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 を活用した遠隔監視制御及び遠隔指導等によるゆず生産スマート化の実現

成果報告書

令和５年３月

株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所

目次

1. 実証概要

1.1 背景・目的

日本一のゆず生産量を誇る高知県において、我が国で初めてゆず青果の輸出に成功するとともに、産地の中でも新規就農者の増加が著しい北川村を含む安芸地区においては、県の普及指導計画において、①ゆずの生産拡大と品質向上、②作業受託組織の育成など産地維持の仕組みづくり、③担い手の育成支援が位置付けられ、令和 5 年度末までに各目標を達成することとしている。

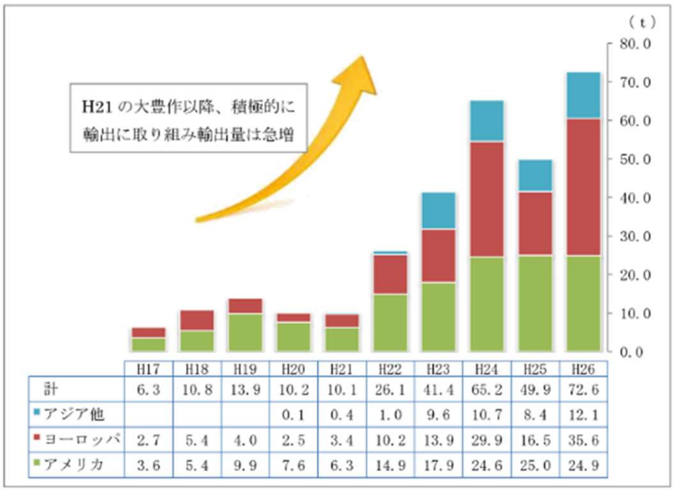


図 1.1-1 高知県北川村の概要

北川村においては、令和 2 年度の農水省が所管するスマート農業実証プロジェクトの中で目標の達成に向けた各種取り組みが実施されており、上記の①については、モバイルムーバー(運転台車)による農薬散布により、慣行区に比べて労働時間約 20%減を達成した。②については、過年度の実証を契機に活動を開始した農業支援サービス事業体が主体となり、スマート農業機器のシェアリングサービスを実施することで、効率的な生産技術の普及を図っている。③については、高齢化による生産力の低下やゆずの産地間競争の激化により生産者を取り巻く環境が厳しさを増している状況を踏まえ、①、②の取り組みにより改善を図っているところである。

上記の取り組みから継続して、ローカル 5G を活用することでスマート農業機器・技術の高付加価値化、新たなソリューションの導入を推進し、スマート農業機器・技術の社会実装の加速および生産者の経営改善を具現化することを本事業の目的とした。

1.2　実証の概要

本事業で扱うソリューションとしては、過年度の実証で取り組んだモバイルムーバーを用いたソリューションおよび担い手の確保・育成に資する新規就農者遠隔指導ソリューションの 2 つを実施した(図 1.2-1)。

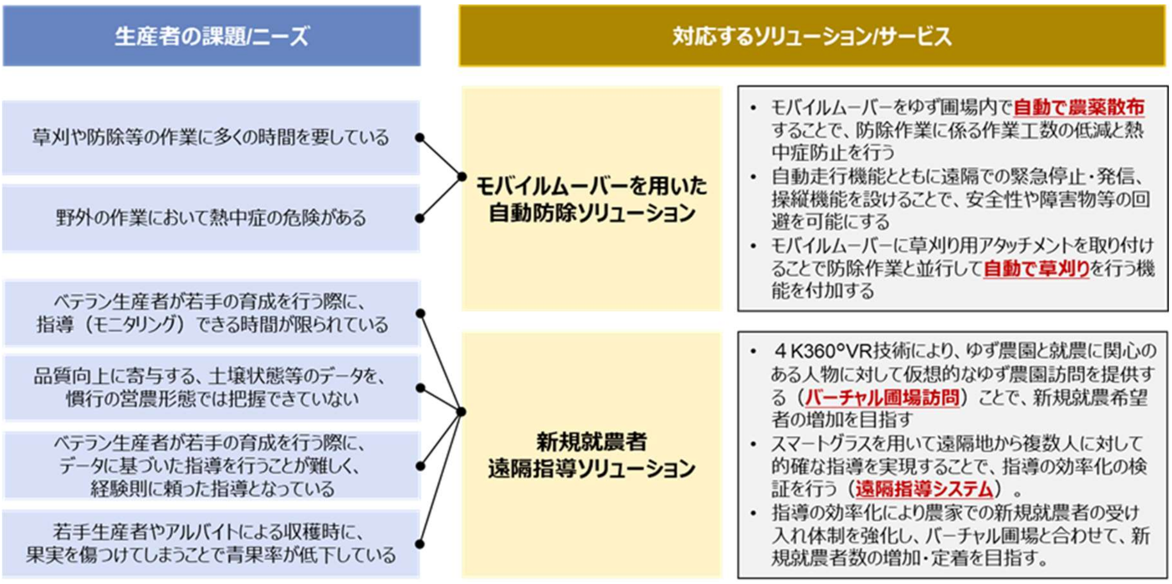


図 1.2-1　課題実証で対象とするソリューションの概要

モバイルムーバーを用いて防除(農薬散布)や下草刈り作業を自動化し生産者の作業効率性を向上させるソリューションにおいては、複数台のモバイルムーバーを同時に遠隔から監視し、安全性を担保しながら効率的に運用することが求められるが、そのためにはモバイルムーバー(およびモバイルムーバーに搭載する前後カメラ)から伝送される高精細な映像をリアルタイムで確認し、高品質な運用環境を構築する必要があると考えられる。また、モバイルムーバーの遠隔操縦や、遠隔指導を実施する上で低遅延での制御や操作が求められている。

遠隔地で若手が作業している映像を見て指導を行うソリューションにおいては、作業の様子(映像)を高精細かつリアルタイムで伝送し、現地で指導するのと遜色のない、高品質な指導環境を構築することが求められる。

上記のソリューションにおいては大容量通信超低遅延通信が必要であるが、本実証フィールドのような中山間地域では通信インフラの整備が進んでいない土地も多く、個別に利用できる高性能な通信ネットワークが望まれている。

以上を踏まえ本事業の実証においては、ローカル 5G を用いたモバイルムーバーによる遠隔・自動草刈り、防除ソリューションおよび新規就農者遠隔指導ソリューションの機能、運用およびその効果に関する検証を実施した。

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

本ローカル 5G システムでは以下周波数帯を使用した。

表 2.1-1 ローカル 5G ネットワーク

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

2.2 実施環境

北川農園の圃場エリア(屋外)に 1 つのローカル 5G 基地局を設置し、指向性のある平面アンテナを 4 つ接続する。基地局のアンテナポートは 4 つで各平面アンテナは 2 ポートを具備するため、分配器を用いて指向性を 2 方向に向ける形とした。

分配器を使用することで 1 つの基地局で 2 つエリアを構成する Passive DAS 構成を実現し、今回の技術実証テーマである柔軟な無線エリアの構築の検証を行った。

(圃場所在地: 〒781-6446 高知県安芸郡北川村西谷 アンテナ設置場所:北緯 33°28’47.1”/東経 134°02’39.9”)

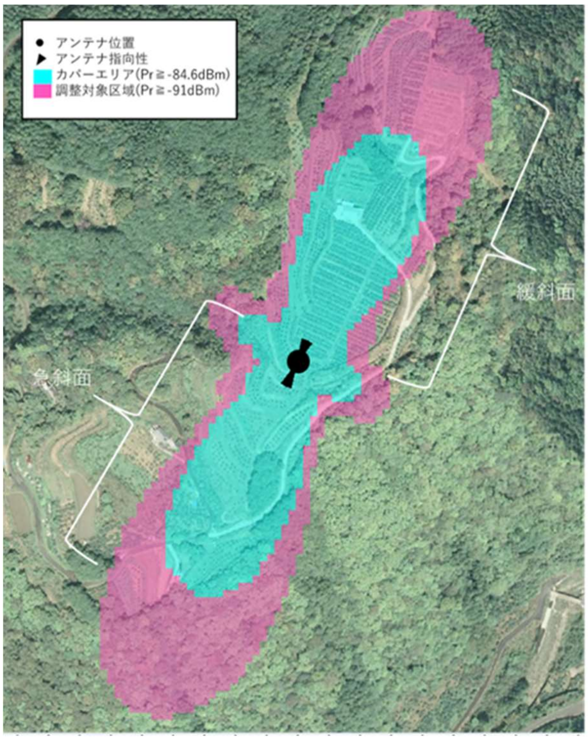


図 2.2-1 アンテナ設置場所

出典:地理院地図を加工して作成

2.3　ネットワークシステム構成

本実証の全体のネットワーク構成を以下に示す(図 2.3.1-1)。

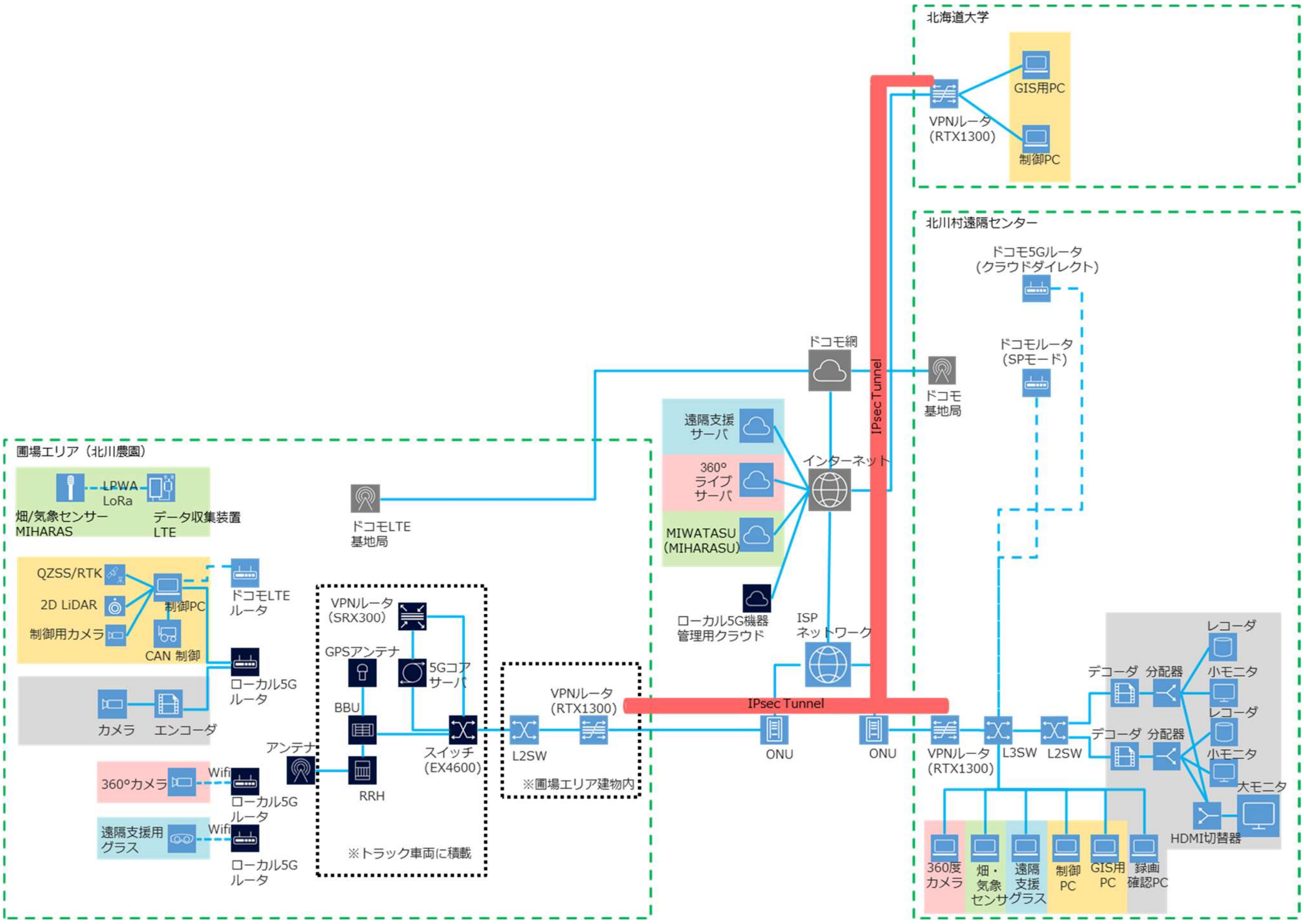


図 2.3-1 全体のネットワーク構成

以降の項目で各システムの詳細な構成を説明する。

2.3.1 ローカル 5G システム

本システムの構成図を以下に示す。

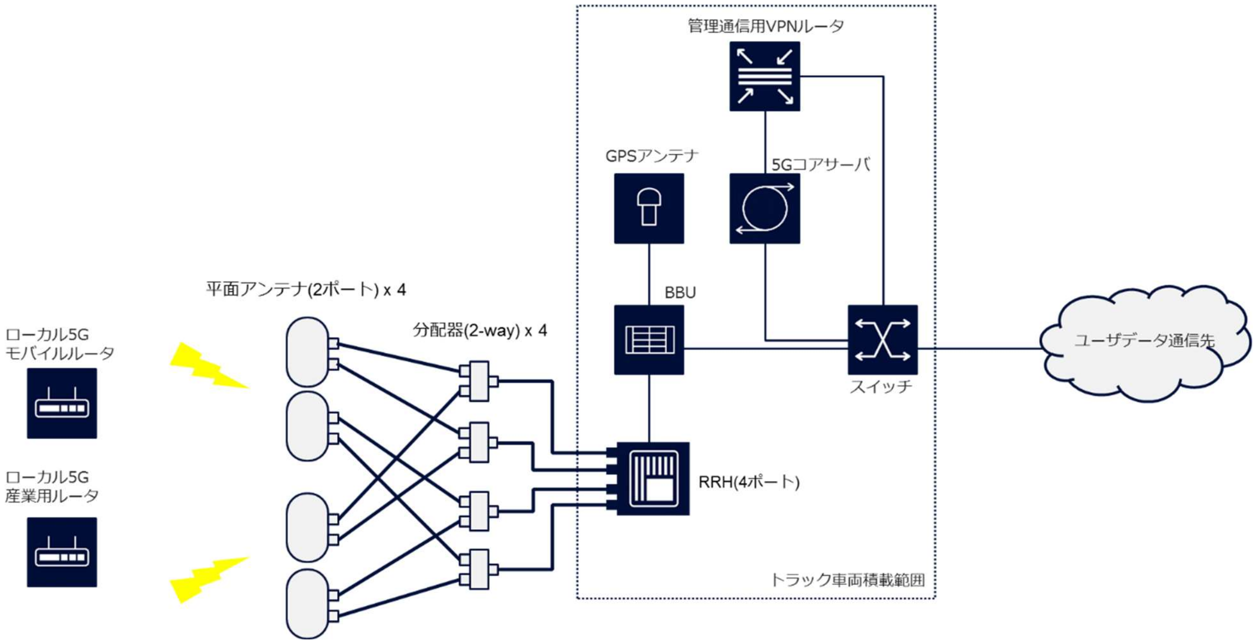


図 2.3.1-1 ローカル 5G 構成図

ローカル 5G システム各機器の設置場所は以下の通り。(〒781-6446 高知県安芸郡北川村西谷)

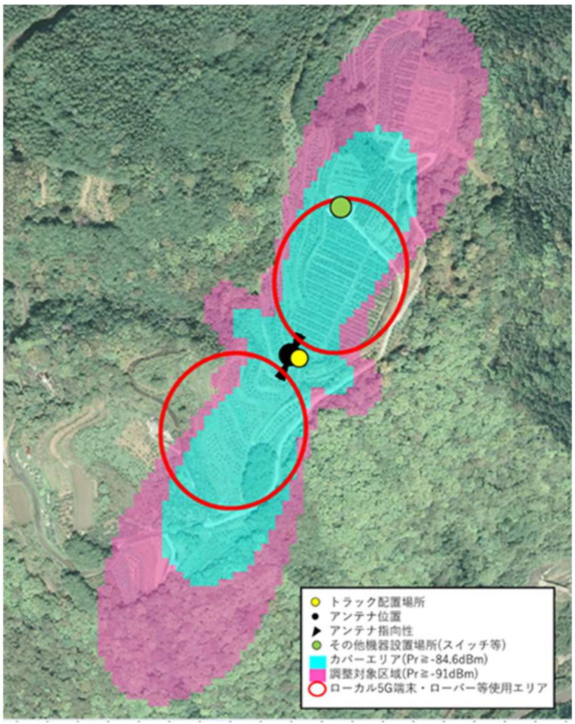


図 2.3.1-2 ローカル 5G システム機器設置場所
出典:地理院地図を加工して作成

ローカル 5G 無線機器の諸元は下表の通り。

表 2.3.1-1 ローカル 5G 無線機器の諸元

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

表 2.3.1-2 ローカル 5G システム機器一覧

No.	物品	設置場所	製造元	型番	数量
1	ローカル 5G モバイルルータ	圃場エリア（北川農園）	京セラ	K5G-C-100A	6
2	ローカル 5G 産業用ルータ	圃場エリア（北川農園）	IDY	iR730B-001	6
3	ローカル 5G 産業用ルータ用　外部アンテナ	圃場エリア（北川農園）	IDY	iAN078-5GS6-A2.5M	24
4	平面アンテナ	圃場エリア（北川農園）	日本電業工作	GP00092	4
5	分配器	圃場エリア（北川農園）	コムスコープ	S-2-UW-L-NI53	4
6	RRH	圃場エリア（北	NOKIA	AWHTA 5G	1

No.	物品	設置場所	製造元	型番	数量
		川農園)		AirScale Micro RRH	
7	BBU	圃場エリア(北川農園)	NOKIA	AMIA/ASIB/ABIO	各 1
8	GPS アンテナ	圃場エリア(北川農園)	NOKIA	FYGC	1
9	スイッチ	圃場エリア(北川農園)	Juniper	EX4600	1
10	5G コアサーバ	圃場エリア(北川農園)	HPE	EL1000 m510 10GE	1
11	管理通信用 VPN ルータ	圃場エリア(北川農園)	Juniper	SRX300-SYS-JB	1

各機器の詳細は以下の通り。

① ローカル 5G モバイルルータ

図 2.3.1-3 ローカル 5G モバイルルータの外観

表 2.3.1-3 ローカル 5G モバイルルータの諸元

項目名	値
型番	K5G-C-100A
製造元	京セラ
サイズ	約 78(H) x 165(W) x 27(D)mm
重量	約 326g
ディスプレイ	約 2.6 インチ
電池/充電端子	リチウムイオン電池(6,000mAh)/ USB Type-C™(PD3.0)
位置測位	GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo/みちびき/A-GPS
CPU	Qualcomm® Snapdragon™ 865 5G Mobile Platform, Snapdragon™ X55 5G

項目名	値
	Modem-RF System
メモリ	RAM:8GB / ROM:128GB
インターフェース	USB Type-C™
Bluetooth®	5.1
Wi-Fi®	Wi-Fi(802.11 a/b/g/n/ac/ax)
Wi-Fi 同時接続数	20 デバイス
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

② ローカル 5G 産業用ルータ

図 2.3.1-4 ローカル 5G 産業用ルータの外観

表 2.3.1-4 ローカル 5G 産業用ルータの諸元

項目名	値
型番	iR730B-001
製造元	IDY
CPU	MIPS 1004 Kc(880MHz) デュアルコア CPU
メモリ	16MB NOR フラッシュ、8GB eMMC(フラッシュ)、512MB DDR3
対応モード	NSA/SA ※1
対応バンド	5G:n77、n78、n79(4550~4850MHz) 4G:B1、B3、B8、B18、B19、B26、B28、B39、B41、B42 3G:B1、B3、B8、B19
外部 I/F	GbE Lan(WAN共有含む)×2、RS232/485 ×1、DIO×2、 モード SW、リセットスイッチ
アンテナ I/F	セルラー用 SMA コネクタ×4、Ext.SMA コネクタ×2

項目名	値
電源	ACアダプタ(JEITA/EIAJ DCプラグ) AC100V～240V DC12V 3A 出力
オプション	SIM カード、アンテナ(屋内仕様・防水仕様)
寸法(mm)	77.9（SMA 部含む 88）×125（取り付け耳 145)×24.8(L x W x H)
重量(g)	380(WISE コネクトモジュール、Ac アダプタ含まず)
消費電力	動作時 16A(最大)
動作環境	-10～60℃ ※2
保管環境	温度-20～70℃、湿度 10%～95%(結露なきこと)

※1…全ての gNodeB との接続を保証するものではありません。
※2…内部温度を監視しており、温度の上昇によっては通信速度を制御する場合があります。

③　ローカル 5G 産業用ルータ用　外部アンテナ

図 2.3.1-5 ローカル 5G 産業用ルータ用　外部アンテナの外観

表 2.3.1-5 ローカル 5G 産業用ルータ用　外部アンテナの諸元

項目名	値
型番	iAN078-5GS6-A2.5M
製造元	IDY
対象周波数	699-960MHz/1710-2700MHz/1427.9-1510.9MHz　/1561.1-1602MHz/3300-5150MHz/2400-2500MHz/5150-5850MHz
V.S.W.R	<=2.5 @3300-5150MHz
Peak Gain	1.63dBi @3300-5150MHz
アンテナタイプ	ダイポール
Polarization	Linear
インピーダンス	50 Ω
コネクタ形状	SMA Male
防水	IPX6
動作温度	-20～+70℃

項目名	値
保管温度	-30～+80℃

④　平面アンテナ

図 2.3.1-6 平面アンテナの外観

表 2.3.1-6 平面アンテナの諸元

項目名	値
型番	GP00092
製造元	日本電業工作
利得	12dBi
水平面内ビーム幅	30°
入出力端子	2 ポート・N-J
重量	600ｇ
サイズ	W:150mm×H:150mm×D:56mm

⑤　分配器

図 2.3.1-7 分配器の外観

表 2.3.1-7 分配器の諸元

項目名	値
型番	S-2-UW-L-NI53
周波数	555-6000MHz
3^{rd} PIM	-153dBc
Interface	N Female

挿入損失	0.95dB
分配損失	3dB
VSWR	1.25

⑥ RRH

図 2.3.1-8RRH の外観

表 2.3.1-8RRH の諸元

項目名		値
型番		AWHTA 5G AirScale Micro RRH
製造元		NOKIA
5G Band/Frequency		n79 4600-4900MHz
RF Output Power		Up to 20W per Tx path (4 Tx paths)
RF Bandwidth		OBW: 200MHz; IBW: 200MHz
Reference sensitivity power level		-95.6[dBm]
Carrier Bandwidth		NR:20,40, 50,60,80,100MHz
Modulation		256QAM (DL), 64QAM (UL)
Fronthaul Port		Three SFP+ Ports (3x 9.8 Gbps)
外形寸法	RRH 本体	245(w) x 345(h) x 130(d) mm
	AC/DC コンバータ	130(w) x 345(h) x 25(d) mm
重量	RRH 本体	˜11kg (w/o antenna)
	AC/DC コンバータ	1.8kg
消費電力		-40.5 to -57 VDC(AC/DC コンバータ経由)
動作温度		Max: 345W. Typical: 260W
Regulatory		-40oC to +55oC

⑦ BBU(左から)AMIA、ASIB、ABIO

図 2.3.1-9 BBU の外観

表 2.3.1-9BBU の諸元

機器型番	AMIA(シャーシ部分)	ASIB (AMIA に挿入され	ABIO (AMIA に挿入され

		たコンポーネント）	たコンポーネント）
製造元	NOKIA		
インターフェース	-	3×RJ45（1GE） 2 × SFP+ （1/10GE）	9×SFP28
外形寸法	H128.5xW447xD400[mm] （ブラケットなし） H128.5xW492xD400[mm] （ブラケットあり）	H48xW219x D377 [mm]	H25xW219x D364[mm]
重量	5.1kg	2.9kg	2.65kg
電源	-	DC-48V	-
消費電力	40W	129W	270W
動作温度	–5°C to 55°C		
動作湿度	0 - 93%		

⑧ GPS アンテナ

図 2.3.1-10GPS アンテナの外観

表 2.3.1-10GPS アンテナの諸元

項目名	値
型番	FYGC
製造元	NOKIA
電源	+15 V （HDMI ケーブル経由）
防水規格	IP67（-40°C to 85°C の場合）
重量	0.2kg
サイズ	直径 95mm×高さ 72.5mm
対応衛星システム	GPS,GLONASS,Beidou

⑨　スイッチ

図 2.3.1-11 スイッチの外観

表 2.3.1-11 スイッチの諸元

項目名	値
型番	EX4600-40F-AFO
製造元	Juniper
外形寸法	43.7 x 440.9 x 520.2 mm (HxWxD)
重量	9.84kg
電源	100 ～ 240VAC 、リ ダ ン ダ ン ト power supply(1+1) 周波数:50～60Hz 入力電流:4.5A(100～120VAC) 2.0A(200～240VAC)
消費電力	279W
動作温度	0℃ ～ +40℃
保管温度	-20℃ ～ +70℃

⑩　5G コアサーバ

図 2.3.1-125G コアサーバの外観

表 2.3.1-125G コアサーバの諸元

項目名	値
ソフトウェア仕様	スタンドアローン型 5GC ソフトウェア (UDM, UDR, SMF, AUSF, AMF, UPF) ※コアサーバに対する管理用通信はクラウドより発生
型番	EL1000 m510 10GE
製造元	HPE
外形寸法	87.4 x 338 x 243 mm (HxWxD)
重量	7.5kg
電源	入力電圧:100～240VAC、周波数 50～60Hz 最大入力電流:5.6A(100V)

消費電力	225W
動作温度	0℃ ～ +55℃
保管温度	-30℃ ～ +60℃

⑪ 管理通信用 VPN ルータ

図 2.3.1-13 管理通信用 VPN ルータの外観

表 2.3.1-13 管理通信用 VPN ルータの諸元

項目名	値
型番	SRX300-SYS-JB
製造元	Juniper
サイズ	34.7 x 320.8 x 191.0 mm (HxWxD)
重量	1.98kg
電源	12VDC、2.8A max(AC アダプタ) AC Input:100～240VAC 周波数:50～60Hz 消費電流:0.346A max
消費電力	24.9W
動作温度	-20℃ ～ +60℃
保管温度	-20℃ ～ +70℃

2.3.2 モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションにおけるネットワーク構成

本システムの構成図を以下に示す。

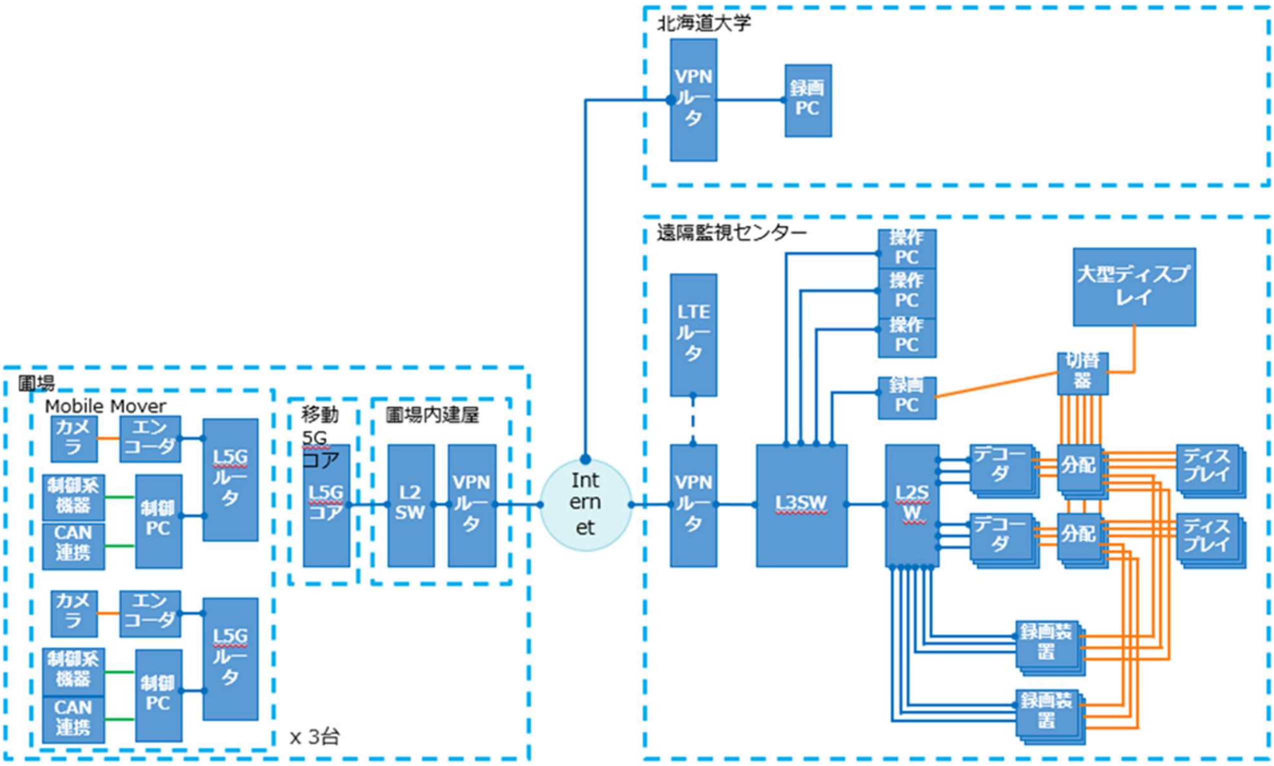


図 2.3.2-1 モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションにおけるネットワークシステム構成図

表 2.3.2-1 モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション機器一覧

No.	物品	設置場所	製造元	型番	数量
1	360°VR カメラ※	圃場エリア(北川農園)	Kodak	PIXPRO 4KVR360s	6
2	4K エンコーダー/デコーダー	圃場エリア(北川農園)/遠隔監視センター	ハイテクインター	TCS-8500	12
3	VPN ルータ	圃場エリア(北川農園)/遠隔監視センター	YAMAHA	RTX1300	3
4	ポータブル電源	圃場エリア(北川農園)	加島商事	PowerArQ(626Wh/174000mAh/3.6V/正弦波 100V	3

No.	物品	設置場所	製造元	型番	数量
				日本仕様)	
5	L3 スイッチ	遠隔監視センター	YAMAHA	SWX3200-28GT	1
6	L2 スイッチ	圃場エリア(北川農園)/遠隔監視センター	YAMAHA	SWX2310-18GT	2
7	75 型ディスプレイ	遠隔監視センター	SONY	KJ-75X80K	1
8	43 型ディスプレイ	遠隔監視センター	DMM.com	DKS-4K43DG5	6
9	HDMI 分配器	遠隔監視センター	ELECOM	VSP-HDP14BK	6
10	HDMI 切替器	遠隔監視センター	サンワサプライ	SW-UHD62N	1
11	デジタル入力レコーダー	遠隔監視センター	Blackmagicdesign	HyperDeck Studio 4K Pro	6
12	遠隔制御 PC	遠隔監視センター	Dynabook	dynabook ・PZ/HU	1
13	GIS 用 PC	遠隔監視センター	Dynabook	dynabook ・PZ/HU	1
14	録画確認 PC	遠隔監視センター	マウスコンピューター社	MousePro-NB541H	1
15	噴霧器	圃場エリア(北川農園)	有光工業	CSE316CK2	1
16	エッジ用 PC	圃場エリア(北川農園)	Dynabook	dynabook ・PZ/HU	3
17	2D-Lidar	圃場エリア(北川農園)	北陽電機	UST-30LX	3
18	3D-Lidar	圃場エリア(北川農園)	Velodyne	Velodyne AR-VLP-16	3
19	IMU	圃場エリア(北川農園)	テクノロード	TR-IMU16470	3
20	エッジ PC	圃場エリア(北川農園)	NVIDIA	JETSON AGX ORIN	3
21	MobileMover	圃場エリア(北川農園)	エムスクエア・ラボ	MobileMover	1

各機器の詳細は以下の通り。

① 360°VR カメラ

図 2.3.2-2 360°VR カメラの外観

表 2.3.2-2 360°VR カメラの諸元

項目名	値
型番	PIXPR0 4KVR360
製造元	Kodak
サイズ	約 55.0×55.0×66.9mm(レンズカバー含む)
重量	約 156g(バッテリー・外部メディア含む)
動画撮影機能	4K 画質 ※24fps
360 度カメラ	全天球
防水	対応 ※IPX5、IP6X
撮像素子サイズ	1/2.3
撮像素子	CMOS
最低動作温度	-10℃
対応規格	静止画 Exif2.3(JPEG)、動画 MP4(H.264)、音声 AAC[ステレオ]

② 4K エンコーダー/デコーダー

図 2.3.2-3 4K エンコーダー/デコーダー機器の外観

表 2.3.2-3 4K エンコーダー/デコーダー機器の諸元

項目名		値
製品名		TCS-8500
製造元		ハイテクインター
圧縮方式		H.264、H.265、MJPEG
タイプ		エンコーダー / デコーダー
解像度	入力	320 x 240 ～ 3840 x 2160
最大フレームレート		60fps @3840×2160
ビデオ	入力	HDMI x 1(Type A)
	出力	HDMI x 1(Type A)
	データレート	32kbps～50Mbps(H.264/H.265 使用時)※
オーディオ	スタンダード	G.711 / AAC
	入力	Line-In x1 (mini-monaural type) 、 HDMI (Monaural)
	出力	Line-Out x1(mini-monaural type)、HDMI(Input Bypass)
	サンプルレート	G.711:8kHz、AAC:32kHz / 44.1kHz / 48kHz
	データレート	G.711:64kbps、AAC:64kbps / 128kbps
ネットワーク		Ethernet 10/100/1000BASE-T(RJ-45)x1
		・Full/Half duplex Auto detection
		・Auto MDI/MDI-X
		・IEEE 802.3af Power over Ethernet PD
USB ポート		USB3.0 x1
外部装置	アラームポート	アラーム出力 x2
	センサーポート	センサー入力 x2
	シリアルポート	RS-232 x1
		RS-422/485 x1
寸法		(W)134 x(H)33 x(D)125mm(突起部含まず)
重量		459.4g(本体のみ)
電源		DC12V
消費電力		6.5W(最大)
動作温度		-10～+50℃
動作湿度		20～80%RH(結露なきこと)
保存温度		0～40℃
保存湿度		20～65%RH(結露なきこと)
認定		CE、FCC、VCCI Class A

③　VPN ルータ

図 2.3.2-4　VPN ルータの外観

表 2.3.2-4　VPN ルータの諸元

項目名	値
型番	RTX1300
製造元	YAMAHA
インターフェース	LAN ポート: 8 ポート（10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T，ストレート/クロス自動判別またはストレート固定)，2 ポート(SFP+スロットと排他）（100BASE-TX/1000BASE-T/2.5GBASE-T/5GBASE-T/10GBASE-T，ストレート/クロス自動判別またはストレート固定） SFP+スロット: 2 ポート(LAN ポートと排他）（1000BASE-SX/1000BASE-LX/10GBASE-SR/10GBASE-LR） WAN ポート: 任意の LAN ポート, SFP+スロットを利用可能
サイズ	220(W)×42(H)×294(D)mm
重量	1.9kg
電源	AC100～240V(50/60Hz)(※付属の電源ケーブルを使用する場合は、日本国内 AC100V のみ使用可能)，電源内蔵，電源インレット(3 極コネクタ, C14 タイプ)，電源スイッチ
消費電力	25.9W(48VA), 0.48A, 93.24kJ/h
動作温度	0～45℃

④　ポータブル電源

図 2.3.2-5　ポータブル電源の外観

表 2.3.2-5　ポータブル電源の諸元

項目名	値
型番	PowerArQ(626Wh/174000mAh/3.6V/正弦波 100V 日本仕様)
製造元	加島商事
バッテリー容量	174000mAh
バッテリータイプ	リチウムイオン電池
AC 出力波形	正弦波
充電時間	8 時間 ※～9 時間
充電方法	AC アダプタ
	ソーラーパネル（別売り） ※STSL120M、STSL120FD-MC4
出力方法	AC コネクタ ※×1 口
	DC ※×2 口
	USB ※×3(1 口 5V/2.1A 急速充電。2 口合計 5V/2.1A(片口のみ急速充電))
	シガーソケット ※×1 口
照明器具	LED ライト
定格出力(AC)	300W
最大出力(AC)	500W
AC 出力電圧	100V
AC 出力周波数	60Hz
出力可能最低温度	-10℃
出力可能最高温度	40℃
重量	6kg
幅	300mm

項目名	値
奥行き	193mm
高さ	242mm

⑤ L3 スイッチ

図 2.3.2-6　L3 スイッチの外観

表 2.3.2-6　L3 スイッチの諸元

項目名	値
型番	SWX3200-28GT
製造元	YAMAHA
インターフェース	LAN ポート×24(1G/100M/10M) SFP+スロット×4 コンソールポート×1 ポート(RJ-45)，1 ポート(USB mini-B)
サイズ	440(W)×44(H)×300(D)mm
重量	3.7kg
電源	AC100～240V(50/60Hz)（※9)，全て電源内蔵(電源スイッチ無し)，電源インレット(3 極コネクタ, C14 タイプ)
消費電力	26.8W(45.9VA), 0.51A, 96.5kJ/h
動作温度	周囲温度 0～50℃

⑥ L2 スイッチ

図 2.3.2-7 L2 スイッチの外観

表 2.3.2-7 L2 スイッチの諸元

項目名	値
型番	SWX2310-18GT
製造元	YAMAHA
インターフェース	LAN ポート×16 SFP+スロット×2 コンソールポート×2 ポート(RJ-45、USB mini-B)
サイズ	330(W)×43.5(H)×200(D)(突起物を除く)mm
重量	2.1kg
電源	AC100～240V(50/60Hz)(※8), 電源内蔵(電源スイッチ無し), 電源インレット(3 極コネクタ, C14 タイプ)
消費電力	19.0W(37.0VA), 0.37A, 68.4kJ/h
動作温度	周囲温度 0～50℃

⑦ 75 型ディスプレイ

図 2.3.2-8 75 型ディスプレイの外観

表 2.3.2-8 75 型ディスプレイの諸元

項目名	値
型番	KJ-75X80K
製造元	SONY
型	75V
パネル	液晶パネル
画素数(水平×垂直)	3,840×2,160(4K)
4K 高画質プロセッサ	高画質プロセッサ「HDR X1」
超解像エンジン	4K X-Reality PRO
ビデオ入力端子	1
HDMI 入力端子	4
USB 端子	2
LAN 端子(100BASE-TX/10BASE-T)	1
外形寸法(幅×高さ×奥行)[スタンド含む]:	167.5×96.2×7.3[167.5×104.1×41.2] cm
質量[スタンド含む]	32.2[33.5] kg
消費電力[待機時]	317[0.5] W
年間消費電力量	261 kWh/年

⑧　43 型ディスプレイ

図 2.3.2-9　43 型ディスプレイの外観

表 2.3.2-9　43 型ディスプレイの諸元

項目名	値
型番	DKS-4K43DG5
製造元	DMM.com
型	43 インチ
サイズ	96×62×23.2 cm
解像度	3840(H)x2160(V)
USB 用ポート数	2
HDMI2.0 ポート数	3
重量	6.5kg
重量	6.5kg

⑨　HDMI 分配器

図 2.3.2-10　HDMI 分配器の外観

表 2.3.2-10　HDMI 分配器の諸元

項目名	値
型番	VSP-HDP14BK
製造元	エレコム
最大表示解像度	4K60Hz (4096×2160)
主な対応解像度	4K(4096×2160)　30Hz/60Hz　、

項目名	値
	4K(3840×2160) 30Hz/60Hz 、2K(1920×1080) 60Hz 、1080i/720p/576p/576i/480p/480i
HDMI 規格	HDMI2.0b
HDR	HDR10、Dolby Vision(R)、HLG 対応
データレート	18Gbps
映像周波数帯域	600MHz
ポート数	入力:1、出力:4
コネクタ形状	入力:HDMI タイプ A 19 ピン(メス)×1、出力:HDMI タイプ A 19 ピン(メス)×4、電源:Micro-B コネクタ×1
適合規格	VCCI クラス B
AC アダプタ定格	DC 5V 0.6A
AC アダプタ入力電圧	100V～240V
本体サイズ	幅約 185mm×奥行約 122.5mm×高さ約 25mm
重量	約 478g(本体)
使用温度・湿度	5～40℃ 湿度 0～80%(ただし結露なきこと)

⑩ HDMI 切替器

図 2.3.2-11 HDMI 切替器の概観

表 2.3.2-11 HDMI 切替器の諸元

項目名	値
型番	SW-UHD62N
製造元	サンワサプライ

項目名	値
インターフェース	入力用/HDMI タイプ A(19PIN)メス×6
	出力用/HDMI タイプ A(19PIN)メス×2
	音声出力/3.5mm ステレオミニジャック×1、Toslink×1
切り替え内容	HDMI 入力 6、HDMI 出力 2(マトリックス切り替え出力)
切り替え方式	本体切り替えボタン、リモコン
最大解像度	3840×2160(30Hz、4:4:4)
消費電力	2.25W
動作温度	0～40℃
製品サイズ(外寸)	W250×D110×H26mm
重量	742g

⑪ デジタル入力レコーダー

図 2.3.2-12 デジタル入力レコーダーの概観

表 2.3.2-12 デジタル入力レコーダーの諸元

項目名	値
型番	HyperDeck Studio 4K Pro
製造元	BlackmagicDesign
サイズ	H44.2xW482xD236.4mm
重量	2.53kg
接続	SDI ビデオ入力x1 SDI ビデオ出力x2 SDI モニタリング出力x1 SDI レート:270Mb、1.5G、3G、6G、12G。 HDMI 2.0 ビデオ入力x1 HDMI2.0 ビデオ出力x1 内蔵スピーカー:モノ オーディオ出力:6.35mm ヘッドフォンジャック x1 スクリーン:2.2 インチ LCD タイムコード接続:XLR 入力 x1、XLR 出力 x1

項目名	値
	リファレンス接続：BNC 入力 x1、BNC 出力 x1、3 値シンクまたはブラックバースト SDI オーディオ入力：16ch のエンベデッドオーディオ SDI オーディオ出力：16ch のエンベデッドオーディオ HDMI オーディオ入力：8ch のエンベデッドオーディオ HDMI オーディオ出力：8ch のエンベデッドオーディオ リモートコントロール：RS-422 入力 x1、RS-422 出力 x1 レコーダーコンフィギュレーション：ユーザーインターフェースまたは Blackmagic HyperDeck Ethernet Protocol 経由 イーサネット：10Gb/s コンピューターインターフェース：USB タイプ C 3.1 Gen 2 x1（最大 10Gb/s）外付けドライブ収録、ウェブカム出力、ソフトウェア設定およびアップデート用

⑫ 遠隔制御用 PC

図 2.3.2-13 遠隔制御用 PC の概観

表 2.3.2-13 遠隔制御用 PC の諸元

項目名	値
型番	dynabook・PZ/HU
製造元	Dynabook
サイズ	361.0mm×244.0mm×19.9mm
重量	1.69kg

⑬ GIS 用 PC

図 2.3.2-14 GIS 用 PC の概観

表 2.3.2-14 GIS 用 PC の諸元

項目名	値
型番	dynabook･PZ/HU
製造元	Dynabook
サイズ	361.0mm×244.0mm×19.9mm
重量	1.69kg

⑭ 録画確認 PC

図 2.3.2-15 録画確認 PC の概観

表 2.3.2-15 録画確認 PC の諸元

項目名	値
型番	MousePro-NB541H
製造元	マウスコンピューター
サイズ	361mm×256mm×29.1mm
重量	2.03kg

⑮　噴霧器

図 2.3.2-16　噴霧器の概観

表 2.3.2-16　録画確認 PC の諸元

項目名	値
型番	CSE-316CK2
製造元	有光工業
最大圧力	3.4 MPa
最大吸水量	16 L/min

⑯　エッジ用 PC

図 2.3.2-17　エッジ用 PC の概観

表 2.3.2-17　エッジ用 PC の諸元

項目名	値
型番	dynabook･PZ/HU
製造元	Dynabook
サイズ	361.0mm×244.0mm×19.9mm
重量	1.69kg

⑰ 2D-Lidar

図 2.3.2-18 2D-Lidar の概観

表 2.3.2-18 2D-Lidar の諸元

項目名	値
型番	UST-30LX
製造元	北陽電機
検出保証値	0.05m～30m(反射率 90%白ケント紙)
検出精度	±40mm

⑱ 3D-Lidar

図 2.3.2-19 3D-Lidar の概観

表 2.3.2-193D-Lidar の諸元

項目名	値
型番	AR-VLP-16
製造元	Velodyne
測定距離	0.5～100m(最短出力距離 0.1mから可能 ※FW3.0.40.以上)
測定精度	±3cm(1σ@25m)

⑲　IMU

図 2.3.2-20　IMU の概観

表 2.3.2-20　IMU の諸元

項目名	値
型番	TR-IMU16470
製造元	テクノロード
ジャイロセンサー	レンジ:±2000 °/sec 動作中のバイアス安定度: 8 °/hr 速度ノイズ密度: 0.008 °/sec/√Hz
加速度センサー	レンジ:±40 g 動作中のバイアス安定度:13 μg

⑳　エッジ PC

図 2.3.2-21　JETSON AGX ORIN の概観

表 2.3.2-21 JETSON AGX ORIN の諸元

項目名	値
型番	JETSON AGX ORIN
製造元	NVIDIA
CPU ブランド	ARM
最大メモリ容量	32 GB
HDD 容量	64 GB
GPU ブランド	NVIDIA

㉑MobileMover

図 2.3.2-22 MobileMover の概観

表 2.3.2-22 MobileMover の諸元

項目名	値
製品名	Mobile Mover
製造元	エムスクエア・ラボ
長さ	905 mm
幅	600 mm
高さ	500 mm
重量	92 kg

2.3.3 新規就農者遠隔支援ソリューションにおけるネットワーク構成

(1) バーチャル圃場訪問

バーチャル圃場訪問は、新規就農希望者向けのセミナー等で現地圃場の説明員がリアルタイムに4K360°画像による双方向コミュニケーションを可能とするシステムである。

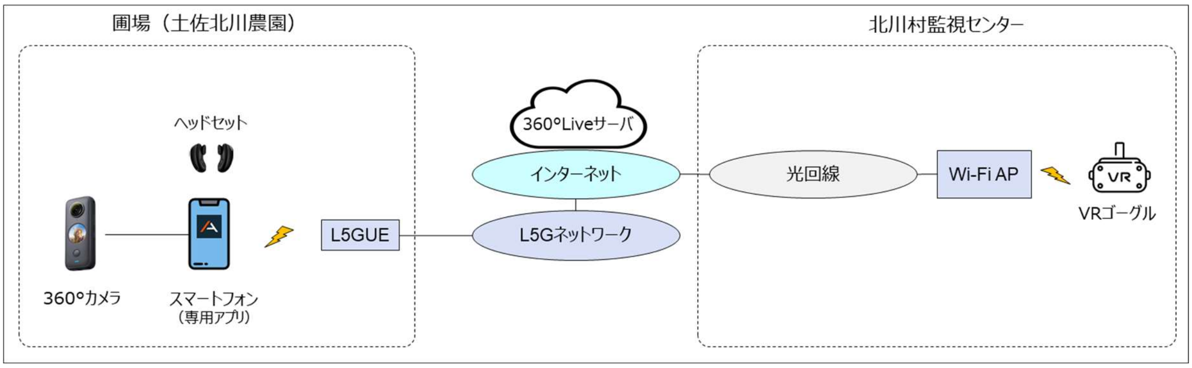


図 2.3.3-1 バーチャル圃場訪問構成図

本システムにて使用する機器は以下の通り。

表 2.3.3-1 バーチャル圃場訪問機器一覧

項目名	役割	機器等名	数量
4K360°カメラ	圃場の 4K360°撮影を実施するために使用 固定設置または移動しながら利用する	Insta360 ONE X2	1
スマートフォン（専用アプリ）	360°カメラからの映像を送信用データに変換するために利用	Samsung Galaxy S20（AVATOUR）	1
ヘッドセット	圃場から音声による説明を実施するために利用	Galaxy Buds Live	1
360°Live サーバ	撮影した 360°映像と音声をリアルタイム配信するために利用	AVATOUR	1
Wi-Fi AP	VR ゴーグル接続用のアクセスポイント	WAPM-1266R	1
VR ゴーグル	新規就農に興味がある人が装着し、4K360°VR 映像＋音声通話時に利用	Meta Quest2	2

図 2.3.3-2 4K360°カメラの外観

表 2.3.3-2 4K360°カメラの諸元

項目名	値
型番	CINOSXX/A
製造元	Arashi Vision
動画解像度(360 度)	5.7K@30fps,25fps,24fps 4K@50fps,30fps 3K@100fps
動画フォーマット(360 度)	INSV
サイズ	4.62(W)×11.30(H)×2.98(D)cm
重量	149g
バッテリー容量	1630mAh(5.7K@30fps 80 分駆動)
動作温度	-20℃~40℃

図 2.3.3-3 スマートフォンの外観

表 2.3.3-3 スマートフォンの諸元

項目名	値
型番	SC-51A
製造元	Samsung
受信時最大	5G 3.4Gbps 4G 1.7Gbps
送信時最大	5G 218Mbps 4G 75Mbps

サイズ	69(W)×152(H)×7.9(D)mm
重量	163g
バッテリー容量	4000mAh(5G 100 時間)

図 2.3.3-4 ヘッドセットの外観

表 2.3.3-4 ヘッドセットの諸元

項目名	値
型番	Galaxy Buds Live
製造元	Samsung
サイズ	16.5(W)×27.3(H)×14.9(D)mm
重量	5.6g
バッテリー容量	60mAh
稼働時間	最長 6 時間

図 2.3.3-5 Wi-Fi AP の外観

表 2.3.3-5 Wi-Fi AP の諸元

項目名	値
型番	WAPM-1266R
製造元	BUFFALO
インターフェース	無線 LAN(IEEE802.11a/11g/11b) 有線 LAN(10M/100M/1000Mbps)
サイズ	175(W)×200(H)×45(D)mm
重量	800g
電源	AC100～240V(50/60Hz)

消費電力	18W
動作温度	-15℃～50℃

図 2.3.3-6　VR ゴーグルの外観

表 2.3.3-6　VR ゴーグルの諸元

項目名	値
型番	Meta Quest 2
製造元	Meta
サイズ	224(W)×100(H)×450(D)mm
重量	503g
バッテリー容量	1800mAh
消費電力	5V,2A
動作温度	0～35℃

（2） 遠隔指導システム

遠隔指導システムは、現地圃場にて研修中の新規就農者に対して指導員がリアルタイムに高品質画像による双方向コミュニケーションを可能とするシステム。

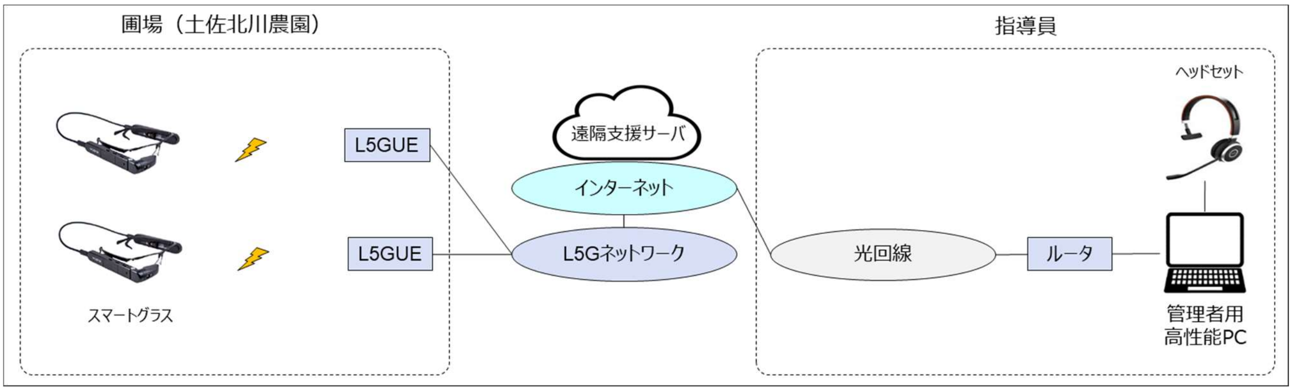


図 2.3.3-7 遠隔指導構成図

本システムにて使用する機器は以下の通り。

表 2.3.3-7 遠隔指導システム機器一覧

項目名	役割	機器等名	数量
スマートグラス	圃場から映像と音声を送受信するために利用	VUZIX M400	5
遠隔支援サーバ	圃場から音声による説明を実施するために利用	AceReal Assist	5
管理者用高性能 PC	指導者が映像と音声を確認しながら、指示をだすために利用	Surface Pro 8	1
ヘッドセット	管理者用 PC に接続して利用	Microsoft モダン USB ヘッドセット	1

図 2.3.3-8 スマートグラスの外観

表 2.3.3-8 スマートグラスの諸元

項目名	値
型番	VUZIX M400
製造元	Vuzix
重量	68g

バッテリー容量	750mAh
動作温度	-20℃～45℃

図 2.3.3-9 管理者用高性能 PC の外観

表 2.3.3-9 管理者用高性能 PC の諸元

項目名	値
型番	8PW-00009
製造元	Microsoft
メモリ	16GB
ストレージ	256G
プロセッサ	Intel Corei7
OS	Windows11
インターフェース	Wi-Fi6（IEEE 802.11ax 対応） Bluetooth 5.1
サイズ	287(W)×208(H)×9.3(D)mm
重量	891g
バッテリー容量	51.5Wh

図 2.3.3-10 ヘッドセットの概観

表 2.3.3-10 ヘッドセットの諸元

項目名	値
型番	I6P-00003

製造元	Microsoft
インターフェース	USB-C または USB-A
サイズ	167(W)×173(H)×60(D)mm
重量	142g

2.4 システム機能・性能・要件

今回の各検証内容における性能要件は以下の通り。

表 2.4-1 性能要件

検証内容	必要スループット	最大許容遅延	算出根拠
モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション	UpLink:36Mbps	400ms	
バーチャル圃場訪問	ホスト: UpLink:10Mbps	―	使用する製品(AVATOUR)において設定可能な最大スループットであるため。(製品仕様に基づく)
遠隔指導システム	UpLink:2.5Mbps DownLink:2.5Mbps ※2.5Mbps×5 台=12.5Mbps 必要	―	使用する製品(AceReal Assist)の通品速度目安における最大値であるため。(製品仕様に基づく)

各機器における最大接続数・スループット値は以下の通り。

表 2.4-2 最大接続数・スループット値

接続元		接続先	
機器名	最大スループット	機器名	最大接続数
5G コアサーバ	9.5Gbps	ASIB(BBU)	100
ASIB(BBU)	7.5Gbps	ABIO(BBU)	3
ABIO(BBU)	-	基地局 RRH	4
基地局 RRH	130Mbps(上り)	-	
	900Mbps(下り)		

2.4.1 ローカル 5G システムにおけるシステム機能・要件・性能

表 2.4.1-1 ローカル 5G システムにおけるシステム機能・要件・性能

システム機能	4.8～4.9GHz（Sub6）帯のスタンドアローン（SA）構成に対応した各コンポーネント機能（コアネットワーク装置、集約ノード（CDU）、基地局（RU）、陸上移動局（UE））を有する 超高速（eMBB）を実装している 外部アンテナ取り付け可能 ソフトウェアによる電力調整ができる
要件	外部アンテナ等による DAS 構成の構築が可能 アンテナは地上高さ 8.5m に設置 必要トラフィック： ＜ムーバー向け＞ アップリンク 36Mbps（3 台同時走行のため：前後カメラ 12M×3 台） ＜バーチャル圃場訪問ホスト＞ アップリンク 10Mbps ＜遠隔指導システム＞ アップリンク 12.5Mbps / ダウンリンク 12.5Mbps （それぞれ 2.5Mbps×5 台＝12.5Mbps） <<合計>> アップリンク 58.5Mbps / ダウンリンク 12.5Mbps 許容往復遅延時間： ＜ムーバー向け＞ 400ms ※400ms の設定根拠は以下の通り 最大許容遅延については、モバイルムーバーソリューションの運用上必須となる遠隔監視時の停止距離 1mを達成するために、どの程度の遅延までであれば許容されるかをもとに算出した。 モバイルムーバーは時速 2km（秒速 50cm）で走行するため、停止距離 1m を達成するためには、ムーバーから映像が伝送されてから実際に停止するまでに 2 秒以内となる必要がある。 そのうち、遠隔支援センターからモバイルムーバーまでの制御遅延を機能検証の目標としたときに、その他のパスの遅延も踏まえて合計で 2 秒以内になるように目標値を設定した。 その他のパスの遅延については以下を想定している。 ・映像伝送遅延：0.6 秒 ・オペレータの反応による遅延：0.8 秒 ・制動距離を考慮したバッファ:0.2 秒 上記を踏まえて制御遅延の目標値としては 0.4 秒（400ms）と設定した ※2 秒-0.6 秒-0.8 秒-0.2 秒＝0.4 秒
性能	同期 TDD パターンにおける最大実測スループットは以下の通り。（RRH1 台あたり）

	アップリンク：130Mbps ダウンリンク：900Mbps ローカル 5G システム単体での EndToEnd の最大 Ping 応答時間は以下の通り、 35ms

2.5 その他

2.5.1 実証システムの拡張性等

基地局・コア設備を含め、5G の技術標準となる 3GPP 規格に準じたシステムとなっており、またクラウドにより各機器のソフトウェアアップデートが実施可能なため、システムの構築後も最新の技術標準などを踏まえた機能拡張が可能である。

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

基地局・コア設備については、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給および導入の促進に関する法律（令和 2 年法律第 37 号）に基づく開発供給計画認定 1 を受けた実勢を有するメーカー（ノキアソリューションズ＆ネットワークス合同会社）の製品を使用している。

本ローカル 5G システムはクラウドとの間において管理用通信が発生するが、クラウドと VPN 接続を行う SRX300 はファイアウォールの役割も成しており、ホワイトリスト外の外部通信を破棄する。

また、ユーザー通信と管理用通信は完全に分離されており、ローカル 5G 上のユーザー通信はクラウドへは送信されない。

（2） その他の実証システム

基地局・コア設備以外の機器においても、製造企業・販売企業含めたサプライチェーンを検討した上で各製品を採用している。

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)

3.1 実証概要

農業分野における課題実証では、"中山間地におけるゆず農園をモデルとした①モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション、②新規就農者遠隔指導ソリューション"を目的としている。技術実証においてもこのユースケースを前提とし、仕様書で規定されている"Ⅰ.電波伝搬モデルの精緻化""Ⅱ.エリア構築の柔軟性向上"について検討を行った。

中山間部において、果樹等の一般的な圃場は、平坦な場所が多いと考えられますが、今回の実証環境は、傾斜の厳しい斜面においても、農地運用を行っている。今回の実証では、その両面(平坦な圃場と急斜面な圃場)での検討を行うため、圃場での環境において横展開に資するものとなる。 そのために、今回得られた知見が平坦な圃場と急斜面の圃場環境下(中山間地に位置し、周辺が森林等に覆われている切り拓いた敷地や植生が生い茂る環境における複数のローカル 5G 基地局を設置する場合の干渉調整区域の明確化等)においても適用できるよう、"圃場内の植生、周辺森林環境に対する遮蔽・反射等の電波伝搬特性"および"中山間地域におけるエリア展開の在り方"を意識しながら検討を行った。

また、電波伝搬特性の解析においては、ITU や 3GPP における 5G 検討で用いられているパラメータ等を活用して検討を行うこととした。

3.2 実証環境

高知県安芸郡北川村西谷地区にある安芸北川農園に置局される 4.7GHz 帯(4.8~4.9GHz)のローカル 5G 基地局1局、アンテナ２基、および仕様書で規定されている「Ⅱ.エリア構築の柔軟性向上」に使用する分散アンテナ(DAS)を用いて実証試験およびシミュレーションを行った。

図 3.2-1 に技術実証試験フィールドである高知県北川村農園のゆず農園圃場内カバーエリアを示す。

技術実証を行うゆず農園圃場は、図 3.2-1 に示すように多数のゆずの樹が開拓、整地された土地に整列した状態で植生されており、植生物による電波遮蔽の影響、周辺の森林による電波遮蔽の影響を観測されることが想定される。

また、ゆず農園圃場は中山間部に位置する森林等を切り拓いた環境であるため、圃場により斜面が異なり、周辺は森林等に囲まれた環境となっている。図 3.2-2 に北川農園中山間部においての標高を示す。図 3.2-2 に示すように上側の圃場は赤色になっているのに対し、下側の圃場では傾斜による色の変化が大きくなっていることが確認できる。よって、実証環境の中山間部では図 3.2-3 に示すように水色の枠を平坦地、黒色の枠を急傾斜地とした。

図 3.2-1 高知県北川村農園のゆず農園圃場内カバーエリア

出典：地理院地図を加工して作成

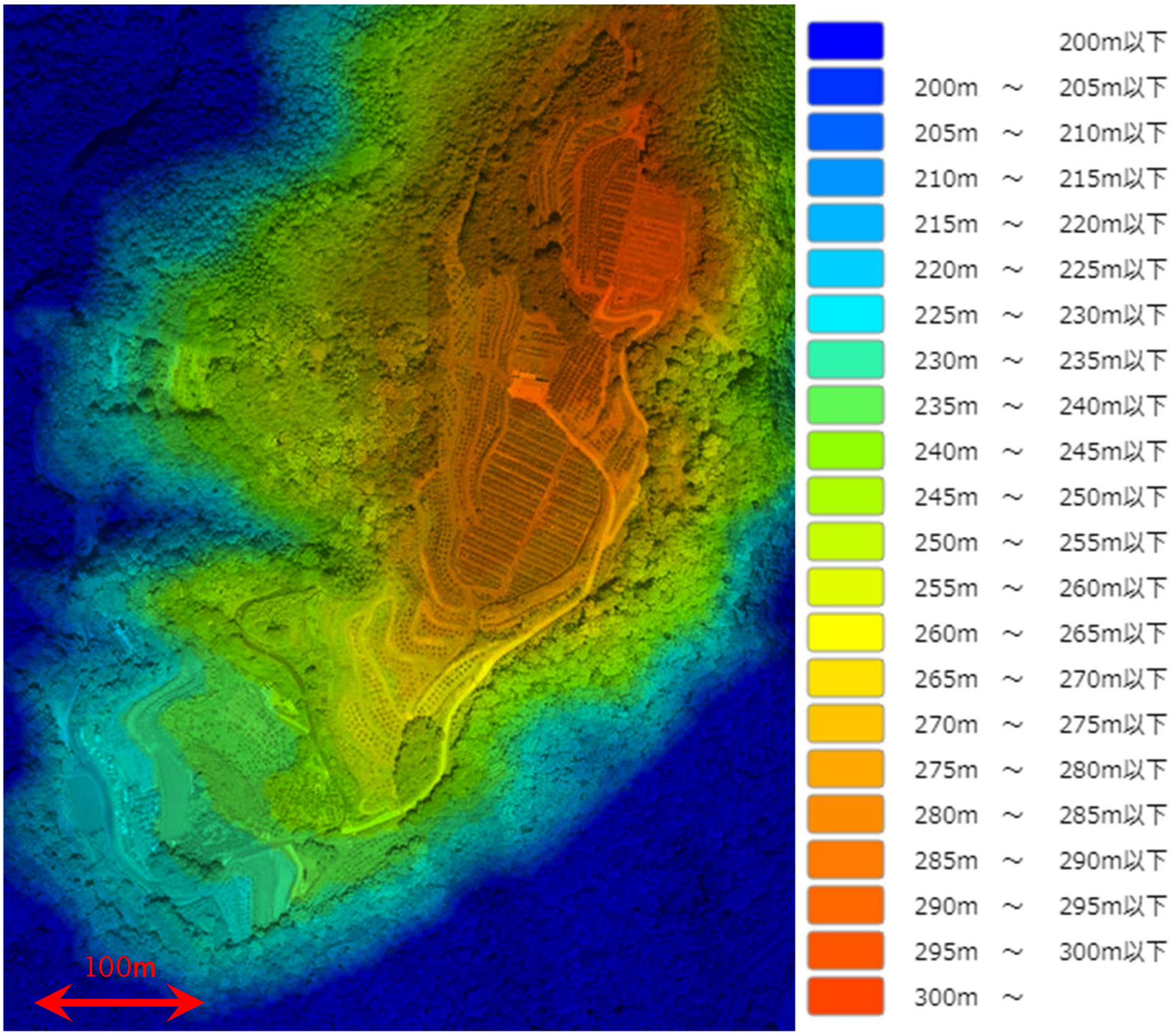


図 3.2-2 北川農園中山間部においての標高値

出典:地理院地図を加工して作成

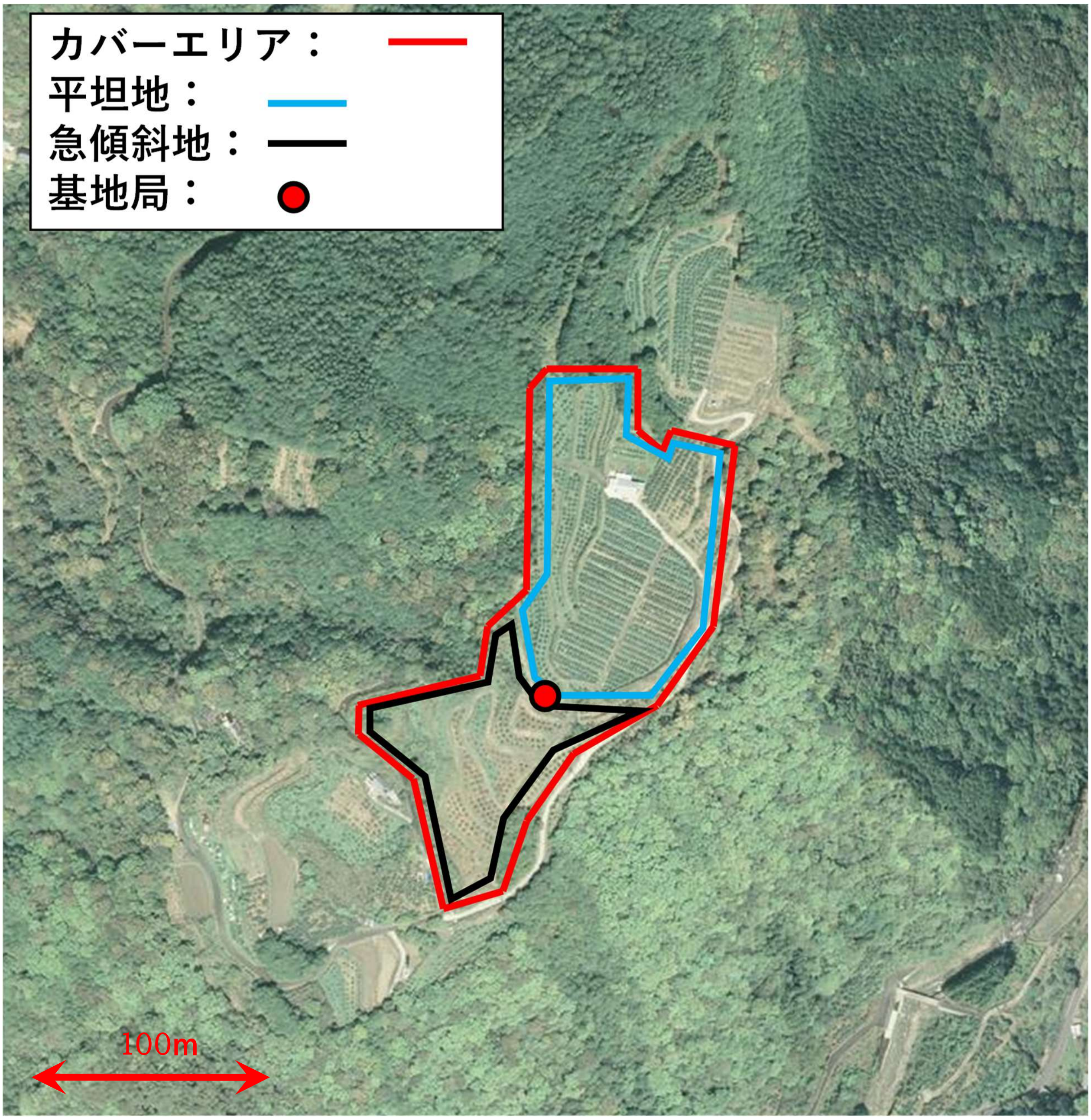


図 3.2-3 北川農園中山間部においての区分エリア

出典:地理院地図を加工して作成

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

農業分野におけるユースケースを前提とした場合、隣接する他者土地において干渉調整の対象となるシステムが運用されている場合、植生や森林による遮蔽影響がカバーエリア、調整対象区域の設定にどのような影響を与えるかを明確にする必要がある。そのため、自己土地外への電波漏洩等の電波伝搬特性を把握したエリア構築が課題となる。

今回の課題実証では“ローカル 5G を用いたモバイルムーバーによる遠隔・自動草刈り、防除ソリューションおよび新規就農者遠隔指導ソリューションの機能、運用およびその効果に関する検証”を目的としており、図 3.2-3 を示すゆず農園圃場内のエリアをカバーするため、ローカル 5G 基地局 1 局を活用して実証を行った。図 3.2-3 にカバーエリアに対する基地局設置位置を示す。技術実証においても、同じ基地局を用いることで、実証環境における電波伝搬特性を網羅的かつ効率的に把握することができる。

2）実証目標

3.3.1 章においては柔軟なローカル 5G システムの設計・構築に資する検討として、仕様書要件 で規定されているエリア算出法に含まれるいくつかのパラメータ（表 3.3.1.1-1）を対象とし、その値を精緻化することが求められている。

本検討において得られる精緻化したパラメータ値により、ローカル 5G 運用エリアに合わせてエリア算出法を適正化する等の制度改正につながることを目標としている。また、得られた知見については、総務省が策定しているローカル 5G ガイドラインにおいて、モデルケースとして記載することで、ローカル 5G の利活用に生かされることを想定している。

今回の実証環境においては、4.7GHz 帯の屋外局であり、ゆず農園の圃場については基地局と測定点の距離が 100m以上確保できることを想定しているため精緻化の対象パラメータは表 3.3.1.1-1 から“S”とする。“S”は計算対象地域の環境に応じて、市街地、郊外地、開放地に対して考慮する補正値であり、本実証環境のような中山間地における植生や周辺樹木の環境におけるモデルケースを示すにあたっては適切なパラメータであると考えることから“S”においてのパラメータで精緻化を行う。

また、今回のテーマⅠの電波伝搬モデルの精緻化において、中山間部におけるエリア構築を網羅的かつ効率的に実施することが可能であることから分散アンテナ（DAS）を用い、エリア構築を行った。

図 3.3.1.1-1 にローカル 5G 用 DAS の構成図、図 3.3.1.1-2 にセクタアンテナ本体外観、表 3.3.1.1-2 にセクタアンテナ諸元を示す。

表 3.3.1.1-1 精緻化の対象パラメータと精緻化の方向性、実証環境の要件

利用する周波数帯	精緻化の対象パラメータ	精緻化の方向性	実施環境の要件
4.7GHz 帯	K[9]	斜面や植生、水面の影響の定量化	● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が 100m 以上確保できる ● 斜面や植生、水面等の地形情報データにより算入し難い地形の影響が存在する
	S[10]	選択基準の詳細化	● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が 100m 以上確保できる
	R[11]	壁面の材質・厚さ別の定量化	● 基地局設置場所が屋内である
28GHz 帯	hr[12]	選択基準の明確化	● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局が見通せない測定点を確保できる
	R[13]	壁面の材質・厚さ別の定量化	● 基地局設置場所が屋内である

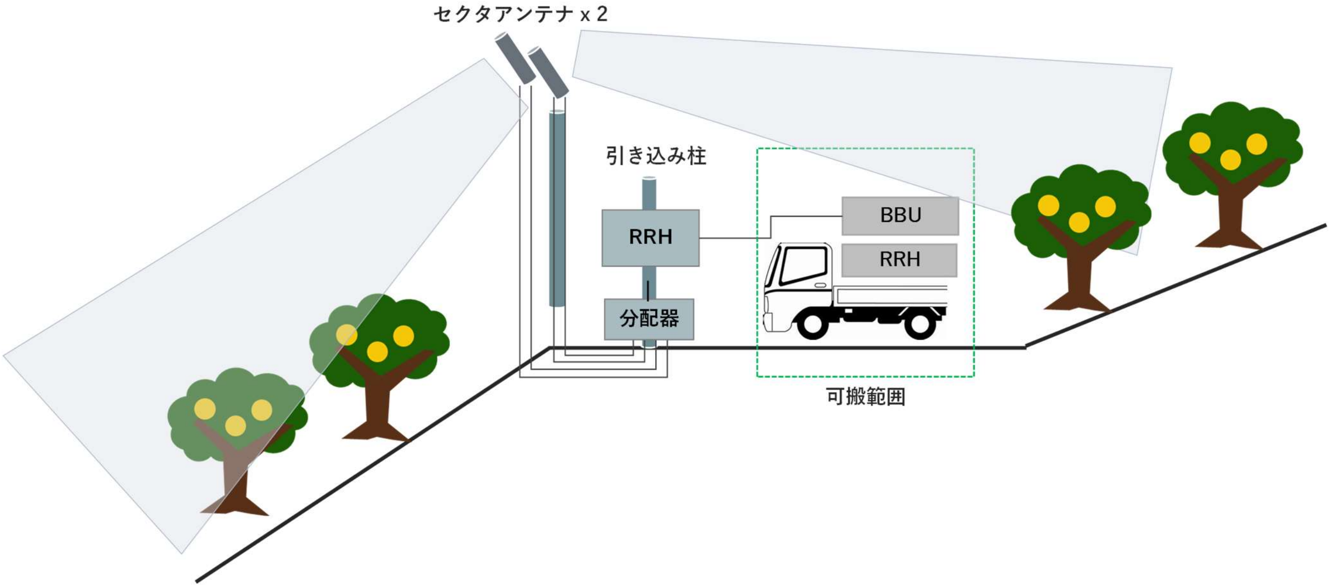
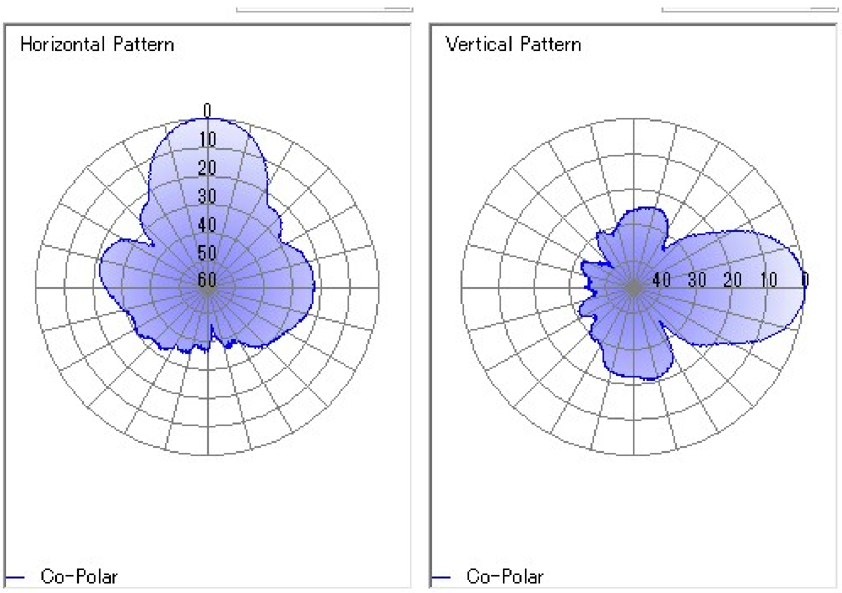


図 3.3.1.1-1 分散アンテナ(DAS)構成図イメージ

図 3.3.1.1-2　セクタアンテナ本体外観

表 3.3.1.1-2　セクタアンテナ諸元

項目名	
型番	GP00092
製造元	日本電業工作
利得	12dBi
水平面内ビーム幅	30°
アンテナパターン	
入出力端子	2 ポート・N-J
重量	600 g
サイズ	W:150mm×H:150mm×D:56mm

3）過年度技術実証からの発展性・新規性

a. 環境要因

令和 2 年度「No.1 自動トラクター等の農機の遠隔監視制御による自動運転の実現」の最終報告書によれば、電波伝搬における遮蔽物として「防風林」を挙げ、減衰するとの結果を得ている。

令和３年度「No.1 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、落葉樹での環境下で実証を行っている。

以上のことから今回の実証環境である「中山間地に位置し、周辺が森林等に覆われている切り拓いた敷地や植生が生い茂る環境」は、ゆずの樹が常緑樹であること、実証期間中の秋から冬にかけても温暖な気候の地域性から周辺の森林も落葉しないことを鑑みると明らかに差分があり、地域や季節による影響による実証結果のさらなる積み上げとして期待できる。

b. 精緻化パラメータの導出手法の確立

令和 3 年度「No. 1 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」の最終報告書 p.119 記載の考察によれば、「中山間地域におけるローカル 5G システム導入前のシミュレーションを改善するためには、様々な中山間地域において地形的条件や環境条件でより細かくエリアを分類し、条件にあったパラメータ“S” を求める必要があると考えます。」となっている。

そこで、基地局からの指向方向に対し精緻化に影響を与える線上の環境に応じた精緻化パラメータである減衰量を設定し、結果から算出されたカバーエリア、調整対象区域図を作成することが確立できるかを検証する必要がある。下記に導出手順を示す。

（ア）中山間地域において急傾斜地と平坦地にエリアを分類し、それぞれの精緻化の対象とするパラメータ“S”について設定。

（イ）仮説値に基づいたエリア算出法の閾値と実測値の比較を行い、その差分要因について分析。

（ウ）分析結果から“S”値の設定値について修正。

（エ）再度カバーエリアおよび調整対象区域との比較を行い、修正した“S”値が実測値と近しい結果が得られているか確認。

（2） 実証仮説

3）「過年度技術実証からの発展性・新規性」でも述べた通り、過去の実証案件と同様の「中山間地域における果実栽培」であり、本実証との結果比較が必要であることから、今回の精緻化パラメータは“S”を選択した。

今回精緻化の対象とするパラメータ“S”については、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）[1]において詳しく記載されている（表 3.3.1.1-1 参照）。エリア算出法では、表 3.3.1.1-1 に示すよ

---

[1] 電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）：https://go5g.go.jp/sitemanager/wp-content/uploads/2021/06/ 電波法関係審査基準ローカル5G 部分＜抜粋＞.pdf

うに、基地局と送信点の距離(dxy)が 100m 以上の場合は計算対象地域の環境に応じて、市街地、郊外地開放地に対して考慮する補正値“S”の選択が必要である。

一方、“S”を選択する場合の値について、同様の中山間地における実証実験を行った令和 3 年度「No. 1 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、中山間地域における果実栽培の環境下の考察として S=39.1 を推奨しており、表 3.3.1.2-1 に示す「開放地の場合 S=32.5」よりもさらに高くなることが想定されるが、今回の実証環境下では多数のゆずの樹が開拓、整地された土地に整列した状態で植生されており、植生物による電波遮蔽の影響が想定される。

また、課題実証では樹木より低い位置での防除、草刈り等を実証するため、技術実証でも低い位置で実証を行う予定である。このことから高さ 8.5mの円柱ポールにアンテナ設置し、ゆずの樹に対して吹き降ろすように置局を行った。

樹木の影響は図 3.3.1.2-1 のような影響になると考えており、急傾斜地よりも平坦地の方が開放地に近しいと考察し、S 値の値を急傾斜地では 32.5、平坦地では 12.3 と仮説値とした。

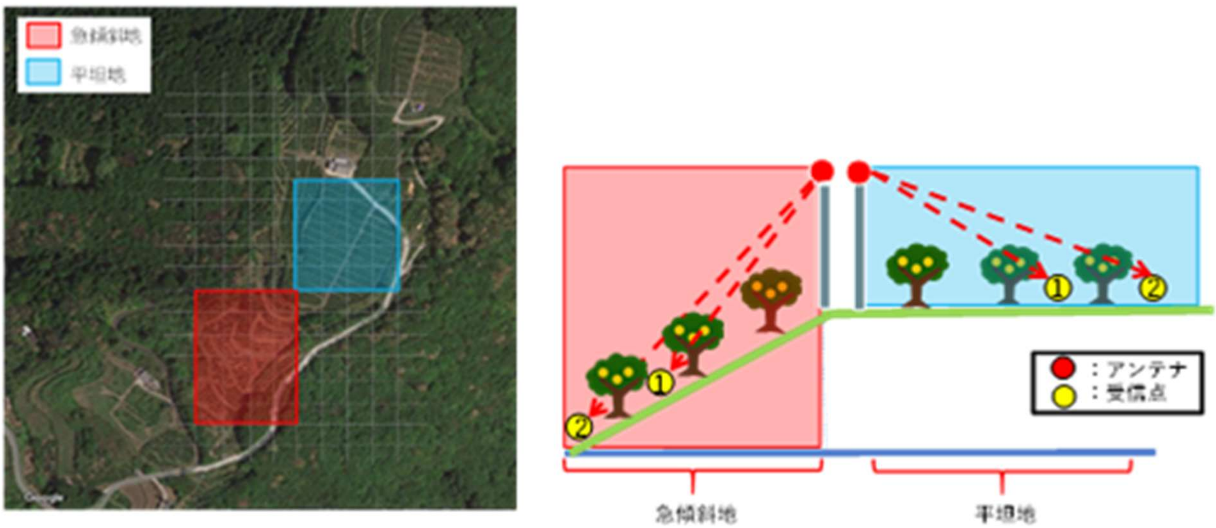


図 3.3.1.2-1 中山間地域において精緻化パラメータ S エリア区分

出典:地理院地図を加工して作成

表 3.3.1.2-1 電波関係審査基準の電波伝搬式における補正項選択肢(dxy が 100m 以上の場合)

補正項	定義	選択肢
S	市街地、郊外地、開放地に対して考慮する補正値	市街地の場合 S=0.0 都市の中心部であって、2 階建て以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など
		郊外地の場合 S=12.3 樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域

補正項	定義	選択肢
		開放地の場合 S=32.5 電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方 300~400m 以内が開けているような畑地・田地・野原など

1） 仮説値によるシミュレーション結果

S 値を急傾斜地では 32.5、平坦地では 12.3 と仮説値とし場合の電波伝搬シミュレーションを行った。ツール名は FORSK 社製の Atoll を用い、シミュレーションを行った。伝搬シミュレーションに用いたパラメータを表 3.3.1.2-2 に示す。図 3.3.1.2-2 にシミュレーション結果を示す。結果から急傾斜地のカバーエリアと調整区域の広がりが強く見られる。

表 3.3.1.2-2　DAS による、 伝搬シミュレーションに用いたツールおよびパラメータ

項目	値
シミュレーションツール名	Atoll(FORSK 社製)
地理データ	5m メッシュ標高データ(国土地理院提供)
伝搬損失算出式	電波法関係審査基準 別紙(16) (1)4.6GHz から 4.9GHz までの周波数を使用する場合 ③dxy≧0.1km の場合
基地局の空中線電力(Pt)	43.8dBm
送信アンテナ利得(Gt)	最大 12dBi
基地局の給電線損失(Lf)	13.025dB
受信アンテナ利得(Gr)	0dBi
使用する周波数(f)	4849.98MHz
基地局の空中線地上高(Hb)	8.5m
移動局の空中線地上高(Hm)	1.5m
建物侵入損(R)	0dB
遠距離に対して考慮する係数(α)	1
移動局高さに対して考慮する補正項(a(Hm))	0.057
基地局高さに対して考慮する補正項(b(Hb))	-10.95404658

項目	値
地形の影響等の補正値（K）	0
市街地/郊外地/開放地に対して考慮する補正値（S）	平坦地：12.3、急傾斜 32.5

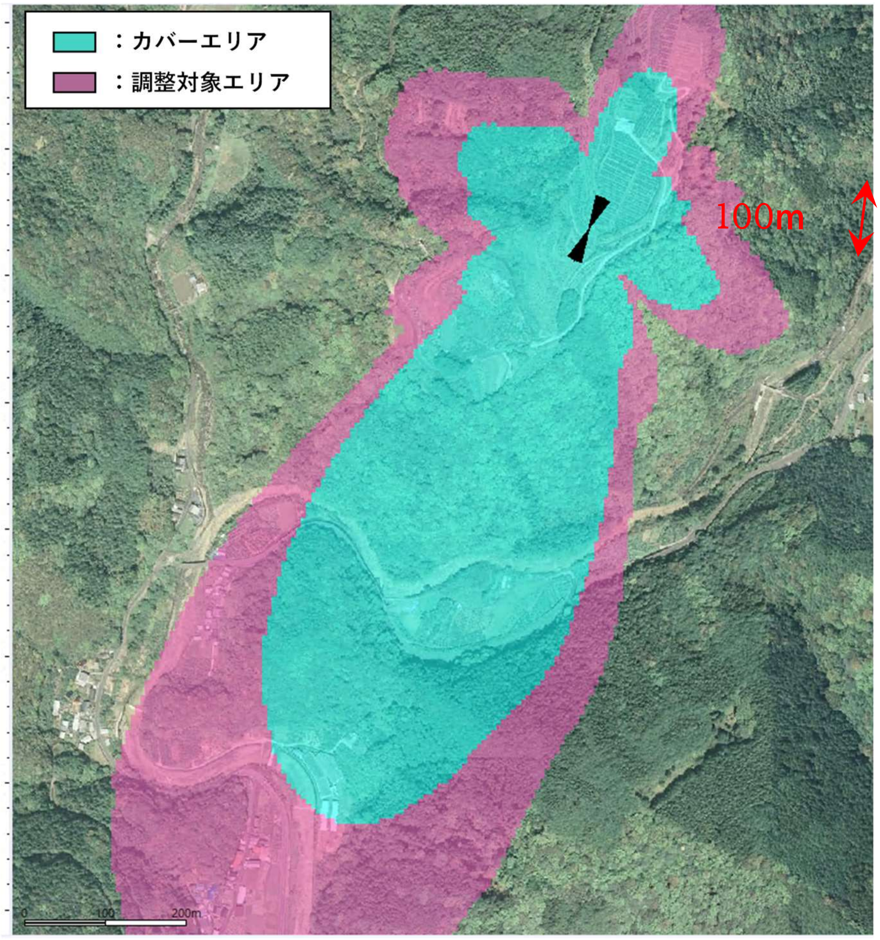


図 3.3.1.2-2　平坦地 S=12.3、急傾斜地 S=32.5 のシミュレーション結果

出典：地理院地図を加工して作成

（3）　評価・検証項目

精緻化の対象パラメータ“S”について、仮説と実測結果から得られる知見の両方を用いて評価・検証を行い、実証環境における適切な S 値を導く。また、この評価・検証において、実証環境におけるローカル 5G の電波伝搬モデルの精緻化に関する技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等についても考察を行う。

1）　測定項目

一般的に 5GNR のエリア指標として用いられている SS-RSRP（Synchronization Signal-Reference Signal Received Power）および SS-RSRQ（Synchronization Signal-

Reference Signal Received Quality)について実測する。

SS-RSRP は、1 リソースエレメントあたりの SSS (Secondary Synchronization Signal)の受信電力であり、基地局からの電波の受信レベルを評価する基本的なパラメータである。SS-RSRQ は、受信品質を評価するパラメータであり、近隣基地局の干渉が増大すれば RSRQ が小さくなる。

RSSIは全体帯域の電力であり、SS-RSRPの下り受信電力の測定帯域である30kHzから100MHzに変換した値となる。

$$\mathrm{RSSI} = \mathrm{SS} - \mathrm{RSRP}\ \times 周波数帯域幅 \div (\mathrm{SSS}\ の周波数帯域幅)$$

$$\mathrm{RB}\ 数 = 周波数帯域幅 \div \mathrm{SSS}\ の周波数帯域幅$$

SS-SINR も RSRQ 同様に受信品質を評価するパラメータであり、RSRQ は分母に RSSI、つまり全体帯域の電力を用いるが、SINR では RS と同じリソースブロックの帯域内に存在する干渉電力を分母とする。干渉電力は、同じ帯域内の隣接セルからの信号に加えて雑音成分や、CP(Cyclic Prefix)時間を超えて遅延したマルチパスとなり、その干渉電力が増大すれば SINR が小さくなる。

2） 測定手法と実測模様

各種データの実測に使用する予定の測定機器を表 3.3.1.3-1 に示す。

表 3.3.1.3-1 測定に使用した測定機器

測定機器名	測定項目	備考
Anritsu エリアテスタ ML8780A[2]	SS-RSRP SS-RSRQ SS-SINR	図 3.3.1.3-1
Garmin eTrex30xJ[3]	GPS 座標	図 3.3.1.3-2

図 3.3.1.3-1 Anritsu エリアテスタの外観

[2] https://dl.cdn-anritsu.com/ja-jp/test-measurement/files/Product-Introductions/Product-Introduction/ml8780a-81a-jl11400.pdf

[3] https://buy.garmin.com/en-US/US/p/518048/pn/010-01508-10#specs

図 3.3.1.3-2　Garmin eTrex30xJ の外観

本実証で設定したエリアテスタの設定値を表 3.3.1-2 に示す。表 3.3.1.3-3 に電波伝搬モデルの精緻化における評価項目と測定項目との関係を示す。

表 3.3.1.3-2　エリアテスタ設定値

項目	設定値
中心周波数	4849.98MHz
帯域幅	100 MHz
測定項目	SS-RSRP SS-RSRQ SS-SINR
測定周期	0.1[s]

表 3.3.1.3-3　電波伝搬モデルの精緻化における評価項目と測定項目との関係

評価・検証項目	評価項目の概要	主な測定項目	測定対象区域
エリア形成の検証	DAS 設置後の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のエリア端において実測する下り受信電力値とエリア端閾値の比較。	下り受信電力 (SS-RSRP)	業務区域、カバーエリア、調整対象区域
	DAS 設置後の干渉による通信品質の劣化状況の確認。	通信品質 (SS-SINR)	

（4） 評価・検証方法

1） 測定方法

測定においては、多数の測定点における測定を効率的に実施するため、図 3.3.1.4-1 に示すような測定補助用の治具を作成して測定を実施した。図 3.3.1.4-1 に示す受信アンテナは地面から 1.5m の高さに固定した。

また、実証環境における電波伝搬環境をより詳細に分析するため、各測定地点においては測定員の目視により見通し環境もしくは見通し外環境であるかを併せて記録を行った。ただし、建物の構造や障害物の存在等により、立ち入りが難しい場所については測定地点をずらすなどで対応した。定在波の影響を避けるため、各地点 10λ（λ は波長）の範囲で測定位置を動かしながら 1000 サンプル/地点のログ取得を実施した。

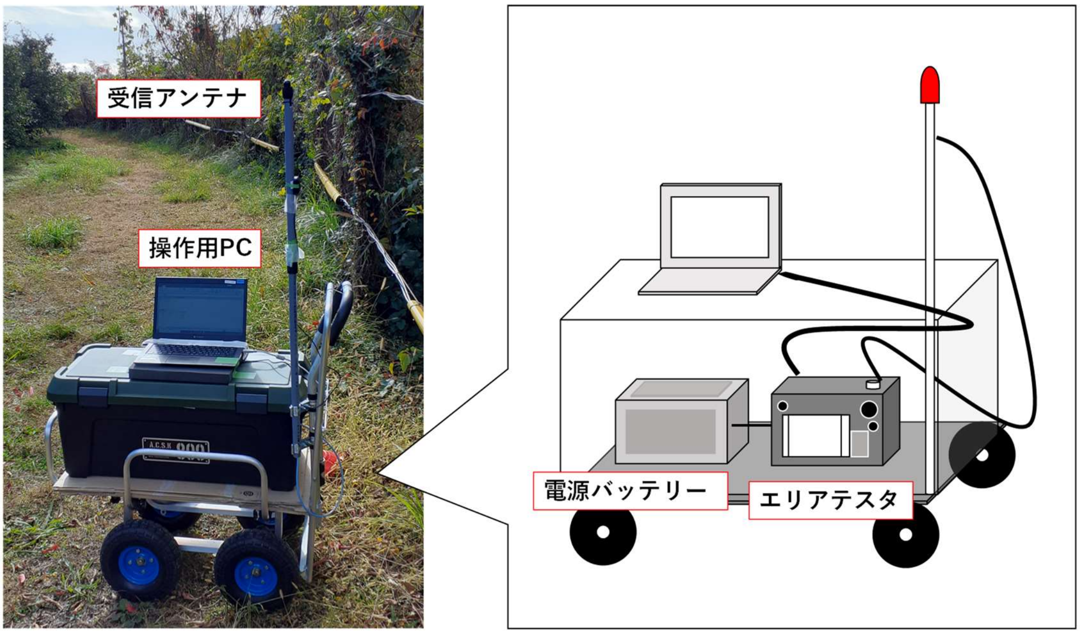


図 3.3.1.4-1 実測に用いた測定補助用治具

2）測定地点の選定方法

① 本実証においては屋外環境において 2 つの DAS を配置する。屋外に拡がるカバーエリア端、調整対象区域端についても測定を実施する。本実証環境で用いた DAS については水平偏波において 30°となっていることから置局点を中心として 15°ごとに方位を区切った。

※ 図各測定地点においては障害物等により測定困難な地点については、測定地点をずらす等で調整を行った。

② DAS のカバーエリア内を測定地点とする。図 3.3.1.4-2 内の○は測定点となる。

● :基地局から 100m 未満、●:基地局から 100m 以上。

表 3.3.1.1-1 から S 値の実施環境の要件が 100m 以上のため、●の地点を精緻化対象の測定地点とした。

※電界強度がカバーリア端、調整対象区域端となるまで測定を行った。

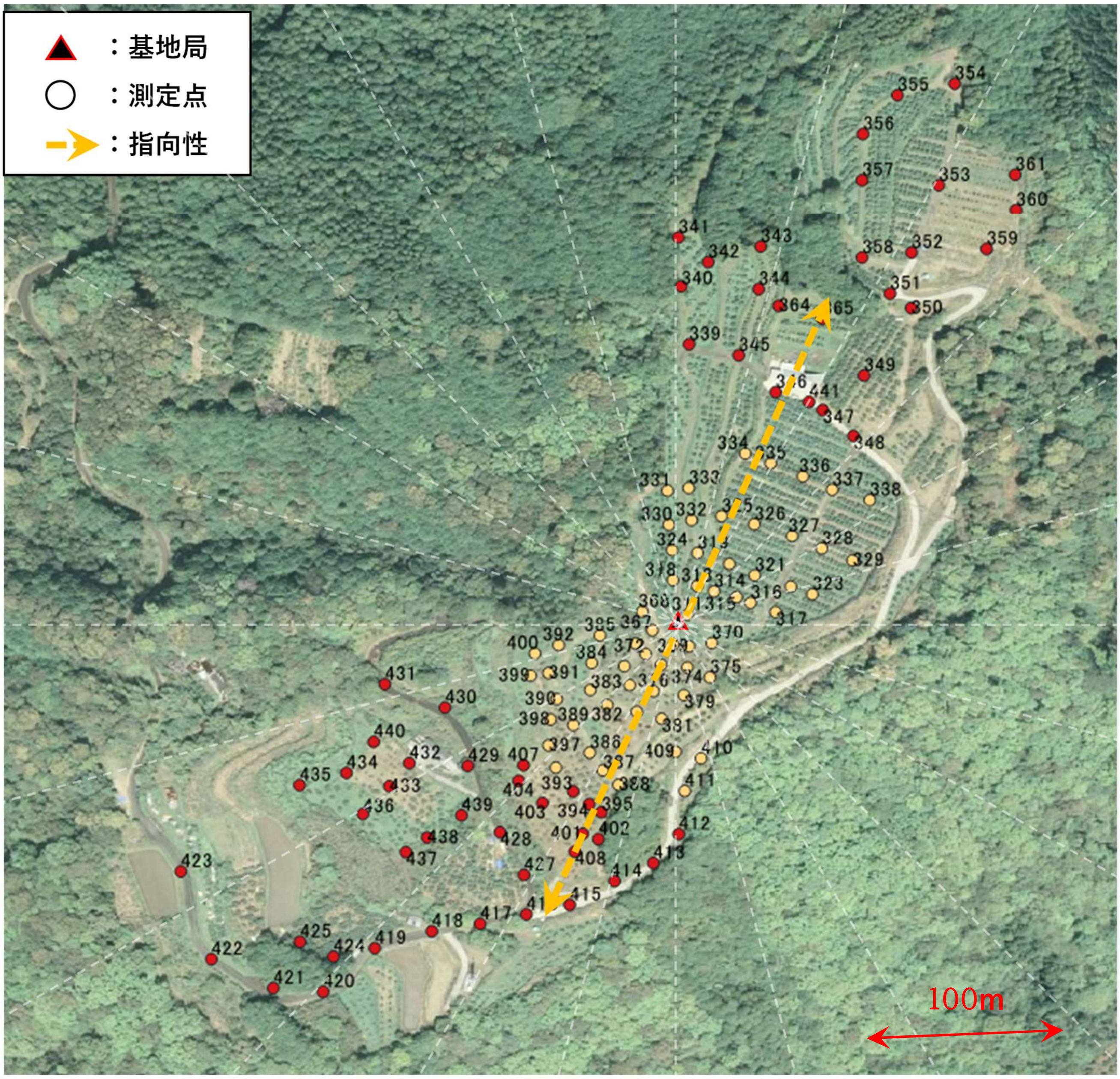


図 3.3.1.4-2 測定地点

出典：地理院地図を加工して作成

電波伝搬モデルの精緻化については実測した各種データを用い、下記 に記載する流れで評価・検証を行った。

3）評価方法

電波伝搬モデル化の精緻化評価方法について以下手順に示す。

① 仮説 S 値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域図の作成

仮説 S 値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域図を図 3.3.1.4-2 に示す。図 3.3.1.4-3 は平坦地側を郊外地（S=12.3）、急傾斜側を開放地（S=32.5）と仮定した値となる。

伝搬等に応じて受信電力を算出する際の計算式は、次の通りとする。

Pr＝Pt＋Gt－Lf＋Gr－L

Pr[dBm]：受信レベル（受信電力）

Pt[dBm]：送信電力（基地局の空中線電力）

Gt[dBi]：送信アンテナ利得

Lf[dB]：基地局の給電線損失

Gr[dBi]：受信アンテナ利得

L[dB]：伝搬損失（注）

（注）伝搬損失 L は自由空間伝搬損失式および拡張秦式を基礎として算出することとし、送受信間距離 dxy によって算出式が異なる。今回の実証では 4.7GHz 帯を用いており、精緻化対象であるパラメータ S 値は表 3.3.1.4-1 に示す通り、dxy≧100m であることが実証環境の要件として定められている。

よって、dxy≧0.1km の場合の算出式を用いた。

L＝LH ＝46.3＋33.9log10(2000)＋10log10(f／2000)－13.82log10(max(30, Hb))＋{44.9－6.55log10(max(30, Hb))}(log10(dxy))a －a(Hm)－b(Hb)＋R－K－S

f(MHz)；使用する周波数

Hb(m)；基地局の空中線地上高

dxy(km)；基地局と伝搬損失を算定する地点との距離

Hm(m)；陸上移動局の空中線地上高。

R(dB)；基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損。

α；遠距離に対して考慮する係数。

a(Hm)；陸上移動局高に対して考慮する補正項。

b(Hb)；基地局高に対して考慮する補正項。

K；地形情報データにより算入し難い地形の影響等の補正値であり、通常は 0 とし、地形水面の反射、小規模の見通し外伝搬の影響等を特に考慮する必要のある場合に算入する。

S(dB)；市街地、郊外地および開放地に対して考慮する補正値であり、下記による。

表 3.3.1.4-1 電波関係審査基準の電波伝搬式における補正項選択肢（dxy が 100m 以上の場合）：再掲

補正項	定義	選択肢
S	市街地、郊外地、開放地に対して考慮する補正値	市街地の場合 S=0.0 都市の中心部であって、2 階建て以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など
		郊外地の場合 S=12.3 樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域
		開放地の場合 S=32.5 電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方 300~400m 以内が開けているような畑地・田地・野原など

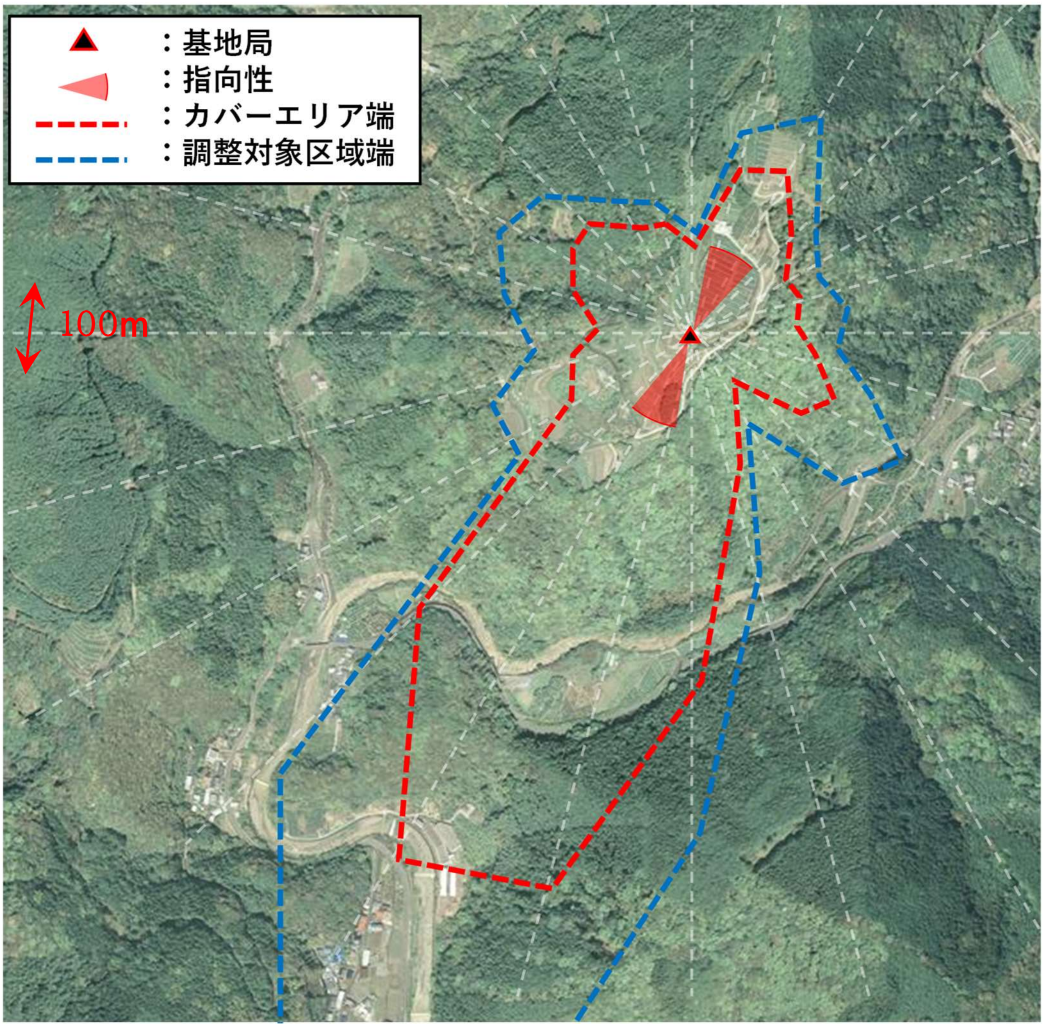


図 3.3.1.4-3 平坦地 S=12.3、急傾斜地 S=32.5 のカバーエリアおよび調整対象区域図
出典：地理院地図を加工して作成

② 実測値から推定されるカバーエリアおよび調整対象区域図の作成

①で作成した仮説に基づくエリア図との比較を行うため、面的に実測した各種データを図面上にプロットし、カバーエリアおよび、調整対象区域の閾値から図 3.3.1.4-4 に示すような実測値による推定エリア図イメージを作成した。

図中、赤線は 4.6-4.9GHz 帯におけるローカル 5G 審査基準で定められている"カバーエリア端レベル(100MHz 幅の場合:-84.6dBm)"を前提に実測値から評価した想定カバーエリア端である。一方、青線は、同様に審査基準で定められている"調整区域端レベル(100MHz 幅の場合:-91.0dBm)"を前提に実測値から評価した想定調整区域端である。なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル(SS-RSRP)の測定帯域は 30kHz であるため、上述したエリア端閾値を 100MHz から、30kHz へ帯域換算した以下の値を用いている。

・カバーエリア端レベル(SS-RSRP 帯域換算):-119.8dBm

・調整区域端レベル(SS-RSRP 帯域換算):-126.2dBm

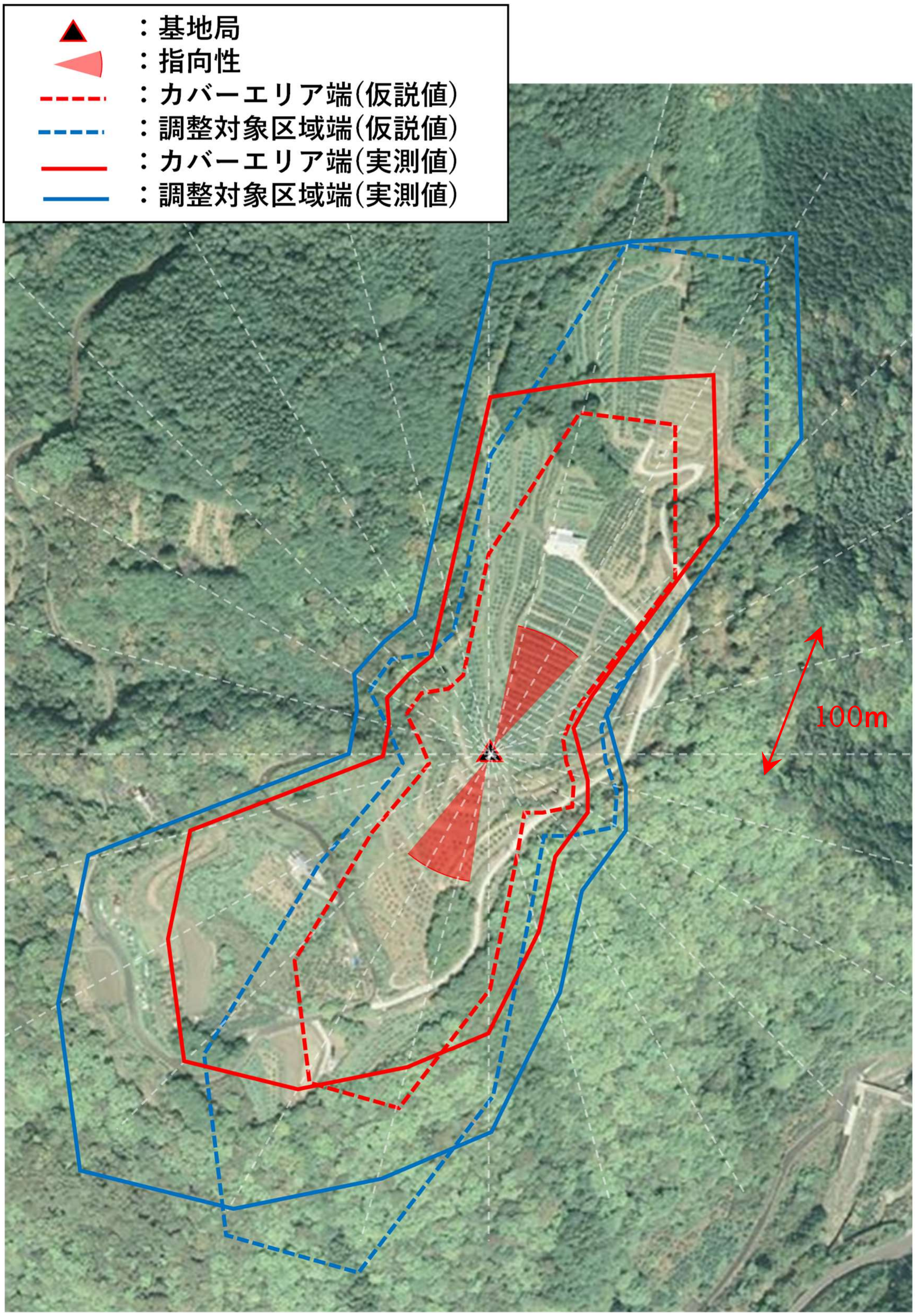


図 3.3.1.4-4 実測値による推定エリア図

出典：地理院地図を加工して作成

③　仮説に基づくエリア算出法と、実測値から推定されるエリア図との比較

仮説 S 値に基づくエリア図の妥当性を評価するため、①、②で作図したエリア図の比較を行う。また、カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端が異なる箇所においてはその差分値を取りまとめる。図 3.3.1.4-5 に①、②で作図したエリア図の比較を行う差分を示す。

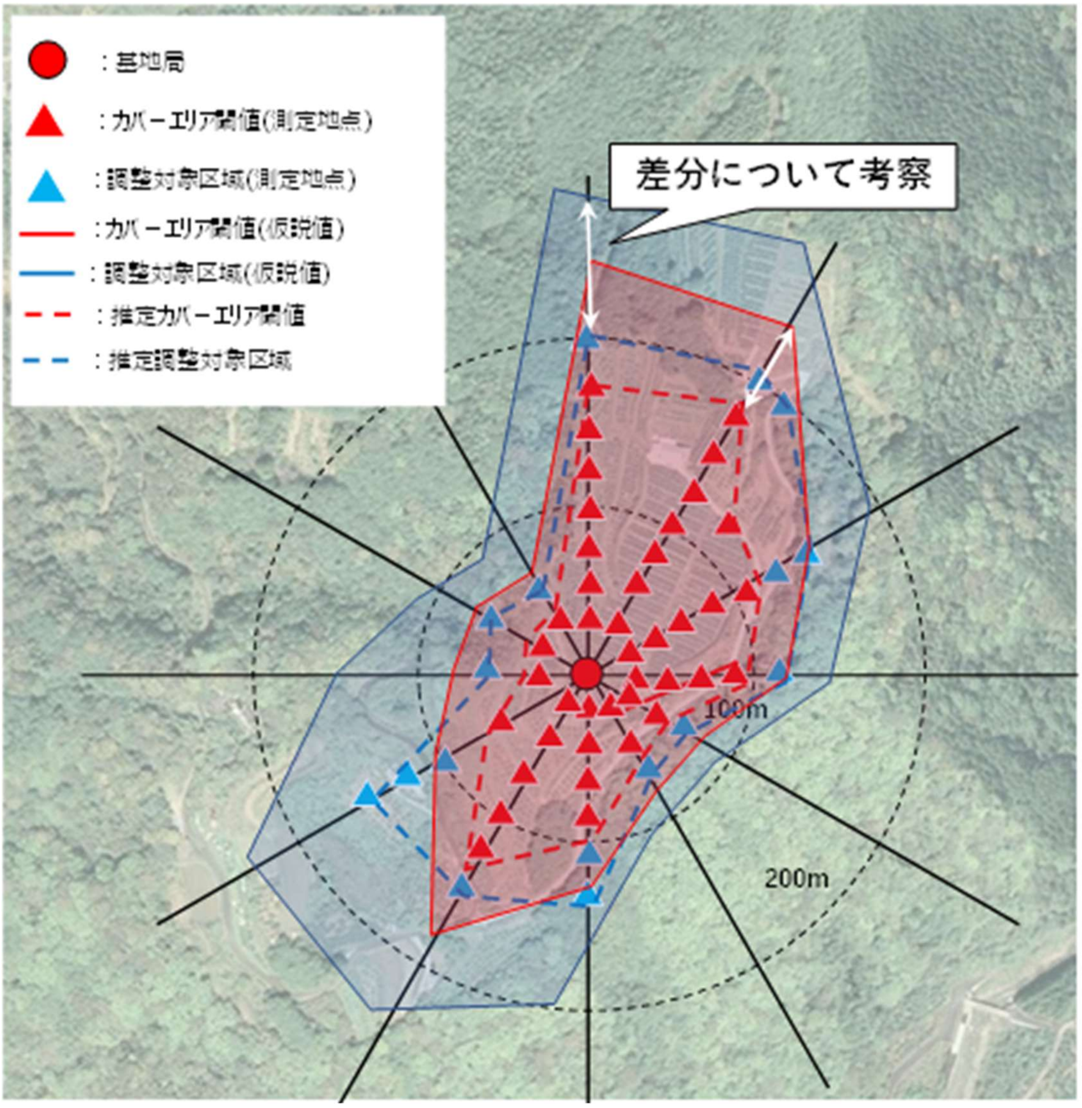


図 3.3.1.4-5　実測値による推定エリア図イメージ
出典：地理院地図を加工して作成

④　対象パラメータの精緻化

仮説に基づき設定した対象パラメータと *“S”*の値について、③の結果から得られる①、②エリア図の差分から精緻化を行った。

精緻化を行った対象パラメータ *“S”*を用いて、再度カバーエリアおよび調整対象区域図を作成し、図 3.3.1.4-5 に示す実測値から推定されるエリア図との比較を行うことでその妥当性を評価した。

⑤　エリア算出法による新たな提案

精緻化を行っても残留する誤差が大きい場合、その要因分析や今後の検討の方向性の提案等を記載。

（5） 実証結果および考察

実証環境においては、平坦地と傾斜の厳しい急斜面において農地運用を行っている。今回の実証では、その両面（平坦な圃場と急斜面な圃場）での検討を行うため、圃場での環境において横展開に資するものとなる。そのために、得られた知見においては平坦な圃場と急斜面の圃場環境下（中山間地に位置し、周辺が森林等に覆われている切り拓いた敷地や植生が生い茂る環境における複数のローカル 5G 基地局を設置する場合の干渉調整区域の明確化等）においても適用できるよう、“圃場内の植生、周辺森林環境に対する遮蔽・反射等の電波伝搬特性”および“中山間地域におけるエリア展開の在り方”を意識しながら検討を行った。

1） 平坦地の実測結果からの分析・考察

図 3.3.1.5-1 に平坦地側の測定地点を示す。今回の精緻化パラメータの S 値については基地局から 100m 以上の離れた地点での測定が必要なため、図中の●を測定地点としている。表 3.3.1.5-1 に平坦地側のエリア算出法受信電力、実測受信電力の中央値、標準偏差、上位 10%値、下位 10%値一覧を示す。

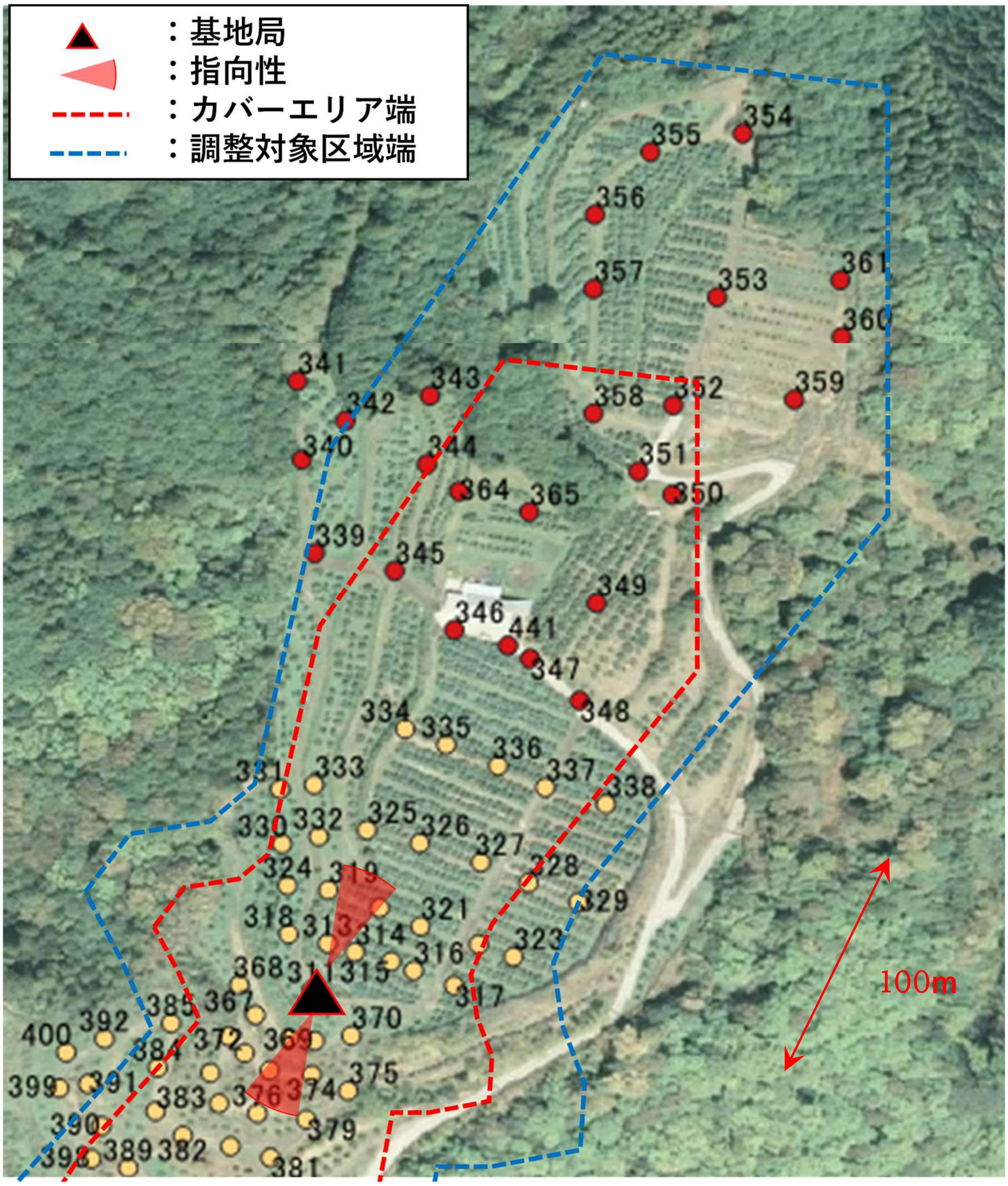


図 3.3.1.5-1　平坦地側の測定地点●:基地局から 100m 以上

出典:地理院地図を加工して作成

表 3.3.1.5-1　下り受信電力の取りまとめ結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離(m)	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)	LOS/NLOS
339	136.9	-104.1	-10.1	16	1
340	166.2	-104.7	-11.9	15.7	1

測定点 ID	基地局からの 3D 距離(m)	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)	LOS/NLOS
341	190.8	-109.5	-10	11.7	1
342	178.5	-115.1	-12.9	6.4	1
343	188.6	-105.2	-10.5	15.3	1
344	167.3	-105.9	-11.6	14.9	1
345	133.0	-95.0	-10.5	20.9	1
346	118.5	-101.5	-10.5	18.1	1
347	118.2	-100.0	-10.4	19	1
348	114.4	-105.4	-10.7	15.2	1
349	142.0	-101.0	-10.1	18.4	1
350	181.5	-103.3	-10.4	17	1
351	183.4	-109.1	-11.6	12.2	1
352	206.1	-103.1	-10.5	17	1
353	244.1	-123.3	-14.8	-1.6	1
354	293.6	-121.0	-13.6	0.8	1
355	279.7	-126.6	-16.9	-4.9	1
356	256.5	-114.1	-11	7.5	1
357	234.2	-109.5	-10.8	11.9	1
358	195.0	-103.8	-10.6	16.4	1
359	223.9	-110.9	-11.1	10.4	1
360	249.4	-118.1	-12.8	3.5	1
361	264.2	-119.0	-12.9	2.6	1
364	160.8	-103.9	-11.5	16.3	1
365	160.0	-105.7	-10.8	14.8	1
441	119.2	-105.7	-10.7	15.2	1

表 3.3.1.5-2 平坦地側のエリア算出法受信電力、実測受信電力の中央値、標準偏差、上位 10%値、下位 10%値一覧

測定点 ID	算出式による 受信電力(dBm)	実測値(dBm)			
		中央値	標準偏差	上位 10%値	下位 10%値
339	-115.7	-104.1	1.4	-102.0	-106.7
340	-119.2	-104.7	1.7	-101.8	-107.8
341	-121.9	-109.5	3.7	-103.4	-116.4
342	-117.5	-115.1	3.5	-110.7	-122.6

測定点 ID	算出式による 受信電力(dBm)	実測値(dBm)			
		中央値	標準偏差	上位 10%値	下位 10%値
343	-117.3	-105.2	1.9	-102.3	-108.7
344	-114.4	-105.9	1.8	-102.3	-109.0
345	-111.4	-95.0	1.1	-93.4	-97.2
346	-112.3	-101.5	1.5	-99.5	-104.2
347	-113.3	-100.0	1.4	-97.8	-102.6
348	-114.5	-105.4	3.1	-102.3	-112.6
349	-118.2	-101.0	1.4	-98.6	-103.6
350	-131.7	-103.3	5.2	-94.6	-113.1
351	-130.5	-109.1	3.1	-103.7	-114.7
352	-132.2	-103.1	2.9	-98.9	-108.8
353	-134.4	-123.3	3.4	-117.7	-129.9
354	-136.8	-121.0	3.4	-116.0	-127.8
355	-136.0	-126.6	3.6	-120.9	-133.6
356	-135.0	-114.1	2.9	-109.9	-120.1
357	-133.3	-109.5	2.1	-106.6	-113.5
358	-130.4	-103.8	3.3	-100.0	-111.2
359	-136.5	-110.9	1.4	-108.6	-113.6
360	-137.7	-118.1	2.8	-114.4	-124.1
361	-137.5	-119.0	3.5	-115.0	-126.7
364	-114.5	-103.9	3.5	-99.1	-111.6
365	-116.7	-105.7	6.0	-98.2	-118.2
441	-112.7	-105.7	1.5	-104.3	-109.2

図 3.3.1.5-3 に実測測定結果をもとに推定カバーエリアと精緻化パラメータ S の仮説値 12.3 の比較図を示す。ここで示されている実測推定エリア図は周りの森林の影響により測定不可のエリアがあったため、測定可能エリア端からおおよその減衰傾向から導くものとする。図 3.3.1.5-3 に実測値をもとにカバーエリア端と調整対象区域端と S を 12.3 に設定した場合の比較図を示す。図中から平坦地の圃場①では仮説と実測ともに北緯 60-90°からカバーエリア端-119.6dBm を下回り調整対象区域となっていることがわかる。一方で北緯 0-30°にかけては仮説値よりカバーエリアの広がりを確認することができる。

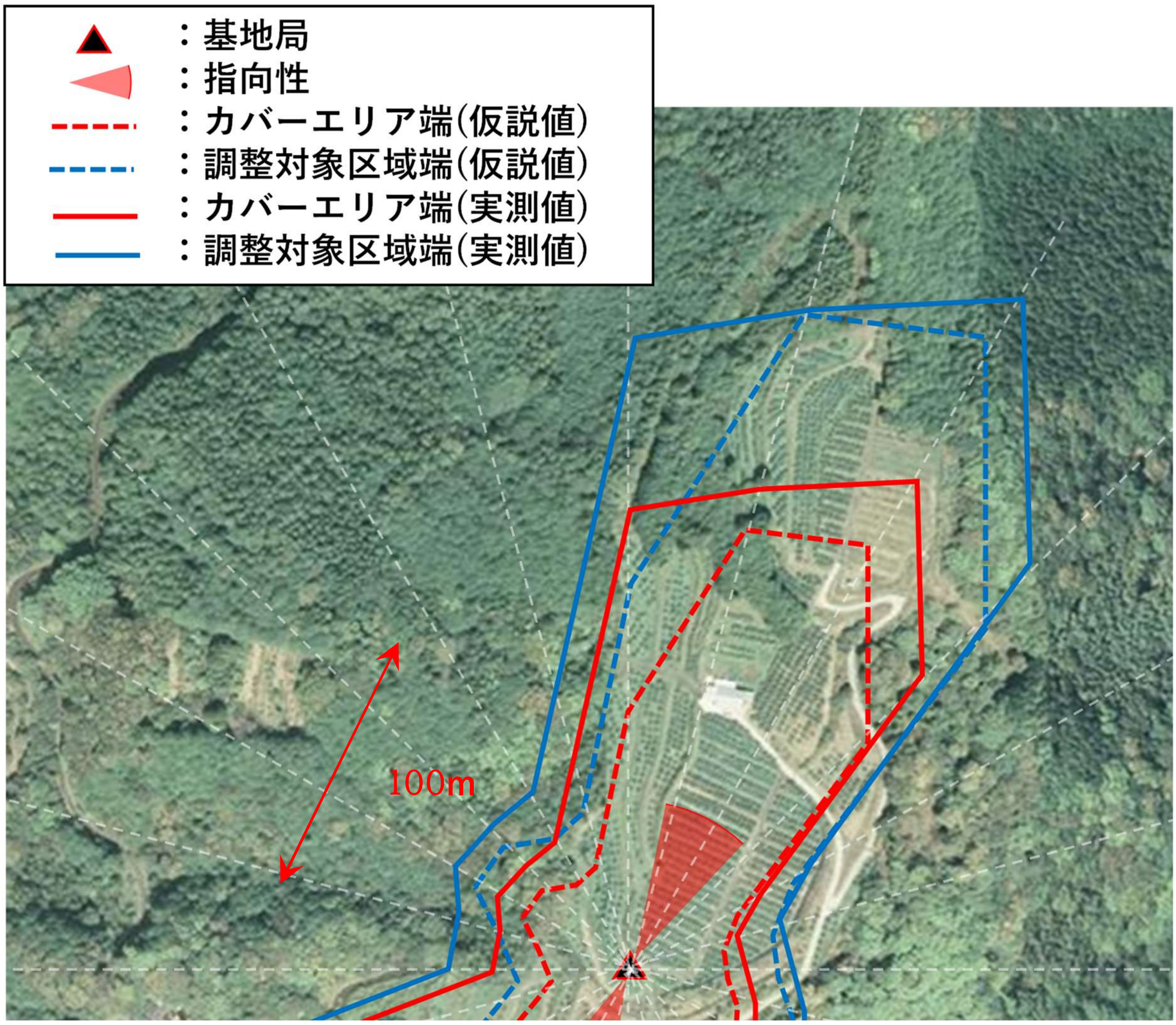


図 3.3.1.5-3　実測推定エリアと精緻化パラメータ S(12.3)の比較図

出典:地理院地図を加工して作成

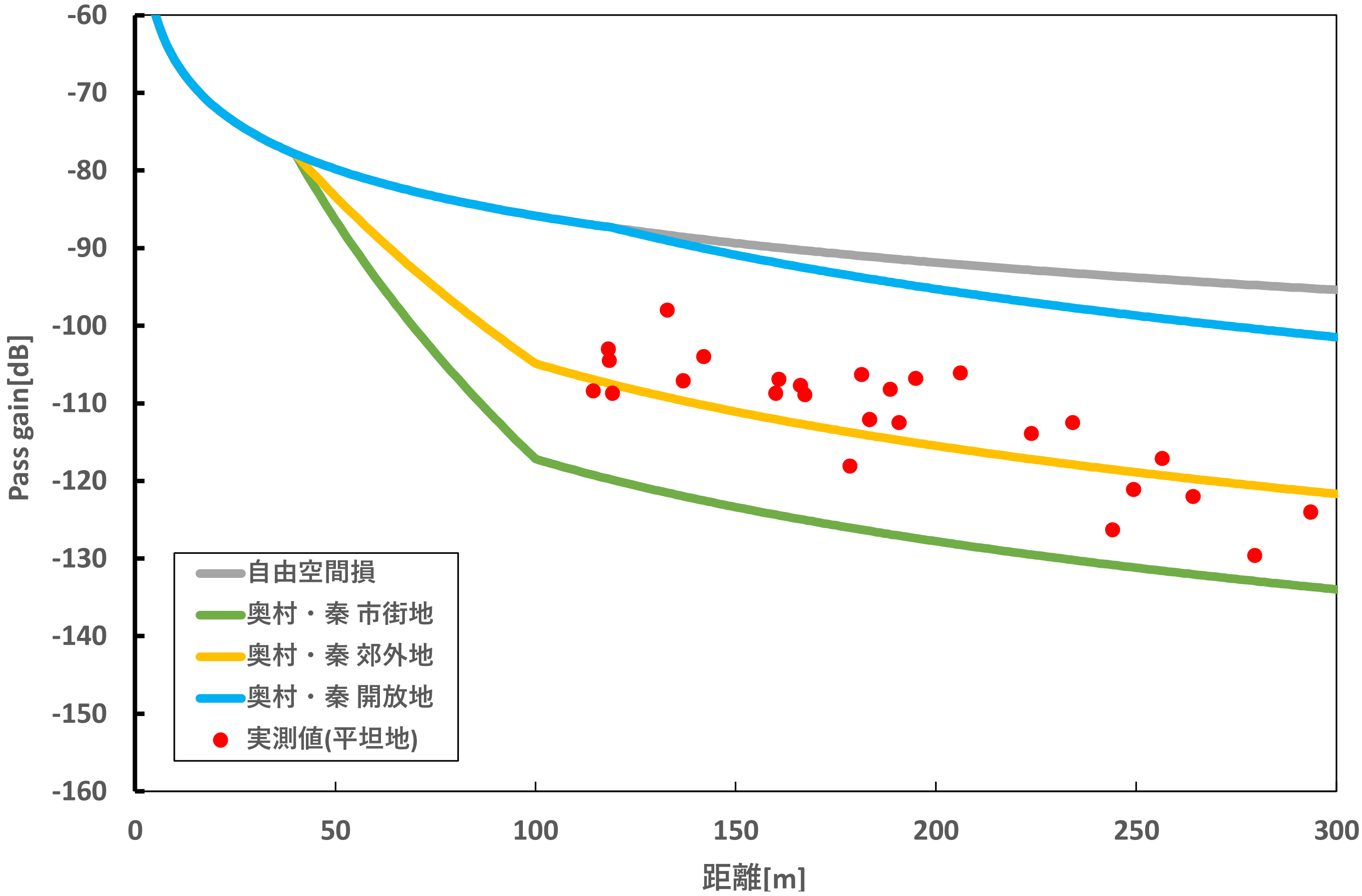


図 3.3.1.5-4 平坦地の実測結果と算出式の比較結果

図 3.3.1.5-4 の結果から平坦地の実測値と奥村･秦式による電波伝搬モデルを比較した場合、ばらつきによる変動はあるものの郊外地モデルに近似する傾向が確認できる。よって、平坦地側のゆずによる遮蔽は郊外地モデル相当であると考えられる。

S 値の精緻化

エリア算出法の値と実測値の値からパラメータ S について精緻化を行った。精緻化の手法については二乗平均平方根(RMSE:Root Mean Squared Error)を用いた。RMSE は下記(1.1)式から今回の平坦地で測定地点 26 地点のエリア算出値と実測値の差分から求める。

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1}\left(\acute{R}_{\imath} - R_i\right)^2} \cdots (1.1)$$

$\acute{R}_{\imath}$はエリア算出値の受信電力(RMRP 換算)、R_iは実測値 RSRP、n は測定地点データ総数を代入する。今回の仮説値との比較では郊外地モデル結果との近似傾向が見られたので$\acute{R}_{\imath}$は 12.3 とした。S 値の最適値の算出では 10-20[dB]の 0.5 間隔で RMSE を算出し、最も値が小さくなった値を S の最適値とする。図 3.3.1.5-5 に平坦地の RMSE-S の結果について示す。図中の結果から S 値が 18[dB]で RMSE が 4.94 となり最も小さくなることがわかった。これらの結果から S 値の最適値は 18[dB]である。

精緻化後のパラメータ(18[dB])は中山間地における平坦地のゆず農園をモデルとした環境において、

適用可能であると考えられる。

S値	RMSE
10	9.26062
10.5	8.841633
11	8.431481
11.5	8.031518
12	7.643342
12.5	7.268843
13	6.910244
13.5	6.57015
14	6.251581
14.5	5.957992
15	5.693248
15.5	5.461545
16	5.267245
16.5	5.114613
17	5.007461
17.5	4.948744
18	4.940189
18.5	4.982054
19	5.073092
19.5	5.210726
20	5.391388

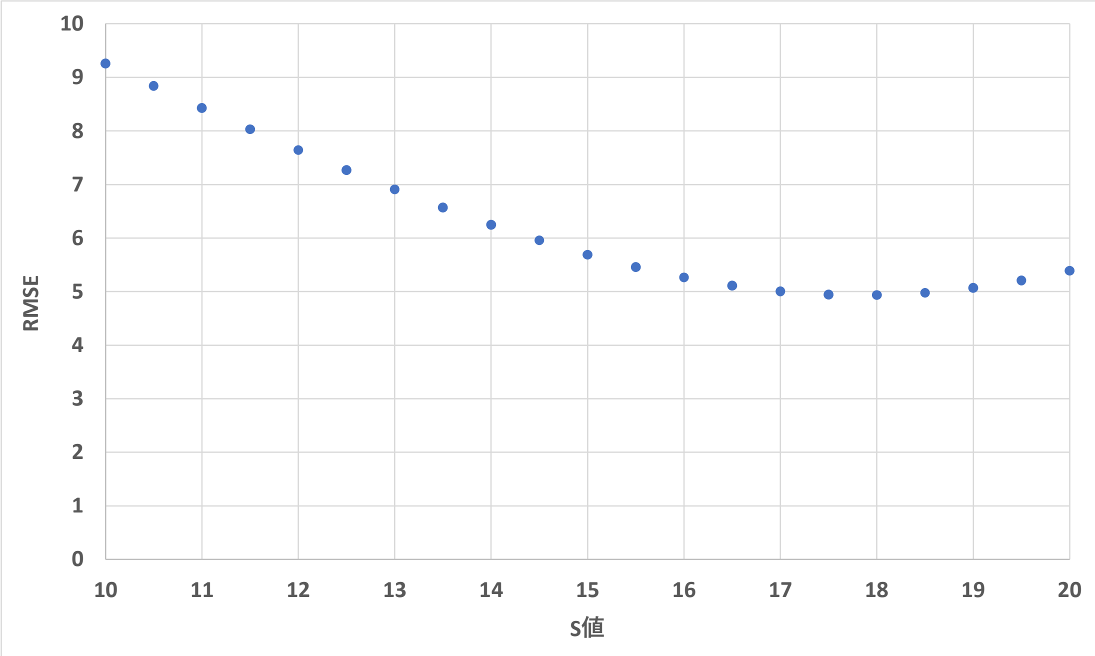


図 3.3.1.5-5 平坦地の RMSE-S 値の結果

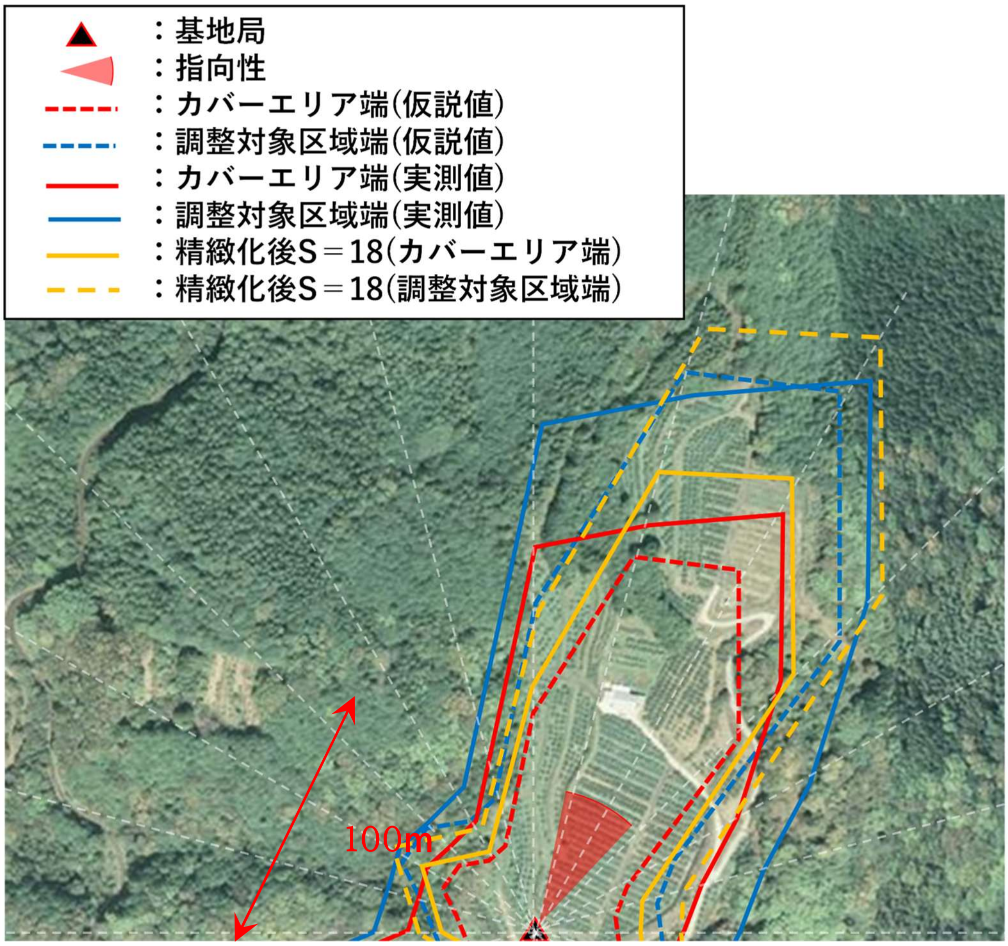


図 3.3.1.5-6 精緻化後のエリア図

出典:地理院地図を加工して作成

図 3.3.1.5-7 測定点 ID:341、344 の測定写真

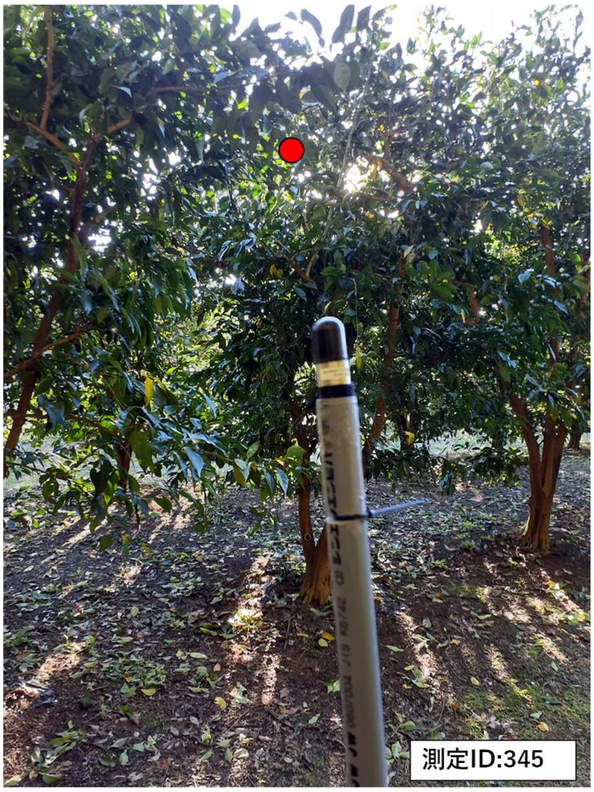


図 3.3.1.5-8　測定点 ID：341、344 の測定写真

2） 急傾斜地の実測結果からの分析・考察

図 3.3.1.5-9 に平坦地側の測定地点を示す。今回の精緻化パラメータの S 値については基地局から 100m 以上の離れた地点での測定が必要なため、図中の●を測定地点としている。図 3.3.1.5-10 に各地点の受信電力レベルのプロット図を示す。表 3.3.1.5-4 に急傾斜地側のエリア算出法受信電力、実測受信電力の中央値、標準偏差、上位 10%値、下位 10%値一覧を示す。

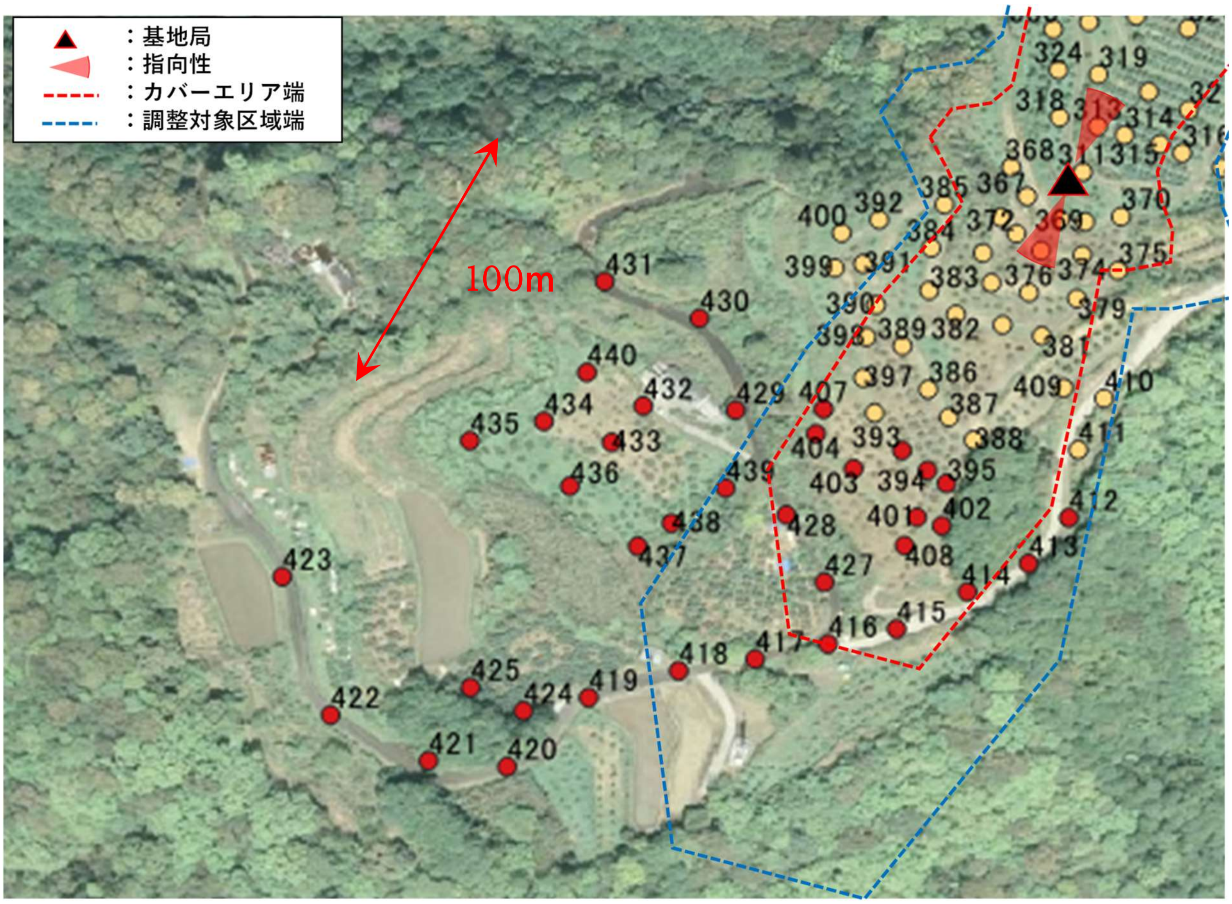


図 3.3.1.5-9 急傾斜側の測定地点●:基地局から 100m 以上

出典：地理院地図を加工して作成

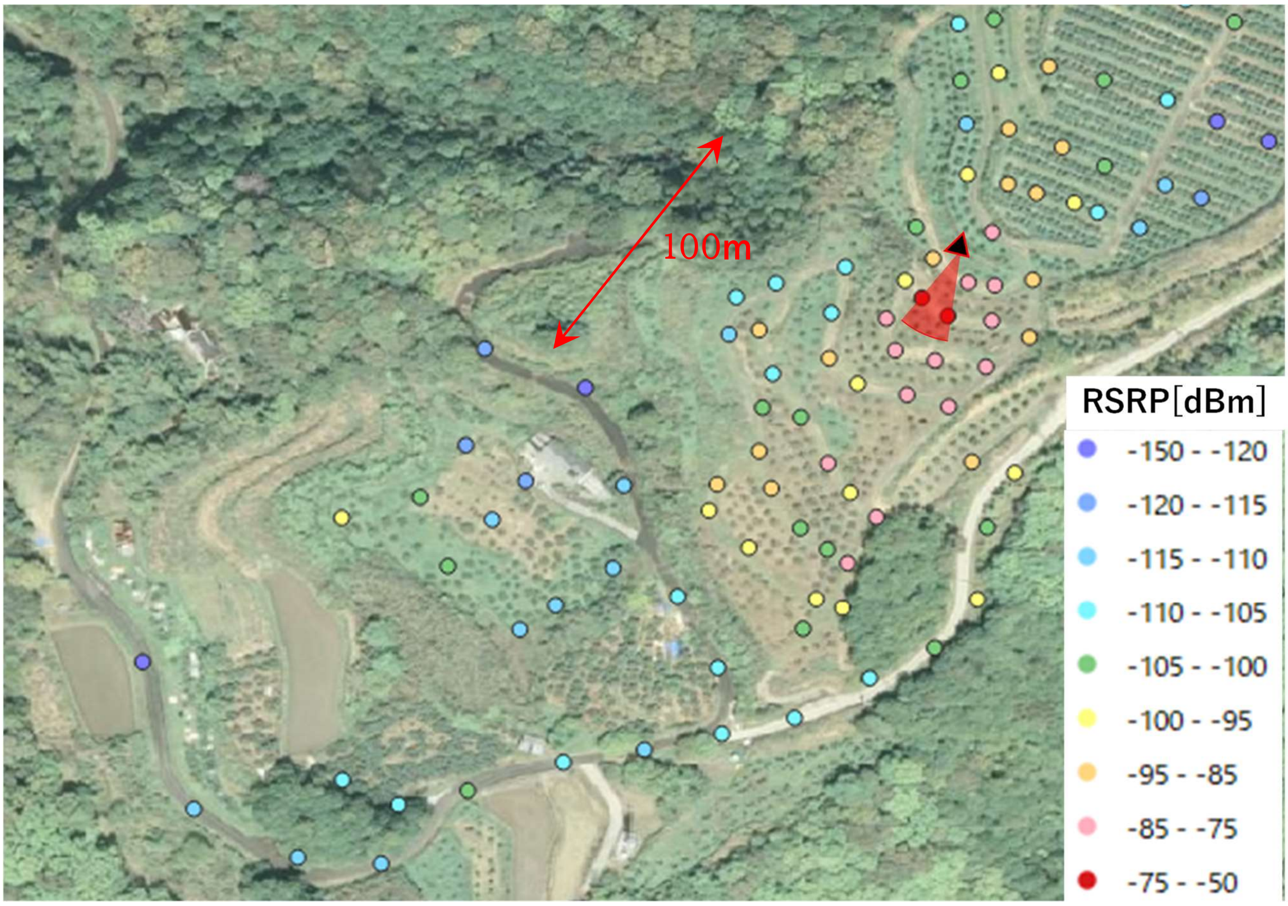


図 3.3.1.5-10　各地点の受信電力レベル結果

出典：地理院地図を加工して作成

表 3.3.1.5-3　下り受信電力の取りまとめ結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離（m）	SS-RSRP （dBm）	SS-RSRQ （dB）	SS-SINR （dB）	LOS/NLOS （0:LOS 1:NLOS）
393	106.5	-96.9	-9.7	20.4	1
394	109.2	-102.5	-10.3	17.4	1
395	111.3	-78.7	-10.5	22.3	0
401	124.5	-96.4	-10.4	20.3	1
402	124.9	-93.6	-10.7	21.2	1
403	118.8	-94.7	-10.6	21	1
404	116.2	-96.1	-11.2	20.5	1
407	109.2	-85.1	-10.4	22.1	0
408	134.5	-101.7	-10.2	17.1	1
412	118.1	-92.5	-10.2	22.2	1

測定点 ID	基地局からの 3D 距離(m)	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)	LOS/NLOS (0:LOS 1:NLOS)
413	133.1	-102.0	-10.5	18	1
414	144.5	-103.8	-10	16.8	1
415	161.8	-104.0	-10.8	16.6	1
416	173.1	-107.6	-10.7	13.7	1
417	186.6	-109.4	-12.1	12.1	1
418	200.8	-105.5	-11.3	15.3	1
419	222.1	-98.8	-10.7	20	1
420	252.7	-108.5	-11.3	12.7	1
421	265.1	-113.1	-11.8	8.6	1
422	274.1	-109.4	-10.7	11.9	1
423	259.3	-120.1	-12.9	1.8	1
424	236.0	-106.5	-12.4	14.5	1
425	240.0	-105.3	-10.3	15.6	1
427	156.0	-103.3	-10.7	17	1
428	143.5	-107.2	-10.9	13.8	1
429	129.6	-108.1	-10.3	12.8	1
430	121.3	-122.0	-14.2	-0.2	1
431	139.9	-115.6	-11.3	5.9	1
432	149.1	-112.6	-11.1	8.8	1
433	161.8	-110.9	-10.3	10.5	0
434	173.1	-99.1	-9.9	19.4	0
435	192.9	-96.3	-10.7	20.5	0
436	178.0	-101.1	-11.1	18.3	0
437	176.6	-109.2	-12.6	12.3	1
438	165.7	-109.7	-10.1	11.6	1
439	148.4	-111.6	-10.7	10.1	1
440	156.7	-115.6	-10.6	6	1

表 3.3.1.5-4 急傾斜側のエリア算出法受信電力、実測受信電力の中央値、標準偏差、上位 10%値、下位 10%値一覧

測定点 ID	算出式による 受信電力(dBm)	実測値(dB m)			
		中央値	標準偏差	上位 10%値	下位 10%値
393	-105.3	-96.9	2.3	-94.8	-102.5
394	-104.3	-102.5	2.7	-97.3	-106.6
395	-104.3	-78.7	0.8	-77.3	-79.8
401	-105.2	-96.4	2.5	-92.9	-101.1
402	-105.3	-93.6	1.5	-91.3	-96.6
403	-107.9	-94.7	1.7	-91.7	-98.0
404	-112.8	-96.1	3.4	-91.9	-103.4
407	-114.5	-85.1	2.2	-81.9	-89.5
408	-105.8	-101.7	3.5	-92.6	-104.4
412	-114.4	-92.5	1.4	-90.7	-95.6
413	-110.7	-102.0	1.9	-98.5	-104.9
414	-107.9	-103.8	2.6	-100.9	-109.9
415	-107.6	-104.0	1.6	-101.8	-107.2
416	-108.1	-107.6	4.1	-101.1	-115.5
417	-109.6	-109.4	3.6	-103.4	-115.6
418	-112.1	-105.5	2.8	-101.1	-110.9
419	-114.6	-98.8	1.6	-96.8	-102.5
420	-115.3	-108.5	3.5	-103.6	-115.5
421	-118.4	-113.1	4.2	-106.1	-120.9
422	-125.9	-109.4	1.7	-107.3	-112.8
423	-138.6	-120.1	3.0	-115.3	-125.4
424	-116.4	-106.5	3.0	-100.5	-111.0
425	-119.7	-105.3	3.5	-101.7	-113.6
427	-108.3	-103.3	3.2	-99.8	-111.0
428	-111.9	-107.2	1.8	-104.5	-110.7
429	-127.7	-108.1	0.7	-106.8	-109.2
430	-129.4	-122.0	3.3	-116.8	-128.1
431	-126.9	-115.6	2.1	-113.1	-120.0
432	-143.2	-112.6	2.0	-109.4	-116.6
433	-148.2	-110.9	1.2	-108.6	-112.9

測定点 ID	算出式による 受信電力(dBm)	実測値(dB m)			
		中央値	標準偏差	上位 10%値	下位 10%値
434	-132.7	-99.1	1.3	-97.3	-101.7
435	-130.9	-96.3	1.1	-94.8	-98.5
436	-135.4	-101.1	1.8	-98.5	-104.7
437	-119.4	-109.2	2.8	-104.6	-114.1
438	-119.2	-109.7	3.3	-105.6	-117.3
439	-118.4	-111.6	2.7	-107.0	-116.7
440	-130.7	-115.6	1.5	-113.4	-118.7

図 3.3.1.5-11 に実測測定結果をもとに推定カバーエリアと精緻化パラメータ S の仮説値 32.5 の比較図を示す。ここで示されている実測推定エリア図は周りの森林の影響により測定不可のエリアがあったため、測定可能エリア端からおおよその減衰傾向から導くものとする。図 3.3.1.5-11 の推定カバーエリアの比較図から急傾斜地の仮説値 32.5 と大きな乖離が見られ、中山間部での急傾斜地では開放地以外の S 値の仮説が妥当であると判明した。そこで、平坦地の仮説として奥村・秦式郊外地モデルに近似した結果を踏まえ、急傾斜地の測定結果の比較を郊外地モデルで比較を行うこととする。なお、傾斜による補正はしないこととする。図 3.3.1.5-12 に推定カバーエリアと精緻化パラメータ S(12.3)の比較図を示す。図中から北緯 225°-255°の推定カバーエリアと精緻化パラメータ S の比較に約 150m 以上の乖離が生じていることがわかる。これらの差分は斜面の傾斜により、基地局からの到来波が平坦地と比べ広がったと考える。

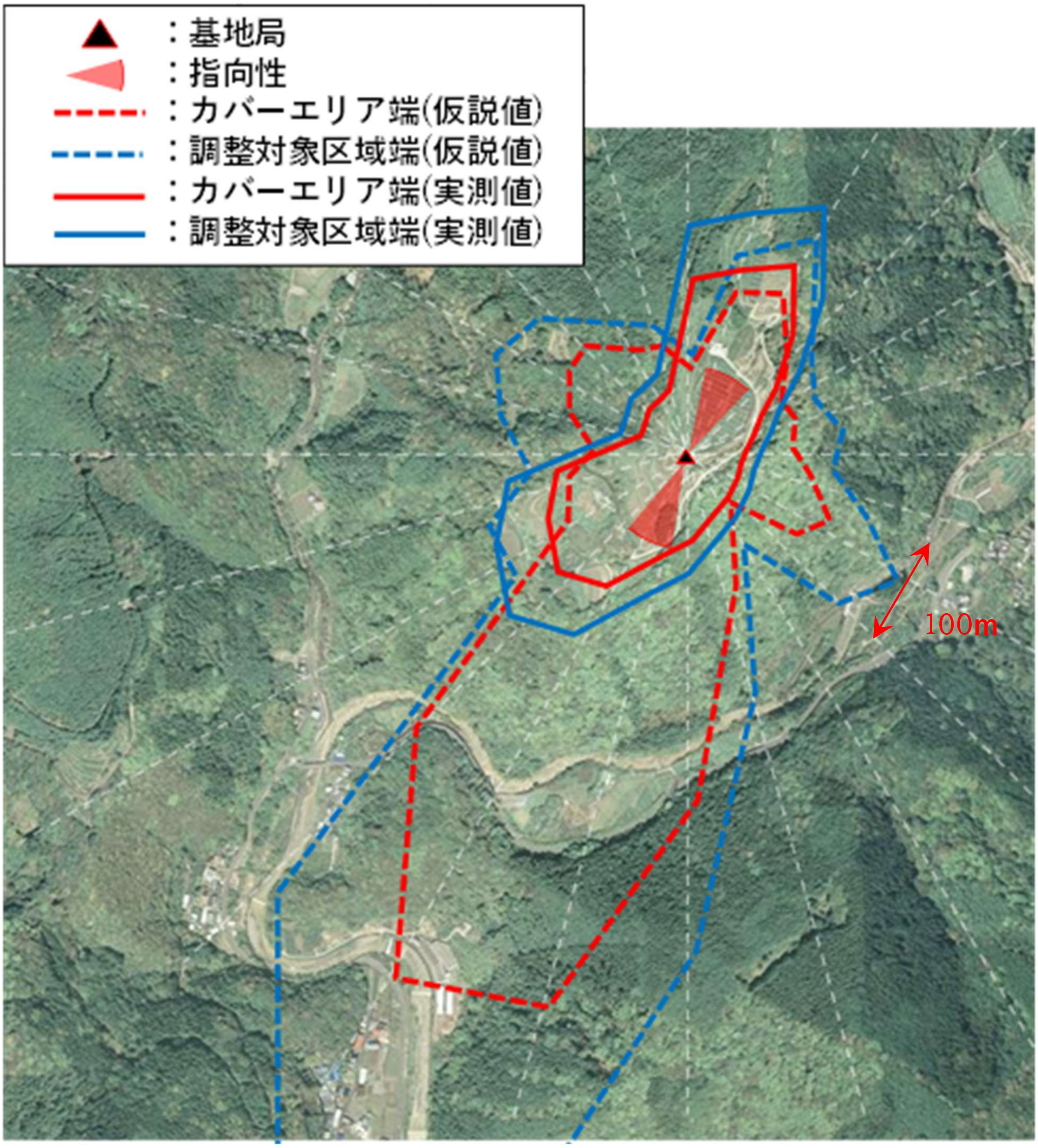


図 3.3.1.5-11　推定カバーエリアと精緻化パラメータ S(32.5)の比較図

出典：地理院地図を加工して作成

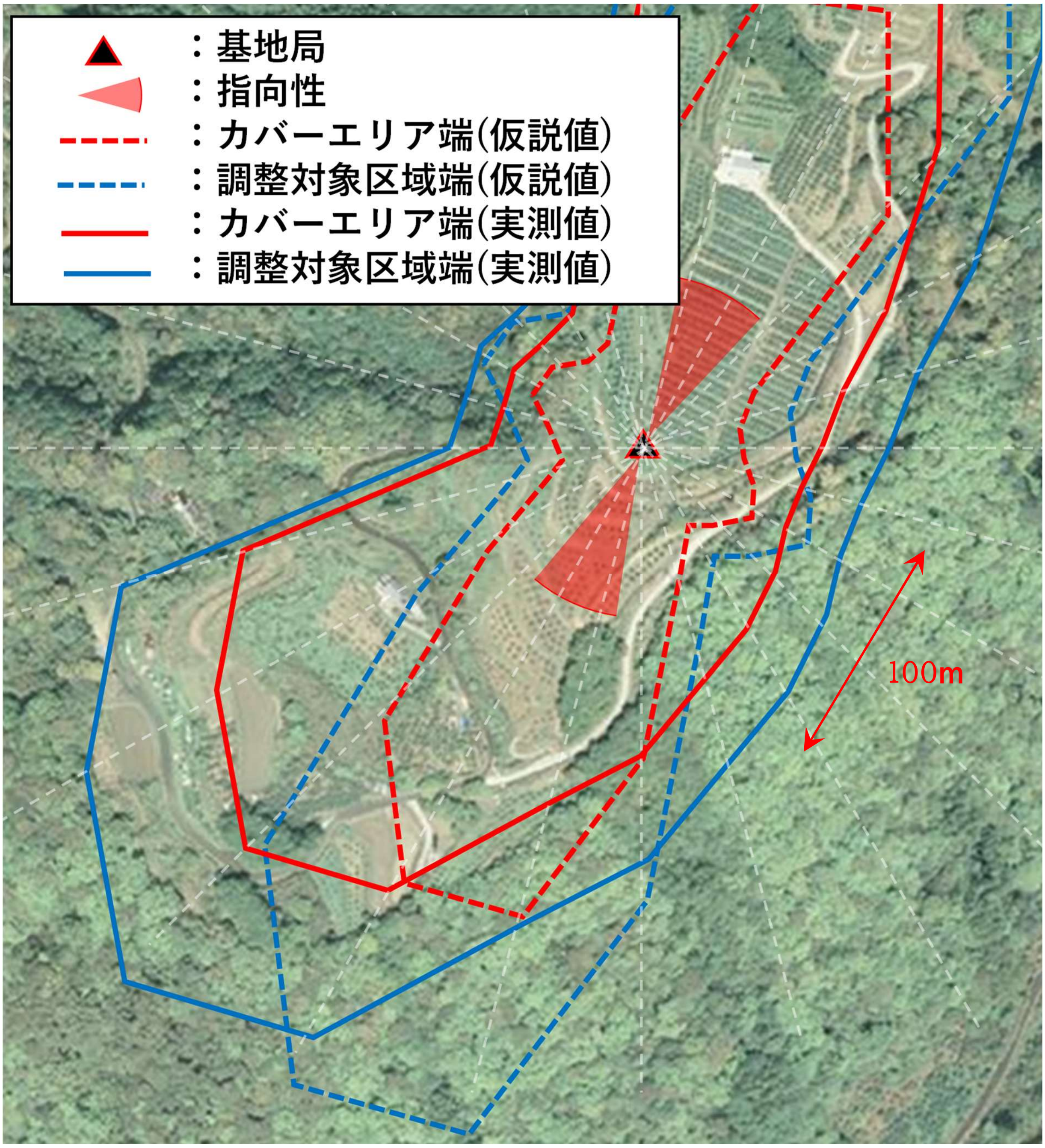


図 3.3.1.5-12 測定結果と推定カバーエリアと精緻化パラメータ S(12.3)

出典：地理院地図を加工して作成

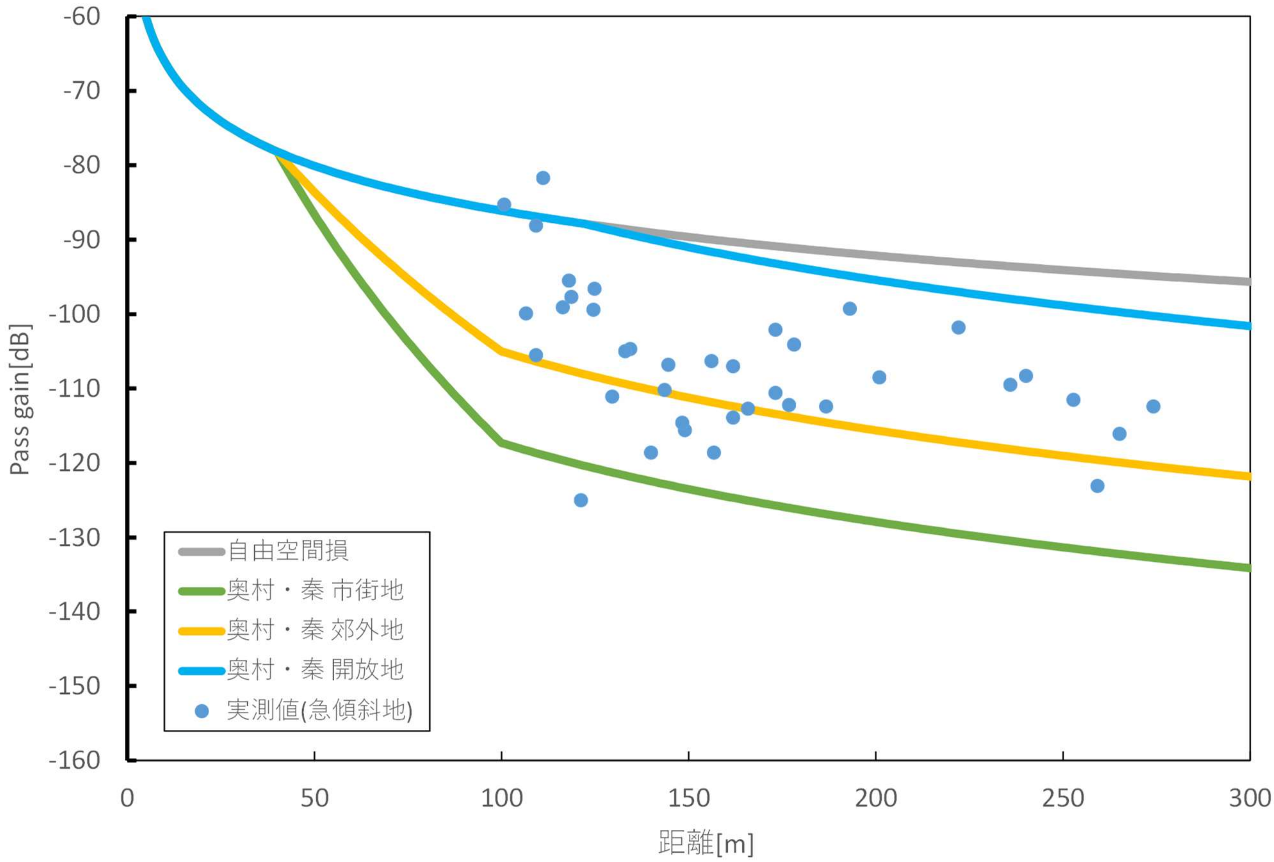


図 3.3.1.5-13 急傾斜地の実測結果と算出式の比較結果

図 3.3.1.5-13 の結果から平坦地の実測値と奥村･秦式による電波伝搬モデルを比較した場合、ばらつきによる変動はあるものの郊外地モデルに近似する傾向が確認できる。よって、急傾斜側のエリアの仮説を平坦地と同様に郊外地モデルとした。

S 値の精緻化

エリア算出法の値と実測値の値からパラメータ S について精緻化を行った。精緻化の手法については二乗平均平方根(RMSE:Root Mean Squared Error)を用いた。RMSE は下記(1.1)式から今回の急傾斜地で測定地点 37 地点のエリア算出値と実測値の差分から求める。

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1}\left(\acute{R}_i - R_i\right)^2} \cdots (1.1)$$

$\acute{R}_i$はエリア算出値の受信電力(RMRP 換算)、R_iは実測値 RSRP、n は測定地点データ総数を代入する。今回の仮説値との比較では郊外地モデル結果との近似傾向が見られたので$\acute{R}_i$は 12.3 とした。S 値の最適値の算出では 10～25[dB]の 0.5 間隔で RMSE を算出し、最も値が小さくなった値を S の最適値とする。図 3.3.1-13 に平坦地の RMSE-S の結果について示す。図中の結果から S 値が 19.5[dB]で RMSE が 7.95 となり最も小さくなることがわかった。これらの結果から S 値の最適値は 19.5[dB]である。

S値	RMSE
10	12.39664
10.5	12.01721
11	11.64689
11.5	11.28658
12	10.93725
12.5	10.60001
13	10.27604
13.5	9.966626
14	9.673176
14.5	9.397182
15	9.140227
15.5	8.903957
16	8.690061
16.5	8.500227
17	8.3361
17.5	8.199223
18	8.090981
18.5	8.012532
19	7.964759
19.5	7.948213
20	7.963089
20.5	8.009213
21	8.08605
21.5	8.087049
22	8.328121
22.5	8.490837
23	8.679344
23.5	8.892003
24	9.127126
24.5	9.383024
25	9.658045

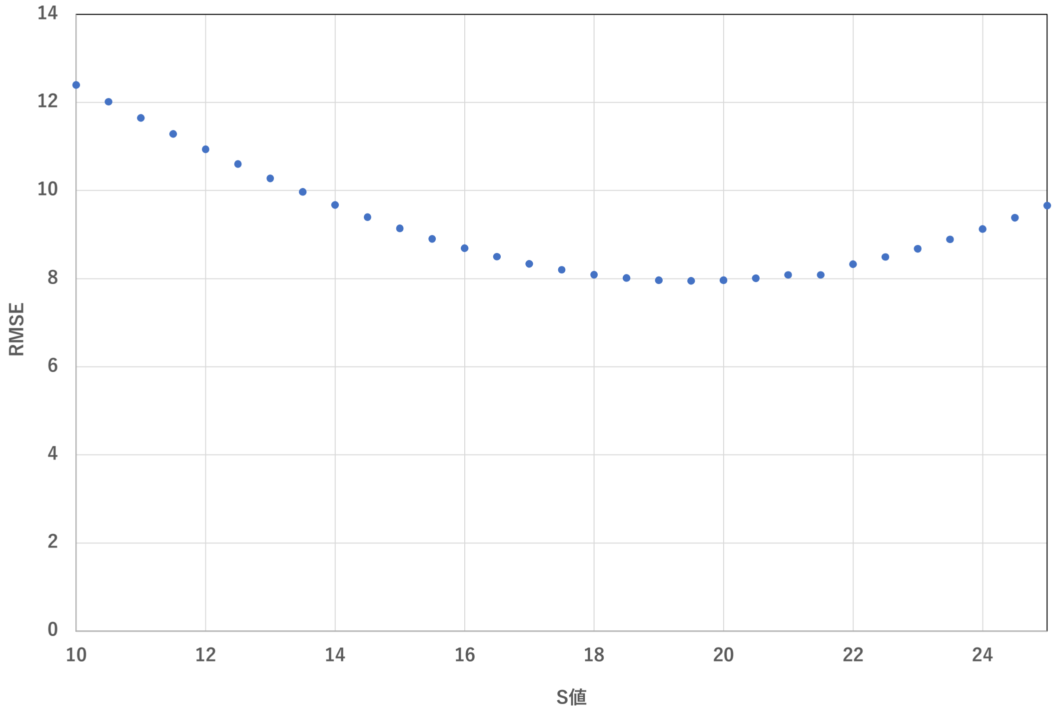


図 3.3.1.5-14　急傾斜地の RMSE-S 値の結果

図 3.3.1.5-14 に急傾斜地の実測値を近似線形にした結果を示す。図中の結果から郊外地モデルより pass gain[dB]の値より約 4-7[dB]高い傾向であることがわかる。これらの差分については、地形、植生による影響であると考えられる。そこで、本実証環境において平坦地と急斜面地の精緻化値で差分が生じた実施環境の要件として、表 3.3.1.5-5 に示す通り斜面の地形情報データにより算出し難い地形のため精緻化パラメータ K による影響が大きいと考えられる。図 3.3.1.5-15 に平坦地と急傾斜地の実測結果の比較図を示す。図中のカバーエリア端と調整対象区域端では急傾斜地の方が DAS の指向方向に対して大きく、広がっていることが確認できる。精緻化パラメータ K については山間部の傾斜以外である遮蔽影響についても考慮することが望ましいが、精緻化の差分を斜面のみと想定した場合、平坦地と急傾斜の S の精緻化差分が K の補正値となると考えられる。つまり、K としては 1.5 となることがわかる。

これらの結果から S 値を 18[dB]にすることでゆずに限らず一年を通して圃場の植生が常緑樹環境において汎用的に適用可能である。一方で、急傾斜地の精緻化値として 19.5 となったことから平坦地と急傾斜地での精緻化値に 1.5 の差分が生じたことが判明。差分の要因として急傾斜地の斜面が約 15°となるため平坦地側のゆずの遮蔽影響による損失が小さくなったことが要因と考えられる。そのため、急傾斜地の S 値については平坦地の S 値(18[dB])に対し、K 値(1.5[dB])による補正を加えることで急傾斜地においても汎用的に適用可能となる。

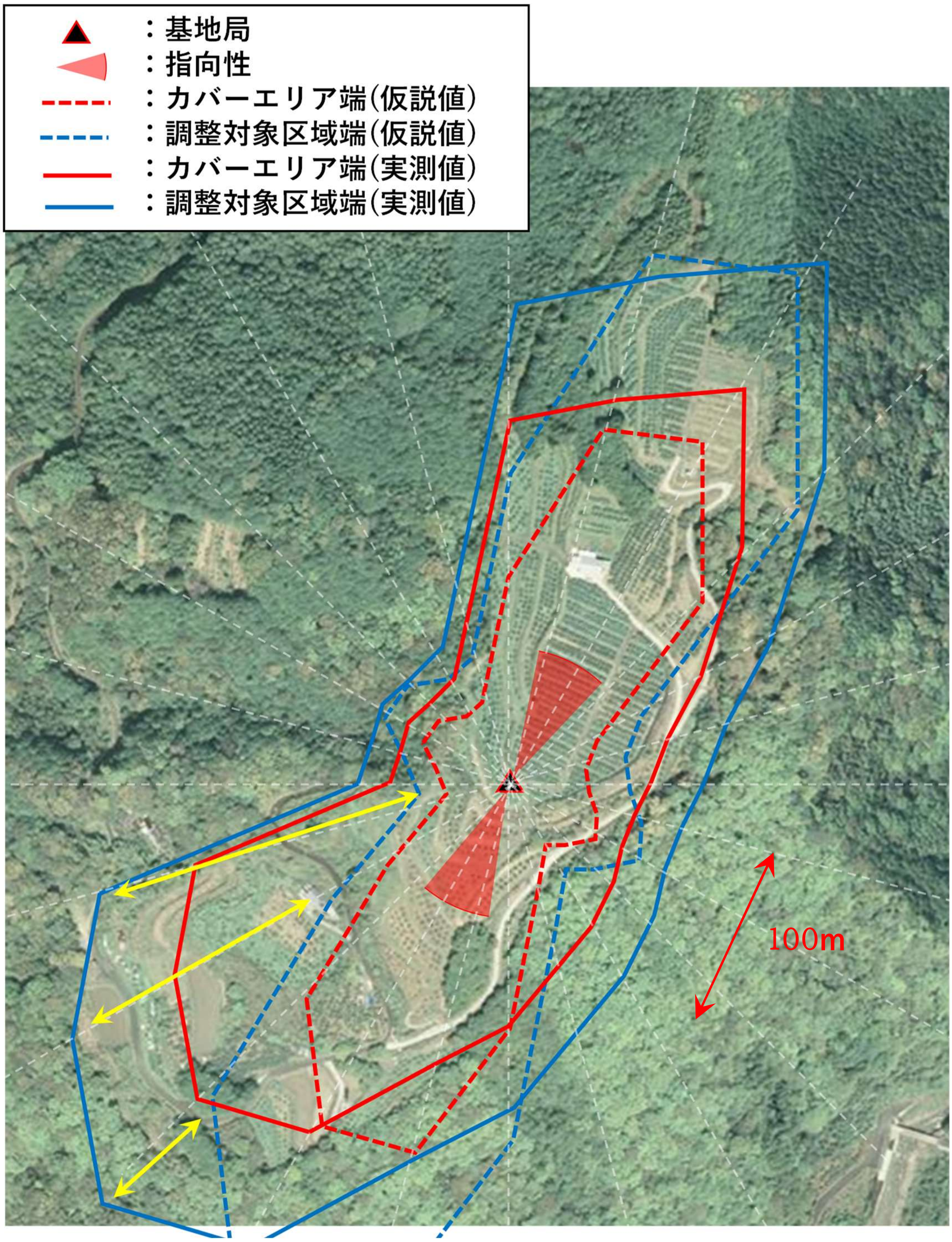


図 3.3.1.5-15　実測値と仮説値の差分

出典：地理院地図を加工して作成

表 3.3.1.5-5 精緻化の対象パラメータと精緻化の方向性、実証環境の要件

利用する周波数帯	精緻化の対象パラメータ	精緻化の方向性	実施環境の要件
4.7GHz 帯	K[6]	斜面や植生、水面の影響の定量化	● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が 100m 以上確保できる ● 斜面や水面等の地形情報データにより算入し難い地形の影響が存在する
	S[7]	選択基準の詳細化	● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が 100m 以上確保できる
	R[8]	壁面の材質・厚さ別の定量化	● 基地局設置場所が屋内である
28GHz 帯	hr[9]	選択基準の明確化	● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局が見通せない測定点を確保できる
	R[10]	壁面の材質・厚さ別の定量化	● 基地局設置場所が屋内である

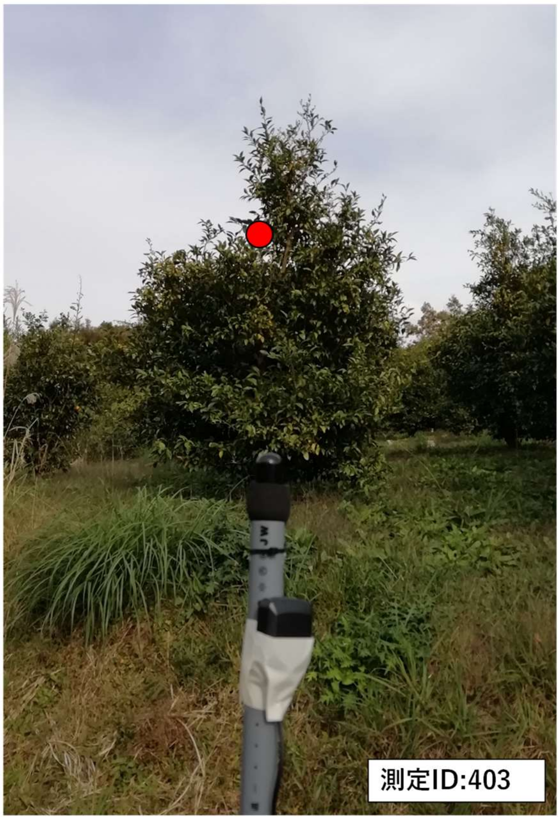


図 3.3.1.5-16　測定点 ID：394、403 の測定写真

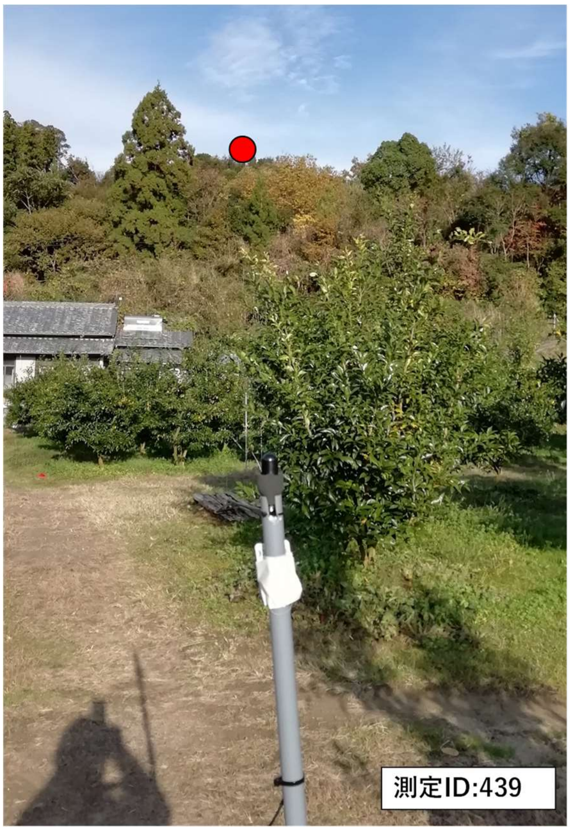


図 3.3.1.5-17　測定点 ID：439、421 の測定写真

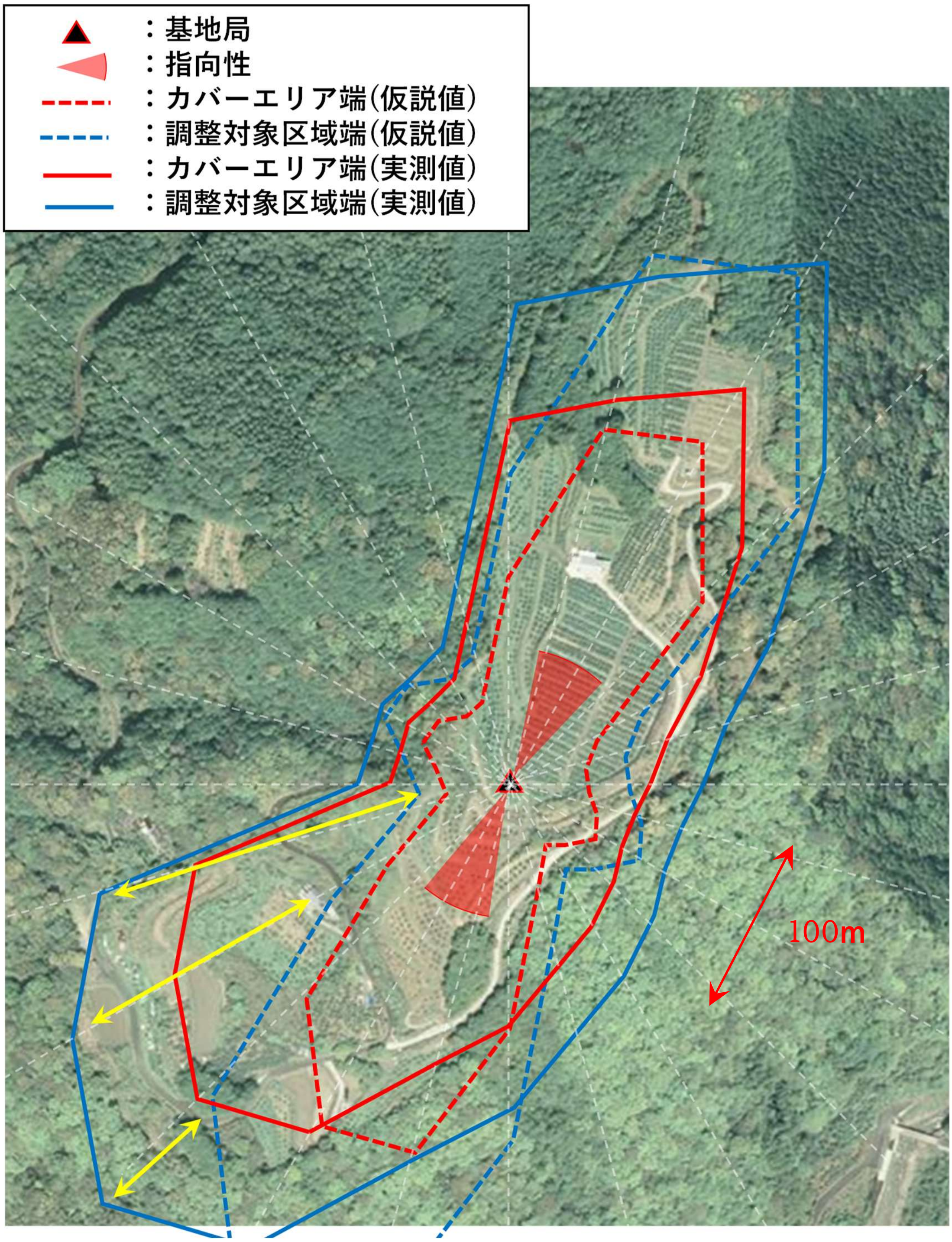


図 3.3.1.5-18 実測値と仮説値の差分

出典：地理院地図を加工して作成

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

まず、本実証環境は 3.1 章でも述べたが、ムーバー遠隔運転による除草防除や圃場で作業、新規就農者と遠隔地で指導を行う熟練者による収穫、剪定の遠隔指導等を目的としており、図 3.2-1 のように周辺が森林等に覆われている切り拓いた敷地や植生が生い茂る環境かつ、急斜面と平坦地の山間部をエリア化する置局設計が必要となる。これまではローカル 5G 基地局装置をエリアに合わせて基地局を複数設置することが一般的に有効だが、現時点では普及率の影響に伴い装置価格等が高額であることからコストが増大する傾向にある。その一方で、より安価にかつ簡易な方法による柔軟なエリア化が求められる。

そこで、設備、設置コストの低減と課題実証を行う場所を確実にエリア化したいというニーズに対応するために分散アンテナ（DAS）を使用することで、ローカル 5G 基地局を設置するより安価な方法による柔軟なエリア化が可能となるため、本実証環境で置局を行った。

今回の課題実証では“中山間地におけるゆず農園をモデルとしたローカル 5G を用いたモバイルムーバーによる遠隔・自動草刈り、防除ソリューションおよび新規就農者遠隔指導ソリューションの機能、運用およびその効果に関する検証を目的としており、図 3.3.2.1-1 に示すゆず農園のターゲットエリアをカバーするため、ローカル 5G 用 DAS （2 局）を活用して実証を行う。技術実証においても、同じローカル 5G の DAS 局を用いることで、実証環境におけるエリア構築の柔軟化に資する検討を網羅的かつ効率的に実施することができる。

図 3.3.2.1-2 にローカル 5G 用 DAS の構成図、図 3.3.2.1-3 にセクタアンテナ本体外観、表 3.3.2.1-1 にセクタアンテナ諸元を示す。

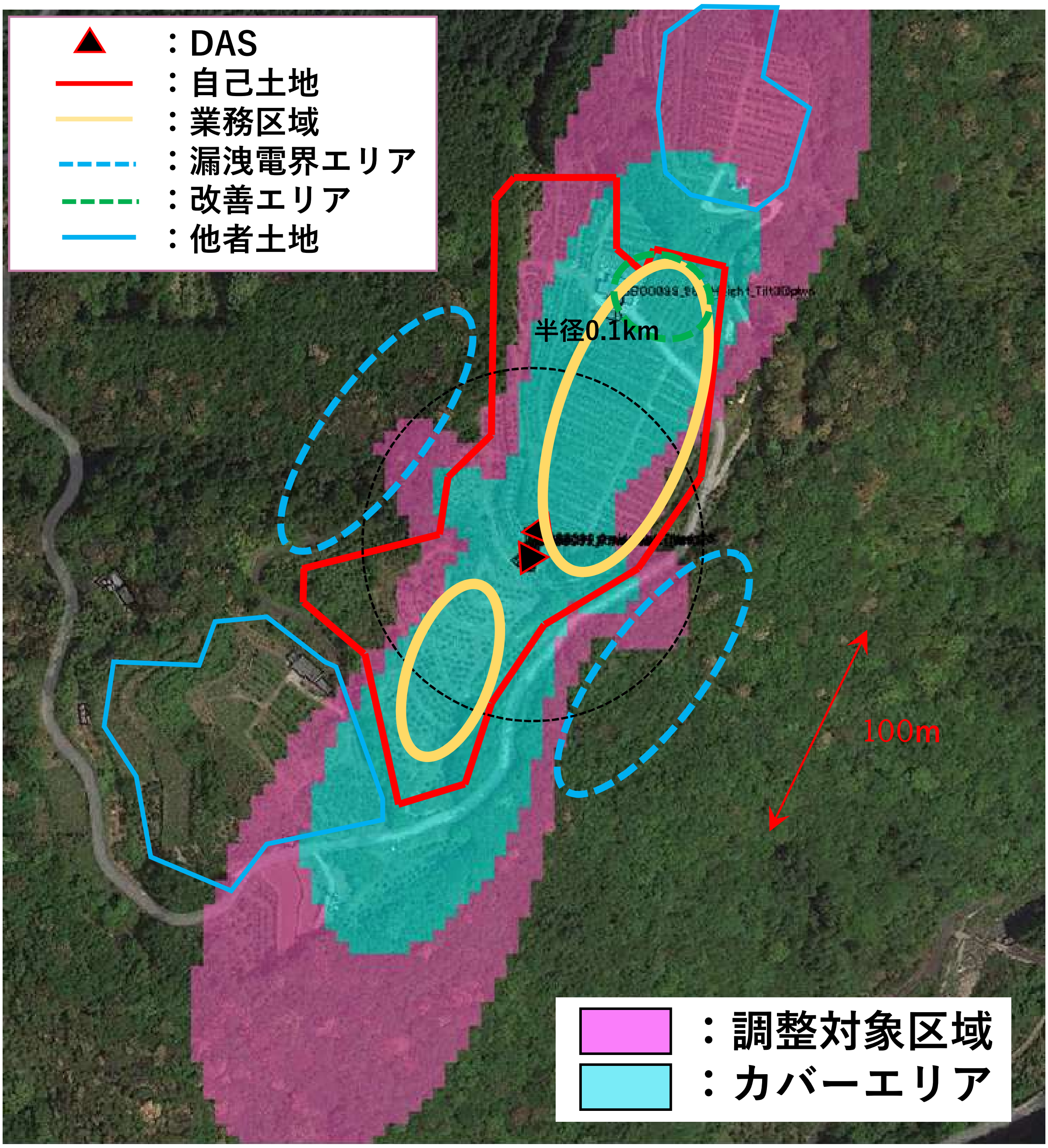


図 3.3.2.1-1 ゆず農園圃場内の基地局設置位置

出典：地理院地図を加工して作成

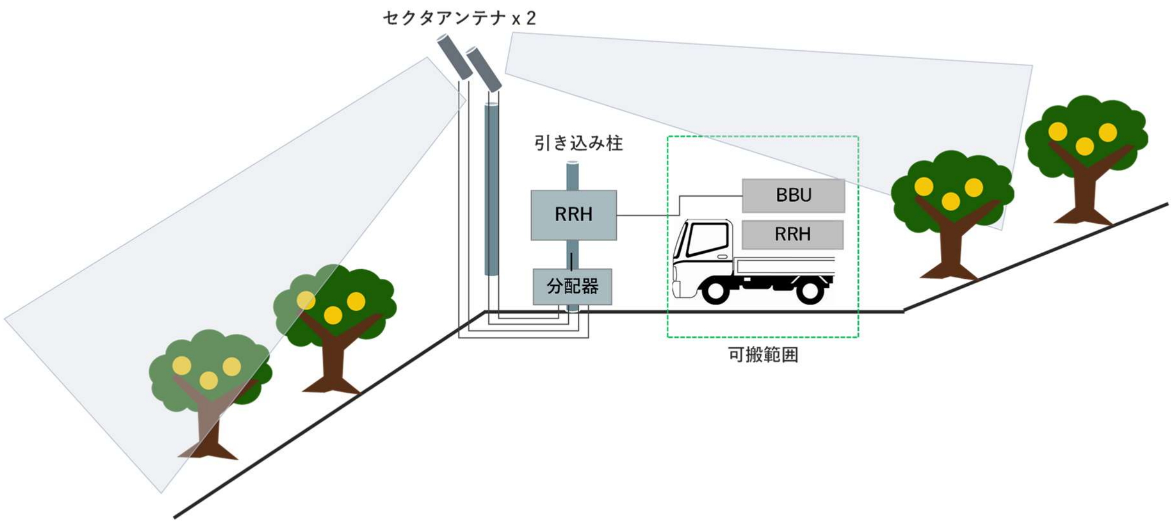
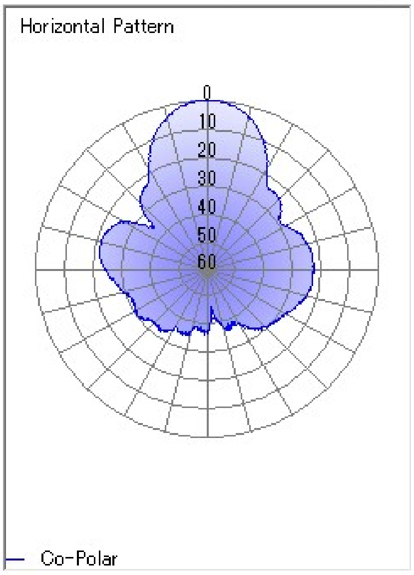
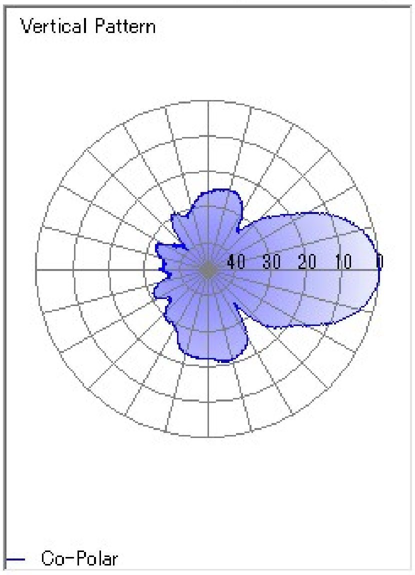


図 3.3.2.1-2 分散アンテナ(DAS)構成図

図 3.3.2.1-3 セクタアンテナ本体外観

表 3.3.2-1 セクタアンテナ諸元

項目名	諸元
型番	GP00092
製造元	日本電業工作
利得	12dBi
水平面内ビーム幅	30°

項目名	諸元
アンテナパターン	 
入出力端子	2 ポート・N-J
重量	600 g
サイズ	W:150mm×H:150mm×D:56mm

1） 実証目標

本実証においては、DAS による確実なエリア化を課題解決の目標とした。

このエリアを課題実証のターゲットエリアとし、技術実証においても、設置したローカル 5G 用 DAS のエリア形成の検証（目標値 Pr≧-84.6dBm）、およびサービス提供品質の評価を行った。表 3.3.2.1-2 に課題実証で要求される所要性能を示す。

表 3.3.2.1-2 課題実証で要求される所要性能

検証内容	必要スループット	最大許容遅延
モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション	UpLink:36Mbps	400ms
バーチャル圃場訪問	ホスト:UpLink:10Mbs	-
遠隔指導システム	UpLink:2.5Mbps DownLink:2.5Mbps ※2.5Mbps×5 台=12.5Mbps	-

最大許容遅延については、モバイルムーバーソリューションの運用上必須となる遠隔監視時の停止距離 1mを達成するために、どの程度の遅延までであれば許容されるかをもとに算出した。

モバイルムーバーは時速 2km(秒速 50cm)で走行するため、停止距離 1m を達成するためには、ムーバーから映像が伝送されてから実際に停止するまでに 2 秒以内となる必要がある。

そのうち、遠隔支援センターからモバイルムーバーまでの制御遅延を機能検証の目標としたときに、その他のパスの遅延も踏まえて合計で 2 秒以内になるように目標値を設定した。

その他のパスの遅延については以下を想定している。
・映像伝送遅延:0.6 秒
・オペレータの反応による遅延:0.8 秒
・制動距離を考慮したバッファ:0.2 秒

上記を踏まえて制御遅延の目標値としては 0.4 秒(400ms)と設定した
※2 秒-0.6 秒-0.8 秒-0.2 秒=0.4 秒

2) 過年度技術実証からの発展性・新規性

令和 3 年度「No.14 ローカル 5G と AI 技術を用いた鉄道駅における車両監視の高度化」においてローカル 5G 用 DAS を用いた実証を行っている。前述の実証実験報告書によれば DAS を用いた理由が「鉄道駅ホームにおいて、車両監視に必要な横に広いエリアの確保」を目的としており、今回のユースケースである「特定の場所において確実なエリア化を実現する」という目的においては、DAS の利用方法として新規性があるものと考える。

(2) 実証仮説

DAS を利用しない場合、図 3.3.2.2-1 のような伝搬シミュレーションになるが、他者土地へ電波漏洩の観点からも特定の場所において確実なエリア化を実現するには、DAS 利用が有効と考えられる。本実証においては、図 3.3.2.2-2 のような伝搬シミュレーションもしくは机上検討により DAS の置局位置に対し、そのカバーエリアおよび調整対象区域を作図しそれぞれの電界強度、スループット等を用い評価を行った。また、業務区域内においても測定を実施することとする。表 3.3.2.2-1 に DAS による伝搬シミュレーションに用いたツールおよびパラメータを示す。DAS 活用時のリンクバジェットについても算出を行った。

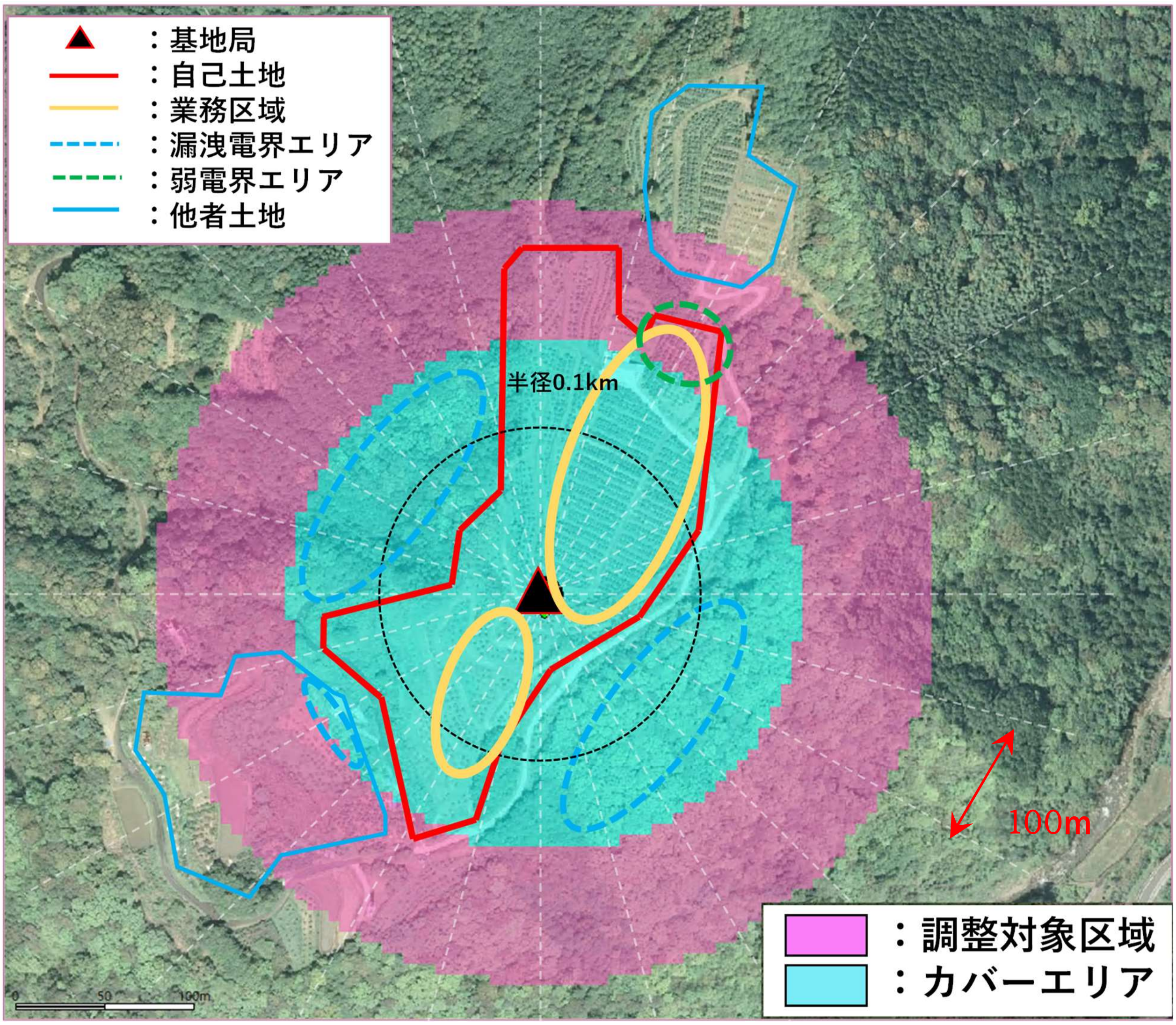


図 3.3.2.2-1　オムニアンテナにおける算出法カバーエリア、調整対象区域イメージ

出典：地理院地図を加工して作成

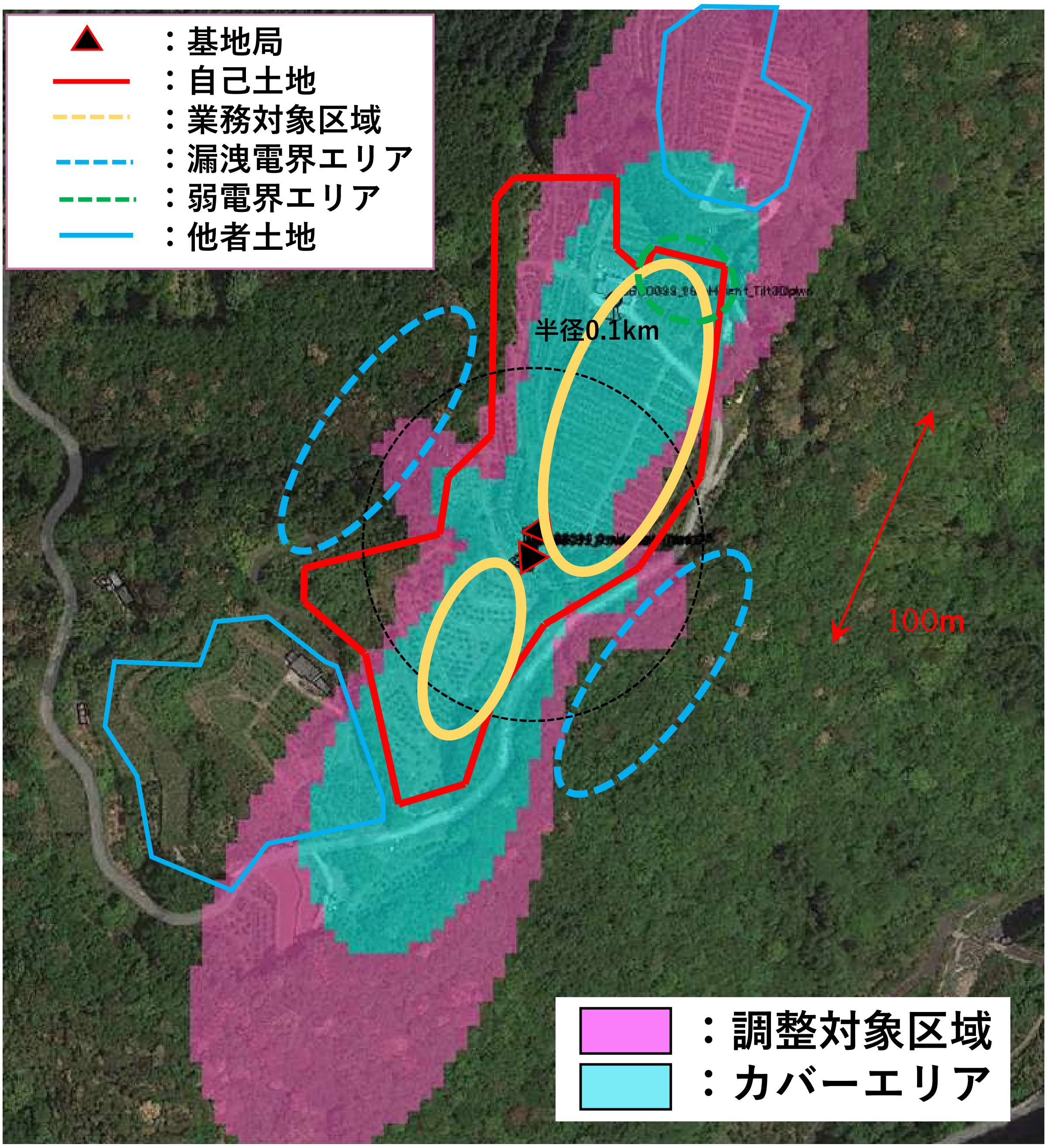


図 3.3.2.2-2　DAS における算出法カバーエリア、調整対象区域イメージ

出典：地理院地図を加工して作成

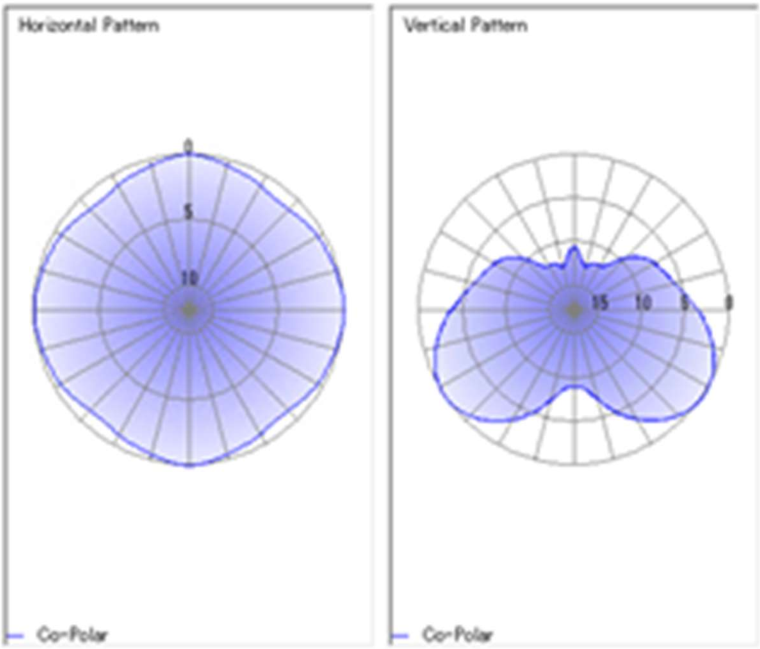
表 3.3.2.2-1　DAS　による伝搬シミュレーションに用いたツールおよびパラメータ

項目	値
シミュレーションツール名	Atoll（FORSK 社製）
地理データ	5m メッシュ標高データ（国土地理院提供）

項目	値
伝搬損失算出式	電波法関係審査基準 別紙(16) (1)4.6GHz から 4.9GHz までの周波数を使用する場合 ③dxy≧0.1km の場合
基地局の空中線電力(Pt)	43.8dBm
送信アンテナ利得(Gt)	最大 12dBi
基地局の給電線損失(Lf)	13.025dB
受信アンテナ利得(Gr)	0dBi
使用する周波数(f)	4849.98MHz
基地局の空中線地上高(Hb)	8.5m
移動局の空中線地上高(Hm)	1.5m
建物侵入損(R)	0dB
遠距離に対して考慮する係数(α)	1
移動局高さに対して考慮する補正項(a(Hm))	0.057
基地局高さに対して考慮する補正項(b(Hb))	-10.95404658
地形の影響等の補正値(K)	0
市街地/郊外地/開放地に対して考慮する補正値(S)	12.3dB

表 3.3.2.2-2 オムニアンテナ諸元

項目名	諸元
利得	3dBi
水平面内ビーム幅	360°(無指向)

項目名	諸元
アンテナパターン	

（3） 評価・検証項目

実証環境における DAS を用いたローカル 5G の性能評価として、ユーザーへのサービス提供品質への評価を行う。図 3.3.2.3-1 にエリア形成図を示す。図に示す業務区域においても測定を行った。

まず、DAS によるユーザーへのサービス提供品質の観点としてエリア形成を行う区域（業務区域、カバーエリア、調整対象区域）において表 3.3.2.3-1 に示すエリア形成の検証、サービス提供品質の調査を実施する。サービス提供品質の調査については、表 3.3.2.3-1 に示す課題実証側での所要性能を達成できているか合わせて評価を行った。

これらの評価・検証を通じて、DAS を用いたローカル 5G エリア設計・構築に関する技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等についても考察を行うことで、DAS の活用によるローカル 5G 基地局の増設を不要とするエリア構築手法を検討。

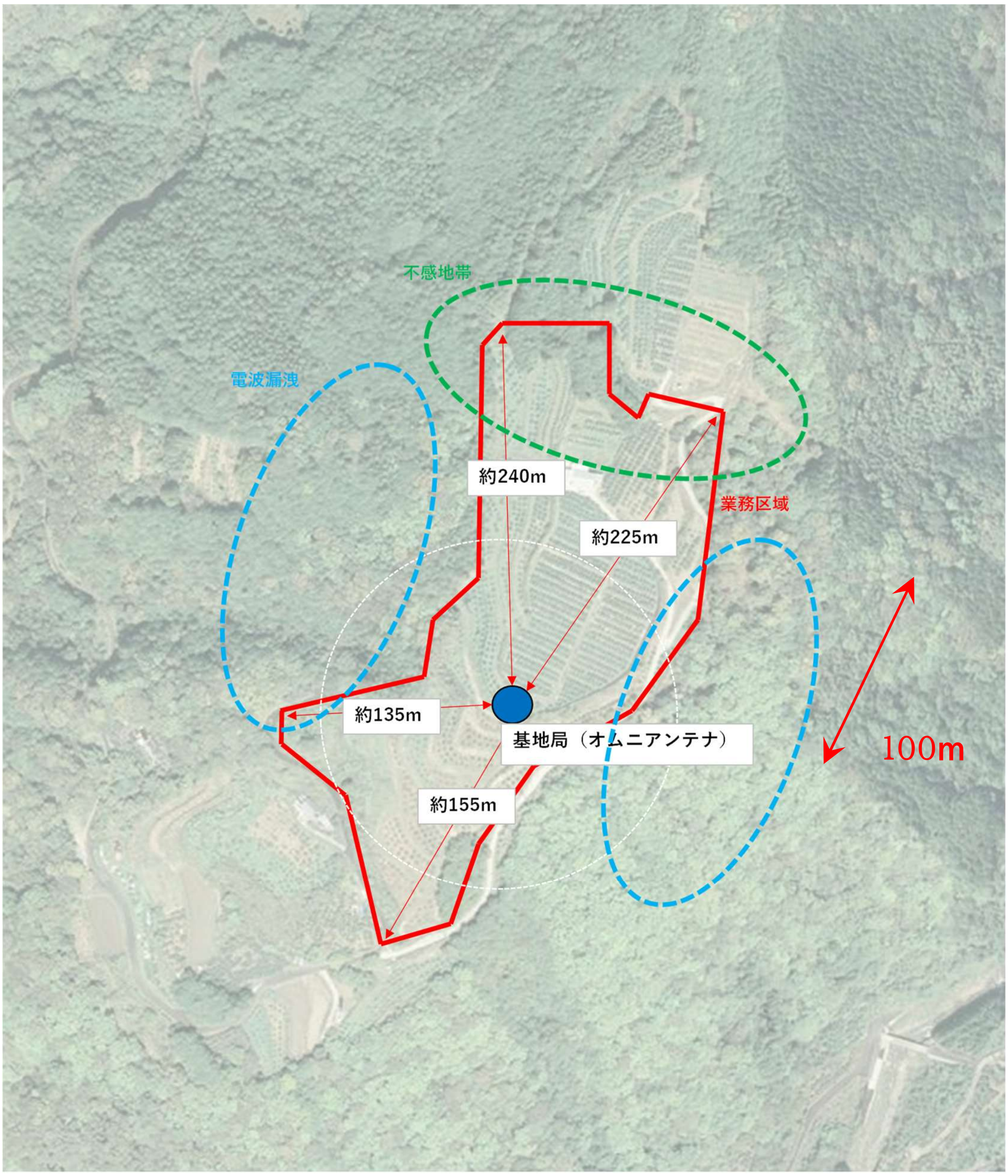


図 3.3.2.3-1 DAS を用いた各エリア形成:イメージ

出典:地理院地図を加工して作成

表 3.3.2.3-1 DAS エリア形成の検証における評価項目と測定項目との関係

評価・検証項目	評価項目の概要	主な測定項目	測定対象区域
エリア形成の検証	DAS 設置後の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のエリア端において実測する下り受信電力値とエリア端閾値の比較。	下り受信電力(SS-RSRP)	業務区域、カバーエリア、調整対象区域
	DAS 設置後の干渉による通信品質の劣	通信品質	

評価・検証項目	評価項目の概要	主な測定項目	測定対象区域
	化状況の確認。	(SS-SINR)	
サービス提供品質の評価	DAS のカバーエリア端における、伝送スループットが課題実証で要求されている基準を満たしているか評価。 ただし、今回の課題実証においては目標となる遅延時間は設定させないが、実証環境の参考値として遅延時間の測定を行う。	伝送スループット 遅延時間(参考値)	

1) 測定項目(エリア形成の検証)

一般的に 5GNR のエリア指標として用いられている SS-RSRP (Synchronization Signal-Reference Signal Received Power)、SS-RSRQ (Synchronization Signal-Reference Signal Received Quality) および SS-SINR(Synchronization Signal-Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)について実測する。

SS-RSRP は、1 リソースエレメントあたりの SSS (Secondary Synchronization Signal)の受信電力であり、基地局からの電波の受信レベルを評価する基本的なパラメータである。SS-RSRQ は、受信品質を評価するパラメータであり、近隣基地局の干渉が増大すれば RSRQ が小さくなる。

RSSI は全体帯域の電力であり、SS-RSRP の下り受信電力の測定帯域である 30kHz から 100MHz に変換した値となる。

$$\mathrm{RSSI} = \mathrm{SS} - \mathrm{RSRP} \times \text{周波数帯域幅} \div (\mathrm{SSS}\,\text{の周波数帯域幅})$$

$$\mathrm{RB}\,\text{数} = \text{周波数帯域幅} \div \mathrm{SSS}\,\text{の周波数帯域幅}$$

SS-SINR も RSRQ 同様に受信品質を評価するパラメータであり、RSRQ は分母に RSSI、つまり全体帯域の電力を用いるが、SINR では RS と同じリソースブロックの帯域内に存在する干渉電力を分母とする。干渉電力は、同じ帯域内の隣接セルからの信号に加えて雑音成分や、CP(Cyclic Prefic)時間を超えて遅延したマルチパスとなり、その干渉電力が増大すれば SINR が小さくなる。

2) 測定項目(サービス提供品質の評価)

ユーザーへのサービス提供品質の評価として、伝送スループット、遅延時間について、下り受信電力値との関係性で評価し、表 3.3.2.3-2 にて示している課題実証側での所要性能を達成できているか評価する。

表 3.3.2.3-2 課題実証で要求される所要性能(表 3.3.2.1-2 再掲)

検証内容	必要スループット	最大許容遅延
モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション	UpLink:36Mbps	400ms

検証内容	必要スループット	最大許容遅延
バーチャル圃場訪問	ホスト:UpLink:10Mbs	-
遠隔指導システム	UpLink:2.5Mbps DownLink:2.5Mbps ※2.5Mbps×5 台=12.5Mbps	-

3） 測定方法(エリア形成の検証)

受信電力レベルの実測に使用した測定機器は、3.3.2 章で示した機器と同様である。

表 3.3.2.3-3 測定機器

測定機器名	測定項目	備考
Anritsu エリアテスタ ML8780A[4]	SS-RSRP SS-RSRQ SS-SINR	図 3.3.2.3-2
Anritsu ネットワークマスタープロ MT1000A[5]	スループット 遅延時間	図 3.3.2.3-4
ノート PC(Windows) ※iPerf サーバ、クライアント		
Garmin eTrex30xJ[6]	GPS 座標	図 3.3.2.3-3

[4] https://dl.cdn-anritsu.com/ja-jp/test-measurement/files/Product-Introductions/Product-Introduction/ml8780a-81a-jl11400.pdf

[5] https://www.anritsu.com/ja-jp/test-measurement/products/mt1000a

[6] https://buy.garmin.com/en-US/US/p/518048/pn/010-01508-10#specs

図 3.3.2.3-2　Anritsu エリアテスタの外観

図 3.3.2.3-3　Garmin eTrex30xJ の外観

本実証を通して、エリアテスタの主な設定値は表 3.3.2.3-4 を用いることとする。

表 3.3.2.3-4　エリアテスタ設定値(キャリア 5G 基地局)

項目	設定値
中心周波数	4849.98MHz
帯域幅	100 MHz
測定項目	SS-RSRP SS-RSRQ SS-SINR

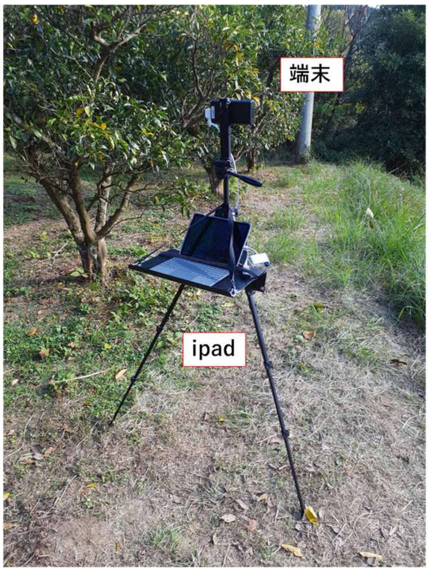
項目	設定値
測定周期	0.1[s]

測定においては、多数の測定点における測定を効率的に実施するため、図 3.3.2.3-5 に示すような測定補助用の治具を作成して測定を実施した。
※測定治具は、状況に応じ形態を変更する。

4） 測定方法（サービス提供品質の評価）

伝送スループットについては、アップリンク（以下、UL）/ダウンリンク（以下、DL）を、端末側に接続した測定器と基地局側コアネットワークに接続した測定器との区間において測定する。遅延時間についても同じ区間において実測する。

図 3.2.3.3-4 Anritsu ネットワークマスタープロの外観



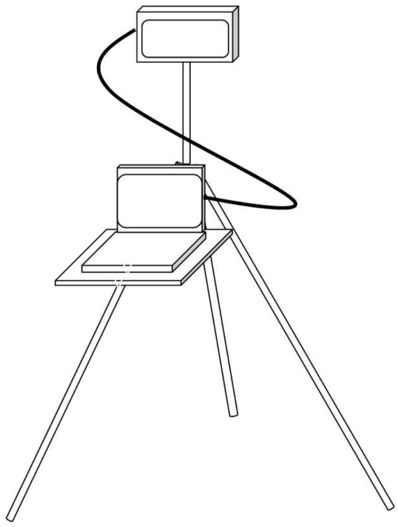


図 3.3.2.3-5 実測に用いた測定補助用治具

表 3.3.2.3-5　測定機器

測定機器名	測定項目	備考
Anritsu ネットワークマスタープロ MT1000A[7]	スループット 遅延時間	図 3.3.2.3-4
ノート PC(Windows) ※iPerf サーバ、クライアント		

5） 測定地点の考え方

① 本実証においては屋外環境において 2 つの DAS を配置する。屋外に拡がるカバーエリア端、調整対象区域端についても測定を実施することとした。本実証環境で用いた DAS については水平偏波において 30°となっているため、置局点を中心として 15°方位ごとに方位を区切った。

※なお、図各測定地点においては障害物等により測定困難な地点については、測定地点をずらす等で調整を行った。

② DAS のカバーエリア内を測定地点とする。図 3.3.2.3-6 内の〇は測定点となる。

●:基地局から 100m 未満、●:基地局から 100m 以上。

③ カバーエリア端、調整区域端の測定に必要と考えられる地点を測定する。(図 3.3.2.3-6 内の赤線はカバーエリア端、青線は調整対象区域端)。

[7] https://www.anritsu.com/ja-jp/test-measurement/products/mt1000a

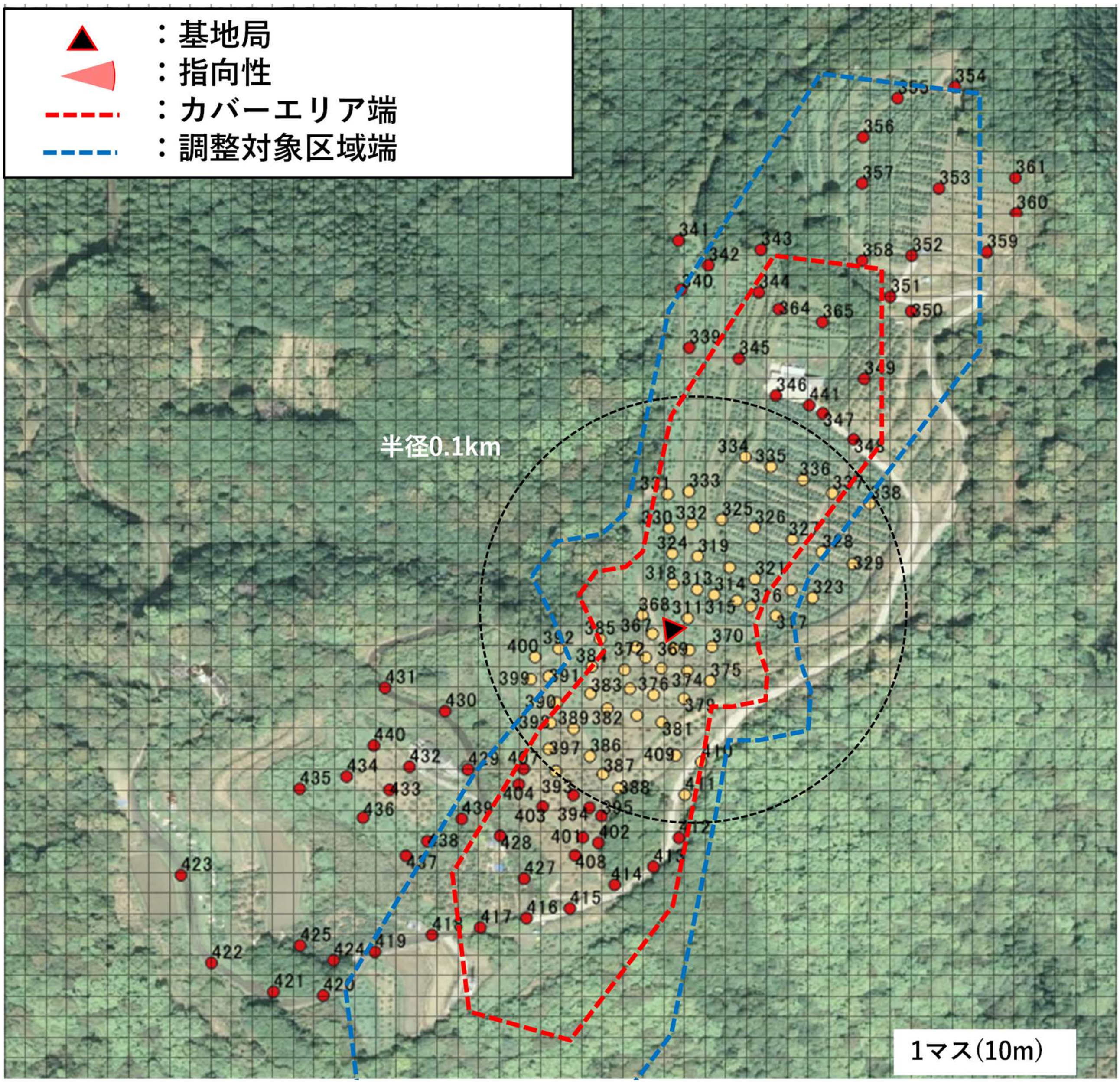


図 3.3.2.3-6 測定地点

出典：地理院地図を加工して作成

（4） 評価・検証方法

ここでは、評価・検証項目を明らかにする。

1） 実証環境におけるエリア形成の検証

エリア形成の検証としては、エリア算出法に基づく DAS のカバーエリアおよび調整対象区域のエリア端閾値を基準に、実証環境において実測した下り受信電力値およびそこから導く伝搬ロス特性により行った。

具体的には、実証環境におけるカバーエリアおよび調整対象区域をエリア算出法により作図する（エリア

算出法によるエリア図)。その後、それぞれのエリア端における実際の下り受信電力値とエリア端閾値との比較を行った。下り受信電力値とエリア端閾値が異なっている場合は、カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端閾値が実測される地点と基地局との距離の確認を行うことにより実測値による推定エリア図を作成する。最後に、エリア算出法によるエリア図と実測値による推定エリア図の差分を評価する。

加えて、30 か所以上の測定地点において実測した下り受信電力値と測定地点～基地局間距離から算出した伝搬ロス特性を、携帯電話システムの設計等に用いられている電波伝搬モデルと比較することで、実証環境における 4.7GHz 帯(4.8~4.9GHz)の電波伝搬特性の評価を行う。

比較検証とし図 3.3.2.4-1 に示すようなオムニ構成と DAS 構成で比較することが望ましいが、今回の実証ではオムニアンテナでのエリア構成についてはシミュレーションから他者土地への電波漏洩の確認を行うこととする。そのため、DAS 設置前後については図 3.3.2.4-2、図 3.3.2.4-3 に示すようなセクタ構成で平坦地、急傾斜地においてチルト角を変化させた場合のエリア形成について比較検討を行った。

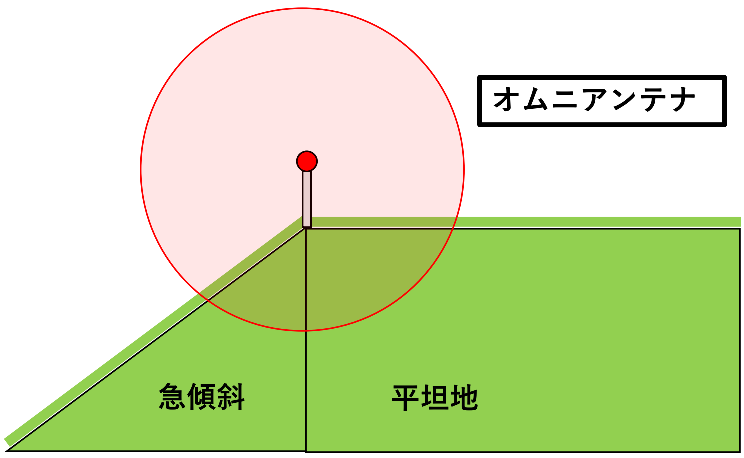


図 3.3.2.4-1 オムニアンテナ構成

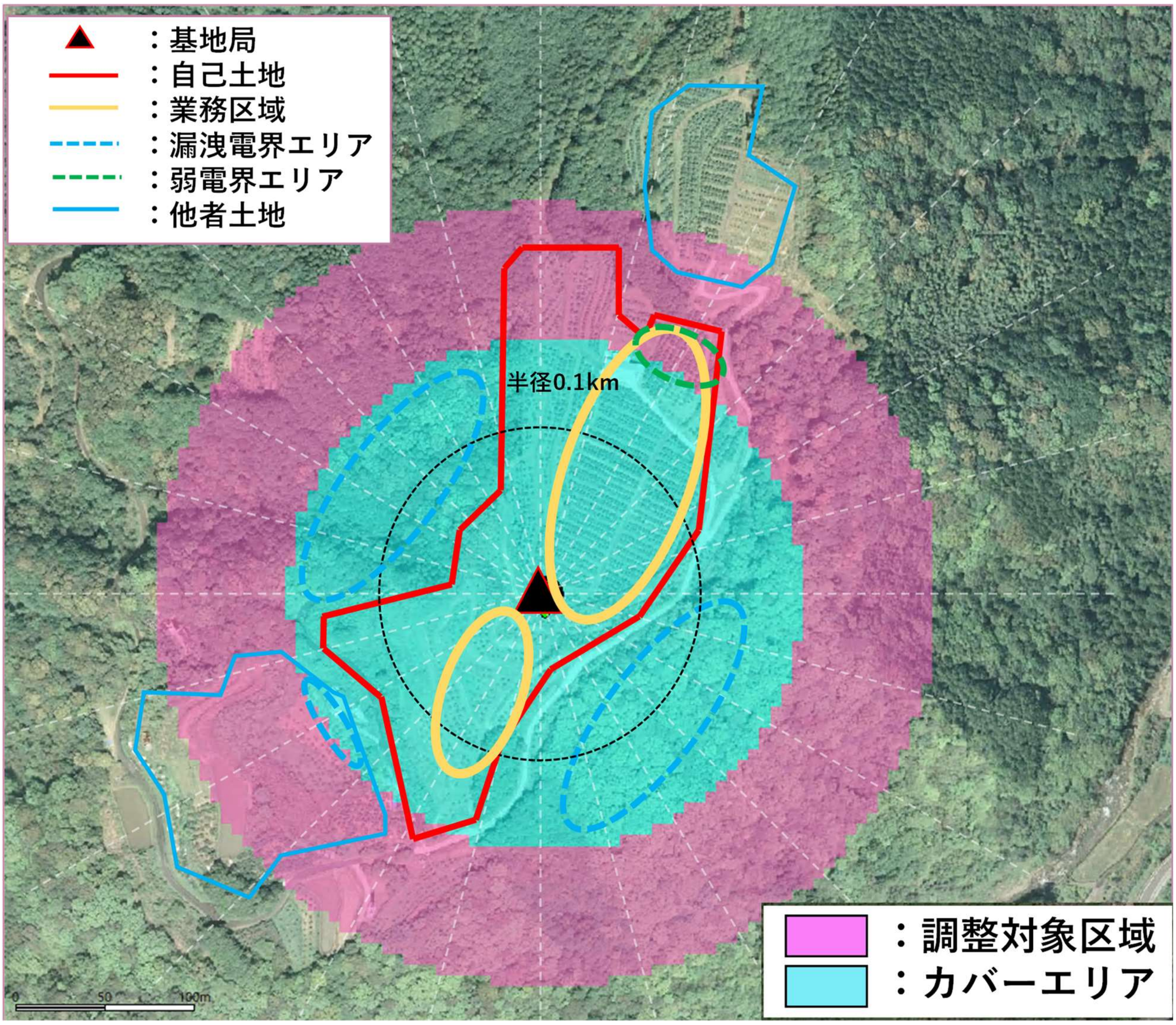


図 3.3.2.4-2　オムニアンテナ構成でのシミュレーション

出典：地理院地図を加工して作成

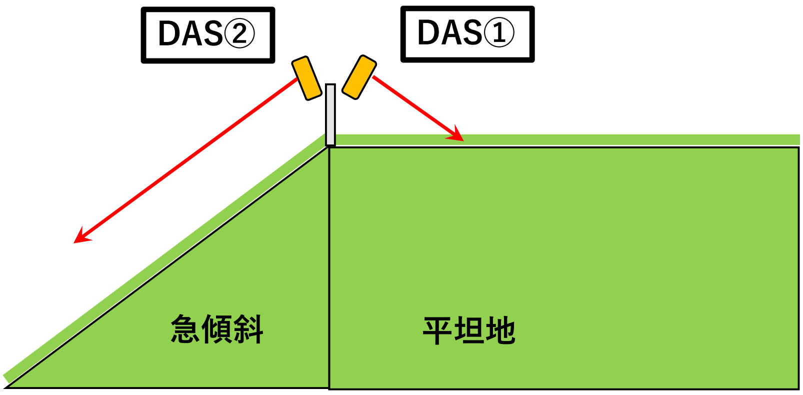


図 3.3.2.4-3　DAS 設置前：2)構成

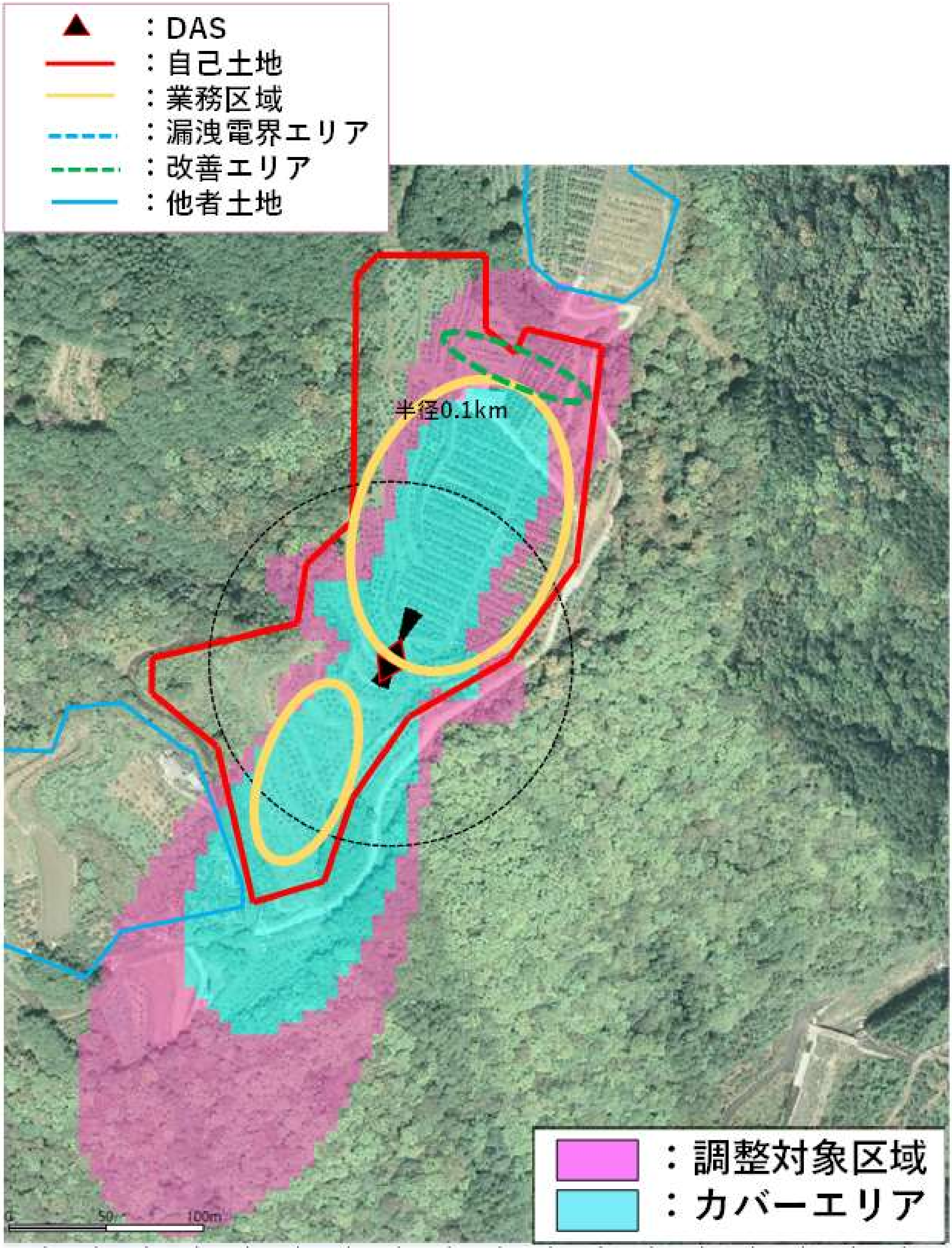


図 3.3.2.4-4　2)構成のシミュレーション結果

出典:地理院地図を加工して作成

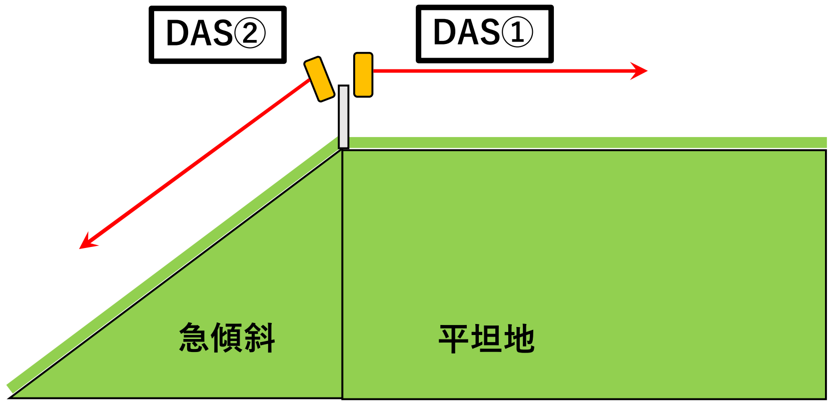


図 3.3.2.4-5　DAS 設置後:3)構成

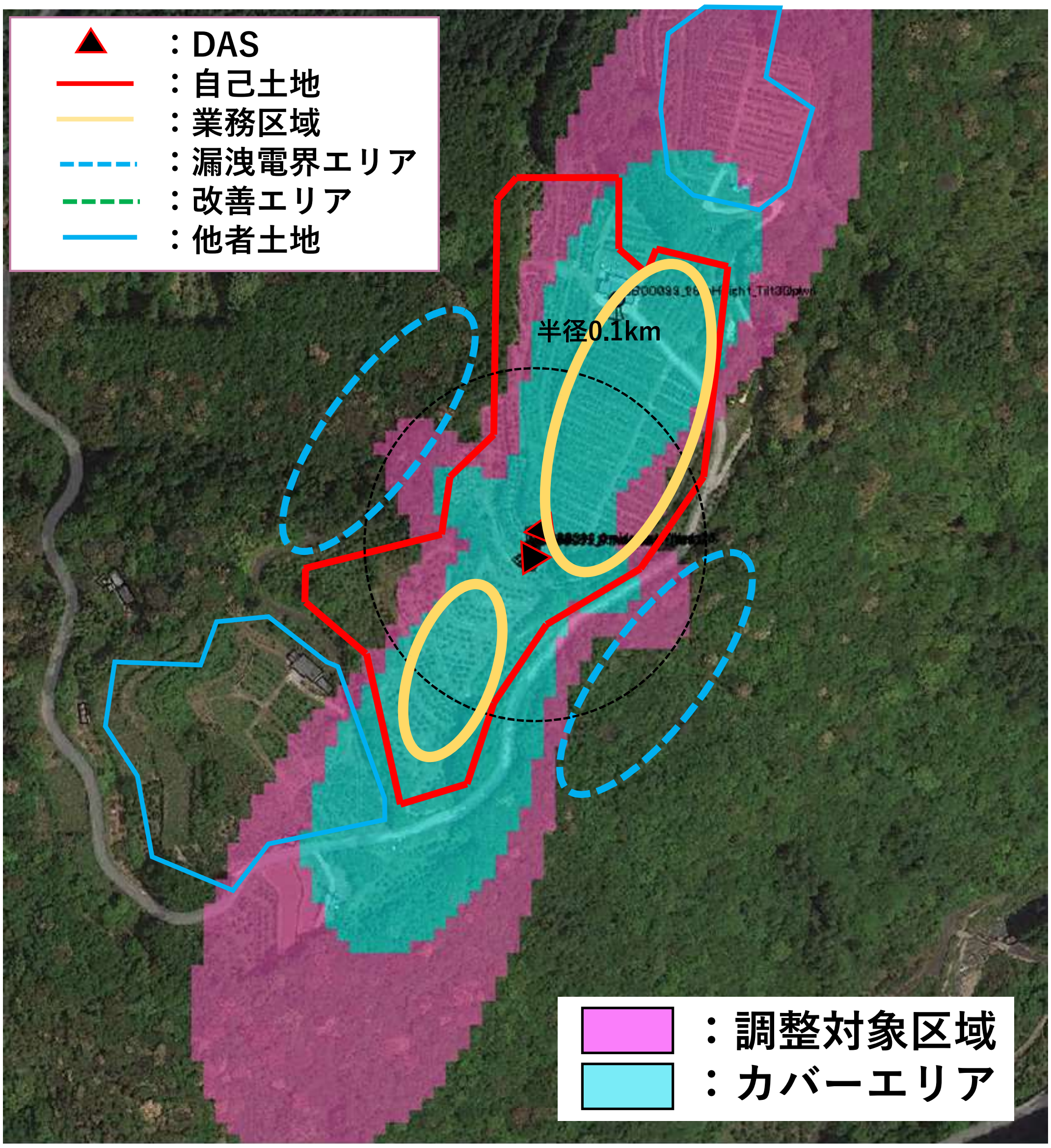


図 3.3.2.4-6　3)構成のシミュレーション

出典:地理院地図を加工して作成

2)構成:平坦地側のDASのチルト角を急斜面側のチルト角と同一にし、オムニアンテナ構成を模擬した。DAS①と DAS②のチルト角については 18.5°とした。

3)構成: 平坦地側の DAS チルト角を 18.5°から-0.66°に変更した上げた構成

DAS 設置前後の比較検討については下記の項目で行うこととする。

DAS 設置前:2)の構成で平坦地側 DAS のチルト角を急斜面側のチルト角と同一にすることでオムニを模擬し、シミュレーションと実測結果で比較を行う。

DAS 設置後:3)の構成から平坦地側の DAS チルトを上げることによりエリアの広がりをシミュレーションと実測結果で比較を行う。

2) 実証環境におけるユーザーへのサービス提供品質の評価

ユーザーへのサービス提供品質の評価として、カバーエリア端における伝送スループット、遅延時間について、下り受信電力値との関係性で評価し、表 3.3.2.4-1 にて示している課題実証側での所要性能を達成できているか評価する。また、伝搬シミュレーション Atoll でのシミュレーション結果と実測値を比較し、その差分について分析・考察を行った。

表 3.3.2.4-1 課題実証で要求される所要性能(表 3.3.2.1-2 再掲)

検証内容	必要スループット	最大許容遅延
モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション	UpLink:36Mbps	400ms
バーチャル圃場訪問	ホスト:UpLink:10Mbs	-
遠隔指導システム	UpLink:2.5Mbps DownLink:2.5Mbps ※2.5Mbps×5 台=12.5Mbps	-

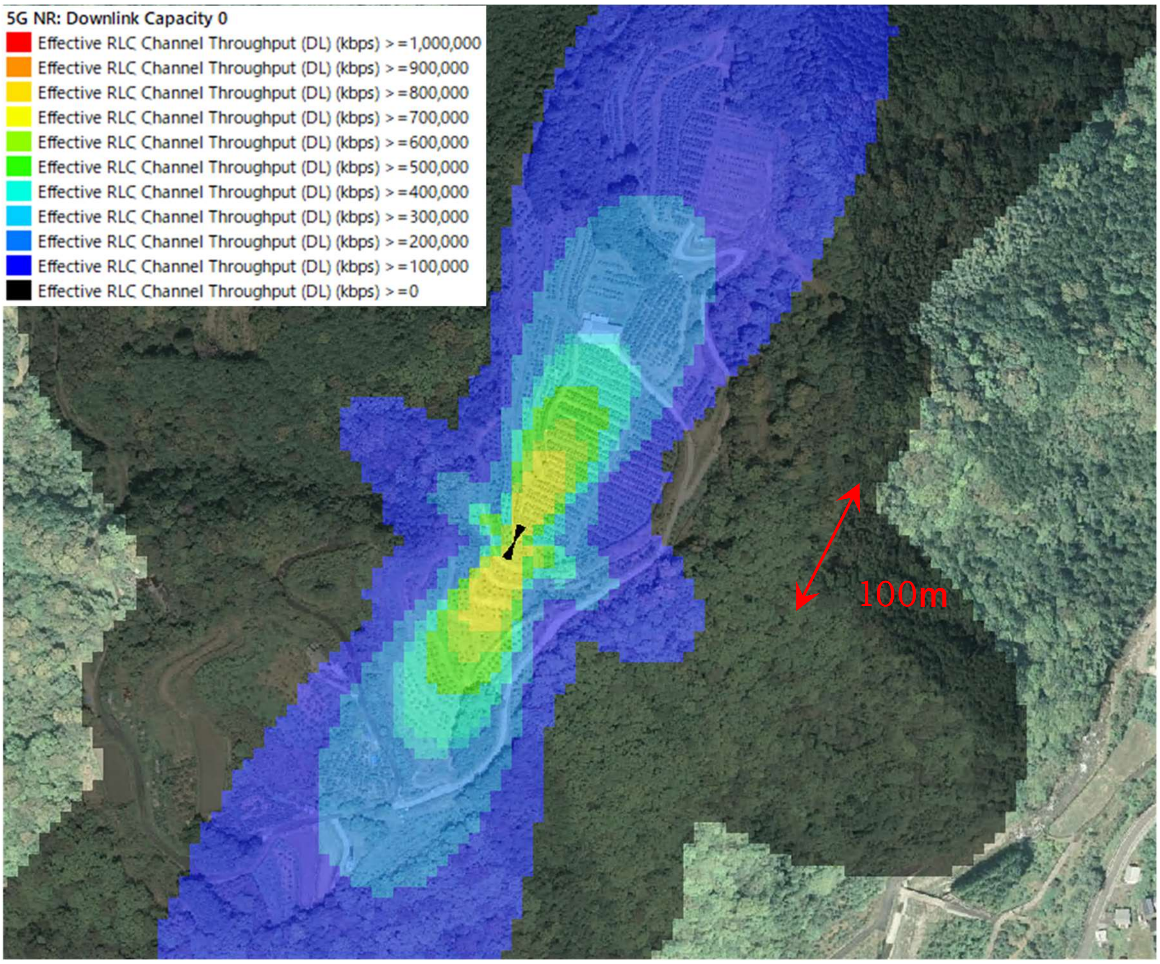


図 3.3.2.4-7 伝送スループット DL のシミュレーション結果

出典:地理院地図を加工して作成

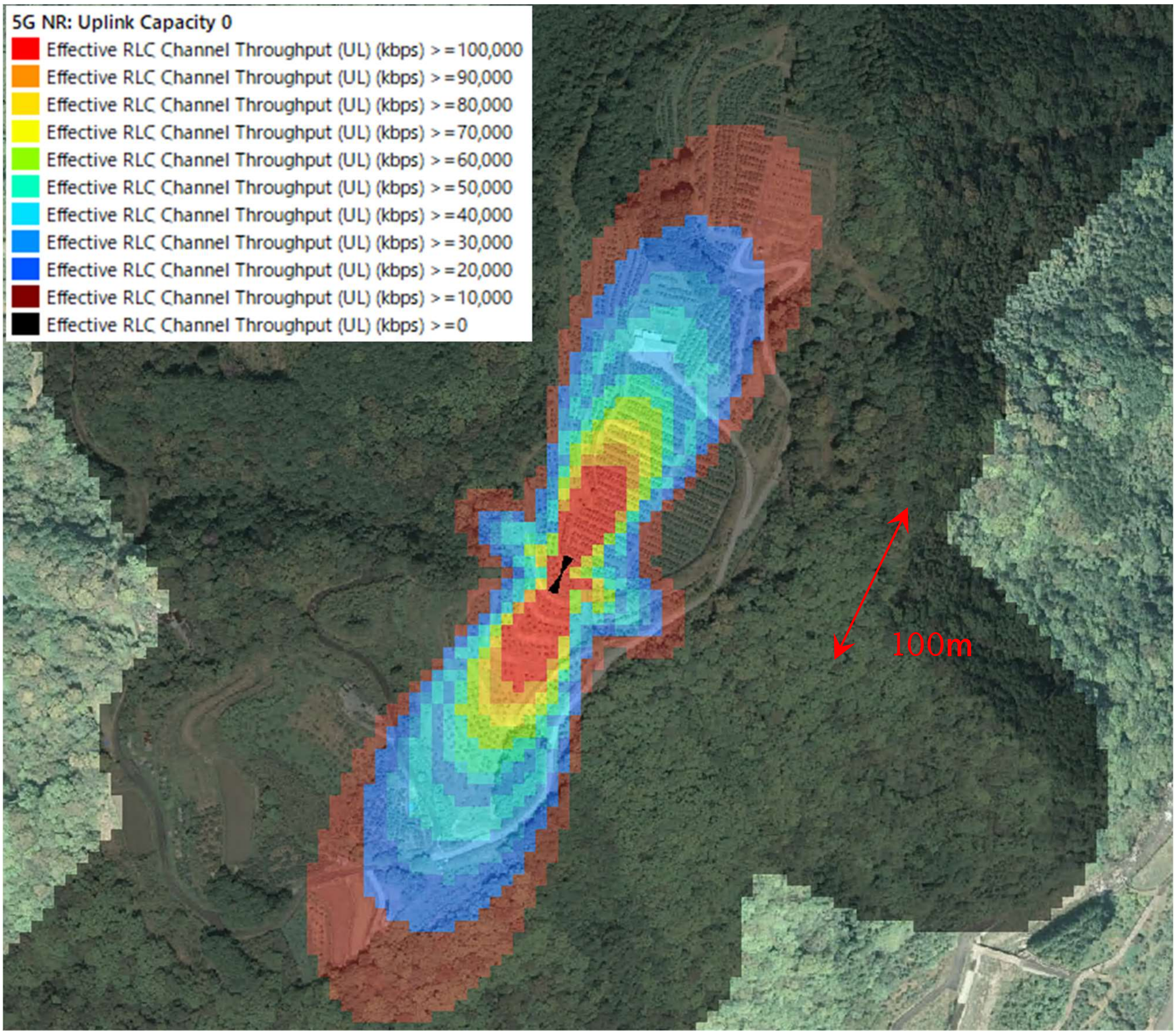


図 3.3.2.4-8 伝送スループット UL のシミュレーション結果
出典：地理院地図を加工して作成

（5） 実証結果および考察

実測した各種データは、測定地点ごとに表や図面を用いてわかりやすく表示することを想定している。加えて、実証環境内において、電波伝搬特性に影響を与えると想定される遮蔽物や反射物等について現地で撮影した写真等を併せて掲載し、環境影響を含んだ分析・考察を行う事とする。また、エリア構築の柔軟性の観点から分析・考察を行い、得られた知見からエリア設計手法のモデル化を行う。

1） 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と実測値の比較

図 3.3.2.5-1 に平坦地側の DAS のチルト角を急斜面側のチルト角と同一にし、オムニアンテナ構成を

模擬したシミュレーション結果を示す。図 3.3.2.5-1 より急傾斜地側によるカバーエリアと調整対象区域の広がりが平坦地側に比べ小さいことが確認できる。これは急傾斜地側の斜面が急であることから基地局からの電波の広がりが大きくなったと考えられる。図 3.3.2.5-2 に平坦地側の DAS チルトを上げたときのシミュレーション結果を示す。こちらのシミュレーション結果では、平坦地側の DAS チルト角を 18.5°から-0.66°に変化させた条件となっている。先ほどの図 3.3.2.5-1 に比べ、急傾斜地ではカバーエリア、調整対象区域の比較では変化が見られなかったもの平坦地のカバーエリア、調整対象区域では北側の自己土地内圃場をエリア化できていることが確認できる。

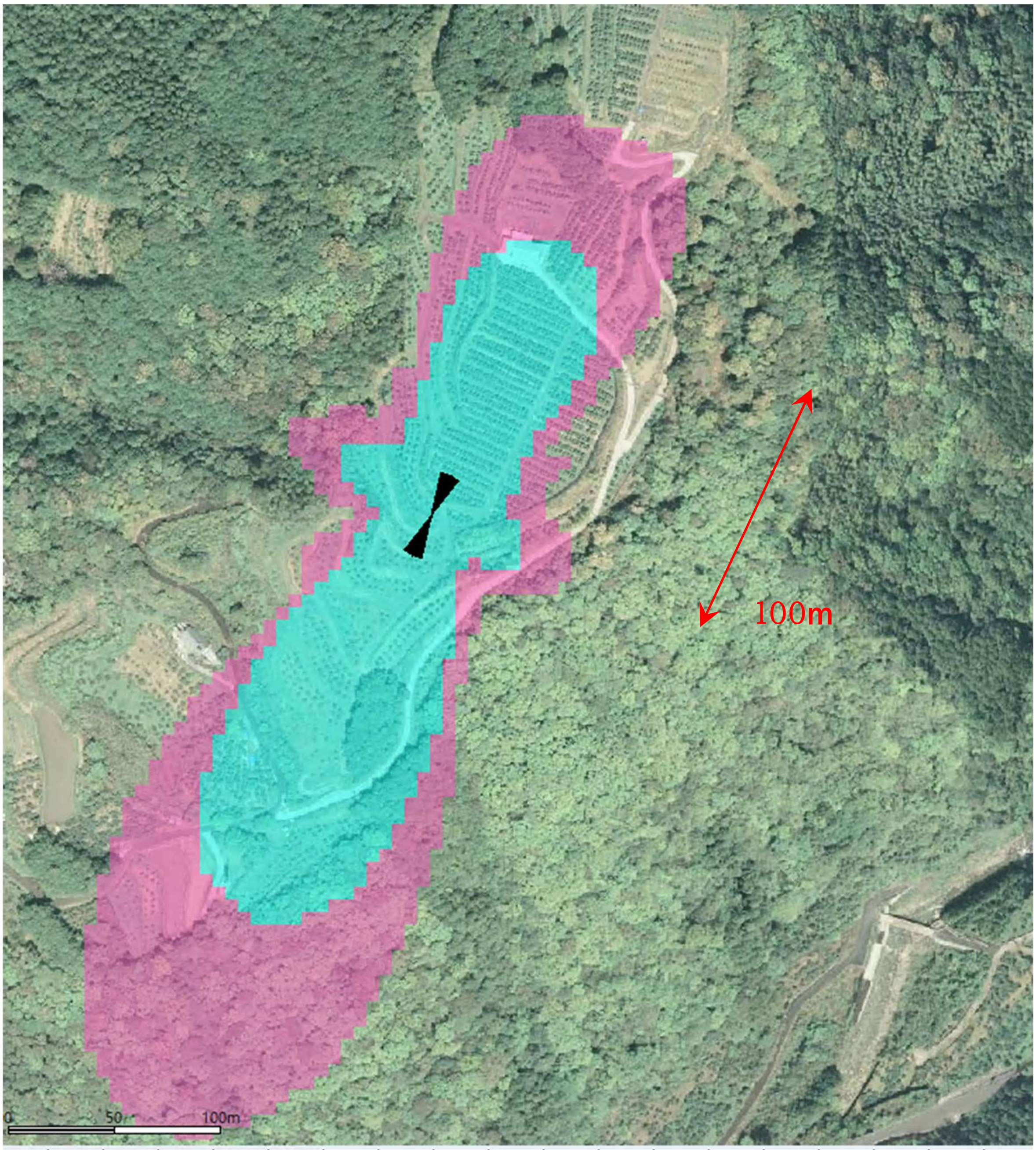


図 3.3.2.5-1 平坦地側の DAS のチルト角を急斜面側のチルト角と同一にし、オムニアンテナ構成を模擬したシミュレーション結果

出典：地理院地図を加工して作成

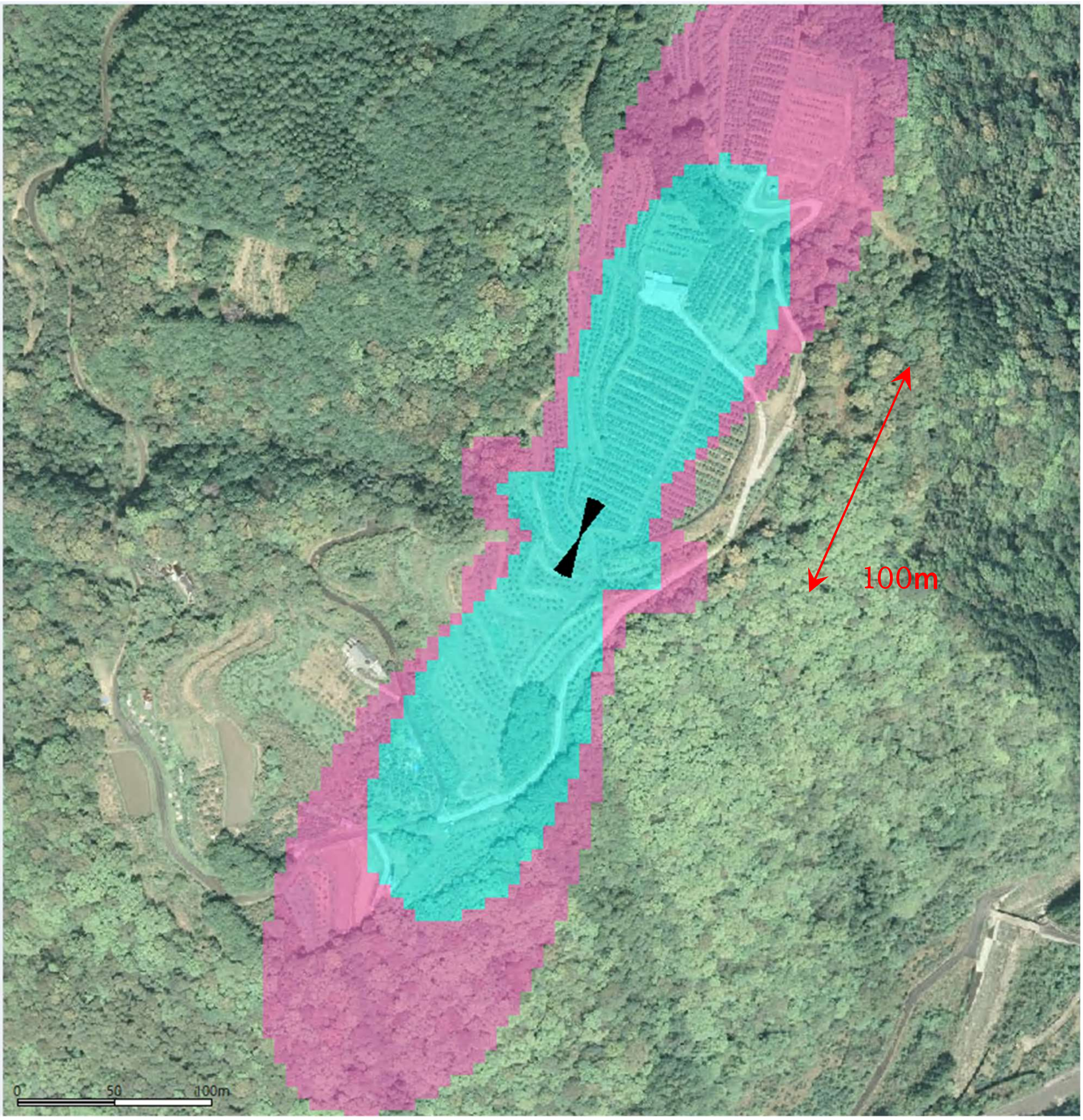


図 3.3.2.5-2 平坦地側の DAS チルトを上げたときのシミュレーション結果

出典：地理院地図を加工して作成

次に図 3.3.2.5-3 にエリア算出法から求めた比較図を示す。点線で示すカバーエリア端および調整対象区域端は、平坦地側の DAS のチルト角を急斜面側のチルト角と同一にした構成となる（チルト角 18.5°）。実線で示すカバーエリア端および調整区域端が平坦地側の DAS チルト角を 18.5°から-0.66°上げた構成となる。図中の黄色エリアは DAS を上に向けたことによるエリアの広がりを示す。ここでのエリアの柔軟化比較では急傾斜側に DAS のチルト角を同一にしているため、柔軟化前後の比較としては平坦地エリアを対象とする。図 3.3.2.5-4 に平坦地側の測定地点図を示す。テーマⅠでは基地局から受信間までの距離を 100m 以上確保できることが精緻化の要件として定められていたが、DAS の柔軟化で

は、圃場内における測定サンプル数を増やし、より改善効果の妥当性を示すために基地局から受信間距離が 100m 以内の地点についても測定を行うこととした。

図 3.3.2.5-3 に柔軟化の比較対象地点について示す。

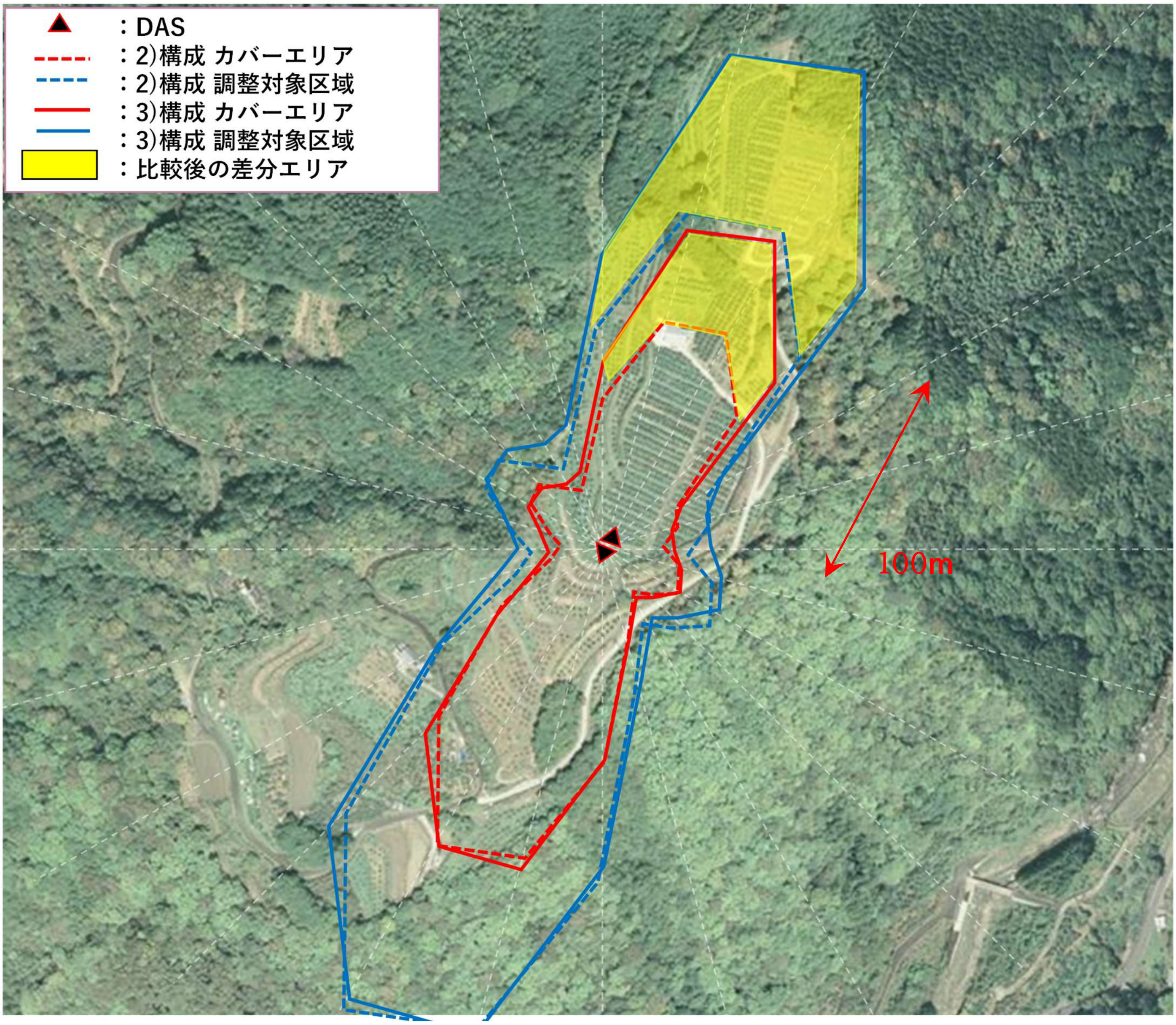


図 3.3.2.5-3 エリア算出式での DAS の柔軟化比較
出典：地理院地図を加工して作成

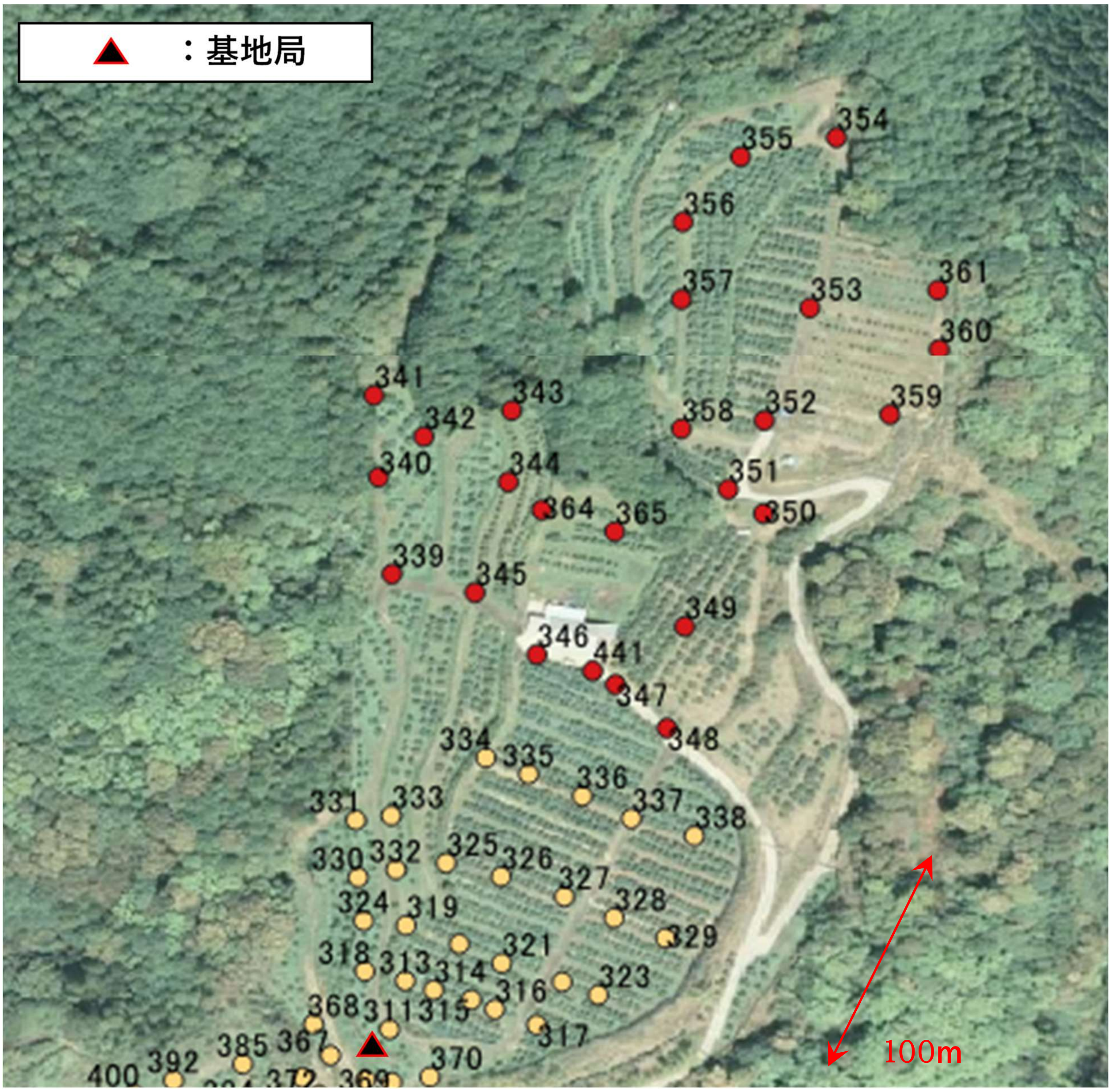


図 3.3.2.5-4 測定地点
出典：地理院地図を加工して作成

表 3.3.2.5-1 下り受信電力の取りまとめ

測定点 ID	基地局からの 3D 距離（m）	DAS あり SS-RSRP（dBm）	DAS なし SS-RSRP（dBm）	差分	LOS/NLOS（0:LOS 1:NLOS）
311	7.9	-81.0	-75.6	-5.4	0
313	16.4	-85.5	-79.1	-6.4	1
314	17.4	-92.1	-88.5	-3.6	1

測定点 ID	基地局からの3D 距離（m）	DAS あり SS-RSRP（dBm）	DAS なし SS-RSRP（dBm）	差分	LOS/NLOS（0:LOS 1:NLOS）
315	23.5	-94.8	-96.8	2.0	1
316	28.2	-105.5	-106.8	1.3	1
317	38.1	-109.1	-108.5	-0.6	1
318	20.5	-93.4	-87.6	-5.8	0
319	32.0	-89.5	-94.7	5.2	1
320	31.6	-84.5	-87.1	2.6	1
321	35.1	-97.7	-110.1	12.4	1
322	46.5	-111.1	-112.8	1.7	1
323	54.5	-117.1	-121.4	4.3	1
324	34.6	-107.8	-90.4	-17.4	1
325	52.0	-86.8	-102.8	16.0	1
326	53.9	-100.1	-105.2	5.1	1
327	59.7	-106.5	-102.3	-4.2	1
328	66.2	-120.1	-116.7	-3.4	1
329	75.5	-124.4	-125.2	0.7	1
330	47.2	-97.9	-91.1	-6.8	1
331	64.0	-103.0	-99.7	-3.3	1
332	48.4	-94.4	-94.8	0.4	1
333	64.4	-100.6	-109.2	8.6	1
334	85.1	-92.4	-99.2	6.8	1
335	84.4	-103.6	-108.6	5.0	1
336	85.4	-104.3	-109.6	5.3	1
337	88.0	-100.7	-97.4	-3.3	1
338	96.6	-115.9	-120.4	4.5	1
339	136.9	-104.1	-111.8	7.7	1
340	166.2	-104.7	-105.5	0.8	1
341	190.8	-109.5	-112.3	2.8	1
342	178.5	-115.1	-117.6	2.5	1
343	188.6	-105.2	-111.4	6.2	1
344	167.3	-105.9	-111.6	5.7	1
345	133.0	-95.0	-106.6	11.6	1

測定点 ID	基地局からの3D 距離（m）	DAS あり SS-RSRP（dBm）	DAS なし SS-RSRP（dBm）	差分	LOS/NLOS（0:LOS 1:NLOS）
346	118.5	-101.5	-108.5	7.0	1
347	118.2	-100.0	-105.7	5.7	1
348	114.4	-105.4	-114.0	8.6	1
349	142.0	-101.0	-103.0	2.0	1
350	181.5	-103.3	-96.7	-6.6	1
351	183.4	-109.1	-101.9	-7.2	1
352	206.1	-103.1	-105.2	2.1	1
353	244.1	-123.3	-123.6	0.3	1
354	293.6	-121.0	-128.8	7.8	1
355	279.7	-126.6			1
356	256.5	-114.1	-120.1	6.0	1
357	234.2	-109.5	-121.1	11.6	1
358	195.0	-103.8	-109.7	5.9	1
359	223.9	-110.9	-115.7	4.8	1
360	249.4	-118.1	-119.7	1.6	1
361	264.2	-119.0	-123.0	4.0	1
364	160.8	-103.9	-105.4	1.5	1
365	160.0	-105.7	-112.3	6.6	1
441	119.2	-105.7	-115.4	9.7	1

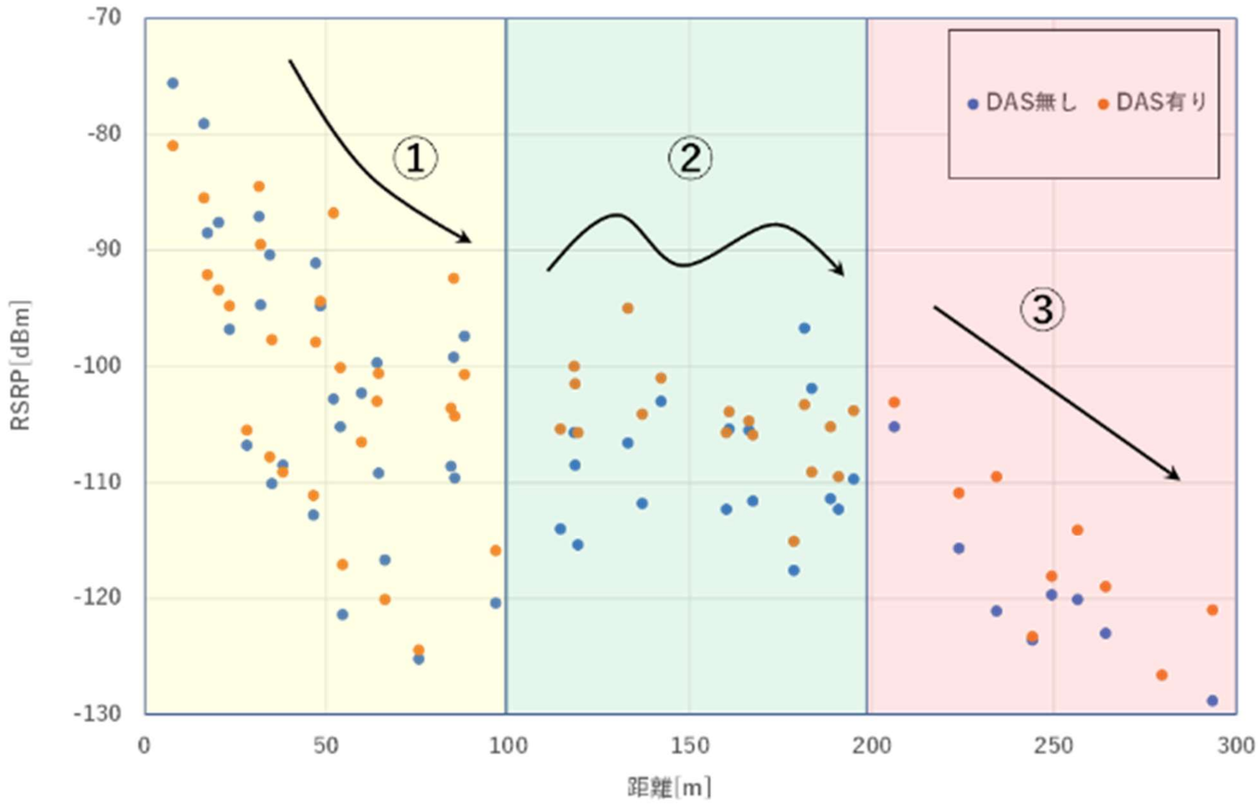


図 3.3.2.5-5　DAS 柔軟化前後の受信電力結果

図 3.3.2.5-5 に DAS 柔軟化前後の受信電力比較結果を示す。図中の黄色が基地局から 100m 以内の測定エリアでの測定結果を示し、緑色が基地局から 100-200m 以内のエリアを示し、赤色が基地局から 200m 以上から 300m 以内のエリアを示している。測定結果として、DAS 設置前後で大きく 3 つの傾向が確認することができる。

① 基地局から 100m 以内のエリア：急降下に受信電力レベルが変動する。
図 3.3.2.5-6 に 100m 以内のエリアを示す。100m 以内の圃場エリアでは DAS からの指向方向に対して、(1)のように垂直方向にゆずの樹の密集率が高く、DAS からの電波の遮蔽影響が大きくなったと考えられる。

② 基地局から 100-200m 以内のエリア：昇降傾向に受信レベルが変動する。
測定点 346-348 では、収穫後の運用トラックが出入りするための道路により、DAS からの受信電力が上がったと考えられる。また、DAS の指向方向に対して(2)のように並行にゆずの樹が植生されていることから遮蔽影響が小さくなったと考えられる。

③ 基地局から 200-300m 以内のエリア：降下傾向に受信電力が下がる。
① に比べ、なだらかに受信電力が下がる傾向が確認できる。

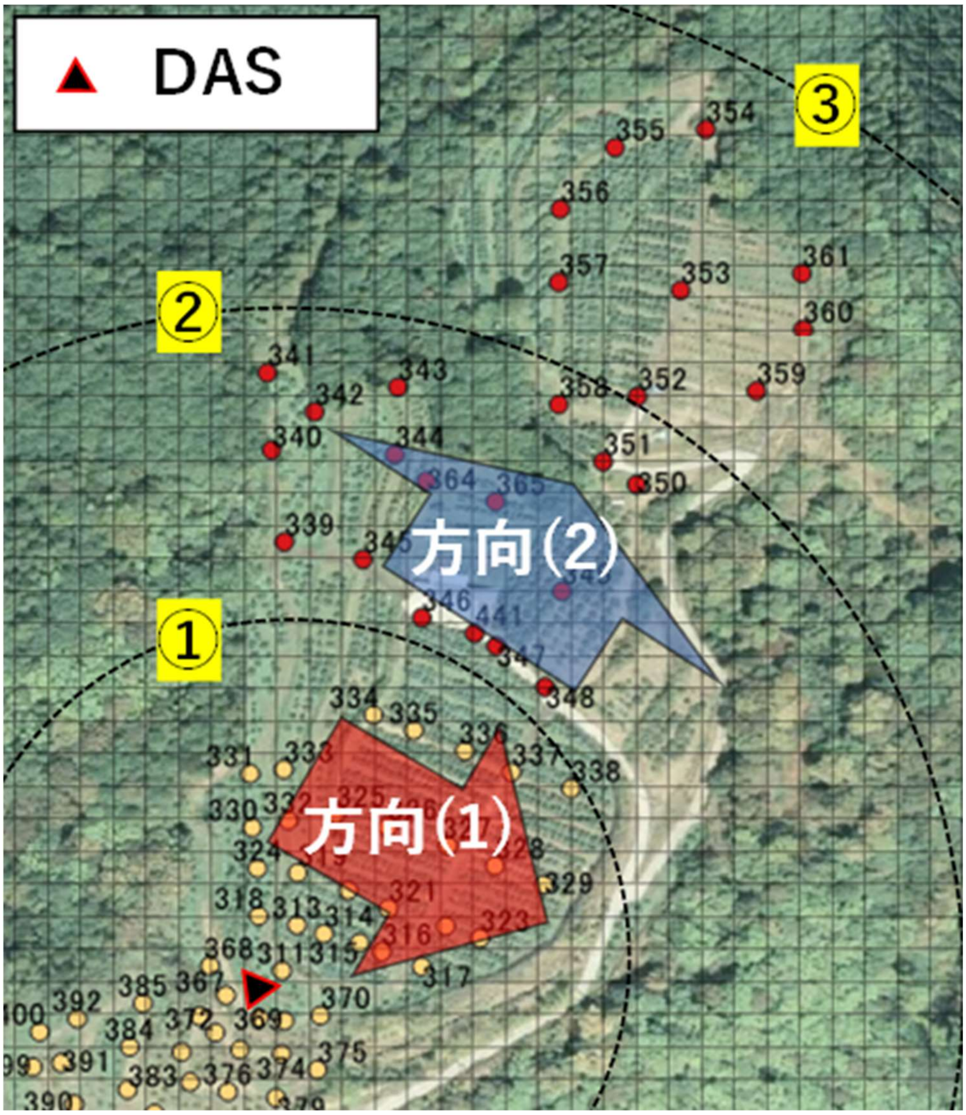


図 3.3.2.5-6　100m 毎の測定エリア
出典：地理院地図を加工して作成

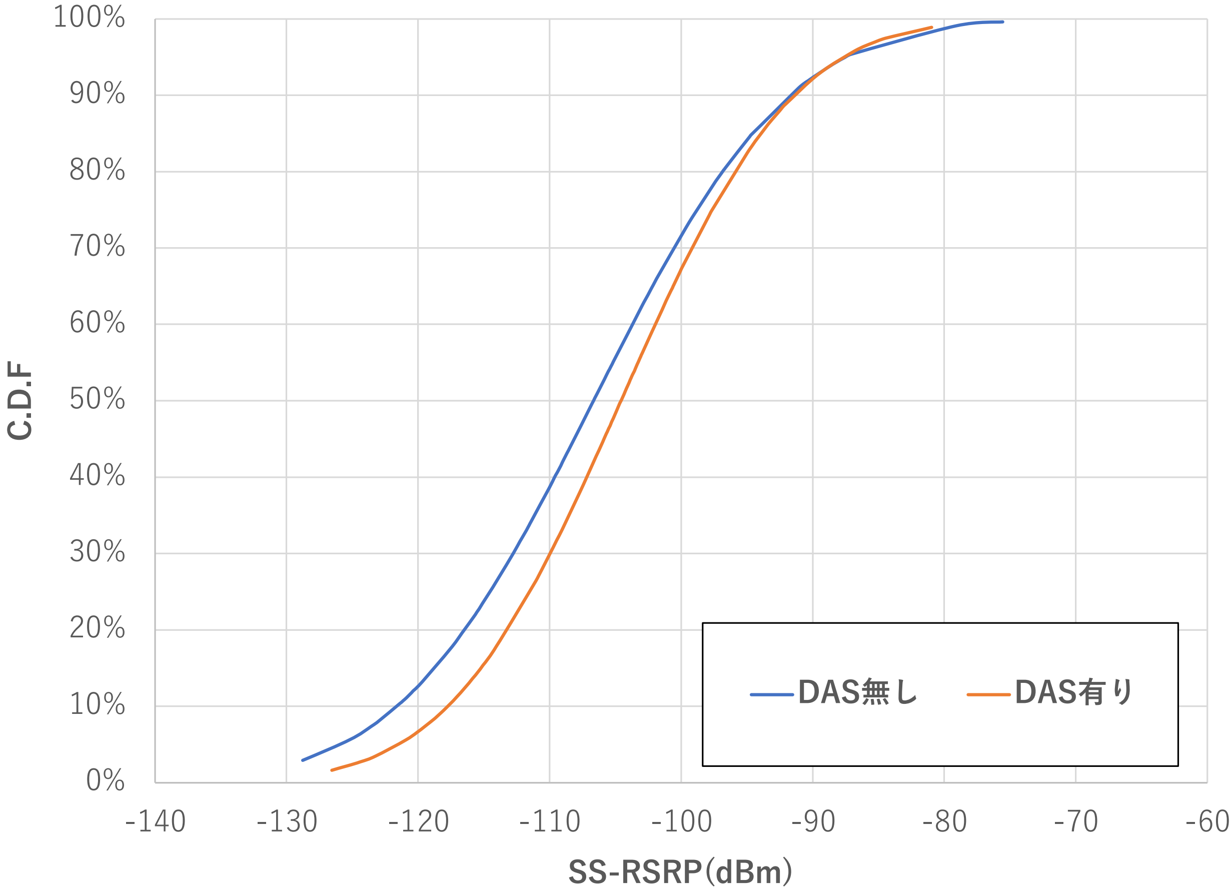


図 3.3.2.5-7 受信電力累積分布

図 3.3.2.5-7 に DAS 有無の受信電力レベルについての累積分布グラフを示す。図中から DAS 無しでは 86%、DAS 有りでは 94%以上でカバー対象区域対端レベルである-119.8dBm 以上を上回ることが確認できた。受信電力が-90dBm 以上となるエリアは DAS 有りに比べ、DAS 無しの方が高い傾向となった。

リンクバジェットの算出

通信システムの送信側と受信側の損失要因として今回の実証環境として、ゆずの樹による遮蔽損失が考えられる。ゆずの樹の植生として常緑樹であり、四季による落葉はないが果実による収穫時期があるため、今回のリンクバジェットの算出として斜面、果実の有無による影響は考慮しないこととする。図 3.3.2.5-8 にゆずの樹の写真を示す。

図 3.3.2.5-8　圃場内のゆずの樹

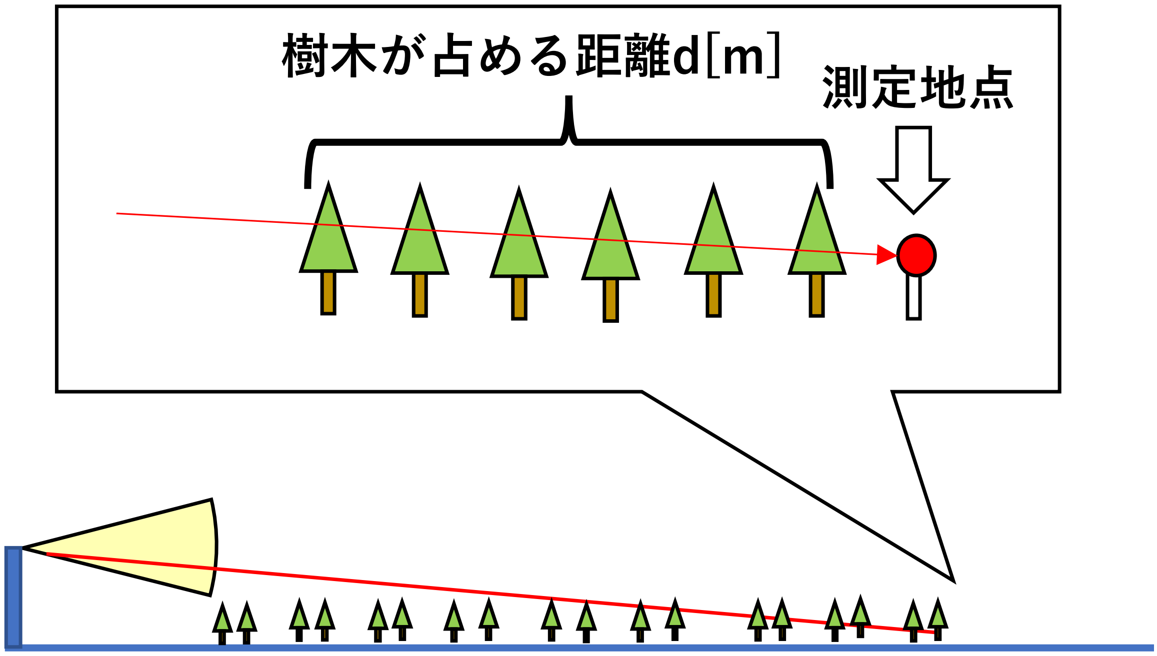


図 3.3.2.5-9　ゆずの樹による遮蔽イメージ

図 3.3.2.5-9 にゆずの樹木による遮蔽のイメージ図を示す。リンクバジェットの算出方法として、平坦地側の圃場はゆず以外の建物などの遮蔽物が少ないためゆずの樹木を除く場合、概ね自由空間であると

想定される。ゆずの樹による遮蔽損失を以下の手順で導出した。

① 11 地点の実測値から自由空間損失との差分からゆずの樹木損失を導出する。

② 導出した受信電力から送信アンテナから受信アンテナ間のゆずの樹の本数を想定することで、ゆずの樹一本あたりの損失を導く。

③ ②で導出した結果を平均化することで一本あたりのゆずの樹に対する値を仮説値とする。

④ 実測値との比較を行い、ゆず圃場のリンクバジェットを提案する。

※実証環境においてゆずの樹により、大きさが異なるが今回の計算では一本あたりのゆずの樹の幅を2. 5mとした。

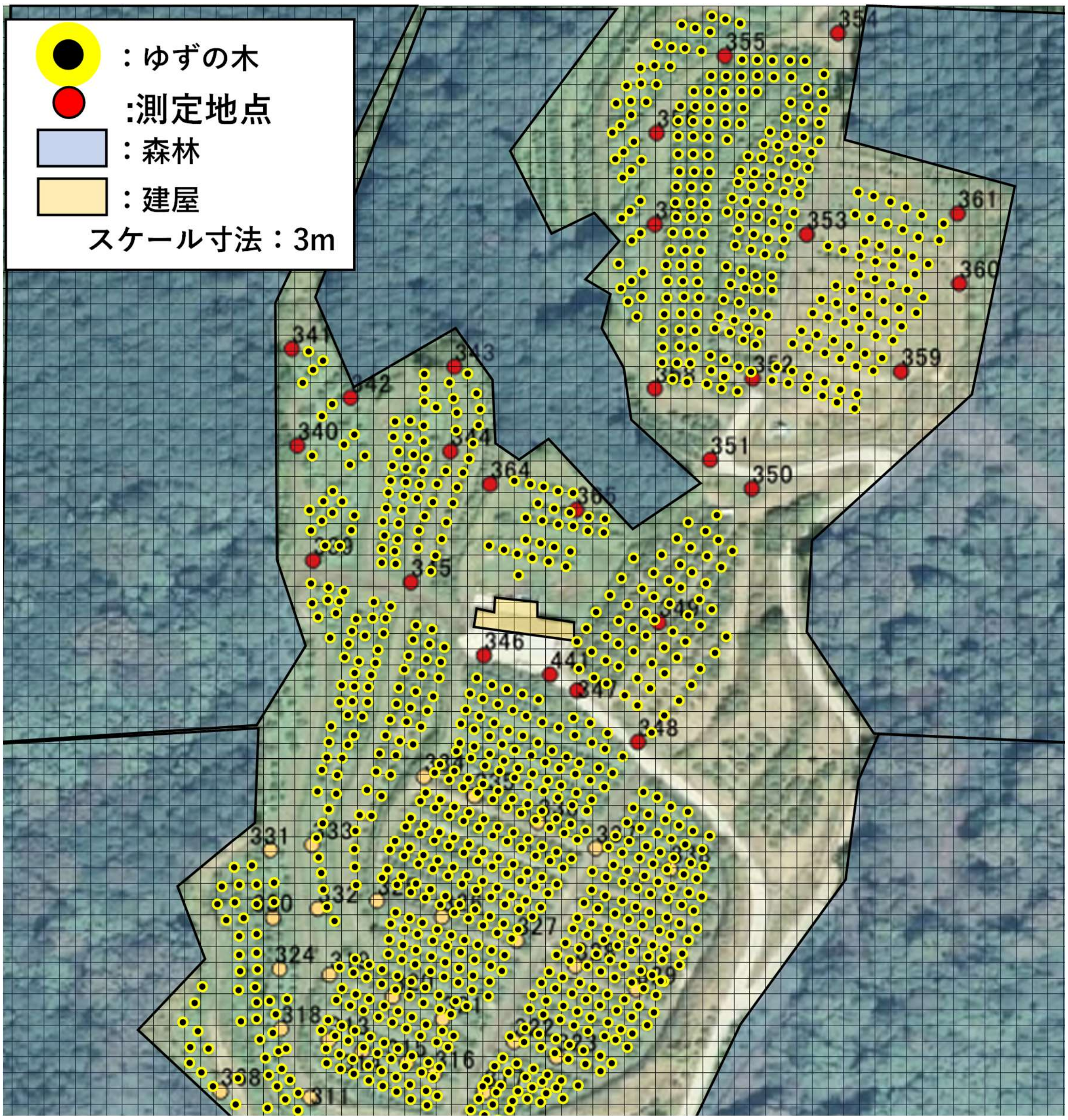


図 3.3.2.5-10 平坦地側のゆずの樹の植生位置

出典：地理院地図を加工して作成

図 3.3.2.5-10 に平坦地側のゆずの樹の植生位置を示す。測定地点の選定として、送信アンテナと受

信アンテナの距離が 100m 以上確保でき、ゆず以外の遮蔽となる建屋、森林がない地点を選定した。図3.3.2.5-11 に選定地点を示す。表 3.3.2.5-2 に実測結果と自由空間損失との比較結果を示す。

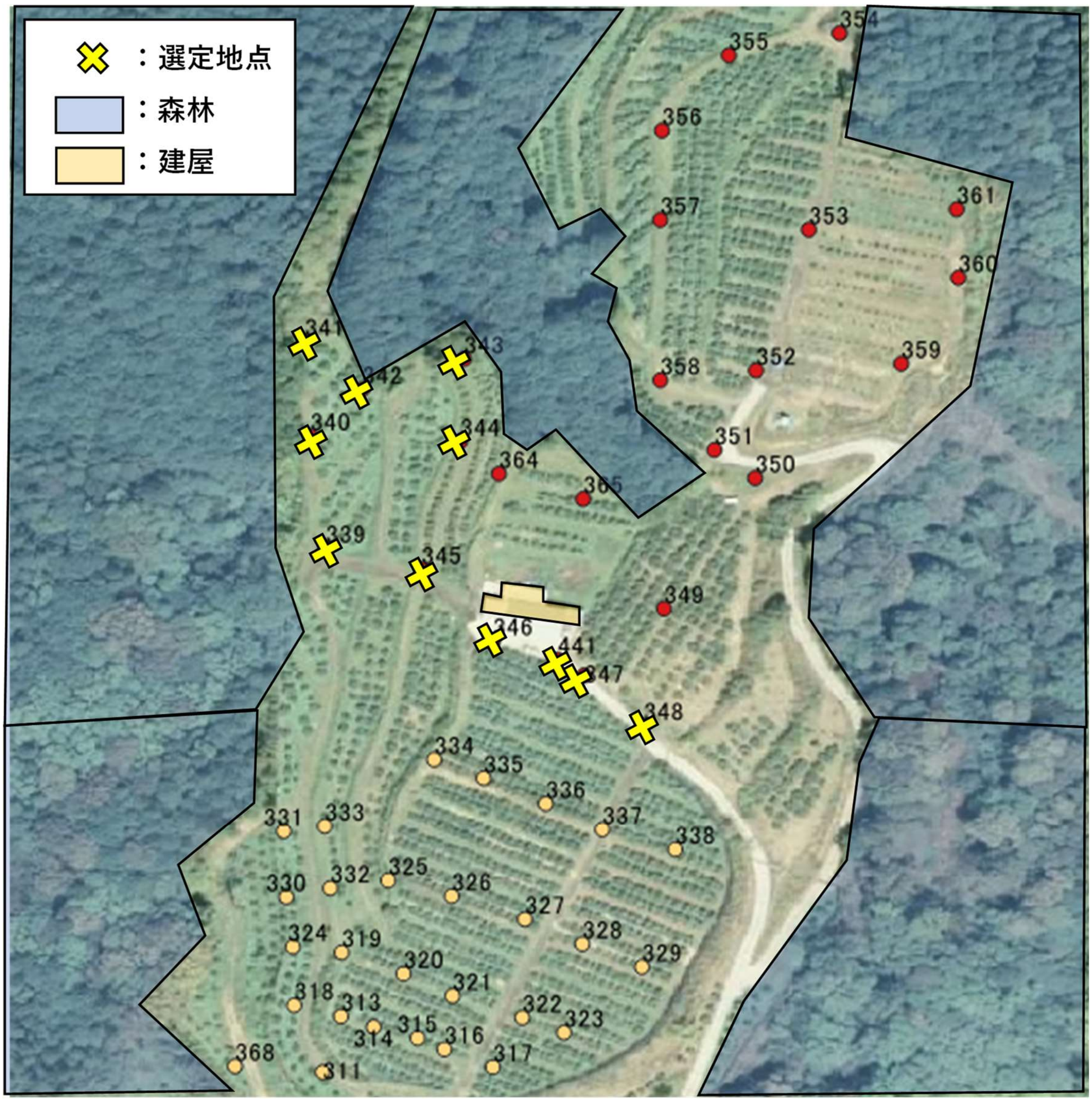


図 3.3.2.5-11 選定地点

出典：地理院地図を加工して作成

表 3.3.2.5-2 実測結果と自由空間損失との比較

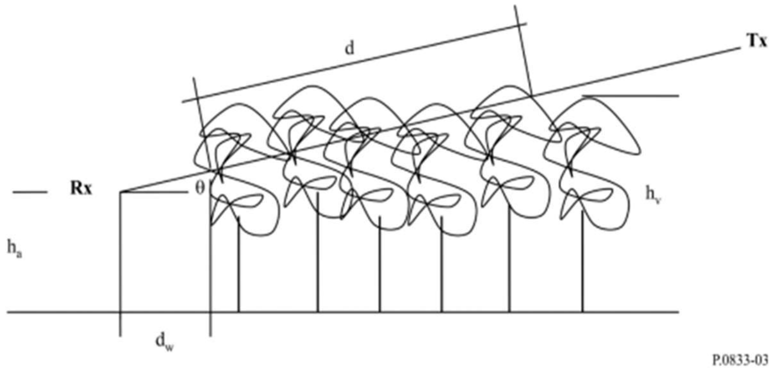
測定地点ID	基地局からの距離 [m]	実測値 [dBm]	自由空間損失 [dB]	差分 [dB]	距離d [m]
339	136.90	-104.06	-88.84	15.22	20
340	166.19	-104.66	-90.53	14.13	12.5
341	190.79	-109.46	-91.73	17.73	17.5

測定地点ID	基地局からの距離 [m]	実測値 [dBm]	自由空間損失 [dB]	差分 [dB]	距離d [m]
342	178.51	-115.06	-91.15	23.91	20
343	188.60	-105.16	-91.63	13.54	22.5
344	167.27	-105.86	-90.58	15.28	20
345	132.95	-94.96	-88.59	6.37	10
346	118.47	-101.46	-87.59	13.87	25
441	119.21	-105.66	-87.64	18.02	32.5
347	118.19	-99.96	-87.57	12.39	30
348	114.43	-105.36	-87.29	18.08	35

ITU-R P.833-10 では樹木の影響による損失の算出式が述べられている。図 3.3.2.5-12 に ITU-R P.833-10 を示す。図中の計算式(3)から3種類の Tree type（Austria pine、Japan cedar、Kenya Juniperus)の係数を代入することで、Tx から Rx までの距離に対する損失を導くことができる。図 3.3.2.5-13 に実測から算出したゆずの樹の損失と Austria pine、Japan cedar、Kenya juniperus の比較結果を示す。比較結果からゆずの樹の損失と Austria pine が非常に近似していることが確認できる。

In Fig. 3, Transmitter (Tx) and Receiver (Rx) are outside the woodland. The relevant parameters are:

– vegetation path length, d;
– average tree height, h_v;
– height of the Rx antenna over ground, h_a;
– radio path elevation, θ;
– distance of the antenna to the roadside woodland, d_w.



To describe the attenuation loss, L along both, horizontal and slant foliage path propagation, the following model is proposed:

$$L(\text{dB}) = A\, f^{B}\, d^{C} (\theta + E)^{G} \tag{3}$$

where:

f: frequency (MHz)
d: vegetation depth (m)
θ: elevation (degrees)
A, B, C, E, and G: empirical found parameters.

A fit to measurements made in pine woodland in Austria gave:

$$L(\text{dB}) = 0.25\, f^{0.39}\, d^{0.25}\, \theta^{0.05} \tag{4}$$

Tree type	A	B	C	E	G
Austria pine	0.25	0.39	0.25	0	0.05

Tree type	A	E	G
Japan cedar	1.87	0.01	−0.12
Kenya juniperus	1.5	0.01	−0.12

図 3.3.2.5-12　ITU-R P.833-10

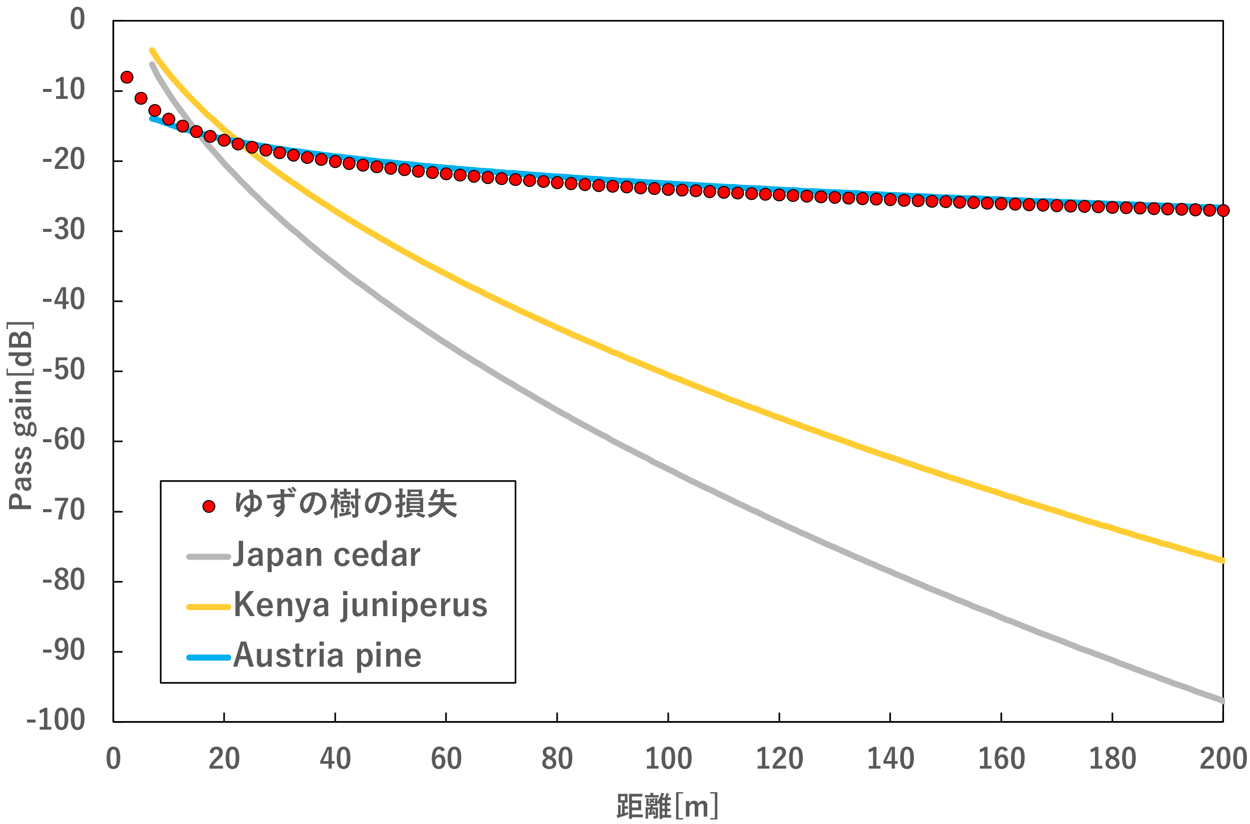


図 3.3.2.5-13 実測から算出したゆずの樹の損失との比較結果

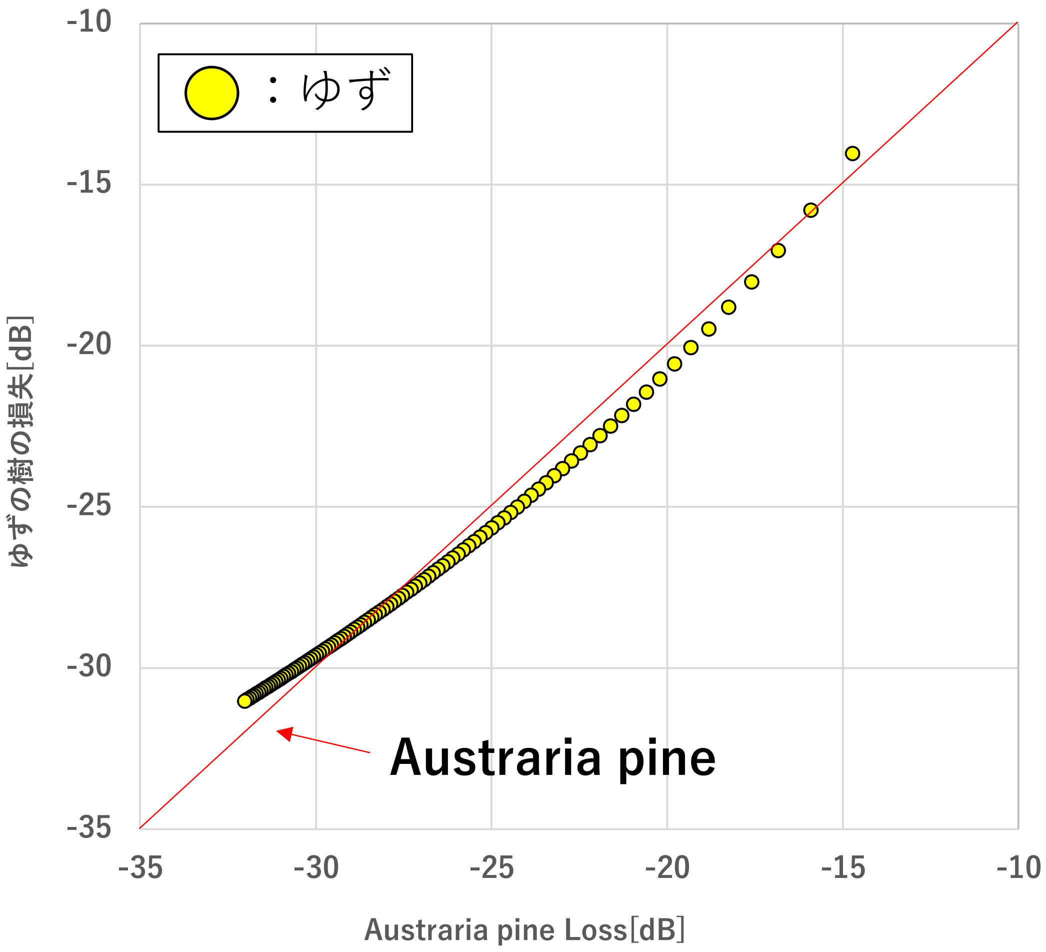


図 3.3.2.5-14　Australia pine とゆずの樹の比較分散図

図 3.3.2.5-14 に Austria pine とゆずの樹の比較分散図を示す。結果からゆずの樹の損失と Austria pine のロスは非常に近似傾向であることが確認できたため、ゆずの樹の損失式は Austria pine 相当と想定される。よって、ゆずの樹のリンクバジェット式は以下であると考えられる。

$$P_r = P_t + G_t - L_f + G_r - L$$

Pr[dBm]：受信レベル（受信電力）
Pt[dB]：送信電力（基地局の空中線電力）
Gt[dBi]：送信アンテナ利得
Lf[dB]：基地局の給電線損失
Gr[dBi]：受信アンテナ利得
L[dB]：伝搬損失 ITU 式

2） ローカル 5G を用いたソリューションの所要性能についての分析

実証環境におけるカバーエリア端において、課題実証で要求される性能を満たしているか評価を行うため、表 3.3.2.5-4 のように各測定地点における伝送スループット、遅延時間を取りまとめる。加えて、図 3.3.2.5-15 のように下り受信電力/品質における伝送スループット/遅延時間の変動について分析を行い、ローカル 5G エリアを構築する上で所要性能を満足するために必要な送信電力等の考察を行うことを想定している。表 3.3.2.5-3 に課題実証で要求される所要性能を示す。図 3.3.2.5-15 に DAS 有無についての伝送スループット(DL)の比較を示す。図 3.3.2-5-16 に伝送スループット(UL)の比較を示す。

表 3.3.2.5-3 課題実証で要求される所要性能：再掲

検証内容	必要スループット	最大許容遅延
モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション	UpLink:36Mbps	400ms
バーチャル圃場訪問	ホスト:UpLink:10Mbs	-
遠隔指導システム	UpLink:2.5Mbps DownLink:2.5Mbps ※2.5Mbps×5 台=12.5Mbps	-

表 3.3.2.5-4 伝送スループット、遅延時間の取りまとめ(改善前)

測定点 ID	伝送 DL[Mbps] DAS 有/DAS 無		伝送 UL [Mbps] DAS 有/DAS 無		遅延時間[ms] DAS 有/DAS 無	
311	672.5	731	102	114	17.843	21.785
313	658.5	810.5	82.35	108.5	21.749	21.831
314	605.5	646.5	32.55	76.65	18.569	19.111
315	12.2	202	5.815	2.12	17.031	15.013
316	6.98	9.395	3.11	1.45	17.478	17
317	6.235	42.05		6.63	18.949	20.706
318	382.5	483	19.55	41.95	17.972	22.146
319	610.5	411	43.15	12.85	18.058	22.224
320	3.825	763.5	61.95	56.6	23.338	21.002
321	4.945	13.7		4.15	20.504	19.778
322		14.45		2.97	20.827	21.173
323						
324	310.5	33.9	9.155	3.13	20.594	21.558

測定点 ID	伝送 DL[Mbps] DAS 有/DAS 無		伝送 UL [Mbps] DAS 有/DAS 無		遅延時間[ms] DAS 有/DAS 無	
325	334.5	4.49	36.3	9.635	20.224	22.041
326	0.16	158	5.72	6.845	21.019	16.622
327	15.15	9.215	6.405	2.68	22.213	18.653
328						7445.184
329						
330	356.5	424.5	10.8	9.495	20.247	19.193
331	351.5	370	5.285	1.48	14.666	18.735
332	258	232	5.125	5.75	22.926	21.31
333	75.5	32.45	2.78	6.55	18.286	21.496
334	398	360	30.4	7.41	16.966	18.905
335	3.54				19.214	19.438
336	3.98				18.451	18.546
337	349	272	28.75	8.22	19.37	20.436
338					124.6	
339	219		7.1		24	19.8
340	12.25	60	1.38	3	26	17.959
341	8.615		0.935		30	18.319
342	38.55		1.37		25	20.381
343	93.75		4.14		25	18.15
344	11.45		0.845		25	19.102
345	477	200	26.2	12	25	18.664
346	204.5	100	10.7	0.1	20	20.553
347	8.635	627	1.835	6	20	22.097
348	173	100	5.6	1	25	20.089
349	182.5	15	5.64		20	21.124
350	328.5	270	13.9	20	21	18.342
351	377	270	9.98	12	25	21.639
352	424.5		18.65		20	19.682

測定点 ID	伝送 DL[Mbps] DAS 有/DAS 無		伝送 UL [Mbps] DAS 有/DAS 無		遅延時間[ms] DAS 有/DAS 無	
353						
354						
355						
356					40	
357	7.855				300	20.081
358	4.125		1.295		30	17.212
359	8.94				40	21.571
360						
361						
364	93.5	23	2.895	2	17	17.935
365	1.09	8			30	18.631
441	254.5	200	2.765	7	20	20.561

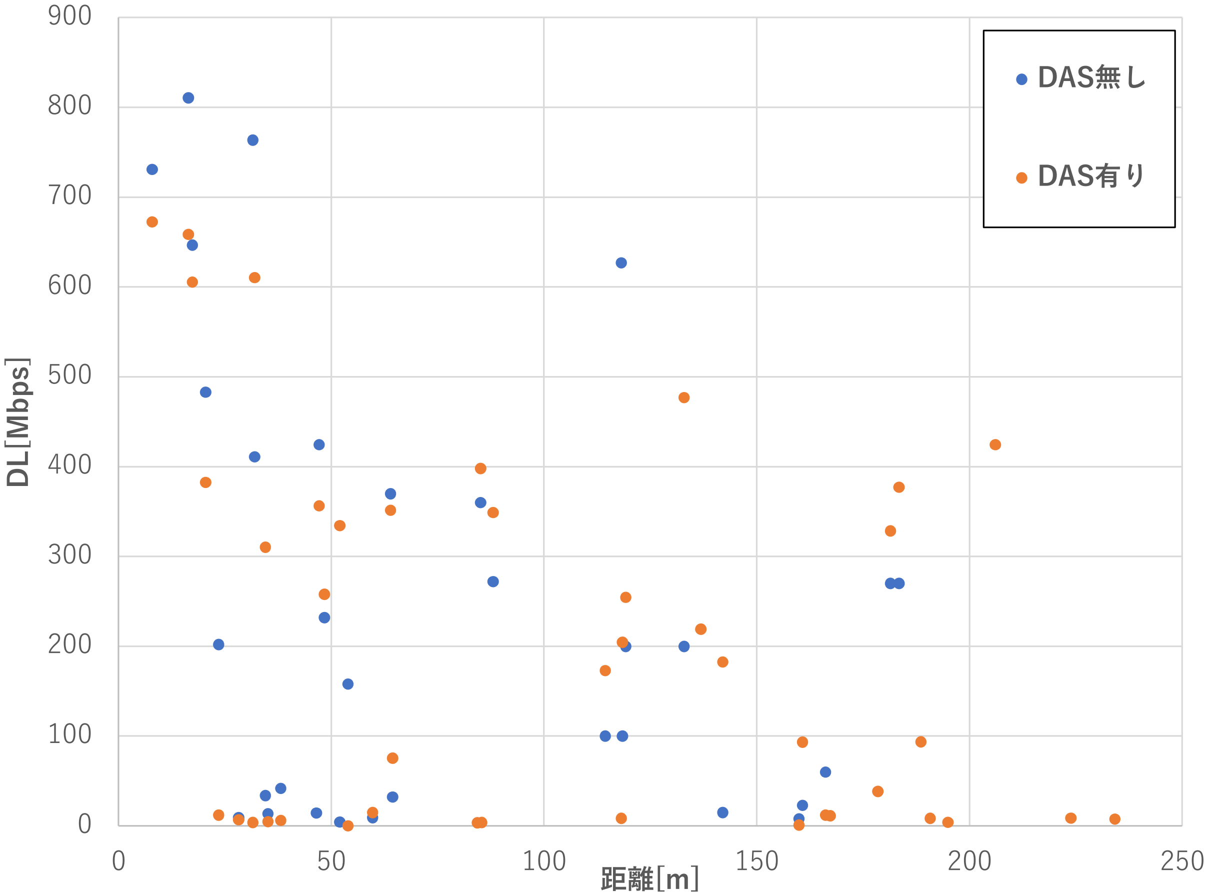


図 3.3.2.5-15　DAS 有無による伝送スループット(DL)の比較

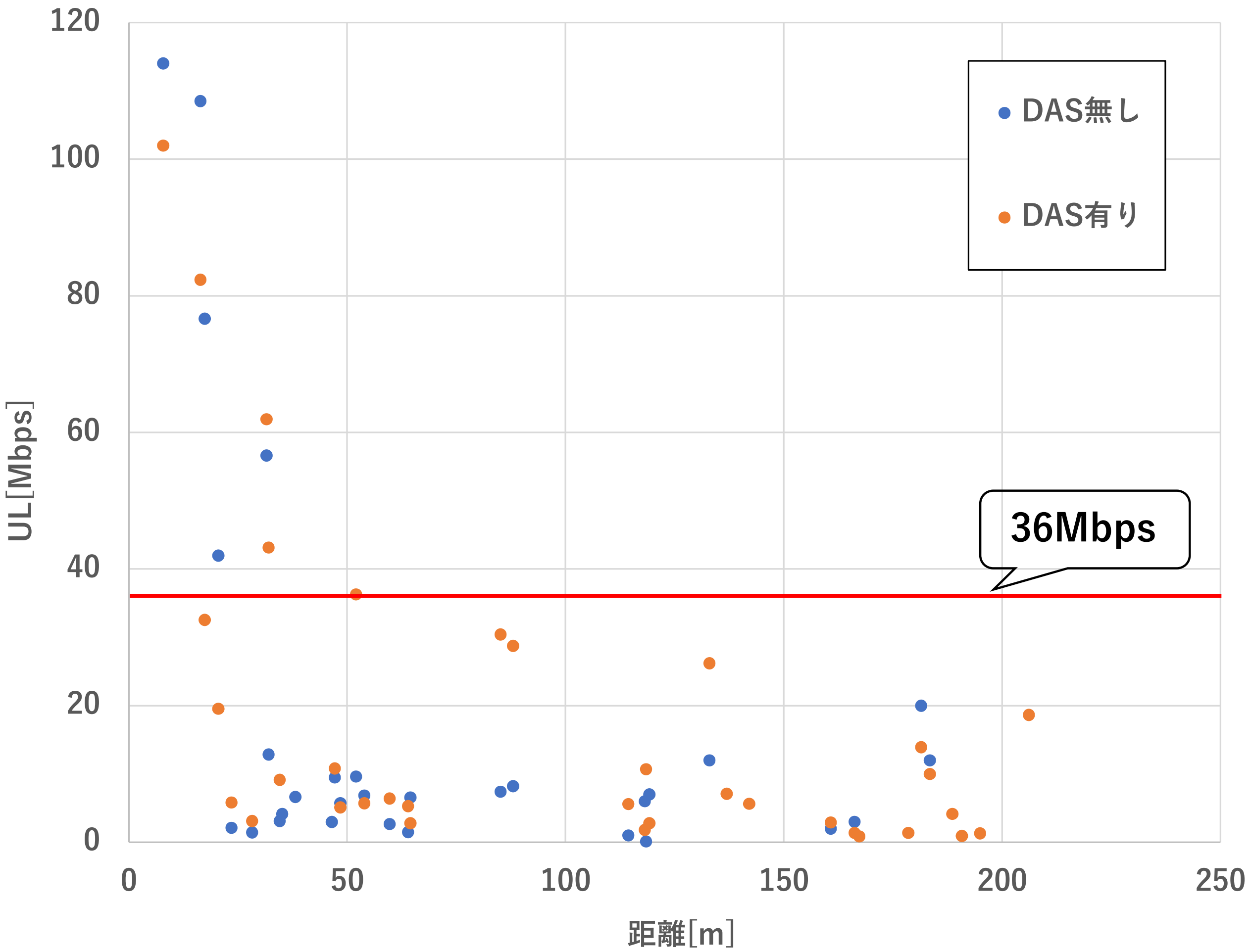


図 3.3.2.5-16　DAS 有無による伝送スループット(UL)の比較

図 3.3.2.5-16 の結果から伝送スループット DL では基地局が 75m 以内の場合、DAS 無し構成の方が高い傾向となり、100m 以上のエリアでは DAS 有り構成の方が高い傾向となった。180m 以上のエリアでは、DAS 無しの構成は圏外となったが、DAS 有りの構成では通信を行うことができた。伝送スループット UL では検証内容ではモバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションの所望要求である 36Mbps 以上を満たすエリアが DAS 無しでは、30m 以下となったが、DAS 有りの構成では 50m 以上の測定地点で 36Mbps 以上になることが確認できた。

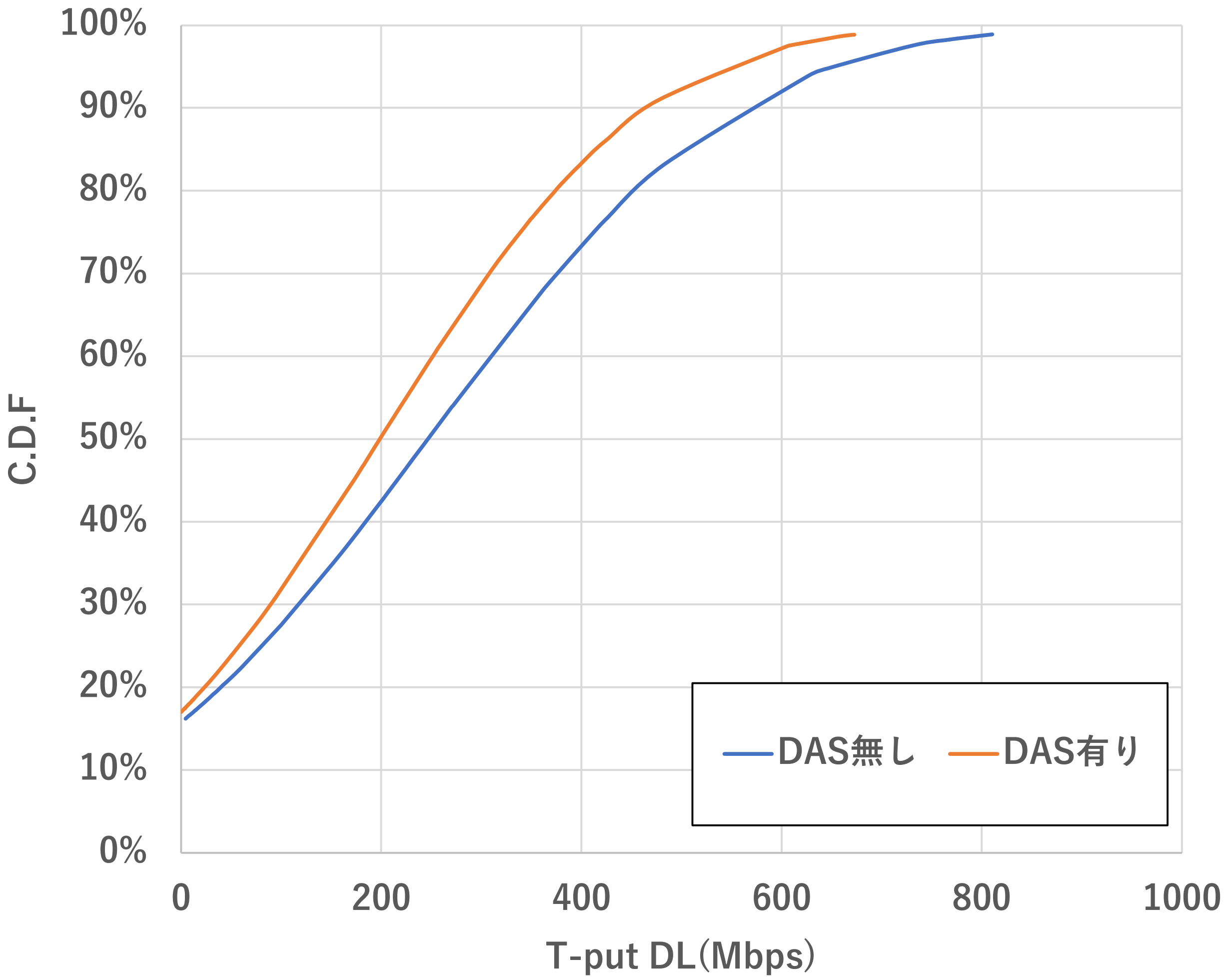


図 3.3.2.5-17 伝送スループット DL の累積度数分布

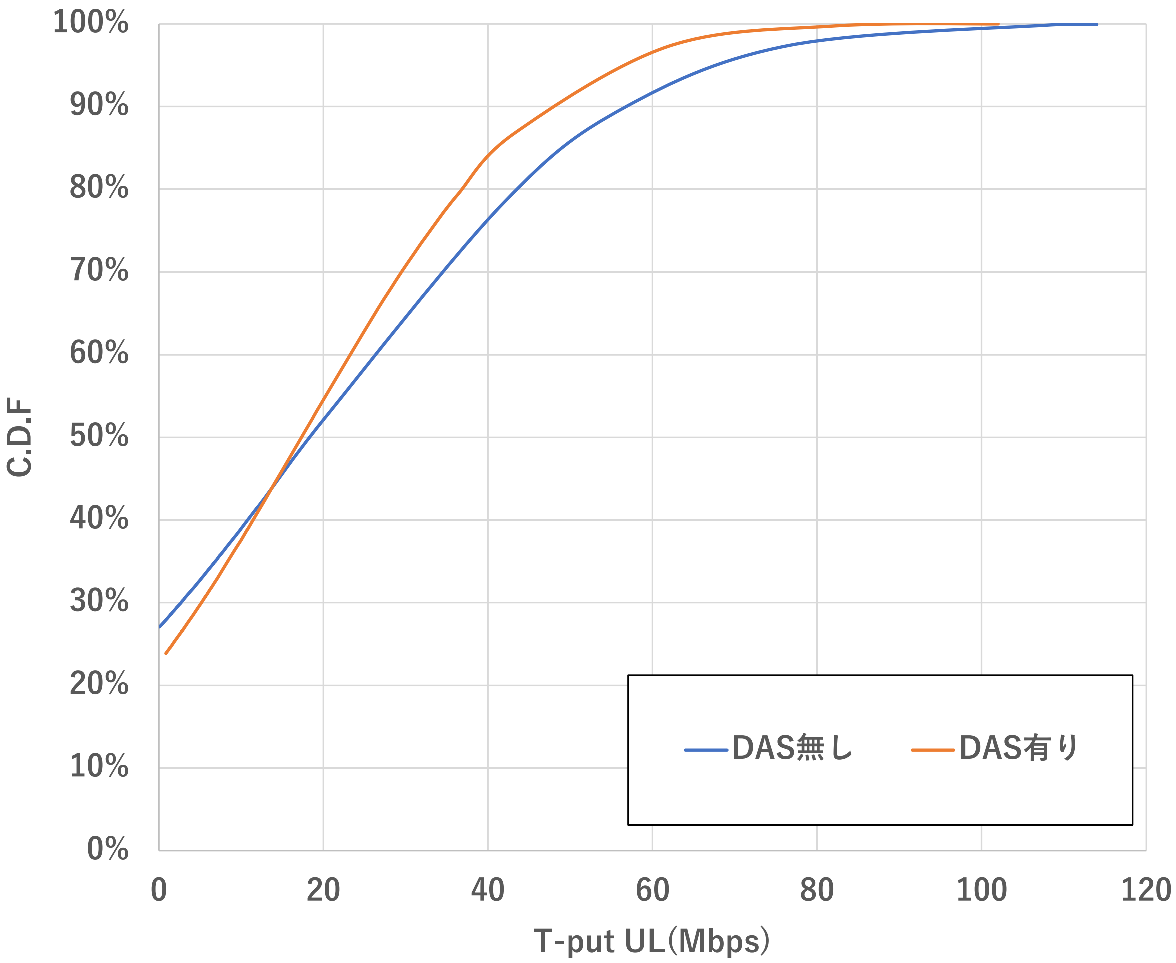


図 3.3.2.5-18 伝送スループット UL の累積度数分布

図 3.3.2.5-17 の結果から DAS 有りの方が無しに比べ、DL の上り率が高いことが確認できる。DAS 有りの最大 UL 値が約 640Mbps に対し、DAS 無の最大が 800Mbps 以上の値を確認できることからチルト角を 18.5°(DAS 無し)から-0.66°(DAS 有り)に変更したことで DAS からの最大放射方向によりエリアの広がりを確認できる。

図 3.3.2.5-18 に DAS 有無による伝送スループット UL の累積度数分布を示す。図中の結果から UL が 18Mbps を上回る場合は DAS 有りの構成の方が高いことがわかる。今回の所望値である 36Mbps を上回る確率が高いのは DAS 有りの構成であることが確認できる。

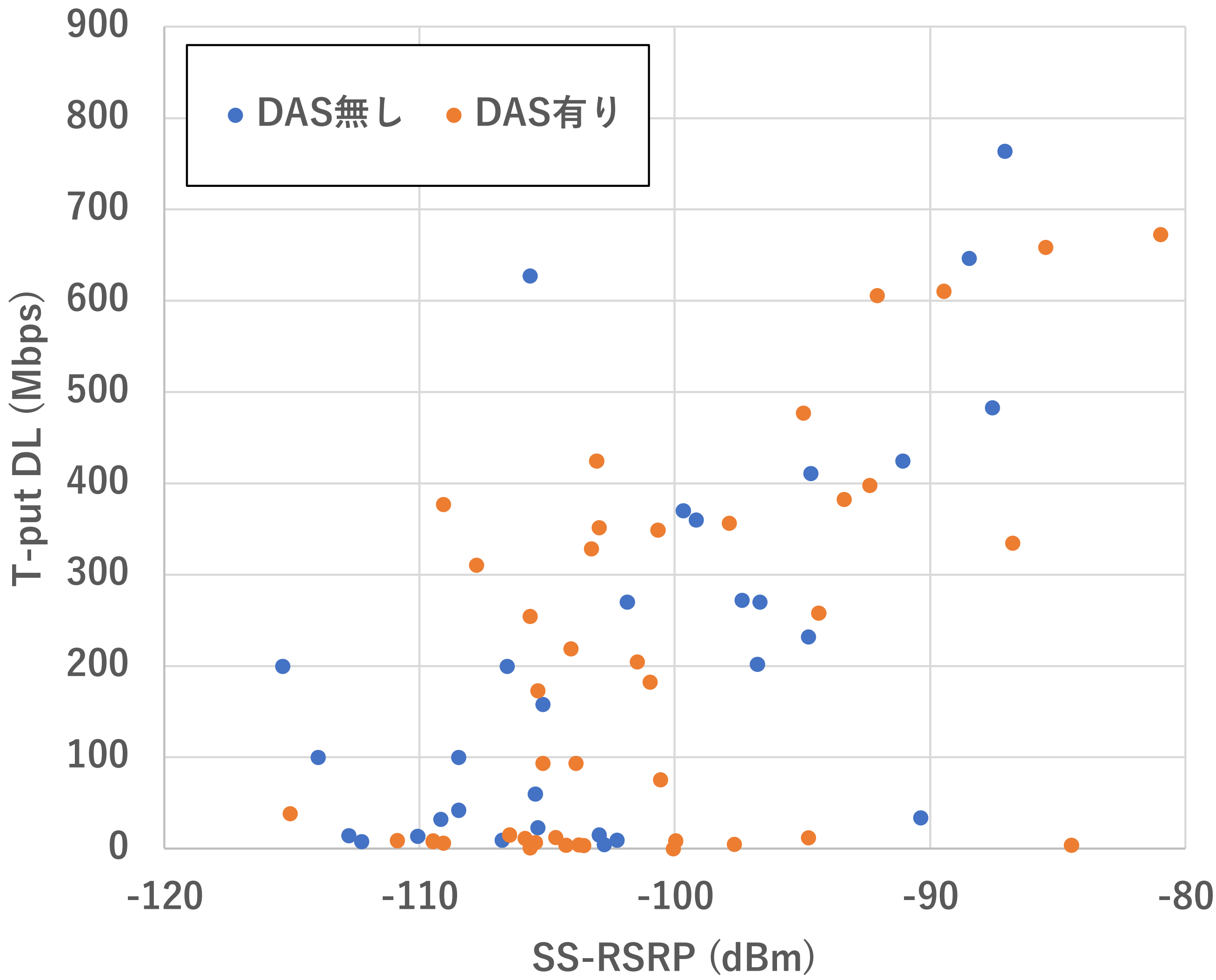


図 3.3.2.5-19　受信電力(RSRP)　対　伝送性能(DL 伝送スループット)の比較

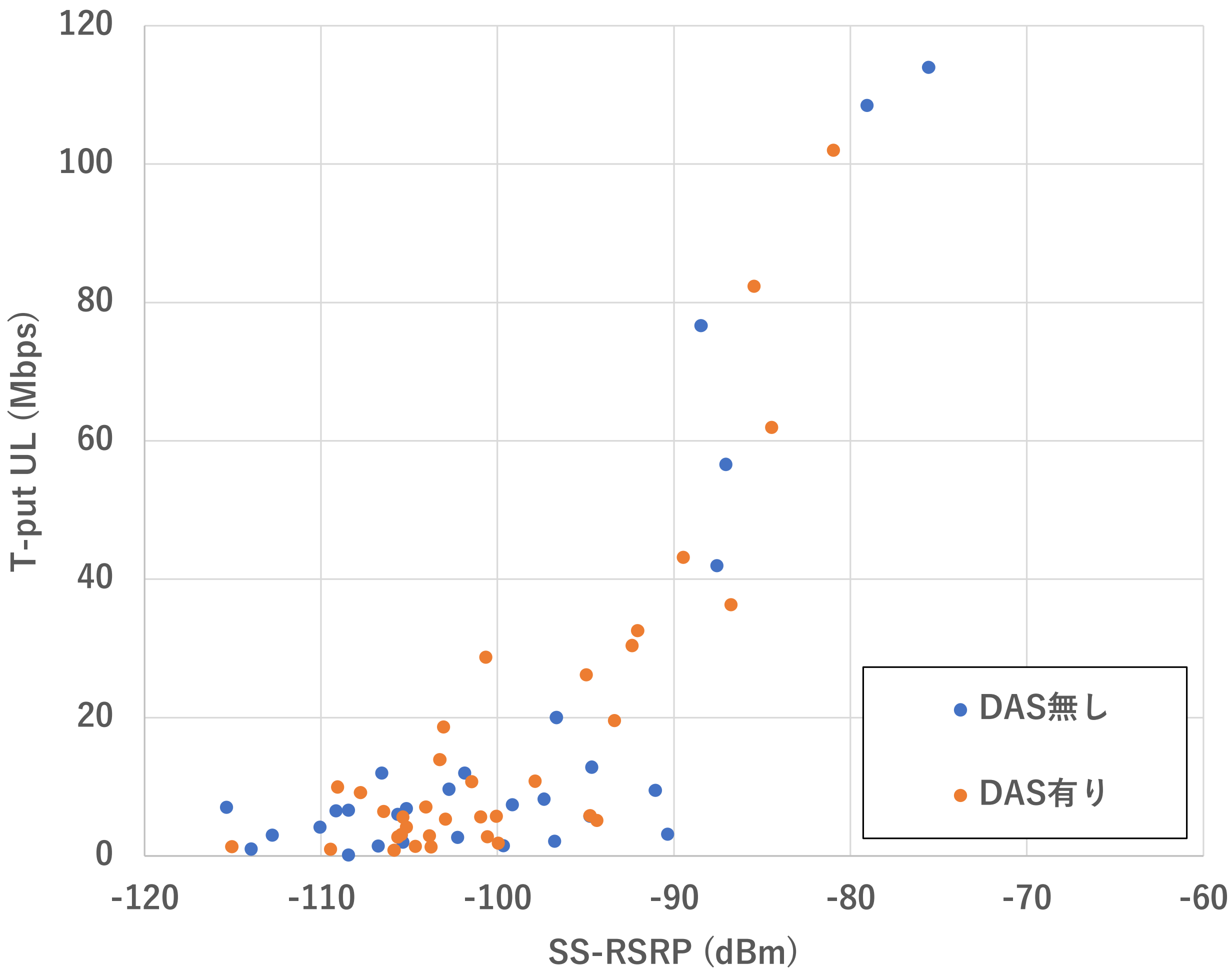


図 3.3.2.5-20 受信電力(RSRP) 対 伝送性能(UL 伝送スループット)の比較

図 3.3.2.5-19 に受信電力に対する DL 伝送スループットの比較を示す。傾向として DAS 有りと無しの場合も受信電力が高い場合は T-put の DL 伝送スループットも高くなる傾向であることが確認できる。

図 3.3.2.5-20 に受信電力に対する UL 伝送スループットの比較を示す。傾向として DAS 有りと無しの場合も受信電力が高い場合は T-put の UL 伝送スループットも高くなる傾向であることが確認できる。

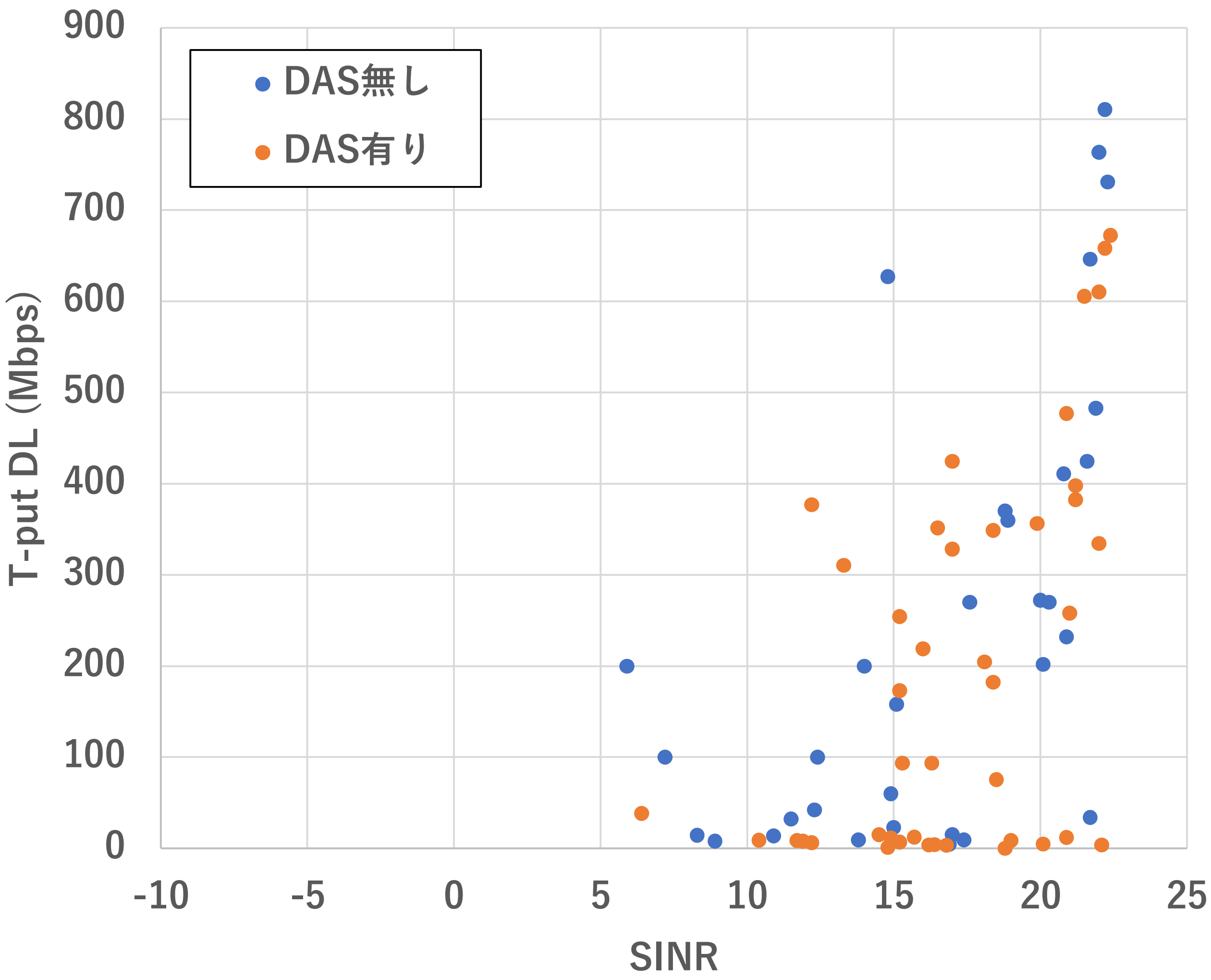


図 3.3.2.5-21　通信品質（SINR）対　伝送性能（DL 伝送スループット）の比較

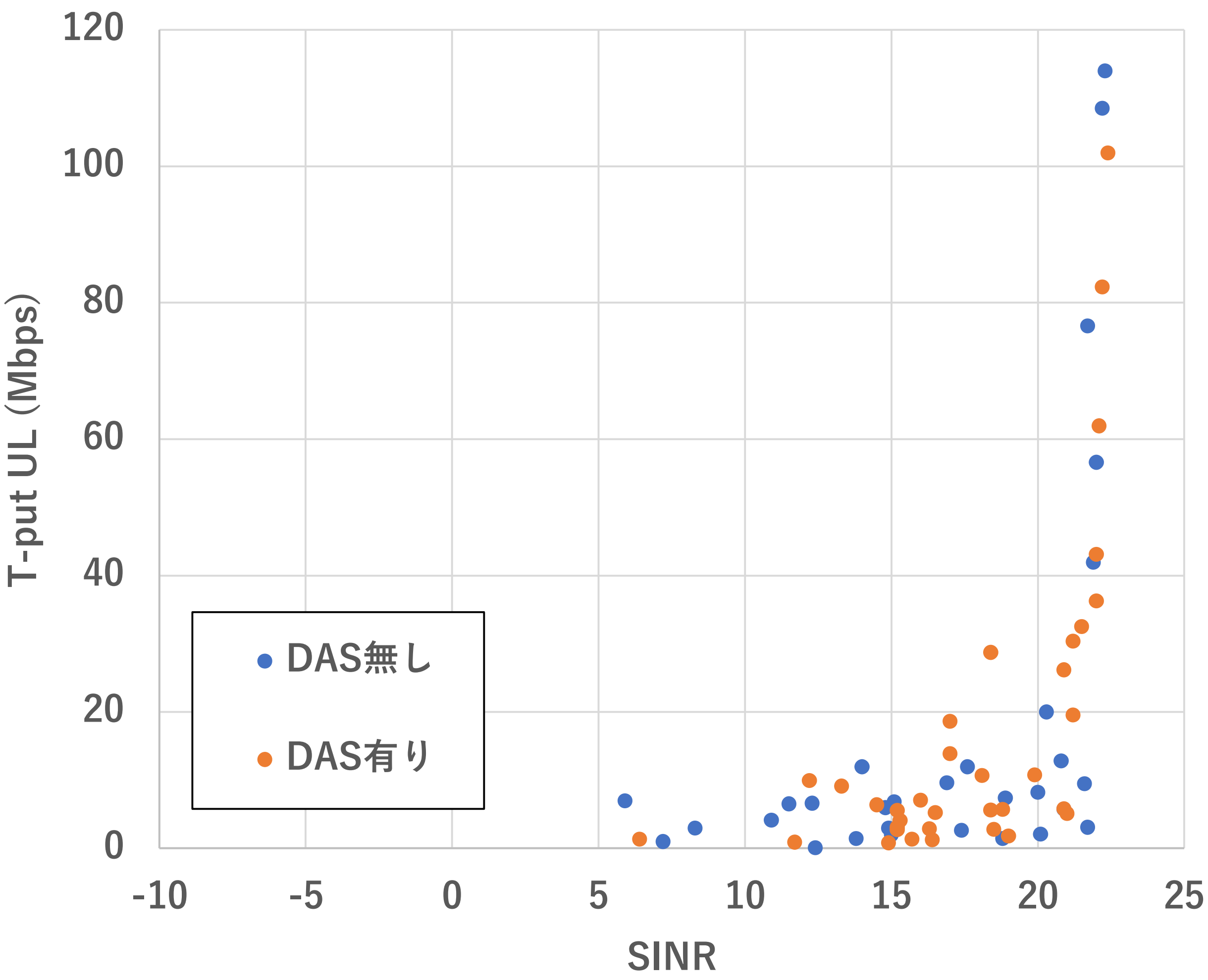


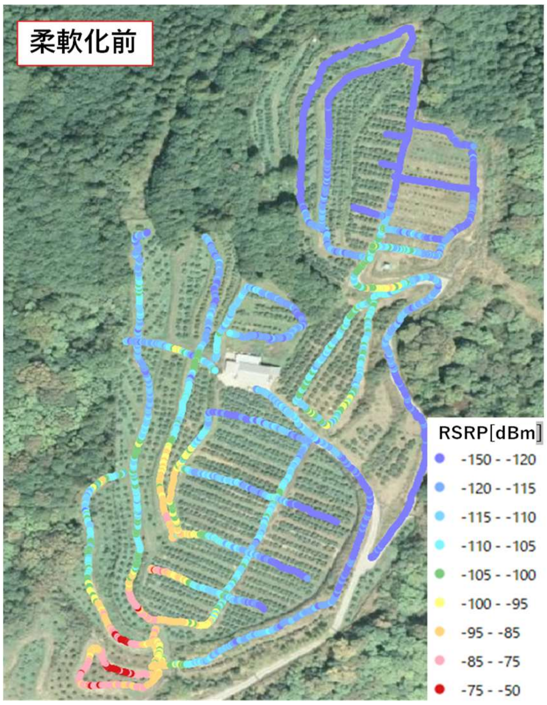
図 3.3.2.5-22　通信品質(SINR)　対　伝送性能(UL 伝送スループット)の比較

図 3.3.2.5-21 に通信品質(SINR)に対する DL 伝送スループットの比較を示す。図中の結果から通信品質が高くなると DL スループットも高くなる傾向であることがわかった。

図 3.3.2.5-22 に通信品質(SINR)に対する UL 伝送スループットの比較を示す。図中の結果から通信品質が高くなると UL スループットも高くなる傾向であることがわかった。

3）　測定データの可視化

実証フィールドにおける実際の環境と、電波伝搬の関係性をビジュアル的にわかりやすく表示するため、実証フィールドの地図上に、測定地点ごとの各種データを色分けして表示(ヒートマップ)することを想定している。ヒートマップは、ローカル 5G の性能評価やエリア構築の考察において、有効なデータとなる。図 3.3.2.5-23 に柔軟化前後のヒートマップ結果を示す。



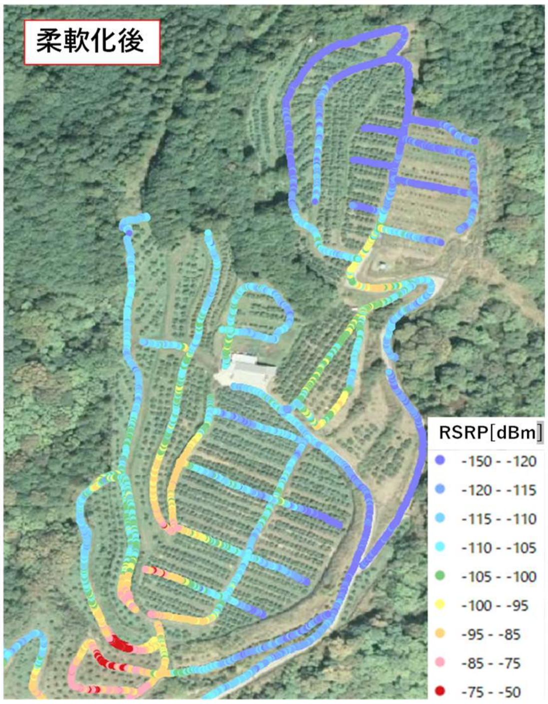


図 3.3.2.5-23 平坦地側の受信電力レベルの比較図

出典:地理院地図を加工して作成

4) 他のエリア改善策との経済性

表 3.3.2.5-6、表 3.3.2.5-7 に電波反射板以外のエリア改善策について設置の容易性およびコストの観点から比較した結果を示す。

エリア柔軟化の手段として PassiveDAS(分配器)を使用する場合、以下メリットが挙げられる。

- PassiveDAS は電源不要なため、電源確保が難しいエリアに対してアンテナ設置が可能
- PassiveDAS で分配した先で使用するアンテナは同じ製品である必要がなく、それぞれ異なる製品も選択可能であるため、各エリアの形状に応じた選択が可能。
- 上記理由により、単一のオムニアンテナやセクタアンテナのみではカバーが難しい地形(細長い形状のエリアが複数組み合わさっている場所など)においても、各アンテナ製品のエリアパターンを組み合わせて使用することで、より地形に適したエリア生成が可能。
- 分配器等が安価であるため、設備費用を抑えた上で多方向へのエリア形成が可能。
- 反射板、リピータなどの柔軟化手法に比べエリアシミュレーション時に追加で必要となるデータや検討事項が少ない。具体的には、反射板適用時に必要となる反射によるエリア算出のための複雑な計算や、中継器適用時に必要となる中継器自身の電波伝搬データ等は不要。

PassiveDAS を使用した場合での設計手順としては以下が考えられる。

1. 使用する RU において接続可能なアンテナ製品を確認する。(工事設計認証等の関係で使用

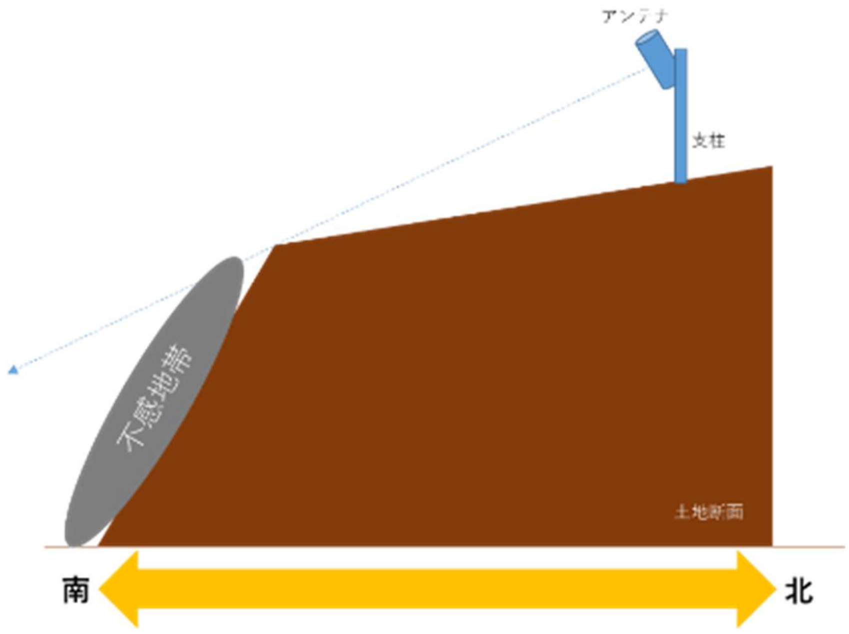
可能なアンテナ製品が限られている場合が多いため）

2. 使用可能なアンテナ製品において、カバーしたいエリア全体の水平の形状と水平アンテナパターンの形状が近い製品があるか確認する。
3. 上記が存在しない場合、複数のアンテナ製品の水平アンテナパターンを組み合わせ、全体としてカバーしたいエリアの形状に近い形となるように配置検討する。
4. RU の個数・設置位置を検討する。その際、以下を意識する。
   (ア) RU には電源が必要であるため、確保できる位置であること。
   (イ) RU～各アンテナ間の距離に応じて同軸ケーブルによる減衰が発生するため、各距離・減衰量を確認する。減衰量が許容できない場合は RU の追加も検討する。
5. 同軸ケーブルの伝送減衰や分配器による分配損・挿入損を考慮した上でエリアシミュレーション等を実施する。

本実証での実施場所である土佐北川圃場では以下の流れで置局設計を行った。

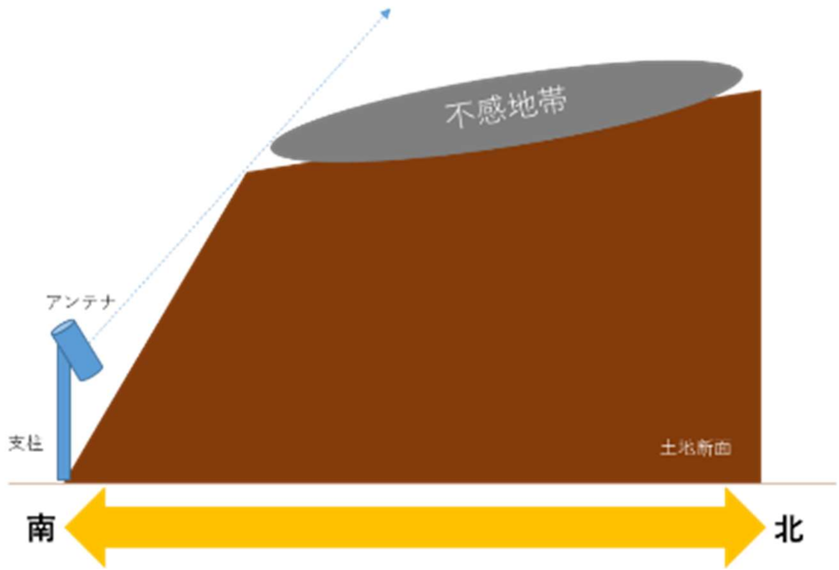
1. 前提条件として、対象のエリアは南北に伸びた形状であり、北側と南側で土地の斜面角度が異なっている。
2. 最低数のアンテナでカバーが可能か、最北・最南いずれかの１地点にアンテナを設置する構成を検討したが、それぞれ逆側のエリアが見通し外となるため不採用とした。

（ア）最北地点に設置するケース

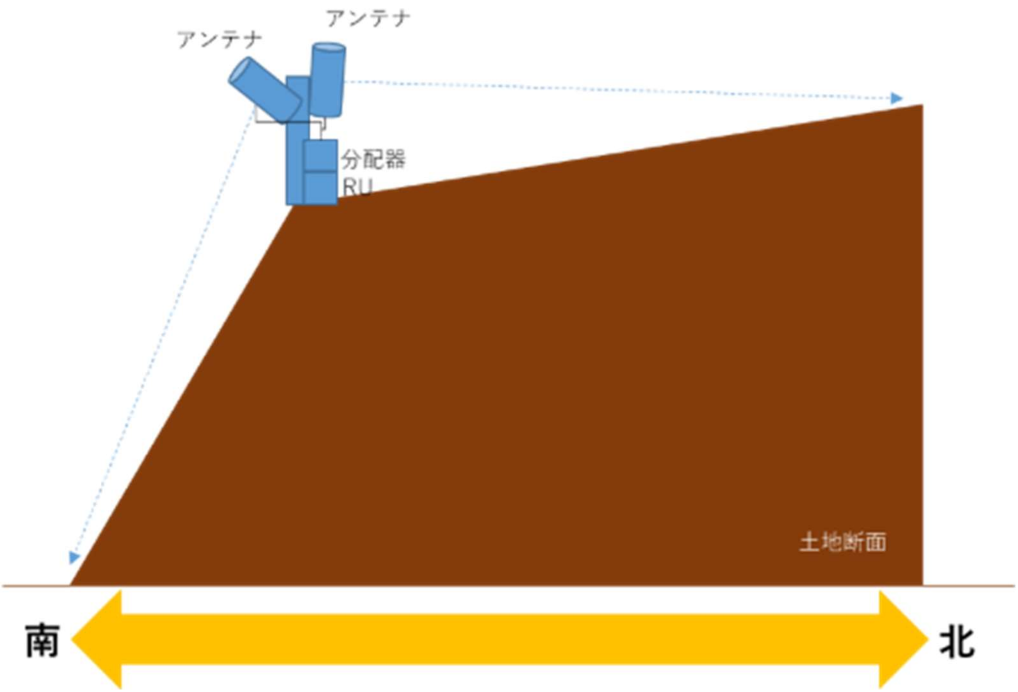


最北地点に設置するケース

（イ）最南地点に設置するケース



3. 北側･南側エリアの間に 2 方向に向けてアンテナを設置し、南北の斜面ごとにチルトを調整する構成を採用した。別の構成案として RU を北側･南側向けとして 2 台設置しそれぞれに対してアンテナを接続する案もあるが、RU の設備費用が高価であり、かつ、本実証での最大使用スループットが RU 一台で賄えることから PassiveDAS によって分配し費用を抑える構成とした。北側･南側向けの各アンテナを近い位置に設置することで、RU～PassiveDAS-アンテナ間の伝送減衰も抑えられると考えた。
4. 南北それぞれに向けるアンテナチルトは、最北･最南地点に対してアンテナの指向性を向ける状態とした。



5. カバーしたいエリアが細長い形状であるため、指向性を持った平面アンテナを採用した。また、基地局のダウンリンクにおける 4×4MIMO の性能を活かすため、北側･南側それぞれで平面アンテナ(2 ポート)を 2 個ずつ設置し、水平･垂直角度を揃えた状態とした。

設置位置(アクセス容易、面積)

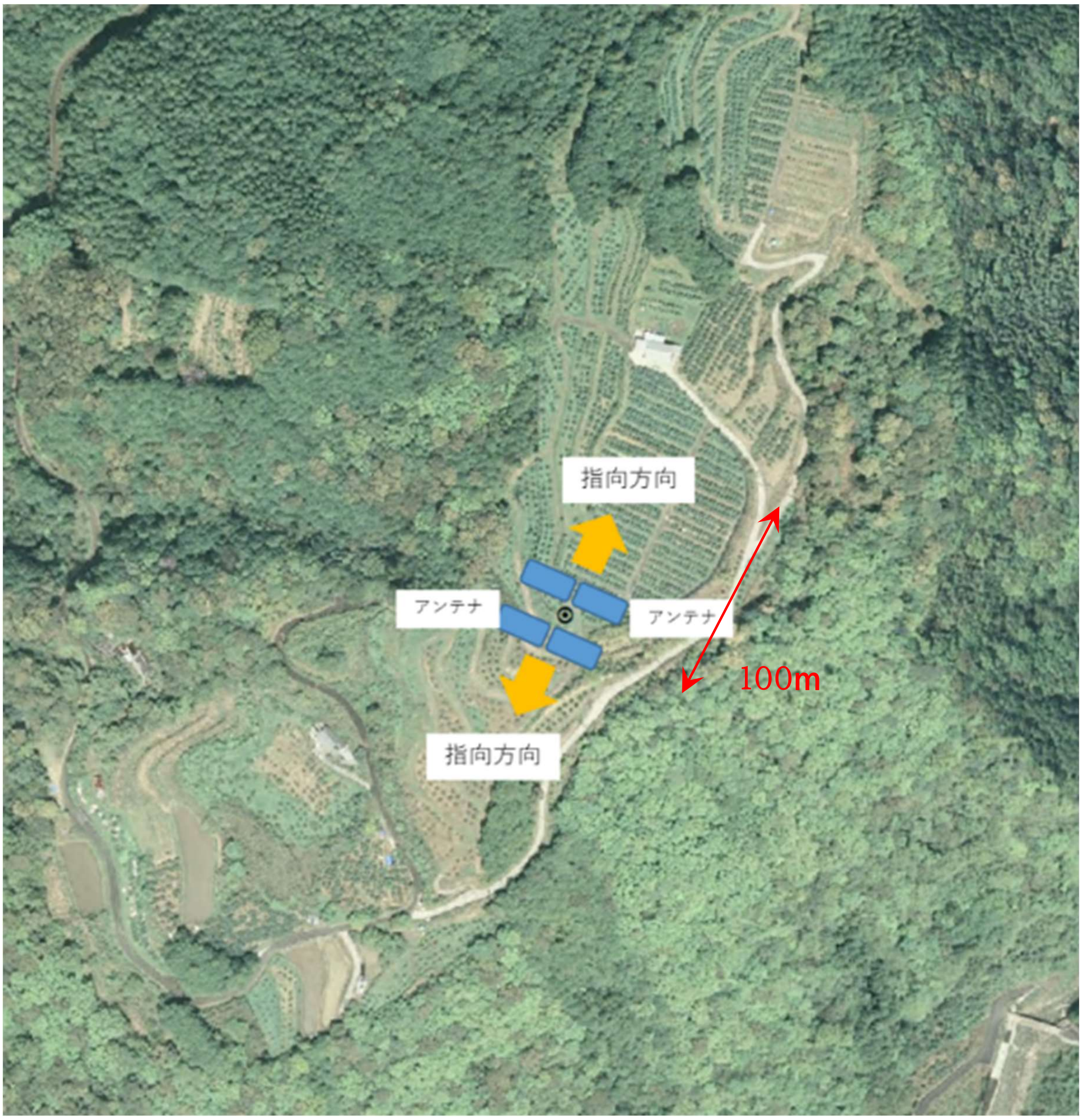


図 3.3.2.5-30 基地局位置およびアンテナ指向方向
出典:地理院地図を加工して作成

表 3.3.2.5-6 設置の容易性におけるエリア改善策比較結果

評価項目	電波反射板(反射板材質:メタマテリアル･アルミ)	中継器	分散アンテナシステム(DAS)(Passive DAS)	漏洩同軸ケーブル(LCX)
設置位置(アクセス容易、面積)	アクセス容易:容易 設置面積:数 m 四方のスペース	アクセス容易:困難(高所設置の場合) 設置面積:電源付帯設備を含む 10m 四方程度のスペース	アクセス容易:困難(高所設置の場合) 設置面積:数 m 四方のスペース+伝送路(ケーブル)	アクセス容易:やや容易(屋内設置の場合) 設置面積:LCX ケーブル部分のみ、カバーエリアに応じて大きく(長く)なる

評価項目	電波反射板（反射板材質：メタマテリアル・アルミ）	中継器	分散アンテナシステム（DAS）（Passive DAS）	漏洩同軸ケーブル（LCX）
付帯設備（電源・バッテリー等）の必要性	不要	必要	不要	不要
消費電力	無し	有り	無し	無し
伝送路（ケーブル）の必要性	不要	不要	必要	必要
施工の容易性	容易	中程度	中程度	高程度（長距離のケーブル配線が必要の想定）
導入リードタイム	3 か月程度	6 か月程度	6 か月程度	6 か月程度
設計の容易性	高程度（反射を考慮した設計が必要）	中程度	低程度	高程度
免許	今後制度化	今後制度化	使用可能	今後制度化
総合評価	施工容易性：◎ 設計容易性：△	施工容易性：○ 設計容易性：○	施工容易性：○ 設計容易性：◎	施工容易性：△ 設計容易性：△
採用した解決方策の設備が有効となる条件や使い方	・延長先のアンテナ付近まで無線による伝搬が難しいエリア（障害物が多い等）においては、有線なため確実に延長が可能。また複雑な設計も不要。 ・電源不要なため、設備が限られた箇所でも設置しやすい。			

表 3.3.2.5-7 設置のコストにおけるエリア改善対策比較結果

評価項目	電波反射板（反射板材質：メタマテリアル・アルミ）	中継器	分散アンテナシステム（DAS）（Passive DAS）	漏洩同軸ケーブル（LCX）
設備費用	50～100 万程度	100～数百万程度	10～数十万程度	数十万～100 万程度

評価項目	電波反射板（反射板材質：メタマテリアル・アルミ）	中継器	分散アンテナシステム（DAS）（Passive DAS）	漏洩同軸ケーブル（LCX）
設備施工費用	数十万～100 万程度	数百万程度	数百万程度	数百万程度
付帯設備費用（電源、バッテリー等）	無し	数十万～100 万程度	無し	無し
付帯設備施工費用（電源、バッテリー等）	無し	数百万程度	無し	無し
伝送設備費用（光、無線）	無し	無し	10 万～数十万	無し（設備費用に含む）
伝送設備施工費用（光、無線）	無し	無し	数百万程度	無し（設備施工費用に含む）
運用・保守費用	数十万～100 万程度 ※アクセスが容易な位置である想定	数百万程度 ※設置箇所が高所である想定	数十万～100 万程度 ※設置箇所が高所である想定	数十万～100 万程度 ※アクセスが比較的容易な位置である想定
総合評価	◎	△	○	○
採用した解決方策の設備が有効となる条件や使い方	・設備費用が安価であるため、1 つの基地局から多方向に対して指向性を向けたい場合、費用を抑えた上でエリア形成が可能。			

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かった

3.3.4 基本的な電波伝搬データの取得

このテーマには取り組まなかった

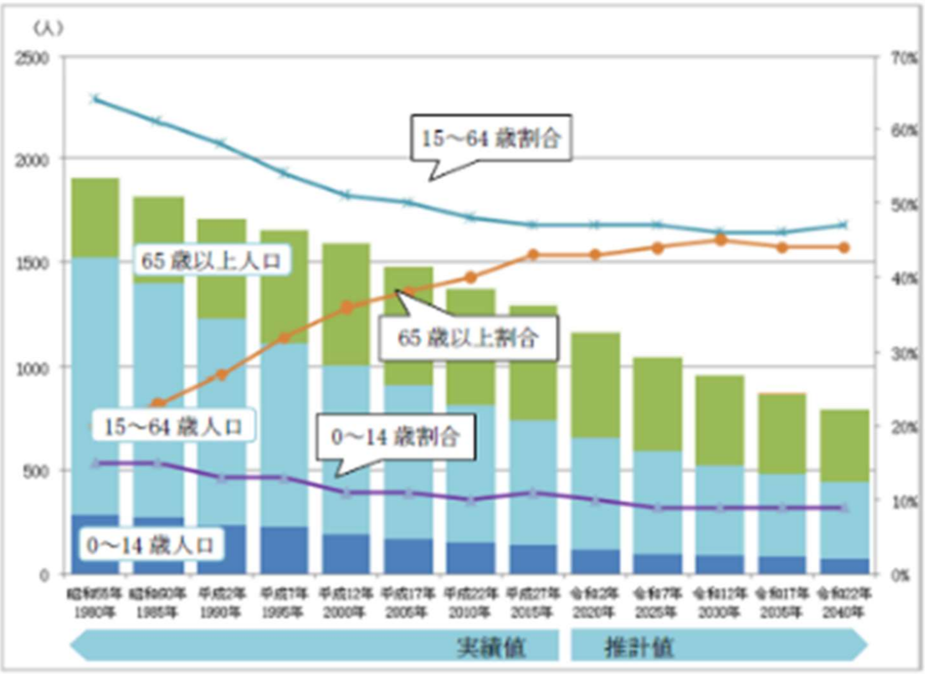
4. ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）

4.1 実証概要

4.1.1 背景となる課題

国内の耕地面積と農業産出額の約 4 割を占める中山間地域は、農産物の供給、水資源涵養機能、洪水防止等の面において重要な役割を果たしている一方で、傾斜地が多く存在することから作業安全性の確保が難しく、さらに経営面積が小さい（大規模経営が難しい）ことで平地に比べて厳しい営農条件下にある。これらに加え、人口減少や高齢化、気候変動等の社会的な影響も顕著に顕在化しており、多くの解決すべき課題を抱えている。

中山間地域に属する本実証のフィールドの安芸地区（室戸市、安芸市、東洋町、奈半利町、田野町、安田町、北川村、芸西村）では古くから第一次産業を中心に営んできたが、年々人口が減少し、平成 22 年から平成 27 年までの間に約 9.7%、平成 27 年から令和 2 年までの間に約 10.1%人口が減少している。加えて高齢化が進んでおり、北川村においては 1980 年に既に 0 歳から 14 歳までの年少人口を 65 歳以上の老年人口が上回っている（図 4.1.1-1）。



出典）総務省「国勢調査」、国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来推計人口」

図 4.1.1-1 北川村における人口および年齢 3 区分別人口の推移

安芸地区の基幹産業であるゆず栽培においても、高齢化による生産力の低下やゆずの産地間競争の激化により生産者を取り巻く環境は厳しさを増しており、人口減少による経済の縮みが若者の流出と地域の衰退を招く負の連鎖をたどっている（図 4.1.1-2）。

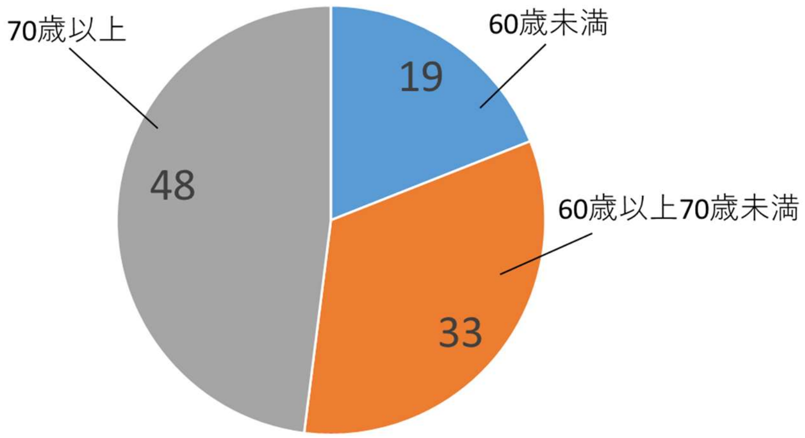


図 4.1.1-2　JA 安芸地区における H30 年度のゆず生産者年齢構成
出典:高知県農業振興部の資料をもとに作成
(https://www.nogyo.tosa.pref.kochi.lg.jp/download/?t=LD&id=2217&fid=72993)

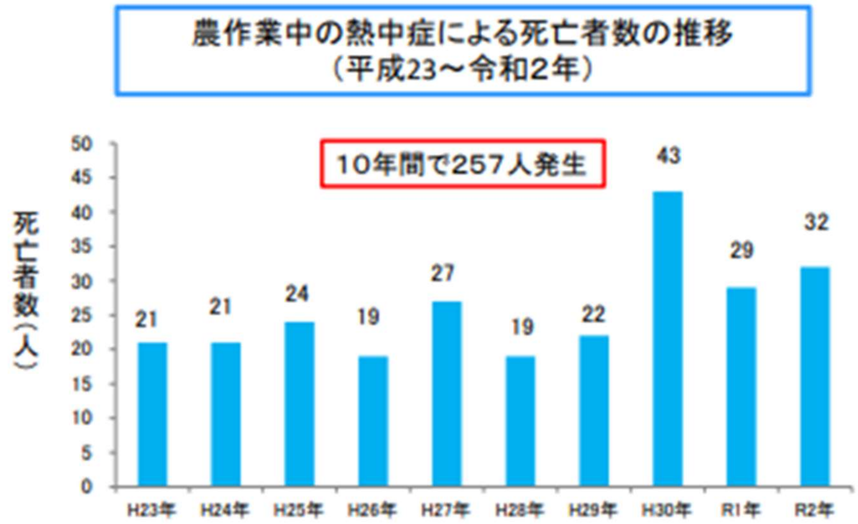
こうした地域課題の解消のためには、ゆず栽培の生産コストの低減・収益性の向上を図るとともに、Uターンやlターンによる移住・就農を実現し、若者が村内で居住し生計を立てて行くことが重要である。

生産コストの低減に向けては、年間を通じて作業が必要となる農薬散布や草刈り作業等の効率化が有効であると考えられる。過年度の同地区のスマート農業実証の結果によると、土佐北川農園におけるスマート農機の有無による各作業時間を比較してみたところ、剪定や収穫などの作業と比較して防除作業や選果・調整作業での低減効果が大きいことが確認されている(表 4.1.1-1)。

表 4.1.1-1. スマート農機導入前後における作業時間の削減効果

作業名	剪定	**防除**	収穫	**選果・調整**	その他
スマート農機導入前	26.8hr	48.5 hr	74.2 hr	28.6 hr	57.3 hr
スマート農機導入後	26.8 hr	41.2 hr	74.2 hr	21.4 hr	57.3 hr
低減率	0%	**15%**	0%	**25%**	0%

また安芸地区の一部では通信が入らない地域や医療提供のない地域も存在するため、同作業中の熱中症防止対策も急務であると言える(図 4.1.1-3)。



出典：農林水産省

図 4.1.1-3　農作業中の熱中症による死亡事故の発生状況

新規就農者の増加・定着は、個別農家における労働リソースの確保の視点のみならず、地域的な経済活性化の視点からも重要であるが、現状は新規就農者を指導するベテラン職員の数や指導に割ける時間が限られていることから、新規就農機能者数を増加させるとともに、受け入れ体制の強化が必要である。

上記に示したように、本実証フィールドである安芸地区では、小規模経営への対応や傾斜地での作業安全性の確保といった中山間地域の地形的な特徴に由来する課題に加え、生産コストの低減や新規就農者の確保・受け入れ体制の強化による、「持続可能なゆず栽培体制の構築」が必要な状況である（図 4.1.1-4）。

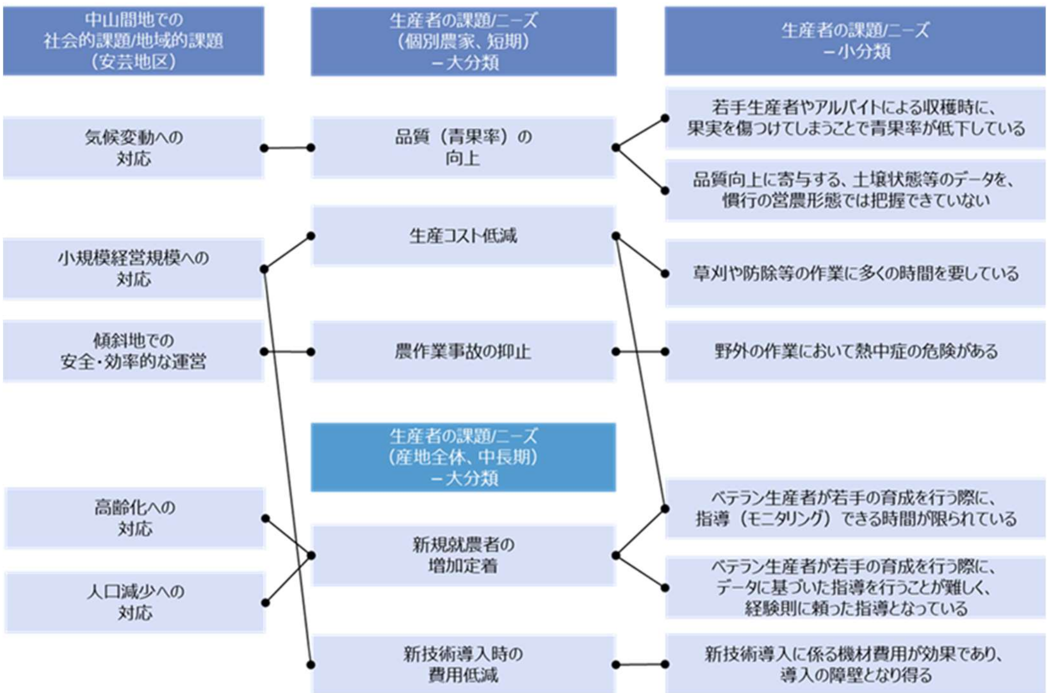


図 4.1.1-4　本事業におけるイシューツリー

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

4.1.1 で示した通り安芸地区の生産者は、生産コストの低減、収益性の向上、新規就農者数の増加という課題解決に向けて、防除や選果・調整作業の効率化、新規就農希望者数の増加と新規就農者の受け入れ体制の強化が必要である。

以上を踏まえ本実証では、生産コストの低減を主目的とした「モバイルムーバー（運転台車）を用いた自動防除ソリューション」および新規就農希望者の増加と農家サイドの受け入れ体制強化を目的とした「新規就農者遠隔指導ソリューション」の 2 ソリューションの検証を行った。（図 4.1.2-1）。

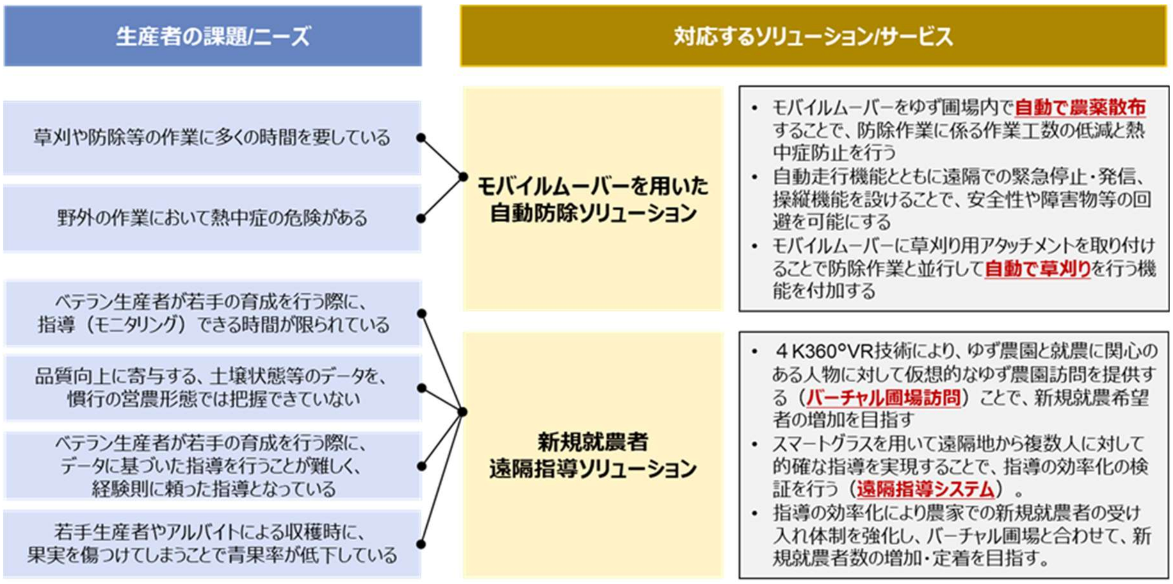


図 4.1.2-1 【再掲】課題実証で対象とするソリューションの概要

1） モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

防除作業、草刈り作業は重労働、かつ回数も多く生産者の大きな負担となっており、慣行の手作業からスマート農機への代替が必要となる作業である。

過年度の実証ではドローンを使用した防除作業の効率化検証を実施しているが、ドローンの運用には専門のオペレータが複数名現場で対応することが求められ、人件費コストが課題となっている。自動で防除を実現可能なソリューションが必要と考えられる。

同じく過年度実証では果樹園（ブドウ農園）を対象として EV を用いた自動防除ソリューションの検証を実施している事例があるが、ゆず農園（柑橘系の農園）はブドウ農園と比較して樹木間の距離が狭く、より小回りの利くスマート農機としてモバイルムーバー（運転台車）が適していると考える。

以上を踏まえて本実証では、ドローンで顕在化している人件費コストの課題解決に向け、ゆず農園に適していると考えるモバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションの検証を行った。またモバイルムーバーには草刈り用のアタッチメントを装着することで、防除作業とともに重労働とされる草刈り作業の自動化に関しても合わせて検証を行った。なお、全体スケジュールを鑑み、自動草刈り作業に係る検証は令

和 5 年度の継続実証において実施を行う。

モバイルムーバーが自動運転する様子は、車両に取り付けたカメラの高精細映像を、ローカル 5G ネットワークを介して低遅延で遠隔監視室へ伝送し、映像をモニタリングしながら有事の際には緊急停止・緊急発進等の遠隔操縦ができるような構成とした。また副次的な効果として、特に夏場に熱中症リスクの高い防除・草刈り作業をモバイルムーバーに代替することによる熱中症対策にも期待する。(図 4.1.2-2)。

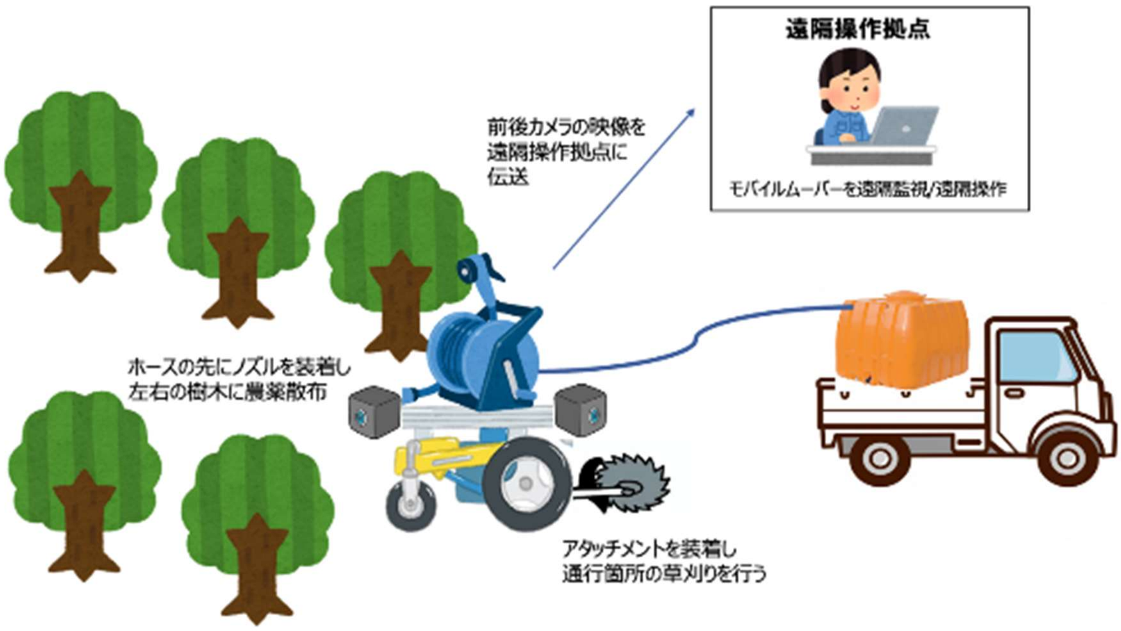


図 4.1.2-2 モバイルムーバーソリューションの概要

自動運転・遠隔操縦の機能を持ったモバイルムーバーの車体に散布用ノズルを搭載し、動噴機から農薬散布を行う。また、薬剤タンクを定置にすることにより、慣行作業と同等の薬剤作成時間とすることで導入にかかる生産者の負担低減を試みた。

自動運転においては、2D-Lider を用いて障害物検知を行う。2D-Lidar の障害物測距により、障害物との距離が設定範囲内となれば、2D-Lidar より停止信号出力→Mobile Mover 停止信号出力により停止動作を行った。

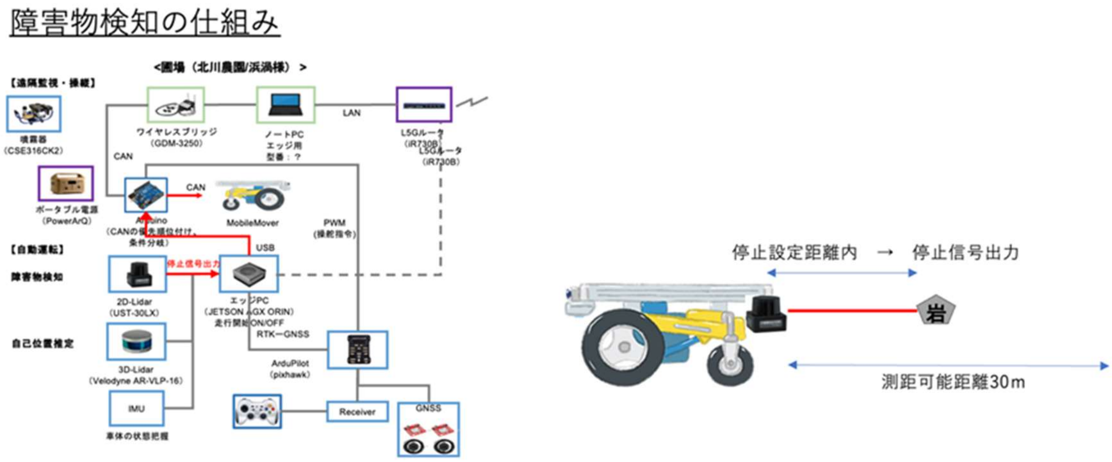
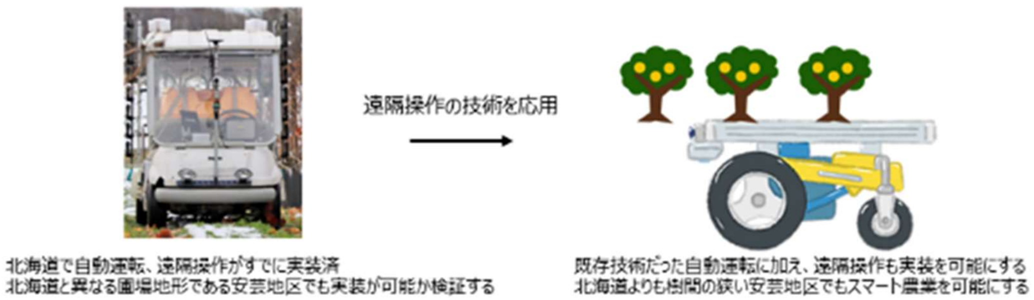


図 4.1.2-3 モバイルムーバーの自動運転における障害物検知の仕組み

遠隔監視・遠隔操縦に関する要素技術については、北海道のブドウ農園で実施している EV を用いた過年度の実証技術を Movile Mover に転用し、ゆず圃場、モバイルムーバーでの実装を目指した（図 4.1.2-4）。



遠隔監視機能	モバイルムーバーの作業監視を行うシステムである。ローカル 5G を介した各車両の映像とともに GIS 上にその現在位置・状態を認知できるシステムである。遠隔監視システムはモバイルムーバーや EV ロボットの作業停止・再開、作業速度などを遠隔で操作できる。草刈り作業、防除作業、運搬作業への利用を想定している。
遠隔操縦機能	モバイルムーバーを遠隔で操縦できる機能である。GNSS など航法センサーが使用できない環境下で、ローカル 5G により伝送された車両前方の映像をもとに人による遠隔操作で作業を継続させることができるシステムである。草刈り作業、防除作業、運搬作業への利用を想定している。

図 4.1.2-4 モバイルムーバーの遠隔監視・操縦に関する要素技術

（2） 新規就農者遠隔指導ソリューション

高知県はゆずの生産量日本一を誇る一大産地であり、その中でも北川村は日本一のゆず産地であった。

しかし、高齢化等により今後、大幅な生産者の減少が懸念されることから、担い手の確保および育成が求められている。

大都市圏には新規就農希望者や農業分野に興味を持つ層が一定数おり、新規就農希望者をターゲットにしたイベントも東京・大阪圏を中心に行われている。しかし、実証地である北川村の立地条件やコロナ禍の影響もあり現地訪問のハードルが高く、農業に興味のある層と生産者のマッチングがうまくいかないのが現状である。

また、産地全体では新規就農者を積極的に受け入れようとしているものの、新規就農者の指導に割けるリソースが不足している農家も多い。高品質なゆずを安定して生産するために匠の技の伝承が不可欠となっているが、そのためには新規就農者の受け入れ体制を強化することが前提として必要な状況である。

このような現状を踏まえ本実証では、「新規就農希望者の確保」「新規就農者受け入れ体制の強化」を目的として、新規就農者遠隔指導ソリューションの検証を実施した。

新機就農希望者の確保に向けては、ローカル 5G ネットワークを介して現地の高精細・リアルタイムの映像を伝送することで、仮想的なゆず栽培圃場への訪問を実現する「バーチャル圃場訪問」について検証を行った。また、新規就農者受け入れ体制の強化に向けては遠隔地から複数の新規就農者に対してスマートグラスを用いて指導する「遠隔指導システム」の検証を行う。特に後者の遠隔指導に際しては、令和 5 年度に実施する継続実証において、センシングにより圃場環境データを取得し、指導者・被指導者に共有することで、データに基づくゆず栽培技術の伝承（データ駆動型農業の実現）可能性について検討を行う計画としている。

両ソリューションを通じて、産地・農家における新規就農者の増加・定着の実現を目指した。

a. バーチャル圃場訪問

全国的に農業従事者の数は減り続けており、新規就農者の確保は、農業従事者の獲得や新しい人の流れによる村の活性化において重要な要素となる。

北川村では 2060 年に向け、ゆず栽培従事者数 188 人増を達成するために、年間 3 名の新規就農者の確保を目標としている。担い手確保の取り組みとして、新規就農希望者に対し、就農相談や各種農業イベント等を開催し、北川村におけるゆず農家の魅力を積極的に情報発信している。北川村でのゆず農家の魅力を伝える有効な手段として、現地視察が挙げられるが、就農に興味がある人物が、現地視察に来るためには距離・コスト・時間が障壁となる。

以上の状況を踏まえ本実証では、大都市圏に住む新規就農希望者・農業分野に興味を持つ層をターゲットとして、バーチャル圃場訪問を提供することで、新規就農希望者を増加させることを目的とした。

バーチャル圃場訪問では、4K360°VR 技術によりゆず農園と就農に興味がある人物をリアルタイムにつなげることで仮想的なゆず農園の訪問を実現する。従来、アーカイブ等、事前に動画を撮影したものを体験する手法が主流であったが、本取り組みでは、リアルタイムに現地につなぐことで、現地の生産者の方と体験者の双方向のコミュニケーションを重視している。コミュニケーションは、①伝える力、②受け取る力、③非言語の 3 要素を通じて、お互いの価値観や気持ちなどを理解しあうことができる。言葉以外のコミュニケーション（空気感や会話のトーン）等、あたかも現地にいるような体験を通して、体験者の理解促進・納得感を醸成することに重きを置いている。「自然・就労環境の確認」「現地ゆず農家との会話」「ゆず栽培の見学」などの仮想体験を通して、北川村におけるゆず栽培の雰囲気を伝え興味関心を促し、北川村への新規就農の促進を目指す。また、学校教育におけるゆず栽培の仮想体験など、将来の担い手確保に

向けた取り組みにも利用できると考えられ、同ソリューションの社会実装に向けた様々な展開方法についても検討を行った(図 4.1.2-)。

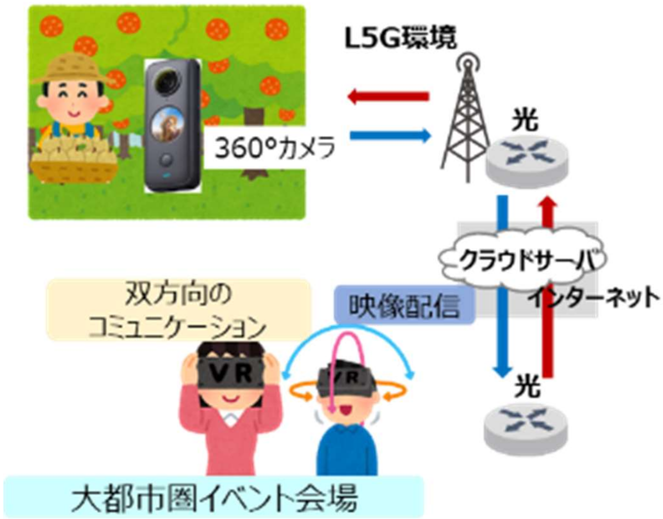


図 4.1.2-5 バーチャル圃場訪問 利用イメージ

具体的には、本年度の実証地である土佐北川農園内に 360°カメラを設置し、ローカル 5G を経由して光回線が設置されたイベント会場とクラウドサーバを介して接続し、圃場の 360°映像と双方向音声によるリアルタイムコミュニケーションを実現する。イベントへの参加者サイドでは、VR ゴーグルを装着し、生産者とリアルタイムでコミュニケーションを取りながら圃場の 360°映像を体験いただくとともに、合わせて産地の情報や新規就農者受け入れ制度について案内し、アンケートによるゆず栽培への関心度、新規就農可能性について評価を行った。

b. 遠隔指導システム

産地単位では新規就農者の誘致を積極的に実施しているが、大半を占める個人農家や、農業法人では、新規就農者の指導に割けるリソース(指導者および指導にかける時間)が不足しており、新規就農者の雇用が制限されている状況である。また新規就農者や雇用労働者は経験が少ないことから、高品質なゆずを安定して生産するためには、匠の技の伝承が重要である。しかし、ゆず栽培においては理論に基づいた指導はベテラン生産者でも難しく、そのため指導者が新規就農者等の傍に付き、ゆず栽培のノウハウを伝承する手法が指導の中心となっている。

本実証では、新規就農者の受け入れ体制強化を目的として、土佐北川農園にいるスマートグラスを装着した複数就農者が、ローカル 5G を経由して光回線と接続された監視センター内にいるベテラン職員から遠隔で指導を受けられる環境を実現し、効率的な指導システムの構築を目指した。

指導する内容としては、従前では伴走指導が困難であったものの、ゆずの生産・品質向上に直接的に結びつく作業内容であることを念頭に、剪定を中心として検証を行った。ゆず栽培における剪定作業は、ゆずの収穫量、品質、安定した生産において欠かせない作業である一方で、経験による指導が中心で、体系だった指導が難しく、実際にそれぞれの果樹で作業を行いながら状態に合わせて指導することが必要で

ある。また病害虫の識別も難しく、熟練者の知見が必要となる。指導対象者に対して、行き届いた伴走支援が可能となれば育成効果は高くなるが、現状では指導員の人数、稼働面から全ての育成対象者に寄り添った指導を実施することは困難な状況であることから、遠隔指導システムの効果がより見込める作業内容であると考える(図 4.1.2-)。

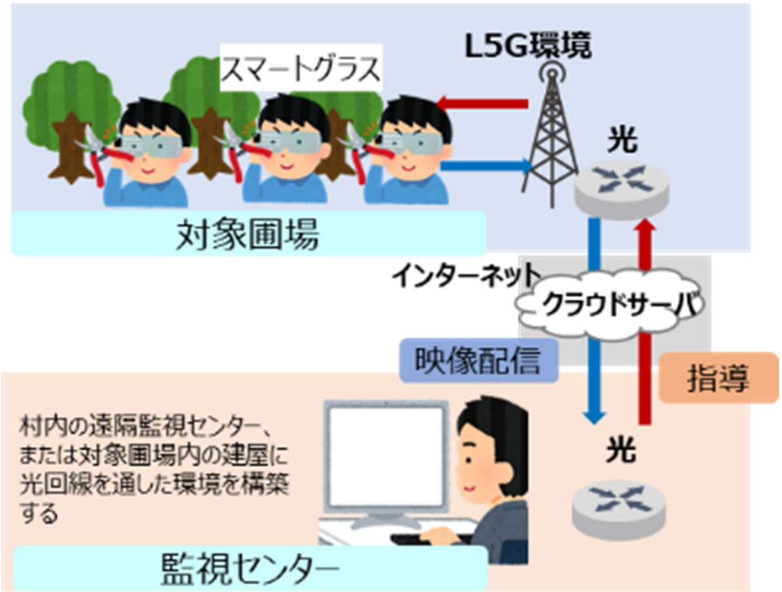


図 4.1.2-6 遠隔指導利用イメージ

遠隔指導システムに関する検証では、指導者、被指導者に対してアンケートを実施することにより、対面での指導と比較した指導品質を評価した。またアンケート結果を踏まえて1対複数での遠隔指導の実現性を評価することで、慣行と比較した指導効率(指導時間)の削減効果を検証した。

(3) ローカル 5G 活用モデル(当初仮説)

実証事業終了後は一般財団法人日本の農村を元気にする会(以下、元気会)が主体となってスマート農機を貸し出し(シェアリングし)、同スマート農機を用いたソリューション・ソリューションを活用した作業を元気会が複数農家に対して提供する(作業集約する)ことで、生産者におけるイニシャル、ランニングコストの低減を図り、同サービスモデル(シェアリングモデル)の普及促進を行って行く計画としていた。なお、シェアリングモデルの運用性および運用による効果については、令和 5 年度にて実施する継続実証において検証を行う予定としている。以下にシェアリングモデルの詳細について示す。

安芸地区は一つの村内の圃場間移動でも車で 1 時間程度を要するため、元気会がモバイルムーバーを持って移動し防除作業を行うと、作業できる時間が制限される。これを解消するため、安芸市、北川村それぞれでモバイルムーバーを保管し、圃場間の移動をサービス利用者(生産者)に担当してもらうことで、安芸市と北川村の圃場草刈りを1人が同時に行うことが可能となる。

なお、このシェアリングサービスを安芸地区に展開していく上では、既にキャリア 5G の環境が利用可能な主に平坦部の圃場においてはキャリア 5G 回線を利用し、山間部にありキャリア 5G が利用できない圃

場においてローカル 5G の回線を利用する計画とすることで、通信環境の構築コストを最小化し、サービスモデルの普及を促進して行く想定である(図 4.1.2-)。

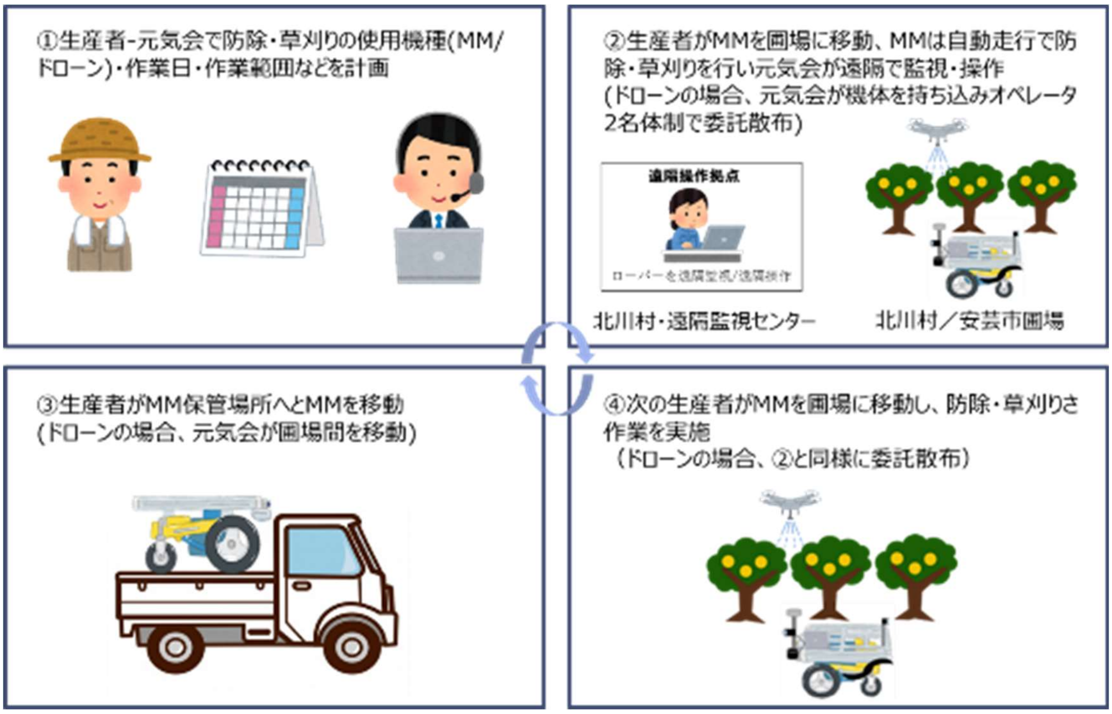


図 4.1.2-7 モバイルムーバーのシェアリングモデルイメージ

またキャリア5G の利用環境において電波の状況により UL スループットが出ない場合は、ビットレート調整や同時に使用する台数を絞る等で対応する計画としていた。

なお、元気会では既に農薬散布ドローンを使用したシェアリング事業を開始しており、シェアリング事業の申し込みができるように HP が用意されている。サービス利用者は HP の他に電話でも申し込みが可能となっており、初回は元気会が現地圃場へ訪れ、走行に問題がないかを確認することで安全性を確保する(図 4.1.2-)。

図 4.1.2-8 シェアリングサービスの申し込み方法

また、シェアリングの対象とする機器・サービスはモバイルムーバーを用いたソリューションを優先的に検討することとするが、新規就農者遠隔指導ソリューションについても、元気会をサービス事業者として展開して行くことを想定している。

同ソリューションでは、元気会が主体となって新規就農者向けイベントの開催や既存の就農フェア等に参加し、新規就農希望者をターゲットにバーチャル圃場見学等を通じて、農家・自治体とのマッチングサービスを提供する。他方、農家・自治体（JA 等含む）に対してはスマートグラスを活用した指導支援パッケージを提供し、指導体制強化を行うとともに、前段で関心を寄せている就農希望者とマッチングを行い、サービス対価を受けながら継続的な事業展開を行う計画としていた。

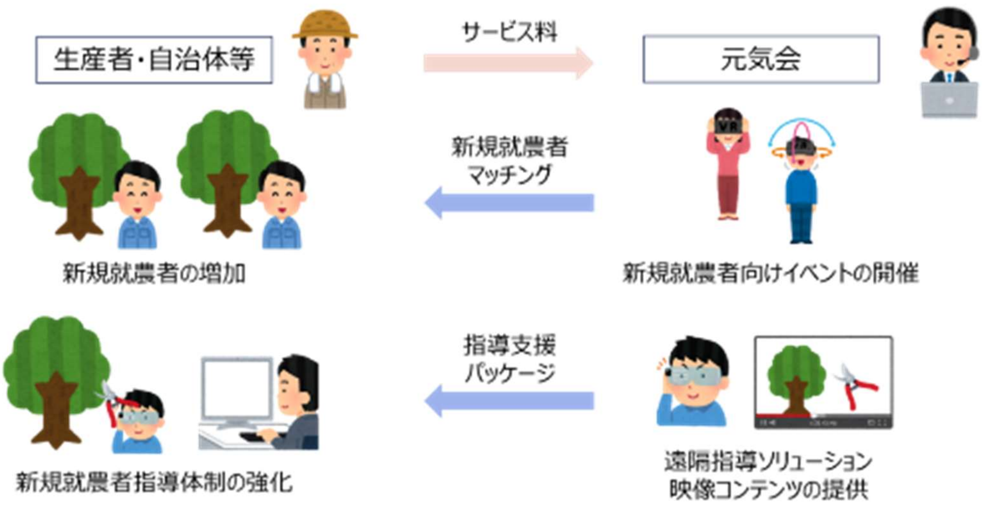


図 4.1.2-9 新規就農者遠隔指導ソリューションのサービスモデルイメージ

（4） ローカル 5G の必然性・必要性

1） モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

モバイルムーバーは 4G や LTE でも利用は可能であるが、今回対象としている土佐北川農園のようにゆず圃場の中でも比較的面積の大きい圃場では複数台のモバイルムーバーを用いた運用が必要であり、かつ自動運行の安全性を確保するために遠隔から運行している様子を監視できる体制を構築することが必要と考える。有事の際に遠隔操作を行う場合、遅延が発生すると大きな事故を招く可能性およびサービスとして成立しない可能性がある。また、複数台分の前後カメラの高精細な映像を支障なく遠隔監視センターへ伝送するためには、ローカル 5G の大容量通信ネットワークが必要と考える。

モバイルムーバーそのものは車体重量が 92kg と非常に重く、車体が転ばないように石がある場合は避けて走行をする必要がある。加えて、本実証ではモバイルムーバーの車体に草刈り用の刃を装着するため、車体の転倒時に周囲への危険が増大する。また草刈り作業に伴い傷をつけたくない苗木に接触しないように遠隔からの監視映像を確認し、適切な操作をする必要がある。

農薬散布の場合においても、農薬を必要以上に散布しないようにするためには果樹がない地点では極力農薬の散布をしないことが重要であり、防除の状況を注視することが求められる。

以上の通り、高精細な映像を用いて自動運行の状況を遠隔監視者が危険を判断し、複数台のモバイルムーバーを適切に運用するためには、大容量での通信を実現できるローカル 5G の利用が必要であると考えられる。

2） 新規就農者遠隔指導ソリューション

新規就農者や雇用労働者への遠隔支援技術としては AR や VR などの高精細映像伝送技術を活用する方法が考えられる。それらの実現においては、高精細な映像通信が求められること、圃場の面積が広いことから、安定した超高速（大容量）の通信機能が必要となる。また、複数のデバイスを同時に活用するケースも想定されることから、他の帯域と干渉がなく安定した超高速・大容量の機能が必要となる。特に、中山間およびルーラル地域においては、通信事業者の 5G 環境は整備されておらず、本実証の上り通信を利用した複数の映像ソリューションの運用には課題がある。

以上を踏まえ、ゆず生産地の抱える課題解決に資する技術として、ローカル 5G の超高速、超低遅延機能の通信環境が必要であると考える。

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

（1） 実証内容の新規性

1） モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

これまでの自動運転・遠隔操作の研究や実証では、北海道のような広い敷地での作業や、敷地内に木や関係者以外の立ち入りが原則無いことが前提であった。今回の実証では全国でも珍しくない 50ha 未満の広さの中で果樹を傷つけないように、かつ日常の農作業との共存を前提としている点に新規性がある。また、実証後には利益を確保しながら継続的にサービス展開を実現できるようにシェアリングによるサービスモデルを計画している点についても新規性があると考える。

なお、自動運転・遠隔操作による農薬散布については、手散布と比べ葉の裏に農薬がかかり難く、散布ができたか確認できないために防除効果に不安という懸念もあるが、2009 年の日植防研による飛散低減ノズルの防除効果等に関する調査結果によると、同じように葉の裏に農薬がかかり難く効果を不安視される飛散低減ノズルの防除効果は、ノズルの圧力が適切であれば慣行ノズルと効果に遜色はなかった。自動走行・遠隔操作による農薬散布を行った場合でも、必ずしも葉の裏にかからなくても農薬が適した量を散布できる場合においては、従来の農薬散布と同等の防除効果が見込めるため農薬散布の提案として妥当だと考える。

表 4.1.3-1 飛散低減ノズルの防除効果等に関する調査結果

飛散低減ノズルの防除効果等に関する調査結果（日植防研 2009）

作物名	病害虫名	場所	供試農薬		供試ノズル別の防除効果		
			剤型等	浸透移行性の有無	慣行	低減(中粒)	低減(大粒)
きゅうり	ワタアブラムシ	茨城	H乳剤	なし	A	A	A
			A顆粒水和剤	あり	A	A	A
		高知	A水和剤	あり	A	A	A
			N液剤	なし	D	D	D
	うどんこ病	高知	T水和剤	あり	A	A	A
			Bフロアブル	なし	A	A~B	B
		宮崎	Dフロアブル	なし	B	B	B
	べと病	宮崎	Dフロアブル	なし	B	B	B
トマト	疫病	茨城	R水和剤	あり	A	A	A
			Dフロアブル	なし	B	B	B
なす	ワタアブラムシ	宮崎	S顆粒水溶剤	あり	A	A	A
	タバココナジラミ	宮崎	S顆粒水溶剤	あり	A~B	B~C	A~C
キャベツ	黒腐病	茨城	Z水和剤	なし	?	?	?
	ヨトウムシ	茨城	F乳剤	なし	B	B	C
			Tフロアブル	なし	A	A	A
	コナガ	茨城	F乳剤	なし	B	C	B~C
			Tフロアブル	なし	B	C	C
	ニセダイコンアブラムシ	宮崎	Aフロアブル	あり	A	A	A
			D乳剤	なし	A	A	A
はくさい	ニセダイコンアブラムシ	高知	Aフロアブル	あり	A	A	A
			D乳剤	なし	B	D	D
いちご	うどんこ病	高知	Bフロアブル	なし	A~B	B~C	B~C
			S乳剤	なし	A~B	A~B	A~B
だいこん	白さび病	高知	Dフロアブル	なし	A	A	A
りんご(わい化)	ハダニ	秋田	Gフロアブル	なし	A	A	A

- 供試ノズルはいずれも2頭口。各ノズルのおよその平均粒径は，慣行 60~70μm，低減（中粒）200~300μm，低減（大粒）400~500μm。
- 防除効果は A：高い効果，B：十分な効果，C：やや力不足，D：効果なし，?：効果判定できず，を示す。各ノズル間で同等の記号が示されている場合はノズル間の差異がないことを示す。いずれのノズルにも D が示されている試験は，供試農薬自体の効果が得られなかったことを示す。
- いずれの試験とも，ノズルごとの散布量はほぼ同等である。

出典:日植防研 2009

また、従来、自動走行システムは技術開示がクローズドであり、ユーザーによるカスタマイズが難しく、ソフトウェア更新の費用負担が大きくなる傾向があった。本システムでは、自動走行システムをオープンソースで構成することにより、ユーザーも一部機能拡充することが可能となり、多様な農業環境で活用が可能となる点についても新規性が高いと考えられる

実証地の高知県北川村では、農薬散布ドローンを用いた防除の実証をこれまで実施してきたが、本実証におけるモバイルムーバーを用いた防除ソリューションと組み合わせた防除体系の社会実装を検討する。モバイルムーバーを併用する理由は、ドローンを用いた農薬散布のデメリットを補完するためであり、具体的には、①散布可能な農薬が限られている点、②一度のフライトでの散布可能量が制限される点、③現場にオペレータを配置する必要がある点の 3 点がデメリットして挙げられる。モバイルムーバーを用いた農薬散布では、農薬に制限はなく、散布可能量がドローンよりも多い。また、遠隔監視・操縦が実現した場合は、現場に作業員を配置する必要がなく、より作業工数の削減に寄与できると考えられる。他方、モバイルムーバーは急傾斜地では使用できないため、本実証では圃場の傾斜が 15 度以上の場合はドローンを使用して防除エリアを補完する計画としている。従って、モバイルムーバー単体では、本実証が対象とするよ

うな山間地域の圃場を全てカバーすることはできず、ドローンとモバイルムーバーの併用による防除ソリューションが最適であると考える。

表 4.1.3-2 防除活用におけるモバイルムーバーとドローンの比較

	モバイルムーバー	ドローン
メリット	• 散布可能量がドローンと比べて多い • 同時に草刈りソリューションを用いて草刈り作業のサポートが可能になる • 遠隔監視・操縦が実現できれば現地に作業員を配置しなくてよい	• 空中から散布するため傾斜地の圃場や樹木間が狭い圃場での散布が可能 • 品質調査により手散布と同様の品質が確認されている
デメリット	• 傾斜地、段状の畑ではモバイルムーバーが通過できない	• ドローン散布に登録されている農薬が限られている • 一度のフライトでの散布可能量がタンクの容量やバッテリー容量により制限される • 現地に複数名のオペレータ、補助員を配置する必要がある
使用シーン	• 平地（傾斜15度以内）、かつ樹木間 1 m以上が確保された圃場における農薬散布	• 傾斜地(傾斜15度以上)における農薬散布 • 樹木間が1m以内の密集地における農薬散布
対象圃場	• 土佐北川農園 平地(15° 以内) • 平鍋地区圃場　傾斜地(15° 以内) • 安芸市圃場	• 土佐北川農園 傾斜地(15° 以上) • 平鍋地区圃場 傾斜地(15° 以上)
対象薬剤	• 全ての剤	• 無人航空機での散布が許可されている剤のみ
オペレーター	• 圃場での作業員なし、遠隔で1名のオペレーター	• 圃場に2名以上のオペレーター、補助員

2） 新規就農者遠隔指導ソリューション

「バーチャル圃場訪問」は従来実証で類似の取り組みはないと認識しており、4K360°VR 技術により仮想的なゆず圃場の訪問をリアルタイムで行う点に新規性があると考えている。

「遠隔指導システム」は、一次産業をはじめ、二次産業などの他の実証事業でも多く活用されている。他方、特に果樹の中でもゆずにおいては、経年でのデータ収集が遅れていることが課題となっており、「遠隔指導システム」と合わせ圃場のセンシングデータを活用し、個々の果樹の状態に合わせてデータ駆動型農業を実践する（令和 5 年度を含めた継続実証の中で実現可能性の検討を行う）ことができる点で新規性を有すると考えている。

（2） 過年度実証事業との関連性

1） モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

過年度の高知県におけるゆず栽培に関する実証では、ゆず栽培の超省力・早期成園化実証を通じた持続的中山間農業構築モデル事業として、労働生産性の向上と高品質果実に対する供給不足の解消に向け、ドローンとモバイルムーバーによる農薬散布、モバイルムーバーによる運搬作業や草刈り・防除、鳥獣対策、ロボットアームによる摘果作業を試みた。また、作業中の転倒などを遠隔から見守るシステムを行う他、選果の効率化を行う 5 面選果システムを導入した。成園管理労働時間は 25%減に加え、労働性の向上や安全の向上、負荷の低減を目標とした。

過年度の実証にて、モバイルムーバーがリモコン操作で圃場を走行することができ、防除作業も問題なく行えた実績から、今年度の実証フィールドでも問題なく走行できると判断し、過年度の実証と同様にモバイルムーバーを使用することとした。過年度の農薬散布の検証結果を踏まえた改良と、昨年度には実現できなかった防除機能と草刈り機能の両立を試みる。さらに、改良と新機能の追加が行われたモバイル

ムーバーは実証後に実運用を目指し今回の実証では事業運営を行う元気会とともにサービスの運用方法や適正価格の検証を行うことで検証の結果を社会に還元することを新たな目標とした。

また、本実証で検証する自動防除ソリューションは過年度に EV を用いて北海道のブドウ農園にて実施された実績がある（令和 3 年度「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」）。ブドウとゆずの栽培環境を比較するとゆず圃場では樹木間隔が狭い場所が多く、北海道で実証した EV では通行できない箇所も多いため、車幅が 600mm の小型車両であるモバイルムーバーでの実現可能性・効果を新たに検証する。さらにブドウ農園はゆず圃場（を含む柑橘系の果樹圃場）と比較して緩傾斜の割合が多く、傾斜環境での走行性・効果についての新たに検証を行った（図 4.1.3-1）。

	５度未満	５～１５度	１５度以上
果樹全体	52	27	21
みかん	22	34	44
りんご	70	24	6
なし	77	18	6
かき	54	28	17
もも	77	19	4
ぶどう	71	22	8

資料：農林水産省生産局果樹花き課調べ

注）なしは、西洋なしを含む。

図 4.1.3-1 果樹園の傾斜度別面積割合（平成 14 年度、単位は%）

2） 新規就農者遠隔指導ソリューション

令和 3 年度「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」および「フリーストール牛舎での個体管理作業の効率化に向けた実証事業」において、スマートグラスを用いて遠隔指導を行う実証と類似している。ただし、本実証では、中山間地域特有の飛び地圃場であること、遠隔指導と合わせ圃場のセンシングデータを活用し、個々の果樹の状態に合わせデータ駆動型農業を実践することができる点において差異がある。

4.1.4 実証目標

(1) モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

① 機能検証

- モバイルムーバーの遠隔監視に必要なスループット
  ローカル 5G の大容量通信に基づく性能に関して、複数台のモバイルムーバー(モバイルムーバーの遠隔監視のための前後カメラ)の映像伝送に必要なスループット UpLink:36Mbps 以上の伝送容量を担保できるかについて検証を行った。
- モバイルムーバーの遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離
  モバイルムーバーを安全に運用することを目的として、樹木を傷つけない安全距離確保の観点から、遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離を 1m 以内として検証を行った。
- モバイルムーバーの遠隔監視に係る映像品質
  モバイルムーバーの運行の様子を遠隔から支障なく監視できるかを確認するため、オペレータへの映像品質アンケートにおいて平均で 4 以上(5 段階評価、対面と同水準以上)を目標として検証を行った。
- モバイルムーバーの樹木間最小 1m を通行可能とするための走行精度
  モバイルムーバーを安全に運用することを目的として、樹木を傷つけない走行精度確保の観点から、走行精度を±10cm 以内として検証を行った。
- 伝送遅延の測定
  モバイルムーバーの遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離を達成するために必要な伝送遅延を 400ms 以内として検証を行った。これは、停止までの走行距離が目標達成できた場合はおのずと達成可能であるが、達成できなかった場合の原因の特定のために測定を行った。
  なお、400ms の設定根拠は以下の通りである。
  最大許容遅延については、モバイルムーバーソリューションの運用上必須となる遠隔監視時の停止距離 1mを達成するために、どの程度の遅延までであれば許容されるかをもとに算出した。
  モバイルムーバーは時速 2km(秒速 50cm)で走行するため、停止距離 1m を達成するためには、ムーバーから映像が伝送されてから実際に停止するまでに 2 秒以内となる必要がある。そのうち、遠隔支援センターからモバイルムーバーまでの制御遅延を機能検証の目標としたときに、その他のパスの遅延も踏まえて合計で 2 秒以内になるように目標値を設定した。
  その他のパスの遅延については以下を想定している。
  ・映像伝送遅延:0.6 秒
  (設定根拠:一般的に遠隔監視が可能とされる映像伝送遅延時間。本実証での測定結果も 0.5-0.6 秒程度であった。)
  ・オペレータの反応による遅延:1.0 秒
  (設定根拠:諸説ありオペレータの個人差も大きいが、大きく間違っていない値として、おおよそ 1 秒を設定している。参考文献:牧下寛,松永勝也,自動車運転中の突然の危険に対する制動反応の時間,人間工学 Vol.38,No.6('02))

上記を踏まえて制御遅延の目標値としては 0.4 秒(400ms)と設定した(2 秒-0.6 秒-1.0 秒=0.4 秒)

② 運用検証

- オペレータ向けマニュアルによる運用性
  サービス事業者のオペレータが問題なくモバイルムーバーの運用を行えるかを確認するため、オペレータを対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上(5 段階評価)を目標として検証を行った。
- 生産者向けマニュアルによる運用性
  サービス利用者の生産者が問題なくモバイルムーバーの運用を行えるかを確認するため、生産者を対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上(5 段階評価)を目標として検証を行った。
- 感水紙を用いた農薬散布状況の測定
  モバイルムーバーの防除作業性を確認するため、樹木の上部・中部・下部に感水紙を設置して農薬散布を行い、上部・中部・下部の全てが反応する速度・ルート(片道・往復)の検証を行った。

③ 効果検証

- モバイルムーバーの活用による慣行と比較した農薬散布にかかる作業時間の削減効果
  慣行の防除作業時間と比較した際の作業時間削減効果として 50%減を目標として、検証を行った。
- モバイルムーバーの活用による慣行と比較した草刈りにかかる作業時間の削減効果
  慣行の草刈り作業時間と比較した際の作業時間削減効果として 35%減を目標として、検証を行った。なお、本実証期間中は草刈り作業を行わない時期であるため、想定される作業時間をもとに削減効果の算出を机上にて実施した。モバイルムーバーを用いた草刈り作業の検証は令和 5 年度の継続実証にて実施を予定している。

なお、今年度においては複数台(3 台)全てのモバイルムーバーの改良が間に合わないため、既に現地で保有している 1 台のモバイルムーバーにて各検証を行い、令和 5 年度の継続実証において 3 台全ての同時運行のもとで検証を行う予定とした。

（2） 新規就農者遠隔指導ソリューション

本実証では、新規就農者の獲得および新規就農者への教育および農業運営の効率化の実現のため、今回構築するローカル 5G などの環境下において「バーチャル圃場訪問」「遠隔指導システム」に関する実証を行い、効果・運用面等の観点から検証を実施した。

1） バーチャル圃場訪問

① 機能検証

- バーチャル圃場訪問に係る映像・音声品質
  ローカル 5G を利用した高品質な双方向コミュニケーションが実現できるかを確認するため、バーチャル圃場訪問イベント参加者と対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上（5 段階評価、対面と同水準以上）を目標として検証を行った。

② 運用検証

- 4K360°VR カメラの操作性、バーチャル圃場見学での運用性
  配信用 360°カメラや VR ゴーグルの運用性に問題が無いかを確認するため、シナリオに沿った模擬的なバーチャル圃場訪問を実施して、配信者を対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上（5 段階評価）を目標として検証を行った。

なお、バーチャル圃場訪問については新規就農希望者数の増加を目標として検証を進めている。継続実証を含めた令和 5 年度までの具体的な数値目標として、新規就農希望者を 2 名に増やすこと、参加者アンケートでの平均評価値 4 以上（5 段階評価）を設定しており、今年度の段階では、参加者アンケートでの平均評価値 4 以上の評価まで実施した。

2） 遠隔指導システム

① 機能検証

- 遠隔指導システムに係る映像・音声品質
  ローカル 5G を利用した高品質な双方向コミュニケーションが実現できるかを確認するため、指導者および作業者を対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上（5 段階評価、対面と同水準以上）を目標として検証を行った。

② 運用検証

- スマートグラスの操作性・遠隔指導システムの運用性
  ローカル 5G を利用した高品質な双方向コミュニケーションが実現できるかを確認するため、指導者 1 人に対して作業者 2～5 人のパターンで遠隔指導を実施し、作業者を対象としたアンケートにおいて平均で４以上（５段階評価、対面と同水準以上）を目標として検証を行った。

③ 効果検証

- 遠隔指導システムの活用による慣行と比較した指導にかかる時間の削減効果
  慣行の指導時間と比較した際の作業時間削減効果として 33%減を目標として、検証を行った。

（3） ローカル 5G モデルの実装性

① 経済性・市場性の検証

- 潜在的なユーザーも含め、本ソリューションの市場性の把握を行うため、安芸地区の生産者を対象としてソリューションへの関心と支払い希望額のアンケート調査を行った。

② 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

- 本ソリューションの社会実装モデルであるシェアリングサービスモデルについて運用スキームの精緻化を行い、収支の黒字化可否について検証を行った。

4.2 実証環境

本事業における課題実証ソリューションの主要な実証場所は、過年度に実施した北川村の土佐北川農園において実施する。土佐北川農園の中には平坦な土地から傾斜度 13°程度の緩傾斜エリアと 15°以上の急傾斜エリアにわかれており、このうちモバイルムーバーが走行可能なエリアとしては、樹木間距離が 1m 以上確保可能な約 60%程度となる。また急傾斜エリアについてはドローンを用いて防除を行う実装計画とした（図 4.2-1、図 4.2-2）。

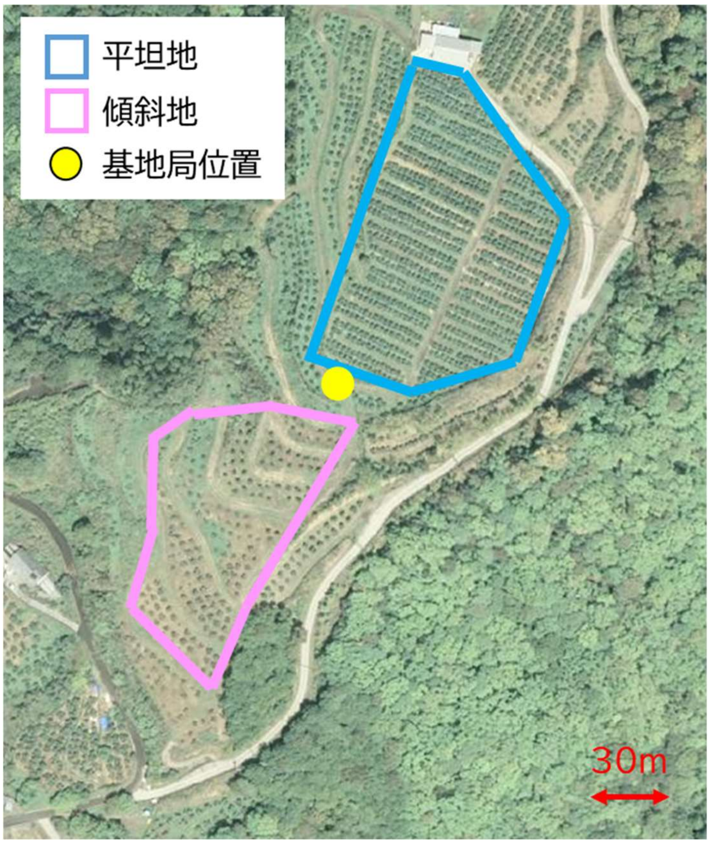


図 4.2-1 土佐北川農園
出典：地理院地図を加工して作成

図 4.2-2 土佐北川農園における斜度の状況：
色塗りのエリア（傾斜 13 度以下、樹木間距離 1m 以上）のエリアがモバイルムーバーでの走行検討エリア（圃場全体の約 60%、1.44ha）、15 度以上の急傾斜エリアはドローンでの防除を想定
出典：地理院地図を加工して作成

また本実証では図 4.2-3 の通り、北川農園に設置したローカル 5G 基地局からインターネット網を通じて北川村内にある遠隔監視センターと接続し、遠隔監視センターからモバイルムーバーの自動運行状況を監視可能な構成として実証を行う。北川農園内にはモバイルムーバーをはじめ各種カメラ等を設置し、ローカル 5G 通信環境下で各映像を伝送可能な構成とした。

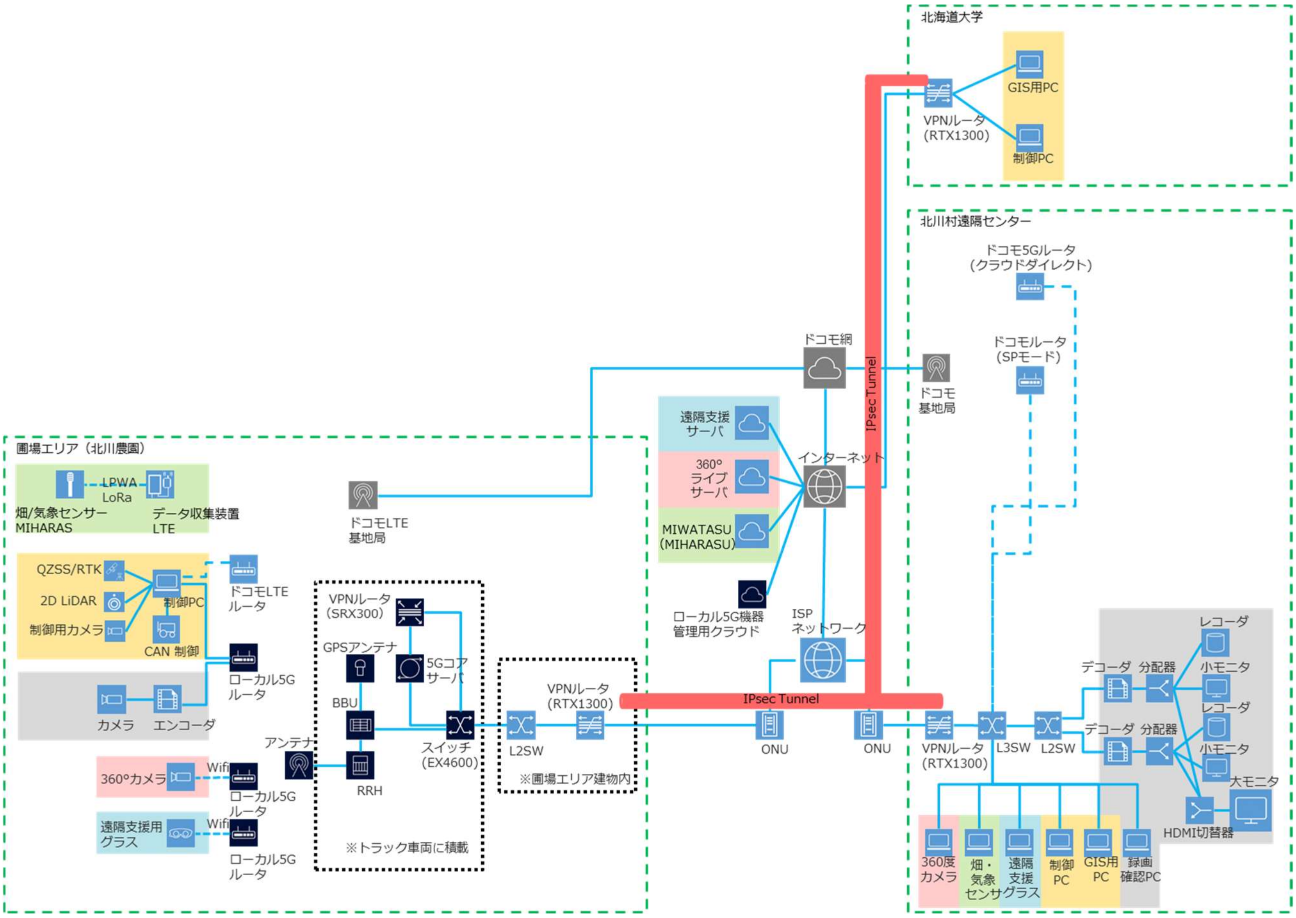


図 4.2-3 システム構成図（再掲）

また本実証事業においては、前述した通り課題実証ソリューションのサービス展開を視野に入れて、令和 5 年度の継続実証において、シェアリングモデルでの実装性の検討を行う。シェアリングモデルのコンセプトとしては、本実証機器を複数の圃場に貸し出し、作業を元気会において集約して代行することによってイニシャルコスト、ランニングコストの低減可能性を訴求することにある。そのため令和 5 年度の継続実証においては土佐北川農園以外の圃場を安芸市も含めて選定し、土佐北川農園と同様の検証を実証することを検討している（表 4.2-1）。

検証内容としては、今年度に実施しているモバイルムーバーを用いた自動防除・草刈りソリューションにより生産者コストの低減効果を検証するとともに、モバイルムーバーのシェアリングに係る運用性について評価を行う予定としている。なお、安芸市で選定した圃場ではキャリア 5G 環境が構築されており、キャリア 5G により同ソリューションの適用性を検証する予定としている。また土佐北川農園以外に北川村管内で選定した圃場は圃場面積が小さくモバイルムーバー1 台での運用が可能と想定していることから LTE 網にて効果検証を行う予定である。大規模な農場では複数台のモバイルムーバーを使用するため、ローカル 5G の運用が必要不可欠である。土佐北川農園の場合は 3 台のモバイルムーバーを使用する想定であるため、ローカル 5G で運用を行う。

表 4.2-1 令和 5 年度の事業を含む実証圃場の概要

圃場	面積	MM運用エリア	ドローン運用エリア
土佐北川農園	2.4ha	60%（1.44ha）	40%（0.96ha）
北川村圃場	0.4ha	20%（0.08ha）	80%（0.32ha）
安芸市圃場	0.1ha	100%（0.1ha）	-
合計	2.9ha	55.9%（1.62ha）	44.1%（1.28ha）

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

1）　検証項目

a. モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

4.1.4 での記載の通り、機能検証としては、ローカル 5G 機能として複数台のモバイルムーバーの運用状況をモバイルムーバーに搭載した前後カメラの高精細映像を遠隔から監視可能とするための大容量通信機能を対象として、最大負荷時のスループットについて検証を行った。

またモバイルムーバーの自動運行、遠隔操縦性の観点から、傾斜 13 度以内かつ樹木間距離 1m を走行可能とするための走行精度、遠隔からの監視に係る映像・音声品質、遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離についても合わせて検証を行った。

【検証項目】

① モバイルムーバーの遠隔監視に必要なスループット
モバイルムーバー1 台あたり前後 1 台ずつカメラを搭載し、3 台合わせて計 6 台のカメラからの高精細映像を同時に通信できるスループットとして、UpLink：36Mbps 以上の伝送容量を目標 KPI として検証を行った。

② モバイルムーバーの遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離
モバイルムーバーを安全に運用することを目的として、樹木を傷つけない安全距離確保の観点から、遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離を 1m 以内に目標 KPI として実証を行った。

③ モバイルムーバーの遠隔監視に係る映像品質
オペレータのアンケートでは平均で 4 以上（5段階評価、対面と同水準以上）を目標として設定した。

④ モバイルムーバーの樹木間最小 1m を通行可能とするための走行精度
モバイルムーバーを安全に運用することを目的として、樹木を傷つけない走行精度確保の観点から、樹木間最小 1m 以内での走行を可能とするため、モバイルムーバーの幅 60cm を考慮し、余裕を持たせて走行精度が±10cm に収まることを目標として設定した。

⑤ 伝送遅延の測定
検証項目②のモバイルムーバーの遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離を達成するために、必要な伝送遅延の目標として 400ms を設定した。この目標は②が達成できていれば、おのずと達成可能であるが、②が達成できなかった場合の原因の切り分けとして測定を行った。

b. 新規就農者遠隔指導ソリューション

新規就農希望者へのバーチャル圃場および新規就農者、若手圃場作業員への遠隔指導を実現するために、各ソリューションでの映像品質を検証した。

【検証項目】

① バーチャル圃場訪問に係る映像・音声品質
ローカル 5G を利用した高品質な双方向コミュニケーションが実現できるかを確認するため、バーチャル圃場訪問イベント参加者と対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上(5 段階評価、対面と同水準以上)を目標として検証を行った。

② 遠隔指導システムに係る映像品質
ローカル 5G を利用した高品質な双方向コミュニケーションが実現できるかを確認するため、指導者および作業者を対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上(5 段階評価、対面と同水準以上)を目標として検証を行った。

2） 検証方法

a. モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

【検証方法】

① モバイルムーバーの遠隔監視に必要なスループット
スループット測定に一般的に使用されるソフトウェアである iperf を使用した。測定方法として、遠隔監視センターと圃場に 1 台ずつ PC を用意し、遠隔監視センターの PC をサーバ、圃場の PC をクライアントとして測定を行った。測定環境として、モバイルムーバー3 台同時走行を想定して、カメラ 6 台の映像を伝送して負荷をかけた状態で iperf の通信を行っている。測定は圃場内のモバイルムーバーが走行することを想定しているエリア内から 6 か所を抽出して行った。各地点で 3 回ずつ計測した平均値を測定値とした。
LTE について計測方法および計測地点は同じであるが、各地点での測定は 1 回ずつ行った。

② モバイルムーバーの遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離
モバイルムーバーの遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離を測定し、安全性を検証した。テスト条件は路面状況、勾配、作業をパラメータとして 4 つのテストケースで停止までの距離を測定した。計画時点では植生もパラメータとして想定していたが、冬季でモバイルムーバーの走行経路に背丈の高い雑草がないため、パラメータから除外した。植生の影響については、別途検証を行い、雑草の背丈の高さによるモバイルムーバーの自動走行への影響を検証した。

③ モバイルムーバーの遠隔監視に係る映像品質
モバイルムーバーに設置したカメラからの映像で遠隔監視が問題なく行えるかを確認するため、モバイルムーバーの前後カメラの映像を遠隔操作センターに伝送する際の映像品質について、遠隔操作センターの作業者に対する品質調査アンケートを実施した。映像品質は鮮明さ、ノイズ、途切れ

をそれぞれ5段階で調査した。鮮明さは映像の画質を評価し、対面と同水準の場合を4として評価した。映像の画質が悪くドット絵のようになっている状態を1として、その他は段階的に評価した。ノイズについては映像の乱れを評価し、対面と同水準の場合を4として評価した。画面全体に常に乱れがある状態を1として、その他は段階的に評価した。途切れについては映像の途切れ(カクつきがあるか)を評価し、対面と同水準の場合を4として評価した。画面が数秒以上止まっている状態を1として、その他は段階的に評価した。

④ モバイルムーバーの樹木間最小 1m を通行可能とするための走行精度

モバイルムーバーの走行性能を検証し、樹木間を走行できることを確認した。走行性能は目標経路に対する実走行経路の偏差を車載の RTK-GNSS で測定した。テスト条件は停止試験と同様の4つのケースに対して行った。エリアカバー率は土佐北川農園において約 60%、その他の 2 圃場と合わせて約 56%となる。走行精度の測定は目標経路の位置情報と実走行経路の位置情報を RTK-GNSS で取得し、偏差を評価した。計画時点では、旋回や遠隔操縦をパラメータとして加えていたが、実際の運用方法を精緻化した結果、旋回は行わずバック走行を行うこと、遠隔操縦は障害物の回避等で使用し、防除は自動走行のみで行うこととなったため、自動走行の前進と後進での走行精度を検証した。

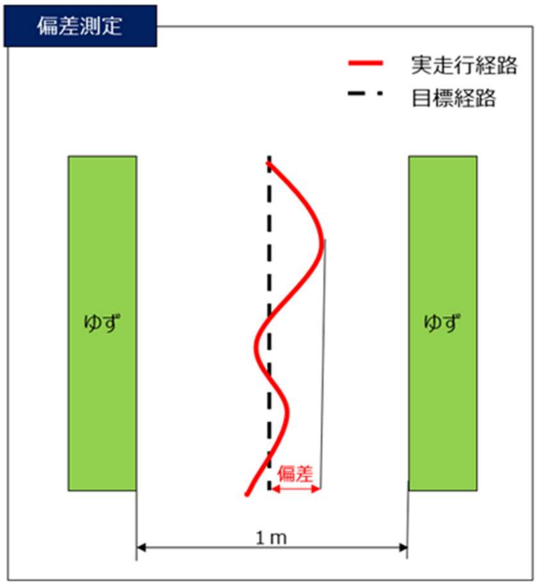


図 4.3.1-1 走行精度検証のイメージ図

表 4.3.1-1 走行精度検証の結果イメージ図

	テスト条件（停止性能）			
No.	路面	植生	勾配	作業
1	良好	なし	なし	防除
2	良好	なし	13度	防除
3	良好	あり	なし	防除
4	濡れ	なし	なし	防除
5	濡れ	あり	13度	防除

⑤ 伝送遅延の測定

モバイルムーバーソリューションの運用上必須となる遠隔監視時の停止距離目標(1m 以内)を達成するために必要な遅延性能を満たすことができるかを検証するため、伝送遅延の測定を行った。

停止可能距離に関する遅延要素としては下記の図の通り映像伝送遅延・反応速度・制御遅延があるが、そのうち制御遅延について目標値を設定し評価・検証を行った。また参考値として、映像伝送遅延およびオペレータの反応による遅延、制動距離についても測定を行った。

＜測定方法＞

- 制御伝送遅延

遠隔操作拠点の制御 PC からモバイルムーバーの制御 PC までの制御遅延を ping で往復の遅延を測定した。

- 映像伝送遅延

2 台のデジタル時計を同期させた上で現地と遠隔操作拠点でそれぞれ測定し、映像と遠隔操作拠点の時計の差分から遅延時間を測定した。

映像伝送

a エンコーダーからローカル 5G ルータまでの映像伝送遅延

b ローカル 5G ルータからインターネット接続のルータまでのローカル 5G 伝送遅延

c インターネット伝送遅延

d ルータからデコーダーまでの映像伝送遅延

オペレータの反応による遅延

e モニター目視から制御操作までの時間

制御信号伝送

f 遠隔制御 PC からルータまでの伝送遅延

g インターネット伝送遅延

h ルータからモバイルムーバー制御 PC までの伝送遅延

モバイルムーバーは時速 2km(秒速 50cm)で走行するため、停止距離 1m を達成するためには、

ムーバーから映像が伝送されてから実際に停止するまでに 2 秒以内となる必要がある。そのうち、制御遅延以外の遅延要素と、制動距離を考慮したバッファについては基準値として以下のような値を設定した。

・映像伝送遅延：0.6 秒
・オペレータの反応による遅延：1.0 秒

上記を踏まえて制御遅延も含めて 2 秒以内になるように制御遅延の目標値を 0.4 秒（400ms）と設定した
※2 秒-0.6 秒-1.0 秒＝0.4 秒

b. 新規就農者遠隔指導ソリューション

屋外のゆず圃場においてローカル 5G を利用した高品質な双方向コミュニケーションが実現できるかを確認するため、以下のようなアンケートを実施した。なお、映像の鮮明さとは画質を表しており、映像が途切れた場合でも画質が乱れていない場合は鮮明さに問題はないとして評価した。

表 4.3.1-2 新規就農遠隔指導ソリューションの機能アンケートフォーム

評価基準

評価基準	非常に良い	良い	普通	悪い	非常に悪い
点数	5	4	3	2	1

単体試験

	実施場所	映像			音声		
		鮮明さ	ノイズ	途切れ	音質	ノイズ	途切れ
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

複数台試験

	台数	映像			音声		
		鮮明さ	ノイズ	途切れ	音質	ノイズ	途切れ
1	1 台						
2	3 台						
3	5 台						

【検証方法】

① バーチャル圃場訪問に係る映像・音声品質

1 月 19 日に実施したバーチャル圃場訪問イベントにおいては、イベント参加者として香川会場から 7 名、東京会場から 1 名が VR ゴーグル(Meta Quest 2)を用いて参加し、実証圃場である高知県北川村の土佐北川農園と 360°カメラ 1 台の中継を実施した。映像品質(画質やノイズ等)、音声、遅延等の通信環境について参加者(計 8 名)に対してアンケートを実施した。

② 遠隔指導システムに係る映像・音声品質

スマートグラス(最大 5 台)を用いて圃場の作業者の映像を監視センター等の光回線が用意できる場所を指導員拠点とみなし、映像品質(画質やノイズ等)、音声、遅延等の通信環境について、指導員・被指導員(最大 5 名)に対してアンケートを実施した。

3) 検証結果および考察

a. モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

① モバイルムーバーの遠隔監視に必要なスループット

モバイルムーバーの遠隔監視に必要なスループットについての検証を行った。測定地点を 6 か所設定し、各地点についてスループットおよびカメラ 6 台の映像品質を調査した。測定は 2023 年 1 月 13 日に行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

検証結果として、地点 4 では UL で 80Mbps という測定結果が得られ、ローカル 5G の優位性が確認できたが、その他の地点では UL で 1Mbps 以下という LTE を下回る結果となった。目標である 36Mbps について、地点 4 では目標を大きく上回ることができた。また、実際にカメラ 6 台の映像品質を確認し、鮮明でノイズも途切れもない映像が得られることを確認できた。一方で、地点 4 以外では目標を達成することができず、実際にカメラ 6 台の映像品質を確認しても、不鮮明でノイズや途切れの多い映像となっていることが確認できた。

本検証結果についての考察として、地点 4 以外の場所にローカル 5G の電波が十分に達しておらず、本来のパフォーマンスを発揮できていないことが原因として挙げられる。本実証で使用しているローカル 5G のアンテナは指向性のものを使用しており、アンテナの向きがローカル 5G の電波強度に大きな影響を及ぼす。現在はアンテナが地点 4 よりやや西側の方向を向いており、地点 5 や 6 の方向への電波が十分な強度に達していないと考えられる。また、地点 1-3 のアンテナから遠い位置では、ゆずの樹木が電波を遮蔽し、十分な強度の電波が得られていないと考えられる。従って、アンテナの方向を地点 5 の方向に変更することで、地点 4-6 で十分な強度の電波が得られ、80Mbps 程度のスループットが得られることが期待できる。

また、スループットと映像品質の関係性について、十分なスループットが得られない場合は映像品質が悪くなることが確認された。ここで良い映像品質というのは、鮮明さ、ノイズ、途切れの全項目で4以上の評価を得ている状態である。例えば、鮮明さが4で途切れが3の場合、コマ送りの画質一枚ずつは鮮明であるが映像としては途切れがある状態を示している。従って、十分な映像品質を確保するには、地点4のような高いスループットが必要である。

なお、全方向性のアンテナを使用した場合、他者の土地に電波影響が出てしまうため、本実証では指向性のアンテナを使用した。アンテナの方向により電波が十分な強度に達していないことが判明した後、アンテナの向き変更に向けて調整を行ったが、シミュレーションや免許再申請の確認、工事スケジュールに時間を要し、本実証期間内で実施することができなかった。令和 5 年度の継続実証において十分な電波強度で実証を行うため、3 月にはアンテナ方向の調整を実施する予定である。今回の結果を踏まえて、異なるアンテナ機器の使用や、今回とは異なるアンテナ設置器具を使用し、カバーエリアを広げるために 2 つの 2 ポートアンテナの水平角度を異なる状態で設置する等の対応策についても引き続き検討する予定である。

また、スループットの UL と DL に差異について、MIMO の違い(UL:2×2 MIMO、DL:4×4 MIMO ※単純計算で 2×2 MIMO の 2 倍伝送が可能)、TDD における使用フレームの割合(UL:DL=約 3:10)、最大変調方式の違い(UL:最大 64QAM、DL:最大 256QAM ※単純計算で 64QAM の 1.3 倍伝送が可能)から、およそ UL:DL=1:10 となる想定である。しかしながら、基地局とは異なり UL における出力は最大 200mW という弱い電力しかだせず、遠距離や見通しの悪い場所においては UL の送信に限界がある。また、その分基地局側の増幅器で不足分を補うため DL よりも雑音も多くなると考えられ、エラー率の上昇も考えられる。また、端末は基地局からの距離等を推測した上で常に出力を変化させている点から実際には 1:10 よりもさらに UL が少ないスループットとなっていると考えられる。

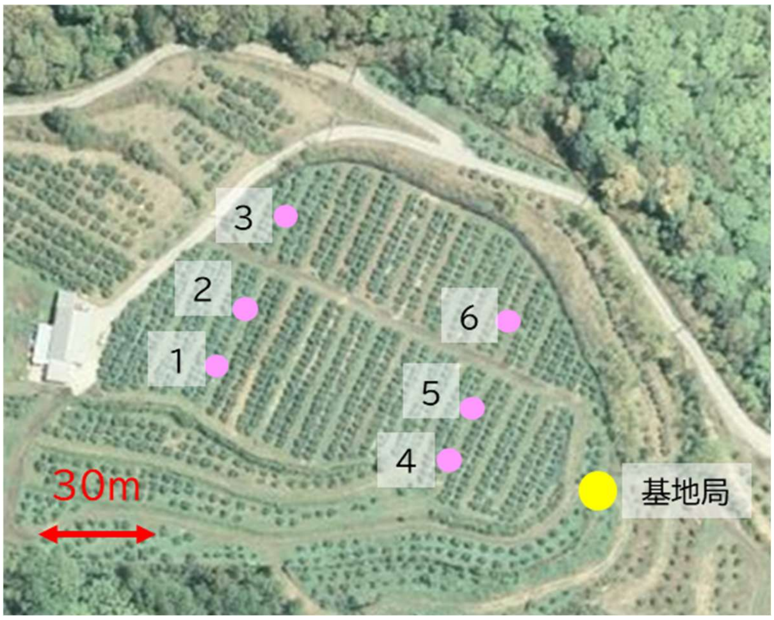


図 4.3.1-2 測定地点の位置関係
出典:地理院地図を加工して作成

表 4.3.1-3 スループットの測定結果

地点	L5Gスループット		LTEスループット		L5G映像品質			目標
	UL[Mbps]	DL[Mbps]	UL[Mbps]	DL[Mbps]	鮮明さ	ノイズ	途切れ	
1	0.58	139.90	0.38	1.27	4	4	3	NG
2	0.51	55.67	2.85	4.93	3	3	2	NG
3	測定不可	9.00	4.64	5.17	1	1	1	NG
4	80.93	206.00	3.70	3.51	5	5	5	OK
5	0.77	79.27	6.67	6.25	4	3	3	NG
6	測定不可	測定不可	5.67	4.64	3	3	1	NG

図 4.3.1-3 カメラ 6 台での映像伝送の様子

② モバイルムーバーの遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離

モバイルムーバーの遠隔での停止指令から実際の停止までの走行距離を測定した。パラメータとして、路面状況が良好な場合と路面の濡れがある悪路の場合および、勾配がない平坦地と 13 度程度の勾配がある傾斜地を組み合わせた 4 パターンで検証を行った。走行速度は 2km/h である。全てのパターンで防除用のホースを装着して検証を行った。測定は全て 3 回ずつ行い、平均値を取っている。測定は 2023 年 1 月 10 日に行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

また、植生もパラメータとして検証する計画としていたが、冬季で雑草が少なくコースを設定することができなかったため、パラメータから除外している。植生をパラメータとして含めた意図は Lidar での自動停止機能への植生の影響を検証することにあったので、植生の影響については別途確認した。

検証結果として、No.1-3 では目標である停止距離 1m 以内を達成することができた。No.4 の傾斜かつ悪路の場合に停止距離 1m を 10cm 超える結果となった。

本検証結果についての考察として、勾配を下る場合は平坦地と比較して、30-50cm 程度は停止距離が長くなることが確認できた。停止距離が長くなった原因として、傾斜の影響は当然あると考えられるが、その他の影響としてはネットワークの遅延時間の影響が考えられる。スループット測定で考察した通り、現在は圃場の東側の傾斜地は電波が十分な強度で届いていないと考えられる。後に映像遅延と制御遅延の検証結果を示すが、傾斜地では平坦地よりも遅延が大きいことが確認

された。2023 年１月現在の本実証圃場では、電波が弱い位置と傾斜地が重なっており、切り分けが困難ではあるが、スループット試験と同様にアンテナの方向を変更することで傾斜地でも目標を達成することが期待できる。一方で安全面への配慮は必要であるため、傾斜地での運用の注意事項として、平坦地よりも停止距離が長くなることをマニュアルに記載した。

次に、植生の影響についてもここで検証結果を示す。冬季のため、モバイルムーバーが走行する経路に背丈の高い雑草が生えていなかったため、雑草を用意して Lidar の停止性能を確認した。結果として、走行経路に Lidar の設置位置より背丈が高い雑草が存在した場合は、Lidar が検知して自動停止することが確認できた。Lidar の設置位置より低い位置に雑草が存在した場合は検知せずに自動走行を継続することが確認できた。従って、実運用では雑草が Lidar の高さより低い状態で走行する必要がある。

図 4.3.1-4 走行経路の位置関係
出典：地理院地図を加工して作成

表 4.3.1-4 停止距離の測定結果

No.	路面	勾配	作業	停止距離[cm]	目標
1	良好	2-6°	防除	66.3	OK
2	悪路	2-6°	防除	62.7	OK
3	良好	8-13°	防除	93.7	OK
4	悪路	8-13°	防除	110.0	NG

図 4.3.1-5 走行経路の様子

図 4.3.1-6 悪路の様子

図 4.3.1-7 植生の影響調査の様子（Lidar 設置位置より背丈の高い雑草）

③ モバイルムーバーの遠隔監視に係る映像品質

モバイルムーバーの遠隔監視に係る映像品質についてアンケート調査を行った。測定地点を 6 か所設定し、各地点について停止時と走行時の映像品質を調査した。

検証結果として、地点 4 では映像品質が良くモバイルムーバーの遠隔監視に十分な品質であり、6 か所中で最高の品質であることが確認できた。その他の場所については、アンテナからの距離が遠ざかるにつれて、また位置が東側になるにつれて、映像の品質が劣化して行くことが確認できた。測定は 2023 年 1 月 13 日に行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

本検証結果についての考察として、スループット試験で考察した内容と同様に、地点 4 では十分な映像品質が得られていることから、アンテナの方向を変更することで十分な映像品質が得られると考えられる。今回の結果を踏まえて、スループット試験と同様に、異なるアンテナ機器の使用や、今回とは異なるアンテナ設置器具を使用し、カバーエリアを広げるために 2 つの 2 ポートアンテナ

の水平角度を異なる状態で設置する等の対応策についても引き続き検討する予定である。

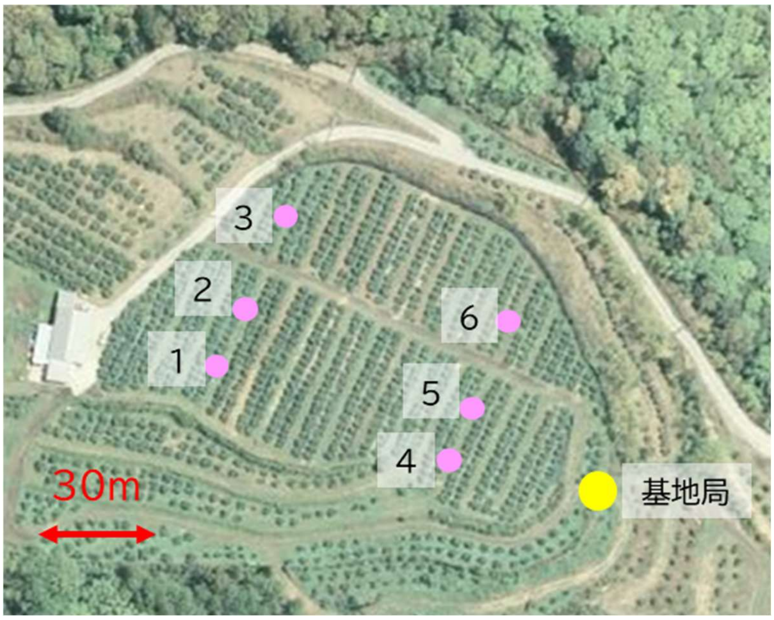


図 4.3.1-8 測定地点の位置関係
出典：地理院地図を加工して作成

表 4.3.1-5 映像品質のアンケート結果

地点	映像品質（停止時）			映像品質（走行時）			目標
	鮮明さ	ノイズ	途切れ	鮮明さ	ノイズ	途切れ	
1	3	3	4	3	4	4	NG
2	3	3	3	3	3	3	NG
3	2	3	2	3	2	2	NG
4	5	5	5	4	5	5	OK
5	4	5	5	4	4	5	OK
6	3	4	2	3	3	2	NG

④ モバイルムーバーの樹木間最小 1m を通行可能とするための走行精度

モバイルムーバーの樹木間最小 1m を通行可能とするための走行精度の検証を行った。パラメータとして、路面状況が良好な場合と路面の濡れがある悪路の場合および、勾配がない平坦地と 13 度程度の勾配がある傾斜地を組み合わせた 4 パターンで検証を行った。走行速度は 2km/h である。全てのパターンで防除用のホースを装着して検証を行った。測定は全て 3 回ずつ行い、最大値を取っている。測定は 2023 年 1 月 11 日に行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

平坦地（経度方向-40m から 0m）と傾斜地（経度方向 0m から 20m）に走行経路を設定し、一部区間を水で濡らし悪路を設定した。各経路に対して前進・後進をして、走行精度を測定知った結果を示す。目標経路からの偏差は、目標経路を$ax + by + c = 0$、実走行経路の座標を(x_0, y_0)とした

ときに、点と直線の距離の公式から、以下で算出できる。

$$\text{目標経路からの偏差} = \frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

検証結果として、全てのパターンで目標である走行精度 10cm 以内を達成することができた。実際の走行の様子を見ても、モバイルムーバーは樹木間をスムーズに通行することができており、モバイルムーバーの走行精度がゆずの防除を行う上で十分な性能であることが検証できた。

表 4.3.1-6 走行精度の検証結果

No.	路面	勾配	作業	走行精度[cm]	目標
1	良好	2-6°	防除	9.7	OK
2	悪路	2-6°	防除	4.1	OK
3	良好	8-13°	防除	9.7	OK
4	悪路	8-13°	防除	5.2	OK

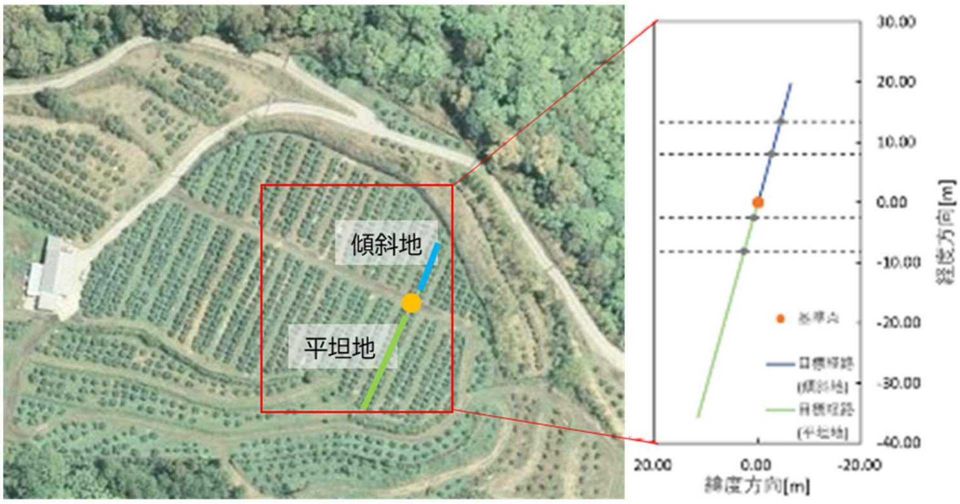


図 4.3.1-9 走行経路の位置関係と目標経路の緯度経度情報
出典:地理院地図を加工して作成

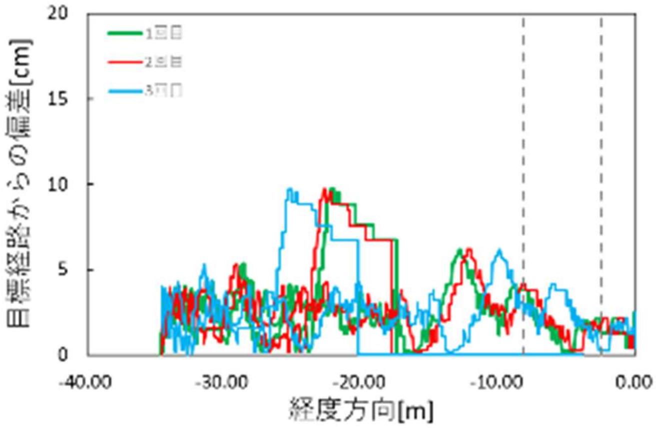


図 4.3.1-10 平坦地の測定結果

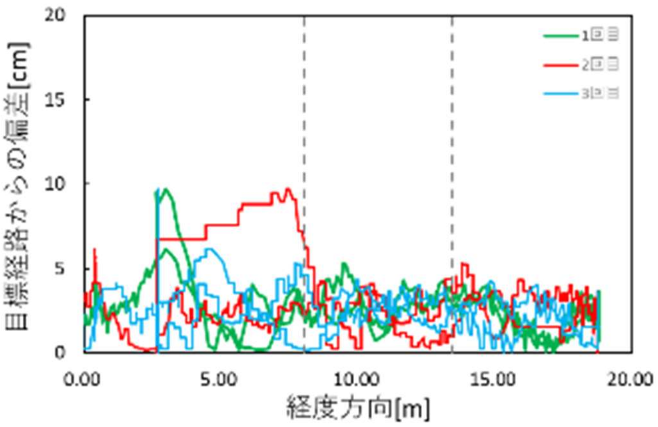


図 4.3.1-11 傾斜地の測定結果

⑤ 伝送遅延の測定

伝送遅延の測定を行った。測定地点を 6 か所設定し、各地点について映像伝送遅延と制御伝送遅延を調査した。

検証結果として、地点 4 では映像伝送遅延が 510ms、制御伝送遅延が 21ms とモバイルムーバーの遠隔監視に十分な性能であることが確認できた。また制御伝送遅延の目標値である 400ms を達成することができた。測定は 2023 年 1 月 13 日に行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

本検証結果についての考察として、スループット試験で考察した内容と同様に、地点 4 では十分な性能が得られていることから、アンテナの向きを変更することでその他の地点でも目標を達成することが期待できる。今回の結果を踏まえて、スループット試験と同様に、異なるアンテナ機器の使用や、今回とは異なるアンテナ設置器具を使用し、カバーエリアを広げるために 2 つの 2 ポートアンテナの水平角度を異なる状態で設置する等の対応策についても引き続き検討する予定である。

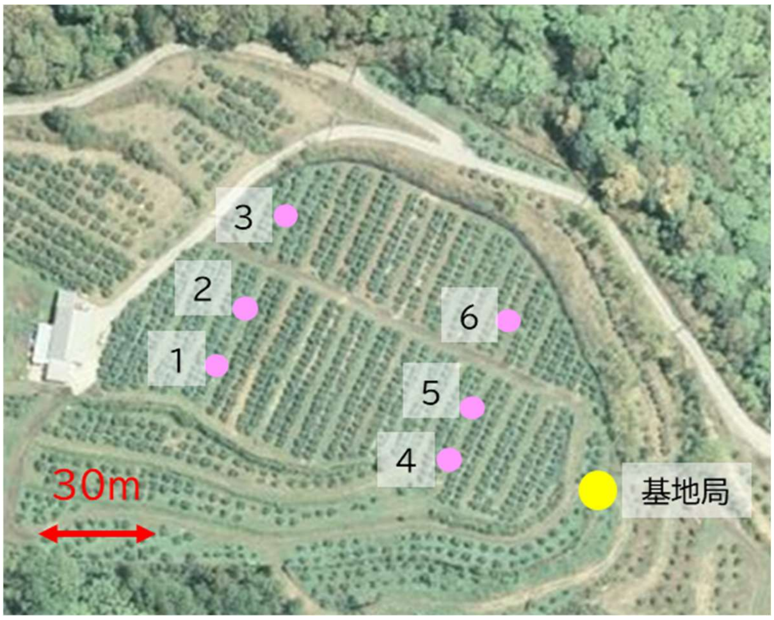


図 4.3.1-12 測定地点の位置関係
出典:地理院地図を加工して作成

表 4.3.1-7 伝送遅延の測定結果

地点	映像遅延[ms]	制御遅延[ms]	目標
1	660	569	NG
2	500	2339	NG
3	測定不可	9553	NG
4	510	21	OK
5	530	45	OK
6	測定不可	8753	NG

b. 新規就農者遠隔指導ソリューション

① バーチャル圃場訪問に係る映像・音声品質

バーチャル圃場訪問システムを用いて新規就農者向けイベントを模擬実施し、イベント参加者を対象に映像・音声品質についてアンケート評価を実施した。結果として、8 名の回答を得て映像品質に関して平均 2.75(5 段階中)、音声品質に関して平均 3.63(5 段階中)、コミュニケーションについての評価が 3.25(5 段階中)となり、目標値の平均 4 以上(5 段階中)には達しなかった。測定は 2023 年 1 月 19 日に行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

映像品質に関しては映像コンテンツの作成方法について課題を抽出できた。360°映像を VR

ゴーグルで体験する際には、カメラから近い物体は鮮明に見える一方で、カメラから遠い風景は解像度が落ちる傾向にあった。撮影時にゆずの樹木近くにカメラを設置することで葉や枝を鮮明に写すことができると確認できた。社会実装にあたり撮影機材についても高機能 360°カメラの導入や、見せたい物体に近接してカメラを設置する等の撮影方法の工夫についても検討して行く。

また録画映像を参加者全員で同時再生する際、正常に再生されない事象が確認された。録画映像をクラウドサーバ経由で VR ゴーグルに投影する際、映像品質が PC のスペックや通信環境に依存することが判明した。通信環境の安定化に必要なスペックの PC で運用することで改善が見込めた。

音声品質に関しては、現地圃場の説明者の音声をスマートフォンより集音していたため音声が鮮明に聞こえなかったことがあり、追加検証でマイク付きイヤホンの使用で音声品質が改善できることが確認できた。

表 4.3.1-7 バーチャル圃場訪問の映像・音声品質についてのアンケート集計結果

No.	確認項目	評価観点 （次回から自分で行えるか）	回答数	平均
1	バーチャル圃場の映像は綺麗でしたか	現地での体験と比較して評価してください。（現地体験より良い場合は5、同等の場合は4、悪い場合はそれ以下） ※圃場体験が初めての方は想像て構いません。	8	2.75
2	バーチャル圃場の音声は綺麗でしたか		8	3.63
3	バーチャル圃場のコミュニケーション（遅延）は問題なく実施できましたか		8	3.25

② 遠隔指導システムに係る映像品質

遠隔指導システムを用いた剪定の遠隔指導を実施し、指導者および被指導者（作業者）を対象に映像・音声品質についてアンケート評価を実施した。結果として、のべ 15 人の回答を得て映像品質に関して平均 4.93（5 段階中）、音声品質に関して平均 4.93（5 段階中）、コミュニケーションについての評価が 4.87（5 段階中）となり、全項目で目標値の平均 4 以上（5 段階中）を達成した。測定は 2023 年 1 月 16日から 19 日にかけて行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

本システムを用いた会話の際、同一圃場でスマートグラスを装着した作業者が複数名いた場合にハウリングする場合があったが、発言者以外はマイクをミュートにする運用方法により改善した。

表 4.3.1-8 遠隔指導システムの映像・音声品質についてのアンケート集計結果

No	効果項目	評価観点 （次回から自分で行えるか）	回答数	平均
1	遠隔指導の映像は綺麗でしたか	実業務で十分な映像品質か評価してください	15	4.93
2	遠隔指導の音声は綺麗でしたか	実業務で十分な音声品質か評価してください	15	4.93
3	遠隔指導のコミュニケーション（遅延）は問題なく実施できましたか	映像及び音声の遅延がコミュニケーション上問題ないか評価してください	15	4.87

（2） 運用検証

1） 検証項目

a. モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

モバイルムーバーを用いたソリューションの運用面における検証項目としては、モバイルムーバーの操縦方法の習得容易性などを考えており、具体的には以下の項目について検証を行った。

【検証項目】

① オペレータ向けマニュアルによる運用性
サービス事業者のオペレータが問題なくモバイルムーバーの運用を行えるかを確認するため、オペレータを対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上（5 段階評価）を目標として検証を行った。

② 生産者向けマニュアルによる運用性
サービス利用者の生産者が問題なくモバイルムーバーの運用を行えるかを確認するため、生産者を対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上（5 段階評価）を目標として検証を行った。

③ 感水紙を用いた農薬散布状況の測定
モバイルムーバーの防除作業性を確認するため、樹木の上部・中部・下部に感水紙を設置して農薬散布を行い、上部・中部・下部の全てが反応する速度・ルート（片道・往復）の検証を行った。

b. 新規就農者遠隔支援ソリューション

実証において検証する「バーチャル圃場訪問」、「遠隔指導システム」の運用は、それぞれの想定利用シーンに即した検証シナリオ、生産者が円滑に利用することを想定した操作説明会、簡易マニュアルの作成等を企画・作成し、それらを用いたバーチャル圃場訪問、遠隔指導システムの運用性について検証を行った。

【検証項目】

① 4K360°VR カメラの操作性、バーチャル圃場見学での運用性

配信用 360°カメラや VR ゴーグルの運用性に問題が無いかを確認するため、シナリオに沿った模擬的なバーチャル圃場訪問を実施して、配信者を対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上（5 段階評価）を目標として検証を行った。

② スマートグラスの操作性・遠隔指導システムの運用性

ローカル 5G を利用した高品質な双方向コミュニケーションが実現できるかを確認するため、指導者 1 人に対して作業者 2～5 人のパターンで遠隔指導を実施し、作業者を対象としたアンケートにおいて平均で 4 以上（5 段階評価、対面と同水準以上）を目標として検証を行った。

2） 検証方法

a. モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

【検証方法】

① オペレータ向けマニュアルによる運用性

マニュアルに基づく運用に対するアンケートを実施し、結果を評価した。アンケートは次回から自分で行えるかという観点で回答を依頼し、行える場合は 5、行えない場合を 1 として 5 段階で評価した。

確認項目		評価観点（次回から自分で行えるか）	評価					気が付いた点、わかりにくい点をお教えください
準備	自動運転	自動運転経路を書き込みできるか	5	4	3	2	1	
	遠隔監視	Geomationで位置情報が表示できるか	5	4	3	2	1	
監視	生産者との連携	生産者との連絡はスムーズにできたか	5	4	3	2	1	
	自動運転	自動運転を開始できるか	5	4	3	2	1	
	映像	人や障害物を確認できるか	5	4	3	2	1	
	遠隔監視	自動運転の停止ができるか	5	4	3	2	1	
	遠隔操縦	遠隔操縦ができるか	5	4	3	2	1	
撤収	自動運転	MissionPlannerを閉じられるか	5	4	3	2	1	
	遠隔監視	Geomationを閉じられるか	5	4	3	2	1	
上記以外に感想や意見があれば、ご記載ください								

図 4.3.1-13 アンケート項目

② 生産者向けマニュアルによる運用性

マニュアルに基づく運用に対するアンケートを実施し、結果を評価した。アンケートは次回から自分で行えるかという観点で回答を依頼し、行える場合は 5、行えない場合を 1 として 5 段階で評価した。

確認項目		評価観点 （次回から自分で行えるか）	評価					気が付いた点、わかりにくい点 をお教えください
準備	電源のON	MMの電源をONにできるか	5	4	3	2	1	
	機器の移動	リモコン操作で移動ができるか	5	4	3	2	1	
	スタート位置	自動走行スタート位置にMMを設置できるか	5	4	3	2	1	
	防除の準備	防除ノズル取り付けができるか	5	4	3	2	1	
防除	オペレータとの連携	オペレータとの連絡はスムーズにできるか	5	4	3	2	1	
	防除性能	樹木に農薬は適切にかかっていたか	5	4	3	2	1	
	ホースの影響	ホースの絡まりによる障害はなかったか	5	4	3	2	1	
	安全性	危険を感じなかったか	5	4	3	2	1	
撤収	ホース巻き取り	ホースの巻き取りは手間取らなかったか	5	4	3	2	1	
	電源のOFF	MMの電源をOFFにできるか	5	4	3	2	1	
	機器の取り外し	機器の取り外しはできるか	5	4	3	2	1	
上記以外に感想や意見があれば、ご記載ください								

図 4.3.1-14 アンケート項目

③ 感水紙を用いた農薬散布状況の測定

試験区内に調査木を設定し、木の上部・中部・下部に感水紙を設置した状態で農薬散布を実施し、農薬のかかり具合を測定した。モバイルムーバーの速度や散布ルート（片道・往復など）による比較を行い、防除効果のある運用方法を検証した。

b. 新規就農者遠隔指導ソリューション

バーチャル圃場訪問、遠隔指導システムを実施するシナリオを作成し、シナリオに沿って利用いただいた後、アンケート・ヒアリングを通じて機器の操作性やシステムの運用性について評価を行った。

図 4.3.1-15 新規就農者遠隔指導ソリューションの運用検証の流れ

表 4.3.1-9 新規就農者遠隔指導ソリューションの運用検証における
アンケートフォーム

バーチャル圃場訪問システム　運用アンケート（配信者側）

No	確認項目		評価観点 （次回から自分で行えるか）	操作性評価					気が付いた点、わかりにくい点をお教えください
1	機器の準備	機器の設置	設置には戸惑わないか	5	4	3	2	1	
2		機器の接続	機器の接続はスムーズにできたか	5	4	3	2	1	
3		電源のON	電源の場所やONのやり方	5	4	3	2	1	
4	圃場側配信開始		映像配信が迷わずに実施できたか	5	4	3	2	1	
5	閲覧者側VR開始		閲覧者側の捜査のため評価外	-	-	-	-	-	
6	VRセッション開始		相手とのコミュニケーションは取れたか	5	4	3	2	1	
7	機器の終了	セッション終了	正常にセッションを終了できたか	5	4	3	2	1	
8		電源のOFF	電源の場所やOFFのやり方	5	4	3	2	1	
9		機器の接続解除	機器の接続を解除し終了できたか	5	4	3	2	1	
10	上記以外に感想や意見があれば、ご記載ください								

バーチャル圃場システム　運用アンケート（参加者）

No	効果項目	評価観点	評価					良い点、改善点をお聞かせください
1	バーチャル圃場の映像は綺麗でしたか	現地での体験と比較して評価してください。（現地体験より良い場合は5、同党の場合は3、悪い場合は1） ※圃場体験が初めての方は想像で構いません。	5	4	3	2	1	
2	バーチャル圃場の音声は綺麗でしたか		5	4	3	2	1	
3	バーチャル圃場のコミュニケーション（遅延）は問題なく実施できましたか		5	4	3	2	1	
4	バーチャル圃場について、総合的にどのくらい満足していますか		5	4	3	2	1	
5	バーチャル圃場がなく、現地での圃場訪問のみでも、今回のイベントに参加しましたか	参加可能性を評価してください（参加した場合は５）	5	4	3	2	1	
6	今回のイベントを通して、現地での圃場訪問に参加したくなりましたか	関心度の変化を評価してください（関心が高まった場合は５）	5	4	3	2	1	
7	また、バーチャル圃場に参加したいと思いますか。どのようなプログラムがあれば参加したいですか。	参加可能性を評価してください（参加したい場合は５）	5	4	3	2	1	
8	今回のイベントを通して、農業への関心は高まりましたか	関心度の変化を評価してください（高まった場合は５）	5	4	3	2	1	
9	今回のイベントを通して、農業への理解は深まりましたか	理解度の変化を評価してください（深まった場合は５）	5	4	3	2	1	
10	今回のイベントを通して、新規就農への興味は増しましたか	新規就農への興味を評価してください（興味が増した場合は５）	5	4	3	2	1	
11	上記以外に感想や意見があれば、ご記載ください							

遠隔支援システム　運用アンケート（指導者）

No	効果項目	評価観点 （次回から自分で行えるか）	操作性評価					良い点、改善点をお聞かせください
1	遠隔指導の映像は綺麗でしたか	実業務で十分な映像品質か評価してください	5	4	3	2	1	
2	遠隔指導の音声は綺麗でしたか	実業務で十分な音声品質か評価してください	5	4	3	2	1	
3	遠隔指導のコミュニケーション（遅延）は問題なく実施できましたか	映像及び音声の遅延がコミュニケーション上問題ないか評価してください	5	4	3	2	1	
4	遠隔指導で指導者の稼働は削減されますか	移動時間や現地に赴かなくても指導ができる点を評価ください	5	4	3	2	1	
5	遠隔指導は実際の指導の代替となりますか	質の観点で実際に指導と比較して遠隔指導での評価をしてください	5	4	3	2	1	
6	遠隔指導により同時に指導は可能ですか	1体１の指導が基本でしたが複数人の指導が可能か評価してください	5	4	3	2	1	
7	遠隔指導により同時に何人までなら指導可能ですか	評価で同時可能な人数を選択ください	5	4	3	2	1	
8	遠隔指導により剪定の指導はできますか	具体的な作業内容指導が可能か評価してください	5	4	3	2	1	
9	遠隔指導により病害虫のアドバイスができますか	相手とコミュニケーション取れたか	5	4	3	2	1	
10	遠隔指導者により作業者への一斉指示が可能ですか	自己圃場に複数人作業者がいる場合に一斉指示できるか評価ください	5	4	3	2	1	
11	遠隔指導により収穫時の臨時雇用者に対して摘果の指導ができますか	収穫時期のアルバイトへの指導に利用できそうですか	5	4	3	2	1	
12	遠隔指導により収穫時の臨時雇用者に対して摘果作業の監視ができますか	収穫時期のアルバイトへの監視に利用できそうですか	5	4	3	2	1	
13	自身で利用する場合に一番有効と思われる利用方法をお教えください							
14	上記以外の利用に利用できそうなシーンがあればお教えください							
15	上記以外に感想や意見があれば、ご記載ください							

遠隔支援システム　運用アンケート（作業者）

No	効果項目	評価観点 （次回から自分で行えるか）	操作性評価					良い点、改善点をお聞かせください
1	遠隔指導の映像は綺麗でしたか	実業務で十分な映像品質か評価してください	5	4	3	2	1	
2	遠隔指導の音声は綺麗でしたか	実業務で十分な音声品質か評価してください	5	4	3	2	1	
3	遠隔指導のコミュニケーション（遅延）は問題なく実施できましたか	映像及び音声の遅延がコミュニケーション上問題ないか評価してください	5	4	3	2	1	
4	遠隔指導による指導時間は必要十分ですか	複数人を同時に指導しているが、作業者として十分な指導時間であったかを評価してください	5	4	3	2	1	
5	遠隔指導は実際の指導の代替となりますか	質の観点で実際に指導と比較して遠隔指導での評価をしてください	5	4	3	2	1	
6	遠隔指導により同時に指導は可能ですか	1体1の指導が基本でしたが複数人の指導が可能か評価してください	5	4	3	2	1	
7	遠隔指導により同時に何人までなら指導可能ですか	評価で同時可能な人数を選択ください	5	4	3	2	1	
8	遠隔指導により剪定の方法は理解できますか	具体的な作業内容指導が可能か評価してください	5	4	3	2	1	
9	遠隔指導により病害虫のアドバイスが理解できますか	相手とコミュニケーション取れたか	5	4	3	2	1	
10	遠隔指導者による指導者からの一斉指示は理解できますか	自己圃場に複数人作業者がいる場合に一斉指示できるか評価ください	5	4	3	2	1	
11	遠隔指導により摘果の方法は理解できますか	収穫時期のアルバイトへの指導に利用できそうですか	5	4	3	2	1	
12	遠隔指導により質問をしやすくなりますか。	実際の指導より質問をしやすいか評価してください	5	4	3	2	1	
13	自身で利用する場合に一番有効と思われる利用方法をお教えください							
14	上記以外の利用に利用できそうなシーンがあればお教えください							
15	上記以外に感想や意見があれば、ご記載ください							

① 4K360°VR カメラの操作性、バーチャル圃場見学での運用性

操作研修を実施したのち、360°カメラ 1 台を用いて圃場紹介者の映像を監視センター等の光回線が用意できる場所をセミナー会場とみなしたシナリオ設定をした。

作成された設定シナリオに沿って利用者に操作を体感いただき、利用面、操作面の運用に関するアンケートおよびヒアリングを実施することで、操作性および不明瞭等の課題を把握した。アンケートは次回から自分で行えるかという観点で回答を依頼し、行える場合は 5、行えない場合を 1 として 5 段階で評価した。

また、アンケートおよびヒアリング結果に基づき、利用者向けの簡易マニュアルを作成することで、スムーズな実運用への移行を容易にした。

② スマートグラスの操作性・遠隔指導システムの運用性

スマートグラス（最大 5 台）を用いて圃場の作業者の映像を監視センター等の光回線が用意できる場所を指導員拠点とみなしシナリオ設定した。

作成された設定シナリオに沿って利用者に操作を体感いただき、利用面、操作面の運用に関するアンケートおよびヒアリングを実施することで、操作性および不明瞭等の課題を把握した。

また、アンケートおよびヒアリング結果に基づき、利用者向けの簡易マニュアルを作成することで、

スムーズな実運用への移行を容易にした。アンケートは次回から自分で行えるかという観点で回答を依頼し、行える場合は 5、行えない場合を 1 として 5 段階で評価した。

3） 検証結果および考察

a. モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

① オペレータ向けマニュアルによる運用性

オペレータ向けマニュアルによる運用性を検証した。本実証ではオペレータは元気会の従業員 2 名を想定しているが、その内 1 名がマニュアルを作成したため、残りの 1 名にアンケート調査を行った 2023 年 1 月 12 日に実施し、天候は良く環境に問題はなかった。

検証結果として、全体平均の評価は 4.4 で目標である平均評価 4 以上を達成することができた。個別項目を確認すると、自動運転については高い評価を得られている一方で、遠隔操縦では評価が低くなっている。原因として、遠隔操縦はオペレータの習熟度への依存が大きい技術であることが挙げられる。マニュアルによる運用性を検証するために、オペレータには初めての状態で遠隔操縦を行って頂いたが、遠隔操縦は遅延によるタイムラグに慣れるのに時間がかかると考えられる。実際の運用時には、マニュアルのみで遠隔操縦を習得するのは難しいので、本ソリューションの導入前にサービス事業者内の社内研修としてオペレータのトレーニング実習を行い、安全な走行ができる技術を習得した上で業務に従事する必要がある。

確認項目		評価観点（次回から自分で行えるか）	評価	コメント
準備	自動運転	自動運転経路を書き込みできるか	5	
	遠隔監視	Geomationで位置情報が表示できるか	5	
監視	生産者と	生産者との連絡はスムーズにできたか	4	生産者が一回で応答できない場合が時間のロスに感じた。インカム等で常時接続している状態の方が連絡が取りやすいのではないか。
	自動運転	自動運転を開始できるか	5	
	映像	人や障害物を確認できるか	3	カメラ位置・画角が低く、足元の障害物が見えにくい状況だった
	遠隔監視	自動運転の停止ができるか	5	
	遠隔操縦	遠隔操縦ができるか	3	MMが現地でどの程度動いたのか判断することが難しかった
撤収	自動運転	MissionPlannerを閉じられるか	5	
	遠隔監視	Geomationを閉じられるか	5	
全体			4.4	自動運転を基本としている状態であれば安心して監視できるため、複数台の同時走行も問題がないと思う。遠隔操縦は難易度が高く、カメラ位置の調整など課題が残っている印象だった。

図 4.3.1-16 オペレータのアンケート結果

② 生産者向けマニュアルによる運用性

生産者向けマニュアルによる運用性を検証した。実際にモバイルムーバーを使用する土佐北川農園の従業員に（N=2）にアンケート調査を行った。2023 年 1 月 12 日に実施し、天候は良く環境に問題はなかった。

検証結果として、全体平均の評価は 3.1 で目標である平均評価 4 以上を達成することができなかった。

個別の項目を確認すると、まずはモバイルムーバーの電源オンの方法が独特であったため、マニュアルを読んでも理解することができないという点が評価を大きく落とす原因となっている。現在のモバイルムーバーは電源をタイミング良く OFF→ON→OFF→ON と操作することで正しく電源が入るという仕様になっている。また、操作のタイミングが悪い場合は正しく起動せず、警告音が鳴るという仕様である。この仕様は操作の難易度が高いため、来年度以降での実証に向けてシンプルな仕様に変更する想定である。

次に防除ノズルの取り付け位置は車体の下側にあり、取り付け位置がすぐにはわかりづらい位置であるため、マニュアルへの記載の工夫およびモバイルムーバー本体にシール等で取り付け位置を表示することが必要であると考える。

オペレータとの連絡手段が電話での連絡となっていることも、評価を下げている。生産者にとって、どのような連絡手段が良いのかを検討する必要があり、代案として、モバイルムーバーへのマイクおよびスピーカーの設置等を検討している。

一方で、評価の良かった項目として、農薬散布は生産者視点から見て、適切に行えているという評価を頂けた。農薬散布の条件としては、1.4km/h の往復で散布を行った。後に感水紙での検証結果も記すが、生産者視点で定性的に判断して、十分な散布性能であることが確認できた。

また、安全性の項目についても高い評価を得ることができた。モバイルムーバーでの自動走行を行うにあたって、安全性は最優先事項であるため、本検証で生産性視点からの安全性が高く評価されたことの意義は大きい。

確認項目		評価観点 （次回から自分で行えるか）	評価	コメント
準備	電源のON	MMの電源をONにできるか	1	電源のつけ方が難しく、マニュアルを見てもONにできない。
	機器の移	リモコン操作で移動ができるか	3.5	
	スタート	自動走行スタート位置にMMを設置できるか	2	
	防除の準	防除ノズル取り付けができるか	2	
防除	オペレー	オペレータとの連絡はスムーズにできるか	1	電話での連絡は手間に感じる。
	防除性能	樹木に農薬は適切にかかっていたか	4.5	
	ホースの	ホースの絡まりによる障害はなかったか	3.5	
	安全性	危険を感じなかったか	4	
撤収	ホース巻	ホースの巻き取りは手間取らなかったか	4	
	電源のOF	MMの電源をOFFにできるか	5	
	機器の取	機器の取り外しはできるか	2	
全体			3.1	

図 4.3.1-17 生産者へのアンケート結果

③ 感水紙を用いた農薬散布状況の測定

感水紙を用いた農薬散布状況の測定を行った。測定は木の上部（3m）、中部（2m）、下部（1m）で行った。モバイルムーバーが走行する経路の左右に感水紙をつけた支柱を設置し、モバイルムーバーで防除を行った後に感水紙の濡れ具合を確認した。感水紙はプラスチックのシートの表裏に設置し、葉表と葉裏を再現した。本検証では農薬ではなく水を散布している。測定は 2023 年 1 月 11 日に行い、天

候は良く測定環境に問題はなかった。

検証結果として、モバイルムーバーの自動走行による防除でも木の上部から下部まで農薬がかかることを確認できた。当然の結果ではあるが、走行速度が遅いほど農薬が多くかかり、片道よりも往復の場合に農薬が多くかかることが確認できた。

また、風向きの影響で経路の右側で多く農薬がかかっていること、葉裏にはあまり農薬がかかっていないことが確認できた。

本検証結果についての考察として、本検証結果と生産者アンケートの結果も踏まえて、速度としては2km/h では風上側の木に農薬がかからなかったが、1km/h では十分に農薬がかかることが確認できた。サービス事業者としては 1km/h での運用を推奨するが、サービス事業者は防除の効果について責任を負えず、農薬の購入費用も生産者負担であるため、速度は生産者と相談して決定する運用としている。実際の農薬散布では、農薬の種類によって適切な散布量やかけ方が変わることから、モバイルムーバーの速度を農薬に合わせて調整することも運用として検討したい。また、4.1.3 で記載した通り、必ずしも葉の裏にかからなくても農薬が適した量を散布できる場合においては従来の農薬散布と同等の防除効果が見込めるが、葉表だけではなく、葉裏への散布が求められる場合も想定されるため、今後の検討課題としたい。

図 4.3.1-18 設置した感水紙の様子

表 4.3.1-10 2km/s 片道での検証結果

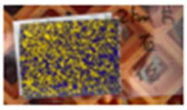
2km/s 片道	左		右	
	表	裏	表	裏
上				
中				
下				

表 4.3.1-11 2km/s 往復での検証結果

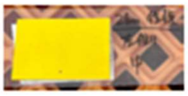
2km/s 往復	左		右	
	表	裏	表	裏
上				
中				
下				

表 4.3.1-12 1km/s 片道での検証結果

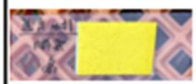
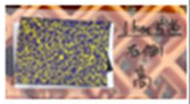
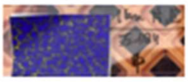
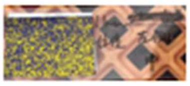
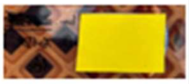
1km/s 片道	左		右	
	表	裏	表	裏
上				
中				
下				

表 4.3.1-13　1km/s 往復での検証結果

1km/s 往復	左		右	
	表	裏	表	裏
上				
中				
下				

b. 新規就農者遠隔指導ソリューション

① 4K360°VR カメラの操作性、バーチャル圃場見学での運用性

バーチャル圃場訪問の模擬イベント実施における配信者側のアンケートを実施し、運用性を検証した。結果として全ての項目で目標値のアンケート評価平均 4 以上(5 段階)を達成した。配信用 360°カメラの運用、VR ゴーグルでの接続ともに複雑な作業はなく、事前のレクチャー機会を設ければ問題なく中継作業を実施できることを確認できた。測定は 2023 年 1 月 19 日に行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

表 4.3.1-14 バーチャル圃場訪問システム運用アンケート(配信者側)

バーチャル圃場システム　運用アンケート（配信者側）

No	確認項目		評価観点 （次回から自分で行えるか）	回答数	平均
1	機器の準備	機器の設置	設置には戸惑わないか	4	4.50
2		機器の接続	機器の接続はスムーズにできたか	4	4.25
3		電源のON	電源の場所やONのやり方	4	4.75
4	圃場側配信開始		映像配信が迷わず実施できたか	4	4.00
5	閲覧者側VR開始		閲覧者側の操作のため評価外		
6	VRセッション開始		相手とコミュニケーション取れたか	4	4.25
7	セッションの終了		正常にセッションを終了できたか	4	5.00
8	機器の終了	電源のOFF	電源の場所やOFFのやり方	4	5.00
9		機器の接続解除	機器の接続を解除し終了できたか	4	4.75

バーチャル圃場訪問の模擬イベント実施における参加者側のアンケートを実施し、運用性を検証した。結果として目標値のアンケート評価平均 4 以上(5 段階)に対して未達となった。

参加者の満足度を高めるために、コンテンツ制作において課題点を抽出することができた。検証では中継先圃場でカメラ酔いを防ぐためにカメラを定点で設置し、産地についての情報やゆず栽培の特徴について 10 分程度の説明を行った後に質疑応答の時間を設けた。バーチャル圃場訪問システムの特性である没入感のある映像を体感できるよう短い時間で動きの伴う臨場感ある映像を工夫することで、圃場の魅力を伝えることができると考えられる。また、リアルタイムに双方向のコミュニケーションが可能なことを利用し、大都市圏の会場にいる参加者が聞きたい内容を圃場に

いる生産者に直接問いかける形式を中心としたコンテンツ制作の検討を行う必要がある。具体的には、新規就農希望者が知りたい情報に基づいた生産者からの情報提供、新規就農希望者が産地に興味を持つための就農に関わる情報の提供方法検討を行う予定である。

表 4.3.1-15 バーチャル圃場訪問システム運用アンケート(参加者側)

No.	確認項目	評価観点 (次回から自分で行えるか)	回答数	平均
4	バーチャル圃場について、総合的にどのくらい満足していますか	現地での体験と比較して評価してください。	8	3.50
5	バーチャル圃場がなく、現地での圃場訪問のみでも、今回のイベントに参加しましたか	参加可能性を評価してください (参加した場合は5)	8	3.13
6	今回のイベントを通して、現地での圃場訪問に参加したくなりましたか	関心度の変化を評価してください (関心が高まった場合は5)	8	3.75
7	もう一度バーチャル圃場に参加したいと思いましたか。どのようなプログラムがあれば参加したいですか。	参加可能性を評価してください (参加したい場合は5)	8	3.13
8	今回のイベントを通して、農業への関心は深まりましたか	関心度の変化を評価してください (関心が高まった場合は5)	8	3.63
9	今回のイベントを通して、農業への理解は深まりましたか	理解度の変化を評価してください (理解が深まった場合は5)	8	3.75
10	今回のイベントを通して、新規就農への興味は増しましたか	新規就農への興味を評価してください(興味が増した場合は5)	8	3.13

② スマートグラスの操作性・遠隔指導システムの運用性

遠隔指導の際に一人の指導者が同時に指導する作業者の人数が 2～5 名の 4 つのパターンで検証を行った。運用性について作業者にアンケートを実施し以下の⑴～⑷の結果が得られた。測定は 2023 年 1 月 16日から 19 日にかけて行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

アンケート結果より、遠隔指導は対面での指導の代替として同品質で指導することはできないことがわかった。特に指導者の画面から見て樹木の立体感を捉えることが難しく、剪定対象の枝を識別することが難しかった。改善策を検討した結果、スマートグラスを装着した作業者側で画角等の工夫を行うことで枝の識別がしやすくなることがわかった。具体的には光の角度による影響を考慮すること、広角の状態から対象の枝に近づきズームすることで枝の識別が容易になること、モニターを閲覧している指導者から詳細な画角の指示をすることで全体像を把握できること、を確認できた。社会実装に向けてこれらの手法について運用マニュアルへの反映を検討する。

スマートグラスの操作性については操作の習熟に少し時間がかかる傾向があり、生産者に継続して利用いただくことによりスムーズにコミュニケーションを図ることができると考えられる。

4 人までの作業者を同時指導する場合は指導の品質を保てているが、5 人の同時指導は指導品質が下がってしまった。指導者の目線でも 3 人までの同時指導は余裕を持って各作業者の指導にあたることができたが、4人以上を同時指導する際は画面の切り替えや剪定対象箇所を把握することが困難となり、負荷が大きかった。以上のことから、指導者 1 名、作業者 3 名のパターンが同時指導可能な適切な人数比であると考えられる。

（ア）　作業者 2 名の場合

アンケート項目の No.1～4、6、8～11 がいずれも目標値の平均 4 以上（5段階中）を達成した一方で、No.5 に関しては未達であった。

表 4.3.1-16 作業者 2 名時のアンケート結果

遠隔支援システム　運用アンケート（作業者）　n=2

No	効果項目	評価観点（次回から自分で行えるか）	平均
1	遠隔指導の映像は綺麗でしたか	実業務で十分な映像品質か評価してください	5.00
2	遠隔指導の音声は綺麗でしたか	実業務で十分な音声品質か評価してください	5.00
3	遠隔指導のコミュニケーション（遅延）は問題なく実施できましたか	映像及び音声の遅延がコミュニケーション上問題ないか評価してください	5.00
4	遠隔指導による指導時間は必要十分ですか	移動時間や現地に赴かなくても指導ができる点を評価ください	4.50
5	遠隔指導は実際の指導の代替となりますか	質の観点で実際に指導と比較して遠隔指導での評価をしてください	3.50
6	遠隔指導により同時に指導は可能ですか	1体 1 の指導が基本でしたが複数人の指導が可能か評価してください	4.50
7	遠隔指導により同時に何人までなら指導可能ですか	評価で同時可能な人数を選択ください	3.00
8	遠隔指導により剪定の方法は理解できますか	具体的な作業内容指導が可能か評価してください	4.00
9	遠隔指導により病害虫のアドバイスが理解できますか	相手とコミュニケーション取れたか	4.50
10	遠隔指導者による指導者からの一斉指示は理解できますか	自己圃場に複数人作業者がいる場合に一斉指示できるか評価ください	4.00
11	遠隔指導により質問をしやすくなりますか	実際の指導より質問をしやすいか評価してください	4.00

（イ）　作業者 3 名の場合

アンケート項目の No.1～4、6、9～11 がいずれも目標値の平均 4 以上（5段階中）を達成した一方で、No.5、8 に関しては未達であった。

表 4.3.1-17 作業者 3 名時のアンケート結果

遠隔支援システム　運用アンケート（作業者）　n=3

No	効果項目	評価観点（次回から自分で行えるか）	平均
1	遠隔指導の映像は綺麗でしたか	実業務で十分な映像品質か評価してください	5.00
2	遠隔指導の音声は綺麗でしたか	実業務で十分な音声品質か評価してください	5.00
3	遠隔指導のコミュニケーション（遅延）は問題なく実施できましたか	映像及び音声の遅延がコミュニケーション上問題ないか評価してください	5.00
4	遠隔指導による指導時間は必要十分ですか	移動時間や現地に赴かなくても指導ができる点を評価ください	4.33
5	遠隔指導は実際の指導の代替となりますか	質の観点で実際に指導と比較して遠隔指導での評価をしてください	3.33
6	遠隔指導により同時に指導は可能ですか	1体１の指導が基本でしたが複数人の指導が可能か評価してください	4.00
7	遠隔指導により同時に何人までなら指導可能ですか	評価で同時可能な人数を選択ください	3.33
8	遠隔指導により剪定の方法は理解できますか	具体的な作業内容指導が可能か評価してください	3.67
9	遠隔指導により病害虫のアドバイスが理解できますか	相手とコミュニケーション取れたか	4.33
10	遠隔指導者による指導者からの一斉指示は理解できますか	自己圃場に複数人作業者がいる場合に一斉指示できるか評価ください	4.33
12	遠隔指導により質問をしやすくなりますか	実際の指導より質問をしやすいか評価してください	4.00

（ウ）　作業者４名の場合

アンケート項目のNo.1～4、6、8～10がいずれも目標値の平均４以上（5段階中）を達成した一方で、No.5、11に関しては未達であった。

表 4.3.1-18 作業者４名時のアンケート結果

遠隔支援システム　運用アンケート（作業者）　n=4

No	効果項目	評価観点 （次回から自分で行えるか）	平均
1	遠隔指導の映像は綺麗でしたか	実業務で十分な映像品質か評価してください	5.00
2	遠隔指導の音声は綺麗でしたか	実業務で十分な音声品質か評価してください	5.00
3	遠隔指導のコミュニケーション（遅延）は問題なく実施できましたか	映像及び音声の遅延がコミュニケーション上問題ないか評価してください	5.00
4	遠隔指導による指導時間は必要十分ですか	移動時間や現地に赴かなくても指導ができる点を評価ください	4.50
5	遠隔指導は実際の指導の代替となりますか	質の観点で実際に指導と比較して遠隔指導での評価をしてください	3.50
6	遠隔指導により同時に指導は可能ですか	1体１の指導が基本でしたが複数人の指導が可能か評価してください	4.25
7	遠隔指導により同時に何人までなら指導可能ですか	評価で同時可能な人数を選択ください	3.25
8	遠隔指導により剪定の方法は理解できますか	具体的な作業内容指導が可能か評価してください	4.00
9	遠隔指導により病害虫のアドバイスが理解できますか	相手とコミュニケーション取れたか	4.25
10	遠隔指導者による指導者からの一斉指示は理解できますか	自己圃場に複数人作業者がいる場合に一斉指示できるか評価ください	4.75
12	遠隔指導により質問をしやすくなりますか	実際の指導より質問をしやすいか評価してください	3.75

（エ）　作業者 5 名の場合

アンケート項目の No.1～3、6、10 がいずれも目標値の平均４以上（5段階中）を達成した一方で、No.4、5、7～9、11 に関しては未達であった。

表 4.3.1-19 作業者 5 名時のアンケート結果

遠隔支援システム　運用アンケート（作業者）　n=5

No	効果項目	評価観点 （次回から自分で行えるか）	平均
1	遠隔指導の映像は綺麗でしたか	実業務で十分な映像品質か評価してください	5.00
2	遠隔指導の音声は綺麗でしたか	実業務で十分な音声品質か評価してください	5.00
3	遠隔指導のコミュニケーション（遅延）は問題なく実施できましたか	映像及び音声の遅延がコミュニケーション上問題ないか評価してください	5.00
4	遠隔指導による指導時間は必要十分ですか	移動時間や現地に赴かなくても指導ができる点を評価ください	3.40
5	遠隔指導は実際の指導の代替となりますか	質の観点で実際に指導と比較して遠隔指導での評価をしてください	3.00
6	遠隔指導により同時に指導は可能ですか	1体１の指導が基本でしたが複数人の指導が可能か評価してください	3.40
7	遠隔指導により同時に何人までなら指導可能ですか	評価で同時可能な人数を選択ください	3.20
8	遠隔指導により剪定の方法は理解できますか	具体的な作業内容指導が可能か評価してください	3.80
9	遠隔指導により病害虫のアドバイスが理解できますか	相手とコミュニケーション取れたか	3.60
10	遠隔指導者による指導者からの一斉指示は理解できますか	自己圃場に複数人作業者がいる場合に一斉指示できるか評価ください	4.20
12	遠隔指導により質問をしやすくなりますか	実際の指導より質問をしやすいか評価してください	3.60

（3）　効果検証

1）　検証項目

a. モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションの導入による生産者の防除および草刈り時間の削減効果の検証を行った。

【検証項目】

① モバイルムーバーの活用による慣行と比較した農薬散布にかかる作業時間の削減効果
慣行の防除作業時間と比較した際の作業時間削減効果として 50%減を目標として、検証を行った。

② モバイルムーバーの活用による慣行と比較した草刈りにかかる作業時間の削減効果

慣行の草刈り作業時間と比較した際の作業時間削減効果として 35%減を目標として、検証を行った。なお、本実証期間中は草刈り作業を行わない時期であるため、想定される作業時間をもとに削減効果の算出を机上にて実施した。モバイルムーバーを用いた草刈り作業の検証は令和 5 年度の継続実証にて実施を予定している。

b. 新規就農者遠隔指導ソリューション

「バーチャル圃場訪問」では、本ソリューションの PR 効果により、新規就農を希望するに至った人が 2 名増加することを目標としている。一方で、本目標については短期間で潜在的な新規就農希望者の関心醸成を行うことは難しく、今年度時点では効果を得るまでには至らないと想定している。新規就農希望者 2 名増加を令和 5 年度時点での達成目標として設定し、本事業では、新規就農者の獲得に向けた環境整備の一環として、バーチャル圃場訪問の模擬イベントにおける機能検証および運用検証の実施を行った。

「遠隔指導システム」では、1 人の指導者が同システムを活用し、複数の被指導者(若手就農者)に対して同時に指導を行うことが可能となることで、慣行と比較して指導時間の削減されることを効果として検証を行った。

【検証項目】

① 遠隔指導システムの活用による慣行と比較した指導にかかる時間の削減効果
慣行の指導時間と比較した際の作業時間削減効果として 33%減を目標として、検証を行った。

2） 検証方法

a. モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

【検証方法】

① モバイルムーバーの活用による慣行と比較した農薬散布にかかる作業時間の削減効果
慣行の農薬散布作業所要時間とモバイルムーバーによる農薬散布作業所要時間を比較し、作業時間の削減効果を検証する。モバイルムーバーによる農薬散布作業所要時間には、生産者が作業を行っていない自動運転中の時間は含まない。生産者が作業を行う準備、撤収、調整等にかかる時間をモバイルムーバーによる農薬散布作業所要時間として測定した。

② モバイルムーバーの活用による慣行と比較した草刈りにかかる作業時間の削減効果
慣行の草刈り作業所要時間とモバイルムーバーによる草刈り作業所要時間を比較し、作業時間の削減効果の試算を行った。モバイルムーバーによる草刈り作業所要時間には、生産者が作業を行っていない自動運転中の時間は含まない。
なお、スケジュールの都合上、草刈り機能の機能改良をモバイルムーバーに施す作業(※継続実証にて費用計上)の時期を踏まえ、また 11 月～3 月にかけては草刈りを慣行で実施していないこともあり、農場の実運用上でのモバイルムーバー使用時の草刈り時間の測定は継続実証にて実施することを予定している。本年度は慣行の作業時間の確認とムーバーの準備・撤収・調整時間の机上

検討によって想定される作業時間の削減効果を算出した。

b. 新規就農者遠隔指導ソリューション

① 遠隔指導システムの活用による慣行と比較した指導にかかる時間の削減効果

1 人で複数人同時に指導を行った場合の指導時間と、慣行の一人ずつ指導を行った場合の合計指導時間を比較し、指導時間の削減効果を評価した。また、削減効果結果と運用検証 b.② の運用性の評価結果をもとに、指導者と作業者の最適比率についても検討を行った。

3） 検証結果および考察

a. モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

① モバイルムーバーの活用による慣行と比較した農薬散布にかかる作業時間の削減効果

モバイルムーバーの活用による慣行と比較した農薬散布にかかる作業時間の削減効果を検証した。慣行の場合、農薬散布には 10a あたり 90 わかかっている。これに対して、モバイルムーバーを活用した場合の作業時間を測定し、作業時間の削減効果を検証した。ここで測定した作業時間は生産者がモバイルムーバーの準備、調整、撤収で実際に作業を行った時間を積算し、モバイルムーバーが自動走行を行っている時間は含めていない。生産性の作業時間として積算はしていないが、本実証では図に示す区間（30a 程度）の防除を行い、モバイルムーバーが速度 1.4km/h で走行したときに自動走行にかかった時間は 25 分であった。測定は 2023 年 1 月 12 日に行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

検証結果として、生産者がモバイルムーバーの準備、調整、撤収で実際に作業を行った時間の合計はおよそ 16 分であり、慣行と比較した場合に 82%の削減効果が得られた。作業者が時給制の場合は、稼働時間の減少により生産者の支出を削減できる。削減効果を金銭換算した場合、実際の生産者の時給が 1250 円であるので 10a あたり 1542 円の削減となる。作業時間は農薬を積んだ軽トラックが圃場に着いた状態から計測を開始し、軽トラックへの撤収を完了したタイミングで計測を終了とした。調整作業として、農薬の補充業務が想定されるが、500L のタンクを使用して、300L 程度で対象区間の散布が完了したため、本実証では農薬の補充業務は発生しなかった。

本検証では目標として慣行と比較した場合の削減効果 50%を設定していたが、目標を上回る 82%の削減効果を達成することができた。削減効果の要因としては自動走行が生産者の作業時間削減に有効であることがあげられる。モバイルムーバーによる防除は過年度でも実施しており、一定の成果をあげていたが、生産者が現地でリモコンを操作していたため、作業時間の削減効果は限定的であった。本実証では、モバイルムーバーを自動走行させることで、準備や撤収の時間は多少かかるものの、最も時間がかかる散布作業自体を行う時間をゼロにしたことが作業時間の削減効果に大きく貢献している。

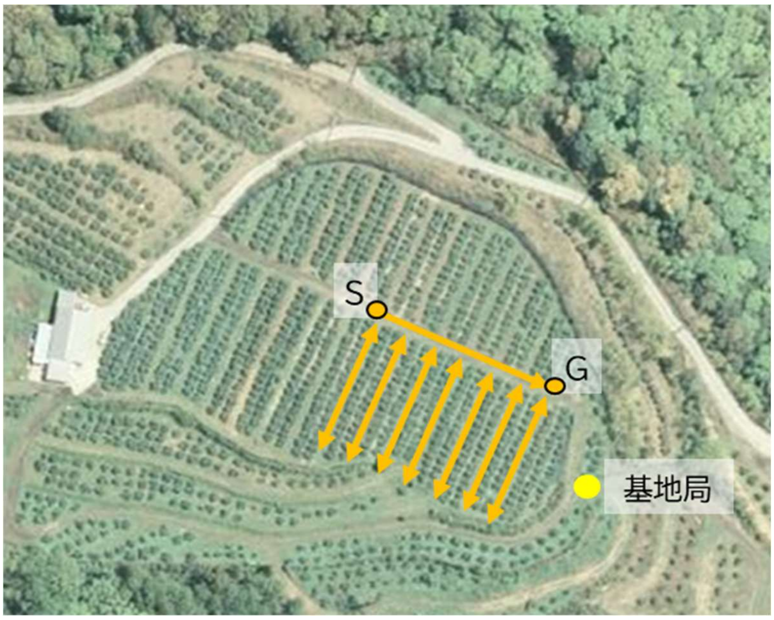


図 4.3.1-19 本検証の防除範囲
出典：地理院地図を加工して作成

No.	分類	作業名	作業時間
1	準備	農薬を積んだ軽トラックを適切な位置に設置	-
2	準備	MMの電源をON	3:30
3	準備	MMをスタート地点に設置	1:18
4	準備	PCを起動	3:30
5	準備	ホース装着	0:40
6	準備	動力噴霧器を起動	0:27
7	準備	運用者へ連絡	0:40
8	調整	農薬の補充	-
9	調整	障害物の除去	1:00
10	撤収	運用者から連絡	0:40
11	撤収	動力噴霧器を停止	0:05
12	撤収	ホース装着を回収	1:50
13	撤収	MMの電源をOFF	0:05
14	撤収	MMを撤収	2:14
15	撤収	軽トラックを撤収	-
農薬散布にかかる生産者の合計作業時間			15:59

図 4.3.1-20 生産者の作業時間内訳

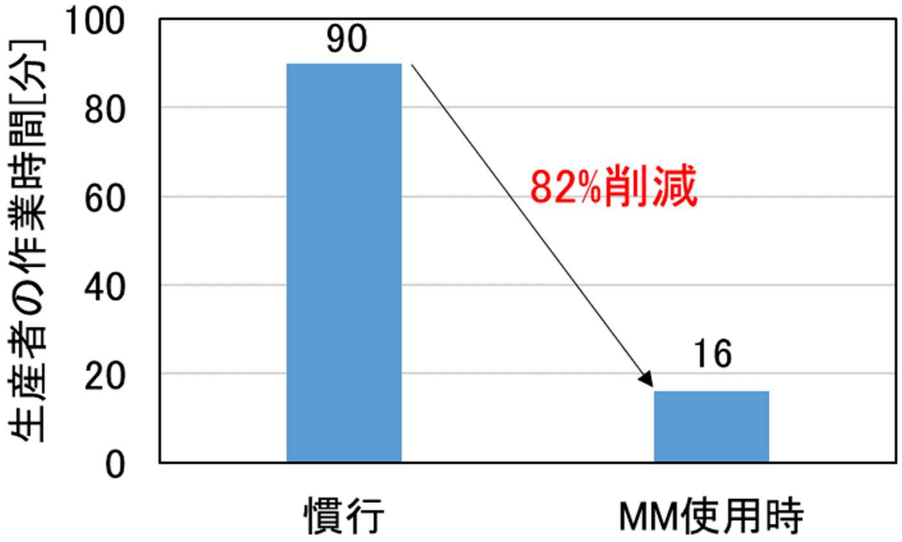


図 4.3.1-21 作業時間の比較結果

② モバイルムーバーの活用による慣行と比較した草刈りにかかる作業時間の削減効果

モバイルムーバーの活用による慣行と比較した草刈りにかかる作業時間の削減効果を検証した。慣行の場合、草刈りには 10a あたり 180 わかかっている。これに対して、モバイルムーバーの活用による作業時間を算出して比較を行う。モバイルムーバーを活用した草刈りは来年度以降で検証を行うため、農薬散布の結果から机上での検討を行う。

まず、モバイルムーバーの準備、撤収にかかる時間を検討する。モバイルムーバーの活用による防除と草刈りにおける生産者が行う作業の違いはモバイルムーバーに装着するアタッチメントの違いである。同じモバイルムーバーに防除用アタッチメントを装着すれば防除ができ、草刈りアタッチメントを装着すれば草刈りができるという仕様となっている。従って、防除における生産者の作業のうち、ホース装着、動力噴霧器の起動、動力噴霧器の停止、ホースの巻取りが不要になり、草刈りアタッチメントの装着、草刈り機の起動、草刈り機の停止、草刈りアタッチメントの取り外しが必要になる。これらの作業時間はおよそ同程度となることが見込まれるため、草刈りおいてモバイルムーバーの準備撤収にかかる生産者の作業時間は 16 分程度であると考えられる。ここで、モバイルムーバーが自動走行している時間は生産者の作業時間には含まないこととする。

次に、モバイルムーバーは樹木の下に入ることができないため、モバイルムーバーが走行できない部分については慣行作業での草刈りが必要になる。割合として 40%程度は慣行での作業が必要になる見込みであるため、10a あたりで 72 分は生産者の作業時間が必要となる。

従って、モバイルムーバーの準備撤収にかかる時間 16 分と生産者が慣行作業で草刈りを行う時間 72 分を合わせて、10a あたりの生産者作業時間は 88 分となる。また、削減効果としては 92 分となり、およそ 51%の削減となる。以上から、机上計算ではあるが、目標である 35%を達成することが期待できる。削減効果を金銭換算した場合、時給を 1250 円とすると 10a あたり 1917 円の削減となる。

b. 新規就農者遠隔指導ソリューション

① 遠隔指導システムの活用による慣行と比較した指導にかかる時間の削減効果

遠隔指導システムの活用による慣行の対面指導と比較した指導時間の削減効果を検証した。慣行指導では指導者が自宅から圃場に移動し、作業者に対面で指導を実施した後、帰宅するまでの合計の指導時間を計測した。遠隔指導では指導者が自宅から遠隔監視センターまで移動し、遠隔指導システムを用いて遠隔で作業者を指導した後、帰宅するまでの合計の指導時間を計測し、慣行指導の合計時間と比較し削減効果を算出した。また指導者 1 名に対して作業者 1 名から 5 名の 5 つのパターンでそれぞれ測定し、削減効果を算出した。測定は 2023 年 1 月 16日から 19日にかけて行い、天候は良く測定環境に問題はなかった。

指導にかかる作業時間の削減率としては、1 対 1 の場合は 49.2%、1 対 2 の場合は 60.7%、1 対 3 の場合は 56.5%、1 対 4 の場合は 54.2%、1 対 5 の場合は 56.0%の削減となり、全てのパターンで削減効果の目標 33%以上を達成した。将来的に指導者の自宅から遠隔指導できる環境を整えることで、指導者の移動時間を削減しさらなる指導時間削減効果が期待できる。

以上の結果に加え、(2)運用検証 b.②のアンケート検証結果も踏まえると、作業者1名に対して指導者 3 名の遠隔指導は指導時間効率の面でも指導の品質面においても最適な人数比率であると考えられる。

表 4.3.1-20 遠隔指導システム・指導時間比較表

指導者：作業者	慣行/遠隔指導	移動・準備	指導	撤収・移動	合計	削減効果
1対1	慣行指導	12分16秒	7分16秒	11分43秒	31分15秒	
	遠隔指導	5分44秒	8分34秒	5分35秒	15分53秒	49.2%
1対2	慣行指導	12分16秒	14分32秒	11分43秒	38分31秒	
	遠隔指導	4分49秒	12分11秒	6分08秒	15分08秒	60.7%
1対3	慣行指導	12分16秒	21分48秒	11分43秒	45分47秒	
	遠隔指導	6分20秒	14分35秒	6分59秒	19分54秒	56.5%
1対4	慣行指導	12分16秒	29分04秒	11分43秒	53分03秒	
	遠隔指導	5分08秒	18分12秒	8分59秒	24分19秒	54.2%
1対5	慣行指導	12分16秒	36分20秒	11分43秒	60分19秒	
	遠隔指導	6分10秒	20分44秒	7分37秒	26分31秒	56.0%

(4) ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションについて、一部で目標に満たない項目が存在するが、全体として有効なソリューションであることが示された。特にローカル 5G を活用した遠隔監視により、生産者の作業時間を大幅に削減できることができた点は特筆すべき成果であると考える。実証地である北川村では、これまでもリモコン操作による防除やドローンを使用した防除は行われており、省力化や生産者が農薬に暴露しないという観点で一定の成果を上げていたが、現地で作業員が必要という点が課題となっていた。本実証では、ローカル 5G を活用して遠隔監視を行うことで、自動走行の安全性を確保した上で現場の作業員も不要になるという画期的なソリューションによって、ローカル 5G 活用モデルの有効性を示した。

4.4　ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証

（1）　経済性・市場性の検証

1）　検証項目

本課題実証ソリューションのターゲットは、実証を行う安芸地区における（主にゆず栽培を対象とした）新規就農者・若手従事者・農業法人等である。潜在的には安芸地区を超え、高知県、全国の類似ユーザーが該当するため、潜在的なユーザーも含めた市場性（ニーズ）があるかどうかの把握を行った。

2）　検証方法

安芸地区の新規就農者・若手従事者・農業法人等に対して、本課題実証ソリューションに関するアンケート調査やヒアリングを行うことでニーズ評価を行った。具体的には、JA 高知県安芸支所の協力のもと、安芸地区管内の生産者を対象としたアンケートの実施、安芸地区の新規就農者向け講習会での詳細ヒアリングを行った。安芸地区管内の生産者を対象としたアンケートは 2023 年 2 月 22 日から 2 月24日にかけて、日本の農村を元気にする会が新規就農者から熟練者まで含めた生産者に向けて行った。安芸地区の新規就農者向け講習会での詳細ヒアリングは 2022 年12月7日に JA 高知県安芸支所が主催する新規就農者向け講習会で、日本の農村を元気にする会がスマート農業に関する講習を行い、講習後に新規就農者からの詳細ヒアリングを行った。
アンケートの質問は図に示す通りである。それぞれのソリューションへの関心と希望支払い額を調査した。なお、モバイルムーバーによる草刈りソリューションについては、本実証内では作業を行っていないため生産者が作業をイメージしづらいと判断し、アンケート項目からは除外した。
　また、安芸地区管内の生産者を対象としたアンケートの実施、安芸地区の新規就農者向け講習会での詳細ヒアリングの結果から生産者の支払い可能額を調査し、ビジネスモデルの検討を行った。

表 4.3.1-1　生産者へ実施したアンケートのアンケートフォーム

名前：

No	質問	回答欄				
1	モバイルムーバーによる防除ソリューションを使用したいと思いますか（使用したい場合が５）	1	2	3	4	5
2	ドローンによる防除を使用したいと思いますか（使用したい場合が５）	1	2	3	4	5
3	遠隔指導を使用したいと思いますか（使用したい場合が５）	1	2	3	4	5
4	防除を委託する場合に希望支払金額をご記入ください（10aあたり）					円
5	新規就農者として、遠隔指導を受けられる場合に希望支払金額をご記入ください（年間あたり）					円
6	指導者として、遠隔指導ソリューションを使用する場合に希望支払金額をご記入ください（年間当たり）					円

3）　検証結果および考察

安芸地区管内の生産者を対象としたアンケートの実施結果を図に示す。アンケートは 5 名の生産者に回答をいただき、それぞれの回答結果と平均値を示す。

防除ソリューションについて、生産者が高い関心を持っていることを確認できた一方で、支払い可能額についてはサービス事業者が計画時点で当初想定していた 8000 円を下回る結果となった。ヒアリングをする中でも防除ソリューションの使用により作業負荷が低減されるためできたら使用したいが、5000 円以上では導入は難しいとの声があった。生産者に使用していただき価値を感じてもらえれば単価の上昇も見込めると考えている。サービス事業者としては、まずは市場の希望単価に近い形での提供を行い、サービス利用農家数を拡大することを検討する。

また、草刈りソリューションについても市場性の調査を試みたが、机上検証の段階では生産者としてもイメージがわかず回答が難しいため、来年度以降のアンケートで実際の検証結果を説明した上で調査を行う予定である。

遠隔指導ソリューションについては、新規就農者として指導を受ける立場で使用する場合と大規模農家の経営者として指導を行う立場で使用する場合で単価が異なると想定して、アンケートを行った。結果としては、指導を行う立場で使用する場合に支払い可能額が高くなる傾向があることがわかった。複数人を同時で指導できることについて、市場性があることがわかった。サービス事業者としては、遠隔指導ソリューションについて大規模農家で使用して頂く場合の使用料として、140,400 円での提供を検討する。また、新規就農者としても、現状は JA が無償で指導を行っている状態であるが、本ソリューションにてリアルタイムで質問ができるのであれば、サービス利用料を支払っても良いという声があった。来年度以降の検討として、JA と連携することにより個人で就農している新規就農者にも遠隔指導ソリューションを提供する方法を模索したい。

表 4.3.1-2 生産者へのアンケート結果

No	生産者A	生産者B	生産者C	生産者D	生産者E	平均
1	5	4	5	3	3	4
2	5	4	5	4	4	4.4
3	3	4	2	5	4	3.6
4	¥3,000	¥5,000	¥3000-¥5000	¥3,000	¥3,000	¥3,550
5	¥72,000	¥30,000	¥10,000	¥60000-¥70000	¥30,000	¥41,400
6	¥72,000	¥100,000	¥100,000	¥400,000	¥30,000	¥140,400

（2） 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

1） 検証項目

本課題実証ソリューションは前述のシェアリングサービスのモデルで社会実装を展開して行く想定である。本実証においてはシェアリングサービスのビジネスモデルの精緻化を行い、本実証で得られた効果を踏まえて、適当な期間内に収支の黒字化が見込まれるかを検証した。

2） 検証方法

サービス全体の導入コストおよび運用コストの算出、生産者に対する効果を踏まえたサービス利用料の算出を行い、収支計画のシミュレーションを行った。サービス利用料については、4.3.2(1)で実施した生産者へのアンケートをもとに検討を行った。

3） 検証結果および考察

実証後のビジネスモデルについて、収支計画を立て黒字化が可能であるかを検討した。

総収入はモバイルムーバーによる防除ソリューションと遠隔指導ソリューションの売り上げを合算した。

モバイルムーバーによる防除ソリューションの売り上げは年間散布回数×総面積×単価で算出した。年間散布回数の根拠はJA高知県の令和 5 年度ゆずの施肥・病害虫防除基準より、必須防除が 14 回、任意防除が 15 回であることから、任意防除の実施割合を 50 パーセントとして、21.5 回と算出している。総面積は大規模農家を土佐北川農園として 2.4ha、小規模農家の面積を 0.5ha として、令和 7 年度で 2 件、令和 8 年度で 5 件、令和 9 年度で 8 件と増加していく計画で算出している。単価は市場性アンケートの結果から生産者の希望価格を用いている。遠隔指導ソリューションの売り上げは大規模農家が遠隔指導ソリューションを使用する計画で算出した。利用料は生産者アンケートの結果から生産者の希望価格を用いている。なお、散布方法（モバイルムーバーとドローン）やネットワーク（ローカル 5G、キャリア 5G、LTE 等）で散布にかかるサービス事業者のコストは異なるが、利用単価は同一にすることを検討している。原則としてはコストの低いモバイルムーバーを使用し、傾斜地等のモバイルムーバーが走行できない圃場をドローンで散布するモデルを検討している。

総支出はソリューション開発費とネットワーク運用費を合算した。

ソリューション開発費はオペレータ時給×全作業時間の合計で算出した。

オペレータの作業時間として、農薬散布や遠隔監視をしている直接作業時間と直接作業はしていないが必要になる作業時間バッファと保守作業時間を考慮した。

直接作業時間について、本実証の運用試験より 30a の面積を自動走行する時間が 25 分であることから 10a あたりの単価を算出し、面積と年間散布回数を乗じて算出した。

作業時間バッファについて、間接的な作業として主なものに、ドローンを使用する場合のオペレータの移動時間が挙げられるため、移動時間の最大値をバッファとして設けた。遠隔監視センターから北川村の奥地までの往復時間は最大で 2 時間であるため、年間散布回数×農家数×2 時間をバッファとして設け

ている。なお、実際はドローンを使用しない圃場や近距離の圃場での散布が想定されるため、その他の些末な間接作業を含めても、このバッファの範囲に収まると想定している。

保守作業時間について、週に 2 時間の保守作業を想定して算出している。実際には毎週作業が発生することはなく、機器の故障等があった場合に必要な時間であるが、平均的に週 2 時間程度の作業量になることを想定している。

ネットワーク運用費については、ライセンス費用と電波利用料を合算した。

以上の検討により、令和 7 年度および令和 8 年度において収支は赤字であるが、令和 9 年度には収支が黒字となることが確認できた。

表 4.3.1-3 収支計画のシミュレーション結果

	令和7年度	令和8年度	令和9年度
年間散布回数[回]	21.5	21.5	21.5
小規模農家数	2	5	8
大規模農家数	1	1	1
総面積[ha]	3.4	4.9	6.4
単価（10aあたり）[円]	¥3,550	¥3,550	¥3,550
MM売上[円]	¥2,595,050	¥3,739,925	¥4,884,800
遠隔指導売上[円]	¥140,400	¥140,400	¥140,400
総売上[円]	¥2,735,450	¥3,880,325	¥5,025,200
作業時間(10aあたり）[h]	0.14	0.14	0.14
直接作業時間[h]	101.5	146.3	191.1
作業時間バッファ[h]	129	258	387
保守時間[h]	104	104	104
オペレータ時給[円]	¥2,000	¥2,000	¥2,000
ソリューション開発費[円]	¥669,056	¥1,016,639	¥1,364,222
L5Gライセンス費[円]	¥3,523,500	¥3,523,500	¥3,523,500
電波利用料（基地局）[円]	¥19,000	¥19,000	¥19,000
電波利用料（端末）[円]	¥370	¥370	¥370
ネットワーク運用費	¥3,542,870	¥3,542,870	¥3,542,870
総支出	¥4,211,926	¥4,559,509	¥4,907,092
収支	¥-1,476,476	¥-679,184	¥118,108

（3） ローカル 5G 活用モデルの構築

1） ローカル 5G 活用モデルの全体像

a. ターゲット

モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションの想定される具体的なターゲットとなる生産者の条件を、生産地域と生産作物の 2 つの観点で検討した。まず生産地域については①高知県安芸地区管内、②高知県内全域、③四国各県の近隣エリア、の優先順位でターゲットを決定しソリューションを訴求する。モバイルムーバー機器をシェアリングする際、対象地域が遠方となればサービス事業者が機体を運搬する業務が発生し、人件費や運搬費のコストが増大する。そのため、コスト省力化を図るため拠点の北川村周辺の地域からシェアリング展開を優先的に開始する。また、機器のシェアリングサービスにおいては、機器の保守・運用も含めてサービス事業者である元気会が担うことを想定しており、機器の不具合が生じた際の対応も考慮し、ターゲットの優先順位に反映している。四国以外の地域への展開については、各地域の事業者がサービス主体となって展開を行い、元気会はソリューションの導入支援等のサポートを実施することを想定している。

生産作物について①ゆず、②かんきつ類、③その他作物、の順に対象生産者をターゲットとする。モバイルムーバーによる防除ソリューションは車両が小型である点や防除性能の点から、ゆずに適切な機能として開発している。ゆず生産者および、ゆずと栽培方法が近いかんきつ類への応用を優先順位とする。

新規就農者遠隔指導ソリューションでは、従業員を複数雇用する農業法人をメインターゲットとしているが、加えて JA や自治体等の営農指導を実施する主体もターゲットとして検討している。JA 高知県安芸地区管内では剪定時期にあたる 2 月から 3 月にかけて 6 地区の剪定指導講習会を実施している。また講習会に参加できなかった生産者や、フォローアップが必要な新規就農者を対象とした個別指導対応を多数行うため、2 月 3 月の剪定指導に関わる業務負担がかなり大きいことがヒアリングの結果明らかとなっている。営農指導を行う主体は農業法人より指導機会が多く、業務負担の観点からも遠隔指導による負担軽減の潜在的なニーズが存在することがわかったため、JA や自治体等の営農指導を実施する主体もターゲットして十分であると考える。

b. 対象となるシステム

「モバイルムーバーを用いた自動防除」、「バーチャル圃場訪問」、「遠隔指導」の3つのシステムを対象とする。各システムの概要とシステムの構成図を以下に示す。

- モバイルムーバーを用いた自動防除

  モバイルムーバーを自動運転することで防除を自動化することを可能とするシステム。遠隔監視センターからの遠隔監視・操縦を可能にすることで安全性を担保する

- バーチャル圃場訪問

  新規就農希望者向けのセミナー等で現地圃場の説明員がリアルタイムに 4K360°画像による双方向

コミュニケーションを可能とするシステム

- 遠隔指導

  現地圃場にて研修中の新規就農者に対して指導員がリアルタイムに高品質画像による双方向コミュニケーションを可能とするシステム

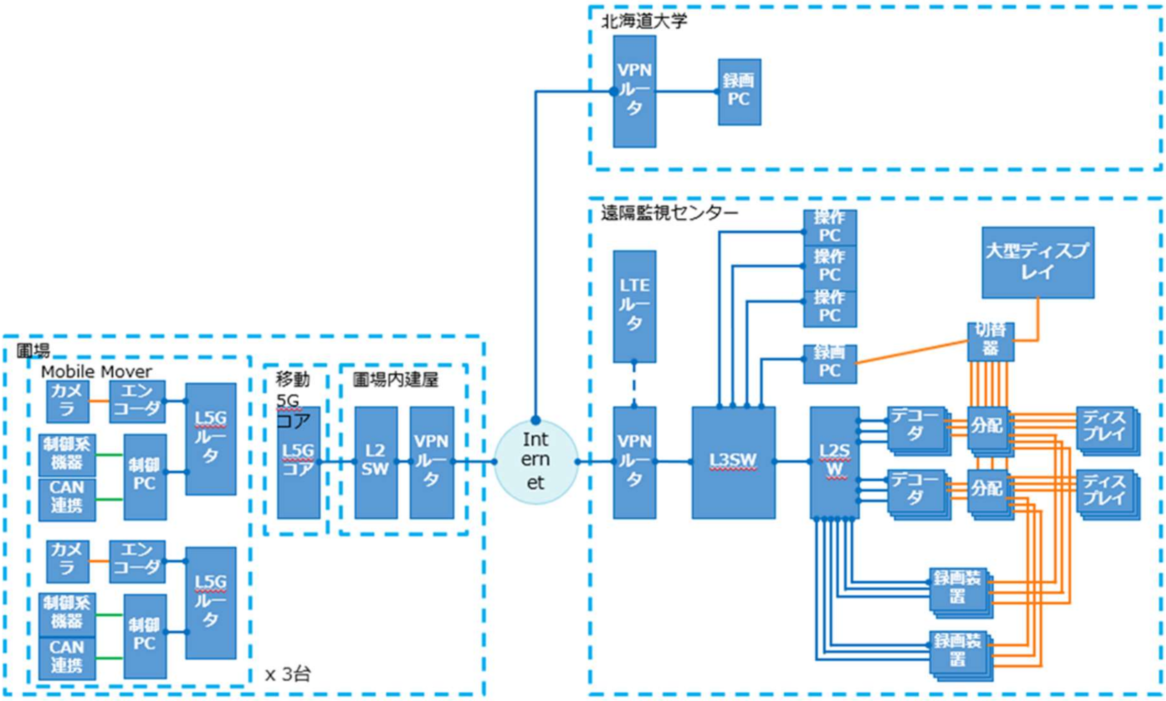


図 4.3.1-1 モバイルムーバーを用いた自動防除におけるシステム構成図

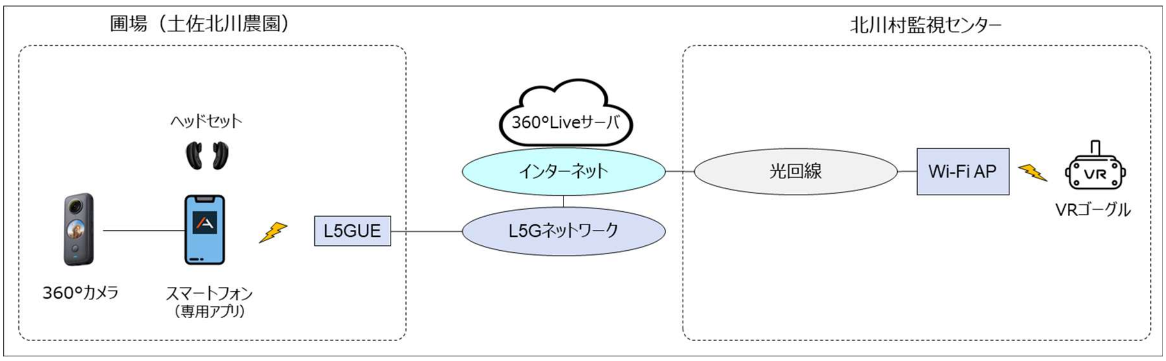


図 4.3.1-2 バーチャル圃場訪問におけるシステム構成図

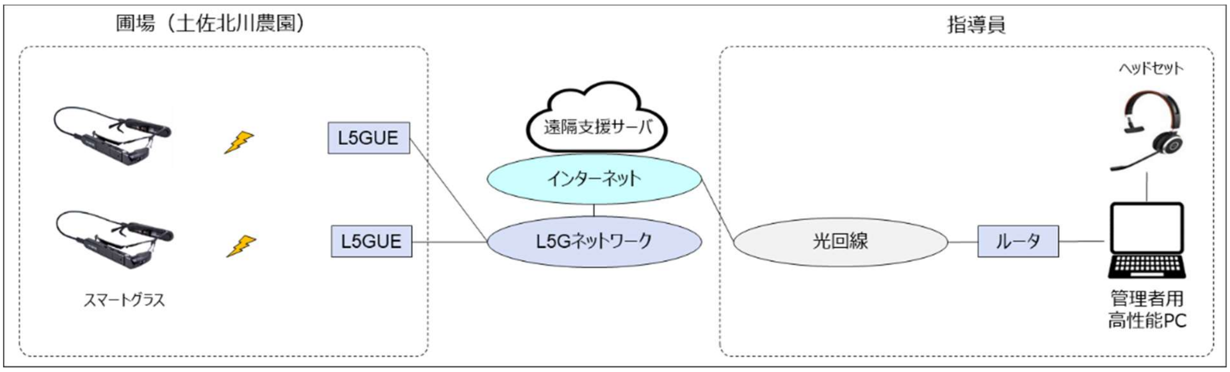


図 4.3.1-3 遠隔指導におけるシステム構成図

上記3つのシステムを実現するためのシステム要件を以下に示す。

表 4.3.1-4 ローカル 5G システムにおけるシステム非機能要件

非機能要件	・ 4.8～4.9GHz(Sub6)帯のスタンドアローン(SA)構成に対応した各コンポーネント機能(コアネットワーク装置、集約ノード(CDU)、基地局(RU)、陸上移動局(UE))を有する ・ 超高速(eMBB)を実装している ・ 外部アンテナ取り付け可能 ・ ソフトウェアによる電力調整ができる ・ VR 機器が利用するサービス(AVATOUR)に対応している ・ 外部アンテナ等による DAS 構成の構築が可能 ・ アンテナは地上高さ 8.5m に設置 ・ 必要スループット:アップリンク 58.5Mbps / ダウンリンク 12.5Mbps ・ 許容往復遅延時間:400ms(モバイルムーバー) ・ 同期 TDD パターンにおける最大実測スループットは以下の通り。(RRH1 台あたり) アップリンク:130Mbps ダウンリンク:900Mbps ・ ローカル 5G システム単体での EndToEnd の最大 Ping 応答時間:35ms

本事業で上記システムを使用する際の業務フローを以下に示す。

- モバイルムーバー自動防除

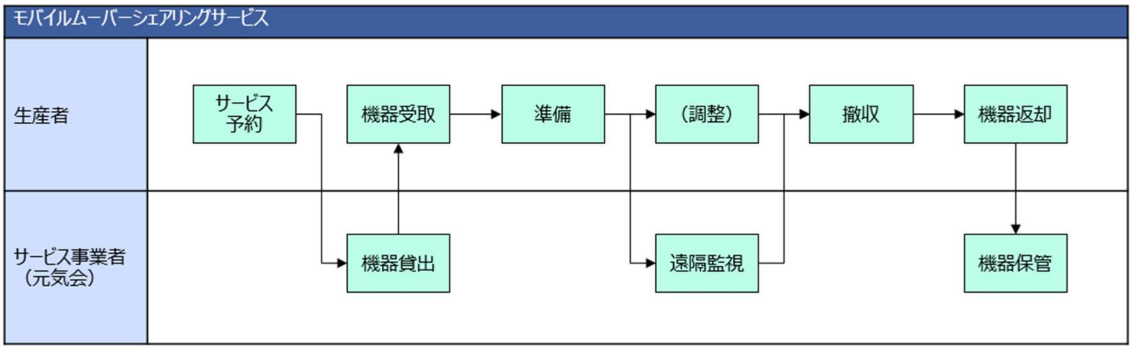
  サービス事業者(元気会)が所有するモバイルムーバーを生産者に貸し出す形で、モバイルムーバーを複数の農家で使用できる体制を構築する。生産者はサービス事業者から受け取ったモバイルムーバーを自身の圃場に設置することで、自動防除を行える。その際にサービス事業者は遠隔監視センターから、遠隔監視を行うことで安全性を担保する。

- バーチャル圃場訪問

  イベント企画者はサービス事業者(元気会)にバーチャル圃場訪問の実施を委託する。サービス事業者はイベント企画者から委託を受けて、イベントを実施する。イベント参加者は居住エリア(主に都市部を想定)のイベント会場から参加する。

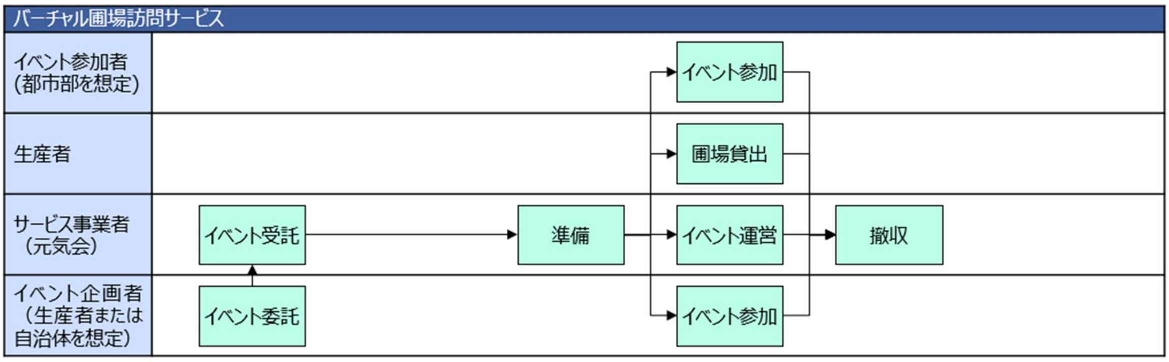
- 遠隔指導

  サービス事業者(元気会)が所有する遠隔指導システムを生産者に貸し出し、遠隔監視システムを複数の農家で使用できる体制を構築する。本システムでは、北川村・野友地区にある遠隔監視センター(元気会が管理)、もしくは指導者の自宅等のインターネット環境が整った地点から、指導者が対象圃場にいる作業者に対して遠隔で指導することができる。そのため、指導者が圃場まで移動することなく、遠隔で複数名の作業者の指導が行うことが可能であり、指導の効率化を図ることができる。



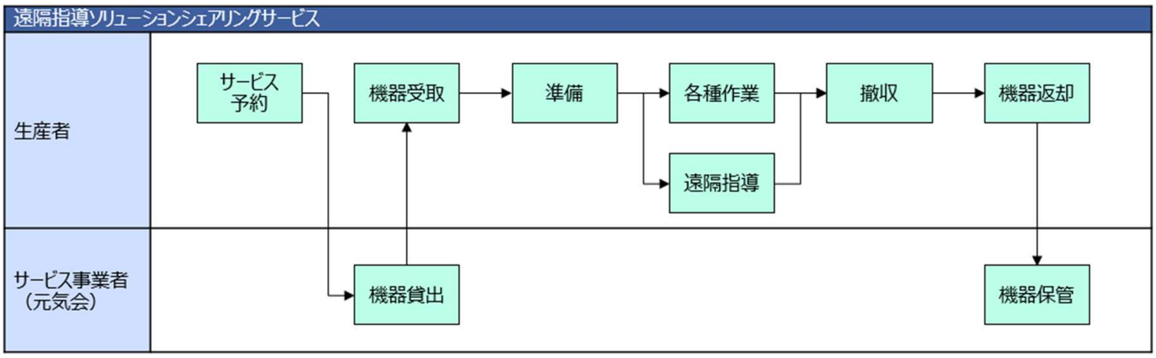
業務	内容
サービス予約	生産者は元気会が運営する農機シェアリングアプリFamconを通してモバイルムーバーを予約する。
機器貸出	サービス事業者は保管場所からモバイルムーバーを貸し出す。(保管場所は安芸市、北川村を想定)
機器受取	生産者は保管場所でモバイルムーバーを受け取り、圃場に移動する。
準備	生産者はマニュアルに従って、モバイルムーバーで防除・草刈りを行うための準備を行う。
調整	生産者は防除・草刈りを監視をする必要はないが、自動で行えない作業を適宜行う。(農薬の補充を想定)
遠隔監視	サービス事業者は遠隔監視センターから、防除・草刈り作業を監視する。
撤収	生産者はマニュアルに従って、モバイルムーバーの撤収を行う。
機器返却	生産者はモバイルムーバーを保管場所に返却する。
機器保管	サービス事業者はモバイルムーバーを保管場所に保管する。(無人対応)

図 4.3.1-4 モバイルムーバーを用いた自動防除の業務フロー



業務	内容
イベント委託	イベント企画者はサービス事業者にバーチャル圃場訪問イベントを委託する。
イベント受託	サービス事業者はイベント企画者からバーチャル圃場訪問イベントを受託する。
準備	イベント主催者はマニュアルに従って、バーチャル圃場訪問の準備を行う。
イベント参加	イベント参加者はマニュアルに従って、バーチャル圃場訪問に参加する。
圃場貸出	生産者はイベント会場として圃場を貸し出す。
イベント運営	イベント主催者はマニュアルに従って、バーチャル圃場訪問の運営を行う。
撤収	イベント主催者はマニュアルに従って、バーチャル圃場訪問の撤収を行う。

図 4.3.1-5 バーチャル圃場訪問の業務フロー



業務	内容
サービス予約	生産者は元気会が運営する農機シェアリングアプリFamconを通して遠隔指導機器を予約する。
機器貸出	サービス事業者は保管場所から遠隔指導機器を貸し出す。(保管場所は安芸市、北川村を想定)
機器受取	生産者は保管場所で遠隔指導機器を受け取り、圃場に移動する。
準備	生産者はマニュアルに従って、遠隔指導の準備を行う。
各種作業	生産者は作業者に必要な作業を行わせる。(剪定、収穫等)
遠隔指導	生産者は遠隔監視センターに自身または熟練者を配置し、経験の浅い従業員を遠隔指導する。
撤収	生産者はマニュアルに従って、遠隔指導の撤収を行う。
機器返却	生産者は遠隔指導機器を保管場所に返却する。
機器保管	サービス事業者は遠隔指導機器を保管場所に保管する。(無人対応)

図 4.3.1-6 遠隔指導の業務フロー

c. ビジネスモデル

「モバイルムーバーを用いた自動防除」、「バーチャル圃場訪問」、「遠隔指導」の3つのシステムで想定しているビジネスモデルを以下に示す。なお、本システムは利用者が必要なシステムのみを選択して利用することが可能である。

- モバイルムーバーを用いた自動防除

  サービス事業者(元気会)は生産者にモバイルムーバーの貸与と遠隔監視作業の受託を行う対価として、生産者からサービス利用費を頂く想定。なお、機器の操作に係るトレーニングについてはサービスの一環としてサービス事業者(元気会)が行う。

- バーチャル圃場訪問

  サービス事業者(元気会)はイベント企画者(JA や自治体等)に本システムを提供し、サービス利用費を頂く想定。JA の新規就農者向けイベントや自治体の移住者向けイベントは既に実施されているため、その際のコンテンツの一つとして活用してもらうことを想定している。JA や自治体の導入メリットとしては、没入感のある映像体験やリアルタイムの双方向コミュニケーションにてイベント参加者により興味を持っていただくことで、新規就農者や移住者の増加を図ることが可能になることを考えている。

- 遠隔指導

  サービス事業者(元気会)は生産者に遠隔指導システムの貸与を行う対価として、生産者からサービス利用費を頂く想定。作業者への実際の指導については、システムを貸与された生産者(指導者)が行う。生産者の導入メリットとしては、指導者が圃場に移動することなく自宅等から一人で複数人を指導することが可能になることによる、指導効率の向上を考えている。

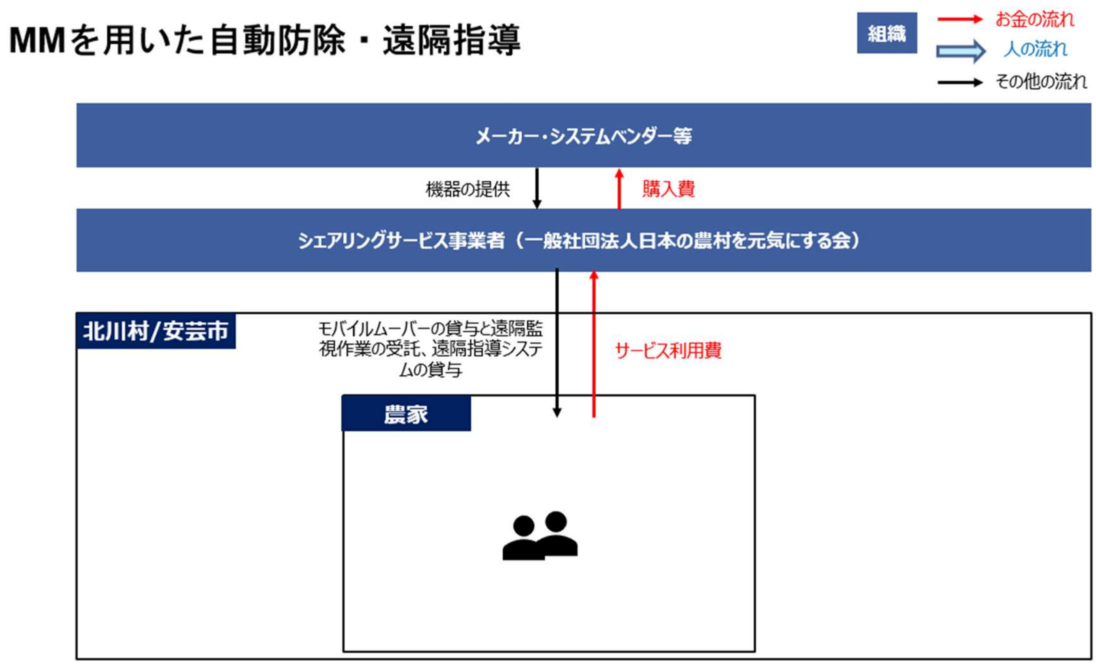


図 4.3.1-7 モバイルムーバーを用いた自動防除および遠隔指導のビジネスモデル

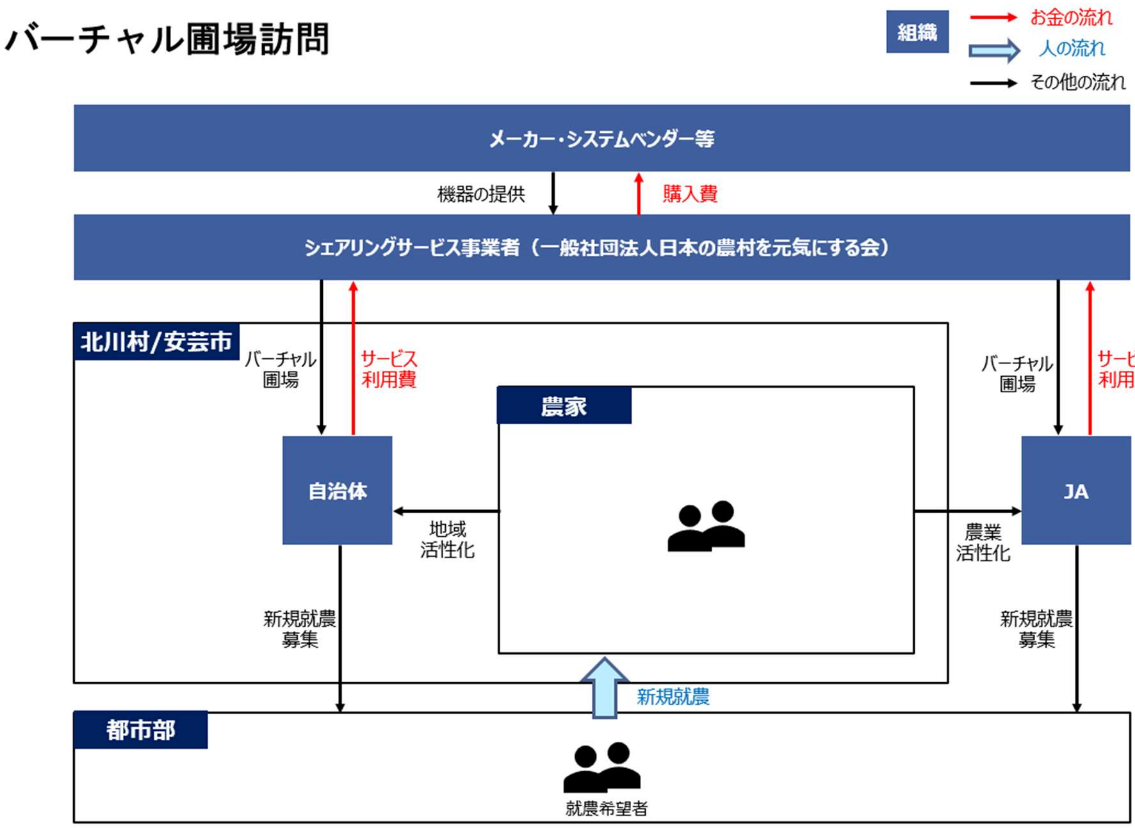


図 4.3.1-8 バーチャル圃場訪問のビジネスモデル

2) 体制・役割分担

社会実装における体制図を示す。モバイルムーバーを用いた自動防除、バーチャル圃場、遠隔指導の社会実装はサービス事業者である日本の農村を元気にする会が中心となり推進する。ソリューションで使用するモバイルムーバーや VR 機器等はサービス事業者である日本の農村を元気にする会が購入し、所有する。コンソーシアム内のベンダーである日鉄ソリューションズ、NTT コミュニケーションズ、エムスクエア・ラボは機器の提供を行う。また、備考に示す通り、北海道大学が遠隔操縦に関する技術支援を行い、北川村、JA 高知県安芸支所、高知県安芸農業振興センターが普及展開の支援を行う。コンソーシアム代表機関の NTT データ経営研究所は元気会の求めに応じて適宜ビジネスモデル構築に関する助言を行い、社会実装を支援する。

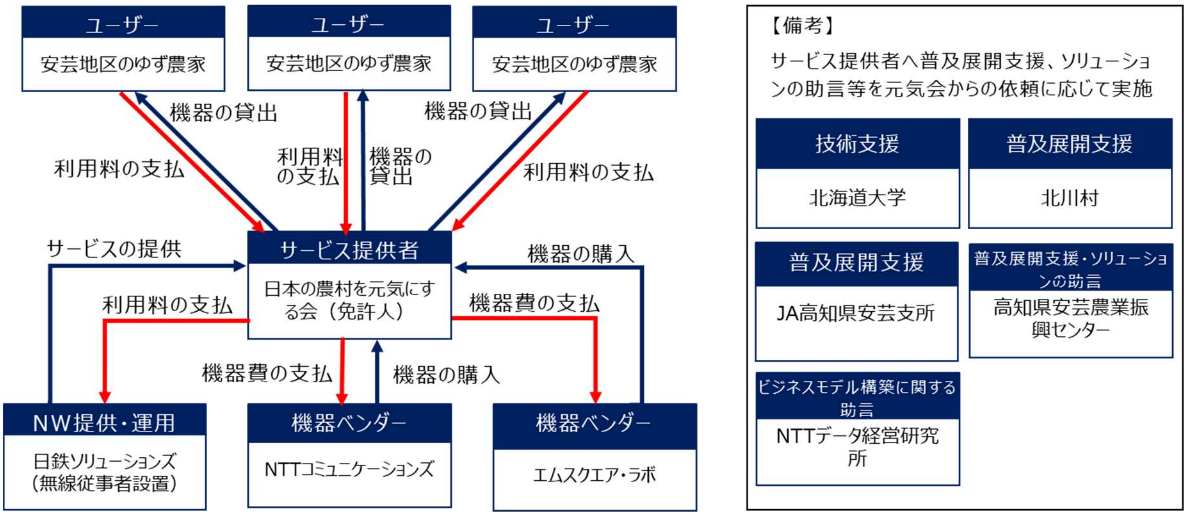


図 4.3.1-9 社会実装時の体制図

3） 導入効果

モバイルムーバーを用いた防除ソリューションについて、生産者が防除にかける時間を 82%削減することができる。また、生産者が作業を行わないことで、農薬の暴露から生産者を守る効果や真夏の熱中症から生産者を守る効果等の副次的な効果も期待できる。

遠隔指導について、3 名以上の遠隔同時指導で 33%以上の指導時間削減効果が得られる。指導効率が上がることで新規就農者の作業の質の向上も期待できる。

（4） 実装性を高める手法の検討および実行

1） 検証項目

シェアリングモデルで想定しているシェアリング機器としては、本実証においてメインで検証するモバイルムーバーと過年度の実証の中で購入したドローンを予定している。モバイルムーバーとドローンの使い分けについて、原則としてモバイルムーバーを使用するが、モバイルムーバーを使用できない急傾斜地ではドローンを使用する。本実証においては、圃場の傾斜が 15 度以上の場合はドローンを使用する計画としている。

実装モデル（シェアリングモデル）の実装性を高める検証方法として、シュアリング機器（ムーバー／ドローン）の利用の適切な組み合わせを机上にて検証した。なお、本検証に関しては令和 5 年度の継続実証において実施することとしている。現時点では生産者へのアンケートとヒアリングの結果からの導入可能性を検証する。

2） 検証方法

モバイルムーバーとドローンの導入可能性について、ゆず圃場特有の地形特性への適合性も踏まえて生産者にアンケートを行った。

また、生産者へのアンケート結果を踏まえて、モバイルムーバーとドローンの使い分けについても机上にて検討を行った。アンケートは 2023 年 2 月 22 日から 2 月24日にかけて、日本の農村を元気にする会が新規就農者から熟練者まで含めた安芸地区管内の生産者 5 名に向けて行った。

名前：

No	質問	回答欄				
1	モバイルムーバーによる防除ソリューションを使用したいと思いますか（使用したい場合が5）	1	2	3	4	5
2	ドローンによる防除を使用したいと思いますか（使用したい場合が5）	1	2	3	4	5

図 4.3.1-10 生産者へのアンケートフォーム

3） 検証結果および考察

元気会にて保有しているモバイルムーバー3 台とドローン 1 台の使用について、パターン A~G の 7 つのパターンを検討した。パターンについては以下に示すように、モバイルムーバーの台数とドローンの台数をパラメータとしている。モバイルムーバー1 台、ドローン0台の場合をパターン A とし、モバイルムーバー2台、ドローン0台の場合をパターン B としている。その他のパターンについても、同様の考え方でパターン化している。

- パターン A:モバイルムーバー1 台を遠隔操作拠点から遠隔監視・遠隔操縦する場合

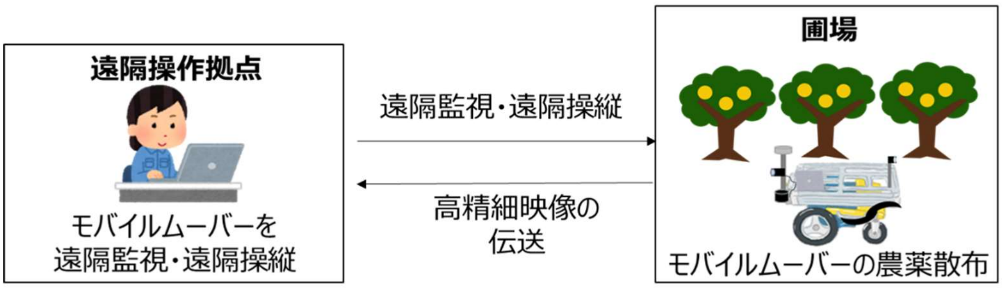


図 4.3.1-11 シェアリングモデル（パターン A）

- パターン B:モバイルムーバー2 台を遠隔操作拠点から遠隔監視・遠隔操縦する場合

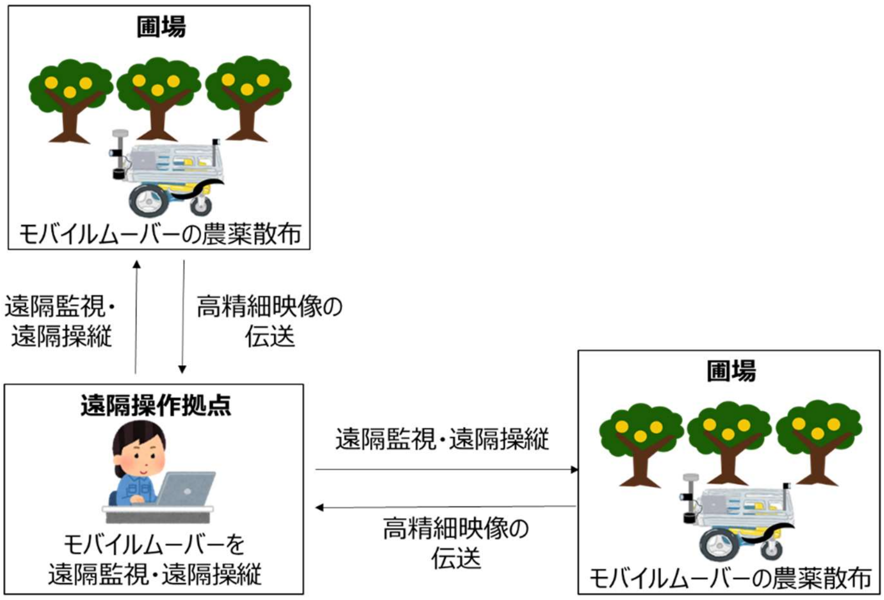


図 4.3.1-12 シェアリングモデル(パターン B)

- パターン C:モバイルムーバー3 台を遠隔操作拠点から遠隔監視・遠隔操縦する場合

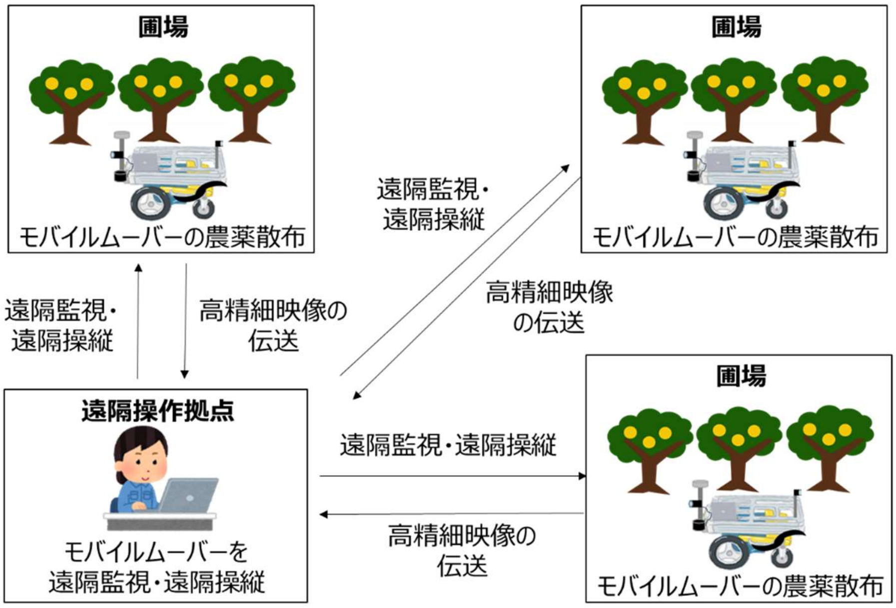


図 4.3.1-13 シェアリングモデル(パターン C)

● パターン D:
モバイルムーバー1 台を遠隔操作拠点から遠隔監視・遠隔操縦し、ドローン 1 台を圃場で操縦する場合

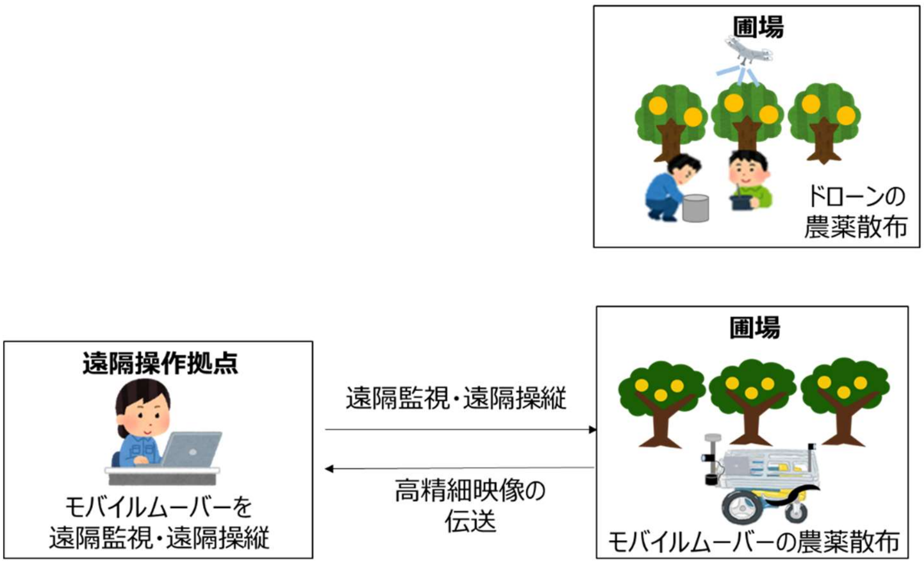


図 4.3.1-14 シェアリングモデル(パターン D)

● パターン E:
モバイルムーバー2 台を遠隔操作拠点から遠隔監視・遠隔操縦し、ドローン 1 台を圃場で操縦する場合

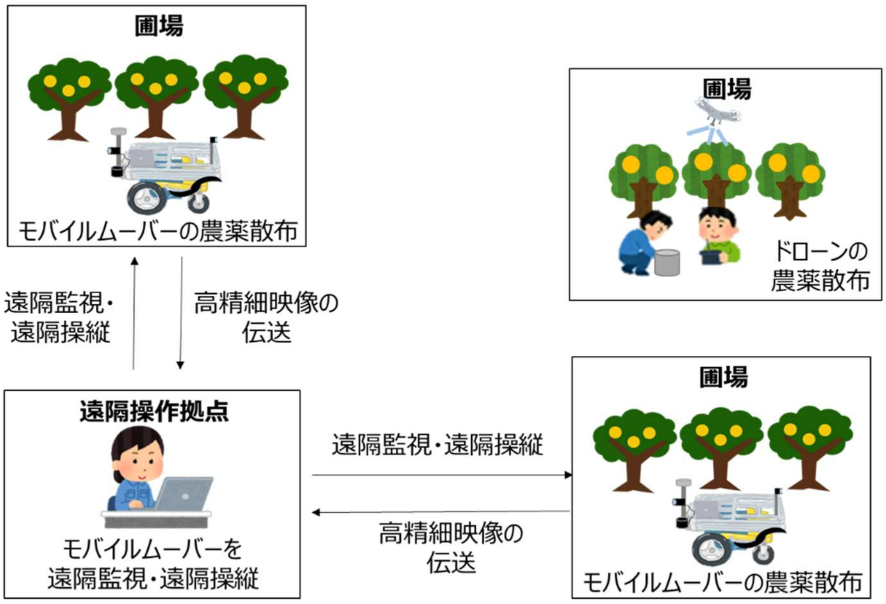


図 4.3.1-15 シェアリングモデル(パターン E)

● パターン F:モバイルムーバー3 台遠隔操作拠点から遠隔監視・遠隔操縦し、ドローン 1 台を圃場で操縦する場合

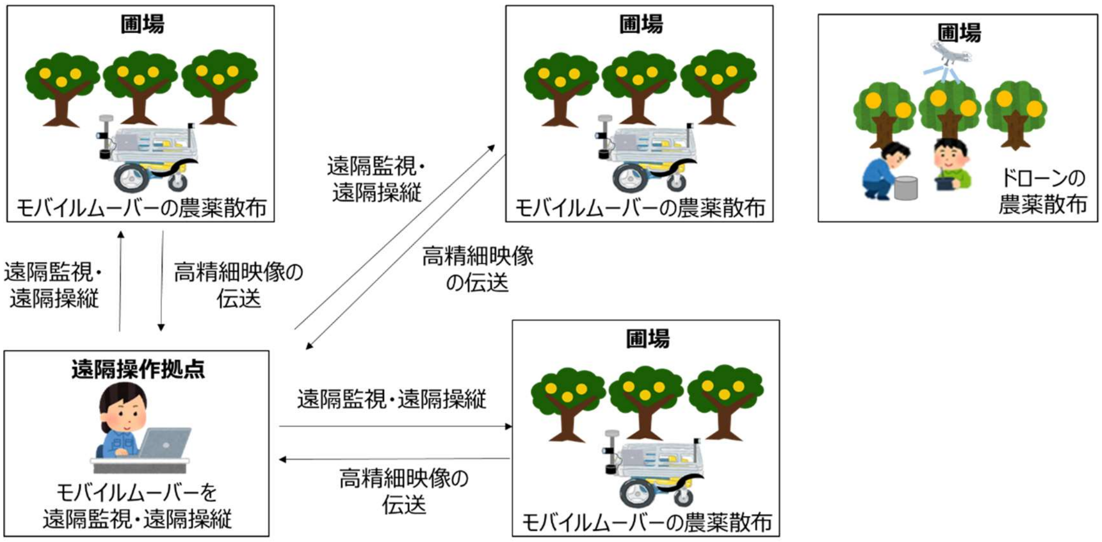


図 4.3.1-16 シェアリングモデル(パターン F)

● パターン G:ドローン 1 台を圃場で操縦する場合

図 4.3.1-17 シェアリングモデル(パターン G)

上記の使い分けのパターンの検討と並行して、ゆず圃場の地形特性を考慮したモバイルムーバーとドローンの使い分けについて生産者へのアンケートを行った。

アンケート結果からモバイルムーバーは平均 4、ドローンは平均 4.4 の導入可能性があることが示された。生産者にとって馴染みのないモバイルムーバーはドローンと比較して少し点数が落ちているが、双方ともに高い関心を寄せられていることが確認できた。ゆず圃場特有の地形特性への適合性についてのヒアリング結果として、モバイルムーバーのサイズであれば樹木間を十分に走れることが確認できた。一方で、崖の近く等のゆず圃場の周縁では使用することが難しいので、その部分は手散布が残るのではないかという懸念も挙げられた。モバイルムーバーが走行できないエリアはドローンを使用する想定であり、角度による概算でのエリア分けを行っているが、今後の運用でどの程度の割合で実際にモバイルムーバーが使用できるのかを精緻化する計画である。

名前：

No	質問	回答欄				
1	モバイルムーバーによる防除ソリューションを使用したいと思いますか（使用したい場合が5）	1	2	3	4	5
2	ドローンによる防除を使用したいと思いますか（使用したい場合が5）	1	2	3	4	5

No	生産者A	生産者B	生産者C	生産者D	生産者E	平均
1	5	4	5	3	3	4
2	5	4	5	4	4	4.4

図 4.3.1-18 生産者へのアンケート結果

生産者アンケートから、急傾斜(傾斜 15 度以上)のある圃場以外に崖付近の圃場についてもドローンを使用した方が良いことがわかった。シェアリングの適正運用に向けて、パターン A～G の 7 つのパターンと地形特性を考慮したシェアリングモデルの適正パターンについて整理を行った。

急傾斜または崖がなく、平坦地の圃場が 1 つの場合はパターン A、2 つの場合はパターン B、3 つの場合はパターン C が適用となる。急傾斜または崖のみの圃場の場合はパターンが適用となる。急傾斜または崖があり、さらに平坦地の圃場でも同時作業を行う場合は、平坦地の圃場が 1 つの場合はパターン D、2 つの場合はパターン E、3 つの場合はパターン F が適用となる。

表 4.3.1-5 ゆず圃場の地形特性と圃場数によるシェアリングモデルの適正パターン

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="4">平坦地(傾斜 15 度未満)の圃場数</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">急傾斜(傾斜 15 度以上)または崖</td><td>なし</td><td>－</td><td>パターン A</td><td>パターン B</td><td>パターン C</td></tr>
<tr><td>あり</td><td>パターン G</td><td>パターン D</td><td>パターン E</td><td>パターン F</td></tr>
</table>

4.4.2 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

ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題を以下に記載する。

- ローカル 5G のエリア構築

  圃場内の一部実証箇所で十分な電波強度が得られていないため、ソリューションの提供が困難なエリアが存在することが明らかとなった。

- モバイルムーバーの操縦（オペレータ）

  自動運転はマニュアルのみで習得可能であるが、遠隔操縦はタイムラグ等に慣れるのに時間がかかるため、マニュアルのみで技術を習得するのが難しいことが明らかとなった。

- モバイルムーバーの運用（生産者）

  モバイルムーバーの電源仕様が独特なこと、防除ノズルの取り付け位置が車体の下部にあり見つけにくいことにより、運用性が落ちてしまうことが明らかとなった。また、オペレータとの連絡手段が電話であることも生産者にとって不便であることも明らかとなった。

- バーチャル圃場訪問の映像・音声品質

  カメラから遠い映像は解像度が落ちることが明らかとなった。また、録画映像を参加者全員で同時再生する際に正常に再生されない現象も見られた。加えて、スマートフォンでの収音では音声が鮮明に聞こえないことも明らかとなった。

- バーチャル圃場訪問の運用

  参加者アンケートから、バーチャル圃場訪問システムの特性である没入感をより体感してもらえるコンテンツの検討が必要なことが明らかとなった。

- 遠隔指導の映像

  遠隔指導の際に指導者が見ているモニターからでは、樹木の立体感を捉えることが難しく、選定対象の枝をすぐに識別することが難しいことが明らかとなった。

（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

上記に記載したローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題に対する解決策を以下に示す。

- ローカル 5G のエリア構築

  アンテナの向きを変更することで必要なエリアで十分な電波強度が得られるように調整を行う。今年度中にアンテナの向きを変更し、来年度の運用では問題なくソリューションを使用できるように計画済みである。加えて、異なるアンテナ機種の使用や、エリアを広げるために 2 つの 2 ポートアンテナの水平角度を異なる状態で設置するなどの対策についても検討を行う予定である。

- モバイルムーバーの操縦（オペレータ）

- 遠隔操縦については、本ソリューションの導入前にサービス事業者内の社内研修としてオペレータのトレーニング実習を行い、安全な走行ができる技術を習得した上で業務に従事する。

- モバイルムーバーの運用(生産者)

  モバイルムーバーの電源作業については、現行の仕様(タイミング良く OFF→ON→OFF→ON と操作することで正しく電源が入る)をシンプルな仕様に変更する予定である。また、防除ノズルの取り付けについては、モバイルムーバー本体にシール表示を行い、マニュアルへも記載する予定である。オペレータとの連絡手段については、生産者にとって運用しやすい連絡方法について意見交換を行い、改良に向けてコンソーシアムで協議を行う。代案として、モバイルムーバーへのマイクおよびスピーカーの設置等を検討している。

- バーチャル圃場訪問の映像・音声品質

  バーチャル圃場訪問システムの映像品質向上に向けて、より高機能な 360°カメラの導入検討、見せたい物体に近接してカメラを設置する等の撮影方法の工夫を検討する。同時再生時の通信安定化については、通信環境が安定化するスペックを有する PC の導入を検討する。また、音声品質の向上については、マイク付きイヤホンの導入を検討する。

- バーチャル圃場訪問の運用

  バーチャル圃場訪問イベントにおいて大都市圏の新規就農希望者が産地に興味を持つため、没入感のある映像体感や、リアルタイムの双方向コミュニケーション等のコンテンツ検討を行う予定である。具体的には、新規就農希望者が知りたい情報に基づいた生産者からの情報提供、新規就農希望者が産地に興味を持つための就農に関わる情報の提供方法検討を行う。

- 遠隔指導の映像

  スマートグラスを装着した作業者側で画角等の工夫を行うことで枝の識別がしやすくなることがわかった。具体的には光の角度による影響を考慮すること、広角の状態から対象の枝に近づきズームすることで枝の識別が容易になること、モニターを閲覧している指導者から詳細な画角の指示をすることで全体像を把握できること、を確認できた。社会実装に向けてこれらの手法を運用マニュアルへの反映を検討する。

4.4.3 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

実装・普及展開に向けた各ソリューション・ローカル 5G の環境構築についてのシナリオは以下の通りである。

- モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

  シェアリングサービスの一部として社会実装することを目的としている。社会実装の詳細についてはシェアリングサービスの項で記載する。モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションとしては、本実証にて明らかとなった運用性の課題(電源仕様、防除ノズルの取り付け位置、オペレータとの連絡手段)について令和 5 年度に解決を図る予定である。令和 6 年度には、普及に向けた広報活動を民間(元気会)投資のもと、実施する予定である。その後、令和 7 年度以降に、シェアリングモデルにより、安芸地区の生産者への導入を目指す。

- 新規就農者遠隔指導ソリューション

  シェアリングサービスの一部として社会実装することを目的としている。社会実装の詳細についてはシェアリングサービスの項で記載する。新規就農者遠隔指導ソリューションとしては、本実証にて明らかとなった映像・音声品質の課題について令和 5 年度に解決を図る予定である。また、サービス事業者と想定している元気会内もしくは他団体と連携して指導員を確保する必要があるため、令和 6 年度はサービス体制の強化を図る。具体的には、バーチャル圃場訪問については利用者の開拓やニーズ調査の実施を行い、遠隔指導システムについては実証したサービス内容をもとに産地内で横展開を図って行く。その後、令和 7 年度以降に、モバイルムーバーソリューションと合わせてシェアリングサービスのオプションとして実装を進めて行く。

- シェアリングサービス

  令和 9 年度時点でビジネスとして黒字化することを目標としている。シェアリング事業を開始後、サービス提供する生産者数(令和 7 年度:3 生産者、令和 8 年度:6 生産者、令和 9 年度:9 生産者と仮定)が増えるにつれてサービス利用料(売上)が増加する。他方コストについては、元気会のオペレータが遠隔で集約して複数の生産者に対して運用を代行するため、費用対効果としてはサービス需要者(生産者)が増えるにつれて増加する見込みである。

- ローカル 5G 環境構築

  本事業で導入したものを継続利用する計画である。現時点では、圃場内の一部で十分な電波強度が得られていないため、アンテナ機種や設置方法の再検討を令和 5 年度に実施し、社会実装に向けて環境を整備する予定である。令和 6 年度以降は保守およびライセンス費用をランニングコストとして計上する。ランニングコストについてもシェアリング等により最小化するとともに、公的資金による助成等も視野にいれることで事業者の負担とならないような措置を検討する。

（2） 実装計画

1） 実装計画の作成方法

実施体制については、サービス提供者である元気会が主体となりネットワークベンダー、機器ベンダーの選定を実施。普及展開に係る支援体制についてコンソーシアムで協議し、北川村および JA 高知県安芸支所、高知県安芸農業振興センターの支援を受ける体制を確認した。

実施計画については、モバイルムーバーを用いた防除ソリューションはエムスクエア・ラボと連携、新規就農者遠隔指導ソリューションは NTT コミュニケーションズと連携し計画立案を実施した。

収支計画については、ユーザー視点でのソリューションに対する支払い意思額を安芸地区の実証協力農家でヒアリングし作成した。

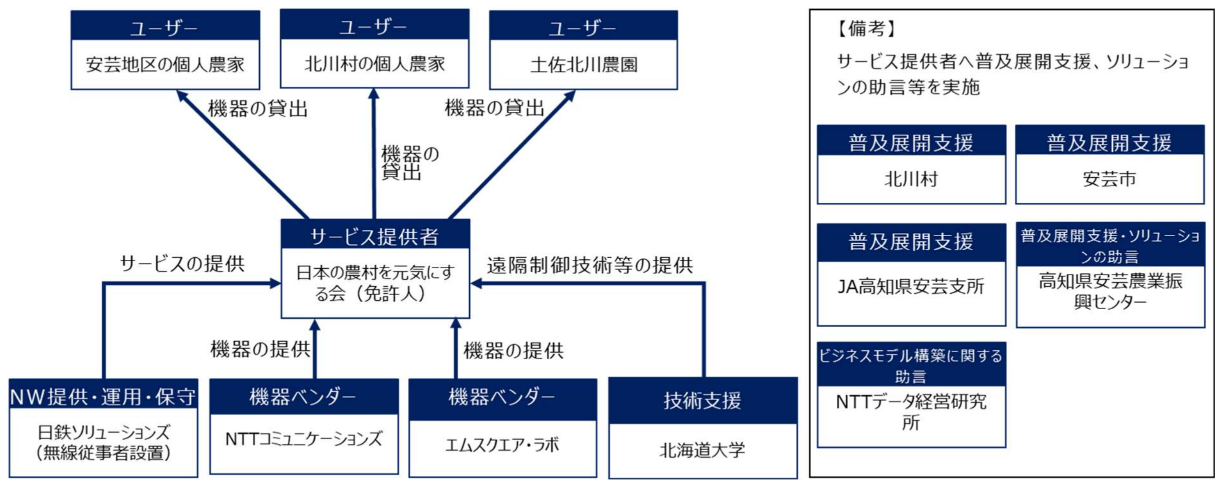
実装を確実にするための取り組みとしては、サービス提供者である元気会が主導しコンソーシアム各社と協議し決定した。

2） 実装計画の要約

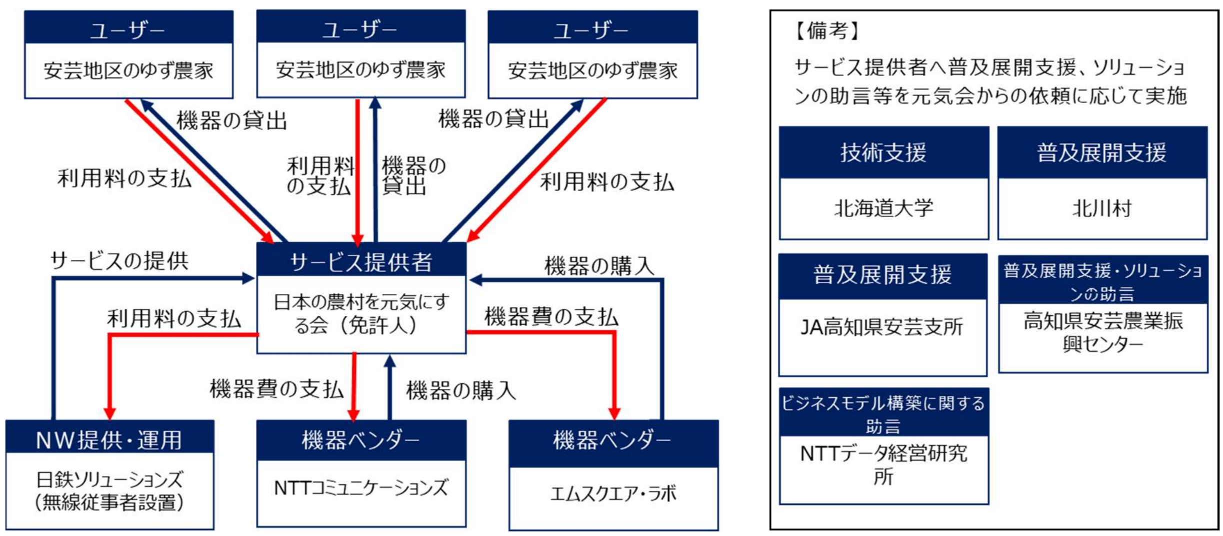
■実装計画要約シート

開 03 代表機関名	株式会社 NTT データ経営研究所	分野	農業
実証件名	ローカル 5G を活用した遠隔監視制御および遠隔指導等によるゆず生産スマート化の実現		
実施体制			

■継続実証（令和 5 年度）における体制図



■社会実装における体制図



			令和 4 年度（2023）	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）
画業	シェアリングサービ	モバイルムーバーを用いた自動防除ソ	開発実証	課題対応	民間投資による機能拡張、課題対応			
						コンソ内実装	シェアリングによる北川村内への横展開	

	ス	リューション						
		新規就農者遠隔指導ソリューション	開発実証	課題対応	民間投資による体制強化	コンソ内実装	シェアリングによる北川村内への横展開	
		ローカル 5G システム	開発実証	実装				
[illegible]5G[illegible]の[illegible]（円）	(1)ユーザーから得る対価				0	2,735	3,880	5,025
	(2)補助金・交付金				0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))				0	2,735	3,880	5,025
	(4)ネットワーク設置費				0	0	0	0
	(5)ネットワーク運用費				2,732	2,108	1,628	1,258
	(6)ソリューション購入費				669	669	1,017	1,364
	(7)ソリューション開発費							
	(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))				3,402	2,778	2,645	2,622
	(9)収支((3)-(8))				-3,402	-42	1,236	2,403

収入、支出の算出根拠

総収入はモバイルムーバーによる防除ソリューションと遠隔指導ソリューションの売り上げを合算した。
モバイルムーバーによる防除ソリューションの売り上げは年間散布回数×総面積×単価で算出した。
ユーザー数は令和 7 年度で 2 件、令和 8 年度で 5 件、令和 9 年度で 8 件と増加して行く計画で算出している。
単価は市場性アンケートの結果から生産者の希望価格を用いている。遠隔指導ソリューションの売り上げは 1 ユーザー(大規模農家)が遠隔指導ソリューションを使用する計画で算出した。利用料は生産者アンケートの結果から生産者の希望価格を用いている。
総支出はソリューション購入費とネットワーク運用費を合算した。
ソリューション購入費はオペレータ時給×全作業時間の合計で算出した。
オペレータの作業時間として、農薬散布や遠隔監視をしている直接作業時間と直接作業はしていないが必要になる作業時間バッファと保守作業時間を考慮した。
ネットワーク運用費については、ライセンス費用と電波利用料を合算した。

実装		どのようにして(手段、取り組み方法、アウトカム)	いつまでに
実装を確実にするための取り	提供コスト低減	モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションをシェアリング事業の確立により想定価格 3,550 円/一回で利用できる事業を実現 新規就農者遠隔指導ソリューションをシェアリング事業の確立により想定価格 140,400 円/年間で利用できる事業を実現する	令和 7 年度
	ソリューション追加開発	特記事項なし	—
	顧客開拓	JA が主催する新規就農者向けの研修でスマート農業の講習を行うことで顧客開拓を行う。また、令和 5 年度の継続実証にて動画等によるアウトリーチ活動を行う。	令和5年度末

組み	運用面の改善	実証圃場で年間を通じた防除作業でのモバイルムーバーの活用を実証し、運用性を確認する。 遠隔指導システムの病害虫判断での使用について作期を通してシステムを活用し、使用頻度を検証し効率的な運用方法の改善に繋げる。	令和5年度末
	ルールメイキングへの貢献	ローカル 5G の免許申請の仕組みを円滑化し、実証期間中のパラメータ変更を柔軟に行えるように提言を行う。	令和 6 年度末
	計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達など）	生産者アンケートによる希望価格で設定したサービス単価の見直しを行い、サービスが成立するような単価設定に見直す。それが不可能な場合はサービス事業者のオペレータ時給を削減する。	令和 9 年度末

a. 実施体制

令和 5 年度の継続実証においては、土佐北川農園および北川村の個人農家および安芸地区の個人農家を実証フィールドとして、元気会が本ソリューションのサービス提供者となって、シェアリングサービスの実証を行う。また、令和 5 年度の継続実証では本事業(令和 4 年度総務省事業)で設置した機器を継続利用する。ローカル 5G サービスの提供・運用・保守は日鉄ソリューションズが役割を担い、ソリューションの提供については新規就農者遠隔指導ソリューションの提供・支援を NTT コミュニケーションズ、モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションの提供・支援をエムスクエア・ラボがそれぞれ担当する。モバイルムーバーの遠隔制御技術については北海道大学が技術支援を行う。また、北川村が村内における連携支援、普及協力等を行い、安芸市、JA 高知県安芸支所、高知県安芸農業振興センターが地域全体での利用に向けた普及活動(サービスへの加入促進活動)の実施と安芸地区の他自治体、生産者へのサービス紹介、導入に向けた調整を担う。

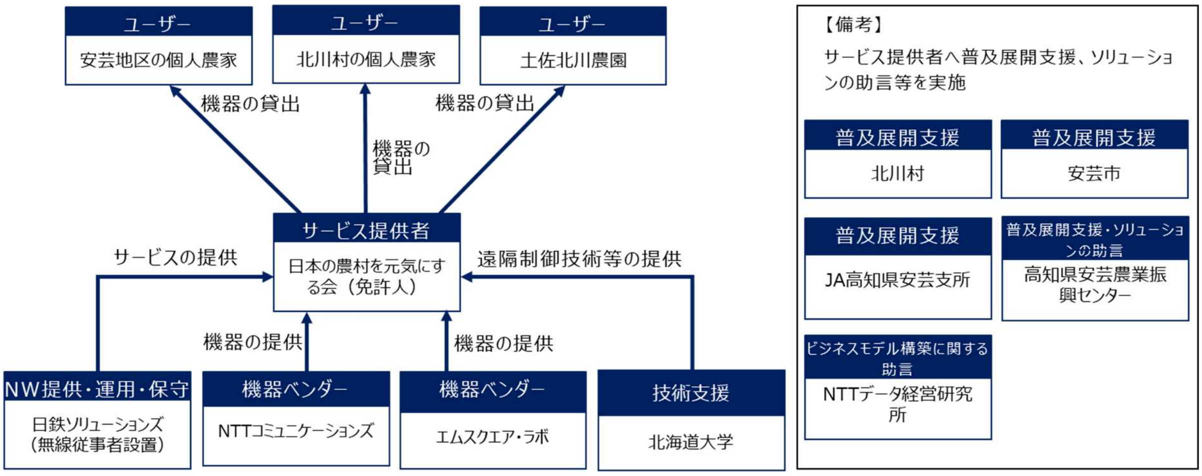


図 4.4.3-1 令和 5 年度の継続実証事業における体制図

令和 6 年度以降は社会実装にあたり、元気会がシェアリングサービスの事業主体となりシェアリングサービスの提供、機器の導入・運用・保守を担う。北川村が村内における連携支援、普及協力等を行い、JA 高知県安芸支所、高知県安芸農業振興センターが地域全体での利用に向けた普及活動(サービスへの加入促進活動)の実施と安芸地区の他自治体、生産者へのサービス紹介、導入に向けた調整を担う。またローカル 5G サービスの提供・運営にあたっては日鉄ソリューションズが役割を担い、ソリューションの提供については新規就農者遠隔指導ソリューションの提供・支援を NTT コミュニケーションズ、モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションの提供・支援をエムスクエア・ラボがそれぞれ担当する。NTT データ経営研究所は、令和 5 年度の継続実証において引き続き実装・横展開に向けてサービス事業者となる元気会に対してビジネスモデル・マネタイズ方法に関する助言を行う。また、令和 6 年度以降も元気会の求めに応じて適宜助言を行う。なお、元気会の求めに応じて、北海道大学はモバイルムーバーの遠隔制御技術の技術支援を行う予定である。

表 4.4.3-1 社会実装時の各機関の役割

機関	役割
元気会 (サービス展開の主体)	・ シェアリングサービスの提供 ・ 機器の導入・運用・保守
日鉄ソリューションズ	・ ローカル 5G サービスの提供・運用
NTT コミュニケーションズ	・ バーチャル圃場訪問システムと遠隔指導システム・機器の提供・支援
エムスクエア・ラボ	・ モバイルムーバーを用いた自動防除システム・機器の提供・支援
北海道大学	・ モバイルムーバーの遠隔制御技術の支援
JA 高知県安芸支所	・ 地域全体での利用に向けた普及活動(サービスへの加入促進活動)の実施 ・ 安芸地区の他自治体、生産者へのサービス紹介、導入に向けた調整
北川村	・ 北川村内における連携支援、普及協力
高知県安芸農業振興センター	・ 地域全体での利用に向けた普及活動(サービスへの加入促進活動)の実施 ・ 安芸地区の他自治体、生産者へのサービス紹介、導入に向けた調整
NTT データ経営研究所	・ ビジネスモデル、マネタイズに関する助言

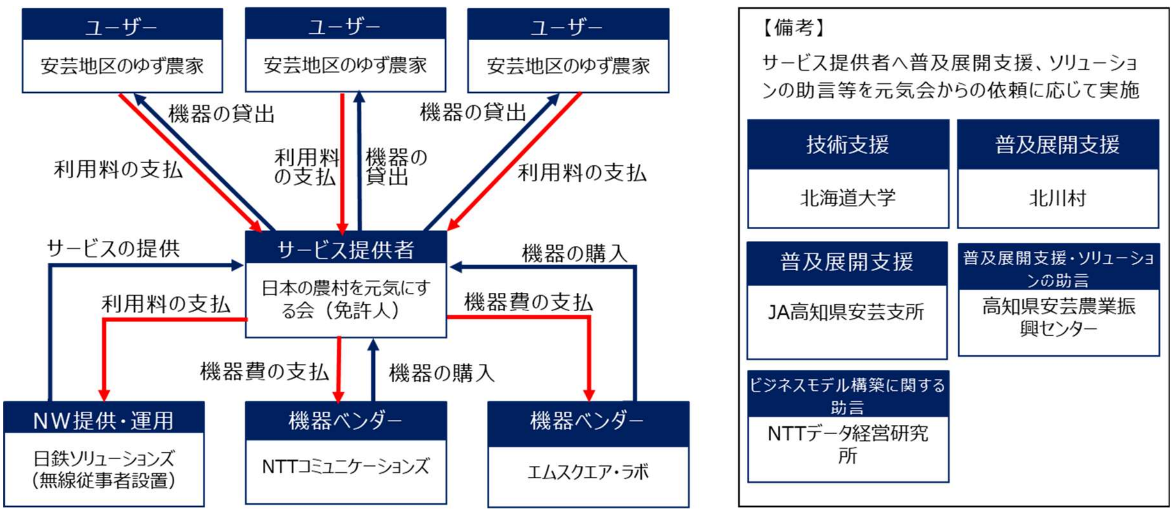


図 4.4.3-2 社会実装時の体制図

b. 実装計画(実施事項)

モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション、新規就農者遠隔指導ソリューション、ローカル 5G について以下の取り組みを実施し、サービス事業者(元気会)がシェアリングサービスの社会実装を推進する計画である。なお、NTT データ経営研究所は、令和 5 年度の継続実証において引き続き実装・横展開に向けてサービス事業者となる元気会に対してビジネスモデル・マネタイズ方法に関する助言を行う。また、令和 6 年度以降も元気会の求めに応じて適宜助言を行う。

モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションについては、本実証にて明らかとなった運用性の課題(電源仕様、防除ノズルの取り付け位置、オペレータとの連絡手段)について令和 5 年度に解決を図る予定である。令和 6 年度には、普及に向けた広報活動を民間(元気会)投資のもと、実施する予定である。その後、令和 7 年度以降に、シェアリングモデルにより、安芸地区の生産者への導入を目指す。

新規就農者遠隔指導ソリューションとしては、本実証にて明らかとなった映像・音声品質の課題について令和 5 年度に解決を図る予定である。また、サービス事業者と想定している元気会内もしくは他団体と連携して指導員を確保する必要があるため、令和 6 年度はサービス体制の強化を図る。具体的には、バーチャル圃場訪問については利用者の開拓やニーズ調査の実施を行い、遠隔指導システムについては実証したサービス内容をもとに産地内で横展開を図って行く。その後、令和 7 年度以降に、モバイルムーバーソリューションと合わせてシェアリングサービスのオプションとして実装を進めて行く。

ローカル 5G の環境構築については、本事業で導入したものを継続利用する計画である。現時点では、圃場内の一部で十分な電波強度が得られていないため、アンテナ機種や設置方法の再検討を令和 5 年度に実施し、継続使用に向けて環境を整備する予定である。令和 6 年度以降は保守およびライセンス費用をランニングコストとして計上する。ランニングコストについてもシェアリング等により最小化するとともに、公的資金による助成等も視野にいれることで事業者の負担とならないような措置を検討する。

シェアリングサービスについては、上記の取り組みを行うことで、令和 9 年度時点でビジネスとして黒字化することを目標としている。シェアリング事業を開始後、サービス提供する生産者数(令和 7 年度:3 生産者、令和 8 年度:6 生産者、令和 9 年度:9 生産者と仮定)が増えるにつれてサービス利用料(売上)が増加する。他方コストについては、元気会のオペレータが遠隔で集約して複数の生産者に対して運用を代行するため、費用対効果としてはサービス需要者(生産者)が増えるにつれて増加する見込みである。

c. 収支計画

ア） 収支計画

本ソリューションは、シェアリングモデルでの提供を想定している。シェアリングモデルにおいては、サービス提供者数が増えるにつれてサービス利用料（売上）が増加する見込みである。本実証においては、北川村で最も大きく、キャリア 5G や LTE が十分に通じていない土佐北川農園において実証ソリューションを導入するにあたり、ローカル 5G の実装可能性を検証した。本実証および令和 5 年度の継続実証の結果を踏まえて土佐北川農園に本実証ソリューションを実装した後、北川村内の他の農家へシェアリングモデルで横展開を行う計画である。具体的な導入目標については、令和 7 年度は（土佐北川農園を含む）3 生産者、令和 8 年度は 6 生産者、令和 9 年度は 9 生産者と設定している。

収支計画は元気会をサービス提供主体として作成しており、収入は生産者から支払われるシェアリングサービス利用料の合計、コストは元気会が事業を運用するために発生する経費の合計をそれぞれ示している。

シェアリングサービス利用料は、自動防除ソリューションの利用料と新規就農者遠隔指導ソリューションの利用料からなる（草刈りソリューションについては、本実証では作業を行っておらず生産者の支払い可能額の調査も実施していないため、本シミュレーションからは除外し、次年度以降に検討することとした）。自動防除ソリューションの利用料についてはサービスを利用する生産者が支払いを行う。なお、本収支計画においては、ローカル 5G 設備を活用する土佐北川農園の圃場規模を 2.4ha、その他の北川村内の農家の圃場規模を 0.5ha と仮定し、10a の 1 回あたりのサービス利用単価を基にシミュレーションを実施している。本ソリューションにおいては、ネットワーク（ローカル 5G、キャリア 5G、LTE 等）と散布方法（モバイルムーバー、ドローン）の選択によってコストは変わるが、生産者にとってわかりやすい料金設定を行うため、社会実装時には圃場面積あたりの利用単価を設定する想定である。なお、どのネットワーク・散布方法を選択するにしても自動防除ソリューションであることに変わりはないため、生産者の観点からも、圃場面積に応じた単価設定を行うことは妥当であると考えている。新規就農者遠隔指導ソリューションについては、サービスの提供先として従業員を複数雇用する大規模農家と、新規就農者に営農指導を行う自治体や JA に定めており、ソリューション利用料については、大規模農家の運営者および自治体や JA が支払いを行うことを想定している。

支出において、ネットワーク設置費はローカル 5G 設備の設置にかかる費用の総額である。ネットワーク運用費はローカル 5G 環境を維持するためのランニングコストを見込んでいる。ソリューション購入費はモバイルムーバーソリューションおよび新規就農者遠隔指導ソリューションの機器費およびシステム構築費、本ソリューションのサービス提供にかかる人件費、保守運用費、諸経費の総額である。

今後ローカル 5G の普及が進んだ場合、ネットワーク設置費（イニシャルコスト）およびネットワーク運用費（ランニングコスト）の低減が見込まれる。実装・横展開を見据え、ローカル 5G に係る費用が低減された場合の収支計画の検討を行った。令和 6 年度以降にローカル 5G に係る費用が毎年 23%ずつ低減された場合の収支シミュレーションを表 4.4.3-2 に示す。本シミュレーションにおける単年度収支は、令和 6 年度が-3,401,521 円、令和 7 年度が-42,059 円、令和 8 年度が 1,235,722 円、令和 9 年度が 2,402,990 円となり、令和 9 年度までの累計収支は 195,133 円で、黒字化が見込まれる。

なお、シェアリングサービスにてモバイルムーバーやスマートグラス等の機器の貸し出しは実施するが、機器の使用の仕方は各生産者によるため、全ての生産者が本実証と同等のコスト削減効果を得られるこ

とを保証することはできない想定である。防除計画についても計画策定のサポートは行う予定であるが、基本的には生産者自身で防除計画を立案し、それに従ってシェアリングサービスを利用することを想定している。

以下に収支計画の具体的な算定根拠を示す。

総収入はモバイルムーバーによる自動防除ソリューションと新規就農者遠隔指導ソリューションの収入を合算した。

モバイルムーバーによる自動防除ソリューションの収入は年間散布回数×総面積×単価で算出した。年間散布回数の根拠はJA高知県の令和 5 年度ゆずの施肥･病害虫防除基準より、必須防除が 14 回、任意防除が 15 回であることから、任意防除の実施割合を 50 パーセントとして、21.5 回と算出している。総面積は土佐北川農園の圃場面積が 2.4ha、その他の北川村の農家の圃場面積を 0.5ha として、令和 7 年度で 2 件、令和 8 年度で 5 件、令和 9 年度で 8 件と増加して行く計画で算出している。単価は市場性アンケートの結果から生産者の希望価格を用いている。

遠隔指導ソリューションの収入は、大規模農家が遠隔指導ソリューションを使用する想定で算出した。利用料は生産者アンケートの結果から生産者の希望価格を用いている。

総支出はソリューション購入費とネットワーク運用費を合算した。

ソリューション購入費はオペレータ時給×全作業時間の合計で算出した。

オペレータの作業時間として、農薬散布や遠隔監視をしている直接作業時間と、直接作業はしていないが必要になる作業時間バッファと保守作業時間を考慮した。

直接作業時間について、本実証の運用試験より 30a の面積を自動走行する時間が 25 分であることから 10a あたりの単価を算出し、面積と年間散布回数を乗じて算出した。

作業時間バッファについて、間接的な作業として主なものに、ドローンを使用する場合のオペレータの移動時間が挙げられるため、移動時間の最大値をバッファとして設けた。遠隔監視センターから北川村の奥地までの往復時間は最大で 2 時間であるため、年間散布回数×農家数×2 時間をバッファとして設けている。なお、実際はドローンを使用しない圃場や近距離の圃場での散布が想定されるため、その他の些末な間接作業を含めても、このバッファの範囲に収まると想定している。

保守作業時間について、週に 2 時間の保守作業を想定して算出している。実際には毎週作業が発生することはなく、機器の故障等があった場合に必要な時間であるが、平均的に週 2 時間程度の作業量になることを想定している。

ネットワーク運用費については、ライセンス費用と電波利用料を合算した。

表 4.4.3-2 ローカル 5G 費用低減後の収支シミュレーションの詳細内容

	令和6年度	令和7年度	令和8年度	令和9年度
年間散布回数[回]	21.5	21.5	21.5	21.5
小規模農家数	2	2	5	8
大規模農家数	1	1	1	1
総面積[ha]	3.4	3.4	4.9	6.4
単価（10aあたり）[円]	¥0	¥3,550	¥3,550	¥3,550
MM収入[円]	¥0	¥2,595,050	¥3,739,925	¥4,884,800
遠隔指導収入[円]	¥0	¥140,400	¥140,400	¥140,400
総収入[円]	¥0	¥2,735,450	¥3,880,325	¥5,025,200
作業時間(10aあたり）[h]	0.14	0.14	0.14	0.14
直接作業時間[h]	101.5	101.5	146.3	191.1
作業時間バッファ[h]	129	129	258	387
保守時間[h]	104	104	104	104
オペレータ時給[円]	¥2,000	¥2,000	¥2,000	¥2,000
ソリューション購入費[円]	¥669,056	¥669,056	¥1,016,639	¥1,364,222
L5Gライセンス費[円]	¥2,713,095	¥2,089,083	¥1,608,594	¥1,238,617
電波利用料（基地局）[円]	¥19,000	¥19,000	¥19,000	¥19,000
電波利用料（端末）[円]	¥370	¥370	¥370	¥370
ネットワーク運用費	¥2,732,465	¥2,108,453	¥1,627,964	¥1,257,987
総支出	¥3,401,521	¥2,777,509	¥2,644,603	¥2,622,210
収支	¥-3,401,521	¥-42,059	¥1,235,722	¥2,402,990
累積収支	¥-3,401,521	¥-3,443,579	¥-2,207,857	¥195,133

イ） ユーザーにおける必要リソース（モデルケース）

イニシャルコストについて、本サービスはシェアリングサービスであるため、ユーザーはイニシャルコストを負担しない。

ランニングコストについて、サービス事業者へ支払うサービス利用料が発生し、大規模農家の場合（圃場面積 2.4ha、年間散布回数 21.5 回、防除単価 3,550 円/10a と仮定）は防除ソリューションに 1,831,800 円がかかり、遠隔指導ソリューションに 140,400 円がかかる。ローカル 5G システムについては、サービス事業者が運用を行うため、ユーザーは費用を負担しない。

表 4.4.3-3 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			0	0
a.	ローカル 5G システム運用業務（※自社で実施する場合）		0	0
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）		0	0
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション			0	1,972,200 円
a.	自動防除ソリューション		0	1,831,800 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）	0	0
	②	サービス利用費（※他社に委託する費用）	0	1,831,800 円
b.	遠隔指導ソリューション		0	140,400 円
	①	運用に係る環境整備等に係る経費	0	0
	③	サービス利用費	0	140,400 円

d. 実装を確実にするための取り組み

ア） 提供コスト低減

- モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

  サービス事業者（元気会）がサービス提供型のビジネスモデルを開発し、令和 7 年度までにシステム機器を全て購入した場合の費用 4,780 千円/台のモバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションをシェアリング事業の確立により想定価格 3,550 円/一回で利用できる事業を実現する。

- 新規就農者遠隔指導ソリューション

サービス事業者(元気会)がサービス提供型のビジネスモデルを開発し、令和 7 年度までに新規就農者遠隔指導ソリューションをシェアリング事業の確立により想定価格 140,400 円/年間で利用できる事業を実現する。

イ) ソリューション追加開発

本ソリューションにおける追加開発は現段階で予定していない。令和 5 年度の継続実証での運用を通して、課題が発生した場合には追加開発の検討も行う。

ウ) 顧客開拓

JA が主催する新規就農者向けの研修でスマート農業の講習を行うことで顧客開拓を行う。今年度は 2022 年 12 月に実施済み、来年度も同様に行う想定である。また、令和 5 年度の継続実証にて、動画等によるアウトリーチ活動を行う想定である。

エ) 運用面の改善

- モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション

  令和 5 年度の継続実証にて、2023 年 4 月から 2023 年 10 月まで実証圃場で年間を通じた防除作業での活用を実証し、運用性を確認する。

- 新規就農者遠隔指導ソリューション

  遠隔指導システムの病害虫判断での使用について、2023 年 4 月から 2023 年 10 月までの作期を通してシステムを活用し、使用頻度を検証し効率的な運用方法の改善に繋げる。

オ) ルールメイキングへの貢献

免許申請が円滑化されるとスムーズに実証を行うことができる可能性がある。本実証では、樹木の影響で電波が想定よりも飛ばず、ローカル 5G のアンテナの向きを変更する必要が生じたが、都度、総合通信局へ確認が必要となり対応が遅れてしまう場面が発生した。試行錯誤的に種々のパラメータを変更できるように免許申請手続きの仕組みを円滑化できると、スムーズな活用に繋がると思われる。本件については、基地局の免許申請時に予め、複数の空中線設置予定地点において他者土地へ干渉を与えないことが確認できるのであれば変更ではなく届出で認められるように審議が開始されているため、ローカル 5G の利用者として当該審議に貢献していきたい。

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など)

本サービスのビジネスモデルにおいて、計画した収入を下回るのは計画していたよりもサービスを利用する生産者が少なくなった場合である。資金調達についての検討は行うが、サービス利用者が少ない状態で資金を得ることは難しいと想定される。サービス事業者自身の判断で対応可能な対応方法として、生産者アンケートによる希望価格で設定したサービス単価の見直しを行い、サービスを利用している生産者数に合わせてサービスが成立するような単価設定に見直す。例えば、令和 8 年度までは計画通りに推移し、令和 9 年度にユーザーが増加しなかった場合は、単価を 1.5 倍にすることで不足した収入を補う。それが不可能な場合はサービス事業者のオペレータ時給を削減する。

5.　普及啓発活動の実施

5.1　映像制作

本実証の実証フィールドである土佐北川農園の圃場と遠隔監視制御拠点の様子について撮影を行い、下記 10 点の映像素材を提供することで普及啓発活動用の映像制作に協力した。

1. 圃場の全景
2. 普段の作業の様子
3. モバイルムーバーが作業をする様子、モバイルムーバーのアップ
4. 遠隔でモバイルムーバーを監視・操作する様子
5. モバイルムーバーを監視するモニター画面のアップ、スタッフの姿
6. 圃場の 4K360 度カメラが動作する様子、カメラのアップ
7. VR ゴーグルを使ってバーチャル圃場見学をする様子、デバイスのアップ
8. スマートグラスを使って指導を受ける様子、デバイスのアップ
9. 遠隔で指導をする様子
10. 遠隔指導時のモニター画面、スタッフの姿

5.2　実証視察会の実施

関連団体・企業に対し本実証内容について周知することを目的として実証視察会を実施した。

- 実施日時：令和 5 年 2 月 22 日 13 時～16 時 5 分
- 実施場所：北川村民会館および土佐北川農園
- 参加人数：計 101 名
  以下の企業・団体が参加した。
  - 総務省および関係省庁
  - （株）三菱総合研究所
  - 関係企業・団体等
- 視察会実施要領
  北川村民会館にて、実証技術・設備に関する説明を行ったのち、土佐北川農園および遠隔監視制御拠点の見学を行った。
  土佐北川農園および遠隔監視制御拠点の見学時はカメラおよびマイクスピーカーを携帯し、リモート参加者のためにオンライン中継を実施した。
  - 実証技術・設備に関する説明
    - モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションの概要、進捗状況
    - スマートグラスを用いた新規就農者遠隔指導ソリューションの概要、進捗状況
    - 自動防除・新規就農者遠隔指導のシェアリングサービスの概要
  - 土佐北川農園の見学
    - 土佐北川農園の概要説明
    - ローカル 5G 基地局の説明

・　モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションのデモンストレーション
・　ドローンを用いた自動防除ソリューションのデモンストレーション

➢ 遠隔監視制御拠点の見学

・　設備、機器の説明
・　モバイルムーバーの遠隔監視、遠隔操縦のデモンストレーション
・　スマートグラスを用いた遠隔指導、VR ゴーグルを用いたバーチャル圃場見学のデモンストレーション

- 視察会の様子

視察会で行ったデモンストレーションの様子を以下に示す。

図 5.2-1 モバイルムーバーによる自動防除の様子

図 5.2-2 モバイルムーバーの自動防除を遠隔監視するモニター

図 5.2-3 遠隔指導時に作業者が装着するスマートグラス

図 5.2-4 遠隔指導時の指導者側のモニター

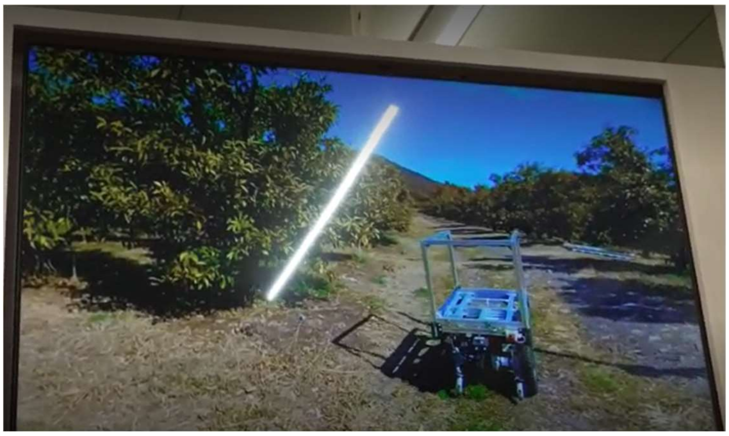


図 5.2-5 VR ゴーグルを用いたバーチャル圃場訪問の映像

5.3 その他普及啓発活動

5.3.1 広報用コンテンツの整備

- 広報用動画の制作

Web サイトでの情報発信等を想定して、本実証の概要および具体的な課題実証内容をまとめ

た広報用動画の制作を行った。

動画の制作にあたっては、動画の構成と訴求したい事項について検討を行い(表 5.3.1-1)、実証や圃場の様子、実証コンソーシアムメンバーへのインタビューを撮影した上で、アニメーション・インフォグラフィックス・ナレーションを挿入し本実証のアピールポイントを表現した。

	第一部 安芸地区のゆず産業の現状と実証の背景		第二部 実証内容のご紹介		第三部 今後の展望
時間	30秒	1分30秒	30秒	2分	30秒
#	高知県安芸地区の ゆず産業の概要と課題	生産者 インタビュー (土佐北川農園)	実証プロジェクトの 概要	実証事業者インタビュー (日本の農村を元気にする会)	ソリューションの 普及に向けた取り組み
伝えたい内容	高知県安芸地区は国内有数のゆず産地として知られ、近年は海外向けの輸出にも力を入れている他方、生産者の高齢化が進んでおり、生産コストの低下や新規就農者の増加が求められている。	• 北川村におけるゆず生産の魅力 • (一方で…)生産現場で抱えている課題感 • スマート農業に対する期待感	本実証では、L5Gを活用して、「①農薬散布・草刈り等の作業にかかる稼働削減」「②スマートグラスを用いた圃場見学や遠隔指導による新規就農者の受入増加」の実現を目指す。	モバイルムーバー・スマートグラス実機の映像や遠隔監視センターの映像を交えながら、各課題やソリューションの導入効果、今後の展望等、実証事業者のメッセージを届ける • 各課題実証のテーマや特徴(先進性、独自性等)、実施の必要性(現場の課題等) • L5Gを活用することにより期待される効果	普及に向けたシェアリングの取り組みを紹介 普及後の安芸地区のゆず生産の未来像
表現方法	• ナレーション • 圃場の映像等(動画・写真)	• インタビュー動画 • 圃場の映像等(動画、写真)	• ナレーション • イラスト/アニメーション • 実機の映像等(動画、写真)	• インタビュー動画 • 実機・遠隔監視センターの映像等(動画、写真) • インフォグラフィックス	• ナレーション • イラスト/アニメーション

表 5.3.1-1 動画の構成・アピールポイントに係る検討

- プレスリリースの実施

  本実証の開始とその概要について広く周知を行うため、実証コンソーシアムの連名でプレスリリースを行った。

  - リリース日:令和 5 年 1 月 10 日
  - タイトル:ローカル 5G を用いたスマート農業実証プロジェクトの開始について
    ～ICT を用いたゆず生産の効率化と生産者の確保・育成を目指す～
  - 内容:現地での実証を令和 5 年 1 月 10 日から開始すること、実証の目的および概要、実証期間・実施場所について
  - 連名機関:株式会社 NTT データ経営研究所、元気会、NTT コミュニケーションズ株式会社、日鉄ソリューションズ株式会社、株式会社エムスクエア・ラボ、国立大学法人北海道大学、高知県安芸農業振興センター、高知県農業協同組合、株式会社土佐北川農園、高知県安芸郡北川村、高知県安芸市

- 広報用 HP の制作

  本実証の情報発信に使用するため広報用 HP を開設した。

  - 開設日:令和 4 年 12 月 21 日
  - 開設場所:NTT データ経営研究所 HP 内
    (https://www.nttdata-strategy.com/shikoku_l5g/)
  - コンテンツ:実証概要、各ソリューションの詳細、イベント等のお知らせ

5.3.2 取材対応実績

- NHK 松山放送局からの取材

  本実証内容について NHK 松山放送局から取材を受けた。

  - 放映年月日：令和 5 年 1 月 13 日
  - 取材対応：元気会、土佐北川農園
  - 取材相手：NHK 松山放送局「四国らしんばん」
  - 内容：モバイルムーバーやスマートグラス等の IoT 機器を活用して、ゆず生産の効率化を目材していることについて説明を行った

5.3.3 発表等の実績

- 高知県農協指定市町村・農協協議会 地方創生にかかる官農連携実務者会

  本実証内容について高知県農協指定市町村・農協協議会で発表を行った。

  - 実施年月日：令和 4 年 11 月 24 日
  - 対象：高知県内市町村、農協関係者等
  - 内容：北川村の取り組みの一部として本実証の概要について説明を行った

- 農林水産省食料・農業・農村政策審議会整備部会

  本実証内容について農林水産省食料・農業・農村政策審議会整備部会で発表を行った。

  - 実施年月日：令和 4 年 11 月 27 日
  - 対象：整備部会委員および農林水産省農村振興局
  - 内容：北川村の取り組みの一部として本実証の概要について説明を行った

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

本事業では実証コンソーシアムを組成し、産官学連携により事業の履行と効果的な普及啓発活動に取り組んだ（図 6.1-1）。

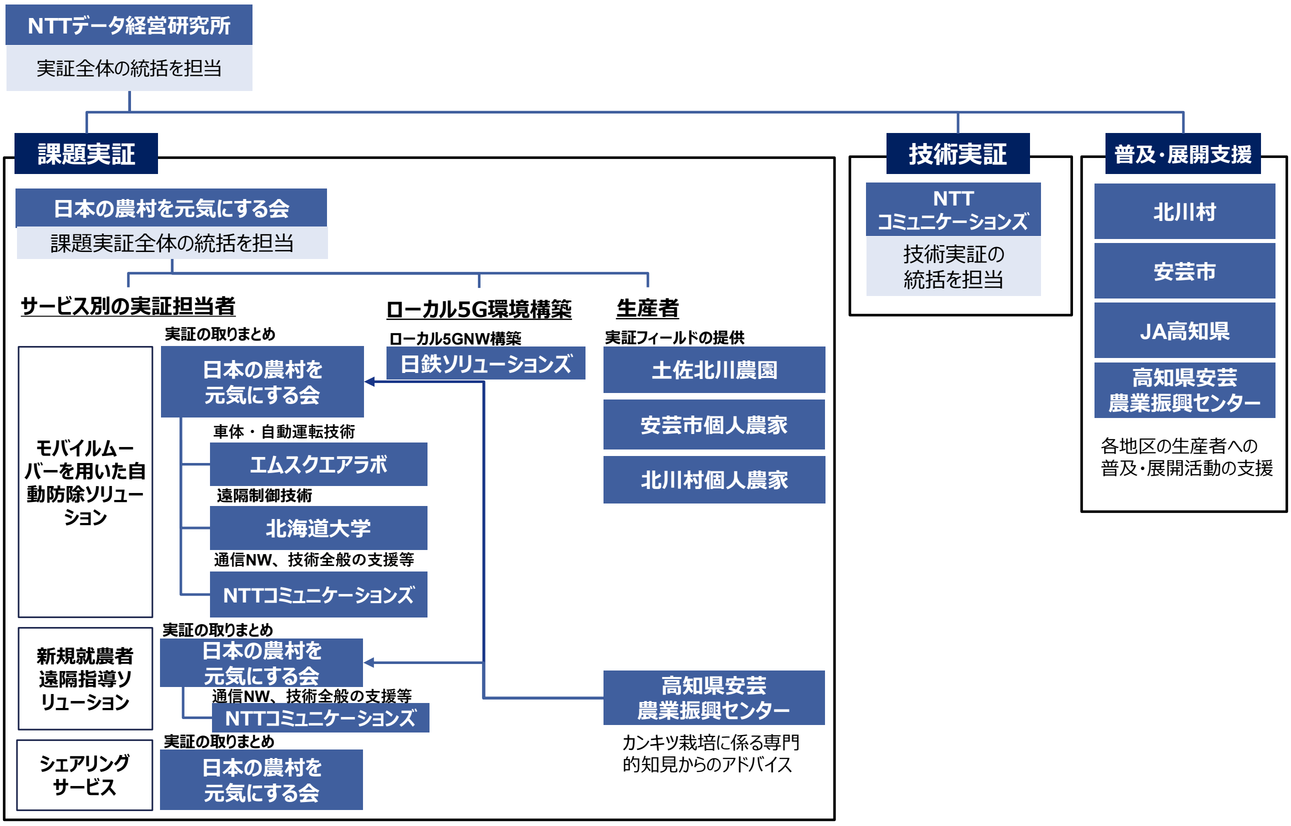


図 6.1-1 実施体制図

6.2 実施体制内の役割

本事業では各機関の役割を明確化し、効率的な事業の履行に取り組んだ。

表 6.2-1 実証コンソーシアム機関の役割

	機関名	実施内容
代表機関	エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所	コンソーシアム全体の取りまとめ、推進会議・定例会議の検討・運営、計画書および報告書の取りまとめ、普及啓発活動の計画等を実施した。

	機関名	実施内容
生産者	土佐北川農園	実証地として圃場の提供を行った。
	安芸市個人農家	令和 5 年度以降、実証地として圃場の提供を行う予定
	北川村個人農家	令和 5 年度以降、実証地として圃場の提供を行う予定
ローカル 5G 必須参画機関	日鉄ソリューションズ	各実証ソリューションのローカル 5G 通信仕様の検討作業とローカル 5G の環境構築作業を実施した。
産地を形成する農業団体	高知県農業協同組合安芸地区本部	安芸地区の生産者(小松様)との連絡調整および、地区内の農業団体として実証内容についての助言を行った。
サービス事業体、農業コントラクター	元気会	モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションおよび新規就農者遠隔支援ソリューションの実証の取りまとめを実施した。また、シェアリングサービス実証について、実証準備を実施した。
共同実証機関	エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ	新規就農者遠隔支援ソリューションの実証実施に必要である、スマートグラスおよび高精細カメラを活用した遠隔指導に関する技術提供を行った。
	エムスクエア・ラボ	モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションの実証実施において、自動運転技術を中心とする技術提供を行った。
	北海道大学	モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションの実証実施において、遠隔制御技術を中心とする技術提供を行った。
	北川村	地区内の生産者との連絡調整および、普及展開活動として地区内外に対する広報を実施した。
	高知県安芸農業振興センター	新規就農者遠隔支援システムの指導内容および指導シナリオを中心に、ゆず栽培に精通する組織として、実証内容に関する助言を行った。

	機関名	実施内容
	安芸市	今後実施予定の普及展開活動(視察会等)の際に、地区内の生産者や団体への広報・発信を担う予定。

表 6.2-2 実証コンソーシアム以外の機関の役割

機関名	実施内容
ドコモ・テクノロジ株式会社	ローカル 5G 環境構築において、測定機材の選定、調達や試験計画に対する評価方法策定と実証場所での測定を実施した。
日本コムシス株式会社	ローカル 5G 等の実施環境構築に関する設計コンサルおよび施工等の支援を実施した。
Nokia Innovations Japan 合同会社	ローカル 5G 等の実施環境構築に伴うローカル 5G 機器(5G コア、CU/DU、RU)装置の設定を実施した。
株式会社 NTC テクノロジー	技術実証において、評価系の構築、実証場所における測定支援、測定結果のデータ整理を実施した。
有限会社四国サービス	ローカル 5G 等の実施環境構築に関する施工の支援を実施した。

7. スケジュール

9 月から 11 月にかけて免許申請、実証環境の準備、ネットワーク構築等の実証環境の構築を日鉄ソリューションズが主導して実施した。

技術実証については、電波伝搬モデルの精緻化およびエリア構築の柔軟性向上を 12 月に実施した。

課題実証については、モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューションとスマートグラスを用いた新規就農者遠隔指導ソリューションの現地実証を 1 月に実施した。

普及活動については、現地実証に合わせてプレスリリースや映像素材の撮影、実証視察会を実施した。

表 7-1 実証全体のスケジュール

項目		9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
実証環境の構築								
	免許申請							
	実施環境の準備							
	NW・システムの構築							
技術実証								
	電波伝搬モデルの精緻化							
	エリア構築の柔軟性向上							
課題実証								
	モバイルムーバーを用いた自動防除ソリューション							
	スマートグラスを用いた新規就農者遠隔指導ソリューション							
普及活動								
	情報発信活動							
	広報用動画制作							

実績

計画

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 を活用した遠隔監視制御及び遠隔指導等によるゆず生産スマート化の実現

2023 年 3 月

株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所