレスポンスや判定精度をなるべく安定させるため、記載の
伝送機能が必要と考えます。

ウ：メタバース空間生成機能

指導者が、できるだけ現地にいるような感覚で指導ができるようにするため、記載の要件が
必要と考えます。

エ：遠隔指導機能(リアルメタバース)

指導者が、できるだけ現地にいるような感覚で指導ができるようにするため、記載の要件が
必要と考えます。

オ：収穫時期自動判定機能(AI)

収穫時期判定は、判定もととして取り込んだ映像/画像の明度や彩度が判定結果に大きく影響を
及ぼします。そのため、十分な明るさが確保できる日中帯に高い精度で判定ができることを
要件としております。

③イチゴ収穫・運搬ロボットシステム

ア：撮影機能

自動収穫に必要なイチゴの色彩判定を行うために、ロボットアームに搭載されたカメラから
イチゴの色彩を正確に確認することが必要と考えます。

イ：自動判定・収穫機能

収穫業務を省人化するために収穫ロボットが自動的に起動、走行、収穫することが必要と
考えます。また熟したイチゴを正確に収穫するために、イチゴを自動判定する機能も必要だと
考えます。

ウ：伝送機能

収穫ロボットシステムを稼働させるため、少なくとも収穫ロボットおよび運搬ロボットに搭載したエッジサーバに遠隔地からリモート接続（10Mbps/台）している状況になります。その際遠隔地からロボットのリアルタイム操作や周囲の環境のカメラによる確認ができることが望ましいため、エッジサーバにスムーズにリモート接続できる伝送性能が必要になると考えます。

エ：遠隔制御機能

収穫ロボットが自動化しているとはいえ、緊急時の対応や、遠隔から監視、操作が必要になることが予想されます。そのため遠隔地からロボットを操作できる機能が必要だと考えます。

④遠隔ショッピングシステム

ア：撮影機能

遠隔ショッピング利用者が、実際に店舗内にいる状況と相違ない感覚で店内や商品を開覧できるようにするため、店内の様子や商品のパッケージを認識できる程度の撮影機能を要件としています。

イ：伝送機能

遠隔ショッピングシステムを利用する際、少なくとも 360° カメラ 1 台（5Mbps）とローカル 5G 端末 1 台（3Mbps）がネットワークに接続されている状況になります。その際に、遠隔地のショッピング利用者がリアルタイムで詳細に店内の様子を把握しつつ店員と通話できることが望ましいため、映像をリアルタイムで劣化なく伝送することが必要になります。

ウ：メタバース空間生成機能

ショッピング利用者が、できるだけ現地にいるような感覚で購買行動ができるようにするため、記載の要件が必要と考えます。

エ：閲覧・通話機能

ショッピング利用者が購買行動をするため、商品を選択し、現地の店員と話をしながら、買い物ができるような環境が必要になります。

オ：プライバシー対策

360° カメラが店内で稼働する関係で、現地利用客のプライバシーへの配慮が必須になります。映像にモザイクをかける等の処理、対策が必要になると考えます。

また、実証結果を踏まえた非機能要件を以下に示します。

表 4.3.52 各システムの非機能要件

項目		要件内容
可用性	運用時間	イチゴ収穫・運搬ロボットシステムおよび遠隔指導システムの収穫適期判定については、十分な明るさがある環境や日中帯で稼働できること イチゴ収穫・運搬ロボットについては、基本自動走行するが、遠隔から手動で操作ができること
性能・拡張性	システム拡張	イチゴ収穫・運搬ロボットシステムは、走行部分とマニピュレータ部分(モジュール部分)に分けられ、将来的にモジュール部分を交換し、別作業に利用できる等拡張可能であること
運用・保守性	運用保守体制	ローカル 5G システムは、24 時間 365 日保守で、常に監視できる体制を構築すること システム利用者からの本システムに関する一元問い合わせ窓口を設置すること 問い合わせ窓口は平日 9:00-17:00 とすること
	セキュリティ	各種システムについてはソフトウェアのアップデートがあった際には速やかに対応ができること 各システムで適切なセキュリティ対策を施すこと
	障害対応	システム利用者から障害の連絡を受けた場合は速やかに対応すること 障害復旧後、発生原因や再発防止策等の報告を行うこと

イ) 業務フロー

各種システムにおいて、想定される業務フローは以下の通りです。

① ローカル 5G システム

キャリアグレードの本格的な 5G スタンドアロン機能を事前手続きから運用までトータル IT0 をワンパッケージにし、低価格で実下するマネージド・ローカル 5G サービス「ギガらく 5G」を利用します。お客様はお申し込みいただければ、運用・保守を意識せずに利用することができます。ギガらく 5G 利用時の業務フロー図は以下のようになります。

(導入メリット (裨益者：サービス利用者))

- ・マネージドサービスによる運用・保守の効率化
- ・「超高速・大容量」「超低遅延」「多数同時接続」のネットワークを構築可能

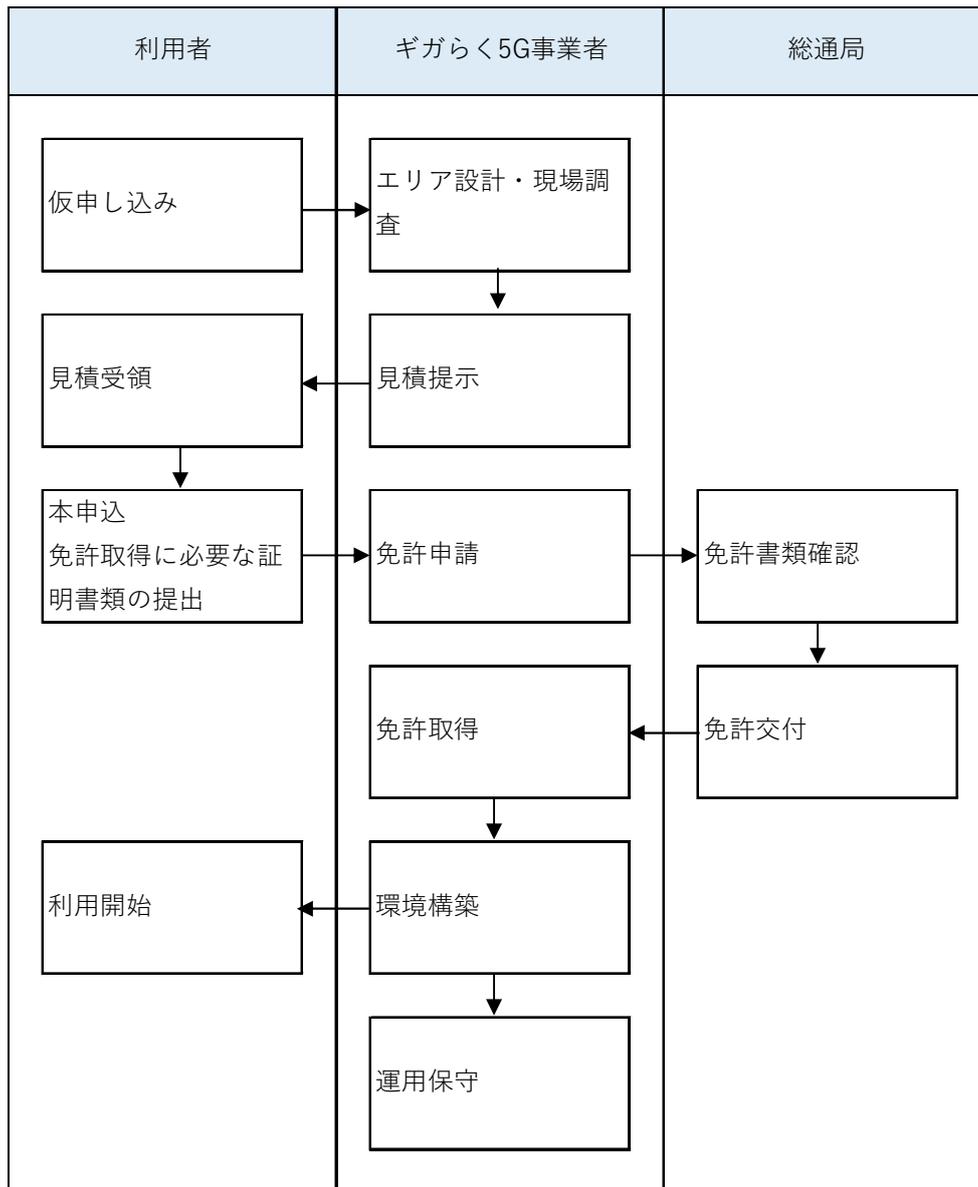


図 4.3.41 ギガらく 5G 利用時の業務フロー図

② 遠隔指導システム

遠隔指導拠点から専用端末を用いて遠隔指導を実施します。指導を受ける側は、現地の圃場にて MR ゴーグルを装着し、遠隔指導を受けます。同一端末にて収穫適期判定システムも動作し、収穫適期判定機能を使った収穫指導を実施します。

(導入メリット (裨益者：農業従事者))

- ・遠隔地から指導できることによる業務効率化・燃料費削減
- ・収穫適期判定による生産者の技術力向上・収穫時間の短縮

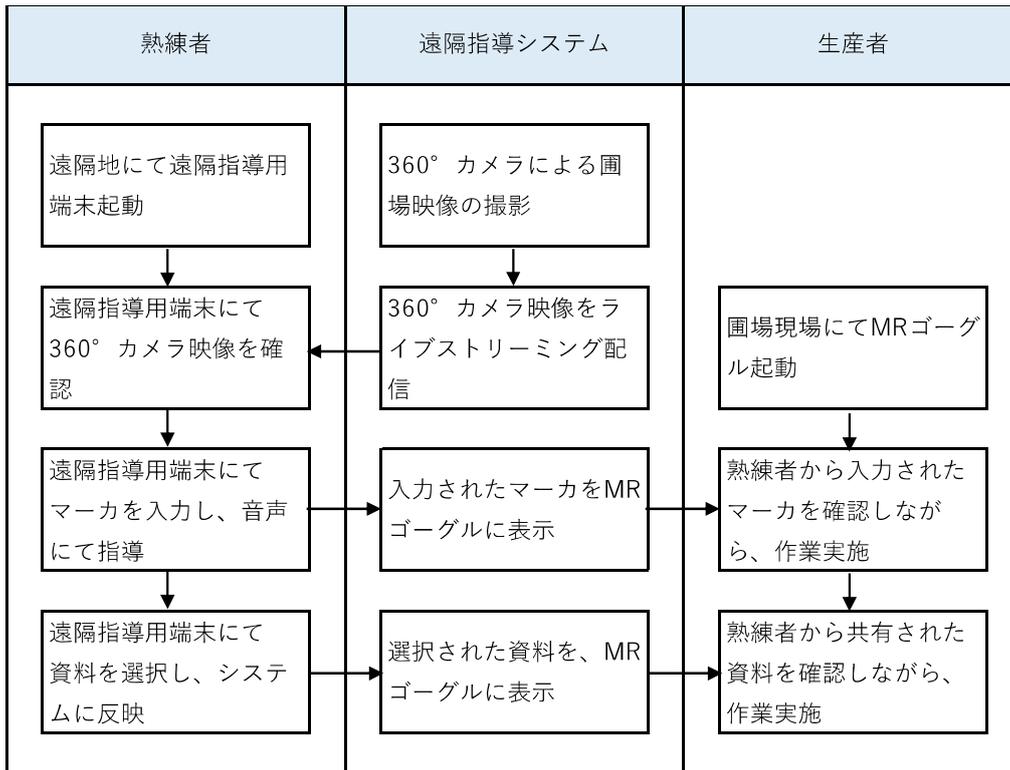


図 4.3.42 リアルメタバースを用いた遠隔指導の業務フロー案

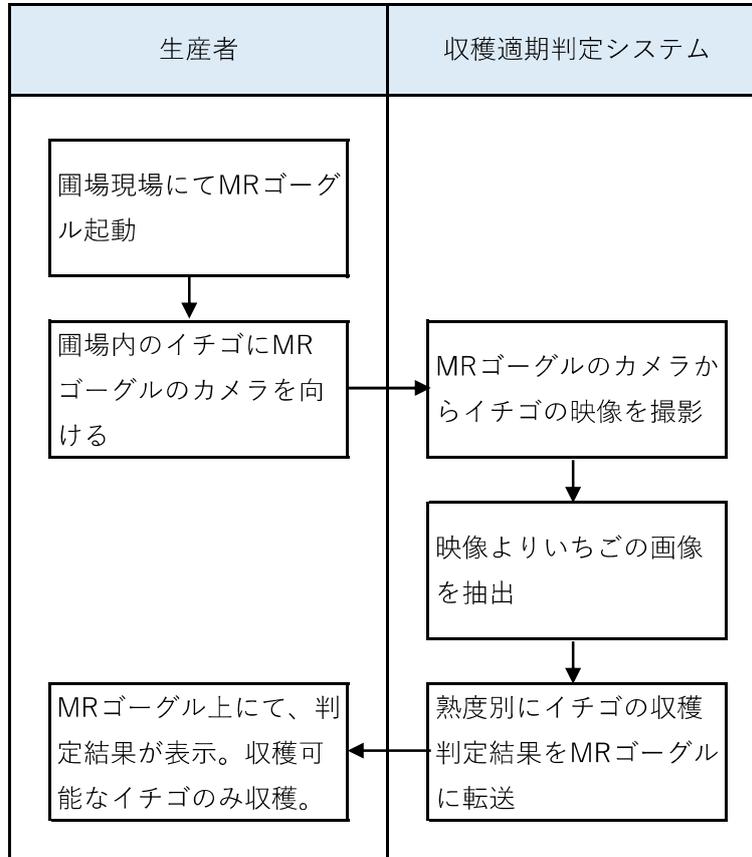


図 4.3.43 イチゴ収穫適期判定の業務フロー案

③ イチゴの自動収穫・運搬システム

営業時間前後の時間に自動収穫・運搬ロボットが自動的に起動し、イチゴの収穫を行います。ロボットにて撮影した映像から色彩判定を行い、収穫OKの場合のみロボットにて収穫作業を行います。収穫・運搬まで実施後、生産者が収穫したイチゴを目視で確認します。

(導入メリット (裨益者：農業従事者))

- ・遠隔地からイチゴ収穫ができることによる業務効率化
- ・自動収穫・運搬による人的稼働の削減
- ・定期収穫によるパックスの削減

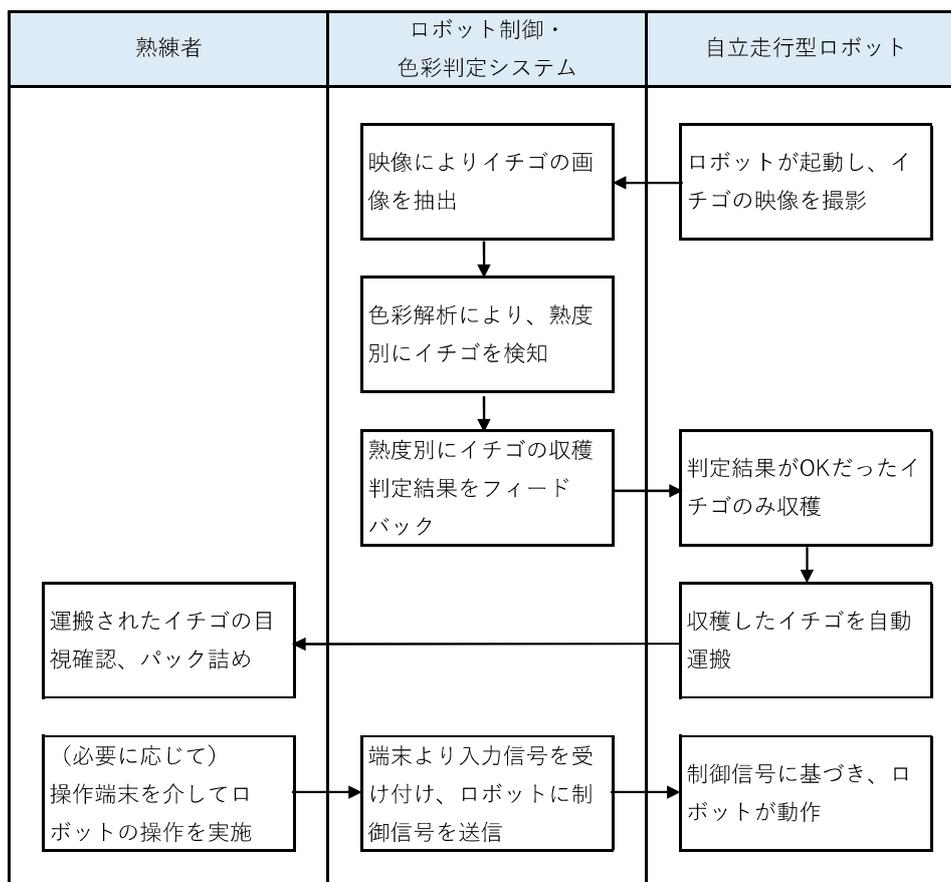


図 4.3.44 イチゴ収穫・運搬ロボットの業務フロー案

④ 遠隔ショッピング

複数台の360°カメラを同時運用し、カメラ映像からリアルメタバース空間を生成します。利用者は遠隔ショッピングアプリを通じて、メタバース空間上の商品閲覧、購入時に店員を呼び出します。店員は呼び出しに応じて、ローカル5G対応スマートフォンから利用者と直接会話による販売手続きを行い、商品を発送します。

(導入メリット (裨益者：道の駅運営団体))

- ・新規ユーザー開拓による収益向上
- ・地域物産の販売チャネルの拡大

- ・マーケットエリアの拡大(日本全国)
- ・メタバース技術を活用することによる購買意欲の向上

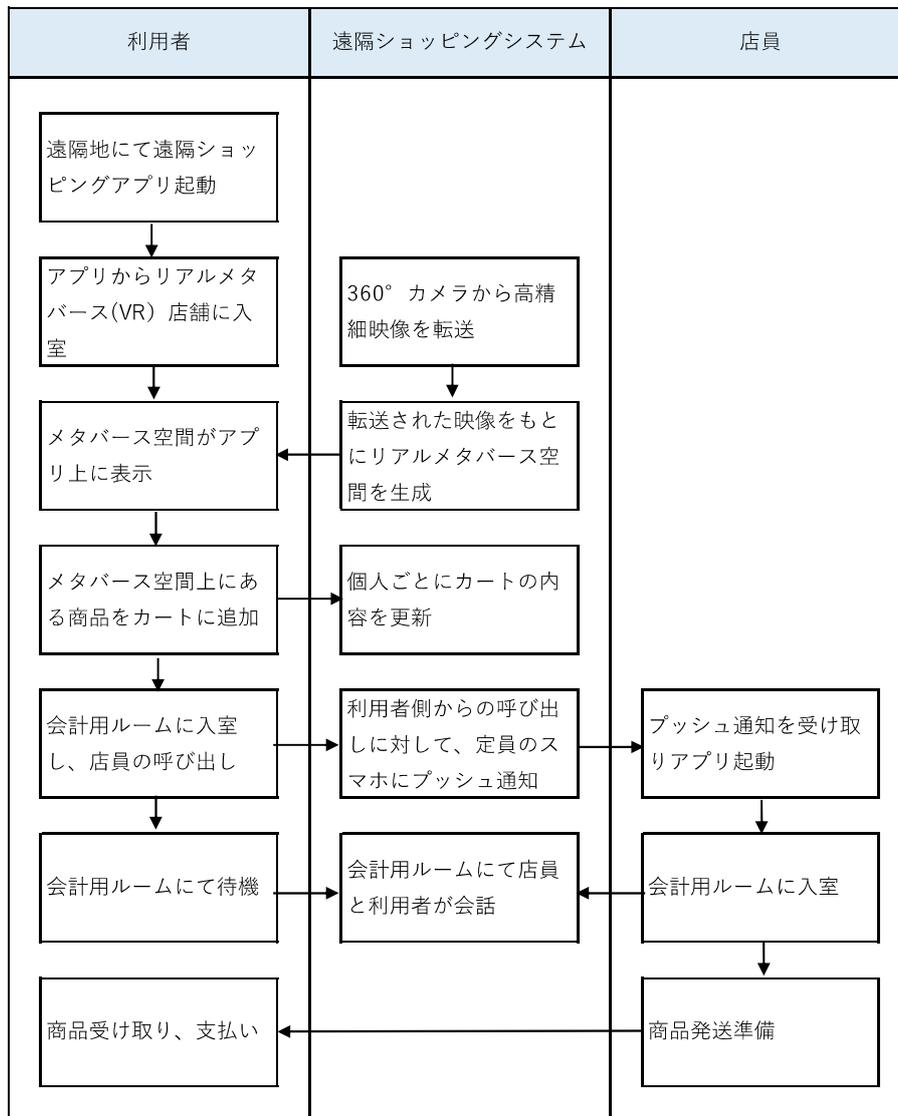


図 4.3.45 遠隔ショッピングの業務フロー案

c. ビジネスモデル

現時点でのビジネスモデルは、以下のとおりです。

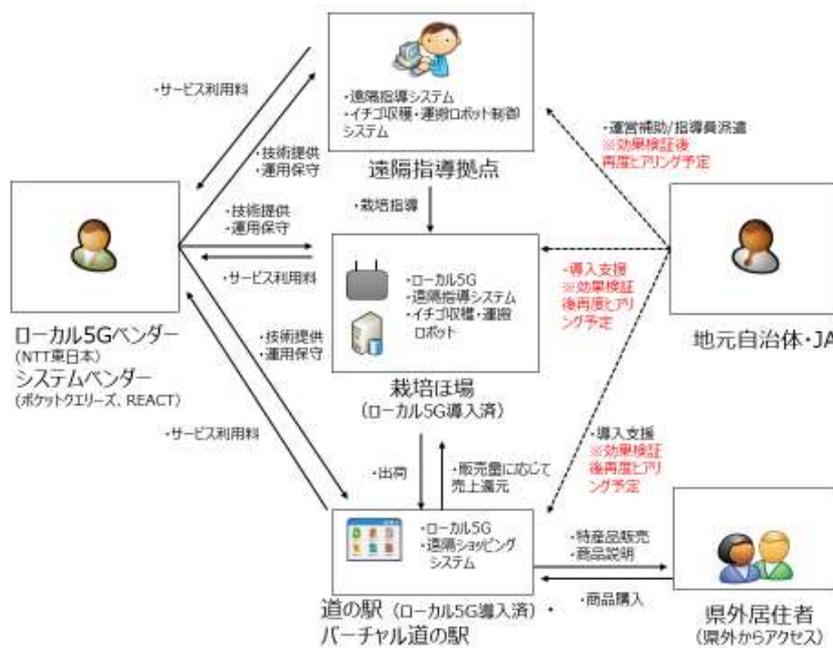


図 4.3.46 本実証ビジネスモデル

ローカル 5G 活用モデルを実現するためのビジネスモデルについて多角的な観点で検討し、精緻化にあたっては実証コンソーシアム構成員以外の関連事業者や団体、潜在的ユーザー等への意見聴取や調査を十分に行った上で、その検討経緯および整理した結果を記載いたします。

表 4.3.53 ヒアリング調査結果一覧

ヒアリング実施者	ヒアリング内容	検討結果
秋田県	秋田県の農業者の現状 秋田県におけるスマート農業の取り組みと課題、現状認識 本取り組みに対する期待	生産現場の高齢化、労働力人口不足が喫緊の課題である。後継者不足および新技術への理解不足も課題として認識している。 費用対効果については、今後更なる検証が必要であるが、作業効率化における効果は期待している。
湯沢市	湯沢市における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待	生産現場の高齢化、労働力人口不足が喫緊の課題である。後継者不足および新技術への理解不足も課題として認識している。 生産現場への実装率を高めることが必要。農作業の省力化への期待が高い。
大仙市 農業従事者 (A 氏、B 氏)	大仙市における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待	生産現場の高齢化、労働力人口不足が喫緊の課題である。後継者不足および新技術への理解不足も課題と

		して認識している。 費用対効果については、今後更なる 検証が必要であるが、作業効率化に おける効果は期待している。
鹿角市	鹿角市における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待	生産現場の高齢化、労働力人口不足 が喫緊の課題である。後継者不足お よび新技術への理解不足も課題と して認識している。 費用対効果については、今後更なる 検証が必要であるが、作業効率化に おける効果は期待している。
羽後町	羽後町における農業分野の課題と取組 本取り組みに対する期待	生産現場の高齢化、労働力人口不足 が喫緊の課題である。後継者不足お よび新技術への理解不足も課題と して認識している。 費用対効果については、今後更なる 検証が必要であるが、作業効率化に おける効果は期待している。
潟上市 (道の駅てんのう)	本取り組みに対する期待	費用対効果については、今後更なる 検証が必要であるが、作業効率化に おける効果は期待している。
由利本荘市 (道の駅象潟)	本取り組みに対する期待	費用対効果については、今後更なる 検証が必要であるが、作業効率化に おける効果は期待している。

2) 体制・役割分担

普及モデルを推進するにあたり、ローカル 5G 設備はマネージドサービスである「ギガらく 5G」にて展開します。これにより、利用者自身が免許人になる必要はなく、東日本電信電話株式会社がワンストップで申請から免許取得、構築・運用まで担います。本モデル展開にあたっての体制・事業スキームモデルを以下のように整理しました。

表 4.3.54 体制・枠割分担

ステークホルダ	業種業態	役割
【事業推進者】	東日本電信電話(株) (株)NTT アグリテクノロジー	<ul style="list-style-type: none"> ・事業モデルの継続化検討 ・各ステークホルダとの検討、調整 ・各ステークホルダの対応支援

【事業実施者】	東日本電信電話(株)	<ul style="list-style-type: none"> ・事業モデルの継続 ・圃場視察対応
【サービス提供事業者】	(株)ポケット・クエリーズ REACT(株) ※想定	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔指導システム、遠隔ショッピングシステムの構築・保守 ・自立走行型ロボットの構築、保守 ・システム構築・保守 ※REACTについては現時点で想定ベンダとなります ※収穫適期判定システムについてサービス提供事業者が未定です
【設備構築・保守者】	東日本電信電話(株)	<ul style="list-style-type: none"> ・システム構築・保守 ・通信回線提供、保守等
【免許人・無線従事者】	東日本電信電話(株)	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル 5G 免許の申請、取得
【事業協力・支援者】	(株)秋田食産・(株)恋する鹿角カンパニー・秋田県仙北地域振興局・大仙市・美郷町・潟上市・鹿角市	<ul style="list-style-type: none"> ・事業実施者との協力・支援 ・生産技術等の提供・支援 ・本実証ビジネスモデルの PR, 推進 支援 ・圃場視察対応 ※具体的な協力内容に関しては今後各団体と相談して記載します

3) 導入効果

a. 生産者の視点

自動収穫・運搬ロボットシステム、遠隔指導システムを導入することにより、既存生産者は、作業の効率化による時間の削減、労働負荷の軽減につなげられるかを検討しました。また、新規就労者にとっては、高度な就農スキルをシステムにて補完されることにより、農作業を始めやすくなるかを検証しました。

表 4.3.55 生産者の視点

検証項目	アンケート結果
生産者がより作業の効率化による時間の削減、労働負荷の軽減につなげられるか	<ul style="list-style-type: none"> ・作業量や作業時間が効率化された ・移動時間等が削減できた
新規就労者が就農スキルをシステムにて補完されることにより、農作業を始めやすくなるか	<ul style="list-style-type: none"> ・身に着けやすくなると思う ・さほど変わらないと思う

b. 道の駅の視点

産地直送コーナーがある道の駅を管理している、自治体や指定管理事業者に対し、ローカル 5G を活用した遠隔ショッピングシステムを導入することで、新たな販売チャネルの開拓やマーケットエリアの拡大により収益につながるような事業になりえるかを検証しました。

表 4.3.56 道の駅の支店

検証項目	アンケート結果
本システムを利用することで、収益に繋がると思うか	<ul style="list-style-type: none">・収益につながると思う・かなり効果があると思う
本システムを利用してどのような商品を販売したいか	<ul style="list-style-type: none">・くだもの、野菜、米、花き・自社商品、地産品加工品・市場に出回るまでに時間がかかる特産品等・収益性の高い高品質な農作物

(4) 実装性を高める手法の検討および実行

ローカル 5G 活用モデルの社会実装に向けて、実証期間中に障壁やミッシングピースを明らかにしました。本実証は農業分野の課題解決に向けたシステムとなっており、利用者も農業従事者を想定しています。令和 2 年度、3 年度の農業分野における実証においても提言した通り、ICT に不慣れた農業従事者がローカル 5G システムを利用することは多くの障壁があると考えます。具体的にはローカル 5G の運用に必要な無線技術の理解陸上特殊無線技士 3 級以上の資格取得があげられます。本実証に参加してもらう農業従事者にどのような支援策があればローカル 5G を自立的に利用できるか聞き取り調査を行い、その内容をもとに自治体や総合通信局にヒアリングし、どのような支援が可能かともに検討を行いました。なお、本実証にて利用するローカル 5G システムはマネージド型サービスで基地局の制御も遠隔で行えるため、農業従事者自身が無線従事者資格を有する必要はありません。このようにサービス機能の拡充により対応できることもあります、要件によってはオンプレミス型機器を選定し、自ら運用する可能性もあり得るため、ICT に関する教育は必要だと考えます。

また、ローカル 5G 活用システムに関する情報収集が難しいという点については、総務省が推進する「5G ソリューション提供センター」の活用が有効であると考えます。令和 4 年度事業としては 5G ソリューションに対する市場の興味喚起と興味を持ってから購買（問い合わせ）に至る動線分析（ボトルネックの確認）を目的にカタログサイトの有効性検証が行われました。引き続き 5G ソリューション提供センターの取り組みにより 5G 活用ユースケースに関する情報の集約やシステムの共同利用が進むと考えられます。

その他、本実証に係る普及啓発活動以外で、ローカル 5G 活用モデルの普及展開の加速に向け、ローカル 5G 活用モデルを同様の課題を抱える他のユーザー企業等や他分野への普及するための方策等については、本実証代表機関である東日本電信電話株式会社の営業活動にて補います。東日本電信電話株式会社は 2022 年 5 月よりマネージド・ローカル 5G サービス「ギガらく 5G」の提供を開始しました。「ギガらく 5G」はトータル IT アウトソーシング型サービスで、従来のオンプレ型と比較し、料金や構築・運用面でユーザー負担の少ない形で導入することが可能です。「ギガ

らく 5G」はローカル 5G を活用した地域課題解決を目標とするとともに、パートナー企業と連携し、ローカル 5G 活用モデルを創出することも目標としています。東日本電信電話株式会社では、「ギガらく 5G」提供以前からローカル 5G の社会実装を目指し、「ローカル 5G オープンラボ」を国立大学法人東京大学とともに開設しています。「ローカル 5G オープンラボ」ではパートナー企業やユーザー企業にローカル 5G を理解いただき、多様なユースケースの創出に取り組んでいます。今後も「ローカル 5G オープンラボ」の取り組みは継続し、創出されたユースケースと「ギガらく 5G」と組み合わせることでローカル 5G の社会実装がさらに進展すると考えます。



図 4.3.47 東日本電信電話株式会社のローカル 5G 社会実装に向けた取り組み

1) 検証項目

- ① 農業従事者への無線技術習得支援策について
農業従事者がローカル 5G 他、本実証システムの利用に当たって障壁を感じるポイントをヒアリングし、必要な支援策を明確化しました。
- ② 普及啓発活動以外のローカル 5G 社会実装に向けた施策について
ローカル 5G 社会実装に向けた取り組みとして、東日本電信電話株式会社では既に独自で「ローカル 5G オープンラボ」を設立して公開しております。この「ローカル 5G オープンラボ」の活動がローカル 5G の知名度や関心度の向上に有効であることを検証しました。

2) 検証方法

- ① 農業従事者への無線技術習得支援策について
農業従事者がローカル 5G システムの利用に当たって障壁を感じるポイントをヒアリングし、必要な支援策を明確化しました。その内容をもとに自治体や総合通信局に対してどのような支援が可能か、ともに検討しました。検討した支援策を再度農業従事者へフィード

バックし、アンケートによって支援策の有効性を検証します。

② 普及啓発活動以外のローカル 5G 社会実装に向けた施策について

ローカル 5G 社会実装に向けた東日本電信電話株式会社の独自の取り組みである「ローカル 5G オープンラボ」でのパートナー企業やユーザー企業へのローカル 5G や「ギガらく 5G」の説明や議論等の対応数を記録し、ローカル 5G の知名度や関心度の向上に貢献しているか検証しました。

3) 検証結果および考察

① 農業従事者への無線技術習得支援策について

実証期間中に本実証システム利用者や実証エリアの農業従事者にアンケートを取得し、自らローカル 5G 他実証システムを導入・運用するために必要とする支援を明らかにしました。その結果、システム利用に関する ICT 基礎講習の要望、導入補助と合わせて、そもそもローカル 5G のことがよくわからないという声も上がりました。

その後、アンケート結果をもとに自治体の農業振興課や地方総合通信局を訪問し、支援策が実現可能かヒアリングを行いました。東北総合通信局様へのヒアリングでは ICT 基礎知識や無線従事者資格取得が必要なシステム設計とするとそもそも利用ハードルが上がってしまうため、逆に農業従事者でも利用可能な設計とすることが重要なのではないかとご意見をいただきました。ご指摘のとおり、ローカル 5G およびスマート農業の黎明期である現時点においては、ユーザーが主体的にシステムの設計・運用することは難しく、専門知識がなくても利用できるようにベンダ主体での運用・設計とすべきと考えます。

また、費用対効果向上策として最近議論が進められているローカル 5G 共同利用モデルにも照らし合わせ、1 台の基地局を近隣の複数農家で利用可能と助言をいただきました。機器のシェアと合わせてローカル 5G もシェアすることで、運用費用を案分することができ、費用対効果の向上が期待できます。さらに、秋田県農林水産部スマート農業推進官とも意見交換を行い、機器やローカル 5G の共同利用の方針には賛同を得ました。導入補助についても継続的な検討を示していただきました。また、遠隔指導システムの指導者育成についても前向きな計画をいただいています。

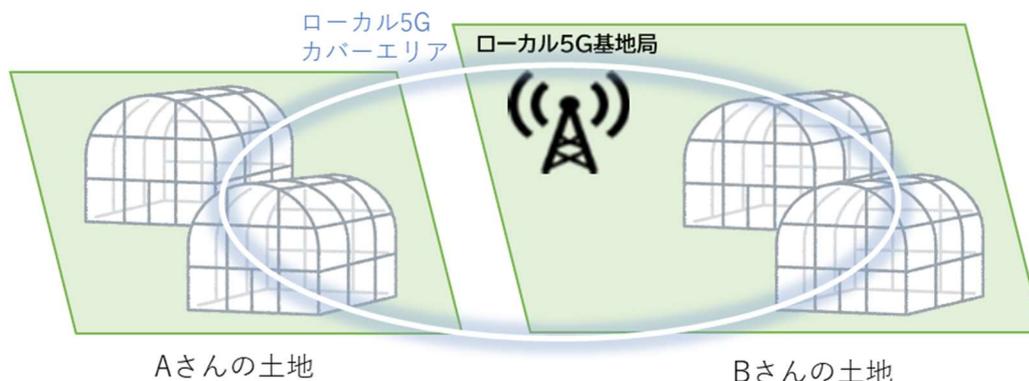


図 4.3.48 近隣農家との共同利用モデル

最後に、これらの補助・支援策のヒアリング結果をもとに再度農業従事者にフィードバックとしてアンケートを取得しました。ICT 知識とシステム設計の議論については、現場の意見としてもまだまだシステム設計上の課題が残っていることのご指摘を受け、知識がなくてもストレスなく使える設計が重要であるという結論となりました。一方で ICT 基礎講習への興味も示されており、システム UI 設計の向上をメインとしつつも、地域の中心的なスマート農業推進者向けには ICT 基礎講習を行うといった両輪での見直しが必要と考えます。また、共同利用については費用分担が可能という点で関心が高かったものの、現時点ではローカル 5G や各システムの知名度が低いこともあり、実現性が低いのでは、という回答でした。

以上のヒアリング結果から農業分野におけるローカル 5G および課題解決システム導入のミッシングピースとしては①専門知識がなくても直感的に利用できるシステム設計と、②具体的な共同利用モデルの提示および参加者募集に向けた周知・アピールがあると考えます。

①のミッシングピースの中でもローカル 5G の運用については、ギガらく 5G のように原則遠隔運用・監視とすることで利用者が必ずしも有資格である必要はない運用が可能となり、負担軽減を実現しましたが、各システムについても直感的な操作性が求められます。UI の改修等は今後の開発スコープにも入っているため、引き続きユーザーの声を聴きながら受け入れられやすいシステム設計を目指します。②についてはローカル 5G の共同利用の議論が進む中で条件が具体的になれば本実証における共同利用グループの形態や、エリア範囲、具体的な費用を定義することができ、イメージを持っていただきやすくなると考えます。共同利用者募集に向けた周知としては、秋田県農林水産部や秋田県立大学との協力により可能と考えます。秋田県農林水産部には指導員派遣等の協力を得る中で対象作物も増え、県内周知が進むと考えられます。秋田県立大学においては「スマート農業指導士育成プログラム」が独自に開設されており、これらのプログラムと協力することで県内のスマート農業に意欲的な農家への関心を得るとともに、本実証エリア以外のスマート農業推進者を増やすことにつながると考えます。



図 4.3.49 秋田県立大学スマート農業指導士育成プログラム概要

これらの取り組みにより今回明らかになったミッシングピース解消を目指します。
各ヒアリング結果の詳細は以下の図のとおりです。

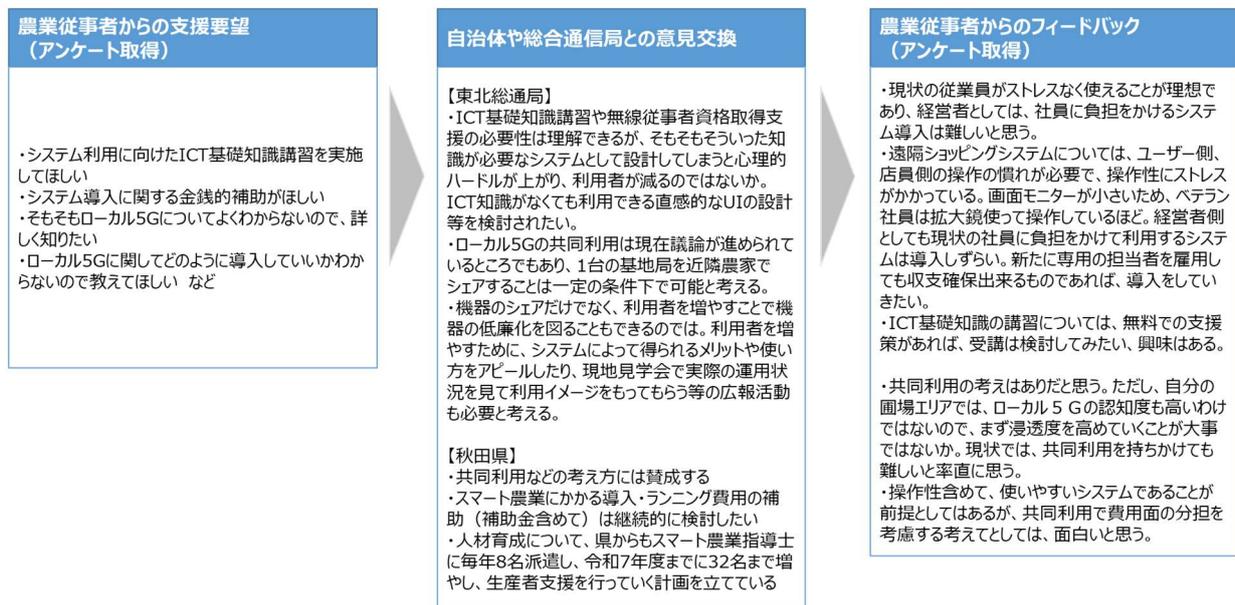


図 4.3.50 農業従事者への無線技術習得支援策ヒアリング結果

② 普及啓発活動以外のローカル 5G 社会実装に向けた施策について

ローカル 5G 社会実装に向けた東日本電信電話株式会社の独自の取り組みである「ローカル 5G オープンラボ」でのパートナー企業やユーザー企業へのローカル 5G の説明や議論等を実施した対応数は以下のとおりでした。

令和3年度までのローカル5Gオープンラボの対応数	令和4年度におけるローカル5Gオープンラボの対応数
・対応数 205社	・対応数 413社
【主な検証事例】 ・スマート工場実現に向けた物流倉庫内の動態把握検証 ・スマート農業実現に向けたスマートグラス等を活用した遠隔営農指導検証 等	【主な検証事例】 ・「新たな働き方」の実現に向けたテレワーク環境でのリアルとバーチャルの融合利用検証 ・高精細なカメラ映像を用いた遠隔での高度な現場把握・作業支援検証 等

図 4.3.51 東日本電信電話株式会社ローカル 5G オープンラボ利用実績

4.3.3 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出および解決策の検討

(1) ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題

本実証の検証結果を踏まえ、ローカル 5G 活用モデルの実現や実装に係る課題について以下に記載します。

1) 技術的な課題

本実証で構築したローカル 5G 活用モデルを実装に向けた技術的課題について「本実証で判明した課題」と「生産者・利用者からの改善要望」の2つに分けて検討しました。

「本実証で判明した課題」については、引き続き解決に向けて検証を続けていき、実装に向けて検討を行っていく予定です。

「生産者・利用者からの改善要望」については、本実証の取り組み内容には含まれていないものの、今後のシステム開発に向けた貴重な示唆として、コンソーシアム各社とも共有し、実現可否等の検討を進めます。

① 本実証で判明した課題

本実証で構築した課題解決システムを今後実装させるためには、4.3.1 および 4.3.2 で述べた、各ソリューションの技術的課題を解決する必要があります。

表 4.3.57 本実証で判明した技術的課題

システム名	課題内容
遠隔指導システム	・利用時間や天候・ライト等による光源の有無によって色味が変わった際にも同様の質を担保できるか。
イチゴ自動収穫・運搬システム	・圃場内に特徴点（太いポールや、柱等）が少ないと、自動走行エリアを作成しても、システムが判別しづらい。 ・ハウスのビニールはレーザーを吸収しやすいため、端レーンが走行可能かは試験しないとイケない。

	<ul style="list-style-type: none"> ・収穫するイチゴは特定の色の面積による画像判定で選別しているが、果実自体が大きいイチゴが収穫適期にもかかわらず熟しすぎていると判定され、複数に重なっていると1つとして認識することがある。
--	---

② 生産者・利用者からの改善要望

一方で、本実証の中で生産者や利用者から、より実態に沿った運用をするための改善点についてご意見をいただきました。これらの改善が技術的に可能かどうかは、今後、検討を進めるとともに、コンソーシアムメンバーからも引き続きご意見をいただきながら、議論を進めていきたいと考えています。

表 4.3.58 生産者・利用者からの改善要望

システム名	改善要望内容
遠隔指導システム	<ul style="list-style-type: none"> ・収穫適期は収穫目的（観光農園か販売用か）や出荷先によって異なるため、それぞれのケースに合った収穫適期判定ができるようになって欲しい。 ・イチゴの品種によって最適な収穫タイミングが異なるため、品種ごとに判断できるようになって欲しい。
イチゴ自動収穫・運搬システム	
遠隔ショッピングシステム	<ul style="list-style-type: none"> ・呼び出し通知をバックヤードで受けることが多いが、ところにより電波が不感となり通知が受け取れないことがある。

2) 導入効果、機能、運用に関する課題

本実証による導入効果として、これまで起きていたロスの削減や新規就労者に対して営農を始めやすい環境の実現、購買機会の創出による売り上げ増加させることが可能となります。現在の業務フローと新規システム導入フローの比較をしていくことで、業務フローを確立し、実装に向けた効果と課題を抽出する等の検証を行いました。

① AI 学習期間の必要性について

収穫適期判定システムを利用するためには事前にAI学習のための期間が必要です。データは、イチゴ一個あたりが10秒程度撮影された動画が最低でも100ファイル必要であり、これらを撮影するには数日～数週間の学習期間が必要となります。映り方等は圃場ごとに異なるため、導入する圃場ごとのデータが必要となります。そのため、システム導入後すぐに利用をすることができず、イチゴやコーヒーの収穫期の一部は学習期間として確保しなければならないため、一定期間効果が見込めないという課題があります。

② 収穫・運搬ロボットの収益について

収穫・運搬ロボットの経済効果は、現在廃棄しているイチゴの削減効果に比例するため、削減できる量に限度があることから、一定以上の経済効果を得るのが難しいと考えられま

す。削減効果以外のコストメリットを遡及できるのかという課題があります。

3) 普及方策に係る課題

① 導入・運用費用面

総務省令和2年度および令和3年度開発実証においては、ローカル5G機器のコストが大きな導入障壁となっていたところ、本実証においてはコア装置をデータセンターに設置し、保守・運用も含めたマネージド型ローカル5Gを採用することでトータルコストを抑えることができました。

しかし、圃場の大きさや立地等によって、必要なアンテナの数が異なるため一概にコストメリットが出るわけではないことが課題となります。

② システムの汎用化について

普及展開を推進するにあたり、汎用的なシステムの検討を行ってはいるものの、収穫・運搬ロボットや、遠隔ショッピングのカメラについては、機器が適切に動作するための条件があり、一部の圃場や施設では利用が制限される部分が存在してしまいます。普及展開するにあたり障害になってしまう課題であると考えられます。

4) その他の課題

一般的に言われている課題ではあるものの、本実証でも課題として出てきた事象について下記に記載します。

AIの機械学習は一般的に人間が判別するときの要素(色、形等)とは違う尺度(0,1)で判別しているため、その尺度を人間が理解するのは難しいとされています。そのため、判定過程がブラックボックス化してしまうという問題があります。本実証でも遠隔指導システム内で、AIを用い収穫適宜判定を行っておりますが、生産者様からのご意見でイチゴは必ずしも形がいいものが美味しいとは限らないと言われており、AIが導き出したロジックがわからない以上、人間が感じる美味しさと一致できていない可能性があります。

(2) ローカル5G活用モデルの実装に係る課題に対する解決策の検討

前項で示した、課題とそれに対する具体的な解決策と根拠について下記の表にまとめました。

表 4.3.59 課題に対する解決策と根拠

課題	解決策	解決策の根拠と具体案
【遠隔指導システム】 利用時間や天候・ライト等による光源の有無によって色味が変わった際にも同様の質を担保できるか。	複数条件下において、追加で実証を行い、条件によって精度にどのくらい変化があるか検証する必要がある。	この課題の解決策としては、実際に現地での実証の際の結果から光源の有無による精度の差が出る可能性があることから、ライト等を用いた、新たな検証が必要だと考えられる。 実証期間・エリアの都合上、天候条件を複数そろえることは難しいため、疑似的に光の当

課題	解決策	解決策の根拠と具体案
		たり具合をライト等で調整し、複数条件を作り検証する必要があると考えられる。
<p>【遠隔指導システム】 収穫適期は収穫目的（観光農園か販売用か）や出荷先によって異なるため、それぞれのケースに合った収穫適期判定の調整が必要となる。</p>	<p>収穫してから消費者のもとへイチゴが届く期間に応じて複数パターンの教師データを学習させる等の検証が必要。 ※学習期間が必要なため本実証では取り組まない。</p>	<p>この課題は生産者からでてきた課題で、実証前に想定していなかった課題ではあるが、営農する上でイチゴの収穫目的は多岐にわたるため、普及展開を考える上では、検証が必要になると考えられる。 AI へ読み込ませる際の教師データを変える等して検証することが必要と考えられるが、最適なイチゴを判別し、そこから読み込ませるという作業を考えると期間を要するため、検証を行っている大学側と内容については相談を行う。</p>
<p>【遠隔指導システム】 イチゴの品種によって最適な収穫タイミングが異なるため、品種ごとに判断できるようになって欲しい。</p>	<p>品種ごとに読み込ませる教師データを変える等の検証が必要。 ※学習期間が必要なため本実証では取り組まない。</p>	<p>この課題は、生産者からでてきた課題で、実証前に想定をしていなかった課題ではあるが、イチゴの品種は多くあるため普及展開を考える上では、検証が必要になると考えられる。 AI へ読み込ませる際の教師データを変える等して検証することが必要と考えられるが、最適なイチゴを判別し、そこから読み込ませるという作業を考えると期間を要するため、検証を行っている大学側と内容については相談を行う。</p>
<p>【収穫適宜判定】 イチゴやコーヒーの収穫期の一部は学習期間として確保しなければならないため、一定期間効果が見込めない</p>	<p>ローカル 5G 活用モデルとしてサービス化した際は、初年度は学習期間が必要であることを明記したうえでサービス提供を行う</p>	<p>AI 学習期間の必要性について、正確なデータを収集・分析するためには少なくとも数日～数週間の期間をかけてイチゴ一個あたり 10 秒程度撮影した動画 100 ファイルの画像データが必要となることから</p>
<p>【収穫・運搬ロボット】 削減効果以外のコストメリットを遡及できるのか</p>	<p>最大効果が一定以上より出しづらいため、生産者が導入をしやすくするために左記の取り組みの実施を検討</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本実証についてのヒアリングを実施する際（2 月上旬予定）に認知を広げ社会的ニーズを増やし、価格の低下を図る ・自治体等が主導する共同利用モデルを確立するために、実装の可否について自治体へヒアリング（2 月上旬予定）を行う。

課題	解決策	解決策の根拠と具体案
		<ul style="list-style-type: none"> 生産者へは、秋田県による夏秋イチゴへの取り組みと協力し、年間通して活用することで、コストペイがしやすい仕組み作りを検討する。 ロボット自体の仕組みとして、移動ロボットと、イチゴ収穫機能モジュールに分けられるため、各生産者や地域に合わせて他品目の収穫機能モジュールや農薬散布機能モジュールと取り換えることで、現在廃棄しているイチゴの削減以外の効果を目指す。(既に宇都宮大学にて検討中)
<p>【収穫・運搬ロボット】 収穫するイチゴは特定の色面積による画像判定で選別しているが、果実自体が大きいイチゴが収穫適期にもかかわらず熟しすぎていると判定され、複数に重なっていると1つとして認識することがある。</p>	<p>イチゴの果実自体の大きさのばらつきや、複数に重なっているイチゴ等の状況に合わせた色判定機能の調整をする。 ※学習期間が必要なため本実証では取り組まない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 今回の実証では赤のみで色判定を行ったが、他の色も判定に活用することで、果実の大きさのばらつきや複数に重なっている果実の判定に対応する。 収穫するイチゴの条件を洗い出し、特定の条件に合致するものだけを収穫するように条件整理を行ったうえで判定調整を行う。
<p>【導入・運用費用面】 サービス化によりコスト削減はできているが、圃場の大きさや立地等によって、必要なアンテナの数が異なるため一概にコストメリットが出るわけではない</p>	<p>サービス提供の際は、現場調査等によりサービスでかかるコストと生産者の収入を比較したうえでサービス提供を行う</p>	<p>本実証においてはコア装置をデータセンターに設置し、保守・運用も含めたマネージド型ローカル 5G を採用することでトータルコストを抑えることができているが、圃場の広さや立地によってアンテナの数等が大きく異なることから、コストメリットが出ないケースも考えられる。 そのため、ユースケースを作りどの規模や立地であれば良いのかを検討し続けていく</p>

4.3.4 ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開

(1) 実装・普及展開シナリオ

本実証で構築するローカル 5G 機器および遠隔指導、自動収穫・運搬ロボットと遠隔ショッピングに係るシステムについて、実証中に発生した課題を抽出・整理し、一般市場における実装に向けた検証を行いました。

なお、本実証終了後も、引き続きローカル 5G 通信基盤を活用したスマート農業加速化実証を行い、実証フィールドにおけるスマート農業に関する精度向上・効果検証を行っていくため、一部課題については次年度への繰り越しとします。

1) 実装シナリオ

現在、農業分野における課題として、高齢化による農業従事者の高齢化による生産者の減少、生産者の高齢化から世代交代等を機に耕作放棄地が近年増加しています。持続可能な農業を実現していくためには、農業の担い手の確保・育成が必要ですが、特に後継者不足の課題があります。

また、初期投資の壁や技術ノウハウ伝承の壁等もあり、新規就農が難しいという課題があります。このような課題を踏まえて、農業の生産性を向上し、より効率的な農業経営力を高め、新規就農が始めやすい環境を作っていくことが必要です。農業分野全体の課題と、生産から販売までの課題を今回のローカル 5G を活用した実証を行いました。以下、3つの方向性により、本実証を社会全体の課題解決へとつなげ、実装へとつなげていきます。

- ①IT の活用による農業生産性の向上(コスト・負担の軽減)
- ②付加価値の創出
- ③新規就農者増加や移住定住者の創出

2) 実装・横展開の可能性

近年の施設栽培は、収益性を優先した作物を選定し、生育状況のコントロールや収集したデータを活用する IT 化が進んでいます。本実証モデルは、施設園芸の大規模化、農業従事者の減少等の課題解決に向けて、作業の効率化・省人化を促進するモデルが今後より求められていることを想定し、横展開に資する普及モデルを以下の通りに想定しました。

表 4.3.60 想定事業モデルおよびターゲット(※)

想定事業モデル	主なターゲット	
	環境・ニーズ	ステークホルダ
【自治体推進モデル】 自治体により地域農家にスマート農業システムを提供するモデル	<ul style="list-style-type: none"> ・人手不足や高齢化を抱えている地域 ・耕作放棄地が多くあり、新規就農者による事業化を推進する地域 ・兼業農家の支援強化を推進する地域 	<ul style="list-style-type: none"> ・スマート農業を推進する自治体 ・上記自治体内に所在する農家／農業法人

<p>【サービス提供者推進モデル】 実証にて実施した遠隔指導技術、収穫・運搬ロボット技術、リアルメタバース遠隔ショッピング技術、ローカル 5G 等の通信インフラ等を提供した事業者がサービスとして展開推進するモデル</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・サービスの普及展開を推進する ・本事業モデルで解決できる課題を持つ地域 	<ul style="list-style-type: none"> ・サービス提供者 ・サービスを利用したい農家／農業法人
--	---	--

(※) 喫緊の課題である地方都市における労働人口の減少への対応策として、関心が高いであろうステークホルダを記載しております。

① 対象となるシステム

2025年までに農業の担い手のほぼ全てがデータを活用した農業を実践できるよう施策を集中展開していくと農林水産省は推進しています。今まで以上に、農業データの活用が促進されており、生育状況のコントロールや収集したデータを活用するデータ駆動型農業が求められ、更なる高度化が重要であると考えています。本実証で取り組むモデルを、普及に資するソリューションパッケージとして以下の構成で推進しました。

ア) ローカル 5G 環境

キャリアグレードの本格的な 5G スタンドアロン機能を事前手続きから運用までトータル ITO をワンパッケージにし、低価格で実下するマネージド・ローカル 5G サービス「ギガらく 5G」を利用しました。

イ) 遠隔指導システム

MR ゴーグルを活用した収穫適期判定技術や 360° カメラを活用して確認し、現場に配置したドキュメントをホログラム越しに確認、現場空間へのマーキングによる指示を音声会話や映像を見て作業実施ができるように連携しました。

ウ) イチゴの自動収穫・運搬システム

高精細 4K カメラを搭載した自動収穫・運搬ロボットをビニールハウス内で自立走行させハウス内のイチゴを自動収穫し、収穫したイチゴを運搬ロボットの上においたトレイと連携することで夜間での収穫作業を実現できるようにします。また、ロボット等に問題が生じた際には、遠隔から信号を送りロボットの遠隔制御も可能なものとなりました。

エ) 遠隔ショッピング

複数台の高精細 360° カメラを用いて、リアルメタバース空間に入って商品を閲覧・購入することを可能にしました。顧客満足度の向上、およびコロナ渦による収益減に対応した施設運営の実現を目指しました。

② 詳細の前提条件

本システムは特定地域や特定ユーザー固有のモデルではなく、汎用的なシステムとして普

及が可能なシステムと想定しており、前述に記載したソリューションおよびシステムの他地域への普及を推進しました。

表 4.3.61 前提条件

前提条件	理由
ローカル 5G 環境であること	<ul style="list-style-type: none"> ・キャリア 5G 等の無線環境が整備されていない地域においても、高速かつ高品質なローカル 5G が必要であるためです。
機器導入・保守費が低価格であること	<ul style="list-style-type: none"> ・利用者の規模によらず、費用対効果が得られやすくするためです。
関連団体・自治体等と連携すること	<ul style="list-style-type: none"> ・既存生産者のみではなく、新規就農者、移住者、農業ビジネスへの投資者等の多くのステークホルダが、事業モデルを活用する主体となることのできるためです。 ・ノウハウがなくても、本事業モデルを活用することで農業の新規参入をサポートすることができ、スタートアップの支援となることのできるためです。 ・同様の地域課題を持つ自治体の先行事例として推進することで、他のエリアへの普及展開が促進されるためです。

③ 運用ノウハウ

本実証の普及展開モデルにおいては、高度な運用ノウハウを必要とせず、既存の生産者だけではなく、新規就農者がスタートしやすいようなシステムモデル となることを目指しました。また、IT に精通しない方でも利用しやすいシステムの 構築・提供を目指していきました。

④ 体制・事業スキームのモデル

普及モデルを推進するにあたり、ローカル 5G 設備の主な利用者および利用方法・利用シーンは以下を想定しております。

表 4.3.62 主な利用者

利用者	利用方法・利用シーン
生産者	<p>自営設備として自身の栽培ハウス等に構築し、独自利用可能。 本実証システムをはじめとしたスマート農業システムへの利用が可能。</p>
自治体推進	<p>農業分野の普及モデルのみではなく、防犯・防災といった地域課題解決に向けた複数分野での利活用が可能</p>

本モデルの展開にあたっての体制・事業スキームのモデルを下記の通り整理しました。

表 4.3.63 体制・事業スキーム

ステークホルダ	業種業態	役割
【事業推進者】	東日本電信電話(株) (株)NTT アグリテクノロジー	NTT 東日本 ・事業モデルの継続化検討 ・各ステークホルダとの検討、調整 ・各ステークホルダの対応支援 NTT アグリテクノロジー ・農業従事者への普及展開活動
【事業実施者】	東日本電信電話(株)	・事業モデルの継続 ・圃場視察対応
【サービス提供事業者】	(株)ポケット・クエリーズ REACT(株) ※想定	・遠隔指導システム、遠隔ショッピングシステムの構築・保守 ・自立走行型ロボットの構築、保守 ・システム構築・保守 ※REACTについては現時点で想定ベンダとなります ※収穫適期判定システムについてサービス提供事業者が未定です
【設備構築・保守者】	東日本電信電話(株)	・システム構築・保守 ・通信回線提供、保守等
【事業協力・支援者】	(株)秋田食産・(株)恋する鹿角カンパニー・秋田県仙北地域振興局・大仙市・美郷町・潟上市・鹿角市	・事業実施者との協力・支援 ・生産技術等の提供・支援 ・本実証ビジネスモデルの PR, 推進 支援 ・圃場視察対応 ※具体的な協力内容に関しては今後各団体と相談して記載します

⑤ 導入効果

ア) 生産者の視点

遠隔指導システムを活用した遠隔営農や収穫適期判定、自動収穫・運搬ロボットによる収穫作業、リアルメタバースを活用した遠隔ショッピングを導入することにより、既存生産者は、より事業の効率化・省人化、販売の最大化につながられるかを検討しました。また、新規就労者にとっては、農業のノウハウをシステムにて補完されることにより、事業を始めやすくなるかを検証しました。

イ) 事業支援者の視点

地域にて農業事業を推進する立場にある、自治体や関連団体において、農業のスマート化の実施により、若者を中心とした新規就農者を増やし、移住や定住につながる事

業となりえるモデルとなれば、地域活性化へも貢献につながるのか検証しました。

ウ) サービス提供事業者の視点

本事業を実施することにより、人手不足や高齢化の改善、遠隔操作による作業負担の軽減や一人当たりの耕作面積の拡大に寄与するのかを明確にし、導入効果および有用性について検討しました。

エ) 事業推進者の視点

NTT グループは地域密着型の企業のため、サービスを導入することにより地域への還元(CSR)向上に寄与することができ、また利益面においても通信事業者として導入時の通信利用料や機器等の利益を図ることができます。

(2) 実装計画

本実証の実装計画は、次頁の「実装計画要約シート」のとおりです。

本実証にて使用する機器については、実証期間中から利用者にて所有することを想定しており、最低限令和5年度末までは所有者が明確となっています。令和6年度以降も引き続き利用者にて所有してもらい、継続利用してもらうことを前提として計画を立てています。令和6年、7年はコンソ内実装、令和8年度以降については横展開を計画しておりますが、コストについては適宜計画を見直し、機能改善も行いながら精緻化を目指します。マイルストーンとしては令和4年度実証終了後及び令和5年度実証終了後に見直すこととします。

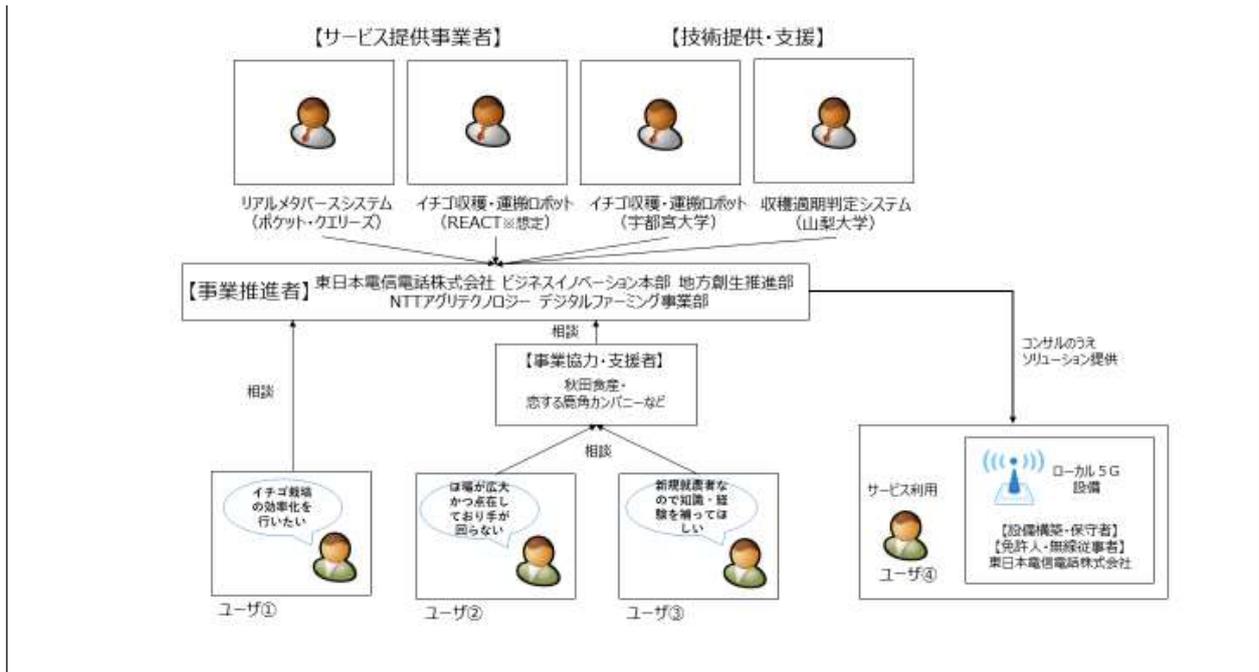
1) 実装計画の作成方法

実装計画は令和4年度実証結果および令和5年度実証結果を踏まえて見直しを行います。実装に当たっては特に費用対効果が重要になると考えました。令和6年度からユーザー負担での利用となるため、令和5年度の検証結果をもとに検討、決定しました。経済効果と利用料を精査しつつ、本実証コンソーシアムに参加している企業からのコンサルティングや助言を踏まえてビジネスモデルや実装計画の精緻化を行いました。

2) 実装計画の要約

■実装計画要約シート

開 02 代表機関名	東日本電信電話(株)	分野	農業
実証件名	ローカル 5G を活用した自動収穫ロボットや AI 画像認識等による農産物の生産・収穫工程の省人化の実現		
実施体制			



		令和4年度 (2022)	令和5年度 (2023)	令和6年度 (2024)	令和7年度 (2025)	令和8年度 (2026)	令和9年度 (2027)	令和10年度 (2028)
実装計画	遠隔指導システム	開発実証	課題対応			横展開		
	イチゴ収穫・運搬ロボットシステム	開発実証	課題対応			横展開		
	遠隔ショッピングシステム	開発実証	課題対応			横展開		
	ローカル5Gシステム	開発実証	実装					
収支計画 (千円)	(1) ユーザーから得る対価	0	0	2,700	2,700	9,100	9,100	9,100
	(2) 補助金・交付金	0	0	0	0	0	0	0
	(3) 収入 (1)+(2)	0	0	2,700	2,700	9,100	9,100	9,100
	(4) ネットワーク設置費	0	0	0	0	0	0	0
	(5) ネットワーク運用費	0	0	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
	(6) ソリューション購入費	0	0	0	0	1,500	1,500	1,500
	(7) ソリューション開発費	0	0	5,000	3,000	0	0	0
	(8) 支出 (4)+(5)+(6)+(7)	0	0	9,000	7,000	5,500	5,500	5,500
	(9) 収支 ((3)-(8))	0	0	-6,300	-4,300	3,600	3,600	3,600

収入、支出の算定根拠

<収入内訳>

- ・遠隔指導システム・AI収穫適期判定システム：50万円（遠隔指導利用者から1回1,000円の利用料を回収）
- ・イチゴ収穫・運搬ロボットシステム：100万円
- ・遠隔ショッピングシステム：120万円

※いずれもローカル5G等ネットワーク運用費および電気料金等の支払いも含む

<p>※R6 年度以降のユーザー負担額は現時点での想定金額であり、具体的なユーザー負担額は各年度の予算化によって変動する可能性があります。</p> <p><支出></p> <p>各システム以下の機能改修のために令和 5 年度以降の開発費用が発生する見込みです。</p> <p>【遠隔指導システム】</p> <ul style="list-style-type: none"> リアルメタバース技術 <p>収穫適期判定システムとの連携や UI 画面のユーザービリティ向上等 R6 年度：100 万円、R7 年度：50 万円</p> <ul style="list-style-type: none"> 収穫適期判定システム <p>多品種・他作物への対応や AI 学習結果の共有方法、販売体制の整備等 R6 年度：100 万円、R7 年度：100 万円</p> <p>【イチゴ収穫・運搬ロボット】</p> <p>ロボットの自動走行アルゴリズムの向上、収穫作業用ロボットのアルゴリズムの向上、販売体制の整備等 R6 年度：200 万円、R7 年度：100 万円</p> <p>【遠隔ショッピングシステム】</p> <p>360 度カメラの動画連動、UI 画面の操作性の向上、スマートフォン OS への対応等 R6 年度：100 万円、R7 年度：50 万円</p> <p>ソリューション購入費（およびソリューション運用費）は現時点では明確には定まっていないため、商用化した場合の想定利用料として仮の金額を記載しています。</p>			
実装を確実にするための取組		どのようにして（手段、取組方法、アウトカム）	いつまでに
	提供コスト低減		
	ソリューション追加開発		
	顧客開拓	収穫・運搬ロボットの収益について	令和 8 年度まで
	運用面の改善	AI 学習期間の必要性について	令和 8 年度まで
	ルールメイキングへの貢献		
	<p>計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達等） 2 月 13 日時点で、効果検証の途中のため、検証終了後記載します。</p>		

a. 実施体制

本実証で構築したローカル 5G システム、遠隔指導システム、イチゴ収穫・運搬ロボットシステム、遠隔ショッピングシステムについては本実証終了後（令和 5 年度以降）も継続利用し、サービス提供の実現に向けて、次年度において、引き続き取り組んでまいります。

また実証期間中から各設備の所有権が各拠点の事業者（(株)秋田食産、(株)恋する鹿角カンパニー等）に帰属しております。システムの有効性を事前に体験いただいたうえで、継続利用に前向きに検討していることから、以下の実施体制で実装を進めてまいります。

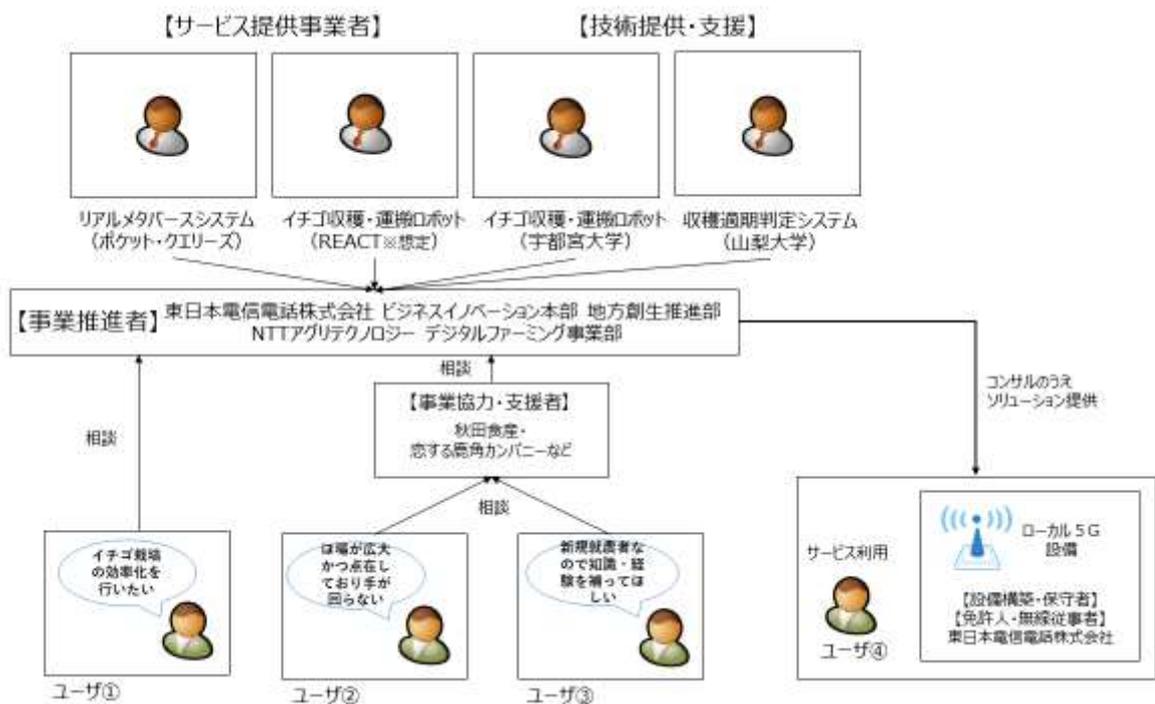


図 4.3.52 実施体制図

表 4.3.64 ステークホルダと役割

ステークホルダ	役割
【事業推進者】 東日本電信電話(株) ビジネスイノベーション本部 地方創生推進部・ 秋田支店 ビジネスイノベーション部 (株)NTT アグリテクノロジー デジタルファームング推進部	NTT 東日本は本実証システムをパッケージ化し、各ステークホルダと協力して普及・横展開を促進する。 NTT アグリテクノロジーは本実証地域外へ普及・展開を視野に入れ、他地域のステークホルダへ本実証システムの紹介・提案活動を実施する。
【サービス提供事業者】 (株)ポケット・クエリーズ XR 事業本部 REACT(株) ロボット事業部 ※想定	本実証でリアルメタバース空間を活用した遠隔指導システムと遠隔ショッピングシステムの開発・構築を担う。ローカル5Gシステムと組み合わせた、高精細映像によるリアルメタバースシステムの開発を行う。 REACTは宇都宮市の宇都宮大と同大発のベンチャー企業で、宇都宮大学と連携しながら、ロボットおよび収穫システムの開発・構築を担う。 ※REACTについては現時点で想定ベンダとなります。 ※収穫適期判定についてはサービス提供者が未定です。
【設備構築・保守者】 東日本電信電話(株) ネットワーク事業推進本部設備企画部・ 秋田支店 ビジネスイノベーション部・設備部	ローカル5G等ネットワーク環境の構築・提供を行う。 ローカル5Gの市場動向を鑑み、コンサルティングを実施したうえで各ユーザーに適した機器の選定を行う。 ローカル5Gに限らず各ユーザーが本実証を利用するために必要なネットワーク環境（基地局設置環境整備やVPN網整備等）全般の構築を行い、適宜保守業務も請け負う。

ステークホルダ	役割
<p>【免許人・無線従事者】 東日本電信電話(株) SA 部</p>	<p>マネージド・ローカル 5G サービス「ギガらく 5G」を展開し、自ら免許人・無線従事者となり、各地域の総合通信局への免許申請や各種調整等を実施する。</p>
<p>【事業協力・支援者】 (株)秋田食産・(株)恋する鹿角カンパニー・秋田県仙北地域振興局・大仙市・美郷町・潟上市・鹿角市</p> <p>【技術提供・支援】 山梨大学 工学部 宇都宮大学 工学部</p>	<p>秋田食産は秋田県内において、新規作物の生産パイオニアとして、リーダー的な存在としてイチゴ・コーヒー・バナナ等従事。本実証では一貫体系技術を導入した圃場でのイチゴ・コーヒー栽培の生産および営農データ取得等を担当。</p> <p>恋する鹿角カンパニーは、2018年に創業し、道の駅おおゆの運営管理を中心に秋田県鹿角版地域商社として、観光産業、地場産品企画開発・情報発信、鹿角市納税返礼品取り扱い業務・鹿角名産品 EC タイトル運営等を行っている。本実証においては、企業コンセプトでもある他地域の商圏とかけがえない全ての緑を滞留することなく繋ぐためにローカル 5G を活用したリアルメタバースショッピングでエンドユーザーとの距離を 0 にする販売へのチャレンジ拠点として道の駅にて実証フィールドを提供。</p> <p>秋田県泉北地域振興局は、秋田県大仙市、仙北市、美郷町の農業振興を担当し、「新ふるさと秋田農林水産ビジョン」の実現に向け、各種普及推進事業を立ち上げて農業の振興に資するスマート農業の実証・社会実装に従事。本実証ではイチゴ栽培等の技術アドバイスおよび実証後の地域普及を担当。</p> <p>大仙市は、農業を核とした産業ブランディング推進事業「稼ぐ農業」の実現に向け、収穫を楽しめるまち作り、新たな企業を誘致するアグリテック集積、大曲花火大会に次ぐ観光分野への展開・施策を推進。本実証では地域行政の立場から儲かる農業都市の実現に向けてアドバイスや支援を担当。</p> <p>美郷町は、農業者育成確保、新規就農者支援、普及活動の推進および試験研究推進等をミッションとしており、農業振興に寄与。本実証では、実証内容の効果確認および今後の地域普及を担当。</p> <p>潟上市は、農業者育成確保、新規就農者支援、普及活動の推進および試験研究推進等に寄与。本実証では、検証内容の効果確認および今後の地域普及を担当。</p> <p>鹿角市は、道の駅おおゆに対する集客人数や収益拡大を見据えたデータ推移の確認。道の駅で実施するリアルメタバースを活用した遠隔ショッピングの管理と技術普及を担当。</p> <p>※具体的な協力内容に関しては今後各団体と相談。</p> <p>山梨大学は本実証にて AI を活用したイチゴ・コーヒーの収穫適期判定システム開発・構築を担う。次年度も継続して AI 判定の精度向上、追加開発等を行う。</p> <p>宇都宮大学は本実証にてイチゴ収穫・運搬ロボットの開発を担う。</p>

b. 実装計画（実施事項）

令和 5 年度も実証を継続することを予定しております。また、実装についても 5 年間で達成す

ることを目標としています。令和 8 年度の黒字化を目指し、本実証ユーザーの農業従事者にとって妥当なコストとなっているか初期投資、運用投資、減価償却期間等を考慮し継続して検討していきます。

① 遠隔指導システム

本実証で使用する機器については、実証期間中から利用者である(株)秋田食産にて所有していただいております。最低限令和 5 年度末までは所有者・開発組織が明確なうえで検証を行ってまいります。令和 6 年度以降も引き続き利用者にて所有していただき、継続利用してもらうことを前提としてコンソ内実装およびサービス製品化の計画を立てていますが、運用費用については販売スキームの検討やパッケージ化の検討が必要なことから未設定となっています。令和 5 年度以降、適宜計画を見直し、機能改善も行いながら実装を目指してまいります。

表 4.3.65 遠隔指導システムの実装計画

年度	実施内容
令和 4 年度	開発実証。
令和 5 年度	前年度の課題の対応。(課題抽出と解決・検討)
令和 6 年度	サービス提供モデル検討。コンソ内実装。
令和 7 年度	サービス提供モデル検討。コンソ内実装。
令和 8 年度	サービス提供モデル検討。コンソ内実装。

今年度の実証で上がった課題は、利用者の利便性向上と AI の判定精度の向上です。利用者の利便性向上のために、下記に取り組みます。

- ・今は 2 つのシステムをそれぞれ別の端末で利用しているため、1 台で使えるようにすることで、利用者の付け替え等の負担が減らせるように開発者にて取り組みます。
- ・操作に不慣れな農業従事者でも直感的に操作が可能になるよう、UI 画面の改善を開発者にて行います。
- ・本実証では指導者側は固定された場所で行っていたが、指導者側も任意の場所でも行うことができるように環境整備を事業推進者にて行います。

AI の判定精度の向上では、AI に読み込ませた教師データが今回は大学側でラベリングしたものを活用したため。農業従事者との判定に乖離が出る結果となったことから、農業従事者にラベリングを行っていただき精度の向上がどの程度図れるかの検証を研究機関にて行います。

また、引き続きコーヒーの実でも検証を行うことでイチゴだけではなく、他作物でも使えることを検証していきます。

以上の機能改善は次年度 (R5 年度) 実施・効果検証を行い、R6 年度では本実証参加者の継続利用と並行して 2 年間のコンソ内実装を踏まえた販売ルートの検討や商用化に向けた計画立案を行います。並行して R7 年度を目途に横展開先の候補を決め、R8 年度に本格的な横展開を実施します。

② イチゴ収穫・運搬ロボットシステム

本実証で使用する機器については、実証期間中から利用者である(株)秋田食産にて所有していただき、最低限令和5年度末までは所有者・開発組織が明確なうえで検証を行っていきます。令和6年度以降も引き続き利用者にて所有していただき、継続利用してもらうことを前提として計画を立てていますが、農業におけるロボットの利活用はバリエーションが多く、汎用化できない部分も多く考えられます。そのため、宇都宮大学が行う別途実証試験等も踏まえ、販売スキームの検討を継続して行っていきます。また、運用費用についてはロボット自体の提供モデルや今後の社会ニーズを勘案し設定する必要があることから未設定としており、適宜計画を見直し、機能改善も行いながら実装・普及展開を目指していきます。

表 4.3.66 イチゴ収穫・運搬ロボットシステムの実装計画

年度	実施内容
令和4年度	開発実証。
令和5年度	前年度の課題の対応。(課題抽出と解決・検討)
令和6年度	サービス提供モデル検討。コンソ内実装。
令和7年度	サービス提供モデル検討。コンソ内実装。
令和8年度	サービス提供モデル検討。コンソ内実装。

実際の圃場環境で、実装レベルまで引き上げるためには、アルゴリズムの向上、収穫ロボットと運搬ロボットの連携、コマンドなしの操作の実現に引き続き取り組む必要があると考えております。

テスト環境とは異なるため、カスタマイズが必要になることから、現地に合わせたアルゴリズムの向上やコマンドなしの操作の実現における研究を研究機関において行います。

ロボット同士の連携についても、引き続き研究機関において検証と実証環境における試験をコンソーシアムとして行います。

以上の機能改善は次年度(R5年度)実施・効果検証を行い、R6年度では本実証参加者の継続利用と並行して2年間のコンソ内実装を踏まえた販売ルートの検討や商用化に向けた計画立案を行います。並行してR7年度を目途に横展開先の候補を決め、R8年度に本格的な横展開を実施します。

③ 遠隔ショッピングシステム

本実証で使用する機器については、実証期間中から利用者である(株)恋する鹿角カンパニーにて所有していただき、最低限令和5年末までは所有者・開発組織が明確なうえで検証を行っていきます。令和6年度以降も引き続き利用者にて所有していただき、継続利用してもらうことを前提として計画を立てています。

普及展開のためには、今後の社会ニーズを勘案しサービス化開発をする必要があるため、

導入費用や運用費用については継続して検討し設定する必要があることから未設定としており、適宜計画を見直し、機能改善も行いながら実装・普及展開を目指していきます。

表 4.3.67 遠隔ショッピングシステムの実装計画

年度	実施内容
令和4年度	開発実証。
令和5年度	前年度の課題の対応。(課題抽出と解決・検討)
令和6年度	サービス提供モデル検討。コンソ内実装。
令和7年度	サービス提供モデル検討。コンソ内実装。
令和8年度	サービス提供モデル検討。コンソ内実装。

実装のためには、顧客満足度向上による、売り上げへの還元が必要であると考えます。具体的には、360度カメラの動画連動、UI画面の操作性の向上、スマートフォンOSへの対応、購入商品の増加があります。

実際に利用者に実施したアンケートでも、現地が映し出され、店員との会話ができるアプリに新しさやリアル感を感じていただける利用者も多かった一方、操作性の向上(ボタンのサイズ、カメラや商品のピンチアウト等)や、利用可能端末の増加に課題があることがわかったため、開発者にて引き続き開発を行います。

また、その他の意見として、運用フローの都合上、画面上に映っているが商品リストにまだ入っていないものもあるため、運用方法の検討含めて、道の駅と検討を進めていきます。

以上の機能改善は次年度(R5年度)実施・効果検証を行い、R6年度では本実証参加者の継続利用と並行して2年間の実証を踏まえた販売ルート of 検討や商用化に向けた計画立案を行います。並行してR7年度を目途に横展開先の候補を決め、R8年度に本格的な横展開を実施します。

④ ローカル5Gシステム

本システムは東日本電信電話株式会社より2022年5月よりマネージド・ローカル5Gサービス「ギガらく5G」としてサービス提供を行っております。トータルITアウトソーシング型サービスで、従来のオンプレ型と比較し、料金や構築・運用面でユーザー負担の少ない形で導入することが可能で既に普及展開活動を行っております。また、キャリアグレードの本格的な5Gスタンドアロン機能を事前手続きから運用までトータルITOをワンパッケージとしているため、システムが詳しくない生産者や道の駅運営事業者にも普及展開しやすいサービスとなっています。

本実証で使用する機器については、実証期間中から利用者である(株)秋田食産と(株)恋する鹿角カンパニーにて所有していただいております。最低限令和5年度末までは所有者が明確となっています。令和6年度以降も引き続き利用者にて所有していただき、継続利用してもらうことを前提として実装計画を立てていますが、運用費用の最大効率化を目指し、

継続して生産者の声を聴くことで、その他システムとのパッケージ化や利用形態の多様化へ反映していけるよう、適宜計画を見直し実装を目指していきます。

表 4.3.68 ローカル 5G システムの実装計画

年度	実施内容
令和 4 年度	開発実証。システムサービス化。コンソ内実装。
令和 5 年度	コンソ内実装。課題抽出と解決・検討。普及展開。
令和 6 年度	コンソ内実装。課題抽出と解決・検討。普及展開。
令和 7 年度	コンソ内実装。課題抽出と解決・検討。普及展開。
令和 8 年度	コンソ内実装。課題抽出と解決・検討。普及展開。

c. 収支計画

ア) 収支計画

本実証システムの導入にかかる費用および運用にかかる費用は表 4. 3. 56 のとおりです。

＜ユーザーから得られる対価＞

ユーザー負担による運用は令和 6 年度から開始します。現時点では各システムの購入費（運用費）は未定のため、ユーザーへのヒアリングにより支払い可能な金額を算出したところ、年間 270 万円となりました。内訳としては遠隔指導システムおよび AI 収穫適期判定システムで 50 万円（遠隔指導利用者から 1 回 1,000 円の利用料を回収）、イチゴ収穫・運搬ロボットシステムで 100 万円、遠隔ショッピングシステムで 120 万円です。いずれもローカル 5G 等ネットワーク運用費および電気料金等の支払いも含まれます。なお、こちらのユーザー負担額は今年度の結果を受けたヒアリング結果であり、令和 5 年度以降のシステム改善やシステムによって得られる収益によって変動するものと考えます。

ユーザー負担の原資としてはシステム利用によって得られる収入を充てます。各システムによる収入見込みは以下のとおりです。以下に記載の算出はあくまで令和 4 年度の検証期間での収入を算出し、効果検証の目標値としたものです。令和 6 年度以降の収入見込みは収支計画にて記載しております。

【遠隔指導システム】

- ① 作業時間削減に関しては、令和 8 年度時点での目標値として、新規就農者のイチゴ栽培にかかる時間について、指導を受けることにより年間 1009.5 時間の作業時間を削減できると試算しました。この削減時間に農水省単価の 1,500 円（※）をかけ合わせると年間 1009.5 時間×1500 円＝151 万円の費用削減が期待できます。

（※）出典：農林水産省『スマート農業産地モデル実証（ローカル 5G）』令和 4 年度評価用成果報告書・様式および別添資料（非公開）

この令和 8 年度目標値 151 万円/年について、令和 4 年度～令和 8 年度までの 5 年間で平均的に成長していくことを想定すると $151 \text{ 万円} \div 5 \text{ 年間} = 30.2 \text{ 万円/年}$ となります。

なお、令和 4 年度はローカル 5G 敷設後の 1 月～3 月の 3 か月で算出しているため、 $30.2 \text{ 万円} \div 4 = 7.5 \text{ 万円}$ (四捨五入で 8 万円) とします。

- ② 交通費等について主要生産者の美郷町 (居住地) - 潟上市 (フルーツパーク DETO) 間での削減額 56 万円/年にて算出しています。令和 4 年度は実証スタートの 1 月～3 月を想定して $56 \text{ 万円} \div 4 = 14 \text{ 万円}$ 削減とします。

【イチゴ収穫・運搬ロボットシステム】

① 稼働削減効果

令和 8 年度時点での目標値として、232 時間削減と試算しています。この削減時間に対して生産者の単価 2,000 円を掛け合わせると、 $232 \text{ 時間} \times 2,000 \text{ 円} = 46.4 \text{ 万円}$ の費用削減が期待できます。

令和 4 年度は実証スタートの 1 月～3 月を想定して $46.4 \text{ 万円} \div 4 = 11.6 \text{ 万円}$ (四捨五入で 12 万円) とします。

② パックロス削減効果

売上ベースでは令和 8 年度時点での目標値として、 $670 \text{ 円} \times 4 \text{ パック} \times 30 \text{ 日} \times 6$ (収穫できる月数) $= 48.2 \text{ 万円/年}$ で算出しています。

令和 4 年度は実証スタートの 1 月～3 月を想定して $48.2 \text{ 万円} \div 4 = 12.5 \text{ 万円}$ と試算しました。ただし、気候によって収穫時期に変動が生じる可能性があるため、少なく見積もり、四捨五入ではなく切り捨てで 12 万円とします。

利益額としては売上単価の約 4 割が利益になるということですので、 $12 \text{ 万円} \times 0.4 = 4.8 \text{ 万円}$ がパックロス削減による経済効果となります。ただし、売り上げ同様、気候による収穫量の変動等を鑑みてこちらも四捨五入ではなく切り捨てで 4 万円とします。

【遠隔ショッピングシステム】

売上ベースでは令和 8 年度時点での目標値である 2,440 万円をもとに算出します。令和 4 年度～令和 8 年度の 5 年間で順当に売り上げが増加していくと仮定し、単年度での売り上げは $2440 \text{ 万円} \div 5 = 488 \text{ 万円/年}$ となります。

令和 4 年度は実証スタートの 1 月～3 月を想定して $488 \text{ 万円} \div 4 = 122 \text{ 万円/年}$ が売上目標となります。利益額は売上単価の約 4 割が利益になるということですので $122 \text{ 万円} \times 0.4 = 48.8 \text{ 万円}$ ※四捨五入して 49 万円が今年度の目標値となります。

<補助金・交付金>

令和 6 年度以降の補助金・交付金の利用は未定です。

<ネットワーク設置費およびネットワーク運用費>

【ローカル 5G システム】

今回の実証フィールドと同規模の圃場や施設を想定した場合、機器費用や構築工事費を含む導入費用が約 4,000 万円となりました。この金額は設置場所の異なる基地局 3 基の構築費用の合計額です。保守費を含む運用費用が約 400 万円/年（基地局 3 台分）がかかる見込みです。

<ソリューション購入費およびソリューション開発費>

【遠隔指導システム（リアルメタバース技術）】

現在開発中システムのため開発費用を含む導入費用が約 1,500 万円となりました。横展開時には開発済の機器を商用として販売するため、導入費用は現状より下がる想定です。

なお、ソリューション開発については、R7 年度まで継続する見込みです。具体的には収穫適期判定システムとの連携や UI 画面のユーザービリティ向上等が上げられます。これらの課題は年々解消されアップデートしていくと考えられるため、R6 年度の開発費としては 100 万円、R7 年度の開発費としては 50 万円とし、R8 年度からは開発費は発生しないと想定しています。

開発費に代わり、ソリューション購入費（運用費用）に関しては令和 8 年度から発生し、年間 25 万円と想定しています。

いずれも R4 年度末における計画値のため、開発費および購入費（運用費）については今後の開発の状況に応じて随時見直しを行います。

【遠隔指導システム（収穫適期判定システム）】

現在開発中システムのため開発費用を含む導入費用が約 500 万円となりました。横展開時には開発済の機器を商用として販売するため、導入費用は現状より下がる想定です。

なお、ソリューション開発については、R7 年度まで継続する見込みです。具体的には多品種・他作物への対応や AI 学習結果の共有方法等が上げられます。また、本機器については山梨大学にて開発を行っているため、商用化に向けては販売体制の整備も必要です。これらの課題は年々解消されアップデートしていくと考えられるため、R6 年度の開発費としては 100 万円、R7 年度の開発費としては 100 万円とし、R8 年度からは開発費は発生しないと想定しています。

開発費に代わり、ソリューション購入費（運用費用）に関しては令和 8 年度から発生し、年間 50 万円と想定しています。

いずれも R4 年度末における計画値のため、開発費および購入費（運用費）については今後の開発の状況に応じて随時見直しを行います。

【イチゴ収穫・運搬ロボットシステム】

現在開発中システムのため開発費用を含む導入費用が約 1,500 万円となりました。横展開時には開発済の機器を商用として販売するため、導入費用は現状より下がる想定です。

なお、ソリューション開発については、R7 年度まで継続する見込みです。具体的には一定の条件下であれば動作可能なようにロボットの自動走行アルゴリズムの向上、収穫作業用ロボットのアルゴリズムの向上が上げられます。また、本機器については宇都宮大学にて開発を行っているため、商用化に向けては販売体制の整備も必要です。これらの課題は年々解消されアップデートしていくと考えられるため、R6 年度の開発費としては 200 万円、R7 年度の開発費としては 100 万

円とし、R8年度からは開発費は発生しないと想定しています。

開発費に代わり、ソリューション購入費（運用費用）に関しては令和8年度から発生し、年間50万円と想定しています。

いずれもR4年度末における計画値のため、開発費および購入費（運用費）については今後の開発の状況に応じて随時見直しを行います。

【遠隔ショッピングシステム】

現在開発中システムのため開発費用を含む導入費用が約2,500万円となりました。横展開時には開発済の機器を商用として販売するため、導入費用は現状より下がる想定です。

なお、ソリューション開発については、R4年度末時点ではR7年度まで継続する見込みです。具体的には360度カメラの動画連動、UI画面の操作性の向上、スマートフォンOSへの対応等が上げられます。これらの課題は年々解消されアップデートしていくと考えられるため、R6年度の開発費としては100万円、R7年度の開発費としては50万円とし、R8年度からは開発費は発生しないと想定しています。

開発費に代わり、ソリューション購入費（運用費用）に関しては令和8年度から発生し、年間25万円と想定しています。

いずれもR4年度末における計画値のため、開発費および購入費（運用費）については今後の開発の状況に応じて随時見直しを行います。

表 4.3.69 本実証でかかった導入費用一覧

システム名	技術・機能	導入費用 (開発費用含む)	運用費用	費用負担者
ローカル5Gシステム		約4,000万円	約400万円/年 (約130万円/基地局/年)	秋田食産 恋する鹿角カンパニー
遠隔指導システム	リアルメタバース技術	約1,500万円	未定 ※実証期間中に設定予定	秋田食産
	収穫適期判定システム	約500万円※	未定 ※実証期間中に設定予定	秋田食産
イチゴ収穫・運搬ロボットシステム		約1,500万円※	未定 ※実証期間中に設定予定	秋田食産
遠隔ショッピングシステム		約2,500万円	未定 ※実証期間中に設定予定	恋する鹿角カンパニー

※農林水産省「スマート農業産地モデル実証（ローカル5G）」にて調達

<収支>

本実証における各年度の収支計画については上記を踏まえ、下記のように計画しております。また、実際に普及展開を行う際は、今後の開発・検討状況により導入費用・運用費用が変更になる可能性があります。

① 令和6年度

【収入】

ユーザーから得られる対価：270 万円

※ユーザー負担の原資となるシステムにより得られる収入は費用対効果予測より、遠隔指導システム 147 万円+イチゴ収穫・運搬ロボットシステム 65 万円+遠隔ショッピングシステム 586 万円=798 万円と想定

【費用】

ネットワーク設置費：0 円

ネットワーク運用費：400 万円

ソリューション購入費：0 円

ソリューション開発費：500 万円

【収支】

270 万円－900 万円＝－630 万円

② 令和 7 年度

【収入】

ユーザーから得られる対価：270 万円

※ユーザー負担の原資となるシステムにより得られる収入は費用対効果予測より、遠隔指導システム 177 万円+イチゴ収穫・運搬ロボットシステム 65 万円+遠隔ショッピングシステム 781 万円=1023 万円と想定

【費用】

ネットワーク設置費：0 円

ネットワーク運用費：400 万円

ソリューション購入費：0 円

ソリューション開発費：300 万円

【収支】

270 万円－700 万円＝－430 万円

③ 令和 8 年度

【収入】

ユーザーから得られる対価：910 万円

※ユーザー負担の原資となるシステムにより得られる収入は費用対効果予測より、遠隔指導システム 207 万円+イチゴ収穫・運搬ロボットシステム 65 万円+遠隔ショッピングシステム 976 万円=1248 万円と想定

【費用】

ネットワーク設置費：0円
ネットワーク運用費：400万円
ソリューション購入費：150万円
ソリューション開発費：0万円

【収支】

910万円－550万円＝360万円

④ 令和9年度

【収入】

ユーザーから得られる対価：910万円

※ユーザー負担の原資となるシステムにより得られる収入は費用対効果予測より、遠隔指導システム 237万円+イチゴ収穫・運搬ロボットシステム 65万円+遠隔ショッピングシステム 1171万円＝1473万円と想定

【費用】

ネットワーク設置費：0円
ネットワーク運用費：400万円
ソリューション購入費：150万円
ソリューション開発費：0万円

【収支】

910万円－550万円＝360万円

現時点では利用者負担額がヒアリングによるもので、R7年までは年間270万円と一律となっているものの、一方でシステム利用による収入は令和6年度時点でもユーザー負担額の3倍近い金額となる見込みです。R7年までにシステム開発が完了したとすると、サービス展開する際には価格設定を年間910万円とすることにより、R8年度から黒字化に転換し、継続的に収入を得ることが可能です。さらにシステムの機能改善が進むことによりユーザー負担額の増加は期待できますので、これらの結果をもとに実装および横展開を行います。

イ) ユーザーにおける必要リソース（モデルケース）

ユーザー負担の内訳は以下のとおりです。ユーザー負担額については今年度実証の結果を踏まえたヒアリング結果として記載しています。

表 4.3.70 ユーザーにおける必要リソース

項目	イニシャルコスト (初年度)	ランニングコスト (次年度以降、年間)
ローカル 5G システム	40,000 千円	4,000 千円

a.	ローカル 5G システム運用業務 (※自社で実施する場合)		
b.	ローカル 5G システムに係る運用業務委託 (※他社に委託する場合)	40,000 千円	4,000 千円
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション			1,500 千円
a.	遠隔指導システム		500 千円
①	運用に係る環境整備等に係る経費 (※自社で負担する費用)		500 千円
b.	イチゴ収穫運搬ロボットシステム		500 千円
①	運用に係る環境整備等に係る経費		500 千円
c.	遠隔ショッピングシステム		500 千円
①	運用に係る環境整備等に係る経費		500 千円

ローカル5Gシステムについては設置場所の異なる3基を構築し、インシヤルコストとして4,000万円、ランニングコスト年間400万円が発生します。ローカル5GシステムはNTT東日本にて遠隔運用するため、サービス利用料として支払います。

ローカル5G活用モデルに係るソリューションとしては3つのシステム合計で150万円発生します。内訳としては、遠隔指導システムとしてリアルメタバースを使った指導システムで25万円、AI収穫適期システムで25万円、イチゴ収穫運搬システムとして50万円、遠隔ショッピングシステムとして50万円となっています。

利用料については2023年3月時点での想定であり、また、開発により減額となる可能性があります。開発によるコスト削減だけでなく、本実証のPRによる利用者の増加や、近隣農家・ユーザーとの共同利用によってもユーザー負担額を軽減することが可能だと考えています。

d. 実装を確実にするための取組

実証を行って出てきた新たな課題に対して、今後実装に向けた対応方法について、下記のように検討を行っております。

【課題】

① 導入時におけるAI学習期間の確保

収穫適期判定システムを利用するためには事前にAI学習のための期間が必要。最低でも数日～数週間の学習期間が必要なため、イチゴやコーヒーの収穫期の一部は学習期間として確保しなければならない。

対策：事前にイチゴやコーヒーの写真や動画を取り込み、学習させることが必要。

② 収穫運搬ロボットの収益性改善

収穫・運搬ロボットの経済効果は、現在廃棄しているイチゴの削減効果に比例するため、削減できる量に限度があるので、一定以上の経済効果は望めない。

対策：イチゴの圃場の拡大、夏秋イチゴの栽培（収穫時期の延伸）、他作物の収穫利用、近隣農家との共同利用等

ア) 提供コスト低減

なし。

イ) ソリューション追加開発

① 遠隔指導システム

今年度の実証で上がった課題は、利用者の利便性向上と AI の判定精度の向上である。

2つのシステムをそれぞれ別の端末で利用しているため、1台で使えるようにすることで、利用者の付け替え等の負担が減らせるように開発者にて取り組む。

操作に不慣れな農業従事者でも直感的に操作が可能になるよう、UI 画面の改善を開発者にて行う。

本実証では指導者側は固定された場所で行っていたが、指導者側も任意の場所でも行うことができるように環境整備を事業推進者にて行う。

AI の判定精度の向上では、AI に読み込ませた教師データが今回は大学側でラベリングしたものを活用したため、農業従事者との判定に乖離が出る結果となったことから、農業従事者にラベリングを行っていただき、精度の向上がどの程度図れるかの検証を研究機関にて行う。

また、引き続きコーヒーの実でも検証を行うことでイチゴだけではなく、他作物でも使えることを検証する。

② イチゴ収穫・運搬ロボットシステム

実際の圃場環境で、実装レベルまで引き上げるためには、アルゴリズムの向上、収穫ロボットと運搬ロボットの連携、コマンドなしの操作の実現に引き続き取り組む必要があると考えている。

テスト環境とは異なるため、カスタマイズが必要になることから、現地に合わせたアルゴリズムの向上やコマンドなしの操作の実現における研究を研究機関にて行う。

ロボット同士の連携についても、引き続き研究機関において検証と実証環境における試験をコンソーシアムとして行う。

ウ) 顧客開拓

②収穫運搬ロボットの収益性改善について、最大効果が一定以上より出しづらいため、より生産者が導入をしやすくするために（コストペイしやすくするために）、下記の取り組みを実施する。

- ・本実証についてのヒアリングを実施する際（2月上旬予定）に認知を広げ社会的ニーズを増やし、価格の低下を図る

- ・本事業内において、事業推進者が、自治体等が主導する共同利用モデルの確立・実装の可否

について自治体へヒアリング（2月上旬予定）を行う。

・今後、事業推進者が、秋田県による夏秋イチゴへの取り組みと協力し、年間通して活用することで、コストペイがしやすい仕組み作りを検討する。

・既に宇都宮大学にて検討中ではあるが、ロボット自体の仕組みとして、移動ロボットと、イチゴ収穫機能モジュールに分けられるため、各生産者や地域に合わせて他品目の収穫機能モジュールや農薬散布機能モジュールと取り換えることで、現在廃棄しているイチゴの削減以外の効果を目指す。

エ) 運用面の改善

①導入時における AI 学習期間の確保について、正確なデータを収集・分析するためには少なくとも数日～数週間の期間をかけてイチゴ一個あたり 10 秒程度撮影した動画 100 ファイルの画像データが必要となることから、導入した初年度より最大効果を発揮することは難しいと考えられる。

そのため、ローカル 5G 活用モデルとしてサービス化した際は、サービス提供者が、「初年度は学習期間が必要であること」を明記したうえでサービス提供を行うこととしたい。

オ) ルールメイキングへの貢献

なし。

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達等）

秋田県および県内自治体において、スマート農業導入補助に係る支援策を過去にも実施してきた。次年度以降も実施する可能性もあるため、補助金活用等を含めて、秋田県および県内自治体と連携・相談し、対応していくこととしたい。

また令和 9 年度の時点で通産損益はマイナスとなっているが、令和 10 年度以降も令和 8 年度および令和 9 年度と同じ収支を見込んでいるため、令和 10 年度以降黒字に転じるような計画となっている。

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

今後のローカル 5G の普及を推進する観点から、地域課題解決に取り組む自治体・企業等の検討に寄与できる本実証取り組み成果に関する動画を作成するとともに、三菱総合研究所様が制作する本事業の映像制作に向けて本コンソーシアムメンバーも今後ローカル 5G を普及させるためのモデルの創出に向けて、実証映像等の素材提供やインタビュー撮影・コメント作成等を行いました。

また、代表機関グループ会社（NTT ラーニングシステムズ㈱等）と連携し、より品質の高い映像コンテンツを制作致しました。

映像の制作においては、以下の項目に重点をおきました。

表 5.1.1 映像制作について

項目	内容
映像制作・提供におけるコンセプト	ローカル 5G を活用したソリューション・アプリケーションが、地域・企業の課題解決にどのように寄与したかを表現しております。 また、ローカル 5G を活用したソリューション・アプリケーションが、ローカル 5G の特徴（高速広帯域等）をどのように活用したかを表現致しました。 さらには、コンソーシアムメンバーや実証参加者が出演し、課題・実証の成果等を直接説明する等、映像による説得力が増すよう工夫致しました。
映像のカット	撮影するカットは実施場所全体の様子や、実証の要点がわかる被写体等を含め、なるべく多くの被写体・アングルで撮影し、映像をご提供の際は三菱総合研究所様が編集しやすいよう工夫しております。 また、構築するソリューション・ユースケースの概要・機能や導入効果が表現された映像を制作致しました。
映像の例	実証に用いるデバイスやセンサー等の稼働状況、測定等の模様、システムを実際にユーザーが業務に活用している様子、システムを活用した業務フロー、ユーザーによる端末操作等の模様やダッシュボード画面の表示等、映像を見た方が視覚的に理解しやすいよう工夫致しました。
その他	フル HD 画質（1920×1080）で収録しています。（ファイル形式（mp4、wmv 等）は別途ご指示下さい）。 コメント等を収録する際は、ピンマイク等を使用してノイズがなるべく入らないよう配慮致しました。 また、動画においてはテロップ・イラスト等も活用して実証内容・取組成果を表現致しました。

5.2 実証視察会の実施

今後、ローカル 5G を導入し地域・企業の課題を解決していくことに関心を持つ自治体・企業等に対し、本実証における背景・課題・実証内容・成果を説明することで、地域・企業のローカル 5G 導入検討の一助になることを目的とするとともに、関係省庁等にも参加いただくことで制度検討・実装への促進も図られることから、実証視察会を致しました。(2月20日～2月21日に実施)

特に、これからローカル 5G の導入を検討する自治体・企業等にとっては、現時点で目に見える形でのユースケースが少ないことから、本実証を視察することで具体的なユースケースをイメージしていただくことで検討の促進を図りました。

実証視察会は現地での対面形式だけではなく、新型コロナウイルス感染状況等をうけてオンラインで開催致しました。弊社は「令和2年度 地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」および「令和3年度 課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」においても、計5件の実証視察会(オンライン)開催実績(表 5.2.1)が有るため、参加者への訴求ポイントを熟知しているとともにオンライン開催運用の知見も有しております。

実証視察会においては、以下の項目について重点的に検討し開催しました。

表 5.2.1 実証視察会について

項目	内容
実証視察会におけるコンセプト	今後ローカル 5G の導入を検討する企業にとって、本実証を視察することで具体的なユースケースをイメージしていただき、具体的な検討の促進を図りました。
開催時期	2023年2月20日(月) 現地(対面形式) 2023年2月21日(火) オンライン形式
コンテンツ	<ul style="list-style-type: none"> ・コンソーシアムの紹介 ・プレゼン資料(スライド・動画)によるプロジェクトの説明 説明内容：実証事業の背景 ローカル 5G のネットワーク・システム構成 実証内容(開発ポイント・ローカル 5G の活用内容) ユースケースの新規性 今後の実装・横展開に向けたポイント 今後のローカル 5G への期待 等 ・質疑応答・意見交換
開催方法	現地(対面形式)、オンライン形式
参加者	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル 5G 導入を検討しているユーザー企業、ベンダ等 ・関係省庁等の出先機関(事業所管省庁) ・地方公共団体(地域の企業等の 5G 活用検討を促進する部署) ・総務省、総合通信局等



図 5.2.1 フルーツパーク DETO での実証視察会の様子(2023 年 2 月 20 日)

5.3 その他普及啓発活動

本実証内容をコンソーシアム代表機関等ホームページにて報道発表を実施致しました。

また、普及啓発活動や情報発信にあたっては、事前に総務省様、三菱総合研究所様と発表内容等の確認を行うことで相互に齟齬のないよう努めた上で、正確な内容を持ってローカル 5G の普及を目指した活動、発信を実施致しました。

弊社としても、「光ファイバー×ローカル 5G」を活用した地域・企業の課題解決ビジネスモデルの創出は、今後の主力ビジネスの 1 つと考えているため、普及啓発活動には一層注力してまいります。

以下に、「令和 4 年度 課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」に関係した主な普及啓発活動を示します。

表 5.3.1 普及啓発活動

日時	媒体	内容	参考
2023 年 2 月 20 日	NTT 東日本 HP	実証事業の実施	リンク先 https://www.ntt-east.co.jp/akita/information/detail/pdf/20230220_02.pdf
2023 年 3 月 4 日	北鹿新聞	遠隔ショッピングに関する新聞記事	紙媒体
2023 年 3 月 26 日	ABS 秋田放送	本実証を題材としたテレビ放映	秋田からの農業変革～最先端技術でつくる農業の未来～ https://youtu.be/Vk17hPAxjR0

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

ローカル 5G の電波伝搬特性に関する技術的検討をする東日本電信電話株式会社が代表機関を務めます。実施体制(コンソーシアム)の構築にあたっては、以下の要件を満たし、連携を行える体制としました。また、本事業の実施途中において、状況に応じた対応が可能となる独自の工夫点については 6.3 実施体制に係る要件への対応に記載します。

6.2 実施体制内の役割

実施体制(コンソーシアム)は、「図 6.2.1」、「図 6.2.2」のとおりです。

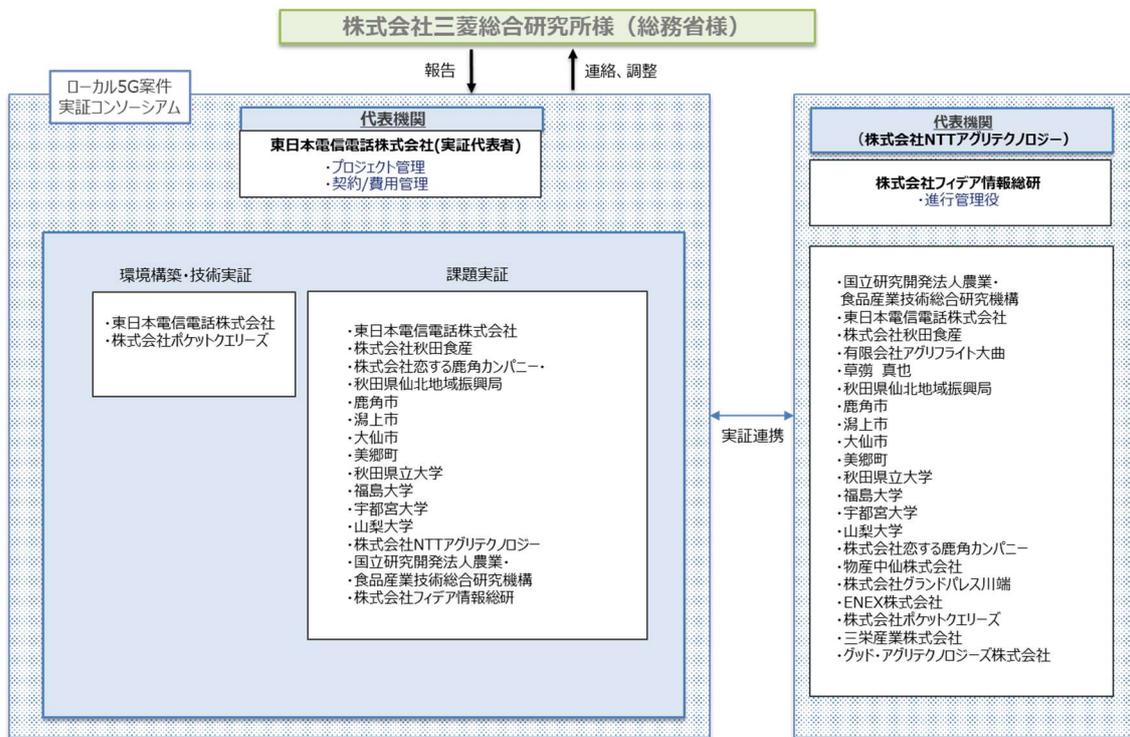


図 6.2.1 コンソーシアム体制図

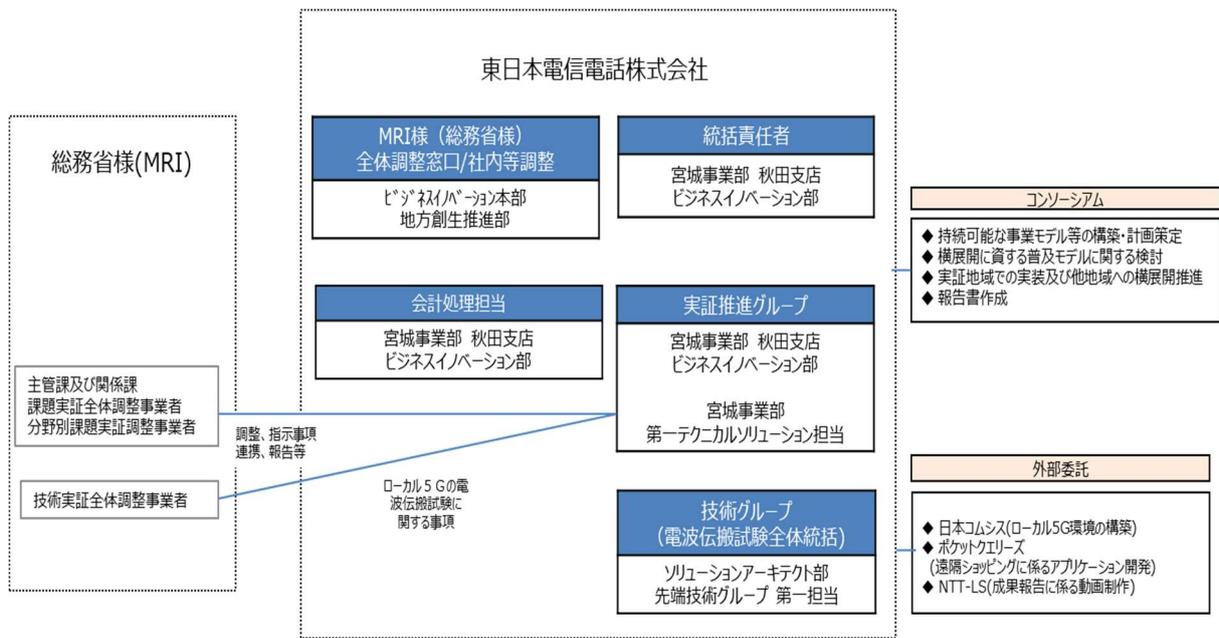


図 6.2.2 プロジェクト体制図

プロジェクトマネージャー、技術実証担当、会計処理担当については「表 6.2.1」の通り、代表機関である東日本電信電話株式会社より以下担当を選任しました。

表 6.2.1 担当者

(1) プロジェクトマネージャー	東日本電信電話株式会社 宮城事業部 秋田支店 ビジネスイノベーション部
(2) 技術実証担当者	東日本電信電話株式会社 宮城事業部 秋田支店 ビジネスイノベーション部 テクニカルソリューション担当
(3) 会計処理担当者	東日本電信電話株式会社 宮城事業部 秋田支店 ビジネスイノベーション部 マーケティング担当

再委託をしようとする第三者の住所または所在地、氏名または名称、再委託する業務の範囲、その必要性、再委託の業務に従事する者の適格性および情報保全のための履行体制については以下の「表 6.2.2」のとおりです。

表 6.2.2 再委託内容一覧

名称	所在地	再委託する業務の範囲と必要性	再委託の業務に従事する者の適格性および情報保全のための履行体制等
日本コムシス株式会社	東京都品川区 東五反田 2-17-1	・ローカル 5G 環境構築、光ケーブル敷設、電波測定にあたり必要	・ローカル 5G 関連のネットワーク環境構築、測定等に熟知 ・東日本電信電話株式会社との委託契約中に機密保持に関する条項を明確化し

		な会社である	情報保全を行う
コムシスネット株式会社	東京都品川区東五反田 1-25-13	・ローカル 5G 環境構築、光ケーブル敷設、電波測定にあたり必要な会社である	・ローカル 5G 関連のネットワーク環境構築、測定等に熟知 ・東日本電信電話株式会社との委託契約中に機密保持に関する条項を明確化し情報保全を行う
電気興業株式会社	東京都千代田区丸の内 3-3-1	・ローカル 5G 環境構築、光ケーブル敷設、電波測定にあたり必要な会社である	・ローカル 5G 関連のネットワーク環境構築、測定等に熟知 ・東日本電信電話株式会社との委託契約中に機密保持に関する条項を明確化し情報保全を行う
スエヒロシステムライン株式会社	東京都豊島区池袋 4 丁目 34 番 1 号 MN ビル 301	・ローカル 5G 環境構築、光ケーブル敷設、電波測定にあたり必要な会社である	・ローカル 5G 関連のネットワーク環境構築、測定等に熟知 ・東日本電信電話株式会社との委託契約中に機密保持に関する条項を明確化し情報保全を行う
株式会社北村製作所	東京都千代田区神田小川町 2-3-13	・ローカル 5G 機器調達にあたり必要な会社である	・特殊収容箱技術を熟知 ・東日本電信電話株式会社との委託契約中に機密保持に関する条項を明確化し情報保全を行う
株式会社デジタル・ウント・メア	秋田県横手市朝倉町 6-22	・システム設計・構築にあたり必要な会社である	・システム設計、構築を熟知 ・東日本電信電話株式会社との委託契約中に機密保持に関する条項を明確化し情報保全を行う
エヌ・ティ・ティラーニングシステムズ株式会社	東京都港区南麻布 1-6-15	・普及啓発活動用の映像制作にあたり必要な会社である	・映像制作を熟知 ・東日本電信電話株式会社との委託契約中に機密保持に関する条項を明確化し情報保全を行う
株式会社souper	東京都台東区東上野 6-27-7	・普及啓発活動用の映像制作にあたり必要な会社である	・映像制作を熟知 ・東日本電信電話株式会社との委託契約中に機密保持に関する条項を明確化し情報保全を行う

7. スケジュール

本実証研究の特性、必要な各種期間、検証項目等を踏まえ、共同実証機関内で協議の上、課題実証および技術実証を実施するのに十分な期間を確保し、実証を行いました。

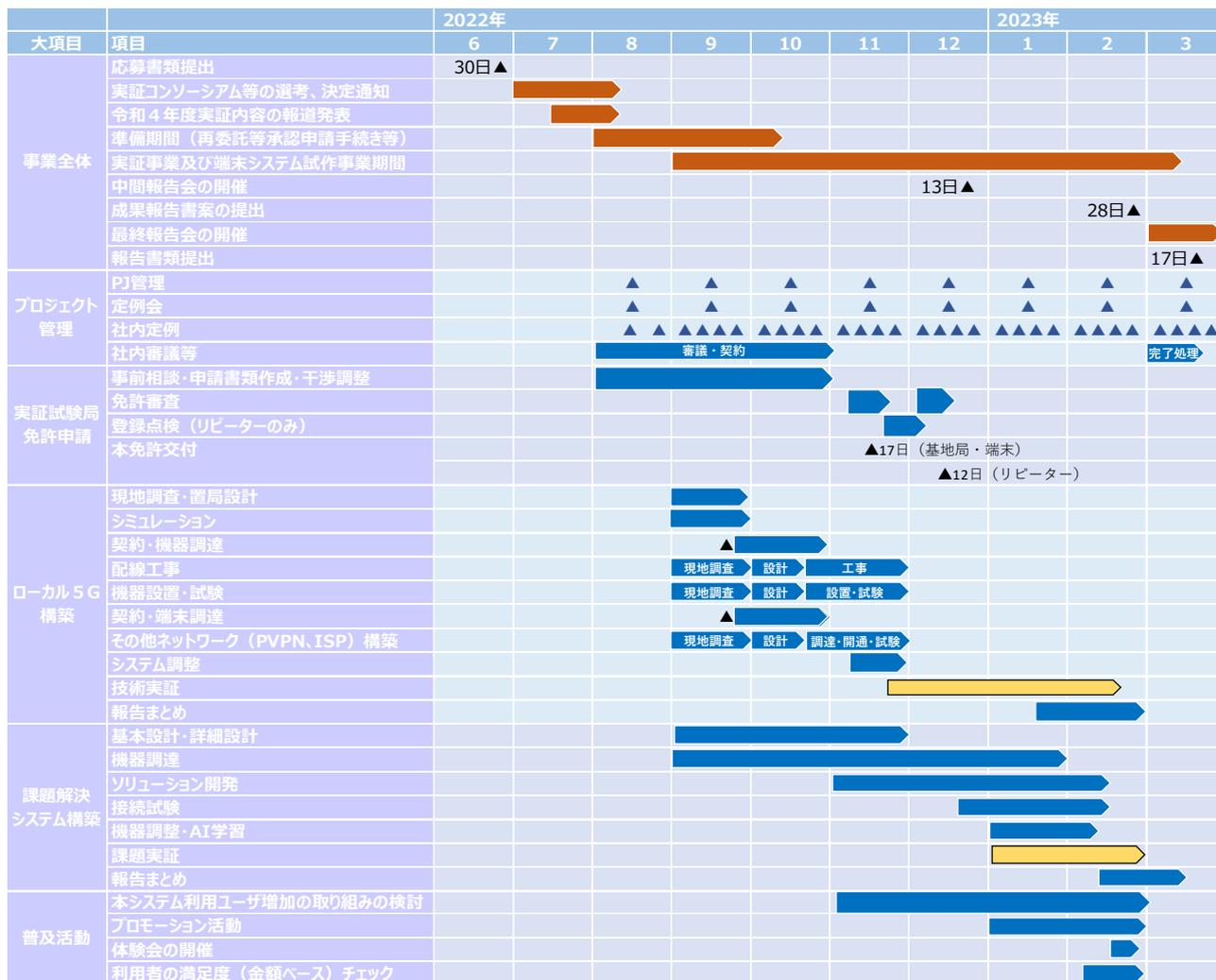


図 6.2.1 実施スケジュール

設備・機器の調達等の詳細スケジュールおよび調達困難となった場合の代替策について、原則としてスケジュールへの影響の大きい主要機器や重要機器については、事前確認する等計画との乖離がないよう最善を尽くしました。実施計画書策定段階で、昨今の情勢を踏まえ調達機器全てについて、下図「図 6.2.2」に示す対応を想定しておりましたが、スケジュールに大きな影響を与える遅延は発生していません。

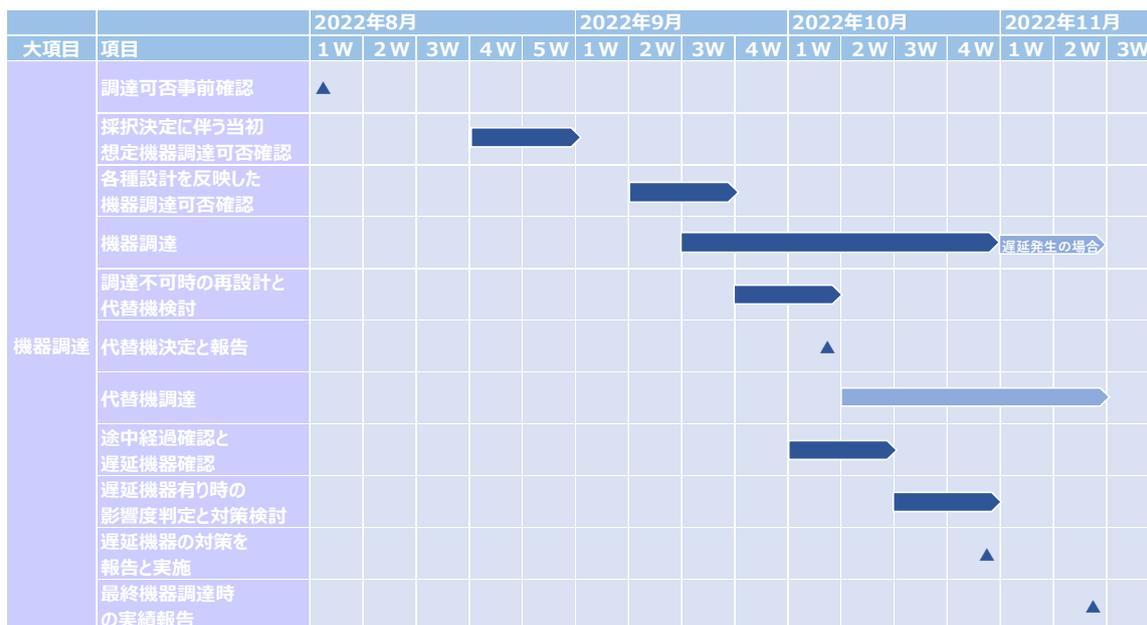


図 6.2.2 設備・機器の調達等の詳細スケジュール

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証【開発実証事業】
ローカル5Gを活用したAI画像認識等による農産物の生産・収穫工程の省人化の実現

2023年3月

東日本電信電話株式会社
