

令和3年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

新型コロナからの経済復興に向けたローカル5Gを
活用したイチゴ栽培の知能化・自動化の実現

成果報告書

令和4年3月25日

東日本電信電話株式会社

目次

1. 実証概要	1
1.1 背景・目的	1
1.2 実証の概要	3
2. 実証環境の構築	5
2.1 実施環境	5
2.2 ネットワーク・システム構成	7
2.2.1 エリアカバレッジ	8
2.2.2 システム構成	9
2.2.3 機器構成	13
2.3 システム機能・性能・要件	42
2.3.1 イチゴの病害検知・熟度別数量把握システム	42
2.3.2 密検知・顧客誘導システム	44
2.4 免許及び各種許認可	46
2.5 その他要件	48
2.5.1 ローカル 5G システム	48
2.5.2 拠点間・拠点内ネットワークシステム	53
2.5.3 イチゴの病害検知システム	53
2.5.4 イチゴの熟度別数量把握システム	53
2.5.5 密検知・顧客誘導システム	53
2.5.6 その他	55
2.6 実証環境の運用	57
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）	59
3.1 実証概要	59
3.2 実証環境	61
3.3 実証内容	64
3.3.1 ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定	64
3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化	85
3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化	134
3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発	170
4. ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）	203
4.1 実証概要	203
4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標	206
4.2.1 課題整理	206
4.2.2 ローカル 5G を用いたソリューションによる課題解決	211
4.2.3 各実証におけるローカル 5G 活用の必然性	213
4.2.4 令和 2 年度総務省ローカル 5G 実証農業分野課題への対応	214

4.2.5 実装シナリオ	215
4.2.6 実証目標.....	216
4.3 実証環境.....	219
4.4 実証内容.....	222
4.4.1 ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証	222
4.4.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検証	287
4.4.3 ローカル 5G の実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討.....	311
4.4.4 継続利用の見通し・実装計画	321
5. 普及啓発活動の実施	329
5.1 映像制作への協力	329
5.2 実証視察会の実施	330
5.3 その他普及啓発活動.....	331
6. 実施体制	333
6.1 コンソーシアム実施体制	333
6.2 プロジェクト体制	336
7. スケジュール.....	337

1. 実証概要

1.1 背景・目的

農林水産省は、令和7年までに農業の担い手のほぼすべてがデータを活用した農業を実践できるよう施策を集中展開していく方針を掲げ、今まで以上に、農業データの活用を促進しており、生育状況のコントロールや収集したデータを活用するIT化が求められていることから、更なる高度化が重要であるとしています。

近年、高齢化・人口減少に伴って、農業を営む農家数が減少してきている一方で、野菜を栽培する新規就農者のおよそ3割は、「施設園芸農業」を選択しています。施設園芸農業は、天候や外気温の影響を減らして比較的安定した生産ができる農業形態であり、収益性を優先した作物を選定し、環境をコントロールし時期をずらして出荷を行うなど、生育状況のコントロールや収集したデータを活用するIT化が進んできています。

そのため異業種から農業への参入も多く、露地栽培と比べて環境に左右されないため今後はますます発展が期待される分野となっています。今後は、農家数の減少と施設園芸規模の大規模化が見込まれており、スマート農業技術を生産現場に導入した超省力化技術の社会実装を加速することによる、生産性・利益の向上が求められています。

令和3年度「スマート農業実証プロジェクト」において、スマート農業技術の社会実装を一層加速化するため、令和3年度は、従前と同様、生産性向上を前提としつつ、政策課題に直結した実証テーマが設定されました。その実証テーマの1番目に「海外ニーズに合わせた輸出重点品目等の生産・出荷体制の構築」が設定されています。

輸出重点品目として27品目が選定され、令和7年までの目標額が設定されています。特にイチゴ等については、10倍以上とするなど意欲的な目標が設定されており、目標を達成するためには、更なるスマート農業技術の活用が求められます。特に欧州等の厳しい残留農薬基準に対応した有機農業や減農薬栽培を前提とした営農管理等が求められています。このような国の政策においても、「イチゴ」は重点品目に設定されており、イチゴ生産の現場におけるスマート農業技術の活用を国として推進しています。

また、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、農業生産現場においても3密回避・人手依存の作業体系からの脱却など、「新しい生活様式」に対応した農作業のリモート化が望まれています。

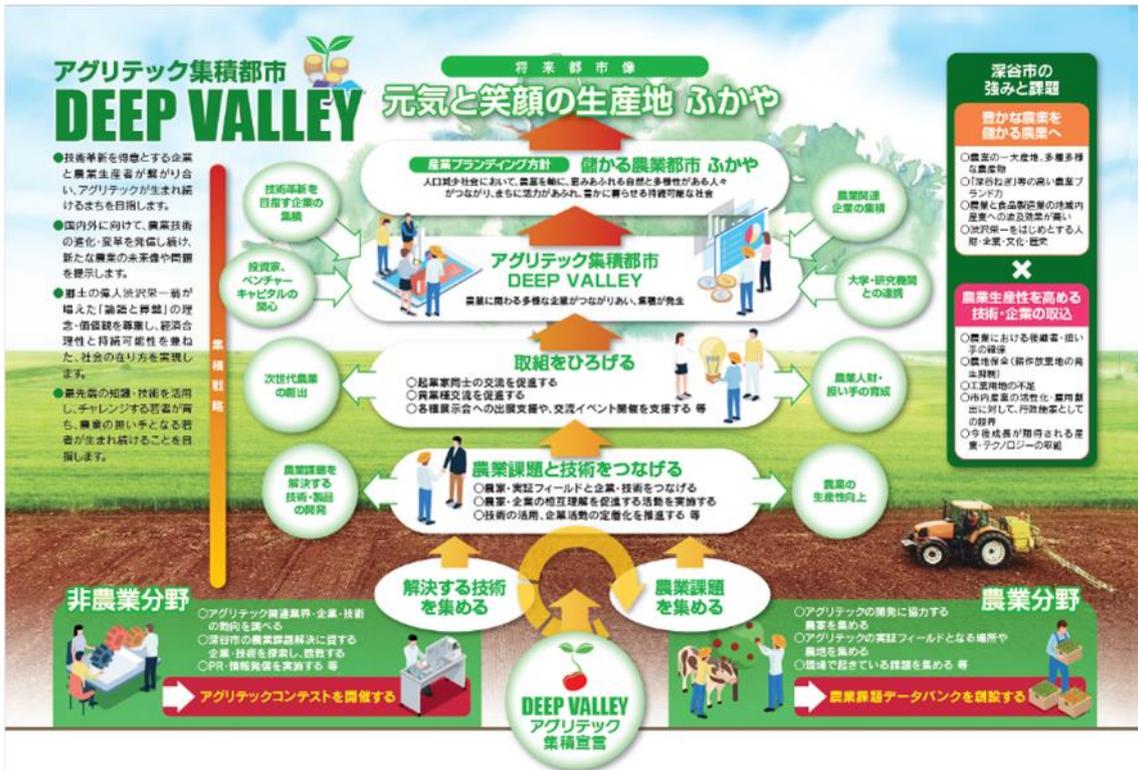
一方、埼玉県深谷市は、深谷ねぎをはじめ多様な農産物を生み出す一大生産地であり、首都圏の食を支えてきましたが、日本の農業全体の課題と同じく、深谷市においても耕作放棄地の増加や後継者不足、技能伝承等、農業の持続可能性が危ぶまれる様々な課題を抱えています。

そのような中、深谷市は、農業を次世代に引き継ぐためには、他産業の発展において蓄積された知識や磨かれた技術を活用・融合し、農業課題を解決する技術（アグリテック）を生み出し、農業の生産性を高め、価値を高めることが必要であると考えています。

そのために、様々な知識や技術を深谷市に集め、アグリテックを生み出し、この地から日本の農業課題の解決を図り、これからの日本の産業発展に資する企業や人材を多く輩出していくために、アグリテックの集積を図り、地域の経済課題解決と国家の経済発展に貢献

し、アグリテック集積都市 DEEP VALLEY を目指すことを、令和元年6月に宣言し、様々な施策を推進しています。

深谷市は、アグリテック集積戦略に基づき、農業の持続性の確保に向け、従来の「生産者の経験や勘に頼る農業」だけでなく、「AI解析に基づくスマート農業」の導入により、農作物の高品質化や農作業の効率化、栽培環境の最適化を進め、担い手不足の解消や高収益化の実現を推進しています。



(出典：深谷市「アグリテック集積戦略概要版」)

図 1-1 アグリテック集積都市

また、深谷市内のイチゴ観光農園「いちご畑花園」においては、現在、新型コロナウイルスの影響により、大きな打撃を受けているところではありますが、生産者の収穫に係る作業時間が増大しており大きな負担を抱えるなどの課題があることから、新型コロナウイルスを契機とするニューノーマルな農業スタイルを模索しているところです。

具体的には、来場者数が平常時と比較し大幅な減少となっており、今までは観光農園として運営してきたため、出荷等の稼働は少なかったのに対し、観光客の来場者数が減ったことにより、収穫稼働時間が大幅に増加し、作業の効率化・省人化が大きな課題となっています。また、観光農園特有の課題として、可能な限り農薬を使いたくないという防除の課題にも直面しています。

これらの課題を解決するため、ローカル 5G と最先端技術（ロボット、AI、高精細カメラ等）を活用した、農作業や観光農園運営のリモート・自動化を通じ、生産性の高い「稼ぐ

農業」の実現を目指し、実証を実施しました。

具体的には、生産環境の見える化や病虫害の早期発見、人流誘導の実現により、農薬量を抑えたイチゴ農園の実現及びフードロス改善につなげ、これらのIoTやAIなど各種センサを活用するスマート技術確立により、生産性の向上や収益拡大となるよう大いに期待するところです。

本実証を通じて、施設園芸の生産性・収益向上モデルを創出し、感染症のリスクとの共存する新たな事業モデルを創出し、同様の課題をもつ、全国の施設園芸事業者、観光農園における課題解決に向けた検証・評価を実施いたしました。

1.2 実証の概要

本実証において、現状の課題を整理し、その課題解決の方向性を設定し、効果的なソリューションを提供するとともに、ローカル5Gを活用したスマート農業の社会実装の推進、更には新型コロナウイルスの感染症リスクを踏まえた観光農園現場の新たな生活様式への対応の実現を目的に、イチゴの観光農園において「イチゴの病害検知」、「イチゴの熟度別数量把握」、「密検知・顧客誘導」に関する実証に取り組みました。

【実証1】イチゴの病害検知

【実証2】イチゴの熟度別数量把握

【実証3】密検知・顧客誘導

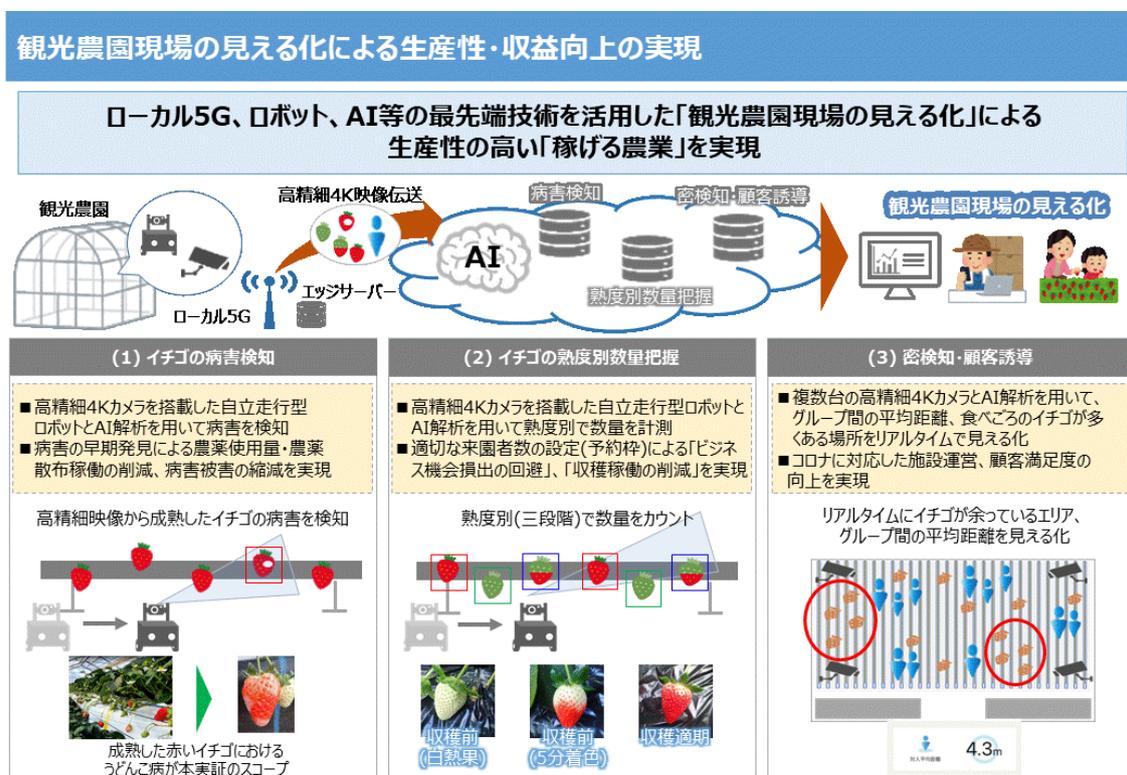


図 1-2 「観光農園現場の見える化」実証概要

本実証プロジェクトと連動展開を行う農林水産省「スマート農業実証プロジェクト（ロー

カル 5G) 」では、ロボット、AI、IoT 等の先端技術を活用したスマート農業の社会実装に向け、「ローカル 5G を活用したイチゴ栽培の智能化・リモート化実証」を実施しています。

表 1-1 本実証と農林水産省「スマート農業実証プロジェクト」の実証項目区分

実証課題	区分	名称	事業区分
イチゴの病害検知	NW環境	ローカル5G	総務省実証
	利用機器	自立走行型ロボットFARBOT	農水省実証
		高精細4Kカメラ	農水省実証
		エッジサーバ	農水省実証
		画像トリミングエッジサーバ	農水省実証
		病害検知アプリケーション	農水省実証
		レポート表示アプリケーション	農水省実証
イチゴの熟度別数量把握	NW環境	ローカル5G	総務省実証
	利用機器	自立走行型ロボットFARBOT	農水省実証
		高精細4Kカメラ	農水省実証
		エッジサーバ	農水省実証
		画像トリミングエッジサーバ	農水省実証
		熟度別数量把握アプリケーション	農水省実証
		レポート表示アプリケーション	農水省実証
密検知・顧客誘導	NW環境	ローカル5G	総務省実証
	利用機器	カメラ	総務省実証
		タブレット	総務省実証
		モニタ	総務省実証
		人物検知エッジサーバ	総務省実証
		顧客誘導アプリケーション	総務省実証
		レポート表示アプリケーション	総務省実証
データ駆動型農業	利用機器	局所CO2施用配風ダクト	農水省実証
		UV-B照射機	農水省実証
		データ管理アプリケーション	農水省実証

2. 実証環境の構築

2.1 実施環境

本実証では、埼玉県深谷市黒田 646-1 に所在する「いちご畑花園」および茨城県つくば市観音台 3 丁目 1-1 に所在する「農研機構」を対象に実証環境を構築しました。双方ともビニールハウス内が実証エリアであるとともに、ローカル 5G 基地局をハウス外に設置し、半屋外環境として実証を行いました。

いちご畑花園においては、「図 2-1」に示した通り、2 棟のビニールハウスを対象エリアとして実証を実施しました。



図 2-1 いちご畑花園 実施環境
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

農研機構においては、「図 2-2」に示した通り、1 棟のビニールハウスを対象エリアとして実証を実施しました。



図 2-2 農研機構 実施環境
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

2.2 ネットワーク・システム構成

本実証において構築したネットワーク・システムの構成図を以下に示します。

本実証におけるローカル 5G 機器の選定については、計画当初から高精細カメラによる大容量の上り通信が発生する見込みであったため、UL（上り）スロットを多く利用できる準同期 TDD 追加パターンの利用が望ましいと考えました。また、実証エリアが埼玉県と茨城県の 2 か所であったため、コスト軽減の観点から 2 か所でコア装置を共用できることも条件とし、この 2 点を満たす機器として Apresia 社のローカル 5G 機器を選定しました。

カメラ等の機器については自立走行型ロボットに搭載したり、ハウス内の鉄骨部分に取り付けたりするため、なるべく小さく、軽量なものを選定しました。

その他の具体的な機器性能については「2.2.3 機器構成」にて記載します。

なお、本実証において、準同期 TDD 追加パターンの有用性及びコア共用時のコスト削減効果が検証できたため、横展開する際にも機器選定条件として加味するべきだと考えます。本実証システムはいちご畑花園および農研機構内に設置しております。基地局は今回の実証エリアをカバーできる箇所に設置し、コアネットワークを構成する装置群はいちご畑花園および農研機構内に配置するラックへ設置しました。

またコアネットワークを経由し、遠隔地に設置するローカル 5G 保守拠点とパブリッククラウド上に構築された各種アプリケーションサーバと接続する構成としました。

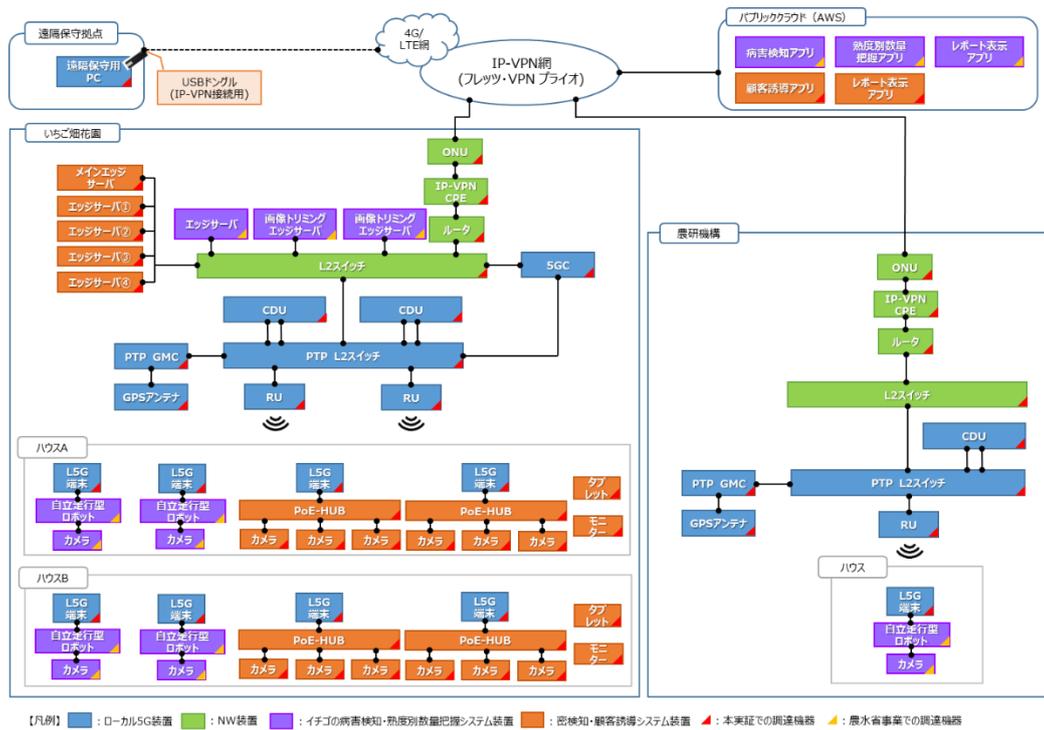


図 2-3 実証システム構成図

2.2.1 エリアカバレッジ

エリアシミュレーションによるエリアカバレッジ図を「図 2-4」「図 2-5」「図 2-6」に記載します。

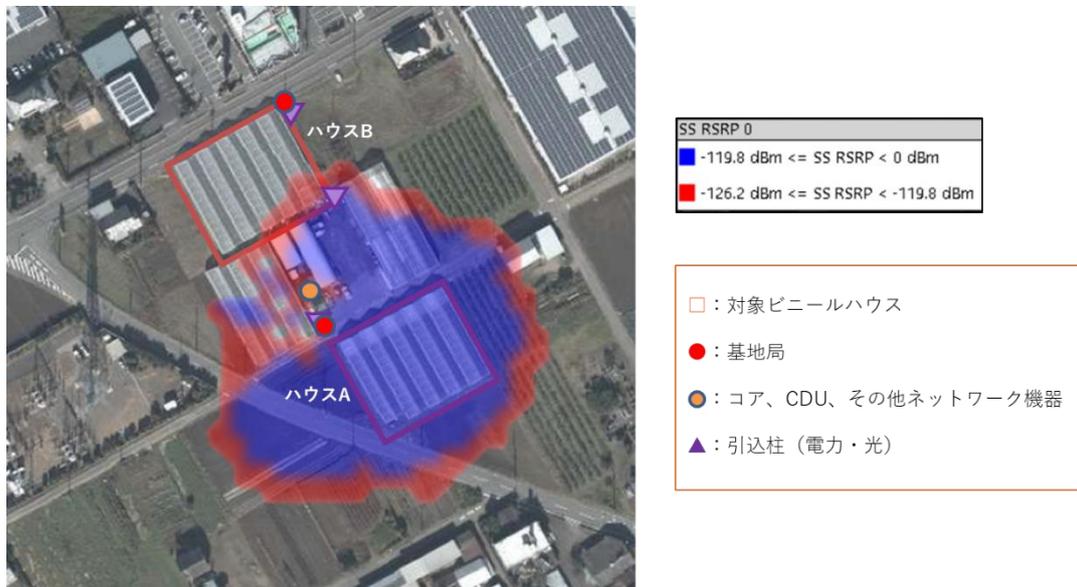


図 2-4 いちご畑花園 ハウス A 実証環境およびエリアカバレッジ
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

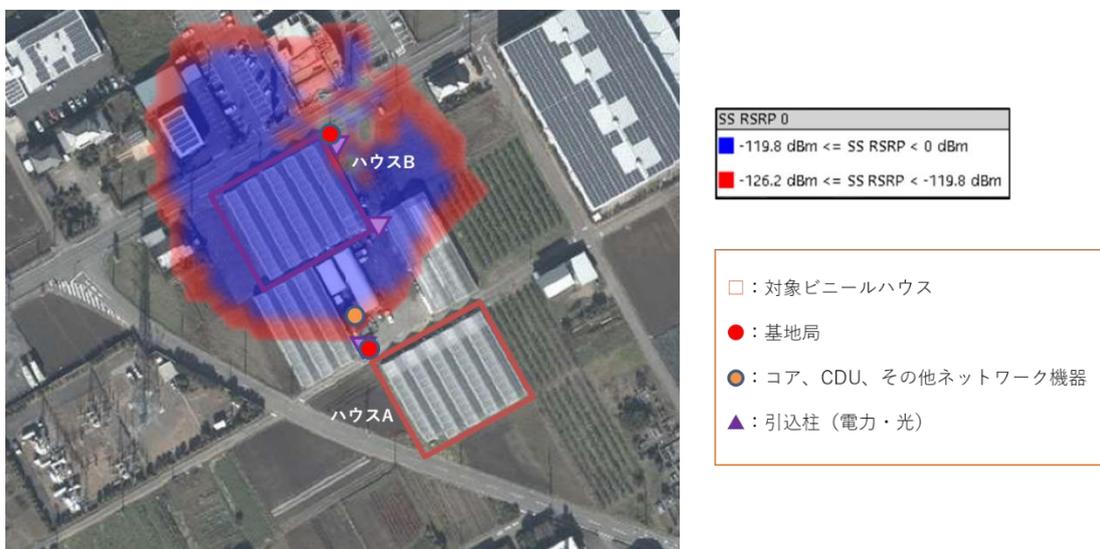


図 2-5 いちご畑花園 ハウス B 実証環境およびエリアカバレッジ
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

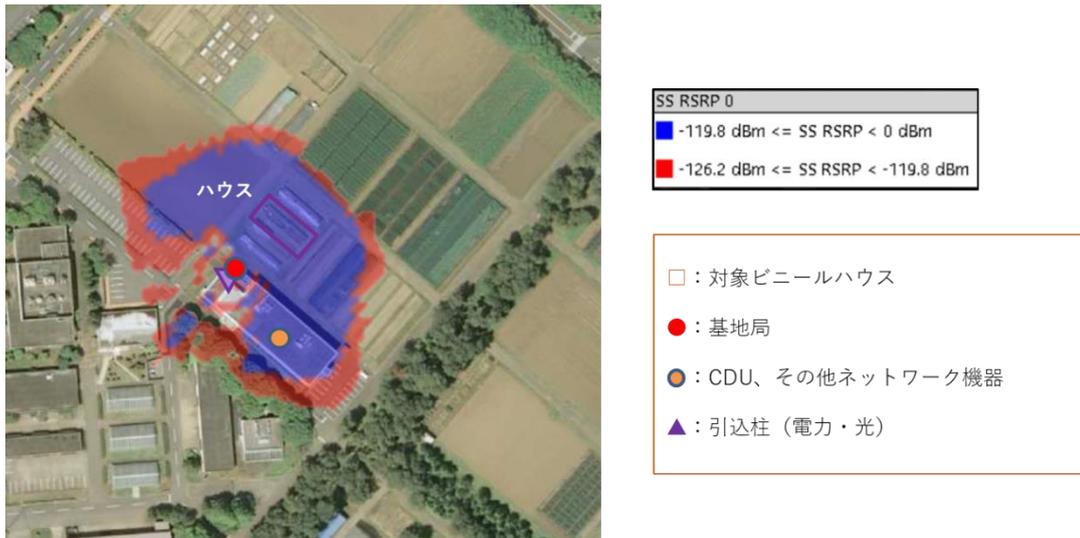


図 2-6 農研機構 実証環境およびエリアカバレッジ
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

2.2.2 システム構成

2.2.2.1 ローカル 5G システム構成

ミリ波帯に比べて広域なカバレッジエリアが期待できる 4.7GHz 帯 (4.6GHz~4.9GHz) を選定し、そのうち屋外利用が可能とされている 4.8-4.9GHz で最大の帯域幅となる 100MHz 幅システムを使用しました。

5G コア装置 (5GC) については、いちご畑花園のみに設置し、農研機構のローカル 5G システムと拠点間ネットワークを通じて接続することで、コア共用モデルとして構築を行いました。

性能改善に関する開発を伴うシステムを選定しておりますが、本ローカル 5G システムの性能理論値としては、1セルあたり (1CDU=1RU あたり)、UL 最大スループット :

155Mbps、DL 最大スループット : 413Mbps (準同期 TDD2) となります。実測値については第 3 章にて報告いたします。同時接続数については、1セルあたり 7 台です。

※実施計画書では、「UL 最大スループット : 160Mbps、DL 最大スループット : 500Mbps 程度」と記載しておりましたが、本ローカル 5G システムの開発過程を経て、実際に使用する無線リソースに合わせた形での理論値を再度算出しております。

基地局および移動局の無線部特性について、以下に示します。

表 2-1 基地局・移動局無線部特性

項目	基地局相当装置	移動局相当装置
製造ベンダ	Aprasia	京セラ
無線局数	3	11
設置場所	屋外	—
同期/準同期	同期/準同期 TDD2	—
UL:DL 比率	同期 2:7 準同期 5:3 ※フレームフォーマット準拠	—
周波数帯	4.8-4.9GHz(帯域幅:100MHz)	—
通信方式	SA	—
空中線	4T1R	1T4R
占有帯域幅	99.72MHz	100MHz
中心周波数	4849.86MHz	4550.01~4849.98MHz
変調方式	DL:OFDMA(QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM) UL:OFDMA(QPSK, 16QAM, 64QAM)	(CP-OFDM) QPSK, 16QAM, 64QAM (DFT-s-OFDM) Pi/2_BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
動作温度	-5°C~+40°C	5°C~+35°C
アンテナ指向性	水平方向 55 度 垂直方向 6.5 度	オムニ
アンテナ利得	17.5dBi (電気チルト使用時:17.0dBi)	TX0/RX0 アンテナ:+0.4dBi, RX1 アンテナ:+0.1dBi RX1 アンテナ:-3.1dBi, RX1 アンテナ:-1.5dBi

なお、本実証で用いた測定器・シミュレーションソフトウェアについては下記の通りです。

- エリアテスタ (Anritsu MU878070A)



図 2-7 エリアテスタ本体

5G NR TDD sub-6GHz測定ユニット MU878070A 規格

◆ 測定種別

➤ 5G NR TDD Sub-6GHz基地局測定

測定対象： SSS (Secondary Synchronization Signal)
DMRS for PBCH (Demodulation Reference Signal)
Cyclic Prefix： Normal
測定項目： SS-RSRP, SS-RSRQ, SS-SIR, Transmission Power, RSSI
DMRS-RSRP, DMRS-SIR, フレームタイミング
測定PCI数： 最大40 (PCI: Physical Cell Identifier)
チャンネル帯域幅： 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 MHz
サンプリング時間： 1周波数測定 $N \times SS$ 周期 例：SS周期 = 5 ms、PCI数 = 1の場合、20 ms
例：SS周期 = 20 ms、PCI数 = 1の場合、40 ms
2周波数以上測定 1周波数あたり $N \times SS$ 周期 + 20 ms

例：周波数1：SS周期 = 20 ms、PCI数 = 3
周波数2：SS周期 = 20 ms、PCI数 = 5の場合、140 ms

*SS周期が10ms以上の場合、Nは2以上の整数で $N \geq PCI$ 数 $\times 10ms / SS$ を満たす値であり、測定周波数ごとに異なる。
SS周期が5msの場合の最短測定時間は、SS周期が10msのときの最短測定時間と同じ。

その他の測定： RS遅延プロファイル

➤ CW

周波数：ライセンスされている周波数から1周波数 (0.01 MHz単位)、BW：15 kHz
サンプリング時間：10 ms

➤ スペクトラムモニタ

周波数：ライセンスされている周波数から中心周波数を設定
スパン：100, 200, 400 MHz, Full
※Full: 中心周波数が属する周波数帯域(3.7, 4.5 GHz)全体の測定

◆ 消費電力

9W以下 (MU878070A 1台あたり、ML8780A/81A は含まず)

測定ユニット		ソフトウェア	対応バンド	測定周波数 [MHz]
5G NR TDD sub-6GHz 測定ユニット	MU878070A	MX878071A	3.7 GHz (Band n77, n78)	3600.0 - 4200.0
		MX878072A	4.5 GHz (Band n79)	4400.0 - 4900.0

図 2-8 エリアテスタ概要

➤ シミュレータソフト (Ranplan Wireless)

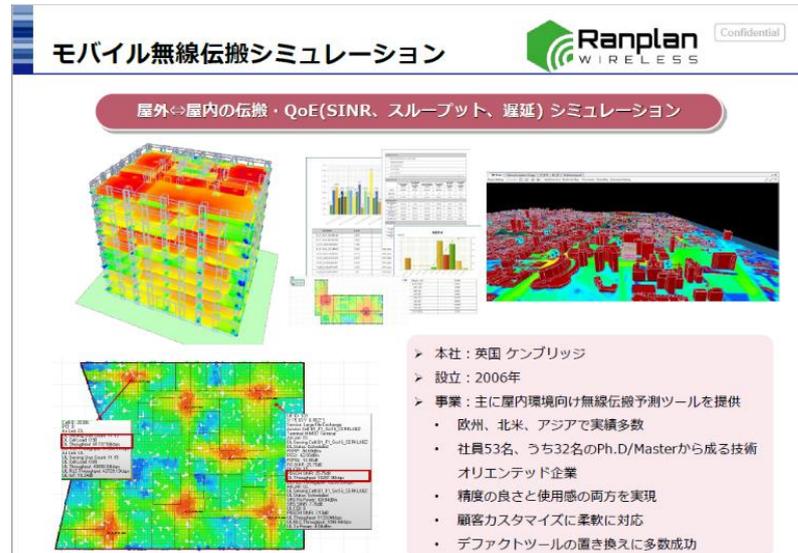


図 2-9 RANPLAN シミュレーションイメージ

なお、RANPLAN シミュレーションの特徴は以下の通りです。

- 屋外と屋内の両デザインが同時に実行可能、プランニング、伝播予測、キャパシティシミュレーション
- 3D RF 信号伝播予測を屋外信号からのインドア干渉シミュレーション
- 屋外予測マップデータの取り込みとオープンかつプロフェッショナルなデータソースからのネットワーク製品
- 自動化されたカプラー及びビスプリッタ挿入機能、アンテナ、ケーブル間のシングルまたはグループコネクション
- MIMO サポート (5 形態: SISO, SFBC, OLSM, CLSM, MU_MIMO) 8x8 (Rank 8)
- クロスシステムに対応 キャパシティ・トラフィックオフロードシミュレーション、分析
- エレベータシャフト、階段、トンネル形状、傾斜形状に特化したデザインファンクション
- ドアや窓のプリセットの作成を簡単操作で実現、スタンピング機能
- スマートなプリント機能 事前定義した図面テンプレートでのスクリーンプリント

2.2.2.2 拠点間・拠点内ネットワークシステム

実証で使う帯域幅を考慮し、相応の余裕を考慮した 1G ポートでの通信をベースとした機器を選定しました。

外部ネットワークとして、フレッツ VPN 回線を接続し、拠点間の接続およびパブリッククラウドへの接続を閉域網にて行いました。

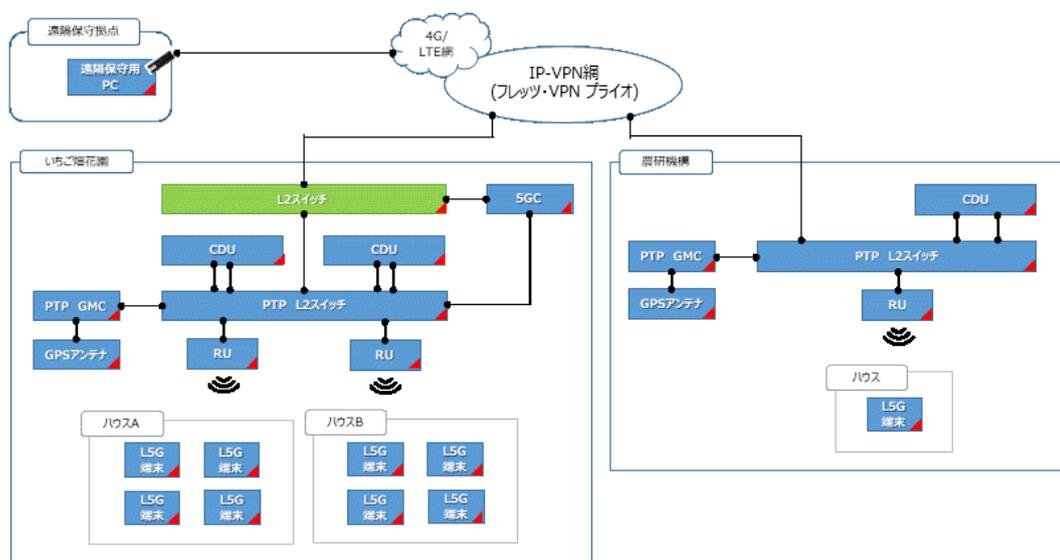
遠隔保守拠点とは VPN でアクセス先を制限しサイバーセキュリティ対策を実施しました。

2.2.3 機器構成

2.2.3.1 ローカル 5G システム

本実証で利用するローカル 5G システムについては、Apresia 社製の機器を選定しました。Apresia 社は、本実証にて見据えている横展開モデルにおいて欠かせないコア共用モデルが実現可能なメーカーであったこと、また、追加準同期パターンである準同期 TDD2 の実装を 12 月の実証開始までに予定していたこと、の 2 点から本実証のローカル 5G システムとして最適なメーカーであると判断しました。下記ローカル 5G システムのうち、コア装置と基地局に関しては Apresia 社の機器で構成しています。基地局に接続する外部アンテナは電気興業社の製品を利用しました。ローカル 5G 端末は京セラ社の製品を利用しました。

設定変更や万一の障害発生時に遠隔地からも迅速に対応できるよう、技術者の所在する保守拠点と IP-VPN 回線で接続しました。



※L2スイッチは拠点内ネットワークシステムにて構築する物品になりますが便宜上記載しております

図 2-10 ローカル 5G システム機器構成

本システムにて使用した機器は以下のとおりです。

表 2-2 ローカル 5G システム機器一覧

No.	物品	メーカー	型番	数量
1	5GC サーバ	HPE	DL360 Gen10	1
2	CDU サーバ	Apresia	ApresiaAERO-CDU100	3
3	RU	Apresia	ApresiaAERO-RU100	3
4	外部アンテナ	電気興業	VH65A-3545RTD	6
5	PTP L2 スイッチ	Apresia	Apresia20000-8X4T-AC	2
6	PTP GMC	セイコー	TS-2950	2
7	GPS アンテナ	セイコー	TS-213	2

No.	物品	メーカー	型番	数量
8	ローカル 5G 端末	京セラ	K5G-C-100A	11
9	遠隔保守用 PC	富士通	FMVA8804GP	1

各物品の詳細は以下のとおりです。

(1) 5GC サーバ

本ローカル 5G システムのコア装置は、5GC サーバにて構成されます。5GC サーバはローカル 5G システムのソフトウェアを実装します。ハードウェアはサーバを 1 台、いちご畑花園内のラックに設置しました。

ハードウェア仕様は以下のとおりです。

表 2-3 5GC サーバ 仕様

項目	仕様	備考
ソフトウェア仕様	スタンドアロン型 5GC ソフトウェア <ul style="list-style-type: none"> ・ AMF ・ UDM ・ SMF ・ UDR ・ PCF ・ NRF ・ NSSF ・ UPF ・ AUSF 	
ハード構成	・ DL360G10 S4215R 1P8C 32G 8SFF S100i NCGS	
準拠規格	・ 3GPP Release16	
システム規模	・ ユーザ数：16 ユーザ ・ UE 同時接続数：7 ユーザ(1CDU)	
CPU	1P/8Core intel Xeon Silver 3.2 GHz	
メモリ容量	64GB(32GBx2)	
ストレージ	物理容量：960GB(960GBx1)	12G SAS SSD
外部インタフェース	2x 10Gb 2-port SFP+ 4x 10GbE SR SFP+	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	4.29 × 43.46 × 70.7cm	
重量	16.27kg	
電源	2x AC100V 最大消費電力：1600w(2x 800w PS) 最大消費電流：8A	コネクタ 100V 用 NEMA5-15P 200V 用 C13-14



図 2-11 5G サーバ 外観

(2) CDU サーバ

CDU サーバは、5G システムの無線アクセスネットワークにおける集約ノード機能を担う CU(Central Unit)と DU(Distributed Unit)を実装する仮想サーバです。CDU サーバには PTP L2 スイッチを接続しました。CDU サーバはいちご畑花園に 2 台、農研機構に 1 台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-4 CDU サーバ 仕様

項目	仕様	備考
準拠規格	0-RAN	
CPU	Intel Xeon Gold(20 コア 40 スレッド)	
メモリ容量	256GB	
ストレージ	512GB	
外部インターフェース	8x 10BASE-R(SFP+) 4x 25GBASE-R(SFP+)	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	44 × 71 × 88cm	
重量	25kg 以下	
電源	AC100V～120V(±10%) AC200V～240V(±10%) 最大消費電力：800W 以下 最大消費電流：10A 以下(AC100V 時)	



図 2-12 CDU サーバ 外観

(3) RU

RUは本実証エリアをカバーするようにいちご畑花園に2台、農研機構に1台設置しました。なお、本実証では、後述する外部アンテナを接続し、本機器にて出力した電波を外部アンテナより発射しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-5 RU仕様

項目	仕様	備考
準拠規格	O-RAN	
外部インタフェース	1x 10GbE(SFP+)	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	21.8 × 21.8 × 6.4cm	
重量	3kg 以下	
電源	PoE++(802.3bt) AC100V~120V(±10%) 最大消費電力：150W 以下 最大消費電流：およそ 3.4A	
空中線	4T1R	
EIRP	MIMO パス当たり：28dBm、総 EIRP： 34dBm	ビームフォーミング有
占有帯域幅	99.72MHz	
中心周波数	4849.86MHz	
変調方式	DL:OFDMA(QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM) UL:OFDMA(QPSK, 16QAM, 64QAM)	
動作温度	-5°C~+40°C	



図 2-13 RU 外観

(4) 外部アンテナ

外部アンテナはRU1 台に対し、2 台接続し、電波を発射します。いちご畑花園に計 4 台、農研機構に計 2 台設置しました。本実証では、指向性を持つ外部アンテナを利用し、効率的なエリアカバーを実現しました。詳細は「1. 実証概要」にて記載します。仕様は以下のとおりです。

表 2-6 外部アンテナ 仕様

項目	仕様	備考
使用周波数範囲	4800～5000MHz	
VSWR	1.5 以下	
利得	初期チルト 17.5dBi 以上 可変時 17.0dBi 以上	
水平面内指向性ビーム幅	55° ±10	
垂直面内指向性ビーム幅	6.5° ±1	
耐風速	75m/s	
外形寸法(直径×高さ)	φ 105mm×550mm(コネクタ除く)	
重量	3.8kg 以下(アンテナ本体)	

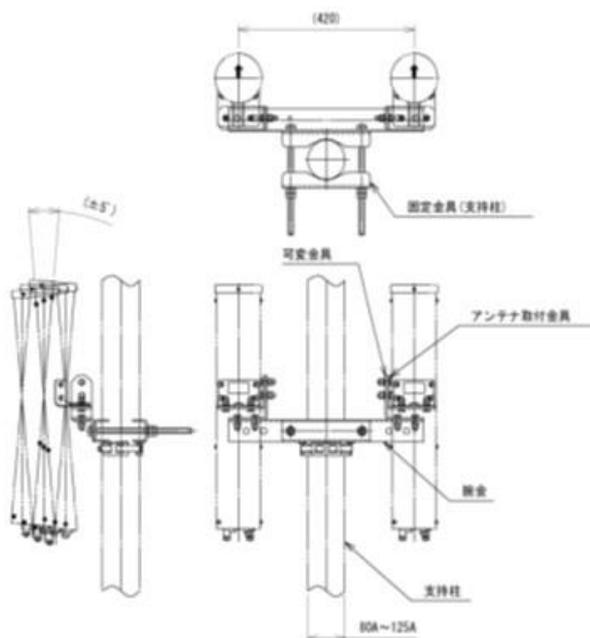


図 2-14 外部アンテナ 外観 (模式図)

(5) PTP L2 スイッチ

PTP L2 スイッチは PTP GMC (Grand Master Clock) と接続し、GPS アンテナから得た時刻等を接続される機器に同期させるためのスイッチになります。接続される機器は PTP GMC、CDU、RU となります。いちご畑花園、農研機構に各 1 台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-7 PTP L2 スイッチ 仕様

項目	仕様	備考
外部インタフェース	8x 1000BASE-X/10GBASE-R (SFP/SFP+) 4x 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	4.38 × 21 × 22 cm	
重量	2.3kg 以下	
電源	AC100V～120V 最大消費電力：33W 以下 最大消費電流：0.33A	



図 2-15 PTP L2 スイッチ 外観

(6) PTP GMC (Grand Master Clock)

PTP GMC は GPS アンテナから受信した時刻情報を元に高精度な時刻同期を RU に対して行う装置になります。GMC は各拠点に設置し、PTP L2 スイッチと接続します。いちご畑花園、農研機構に各 1 台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-8 PTP GMC 仕様

項目	仕様	備考
外部インタフェース	4x 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	4.4 × 43 × 50 cm	
重量	約 10kg	
電源	AC100V～AC240V ±10% 最大消費電力：39W 最大消費電流：0.48A	



図 2-16 PTP GMC 外観

(7) GPS アンテナ

GPS アンテナは GPS からの通信を受信する機器です。GPS 受信機としても活用する PTP L2 スイッチと接続します。GPS アンテナは各実証エリア内に設置し、RU 間の時刻同期をとるために使用します。いちご畑花園、農研機構に各 1 台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-9 GPS アンテナ 仕様

項目	仕様	備考
使用周波数範囲	DC~2000MHz	
VSWR	1.2 以下	
利得	40dB 以上	
仕様温度範囲	-40℃~85℃	
防水特性	IP67	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	4.38 × 21 × 22 cm	
重量	2.3kg 以下	
電源	AC100V~120V	GPS 受信機(GMC)より同軸ケーブル経由にて受電



図 2-17 GPS アンテナ 外観

(8) ローカル 5G 端末

ローカル 5G 端末は電波の送受信を行い、RU（外部アンテナ）と相互に通信をする機器です。本実証では予備機 2 台を含めて計 11 台用意しました。なお、予備機については、本実証期間においてローカル 5G 端末を常に連続使用するため高負荷となること、ローカル 5G 端末の品質が実証に与える影響の大きさ、等を考慮し用意しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-10 ローカル 5G 端末 仕様

項目	仕様	備考
無線規格	5G NR(FR1/FR2), LTE Bluetooth 5.1 IEEE802.11 a/b/g/n/ac/ax 2x2 MIMO	
外部インタフェース	USB TypeC(3.1)	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	7.8 × 16.6 × 2.7 cm	
重量	328g	
電源	6,000mAh(ラベル容量)	
空中線	1T4R	
空中線電力	23dBm(200mW)	
占有帯域幅	100MHz	
中心周波数	4550.01~4849.98MHz	
変調方式	(CP-OFDM) QPSK, 16QAM, 64QAM (DFT-s-OFDM) Pi/2_BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	
動作温度	5℃~35℃	
アンテナ指向性	オムニ	
アンテナ利得	TX0/RX0 アンテナ:+0.4dBi, RX1 アンテナ:+0.1dBi RX1 アンテナ:-3.1dBi, RX1 アンテナ:-1.5dBi	給電線損失含む



図 2-18 ローカル 5G 端末 外観

(9) 遠隔保守用 PC

遠隔保守用 PC は遠隔保守拠点に設置する PC 端末で、フレッツ・VPN プライオに閉域接続可能な USB ドングルを通じて、保守対象であるいちご畑花園と農研機構のローカル 5G システムに対して遠隔保守を行います。具体的には、有事の際の状態確認、正常性確認、ログの確認等を行い、必要な対処を実施します。仕様は以下のとおりです。

表 2-11 遠隔保守用 PC 仕様

項目	仕様	備考
メーカー名	FUJITSU	
メーカー型番	FMVA8804GP	
シリーズ名称	バリューLIFEBOOK	
商品名	LIFEBOOK A5510/FX	
CPU	Intel Core i5-10210U プロセッサ	
メモリ	16GB	
ストレージ	SSD 512GB	
OS	Windows10 Pro 64bit	



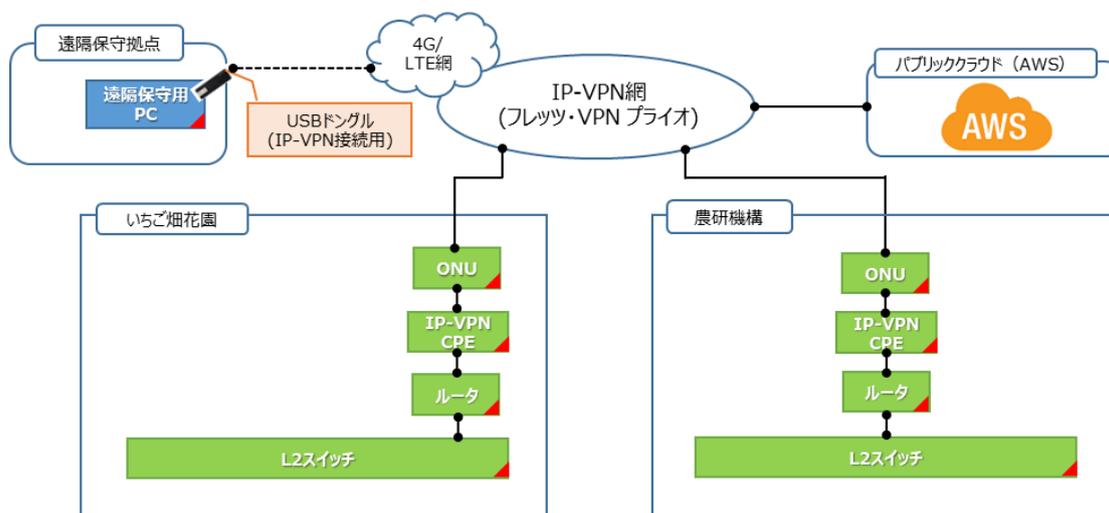
図 2-19 遠隔保守用 PC 外観

2.2.3.2 拠点間・拠点内ネットワークシステム

本実証で拠点間及び拠点内を構成するネットワークは以下の「図 2-20」のとおりです。本実証モデルにおいては今後の水平展開を考慮し、専用線等の高価な拠点間ネットワークは利用せず、ローカル 5G による高速大容量通信の上位ネットワークとして十分なスループットを備え、専用線と比較すると安価に構築可能な IP-VPN 網を利用することとしました。なお、「2.3 システム機能・性能・要件」に記載の性能要件を鑑み、不安定要素の多いインターネットの影響を受けない閉域網による拠点間ネットワーク構築が最も有力であると考えております。

拠点間ネットワークについては、IP-VPN 網（フレッツ・VPN プライオ）を用意しました。また、パブリッククラウド（Amazon Web Services（以降、AWS））への接続には、クラウドゲートウェイ クロスコネクトを利用し、閉域網での接続を実現しました。

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



※「遠隔保守用 PC」はローカル 5G システムにて構築する物品になりますが便宜上記載しております

図 2-20 拠点間・拠点内ネットワークシステム機器構成

本システムにて使用する機器は以下のとおりです。

表 2-12 拠点間・拠点内ネットワークシステム機器一覧

No.	物品	メーカー	型番	数量
1	ONU	NTT 東日本	GE-PON	2
2	IP-VPN CPE	Cisco	C1111	2
3	ルータ	YAMAHA	RTX830	2
4	L2 スイッチ	YAMAHA	SWX2210-16G	2
5	USB ドングル	IIJ	FS040U	1
6	フレッツ・VPN プライオ	NTT 東日本	-	2
7	クラウドゲートウェイ クロスコネクト	NTT 東日本	-	1

各物品の詳細は以下のとおりです。

(1) ONU

ONUは光回線の終端装置です。いちご畑花園、農研機構に各1台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-13 ONU仕様

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



図 2-21 ONU 外観

(2) IP-VPN CPE

IP-VPN CPEはIP-VPN網（フレッツ・VPN プライオ）の終端装置です。いちご畑花園、農研機構に各1台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-14 IP-VPN CPE仕様

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



図 2-22 IP-VPN CPE 外観

(3) ルータ

ルータは IP-VPN CPE 配下に設置し、拠点間接続を行います。いちご畑花園および農研機構に各 1 台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-15 ルータ 仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース	1 × 1GE (WAN) 4 × 1GE (LAN)	
消費電力	11W	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	4.3 × 22 × 16 cm	
重量	1.1kg	



図 2-23 ルータ 外観

(4) L2 スイッチ

L2 スイッチはルータ配下に設置し、5GC やエッジサーバとの接続を担います。いちご畑花園および農研機構に各 1 台設置しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-16 L2 スイッチ 仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース	16 × 1GE	
消費電力	12.4W	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	4.3 × 33 × 20 cm	
重量	1.8kg	



図 2-24 L2 スイッチ 外観

(5) USB ドングル

本 USB ドングルはローカル 5G システムの遠隔保守に利用するため、遠隔保守拠点に 1 台用意しました。なお、本製品はフレッツ・VPN プライオ モバイル接続サービスにより提供されるものであり、フレッツ・VPN プライオへ閉域接続可能です。仕様は以下のとおりです。

表 2-17 USB ドングル 仕様

項目	仕様	備考
外部インターフェース	Type A(USB2.0)	
対応エリア	ドコモ 3G・LTE エリア	
対応周波数	2.1GHz、1.7GHz、1.5GHz、800MHz	
外形寸法(高さ×幅×奥行)	3.2 × 9.5 × 1.2 cm	
重量	39g	



図 2-25 USB ドングル 外観

(6) フレッツ・VPN プライオ

フレッツ・VPN プライオは NTT 東日本が提供する最大スループット 1Gbps のベストエフォート型閉域 VPN (IP-VPN) サービスです。「2.3 システム機能・性能・要件」に記載の性能要件を鑑み、不安定要素の多いインターネットの影響を受けない閉域網によるネットワーク構築が最も有力であると考えております。本実証では横展開を見据え、ローカル 5G による高速大容量通信の上位ネットワークとして十分なスループットを備え、専用線と比較すると安価に構築可能な本サービスを選定しました。仕様は以下のとおりです。

表 2-18 フレッツ・VPN プライオ 仕様

項目	仕様	備考
サービス種別	ベストエフォート型 IP-VPN サービス	
最大スループット	1Gbps	
通信端末	IP-VPN CPE	

(7) クラウドゲートウェイ クロスコネク

クラウドゲートウェイ クロスコネクはNTT 東日本が提供する最大スループット 1Gbps のベストエフォート型クラウド接続サービスです。インターネットを経由することなく、閉域網でのクラウド接続が可能です。仕様は以下のとおりです。

表 2-19 クラウドゲートウェイ クロスコネク 仕様

項目	仕様	備考
サービス種別	ベストエフォート型 クラウド接続サービス	
プラン	1G 接続プラン(共用型)	
接続先クラウド	AWS	

2.2.3.3 イチゴの病害検知システム

本システムは、自立走行型ロボットと高精細カメラ、AI を用いて、ビニールハウス内における成熟したイチゴの病害（うどんこ病）を検知します。

なお、提案時はローカル 5G において実績のある伝送方式は WEB-RTC 方式のみであったため、シグナリング/STUN サーバ機能を利用予定でしたが、検討を進める中で映像伝送のみを行うには WEB-RTC 方式は必要ないことが判明したため、エッジサーバ機能を利用することとしました。

また、半導体不足により実証スケジュールに合わせた 4K カメラの調達が可能とならなかったため、調達可能な機種に変更しました。

システムの構成は以下のとおりです。

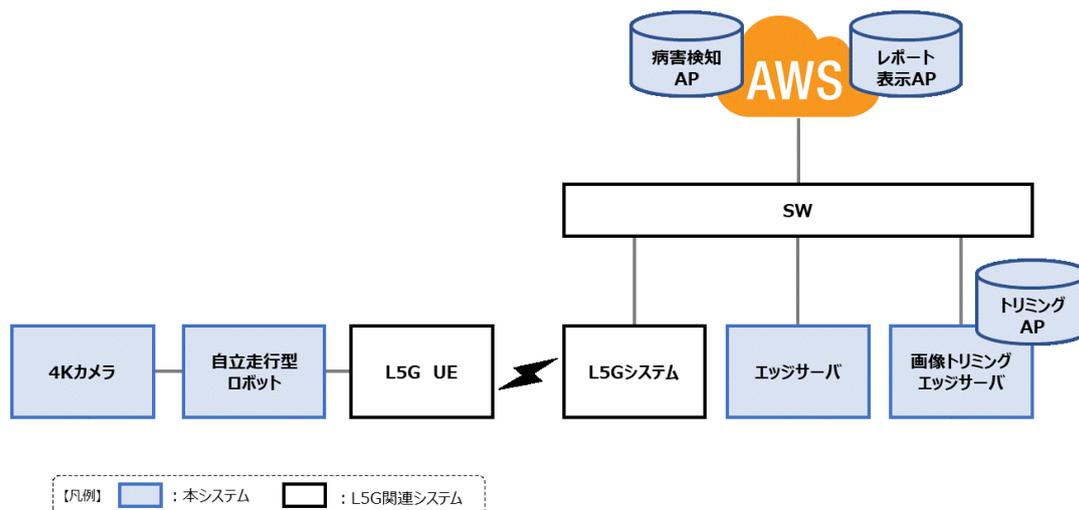


図 2-26 イチゴの病害検知システム機器構成

本システムにて使用する機器は以下のとおりです。

表 2-20 イチゴの病害検知システム機器一覧

No.	物品	メーカー	型番	数量
1	4K カメラ (病害検知用)	NVIDIA	e-CAM80_CUNX-4K Camera	5
2	自立走行型ロボット	GINZAFARM	FARBOT	5
3	画像トリミングエッジサーバ	NVIDIA	NX211B	2
4	エッジサーバ	Intel	NUC10i3FNH	2

各物品の詳細は以下のとおりです。

(1) 4K カメラ (病害検知用)

表 2-21 4K カメラ (病害検知用) 仕様

項目	仕様	備考
消費電力	< 700mW	
動作温度	-30° C ~ 70° C	
重量	22 g	
外形寸法	30 × 30 mm	
解像度	3840 × 2160	
フレームレート	30 fps	
レンズ	S マウント	



図 2-27 4K カメラ (病害検知用) 外観

(2) 自立走行型ロボット (FARBOT)

表 2-22 自立走行型ロボット (FARBOT) 仕様

項目	仕様	備考
寸法	全長 630×全幅 450×全高 500mm(台座高)	
駆動方式	後輪駆動	
動力	インホイールブラシレスモーター	
防水機能	防滴	
センシング機能	4K 映像、気温、湿度、Co2 センサ	
走行方式	自立走行、リモコン操作	
最高走行速度	5 km/h(リモコン操作時)	
最大勾配	20 度(路面に依存)	
使用可能温度	0℃～35℃	
稼働時間	90 分～180 分 ※蓄電池方式	



図 2-28 自立走行型ロボット (FARBOT) 外観

(3) 画像トリミングエッジサーバ

表 2-23 画像トリミングエッジサーバ 仕様

項目	仕様	備考
電源	DC 12V	
動作温度	0 °C ~ 60°C	
外形寸法	91.4 × 76.6 × 70 mm	
解像度	3840 × 2160	
フレームレート	30 fps	
ネットワーク	1 × GbE	
CPU	Jetson Xavier NX module	



図 2-29 画像トリミングエッジサーバ 外観

(4) エッジサーバ

表 2-24 エッジサーバ 仕様

項目	仕様	備考
サポートされる DC 入力電圧	19 VDC	
プロセッサ ベース動作周波数	2.10 GHz	
ターボ・ブースト利用時の最大周波数	4.10 GHz	
USB ポート数	5	
USB 構成	2x front (Type-A, Type-C) and 3x rear USB 3.1 Gen2 (2x Type-A, Type-C);	
SATA ポートの合計数	2	
Thunderbolt™ 3 ポートの数	1x Thunderbolt™ 3	
寸法	117 × 112 × 51mm	



図 2-30 エッジサーバ 外観

2.2.3.4 イチゴの熟度別数量把握システム

本システムは、自立走行型ロボットと高精細カメラ、AI を用いて、ビニールハウス内におけるイチゴを熟度別（三段階）で数量を計測します。

なお、提案時はローカル 5G において実績のある伝送方式は WEB-RTC 方式のみであったため、シグナリング/STUN サーバ機能を利用予定でしたが、検討を進める中で映像伝送のみを行うには WEB-RTC 方式は必要ないことが判明したため、エッジサーバ機能を利用することとしました。

また、半導体不足により実証スケジュールに合わせた 4K カメラの調達が可能となったため、調達可能な機種に変更しました。

システムの構成は以下のとおりです。

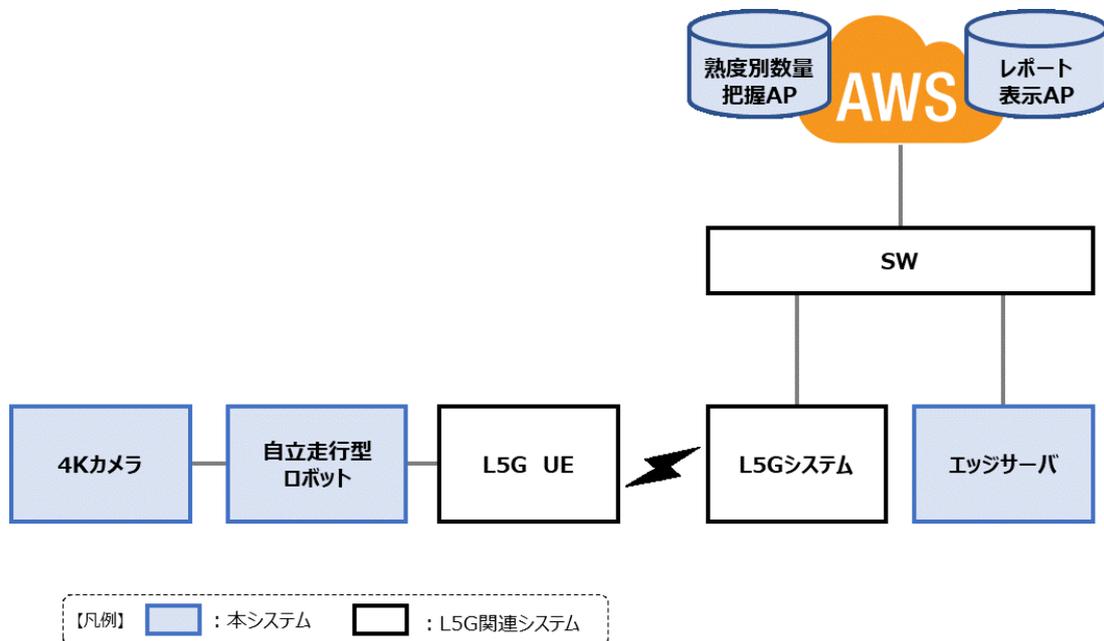


図 2-31 イチゴの熟度別数量把握システム機器構成

本システムにて使用する機器は以下のとおりです。

表 2-25 イチゴの熟度別数量把握システム機器一覧

No.	物品	メーカー	型番	数量
1	4K カメラ (数量把握用)	NVIDIA	e-CAM80_CUNX-4K Camera	4
2	自立走行型ロボット	GINZAFARM	FARBOT ※病害検知と共用	4
3	エッジサーバ	Intel	NUC10i3FNH ※病害検知と共用	1

各物品の詳細は以下のとおりです。

(1) 4K カメラ (数量把握用)

表 2-26 4K カメラ (数量把握用) 仕様

項目	仕様	備考
消費電力	< 700mW	
動作温度	-30° C ~ 70° C	
重量	22 g	
外形寸法	30 × 30 mm	
解像度	3840 × 2160	
フレームレート	30 fps	
レンズ	S マウント	



図 2-32 4K カメラ (数量把握用) 外観

(2) 自立走行型ロボット (FARBOT)

イチゴの病害検知システムに使用するものを共用して実証を行います。

※同ロボットに当システムで利用するカメラを搭載

(3) エッジサーバ

イチゴの病害検知システムに使用するものを共用して実証を行います。

<参考：自立走行型ロボット（FARBOT） システム構成（1台あたり）>

表 2-27 自立走行型ロボット（FARBOT）機器一覧

No.	物品	メーカー	型番	数量
1	制御用コンピュータ	NVIDIA	Jetson Nano	1
2	ルータ	GL-Inet	Slate router	1
3	自立走行センサ(カメラ)	Intel	Realsense	1
4	自立走行センサ(レーザ)	YDLIDAR	TG30	1
5	バッテリー	Panasonic	NCR18650PF	1

各物品の詳細は以下のとおりです。

1) 制御用コンピュータ

表 2-28 制御用コンピュータ 仕様

項目	仕様	備考
GPU	128-core Maxwell	
CPU	Quad-core ARM A57 @ 1.43 GHz	
メモリ	4 GB 64-bit LPDDR4 25.6 GB/s	
ストレージ	16 GB eMMC 5.1	
ビデオエンコード	4K @ 30 4x 1080p @ 30 9x 720p @ 30 (H.264/H.265)	
ビデオデコード	4K @ 60 2x 4K @ 30 8x 1080p @ 30 18x 720p @ 30 (H.264/H.265)	
カメラ	12 lanes (3x4 4x2) MIPI CSI-2 D-PHY 1.1 lanes (1.5Gbps)	
コネクティビティ	Gigabit Ethernet	
ディスプレイ	HDMI 2.0, eDP 1.4, DP 1.2 (two simultaneously)	
PCIe	1x1/2/4 PCIe Gen2	
USB	1x USB 3.0, 3x USB 2.0	
その他	GPIO, I2C, I2S, SPI, UART	
サイズ	69.6 mm x 45 mm 260-pin SODIMM コネクタ	



図 2-33 制御用コンピュータ 外観

2) ルータ

表 2-29 ルータ 仕様

項目	仕様	備考
寸法	9.9 × 6.9 × 2.3 cm	
通信形式	Wi-Fi	
ワイヤレスタイプ	2.4 GHz 無線周波数	
LAN ポート数	2	
電圧	5 ボルト	
商品の重量	86 g	



図 2-34 ルータ 外観

3) 自立走行センサ (カメラ)

表 2-30 自立走行センサ (カメラ) 仕様

項目	仕様	備考
深度技術	Active IR stereo(グローバルシャッター)	
主要 Intel RealSense コンポーネント	Intel RealSense Vision Processor D4、Intel RealSense module D430	
深度センサ視野角 (水平×垂直×斜め)	85.2° × 58° × 94° (±3°)	
出力解像度 (DepthStream)	最大 1280×720	
出力フレームレート (DepthStream)	最大 90fps	
最小深度距離 (Min-Z)	0.1m	
シャッタータイプ	グローバルシャッター	
最大レンジ	約 10m(校正、背景、照度状況による)	
解像度および フレームレート(RGB センサ)	1920×1080@30fps	
RGB センサ視野角 (水平×垂直×斜め)	69.4° × 42.5° × 77° (±3°)	
本体寸法 (長さ×奥行き×高さ)	90mm×25mm×25mm	
コネクタ	USB 3.0 Type-C	
取付機構	1×1/4-20 UNC ネジ穴、2×M3 ネジ穴	



図 2-35 自立走行センサー (カメラ) 外観

4) 自立走行センサー（レーザ）

表 2-31 自立走行センサ（レーザ）仕様

項目	仕様	備考
測距周波数	20000Hz	
モータ周波数	5~15Hz	
測定可能距離	0.05~30m	
スキャン角度	360°	
測距分解能	±4cm	
角度分解能	0.09~0.22°	
供給電圧	4.8~5.2V	
電圧リップル	0~100mV	
スタート電流	450~550mA	
スリープ電流	<50mA	
動作電流	400~480mA	
インタフェース	VCC Tx Rx GND NC	
ボーレート	512000bps	
高信号: レベル	1.8~3.4V	
低信号: レベル	0~0.5V	
レーザ波長	895~915nm	
レーザ出力	85W	
動作温度	0~50° C	
証明環境	0~100000 ルクス	
重量	214g	



図 2-36 自立走行センサー（レーザ）外観

5) バッテリ

表 2-32 バッテリ 仕様

項目	仕様	備考
コンフィグレーション	7S5P	
使用セル	Panasonic NCR18650PF	
充電電圧	29.2V	
公称電圧	25.2V	
放電電圧範囲	29.2V-18.2V	
公称容量	14.5Ah	
最大電圧放電電流	<35A	
充電電流	2.5A	
Watt-hour rating	343Wh	
使用温度範囲	充電：0℃～40℃、放電：-20℃～60℃	
保護機能	過充電・過放電・過電流・温度保護	
寸法	258.1 (L) × 90 (W) × 100 (H) mm	
重量	2.5kg	



図 2-37 バッテリ 外観

2.2.3.5 密検知・顧客誘導システム

本システムは、自立走行型ロボットと高精細カメラ、AI を用いて、ビニールハウス内における人物の密状況を検知し、また人物の位置情報とイチゴの熟度別数量状況データと組み合わせることで、食べ頃のイチゴが多く残っている場所（観光客の最適誘導先）を推論します。システムの構成は以下のとおりです。

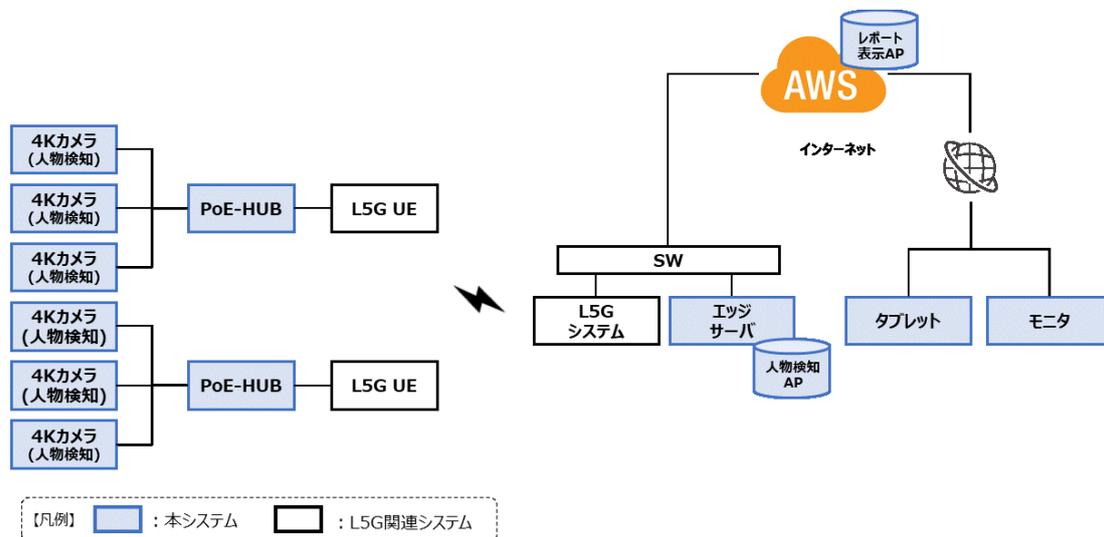


図 2-38 密検知・顧客誘導システム機器構成

本システムにて使用する機器は以下のとおりです。

表 2-33 密検知・顧客誘導システム機器一覧

No.	物品	メーカー	型番	数量
1	4K カメラ	Panasonic	WV-X2571LNJ	12
2	PoE-HUB	NETGEAR	GS305EPP	4
3	エッジサーバ	NVIDIA	NX211B	5
4	タブレット	Apple	iPad Air	2
5	モニタ	PLUS	SNG-4K43-ST	2

各物品の詳細は以下のとおりです。

(1) 4K カメラ

表 2-34 4K カメラ 仕様

項目	仕様	備考
電源	DV12V or PoE (IEEE802.3af 準拠)	
消費電力	PoE DC 48 V : 115 mA/約 5.5 W	
動作温度	0 °C ~ 60°C	
重量	1600g	
外形寸法	164 × 139 × 42 mm	
解像度	3840 × 2160	
映像転送	H.264/H.265/MJPEG、最大 30fps	
画角 FoV(H)	52° ~ 101°	
ネットワーク	Ethernet 10/100/1000 Mb	



図 2-39 4K カメラ 外観

(2) PoE-HUB

表 2-35 PoE-HUB 仕様

項目	仕様	備考
ポート数	4	
動作温度	0 °C ~ 40°C	
重量	400g	
外形寸法	158 × 101 × 27 mm	



図 2-40 PoE-HUB 外観

(3) エッジサーバ

表 2-36 エッジサーバ 仕様

項目	仕様	備考
電源	DC 12V	
動作温度	0 °C ~ 60°C	
外形寸法	91.4 × 76.6 × 70 mm	
解像度	3840 × 2160	
フレームレート	30 fps	
ネットワーク	1 x GbE	
CPU	Jetson Xavier NX module	



図 2-41 エッジサーバ 外観

(4) タブレット

表 2-37 タブレット 仕様

項目	仕様	備考
機種	iPAD Air 3 相当	
容量	64GB	
外形寸法	148 × 120 × 52 mm	
重さ	458g	
電源	USB-C 充電, バッテリ	
ネットワーク	Wi-Fi	

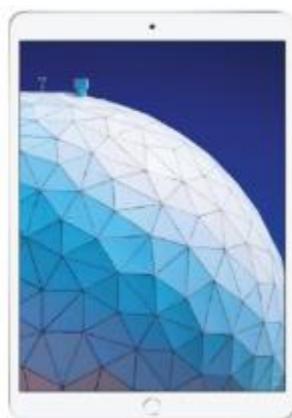


図 2-42 タブレット 外観

(5) モニタ

表 2-38 モニタ 仕様

項目	仕様	備考
機種	SNG-4K43-ST	
サイズ	43 型ディスプレイ	
画像入力	HDMI	
外形寸法	558(幅) × 1357(高) × 609(奥行) mm	
重さ	458g	



SNG-4K43-ST 428-469

図 2-43 モニタ 外観

2.3 システム機能・性能・要件

本実証の課題実証にて利用する各システムは、本実証の実施及び目的の達成に必要な機能および性能を具備するものを選定しました。また、各システムの所要性能を明記し、ローカル 5G システム環境下での性能評価に利用します。なお、下記の「2.3.1 イチゴの病害検知・熟度別数量把握システム」、「2.3.2 密検知・顧客誘導システム」で示す各システムは用途が異なるため、同時に使用することはありません。「2.3.2 密検知・顧客誘導システム」よりも「2.3.1 イチゴの病害検知・熟度別数量把握システム」の所要性能の所要性能が高いことを考慮すると、ローカル 5G システムに要求する所要性能としては、「2.3.1 イチゴの病害検知・熟度別数量把握システム」にて要求される UL スループット：40Mbps、伝送遅延：30ms、となります。所要性能の対象となる区間は、ローカル 5G 端末～エッジサーバになります。

2.3.1 イチゴの病害検知・熟度別数量把握システム

所要性能を以下に示します。

表 2-39 イチゴの病害検知・熟度別数量把握システム 所要性能

項目	条件
UL スループット	40Mbps/1 ハウス
伝送遅延	30ms

UL スループットについては、4K カメラ 1 台あたり 20Mbps を必要とします。使用する 4K カメラの台数は 1 ハウス当たり 2 台（2 台の自立走行型ロボットにそれぞれ 1 台ずつ）であるため、所要性能は計 40Mbps となります。これは、イチゴの病害検知および熟度別数量把握を AI 分析にて行う際に、非常に高精細な映像の伝送が必要とされるためになります。DL スループットについては、システムで所要する性能はありません。伝送遅延については、エッジサーバおよびパブリッククラウド上のアプリサーバでの処理性能を考慮し算出しております。

（実施計画書では、1 台あたり 25Mbps、1 ハウス当たり 4 台（2 台の自立走行型ロボットにそれぞれ 2 台ずつ）を想定し、所要性能を計 100Mbps としておりましたが、実証している中で、構成変更を行ったため所要性能を変更しました。）

本システムの機能・性能・要件を以下に示します。

<イチゴの病害検知システム>

- 4K カメラ（病害検知用）
 - ・イチゴの実の病害状況を AI 解析する動画像データとして、高精細映像（4K:3840×2160）が 30fps で撮影可能であること。
 - ・撮影したデータを Ethernet でリアルタイムに出力、転送可能であること。
- 自立走行型ロボット

- ・実証フィールドであるいちご畑花園および農研機構のビニールハウス内の高設架台間を走行及びターンが可能であること。
- ・カメラ、センサ等を用いて自己位置認識し、自立走行が可能であること。
- ・ラジコン操作等により手動での走行制御が可能であること。
- ・病害検知に必要なとなるカメラ映像の取得を可能とする走行が出来ること。

- エッジサーバ

- ・4K カメラで撮影されたイチゴの実の動画をパノラマ画像に変換することが可能であること。

- 画像トリミングエッジサーバ

- ・パノラマ画像からイチゴの実だけをトリミングし、クラウドサービスにアップロードすることが可能であること。

- クラウド基盤

- ・画像処理システムや AI 解析システム等を柔軟に構成可能であること。
- ・実証利用に必要なリソース (CPU, MEM, DISK, GPU) が準備可能であること。
- ・特に、AI 解析には、GPU リソースを利用するため、AI システムが利用可能な GPU を多数準備可能であること。

<イチゴの熟度別数量把握システム>

- 4K カメラ (数量把握用)

- ・イチゴの実の熟度別数量状況を AI 解析する動画データとして、高精細映像 (4K:3840 × 2160) が 30 フレームで撮影可能であること。
- ・撮影したデータを Ethernet でリアルタイムに出力、転送可能であること。

- 自立走行型ロボット

- ・実証フィールドであるいちご畑花園および農研機構のビニールハウス内の高設架台間を走行及びターンが可能であること。
- ・カメラ、センサ等を用いて自己位置認識し、自立走行が可能であること。
- ・ラジコン操作等により手動での走行制御が可能であること。
- ・熟度別数量把握に必要なとなるカメラ映像の取得を可能とする走行が出来ること。

- エッジサーバ

- ・4K カメラで撮影されたイチゴの実の動画をパノラマ画像に変換し、密検知・顧客誘導システムのエッジサーバを介して、パノラマ画像をクラウドサービスにアップロードすることが可能であること。

- クラウド基盤

- ・画像処理システムや AI 解析システム等を柔軟に構成可能であること。
- ・実証利用に必要なリソース (CPU, MEM, DISK, GPU) が準備可能であること。
- ・特に、AI 解析には、GPU リソースを利用するため、AI システムが利用可能な GPU を多数準備可能であること。

2.3.2 密検知・顧客誘導システム

所要性能を以下に示します。

表 2-40 密検知・顧客誘導システム 所要性能

項目	条件
UL スループット	24Mbps/1 ハウス
伝送遅延	30ms

UL スループットについては、4K カメラ 1 台あたり 4Mbps を必要とするため、1 ハウスあたり 6 台で所要性能としては計 24Mbps となります。これは、本システムではあくまでハウス内の人の検知を目的に映像伝送をするものであり、低ビットレートの映像伝送で十分に稼働できるためです。DL スループットについては、システムで所要する性能はありません。伝送遅延については、エッジサーバおよびパブリッククラウド上のアプリサーバでの処理性能を考慮し算出しております。

(実施計画書時点では、4K カメラ 1 台あたり 10Mbps を想定し、6 台での所要性能としては計 60Mbps と記載しましたが、実証を進めていく中で、4Mbps でも十分な画質で撮影が可能ということが判明したため、所要性能も変更しました。)

本システムの機能・性能・要件を以下に示します。

- 4K カメラ (人物検知用)
 - ・ハウス内の人物とその位置を解析する動画データとして、高精細映像 (4K: 3840×2160) が 30fps で撮影可能であること。
 - ・撮影したデータを **Ethernet** でリアルタイムに出力、転送可能であること。
 - ・PoE 受電対応が可能であること。
- スイッチングハブ
 - ・最大 4 台の 4K カメラ (人物検知用) と 5G/UE 端末間での動画データ転送が可能であること。
 - ・PoE 給電が可能であること。
- エッジサーバ
 - ・4K カメラ (人物検知用) で撮影された動画をリアルタイムでネットワークから受信し、カメラに写る人物とその位置を検知することが可能であること。
 - ・検知結果をメインエッジサーバにリアルタイム転送可能であること。
- 誘導表示用モニタ
 - ・HDMI 入力を持ちタブレットの画像を表示できること。
- タブレット
 - ・クラウド基盤上の顧客最適誘導システムに接続し、AI 解析データ、動画、解析結果を表示可能な UI を具備していること
- クラウド基盤

- データ処理システムや AI 解析システム等を柔軟に構成可能であること。
- 実証利用に必要なリソース (CPU, MEM, DISK, GPU) が準備可能であること。
- 特に、AI 解析には、GPU リソースを利用するため、AI システムが利用可能な GPU を多数準備可能であること。

2.4 免許及び各種許認可

本実証では、東日本電信電話株式会社を免許人とする実験試験局免許として、関東総合通信局へ申請を行いました。免許期間は令和3年11月16日から令和5年3月31日までとしています。本免許取得までのスケジュールについては「表 2-41」のとおりです。

表 2-41 実験試験局免許取得までのスケジュール

	2021年					2022年	2023年
	8月	9月	10月	11月	12月	～3月	～3月
■免許申請スケジュール	○ 8下 採択決定	○ 9上 事前相談 ○ 9中 干渉調整		○ 11上 免許申請 ○ 11/16 本免許交付 ○ 11下 電波発射			
■利用スケジュール		→ 設計		→ 無線基地局構築	→ 実証期間 現地での利用開始 (課題解決実証・技術実証等)		→ 農水省実証

免許申請の前提となる干渉調整については、未制度化の追加準同期パターンを一部実施することから、採択後に改めて関東総合通信局に対し照会のうえ、速やかに各事業者に対する干渉調整を実施しました。

また今回使用を想定しているローカル 5G 無線機器のうち、外部アンテナ以外は技術基準適合証明を取得済み機器のため、登録点検は省略が可能です。なお、外部アンテナについても、既に取得しておりますローカル 5G 無線機器の技術基準適合証明に追加することで、登録点検を省略し、導入しました。

電気通信事業法の適用については、本実証において構築するローカル 5G システムは免許人となる東日本電信電話株式会社が主体となり自己の需要として利用するため、電気通信事業には該当しないことから、本件に係る電気通信事業の届出は不要です。

IMSI は、「自らコアネットワークを構築して 運用する場合」かつ「自らの通信の利用のみ」に指定されている「999-002」から始まる番号を使用するため、総務省への認定申請は不要です。

実験試験局免許の概要は「表 2-42」のとおりです。

表 2-42 実験試験局免許申請概要

利用周波数	4.8～4.9GHz(100MHz)
免許の期間	2021年11月16日～2023年3月31日
免許を受けた送信出力	23dBm
干渉調整について	・株式会社 NTT ドコモ(2021年9月2日合意) ・日本電信電話株式会社 NTT アクセスサービスシステム研究所 (2021年8月30日合意) …二社とも申請の通りに合意に至った。

2.5 その他要件

2.5.1 ローカル 5G システム

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

ローカル 5G 等を含む本実証で導入するシステムについては、「図 2-44～図 2-47」のとおり、「IT 調達に係る国の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」

(2018 年 12 月 10 日関係省庁申合せ) 等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じました。

サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策の実施

作成日：2021年6月29日
APRESIA Systems 株式会社

1. サイバーセキュリティ対策のための留意ドキュメント

1.1. 目的

「政府機関等の情報セキュリティ対策のための統一基準群（平成三十年度版）」、「IT調達に係る国の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ（平成三十年十二月十日関係省庁申合せ）」並びに「第五世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設に関する指針（平成三十一年総務省告示第二十四号）」及び「ローカル5G導入に関するガイドライン（令和元年十二月総務省策定）」に留意していることを示す。

1.2. 留意ドキュメント

サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策の実施のため、以下のドキュメントに留意して実施している。

[1] 「政府機関等の情報セキュリティ対策のための統一基準群（平成三十年度版）」

<https://www.nisc.go.jp/active/general/kijun30.html>

[2] 「IT調達に係る国の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ（平成三十年十二月十日関係省庁申合せ）」

https://www.nisc.go.jp/active/general/pdf/shotatsu_moshiawase.pdf

[3] 「第五世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設に関する指針（平成三十一年総務省告示第二十四号）」

https://www.tele.soumu.go.jp/horei/reiki_honbun/a000111701.html

[4] 「ローカル5G導入に関するガイドライン（令和元年十二月総務省策定）」

https://www.soumu.go.jp/main_content/000683679.pdf

令和2年12月の最終改定版

https://www.soumu.go.jp/main_content/000722596.pdf

2. サプライチェーンのサイバーセキュリティリスク対応のために講じている対策

2.1. 目的

導入事業者が意図しないシステムの変更や情報の窃取等が行われないよう、外部委託や他社製品の調達がある場合はそれも含めて、サプライチェーンリスク対応のために講じている対策を示す。

2.2. サプライチェーンリスクの例

留意ドキュメント[1]の中の1つである以下の資料を参考にし、APRESIA Systems（以降 APRESIA と称す）で講じているサプライチェーンリスク対策を示す。

©APRESIA Systems all rights reserved. Confidential

1

図 2-44 サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策の実施(1/4)

「外部委託等における情報セキュリティ上のサプライチェーンリスク対応のための仕様策定手引書」
<https://www.nisc.go.jp/active/general/pdf/risktaiou28.pdf>

図 2-1 にサプライチェーンリスクの例を示す。APRESIA が開発供給するローカル 5G システムは、ODM ベンダを使用する。ODM ベンダや部品サプライヤー、ソフトウェアサプライヤーから提供されるものには、吹き出しのようなリスク（不正な改造、不正プログラムの埋め込み）が存在する可能性がある。

また、APRESIA が導入事業者に、ローカル 5G システムを提供後、運用時に、吹き出しのようなリスク（不正な更新）が発生する可能性がある。

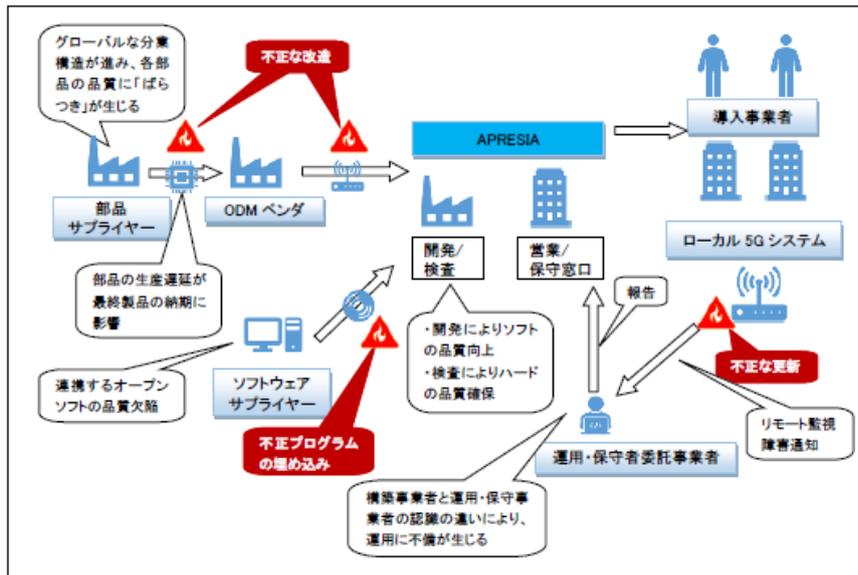


図 2-1 サプライチェーンリスクの例
 (「外部委託等における情報セキュリティ上のサプライチェーンリスク対応のための仕様策定手引書」の図-1 を元に作成)

2.3. サプライチェーンリスク対策の実施

ODM ベンダ、部品サプライヤー、ソフトウェアサプライヤーのサプライチェーンリスクに対しては、「外部委託等における情報セキュリティ上のサプライチェーンリスク対応のための仕様策定手引書」の 4. 機器等の調達の際に考慮すべき事項及び仕様書記載例を参考にすると、表 2-1 に示すような対策が必要である。

©APRESIA Systems all rights reserved. Confidential

図 2-45 サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策の実施(2/4)

表 2-1 サプライチェーンリスク対策の実施

#	対策	APRESIA での対策
1	ODM ベンダでの当該機器等の製造工程において意図しない変更が加えられないよう適切な措置がとられており、当該措置を継続的に実施していること。	品質保証部での検査工程において、意図しない変更が加えられていないかを確認する。
2	ODM ベンダでの機器等の設計から部品検査、製造、完成品検査に至る工程について、不正な変更が行われないことを保証する管理が一貫した品質保証体制の下でなされていること。	品質保証部での検査工程において、機器に不正が見つかったときに、追跡調査や立入検査等、ODM ベンダと APRESIA で迅速かつ密接に連携して原因を調査し、排除できる体制を整備している。
3	APRESIA が開発供給するシステムを構成する要素（ソフトウェア及びハードウェア）に対して不正な変更があった場合に識別できる管理体制が確立していること。	サイバーセキュリティを持続的に確保することを支援するための体制を整備している。
4	APRESIA が開発供給するシステムを構成する要素（ソフトウェア及びハードウェア）を導入した事業者において、不正な変更が加えられていないことを検査する体制を確立していること。	同上
5	APRESIA に ODM ベンダが納入する機器等の開発工程、製造工程等において、下記（ア）から（オ）の情報セキュリティに係るサプライチェーンリスクを低減する対策が行われていること。 （ア）開発工程において信頼できる品質保証体制が確立されていること。 （イ）脆弱性検査等のテストの実施が確認できること。 （ウ）製造工程における不正行為の有無について、定期的な監査が行われていること。 （エ）製造者が不正な変更を加えないよう、サプライチェーン全体が適切に管理されていること。 （オ）不正な変更が発見された場合に、APRESIA と ODM ベンダが連携して原因を調査・排除できる体制を整備していること。	品質保証部での検査工程において、機器に不正が見つかったときに、追跡調査や立入検査等、ODM ベンダと APRESIA で迅速かつ密接に連携して原因を調査し、排除できる体制を整備している。

以上により、サプライチェーンのサイバーセキュリティリスク対応のために講じている対策を示しているため、要件を満たしていると考えられる。

©APRESIA Systems all rights reserved. Confidential

図 2-46 サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策の実施(3/4)

3. 主要構成要素のサプライヤーリスト

3.1. 目的

開発供給を行うシステムの主要な構成要素（例：FPGA、AD/DA）に他社製品を使用している場合、サプライヤーリストを示す。

3.2. 主要構成要素のサプライヤーリスト

APRESIA が開発供給するローカル 5G システムについて概要、システム構成を示し、それらの主要構成要素のサプライヤーについて示す。

(1) システム概要

対応周波数：4.8～4.9GHz、SA 方式、技適取得（工事設計認証番号：003-210060）、同期システム（準同期対応）、屋内システム

(2) システム構成

2021年3月末リリース版

RU、CU/DU 一体型：3GPP、O-RAN フロントホールインタフェース準拠

交換設備（5G コア）：ハードウェアは汎用サーバ、ソフトウェアは OSS ベース

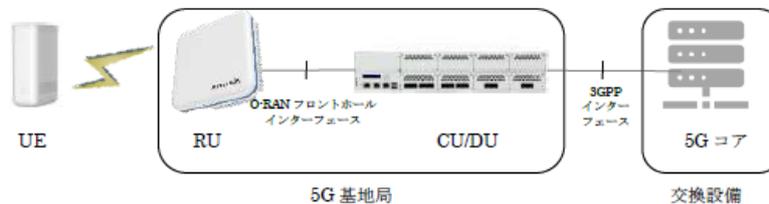


図 3-1 ローカル 5G システム

(3) 主要構成要素のサプライヤーリスト

表 3-1 に、APRESIA が開発供給するローカル 5G システムの RU、CU/DU、交換設備（汎用サーバ）のそれぞれについて、主要構成要素のサプライヤーを示す。

表 3-1 主要構成要素のサプライヤーリスト

種別	型番・型式	主要構成要素	サプライヤー	備考
RU	ApresiaAERO-RU100	FPGA	Xilinx 社	本社：米国
		RF IC	Analog Devices 社	本社：米国
		10G PHY	Aquantia 社	Marvel 社が買収 本社：米国
CU/DU	ApresiaAERO-CDU100	CPU	Intel 社	本社：米国
		FPGA	Xilinx 社	本社：米国
		サーバ筐体	AEWIN 社	本社：台湾
交換設備	ApresiaAERO-5GC	CPU	Intel 社	本社：米国
		FPGA	なし	

以上

©APRESIA Systems all rights reserved. Confidential

図 2-47 サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策の実施(4/4)

今回使用するローカル 5G システムはメーカーによって既に市販されている機器ではありますが、その性能改善（スループット値の向上、同時接続数の改善、等）と追加準同期パターン（TDD2）については開発を行い、実装しました。

事前にラボ環境で環境要因を極力排除した機器固有の性能を確認しました。結果については「2.5.6 その他」に記載しております。

2.5.2 拠点間・拠点内ネットワークシステム

システム構築にあたっては、サイバーセキュリティ対策の観点から、外部ネットワークとして IP-VPN 回線を準備してアクセス先を制限した接続とし、リモートメンテナンス拠点からは USB ドングルを利用して IP-VPN 回線への接続を行いました。

2.5.3 イチゴの病害検知システム

本システムは、AI 解析後の人による正誤判定フィードバックや別で取得した病害果実の画像データによる学習が可能な仕組みを具備しているため、AI 機械学習の精度を上げる事が可能となります。

本実証では、自立走行型ロボットで移動しながら撮影した動画像から病害検知を行います。スマートフォンなどで取得した静止画に対して病害検知を行うことも想定されます。また、病害検知に必要な高画質な果実データをエッジサーバにより動画像から静止画像へトリミング処理してから、クラウドへアップロードすることでクラウドのストレージ容量を軽減可能となります。

この様な想定ケースと大容量動画像の転送効率、クラウド費用の低減を考慮し、本システム構成を採用しました。また、グローバルに利用できるパブリッククラウドサービスを活用することで、共通の技術を用いて、それぞれの地域や農場で最適システムを構築することが可能となります。

2.5.4 イチゴの熟度別数量把握システム

本システムは、継続して教師データを集めることで精度の改善が可能となります。また熟度からの数量予測を分析していくことで AI 解析の精度向上が可能となります。また熟度判定だけでなく、イチゴの大きさを把握するなどの観光農園のニーズに沿った機能拡張も可能となります。

本システムを確立することで、同様に高設架台でイチゴを栽培している農家にシステムとしては横展開が可能となります。機体に関してはビニールハウスに合わせてカメラ位置や機体サイズの調整が必要となりますが、熟度別数量把握システムを確立することで、イチゴの観光農園、農家への横展開が可能となります。また本要素技術は教師データがあればイチゴ以外での活用も可能となり、様々な農家への横展開が可能となります。

2.5.5 密検知・顧客誘導システム

本システムは、継続した教師データを集めることで精度の改善が可能となります。また、人の検知を行っているため、顧客、従業員の動線を把握することも可能となり、最適なレイアウトや従業員の作業把握等への応用も可能であると考えられます。

本システムには、実際に自立走行型ロボットで取得した熟度別のイチゴの数と観光客の行動（滞在場所、人数、滞在時間）を元に、食べ頃イチゴが多く残っている場所を推定し、

最適な誘導先候補として通知します。エッジサーバで観光客の滞在場所、人数、滞在時間情報のみを抜き出し、クラウドへアップロードするため、プライバシー保護を担保（人の動画像をクラウドへはアップロードしない）することで利用できるシーンを増やすことができますと想定します。また、グローバルに利用できるパブリッククラウドサービスを活用することで、共通の技術を用いて、それぞれの地域や農場で最適システムを構築することが可能となります。

2.5.6 その他

本実証にて用いるローカル 5G システムについては、事前にベンダーにて品質保証試験を行い、評価データの提供を受けました。試験項目としては距離ごとの RSRP、伝送性能としました。

実証に用いる機材（実証に用いる測定器等を含む）の実証前の品質担保確認として、メーカーから納品された際に検品と同時に行いました。検品後、必要な設定を行ったあと、スループット等の性能試験を行いました。正常性の確認後、現地にて構築を行いました。

表 2-43 動作・性能（品質）確認表

動作・性能(品質)確認項目	動作の妥当性の確認方法	確認結果	確認日時
ローカル 5G システム 受信電力、伝送性能	Apresia 社ラボデータとの比較	○Apresia 社ラボデータ 受信電力：-80dBm UL:58.9Mbps (MCS:13)、 DL:74.4Mbps (MCS:16) ○性能試験データ 受信電力：-75dBm UL:36Mbps (MCS:9)、 DL:132Mbps (MCS:20) ※準同期 TDD2、値は中央値	2021.12.10
測定器	校正証明書による確認	異常なし	2021.11.19
課題実証システム 動作確認	ベンダの保持するデータとの比較	異常なし	2021.12.10

表 2-44 正常性試験表

No	カテゴリ	項目	内容	確認結果	確認日時
1	単体確認	機器の物理確認	物理的な破損、傷がないか	異常なし	2021.11.19
		機器の個体識別	MAC アドレス、シリアルナンバーの確認	異常なし	2021.11.19
		機器の電源投入	電源を投入し、問題なく設定ログイン画面が表示されるか	異常なし	2021.11.19
2	設定投入	パラメータ通りの指定値を投入	設定が正しく反映されるか (show run などで確認)	異常なし	2021.11.26
3	疎通確認	コア装置疎通確認	5GC との疎通が取れているか (双方向)	異常なし	2021.11.26
		端末接続確認	UE が接続できるか	異常なし	2021.11.26
		SIM 認証確認	正しい SIM が入っていない UE を接続してエラーとなるか	異常なし	2021.11.26

No	カテゴリ	項目	内容	確認結果	確認日時
4	基本性能測定	電波強度確認	RSRP、SIR の測定	異常なし	2021. 12. 3
		スループット確認	TCP、UDP におけるスループット測定	異常なし	2021. 12. 3
		遅延確認	RTT の測定	異常なし	2021. 12. 3

課題実証で使用するシステムは、11月下旬～12月にかけて、NTT 東日本ローカル 5G オープンラボにて今回導入するローカル 5G システムと同様な環境を用意した上で、動作確認および正常性試験を実施しました。結果は「表 2-43」に記載のとおりです。また、本実証は VPN 網経由でコア装置と接続しますが、ラボ環境では VPN 環境が再現できないため、現地で最終的な試験を行いました。

また、代表機関である東日本電信電話株式会社は ISMS 認証を取得しており、情報セキュリティが十分に確保されるように適正に管理しています。また業務委託先に機密情報を提供するにあたり、安全かつ適切な取引を行うためのセキュリティ調査を行いました。また業務委託先が、再委託を行う場合には再委託実施時の安全管理措置について確認しました。確認項目は以下のとおりです。

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

2.6 実証環境の運用

実証開始前に、実証フィールドであるいちご畑園および農研機構へ実証の目的・内容、システム構成概要、スケジュール、実施体制を予め説明しました。以下の「図 2-48」は研修時に使用した資料の一部抜粋です。

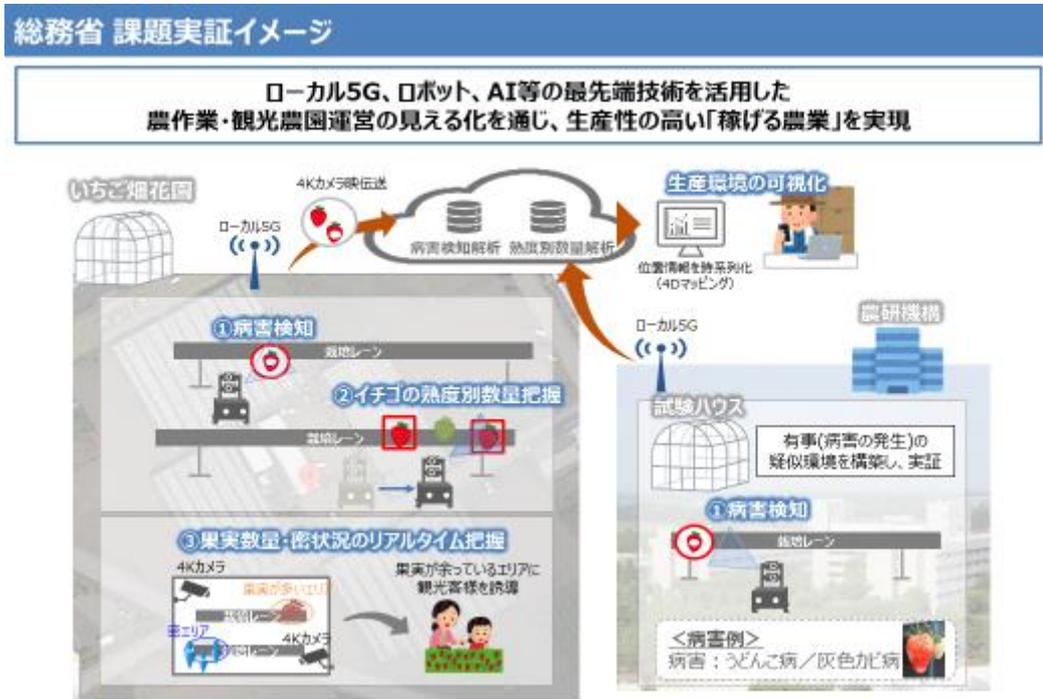


図 2-48 いちご畑園 実証説明資料

また、実証期間中は技術グループをヘルプデスクとして設置し実証参加者等からの問合せ等に対応するとともに、不具合が発生した場合に備え、迅速な対応体制を整備し、原因を特定し対処いたしました。具体的には、代表機関である東日本電信電話株式会社内にローカル 5G システムに関する保守受付体制を「図 2-49」の通り構築し、実証期間中の問い合わせ対応や万一の機器故障時におけるオンサイト対応を実施しました。なお、実証期間中の不具合や問合せなどは全て「表 2-45」に記録しております。



図 2-49 運用体制

表 2-45 不具合・問合せ対応表

問合せ日	問合せ者	問合せ内容	対応内容	完了日
2022. 1. 5	エクサウィザーズ	UE が圏外表示になり接続が出来ない事象が発生	UE, CDU の再起動実施により事象改善を確認	2022. 1. 5
2022. 2. 3	いちご畑花園	実証期間中に蔓延防止等重点措置が発令、多くの作業員入館に対して懸念	入館時は必要最小限の作業員を現地に派遣すること、作業時は密にならないよう注意すること、入館前に検温とアルコール消毒を必ず実施することを出入りする実証関係者全員に説明しお客様にも理解いただけた	2022. 2. 3

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

様々な分野における利用用途や利用環境で柔軟にローカル 5G システムを構築できるよう、ローカル 5G システムのエリア構築に関する技術の確立と他システムとの干渉調整を柔軟にするため、ローカル 5G の適切な技術基準等の改定や低廉な機器の普及に資する検討を行いました。

本実証では、イチゴ農園をフィールドとして、栽培ハウスの外に指向性アンテナを用いた基地局を設置し、その電波伝搬特性を測定するとともに、壁面の材質・厚さ別の定量化を示すパラメータである R について、ビニールハウスを対象とした値の精緻化を実施しました。また、指向性アンテナでカバーしきれないエリアやイチゴの栽培レーンにより受信電力が減衰するエリアに対して、反射板による受信電力等の改善が見られるかどうかを検証することで、本ユースケースにおける反射板の活用可能性を示しました。加えて、イチゴ農園内で課題解決に使用する各ソリューションにおいては、カメラからの高精細映像伝送が必須となることから、同期 TDD システムとの干渉評価も含めて準同期 TDD システムの有用性を評価しました。

- a. ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定
- b-I. 電波伝搬モデルの精緻化
- b-II. 電波反射板によるエリア構築の柔軟化
- b-III. 準同期 TDD の追加パターンの開発

最終的には、ローカル 5G の技術基準などの改定に貢献するべく、イチゴ農園を含むビニールハウスを有する農園を対象とした場合のローカル 5G システム導入モデルを示すとともに、その電波伝搬特性や反射板の活用可能性、準同期 TDD システム活用の有用性を示すことで、同ユースケースの横展開に資する知見等を示しました。

表 3-1 技術実証の概要

項目			該当(○、×)
技術実証の 実施環境	周波数帯	4.7GHz 帯	○
		28GHz 帯	×
		キャリア 5G の周波数帯	×
	屋内外	屋内	×
		屋外	×
		半屋内	○
	周辺環境	都市部	×
		郊外	○
		開放地	×
		その他	×
テーマ別 実証	I. 電波伝搬モデルの 精緻化	K の精緻化	×
		S の精緻化	×
		R の精緻化	○
		その他の精緻化	×
	II. 電波反射板による エリア構築の柔軟化	実施の有無	○
	III. 準同期 TDD の追 加パターンの開発	TDD2 の検討	○
		TDD3 の検討	×
		TDD2、3 以外のパターンの検討	×
		追加パターンを具備した実機での検証	○
	IV. その他のテーマ	実施の有無	×

3.2 実証環境

本実証での実証環境を以下に示します。本実証では、いちご畑花園「図 3-1」「図 3-2」および農研機構「図 3-3」にて実証を行いました。

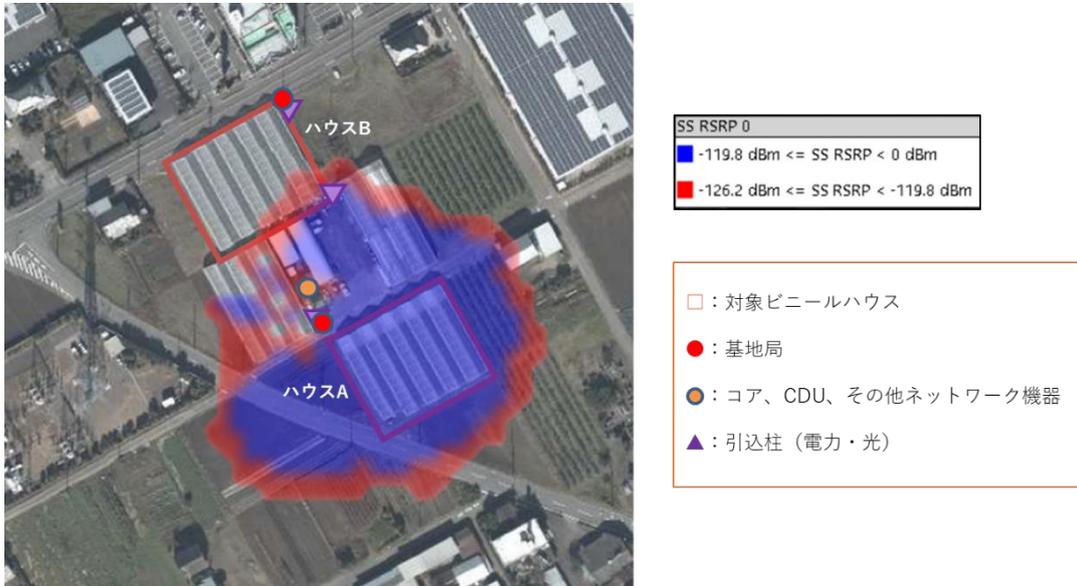


図 3-1 いちご畑花園 ハウス A 実証環境およびエリアカバレッジ
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

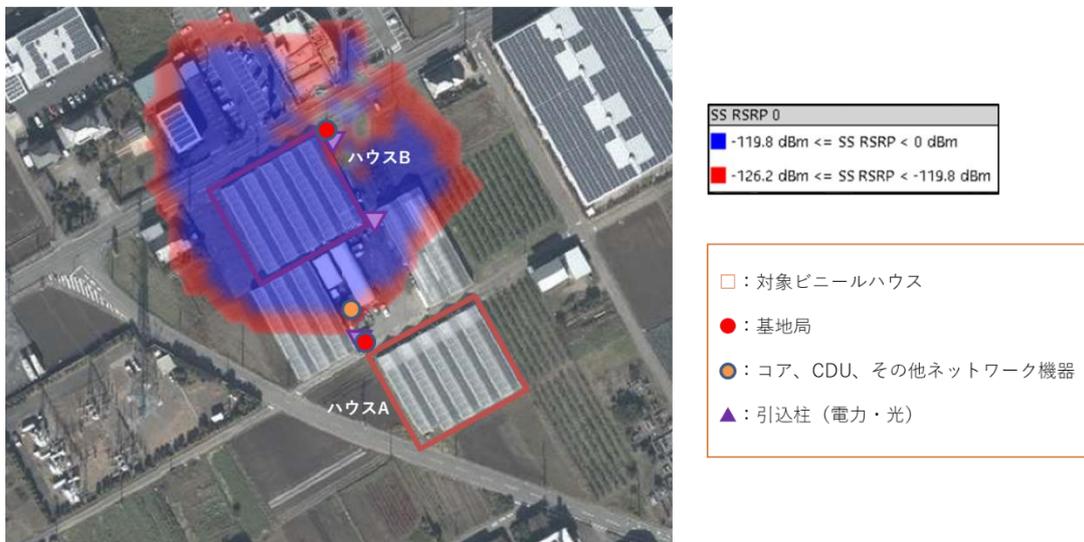


図 3-2 いちご畑花園 ハウス B 実証環境およびエリアカバレッジ
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

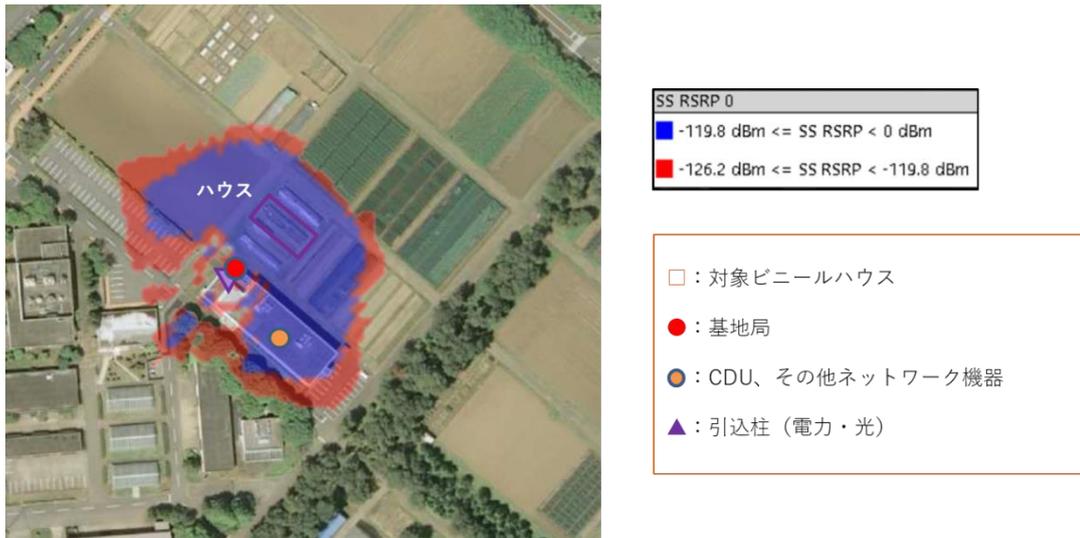


図 3-3 農研機構 実証環境およびエリアカバレッジ
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

本実証では、無指向性アンテナではなく、「2.2 ネットワーク・システム構成」で示した指向性アンテナを使用しました。理由としては、不要なエリアカバーの最小化が挙げられます。本環境のように、特定の比較的狭いエリアのみのカバーを必要とする場合、指向性の強いアンテナを使用することで、カバーエリアを絞り、結果的に不要なエリアカバーを最小化出来ると考えます。無指向性アンテナを使用する場合には、カバーエリアの中央に配置し、送信電力等の最適化によりエリアカバーを調整する手法が考えられますが、本実証においては、高温環境であるハウス内の設置になるため、耐環境性という観点で故障リスクが生じるとともに、農園での各種作業に対する障害となる可能性が考えられます。

また、本実証において構築しましたローカル 5G システムですが、理論値と実測値に乖離が生じております。以下に本事象の要因について記載します。

本事象の主たる原因としましては、開発において発生した改善点の改修に時間を要していることとなります。具体的な改善点については、DMCS 未実装であること、耐ノイズの脆弱性の影響、無線リソースブロックの割り当てが非効率・不完全であることが挙げられます。

DMCS 未実装については受信電力が良好な地点であっても MCS の動的な変換が出来ず伝送性能が向上しない要因となっています。

耐ノイズの脆弱性については、本実証で用いた機器は、受信した電波信号からデータを復調する動作においてノイズへの耐性が弱く、エラーレートが上がってしまうという特徴を持っていることが分かりました。このノイズ耐性の弱さは機器のノイズ除去機能の性能不足に起因しており、そのため本実証で用いた機器は受信した変調信号を復調する際に元の信号を取り出す精度が低いことが考えられます。無線コントロール処理による過負荷について、各プロセスに割り当てる CPU のリソース配分が適切ではなく、無線レイヤーでの処理に当たる CPU が過負荷状態になっていることが分かりました。これは CPU が過負荷状態になることで、十分な性能を発揮できていなかった可能性を示唆しています。

無線リソースブロックの割り当てが非効率・不完全である点については、CDU から UE の集

積回路に対して使用する無線リソースブロックの割り当ての指示が完全に最適化されていません。本実証で用いた機器は無線区間の安定性を向上させるため、一部の無線リソースを制御信号へ割いています。これにより伝送用に割り当てる無線リソースが減少し、スループットが低下しております。また、無線リソースブロックの割り当ての指示を UE に送信する際に処理が不十分であることが分かりました。複数 UE 収容時に、CDU から複数台の UE に無線リソースブロックの割り当て指示を出す処理で効率を上げられておりません。以上のことから、性能を向上するためには、以下のことが求められます。

- DMCS (適応変調) の実装
- 耐ノイズの脆弱性の改善
- 無線リソースブロックの割り当ての効率化

上記 3 点がクリアできれば、受信電力値に応じて MCS 値を変更し接続安定性を維持しながら UL 性能を向上することができると考えます。

次項「3.3 実証概要」では、上記ローカル 5G システム自体の性能要因の他、指向性アンテナや実証エリアごとの環境要因等より実測値の考察を行います。

3.3 実証内容

3.3.1 ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定

3.3.1.1 実証目標

本実証では、ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定を実施し、エリア算出法との比較を行うことで、その精緻化の実現に寄与できる知見・データの取得を目標としました。また、カバーエリア内の 20 以上の測定点において、受信電力及び伝送性能（アップリンク（以下、UL）/ダウンリンク（以下、DL）別の伝送スループット、伝送遅延等）を測定しました。求める所要性能については、「2.3 システム機能・性能・要件」にて記載したローカル 5G を用いたソリューションの所要性能（UL スループット：40Mbps、伝送遅延：30ms）になります。また、測定結果とローカル 5G を用いたソリューションの所要性能を比較し評価するとともに、その性能を満たさない場合には、実測データに基づき必要なローカル 5G を構築する方策（必要な帯域幅及び送信電力等）を導出することで、本ユースケースにおけるソリューションとローカル 5G の関係性を明らかにすることを目標としました。

3.3.1.2 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下のとおりです。

表 3-2 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	エリア算出法と実測値の比較	<ul style="list-style-type: none">・ 基地局ごとのカバーエリアおよび調整対象区域のエリア端における受信電力・ エリア算出法によって算出されたカバーエリアおよび調整対象区域の閾値と実測値の比較・ (上記比較にて値が異なっている場合、) 閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認・ 閾値と実測値の差分の要因分析
2	受信電力・伝送性能の評価	<ul style="list-style-type: none">・ カバーエリア内の 20 以上の測定点における、受信電力及び伝送性能 (UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延) の測定・ 実測した伝送性能とローカル 5G を用いたソリューションの所要性能との比較・ (実測した伝送性能がローカル 5G を用いたソリューションの所要性能を実現できない場合、) 実測データに基づいた必要なローカル 5G を構築する方策 (必要な帯域幅及び送信電力等) の導出

3.3.1.3 評価・検証方法

本実証での条件は、以下の「表 3-3」のとおりです。受信電力についてはエリアテスト等を用いて測定を行いました。スループットおよび遅延の測定については、純粋な無線区間のみを測定することは各機器の具備するインターフェースの都合上不可能であることから、極力無線区間のみに近い区間としてL3SWに接続したPC～UEに接続したPC間で下記の通り「iperf」「Ping試験」による測定を行いました。なお、測定器の詳細については「2.2 ネットワーク・システム構成」に記載しております。

表 3-3 測定条件

項目	条件	対応図表
測定ツール	<ul style="list-style-type: none"> ・ 受信電力：エリアテスト ・ 伝送スループット：iperf等の測定ツール ・ 伝送遅延時間：Ping試験 	図 3-13

(1) エリア算出法と実測値の比較

本実証にて行った試験の手順は、以下の「表 3-4」のとおりです。

表 3-4 試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	エリア算出法を基にしたエリアシミュレーションにより、カバーエリアおよび調整対象区域を算出・図示	図 3-4
2	カバーエリアおよび調整対象区域の閾値と実測値の比較を行う測定ポイントを定義	図 3-5 図 3-6
3	2で定義した測定ポイントにて測定ツールを用いて受信電力を測定 閾値と実測値が異なっている場合、GPSシステムを用いて閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離を確認	—



図 3-4 いちご畑花園 エリア算出法により算出されたカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント（ハウス A）
 （国土地理院（電子国土 Web）（URL：<https://maps.gsi.go.jp/>）のデータを使用して作成）



図 3-5 いちご畑花園 エリア算出法により算出されたカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント（ハウス B）
 （国土地理院（電子国土 Web）（URL：<https://maps.gsi.go.jp/>）のデータを使用して作成）

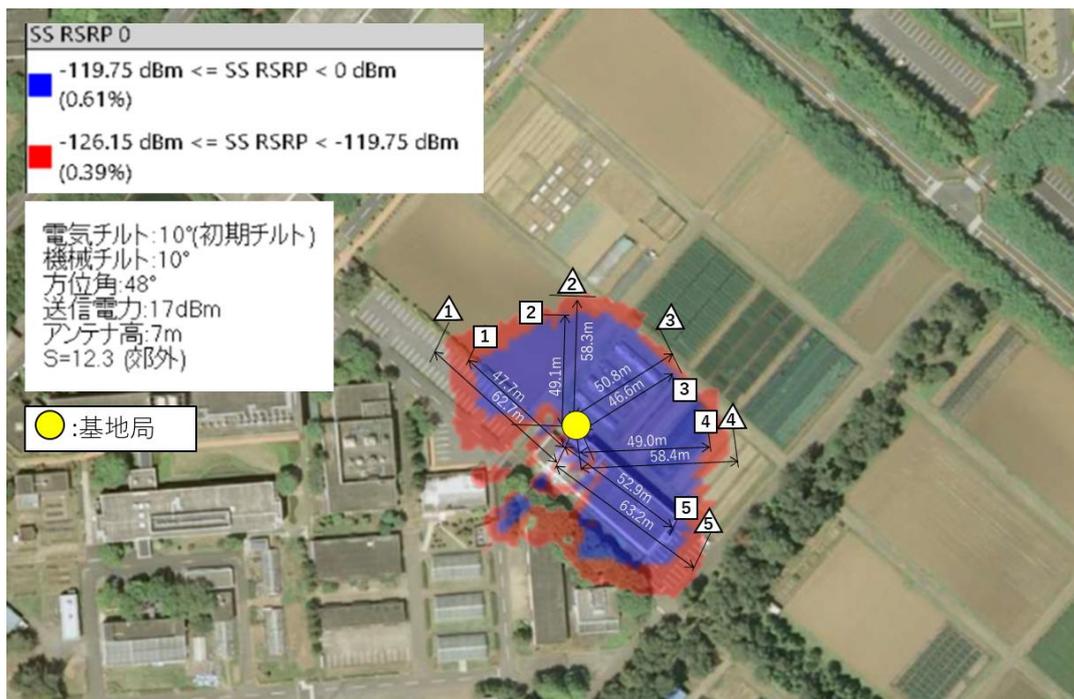


図 3-6 農研機構 エリア算出法により算出されたカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント

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

(2) 受信電力・伝送性能の評価

本実証にて想定している試験の手順は、以下の「表 3-5」のとおりです。

表 3-5 評価手順

工程	実施内容	対応図表
1	<p>下記項目を考慮し、カバーエリア内に測定ポイントを定義しました。</p> <ul style="list-style-type: none"> カバーすべきエリアはハウス内のみ、となりますが、実際にはハウス外もカバーエリアとなることが予想されるため、ハウス外にも測定ポイントを設定しました。 いちご畑花園でのハウス A の基地局について、ビニールハウスによる電波伝搬損失を評価するために、見通し内環境のポイント (14, 19) においても測定を行いました。 指向性アンテナ利用の狙いであり、不要なカバーエリアの最小化を評価するために、カバーエリア外のポイント (ハウス A : 22~24、ハウス B : 19~21、農研機構 : 21~23) においても測定を行いました。 	<p>図 3-7 図 3-8 図 3-9 図 3-10 図 3-11 図 3-12</p>
2	<p>1 で定義した測定ポイントにて測定ツールを用いて受信電力及び伝送性能 (UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延) を測定しました。</p>	<p>図 3-13</p>

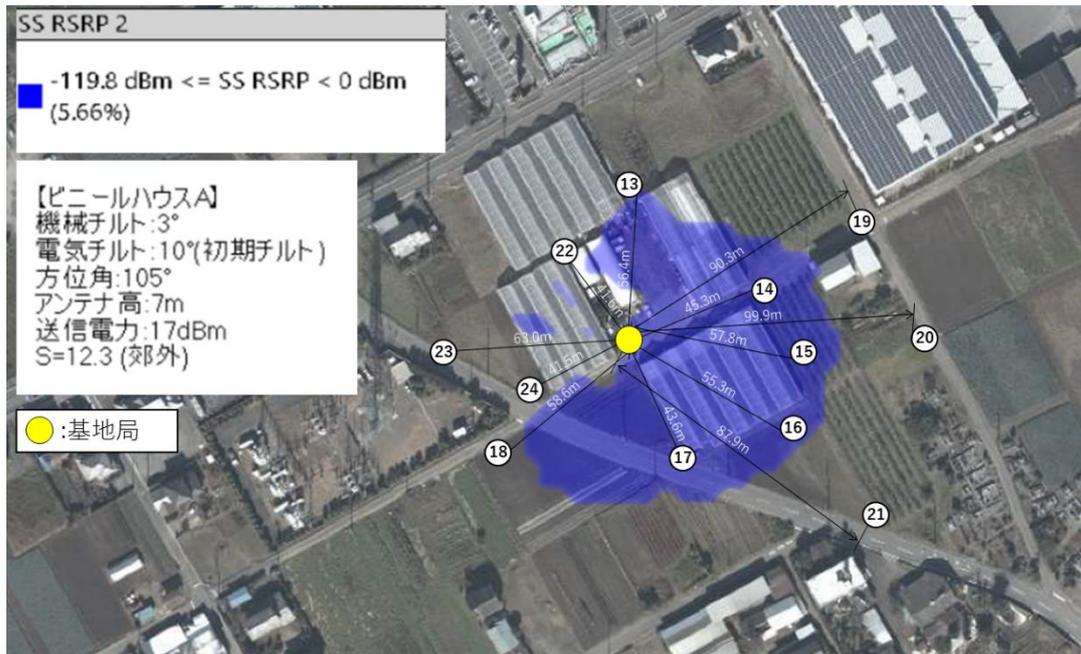


図 3-7 いちご畑花園 屋外測定ポイント (ハウス A)
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

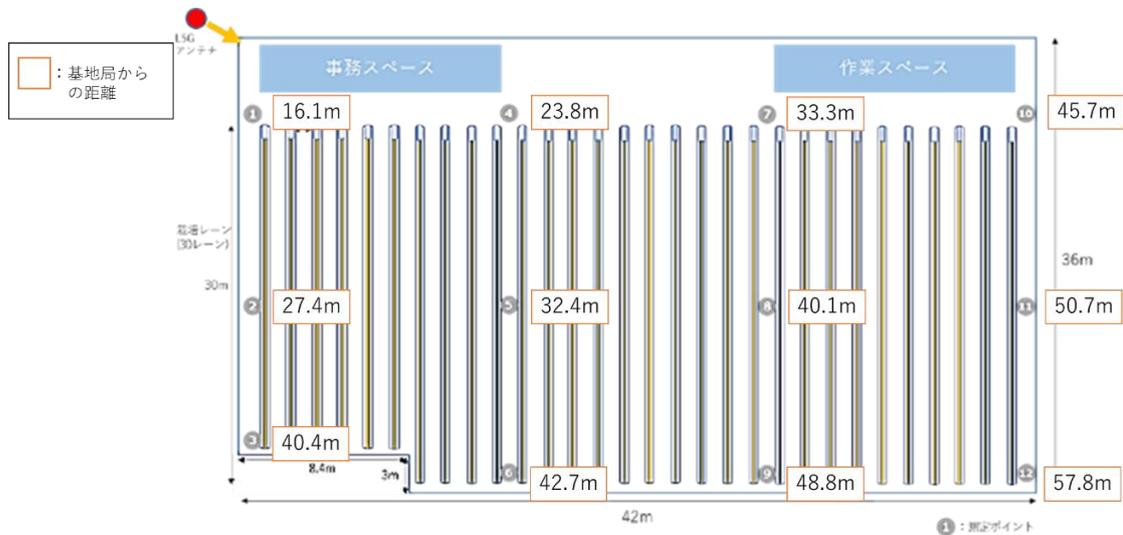


図 3-8 いちご畑花園 屋内測定ポイント (ハウス A)

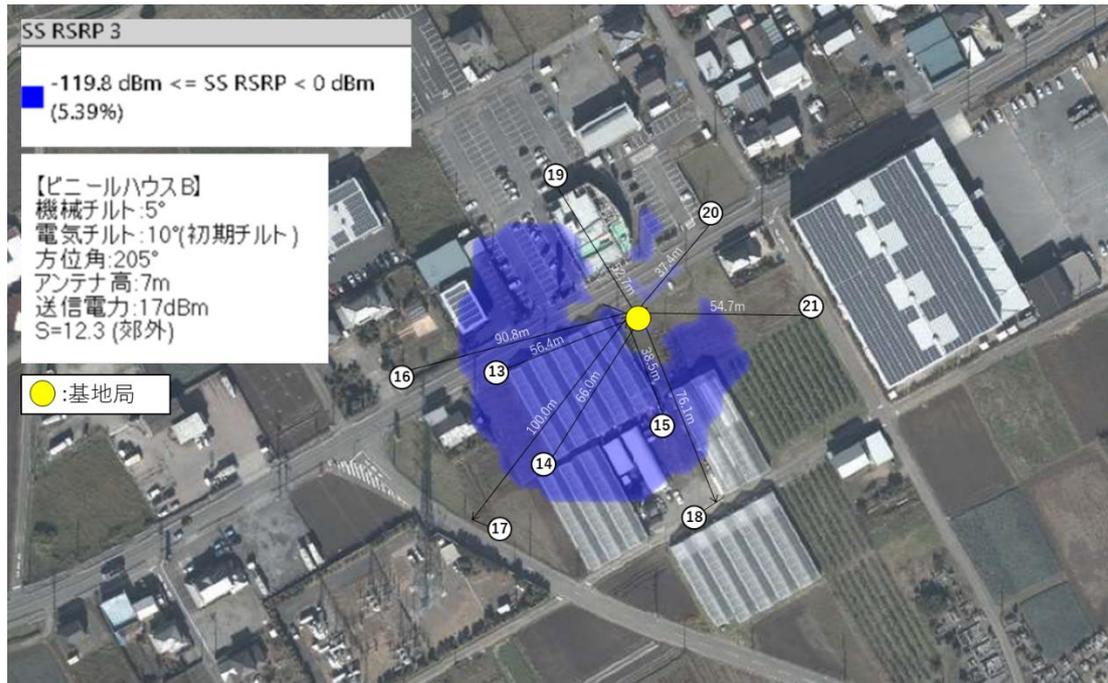


図 3-9 いちご畑花園 屋外測定ポイント (ハウス B)
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

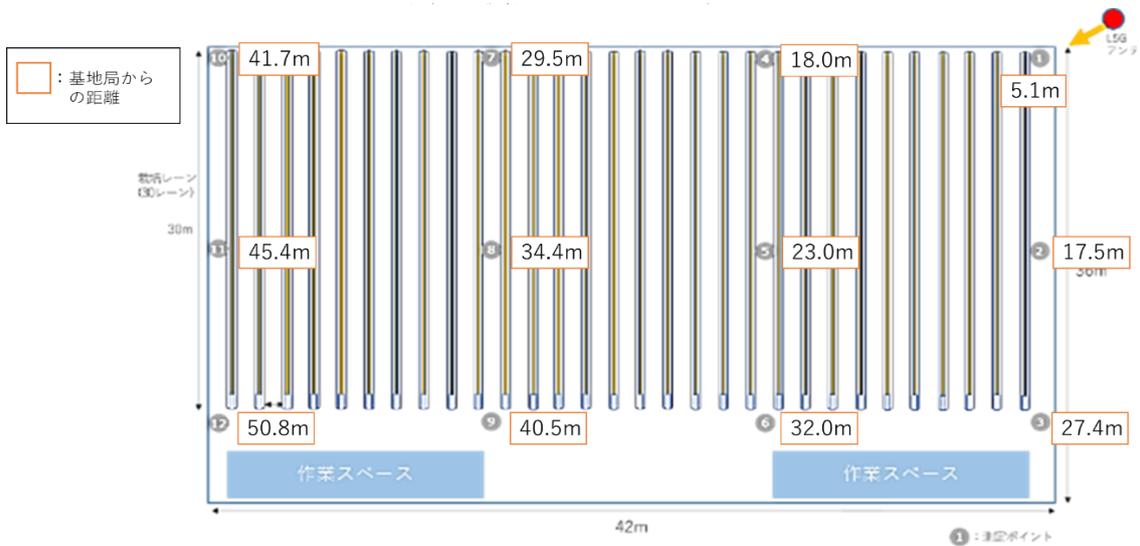


図 3-10 いちご畑花園 屋内測定ポイント (ハウス B)

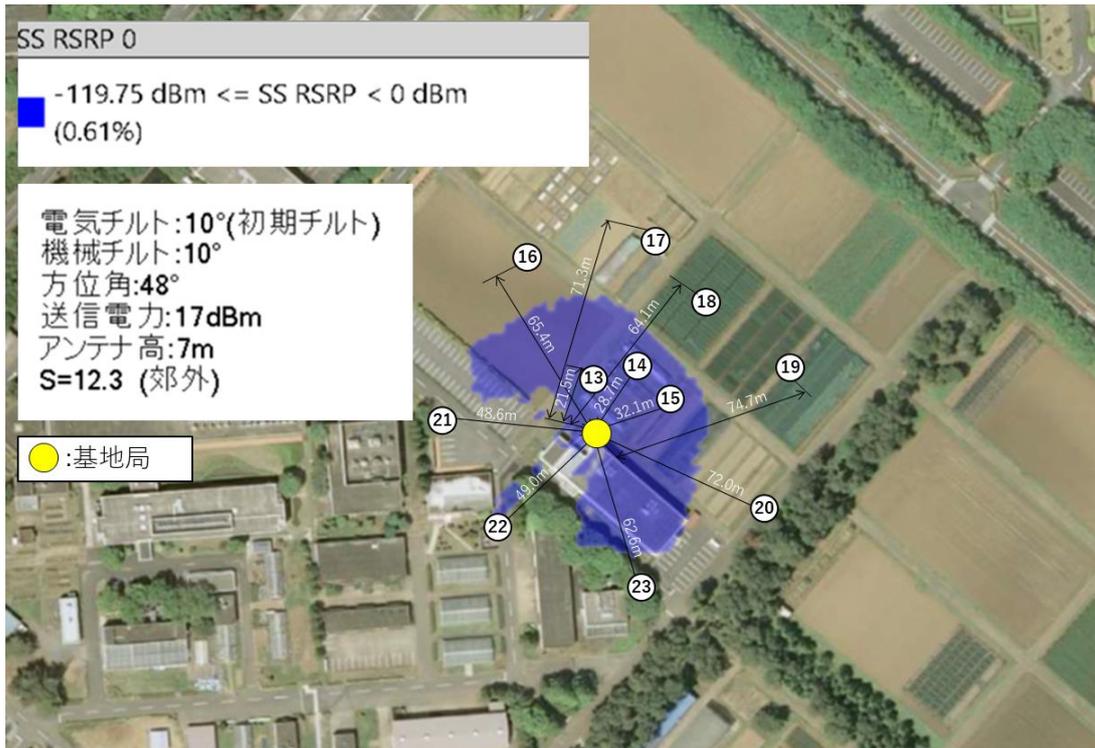


図 3-11 農研機構 屋外測定ポイント
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

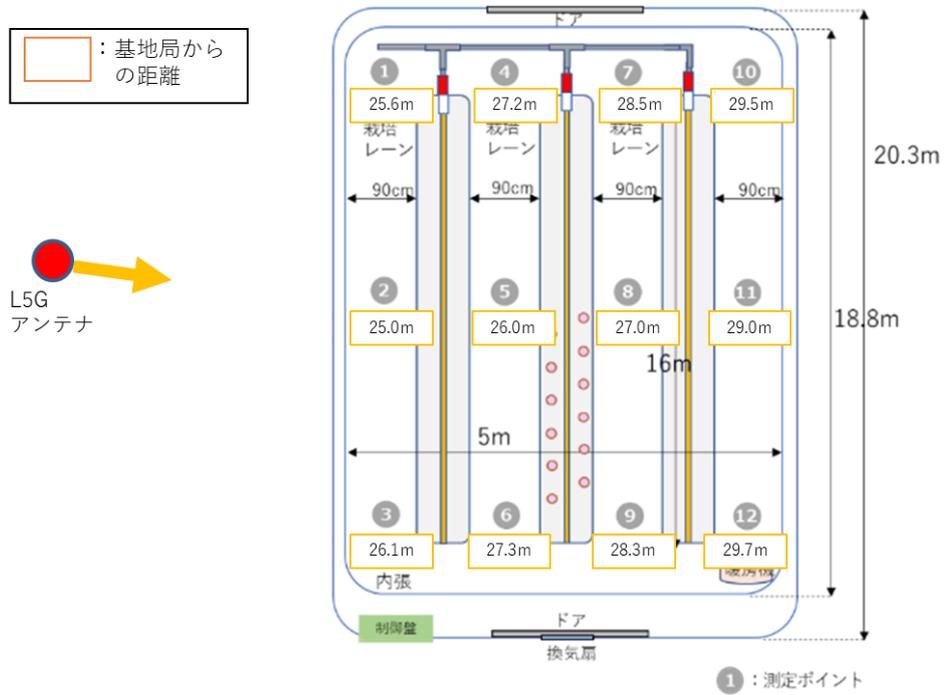


図 3-12 農研機構 屋内測定ポイント

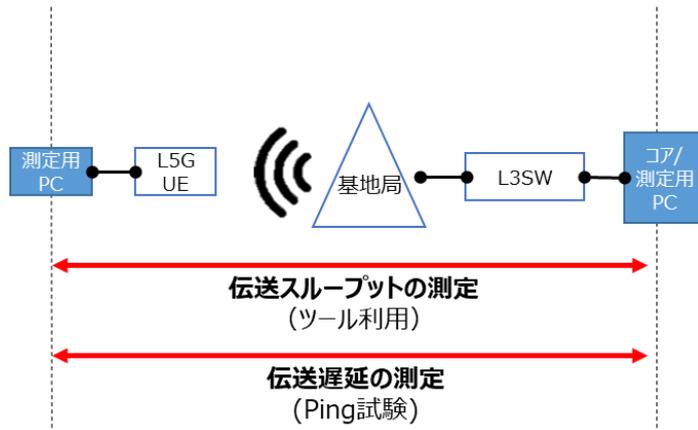


図 3-13 伝送性能測定区間 模式図

3.3.1.4 実証結果及び考察

(1) エリア算出法と実測値の比較

エリア算出法によって算出されたカバーエリアおよび調整対象区域、また測定ポイントは、「図 3-4」～「図 3-6」に図示しました。

エリア算出法での閾値と各測定ポイントでの実測値を下記に示します。

表 3-6 いちご畑花園 ハウス A エリア算出法で算出した
カバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	エリア算出法での 閾値 (dBm)	実測値 (dBm)	差分 (dB)
1	-119.8	-99.13	-20.67
2	-119.8	-93.20	-26.60
3	-119.8	-114.68	-5.12
4	-119.8	-109.64	-10.16
5	-119.8	-101.74	-18.06

表 3-7 いちご畑花園 ハウス A エリア算出法で算出した
調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	エリア算出法での 閾値 (dBm)	実測値 (dBm)	差分 (dB)
1	-126.2	-94.36	-31.84
2	-126.2	-117.34	-8.86
3	-126.2	-110.24	-15.96
4	-126.2	-117.08	-9.12
5	-126.2	-112.71	-13.49

表 3-8 いちご畑花園 ハウス B エリア算出法で算出した
カバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	エリア算出法での 閾値 (dBm)	実測値 (dBm)	差分 (dB)
1	-119.8	-110.58	-9.22
2	-119.8	-98.72	-21.08
3	-119.8	-108.07	-11.73
4	-119.8	-97.51	-22.29
5	-119.8	-103.09	-16.71

表 3-9 いちご畑花園 ハウス B エリア算出法で算出した
調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	エリア算出法での 閾値 (dBm)	実測値 (dBm)	差分 (dB)
1	-126.2	-117.40	-8.80
2	-126.2	-112.96	-13.24
3	-126.2	-112.50	-13.70
4	-126.2	-111.30	-14.90
5	-126.2	-105.55	-20.65

表 3-10 農研機構 エリア算出法で算出した
カバーエリアでの閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	エリア算出法での 閾値 (dBm)	実測値 (dBm)	差分 (dB)
1	-119.8	-104.16	-15.64
2	-119.8	-106.24	-13.56
3	-119.8	-103.14	-16.66
4	-119.8	-107.55	-12.25
5	-119.8	-109.16	-10.64

表 3-11 農研機構 エリア算出法で算出した
調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定 ポイント	エリア算出法での 閾値 (dBm)	実測値 (dBm)	差分 (dB)
1	-126.20	-107.47	-18.73
2	-126.20	-100.65	-25.55
3	-126.20	-101.68	-24.52
4	-126.20	-102.21	-23.99
5	-126.20	-113.40	-12.80

上記の比較結果より値が異なっているポイントにおける、閾値が実測された基地局相当の無線局からの距離を下記に示します。

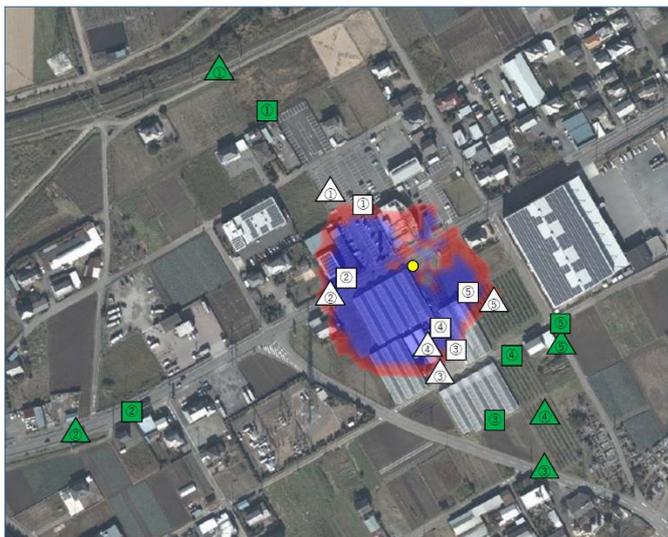


- : カバーエリア
- : 調整対象区域
- : エリア算出法でのカバーエリア測定ポイント
- △ : エリア算出法での調整対象区域測定ポイント
- : カバーエリア閾値実測ポイント
- ▲ : 調整対象区域閾値実測ポイント

アンテナ～測定点間距離

測定点	距離[m]
1	141.26
2	212.77
3	119.48
4	86.56
5	105.55
6	185.84
7	250.37
8	167.84
9	139.62
10	118.43

図 3-14 いちご畑花園（ハウス A） 閾値が実測された基地局相当の無線局からの距離
（国土地理院（電子国土 Web）（URL : <https://maps.gsi.go.jp/>）のデータを使用して作成）



- : カバーエリア
- : 調整対象区域
- : エリア算出法でのカバーエリア測定ポイント
- △ : エリア算出法での調整対象区域測定ポイント
- : カバーエリア閾値実測ポイント
- ▲ : 調整対象区域閾値実測ポイント

アンテナ～測定点間距離

測定点	距離[m]
1	138.46
2	212.54
3	123.80
4	89.93
5	107.78
6	181.00
7	253.74
8	162.82
9	138.69
10	111.94

図 3-15 いちご畑花園（ハウス B） 閾値が実測された基地局相当の無線局からの距離
（国土地理院（電子国土 Web）（URL : <https://maps.gsi.go.jp/>）のデータを使用して作成）

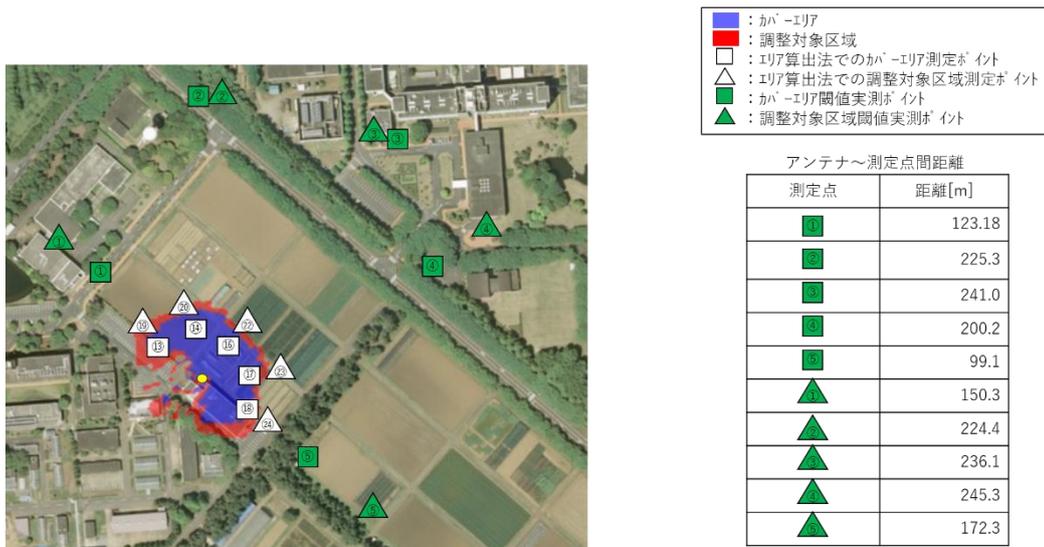


図 3-16 農研機構 閾値が実測された基地局相当の無線局からの距離
(国土地理院(電子国土 Web)(URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

エリア算出法での閾値と各測定ポイントでの実測値に乖離が生じた理由について、考察を行いました。

まず、今回のエリア算出法に基づいたシミュレーションにおいては、埼玉県深谷市および茨城県つくば市という立地、また、周辺環境を考慮し、郊外地である $S=12.3$ を適用させ、カバーエリアおよび調整対象区域を算出しました。しかし、閾値が実測された地点は開放地である $S=32.5$ に近いカバーエリアとなりました。これは、実際の基地局の周辺環境においては、遮蔽物となりうるような建物が存在せず、唯一の遮蔽物であるビニールハウスについても電波減衰が少なかったためと考えられます。ビニールハウスの建物侵入損と上記で記載しました S の補正値については、「3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化」にて考察します。

また、本実証で使用した外部アンテナの指向性を以下の「図 3-17」に示します。実証環境に合わせ、図の左側に示したような 2D 指向性の通り、水平角 60° に強い指向性を持つアンテナを選定しましたが、実際にはアンテナの指向性は完全な扇形にはならず、横方向のレベルは最大利得に対して $-20\sim-25\text{dB}$ 程度となります。本実証では送信出力 17dBm と高出力であることから横方向にも電波が到達する結果となったことも乖離要因のひとつに挙げられると考えます。

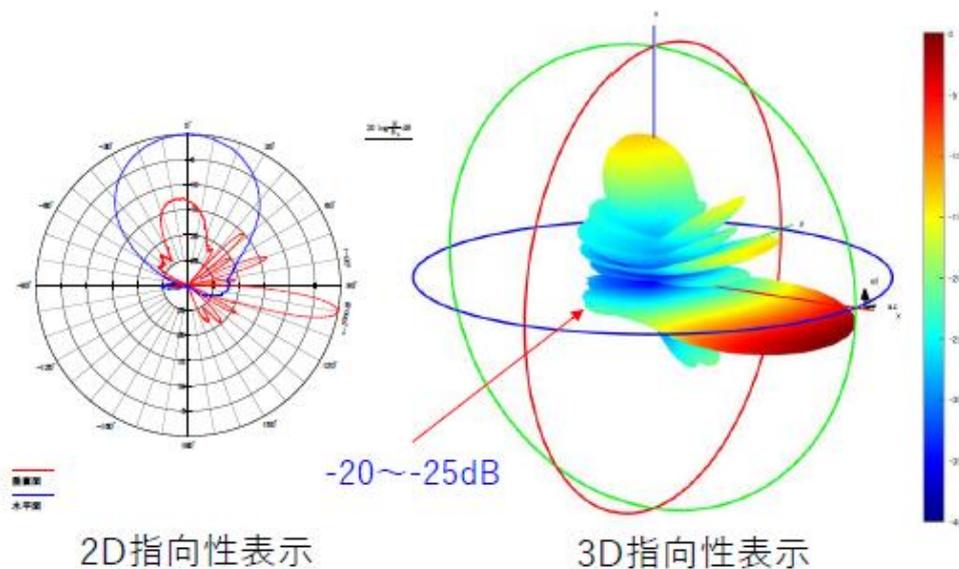


図 3-17 外部アンテナの指向性

また、「図 3-18」に外部アンテナのチルト方法による指向性の変化を示します。左図は機械チルト、右図は電気チルトそれぞれの場合にチルトをかけるほどに円形の内側に指向性に変化することを示しています。

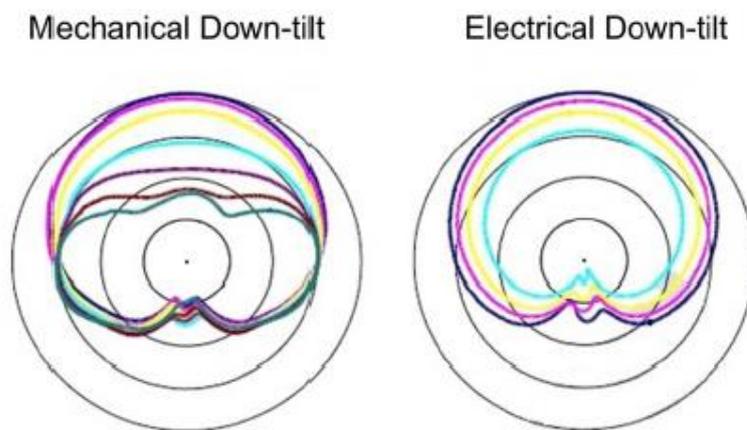


Figure 1 Difference in footprint for mechanical and electrical down-tilting

図 3-18 外部アンテナのチルトによる指向性の変化

上記のように機械チルトは前方向への指向性を抑える効果がありますが、横方向のレベルは変化しない、もしくはやや増加していく傾向が見られます。一方電気チルトでは全方向に対してほぼ等しいレベルで指向性を減少させることが出来ています。実際の利用エリアに応じた最適なエリア設計を実現するには、基地局は広いカバーエリアを構築するために極力高い場所に設置され、電気チルトや機械チルトまたは物理的設置角により下方へ照射されます。カバーエリアの設計では、これらのチルト角がアンテナ指向性に影響を与え

る技術的要件を理解し、それらの特性をふまえ適切に設計することが重要であると考えます。

(2) 受信電力・伝送性能の評価

カバーエリア内の測定ポイントは、「図 3-7」～「図 3-12」に図示しました。

各測定ポイントでの受信電力及び伝送性能（UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延）についてまとめた結果を下記に示します。

表 3-12 いちご畑花園 ハウス A 各測定ポイントでの受信電力および伝送性能

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (40Mbps) [所要性能との差分]	DL スループット (Mbps)	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) 片道	伝送遅延 (30ms) [所要性能との差分]
1	-84.49	31.28	8.72	67.25	30.51	15.25	-14.75
2	-89.70	31.28	8.72	57.40	32.45	16.23	-13.78
3	-106.83	39.84	0.16	57.28	33.45	16.73	-13.28
4	-90.51	29.91	10.09	68.34	31.32	15.66	-14.34
5	-100.80	30.98	9.02	68.34	32.40	16.20	-13.80
6	-105.66	31.24	8.76	57.36	33.32	16.66	-13.34
7	-102.57	27.05	12.95	57.35	31.10	15.55	-14.45
8	-92.37	31.82	8.18	65.57	29.68	14.84	-15.16
9	-98.80	31.07	8.93	59.81	34.47	17.24	-12.76
10	-100.79	31.66	8.34	68.33	33.65	16.83	-13.18
11	-106.07	29.44	10.56	68.13	32.07	16.03	-13.97
12	-98.36	37.04	2.96	61.93	33.67	16.83	-13.17
13	-104.50	39.58	0.42	67.66	31.20	15.60	-14.40
14	-89.40	21.61	18.39	57.30	33.57	16.78	-13.22
15	-104.89	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
16	-110.41	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
17	-87.83	34.56	5.44	57.83	35.33	17.66	-12.34
18	-111.18	51.85	-11.85	57.43	38.03	19.01	-10.99
19	-114.21	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
20	-113.69	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
21	-103.29	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
22	-104.50	43.17	-3.17	57.36	37.96	18.98	-11.02
23	-110.89	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
24	-115.62	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可

表 3-13 いちご畑花園 ハウス B 各測定ポイントでの受信電力および伝送性能

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (40Mbps) [所要性能との差分]	DL スループット (Mbps)	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) 片道	伝送遅延 (30ms) [所要性能との差分]
1	-93.28	40.10	-0.10	65.35	39.75	19.88	-10.13
2	-84.37	31.28	8.72	65.44	32.00	16.00	-14.00
3	-102.18	36.28	3.72	57.30	44.95	22.48	-7.53
4	-91.23	40.23	-0.23	68.11	32.63	16.32	-13.68
5	-82.38	29.29	10.71	58.83	29.24	14.62	-15.38
6	-89.44	30.45	9.55	68.11	31.62	15.81	-14.19
7	-90.40	33.44	6.56	57.25	31.27	15.63	-14.37
8	-90.34	33.44	6.56	65.64	31.10	15.55	-14.45
9	-96.81	31.24	8.76	63.19	31.00	15.50	-14.50
10	-107.02	33.06	6.94	57.26	30.20	15.10	-14.90
11	-98.70	33.05	6.95	58.77	31.60	15.80	-14.20
12	-94.26	30.50	9.50	67.97	39.02	19.51	-10.49
13	-106.02	20.20	19.80	68.08	31.77	15.88	-14.12
14	-95.05	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
15	-108.19	14.08	25.92	62.20	41.33	20.67	-9.33
16	-107.25	1.03	38.97	66.65	34.86	17.43	-12.57
17	-107.33	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
18	-115.73	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
19	-106.57	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
20	-105.95	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
21	-109.39	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可

表 3-14 農研機構 各測定ポイントでの受信電力および伝送性能

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	伝送遅延(ms) 往復	伝送遅延(ms) 片道
1	-90.38	17.71	56.36	49.81	24.91
2	-74.44	12.32	64.65	51.10	25.55
3	-83.24	17.71	94.11	49.08	24.54
4	-85.07	17.76	47.33	50.64	25.32
5	-83.58	17.22	70.87	49.10	24.55
6	-82.28	17.72	91.99	48.19	24.09
7	-79.20	17.19	62.02	47.80	23.90
8	-83.65	17.74	47.66	50.50	25.25
9	-84.97	17.75	48.99	48.46	24.23
10	-93.56	17.71	50.72	48.35	24.18
11	-89.30	17.70	49.59	49.28	24.64
12	-83.08	17.74	49.59	49.88	24.94
13	-83.53	17.75	101.96	47.15	23.58
14	-90.42	17.21	98.71	49.92	24.96
15	-88.17	17.74	98.78	43.88	21.94
16	-103.92	17.74	111.87	45.35	22.67
17	-102.40	17.76	98.87	48.80	24.40
18	-100.68	17.76	72.91	48.54	24.27
19	-108.69	0.05	134.87	15.51	7.75
20	-111.40	0.12	40.66	0.00	0.00
21	-109.93	0.01	141.75	0.00	0.00
22	-128.12	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
23	-127.54	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可

農研機構においてはイチゴの病害検知・熟度別数量把握システムの実証で自律走行型ロボット1台のみを接続させる要件であったため、同期システムにて運用しております。

なお、測定不可となっているポイントについては、受信電力が低く、ローカル 5G 端末がアタッチしなかったため、また、コア装置を含むローカル 5G システムへの負荷に起因して BLER (Block Error Rate) が上昇したために得られた結果であると考えております。

続いてローカル 5G を用いたソリューションの所要性能を達成しなかった測定ポイントについて考察を行いました。まず、本実証での対象エリアであるビニールハウス内の測定ポイント 1~12 の受信電力に着目しますと、いちご畑花園においては総じて-107dBm 以上、農研機構においては総じて-94dBm 以上の値が得られました。エリア算出法のカバーエリアの定義が-119.8dBm であることを考慮すると、受信電力という観点ではローカル 5G の伝送性能を発揮するに十分な値であったと考えられます。また、下記の「図 3-19」~「図 3-21」に示した通り、ハウス内の測定ポイント 1~12 における受信電力の大小が伝送性能の大小と相関していない点からも、受信電力がローカル 5G の伝送性能を発揮するに十分な値であったことを裏付けられるものと考えます。

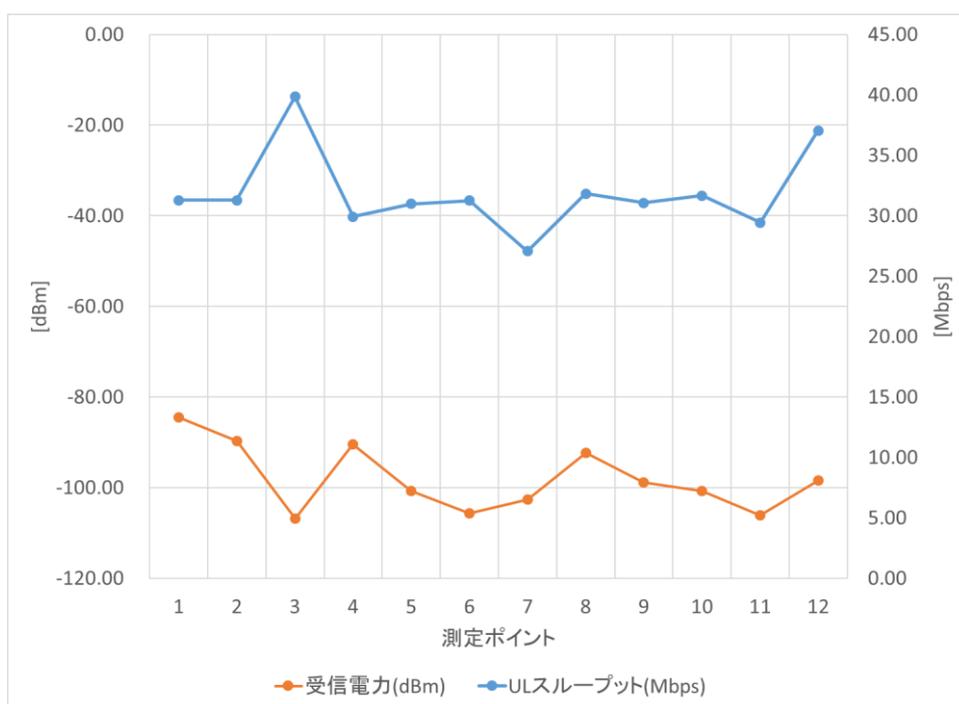


図 3-19 いちご畑花園 ハウス A 測定ポイント 1~12 での受信電力と UL スループット

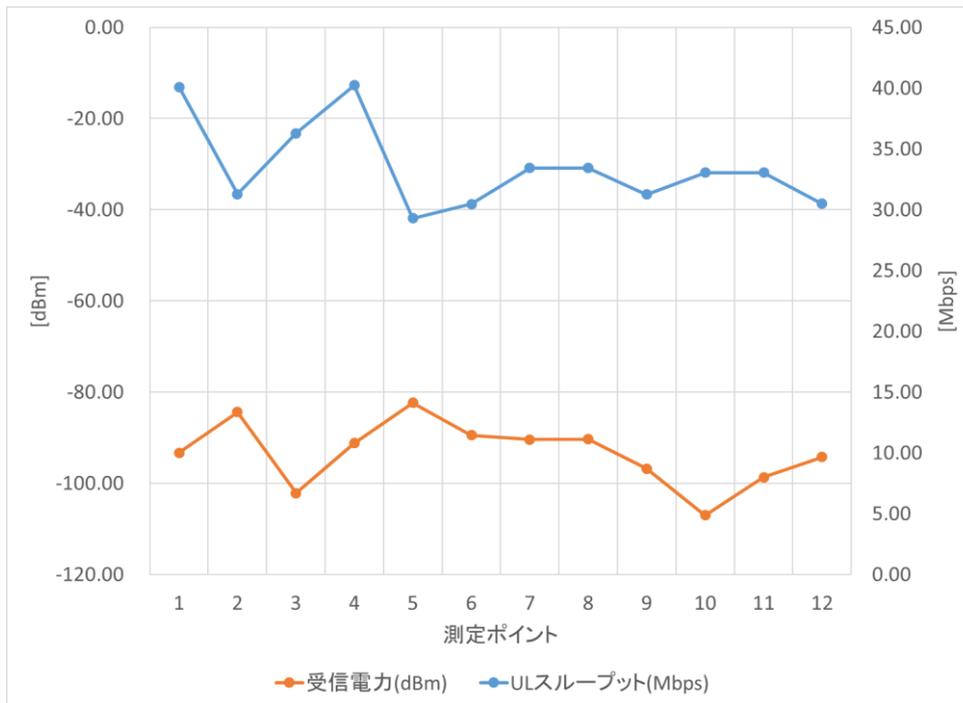


図 3-20 いちご畑花園 ハウス B 測定ポイント 1~12 での受信電力と UL スループット

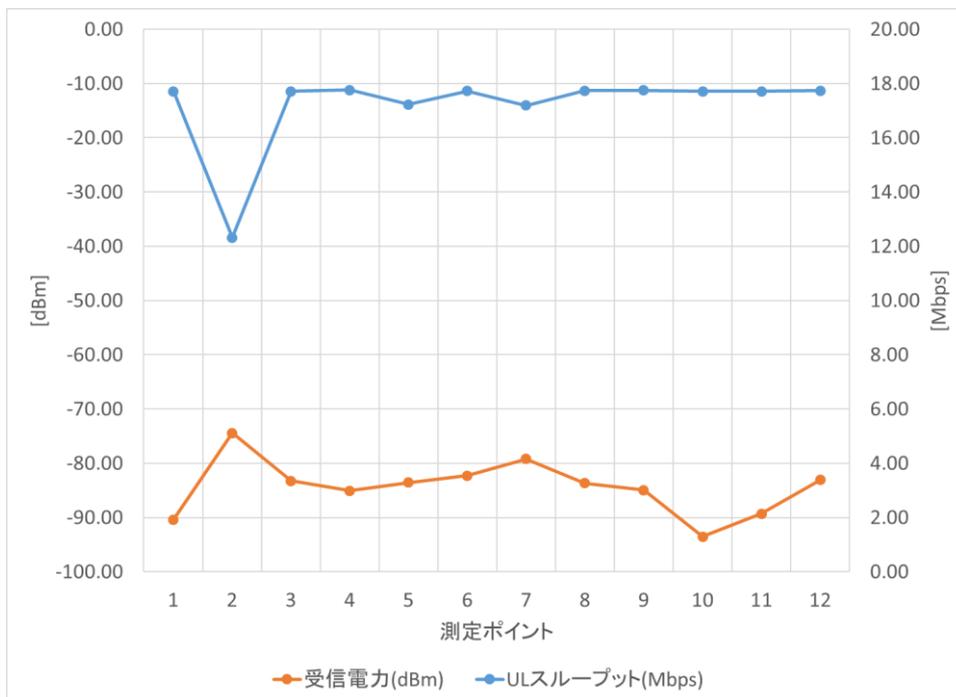


図 3-21 農研機構 測定ポイント 1~12 での受信電力と UL スループット

次に、ローカル 5G システム自体の性能改善の可能性について考察を行います。本実証において構築しましたローカル 5G システムですが、「3.2 実証環境」に記載したように理論値と実測値に乖離が生じており、UL スループット値が理論値最大 155Mbps（準同期

TDD2、1セルあたり) に対して、②の伝送性能評価結果の通り、最大 40Mbps 程度となっております。

DMCS 未実装については、「図 3-19」～「図 3-21」に示したように受信電力の大小が伝送性能の大小と相関していないことから分かるように、MCS の動的な変換が出来ず受信電力が良好な地点であっても伝送性能が向上しない結果となりました。伝送性能の改善には、DMCS(適応変調)の実装、耐ノイズの脆弱性の改善、無線リソースブロックの割り当て効率化の3点をクリアすることで、受信電力値に応じて MCS 値を動的に変更し接続安定性を維持しながら UL 性能を向上することができると考えます。

また、測定不可となったポイントについて要因の分析を行いました。まず DL 方向に関して、今回使用した移動局端末の最低受信感度は-122dBmであることを確認しています。しかしながら、-107dBm 相当から接続不可となっているため、DL 方向の通信ではなく UL 方向の通信に起因するものと考えられます。UL 方向の通信を改善することで、本事象を解決できると推定され、有効と考えられる手法は以下の2点です。

- ・ UL 方向 (端末→基地局) のレイヤー数増加

今回使用した端末製品は 1Tx 構成であったため、複数レイヤー構成とすることで UL 方向の無線品質が改善することが想定されます。

※2022年3月より当該端末製品は新 FW において 2Tx に対応しています。

- ・ HPUE の制度化

HPUE (High Power User Equipment) の実現によって、端末から送信する電力上限が増加することで、無線品質の向上及び利用エリアを拡大することが可能となります。本実証フィールドのように 1Tx の端末を用いる場合は、UL 方向の回線設計が支配的となるケースが多く、端末の送信電力向上は、無線品質及びカバーエリアの向上に直結します。標準化団体 3GPP では、端末の送信出力上限値は Power Class2 : 26dBm、Class1.5 : 29dBm が採用済みであり、米国や中国では既に制度化及び商用化されていますが、日本の電波法関係規定では上限値が 23dBm となっています。(日本においても BWA ではキャリアアグリゲーションを行わない場合に限り送信電力上限が 26dBm まで認められています。) 現在、日本での Power Class2 及び Class1.5 の HPUE 制度化について、新世代モバイル通信システム委員会でも検討が進められています。本実証フィールドのように、回線設計上で UL 回線が支配的となるケースにおいて、HPUE 制度化による通信品質の改善やカバーエリアの拡大が可能となるため、本制度化が期待されます。

帯域幅の拡張による性能向上の可能性についても考察を行います。本実証でのローカル 5G システムでは、4.8-4.9GHz の帯域幅 100MHz において運用を行いました。今後、ローカル 5G システムの仕様変更、並びに、4.6-4.8GHz 帯における屋外利用への規制緩和が実現された場合、最大で 300MHz 幅での運用が可能になると推測されます。キャリアアグリゲーション技術の利用も相まって実装されれば、ローカル 5G システムの伝送性能が飛躍的に向上し、所要性能も問題なく達成されるものと考えます。

3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化

3.3.2.1 実証の目的・目標

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

本実証では、農業というユースケースのうち、ビニールハウスを有する農園というフィールドにおいて、ローカル 5G を用いたソリューションを適用させることを想定し、その電波伝搬モデルの精緻化を行うことを目的とします。日本全国において数多く存在するビニールハウスを有する農園において、「4. ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）」で記載する、イチゴの病害検知や熟度別数量把握のようなソリューションは農家の抱える人手依存や利益向上という課題を解決する上で重要なものであると言えます。そして、そういったソリューションを適用する上で、無線環境が必須となりますが、その求められる条件としては、複数乱立されるようなビニールハウス内を面的にまんべんなくカバーするとともに、外部アンテナや反射板等を利用した、特定の範囲へのカバーエリアの構築が挙げられます。合わせて、エッジサーバ等への映像伝送が主たる通信となるソリューションのため、UL 側に偏重した無線環境が必要だと言えます。上記の理由から本ユースケースにおいて、ローカル 5G の活用が求められるものと考えられます。

一方で、「図 3-22」のように、一般的にビニールハウス内には金属製の骨組が多数存在するため、電波伝搬損失を引き起こす可能性が高いと想定されます。更に、本実証でのフィールドであるイチゴ農園においては、「図 3-23」のように、およそ 1m 間隔で高さ約 1m の金属製の骨組みを有する栽培レーンが存在するため、その栽培レーンの間を走行する高さ約 30cm の自立走行型ロボットでの電波受信を考慮すると、より大きな電波伝搬損失となると想定されます。ローカル 5G を用いたソリューションの求める所要性能である上りスループット 40Mbps、遅延時間 30ms を考慮すると、本項での電波伝搬モデルの精緻化の結果を参考としたエリア設計の最適化および「3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化」での結果を参考とした反射板による受信電力改善等を検討し実施することが求められます。



図 3-22 ビニールハウスの内部構造例



図 3-23 ビニールハウス内栽培レーン

(2) 実証目標

上記「(1) 背景となる技術的課題と実証目的」にて記載しましたが、本実証ではビニールハウスを有する農園というフィールドにおいて、その電波伝搬モデルの精緻化を行い、技術基準の改訂へ向けた提言を行うことを目的としています。具体的には、エリア算出法

の伝搬損失式のうち、4.7GHz帯におけるR（精緻化の方向性：壁面の材質・厚さ別の定量化）のパラメータの精緻化を実施します。対象物としてはビニールハウスとなります。本パラメータの精緻化を実施することで、同ユースケースにおける効率的なエリア設計の実現に寄与できると考えます。本実証では、「3.2 実証環境」で示した通り、ビニールハウス近傍の屋外に基地局を設置し、ビニールハウス内部へ電波を発射しました。なお、ビニールハウス内部ではなく外部へ基地局を設置した理由については、ビニールハウス内部の気温が最大50℃近くになるため基地局の耐環境性条件に不適となること、上述した栽培レーンによる電波伝搬損失の影響を低減するために基地局の設置高を確保すること、が挙げられます。

3.3.2.2 実証仮説

事前に検証環境にて、ビニールハウスの建物侵入損の推定のためにビニールハウスと同様の材質で構成されるビニール傘を用いた実測結果よりRの値を推測しました。ビニールハウスの厚みおよび金属製骨組の面積率を模擬するために「図 3-24」のようにビニール傘を設置し基地局から見て傘の背面に置いたエリアテスタで受信電力の測定を行いました。事前検証結果は「表 3-15」に示す通り、傘の設置前後で受信電力中央値の差分が2dBとなったことから、建物侵入損R=2dBを仮説値としました。



図 3-24 事前検証の様子

表 3-15 事前検証結果

測定項目 (60[秒])	ビニール傘なし	ビニール傘あり
中央値 [dBm]	-87.7	-89.7
平均値 [dBm]	-88.9	-90.7
標準偏差	3.44	4.13
中央値差分 [dB]	2.0	
測定情報	使用測定器：エリアテスタ RU から測定器までの距離：5.7[m]	

3.3.2.3 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下に示すとおりです。

表 3-16 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	実証エリアにおける自由空間伝搬式と実測値の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・実証エリア内でエリアテスタを持ち歩行しながら面的に受信電力を測定 ・自由空間伝搬式で求められる受信電力の値と実測値を比較し差分を求める ・差分の数値から精緻化した R を導出 ・精緻化した R の値と仮説の R の値を比較 ・(上記比較にて値が異なっている場合、) 差分の要因分析 ・精緻化した R を算出式に入れて実測値と比較 ・(上記比較にて値が異なっている場合、) 差分の要因分析
2	仮説に基づいたエリア算出法と実測値の比較	<ul style="list-style-type: none"> ・仮説 R に基づき作成したカバーエリアおよび調整対象区域における各測定ポイントでの受信電力 ・エリア算出法によって算出されたカバーエリアおよび調整対象区域の閾値と実測値の比較 ・(上記比較にて値が異なっている場合、) 閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認 ・閾値と実測値の差分の要因分析

なお、本実証では、いちご畑花園のハウス A の基地局と農研機構の基地局を対象に実施しました。

3.3.2.4 評価・検証方法

本実証における試験の手順は、以下の「表 3-17」に示すとおりです。

表 3-17 試験手順

項番	工程	実施内容	対応図表
1	1	ハウス内部の自由空間伝搬式と実測値の比較のため、パラメータRの分析に関連する下記情報を収集し、整理しました。 ・建物パラメータ：外壁/内壁の厚さ、屋根、壁、床の材質と比率等	表 3-19 表 3-20
	2	ハウス内部の栽培レーンの間全体でエリアテストを持ちながら歩行し面的に複数地点で受信電力(SS-RSRP)を測定しました。	図 3-37 図 3-50
2	3	仮説に基づいたエリア算出法と実測値の比較のため、下記情報を収集し、整理しました。 ・測定パラメータ：LOS/NLOS、測定点の建物内深さ、基地局から壁面までの距離、壁面に対する水平・垂直の角度	表 3-23 表 3-24 表 3-25 表 3-26 表 3-27 表 3-28
	4	続いてエリア算出法の結果と実測値の比較を行います。 仮説に基づきパラメータの値を修正したエリア算出法を基にしたエリアシミュレーションにより、カバーエリアおよび調整対象区域を算出・図示しました。	
	5	カバーエリアおよび調整対象区域内において、基地局からの距離が異なる20以上の地点で測定ポイントを定義しました。 なお、パラメータの精緻化の観点で、エリア端ではありませんがビニールハウス内での実測値も重要なデータとなり得ると考えるため、測定を実施しました。(測定ポイント1~12) また、指向性アンテナの範囲外の点についても測定を行い、そのエリアカバーが適切であることを確認しました。(測定ポイント25~30)	図 3-25 図 3-26 図 3-30 図 3-31
	6	5で定義した測定ポイントにて測定器を用いて受信電力を測定しました。 「図 3-36」のように、定在波の影響を避けるために測定台の上で1波長(=6cm)に満たない距離5cmずつ移動させ、各箇所それぞれ6つのポイントの測定を実施しました。 1 測定地点での測定時間を24秒以上とし、各ポイントを4秒ずつ6ポイントにて測定を行い、合計24秒間で1200個の受信電力値のサンプルを1つの測定地点で測定しました。 測定点あたり、合計1200サンプルの測定結果に対し、中央値、	図 3-35 図 3-36

	<p>σ、上位10%値、下位10%値を算出しました。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・測定周期：PCI=1、周期 20mS ・サンプル数：1200 ・測定時間：24秒 ・測定器アンテナ：オムニアンテナ <p>※測定器の詳細については2.2項に記載しております。</p> <p>閾値と実測値が異なっている場合、GPSシステムを用いて閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離を確認しました。</p> <p>※閾値の実測については3.3.1項での実測値を引用します。</p> <p>なお、測定にあたっては、エリア算出法上の数値や、ベンダからの品質評価試験結果と比較し、測定方法の誤りがないよう確認を行いました。また、測定した際の環境条件(天候、周囲の交通状況等)も記録し、異常値が発生した場合は一時的な環境の変化を受けたものかどうか判断できるようにしました。</p>	
--	--	--

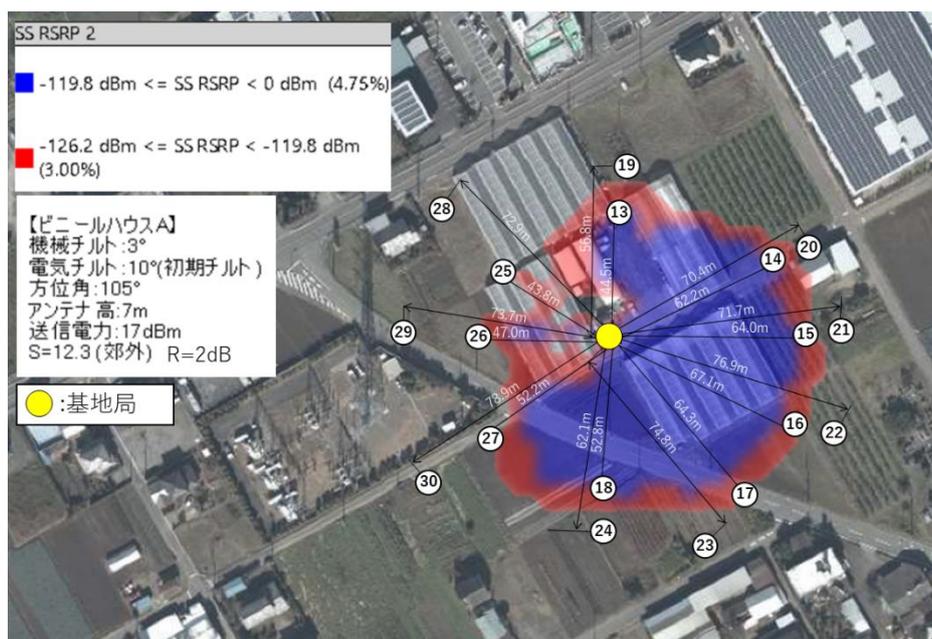


図 3-25 いちご畑花園 仮説に基づきパラメータの値を修正したエリア算出法により算出されたカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント（ハウス A）
 (国土地理院（電子国土 Web）(URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

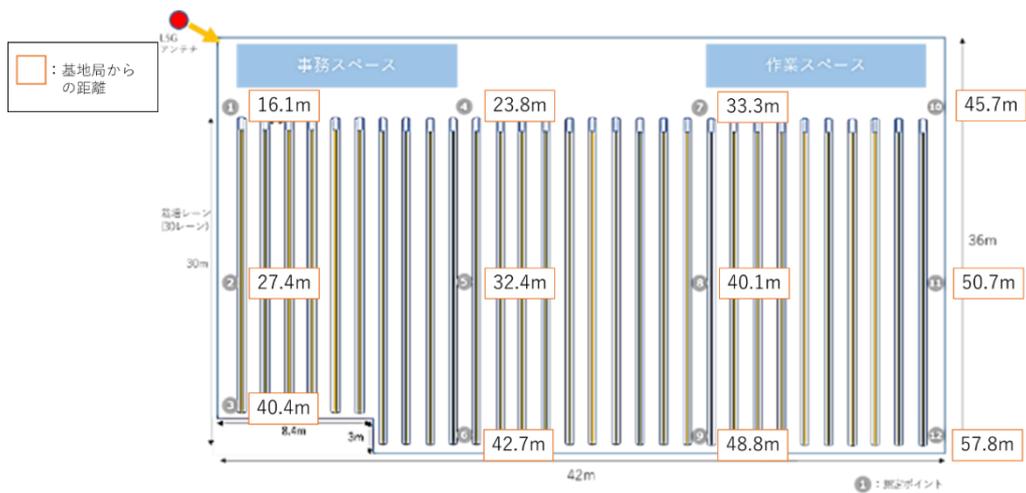


図 3-26 いちご畑花園 仮説に基づきパラメータの値を修正したエリア算出法により算出されたカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント（ハウス A）

各測定ポイントから基地局（赤丸印）への見通しを以下の図に示します。いちご畑花園環境ではハウス内部はいずれの地点も NLOS で「図 3-27」のように精緻化対象となるビニールハウスは多数の太い金属骨組みとビニールで構成されています。



図 3-27 いちご畑花園 測定ポイント 6（ハウス A）

「図 3-28」はハウス屋外の LOS 地点から基地局への見通しを示した写真です。



図 3-28 いちご畑花園 測定ポイント 14 (ハウス A)

「図 3-29」はハウス屋外の NLOS 地点から基地局への見通しを示した写真です。



図 3-29 いちご畑花園 測定ポイント 16 (ハウス A)

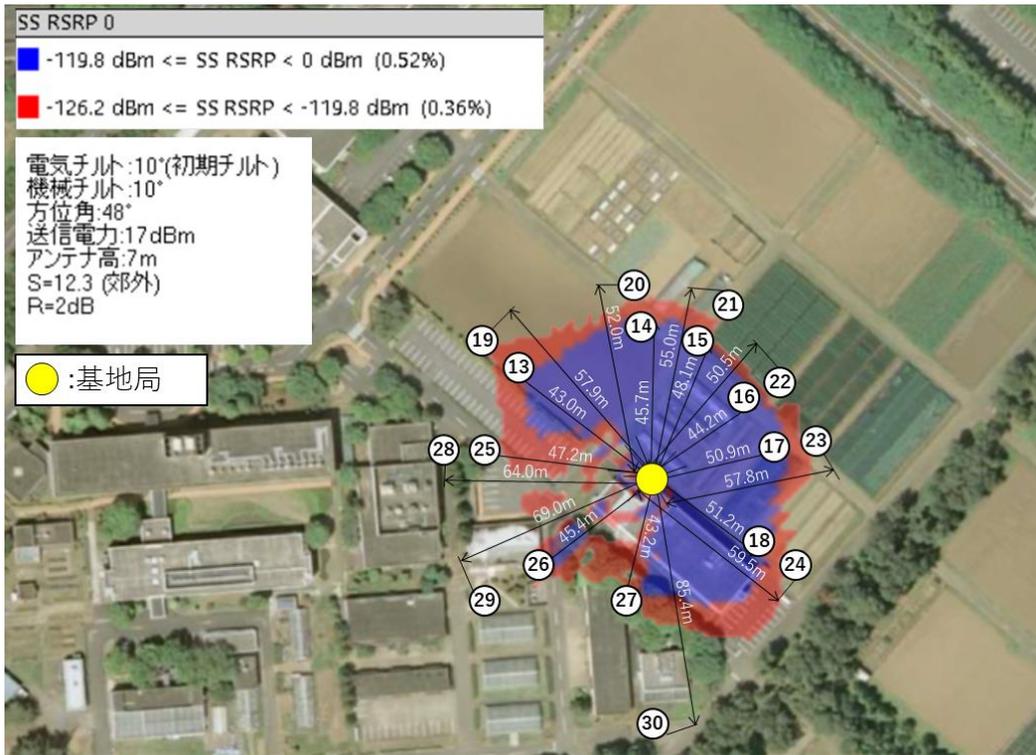


図 3-30 農研機構 仮説に基づきパラメータの値を修正したエリア算出法により算出されたカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント 屋外全体像 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

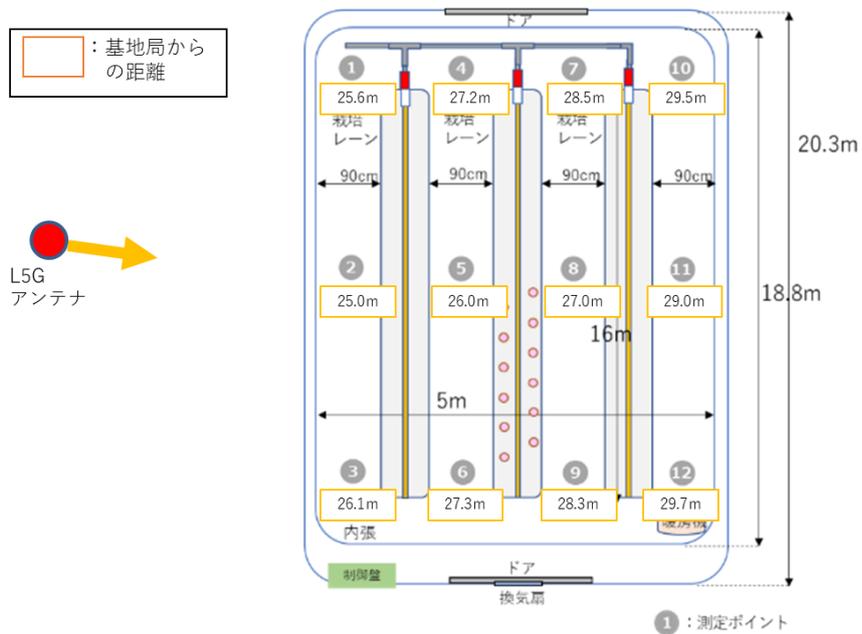


図 3-31 農研機構 仮説に基づきパラメータの値を修正したエリア算出法により算出されたカバーエリアおよび調整対象区域と測定ポイント ハウス内

各測定ポイントから基地局（赤丸印）への見通しを以下の写真に示します。農研機構環境ではハウス内部はいずれの地点も NLOS で「図 3-32」のように精緻化対象となるビニールハウスは細い金属骨組みとビニールで構成されています。



図 3-32 農研機構 測定ポイント 9

「図 3-33」はハウス屋外の LOS 地点から基地局への見通しを示した写真です。



図 3-33 農研機構 測定ポイント 14

「図 3-34」はハウス屋外の NLOS 地点から基地局への見通しを示した写真です。

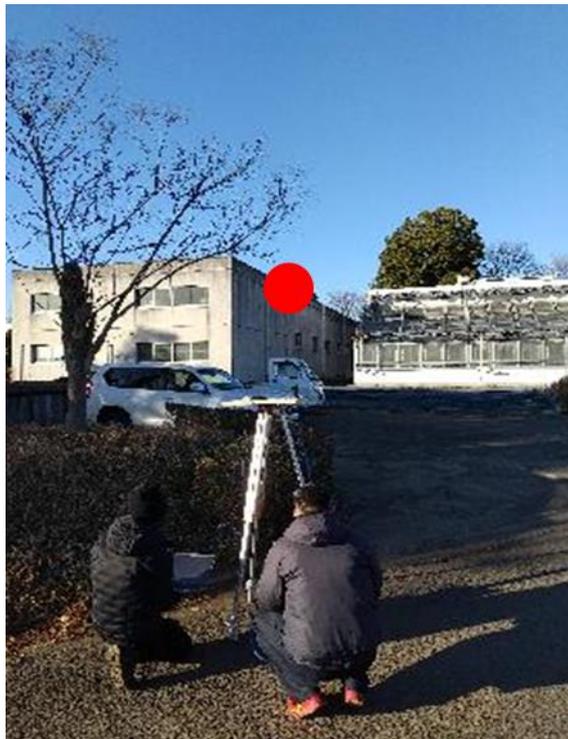


図 3-34 農研機構 測定ポイント 30

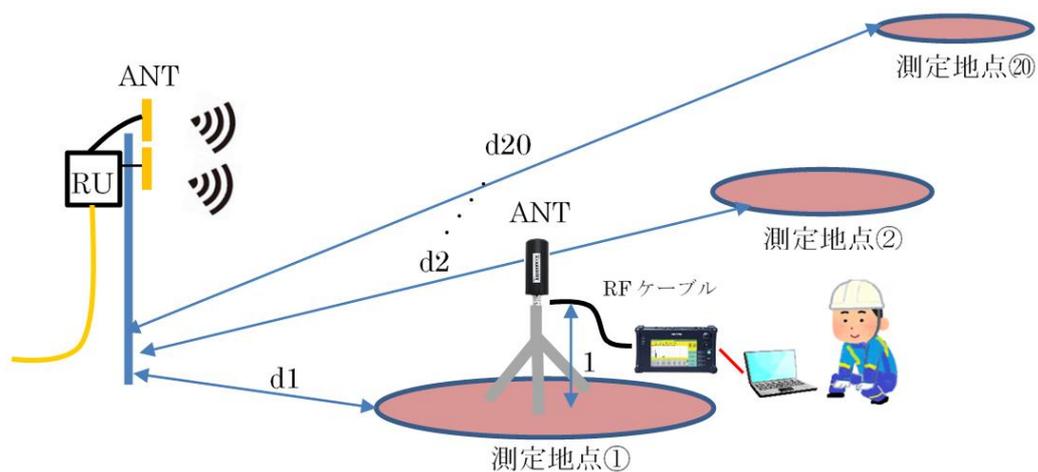


図 3-35 エリアテスタでの測定イメージ

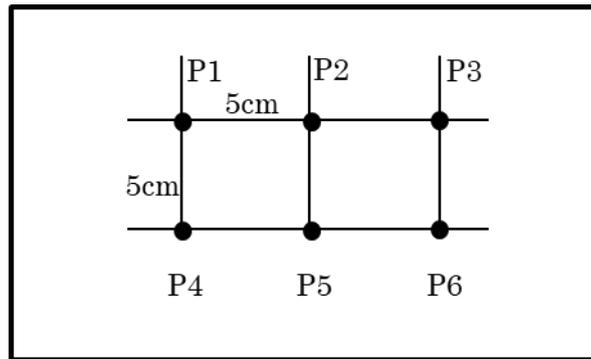


図 3-36 1 測定点あたりの測定ポイント

3.3.2.5 実証結果及び考察

(1) 実証エリアにおける自由空間伝搬式と実測値の比較

はじめに、いちご畑花園での建物侵入損 R の精緻化結果について記載します。ハウス内部の栽培レーンの中でエリアテスタを持ち歩行しながら面的に複数地点で受信電力 (SS-RSRP) を測定した結果、以下の「図 3-37」に示す結果となりました。

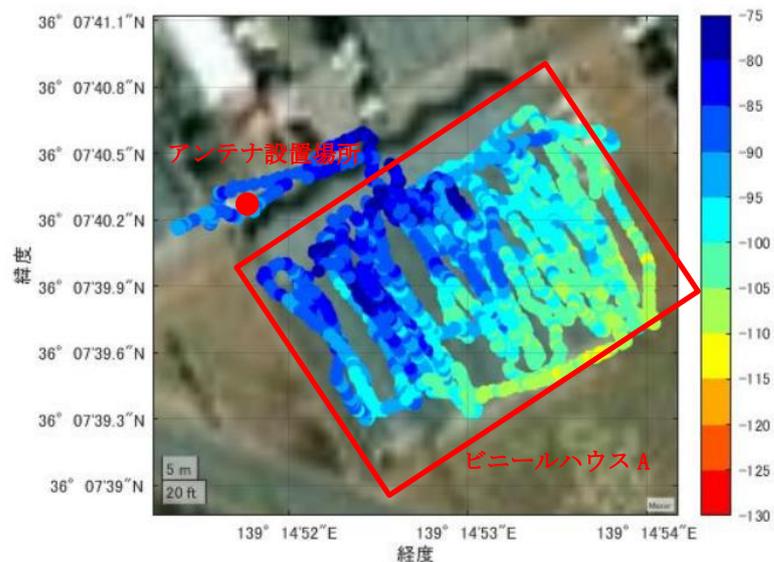


図 3-37 いちご畑花園ハウス A 内受信電力測定結果
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

以下の「図 3-38」に外部アンテナの指向性を示します。赤色の部分が測定点の軌跡を示しており、指向性アンテナの主にメインビームとなる部分がビニールハウス内に照射していることが分かります。

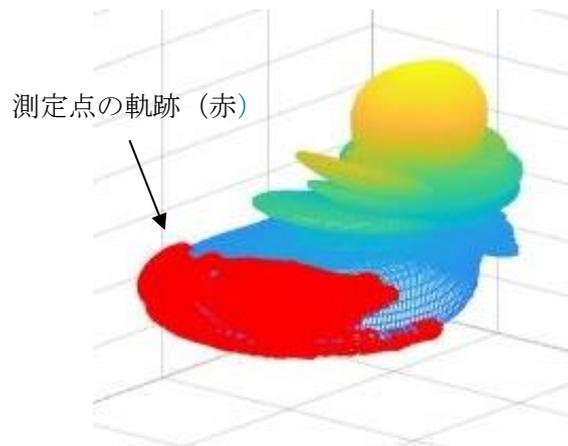


図 3-38 外部アンテナの指向性

以下の「図 3-39」に移動距離における受信電力の変動グラフを示します。横軸が総移動距離で縦軸がアンテナ利得と受信電力です。赤線は指向性アンテナ利得を示しており、受信点が移動することによりアンテナ利得が大きく変動していることが分かります。また、青線は受信電力を示しており、指向性アンテナの利得変動に比例して受信電力の値が変動することが分かります。

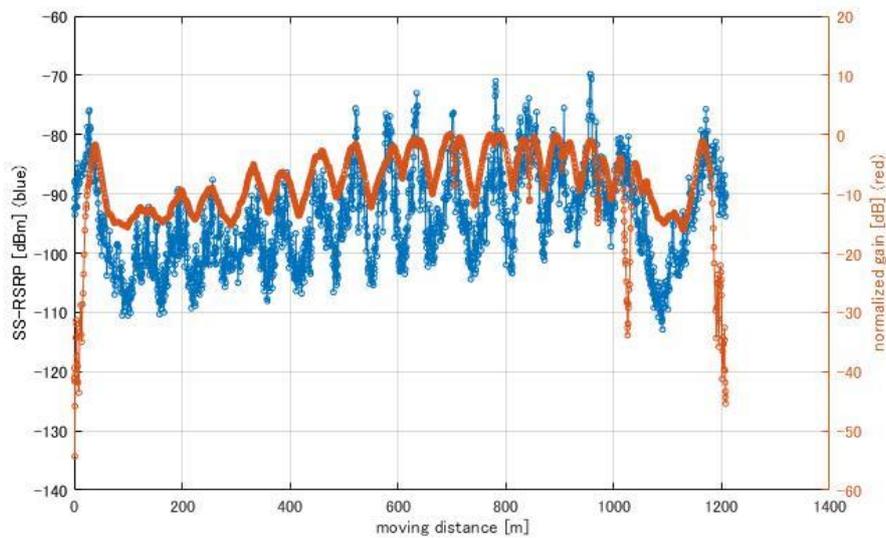


図 3-39 いちご畑花園 移動距離における受信電力の変動

受信電力の実測値と自由空間伝搬式カーブを比較するため、下記の図に基地局から測定点までの距離ごとの受信電力の実測値と算出した自由空間伝搬式の値によるカーブを示します。横軸は基地局から測定点までの直線距離を示します。

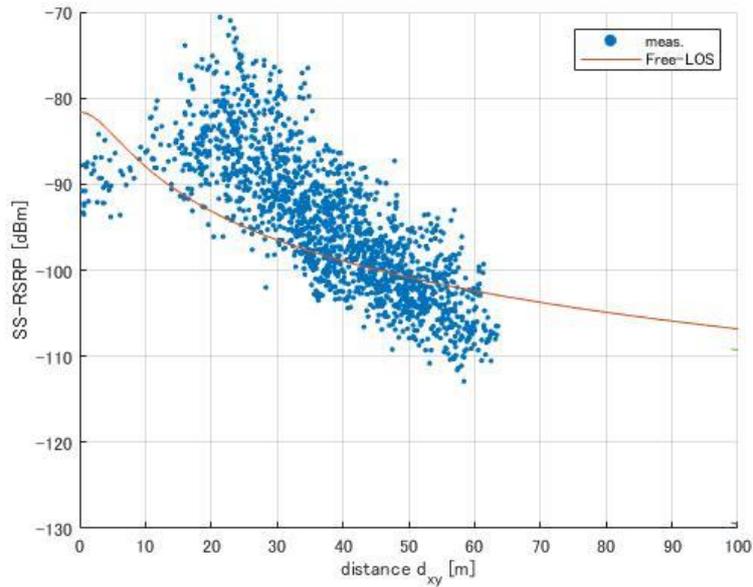


図 3-40 いちご畑花園 受信電力の実測値と自由空間伝搬式カーブ

続いて、基地局と測定ポイントまでの距離（横軸）を対数にプロットしたグラフを示します。

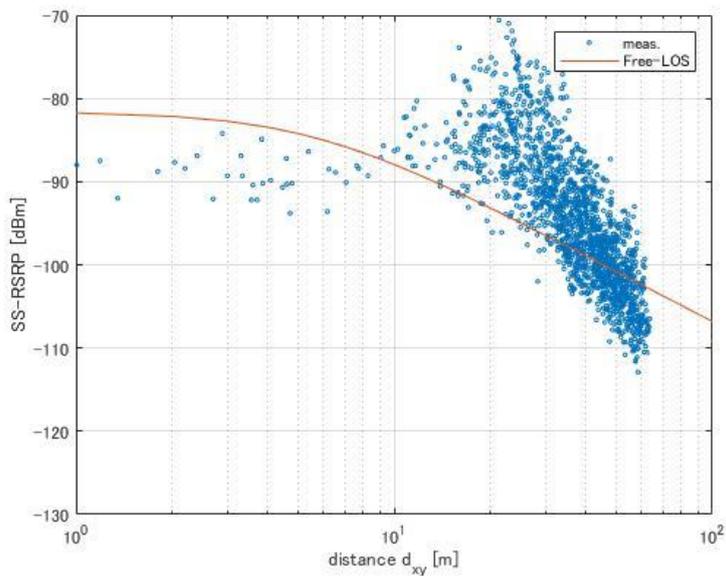


図 3-41 いちご畑花園 受信電力の実測値と自由空間伝搬式カーブ（距離対数）

通常、実測値と自由空間伝搬式カーブが近い値をとるはずですが、「図 3-41」のように距離対数で見比べるとほとんどの地点で自由空間伝搬式カーブよりも実測値が高くなる傾向が見られました。理由として、外部アンテナの指向性の影響が出ているものと考えられます。具体的には、自由空間伝搬式カーブ算出式では、外部アンテナの指向性を考慮していないため、今回得られた実測値から外部アンテナの指向性を除外することで、その影

響を取り除き再度自由空間伝搬式と実測値を比較していきます。その結果を以下に示します。

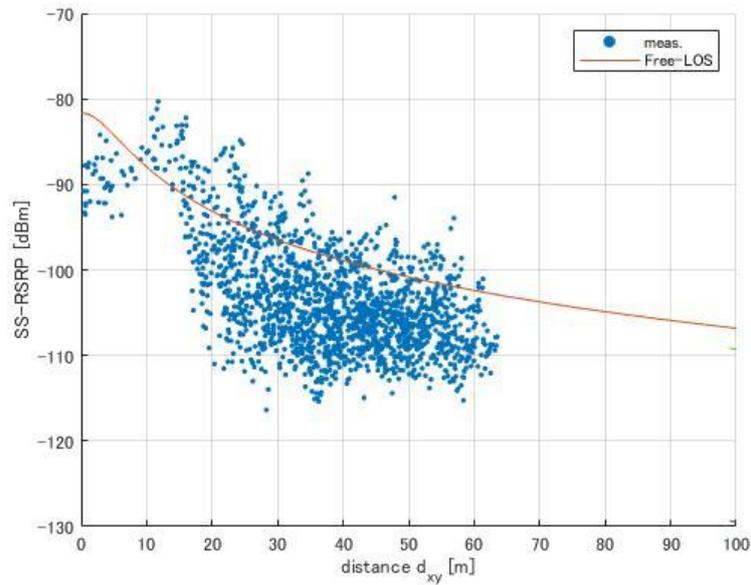


図 3-42 いちご畑花園 受信電力の実測値と自由空間伝搬式カーブ（指向性除去）

続いて、基地局と測定ポイントまでの距離（横軸）を対数にプロットしたグラフを示します。

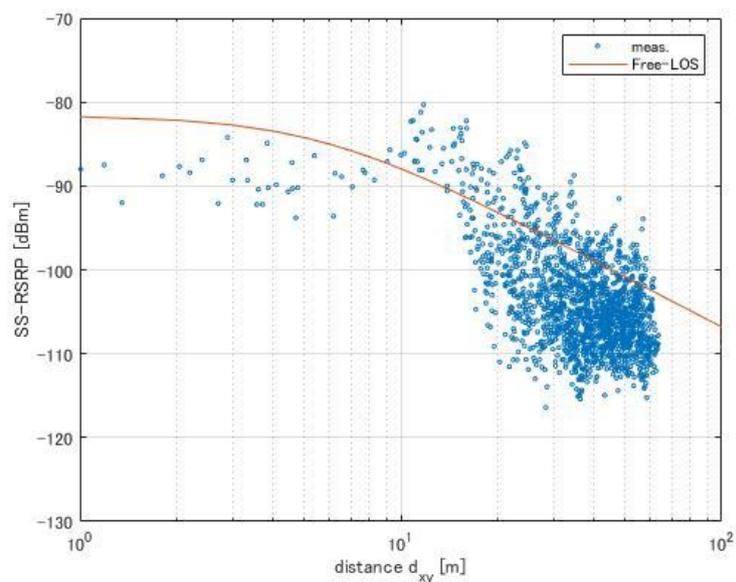


図 3-43 いちご畑花園 受信電力の実測値と自由空間伝搬式カーブ（指向性除去、距離対数）

外部アンテナの指向性の影響を取り除くことにより、実測値が自由空間伝搬式カーブより

も高い値をとることが少なくなったため、やはり指向性の影響によるものであったと説明できます。続いて、実測値の傾向を明確化するために、外部アンテナの指向性影響を取り除いたグラフの結果から、測定時の移動距離 10m 毎に実測された受信電力の中央値の距離特性を以下の「図 3-44」に示します。

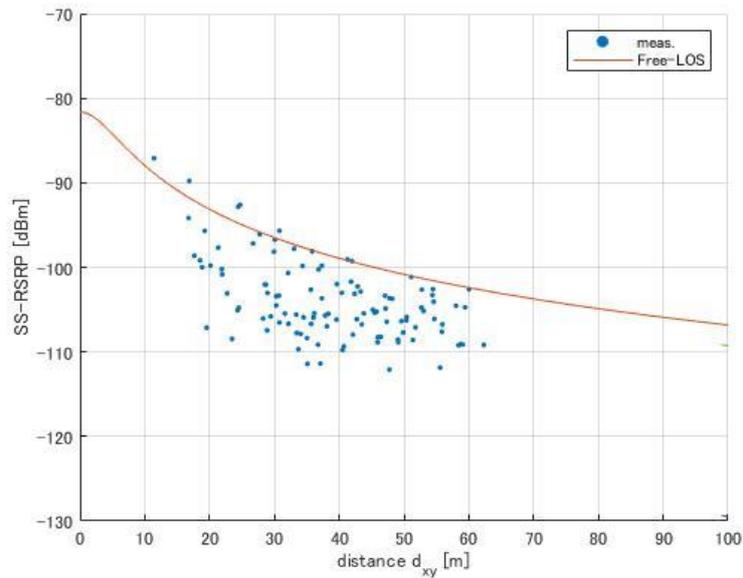


図 3-44 いちご畑花園 10m 毎の受信電力の実測値と自由空間伝搬式カーブ

続いて、基地局と測定ポイントまでの距離（横軸）を対数にプロットしたグラフを示します。

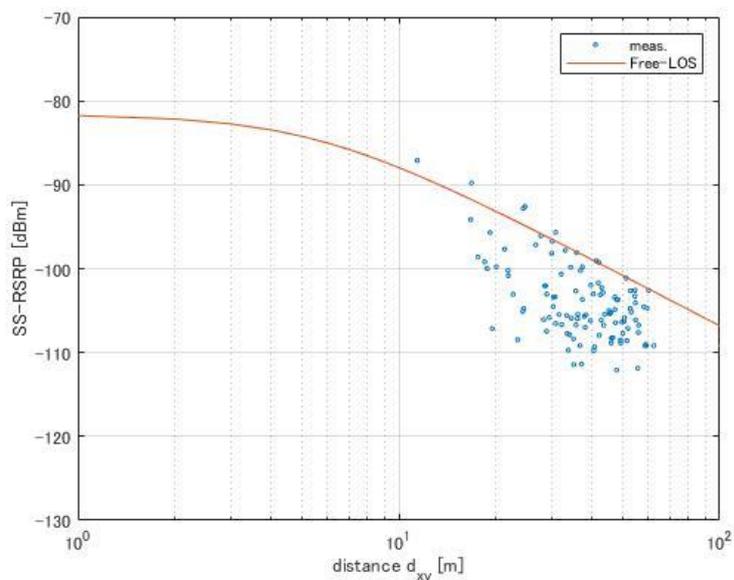


図 3-45 いちご畑花園 10m 毎の受信電力の実測値と自由空間伝搬式カーブ（距離対数）

10m 毎の短区間中央値の実測値を求め、自由空間伝搬式カーブと比較した結果、受信電力の値が自由空間伝搬式カーブから一定の割合で低くなる傾向が確認できました。以下の「図 3-46」に 10m 短区間中央値と理論値（自由空間伝搬損）との差（偏差）の距離特性を示します。

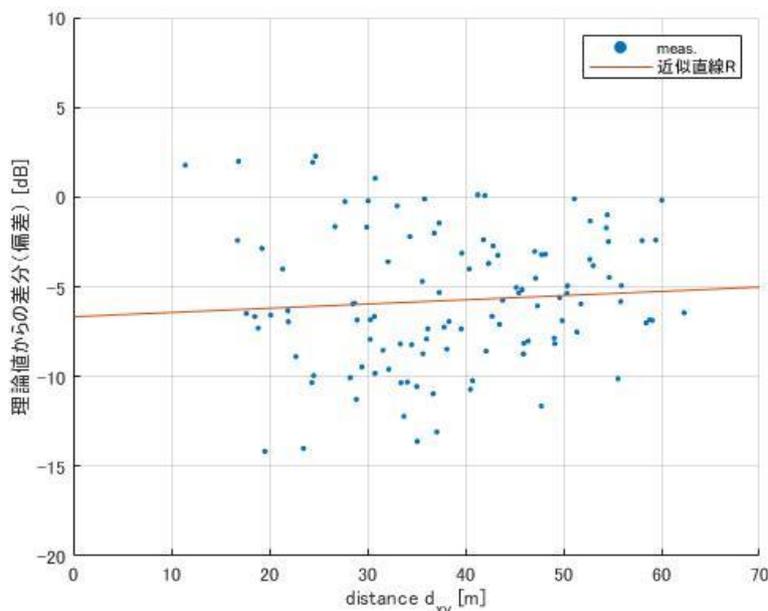


図 3-46 いちご畑花園 距離特性のプロット図

最小二乗法による近似直線はいちご畑花園の結果では理論値との差分が近似直線式 $R=0.0235d-6.6679$ となり、直線の傾きは 0.0235 とほとんど距離に依存していないとみなすことが出来るため、 R は定数として良いと考えます。いちご畑花園では、基地局からビニールハウスの中心までの距離は約 38m であるため、その距離での R 値を考慮すると、値は 5.77dB となります。この値は偏差の平均値 5.76dB とほぼ一致します。

今回得られたデータおよび R 値の妥当性を評価するために、受信電力の 10m ごと短区間中央値から導出した $R=5.77$ を減算した値を推定誤差と定義しました。推定誤差 $[\text{dB}]$ (=測定値-推定 R 値) のばらつきを導出するために分布表の中央値を 0dBm として度数分布を「図 3-47」に示します。度数分布より、標準偏差 $\sigma=3.76\text{dB}$ となります。

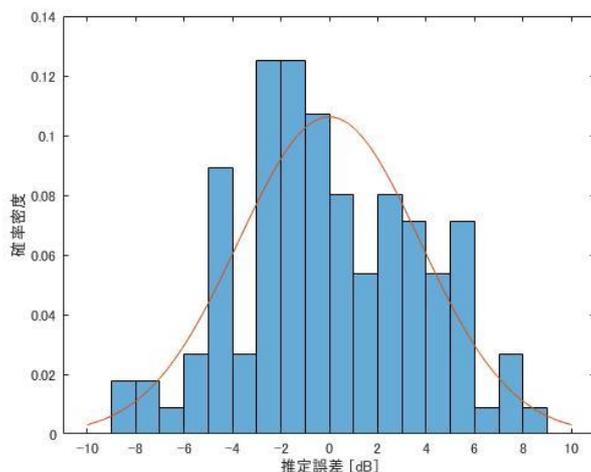


図 3-47 いちご畑花園 確率密度

続いて推定誤差の累積数（累積確率）を「図 3-48」に示します。横軸推定誤差 0dB が縦軸の累積確率 0.5 の値をとっており、累積カーブと測定誤差がほぼ一致していることから正規分布していることが分かります。

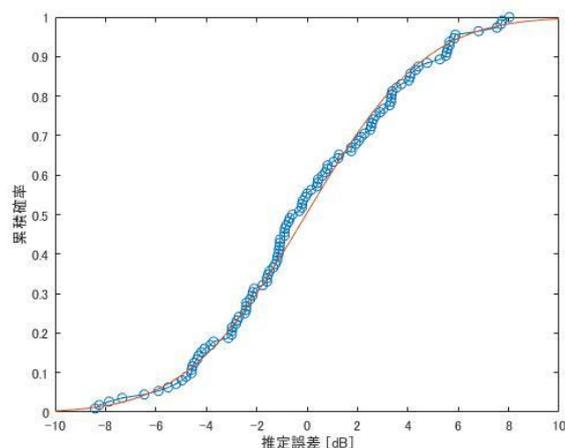


図 3-48 いちご畑花園 累積密度

推定誤差は、ほぼ正規分布していることから測定結果を類似していることにより、いちご畑花園のビニールハウス内（ビニール、鉄骨等も含む）における R 値は 5.77dB と推測できます。

続いて推測値 R=5.77dB と仮説値との比較をすると、仮説は「3.3.2.2 実証仮説」の通りビニール傘を用いた事前検証の結果 R=2dB としておりました。差分 3.77dB の要因として、検証ではハウスの厚みを再現しようと 2 枚の傘を重ねてエリアテストで計測していましたが、ハウス内部の鉄骨比率は再現が出来ておらず乖離が生じたものと考察しました。内部構造の違いによる R の詳しい分析については、以降の考察において、他の環境でも有効な汎用的/一般的な成果を得るための考え方や具体的な取り組みについて記載しています。

続いて、導き出したパラメータ R 値を用いて算出式で求めた受信電力と実測値との差分について考察いたします。以下の「表 3-18」にて実測値とパラメータ精緻化後の算出式の比較結果を示します。「表 3-18」より測定ポイント 2、3、8、9、11（「図 3-49」にて示した赤印のポイント）においては算出式と実測値の差分が約 1dB と誤差範囲の結果となりました。一方で、測定ポイント 1、4、10（「図 3-49」にて示した青印のポイント）については算出式の値に比べて実測値の値が 10dB 前後高くなっている結果となりました。

表 3-18 いちご畑花園 実測値と精緻化後の算出式の比較

測定ポイント	実測値の受信電力 [dBm]	精緻化後の算出式による受信電力 [dBm]	差分 [dB]
1	-85.68	-101.4	15.69
2	-94.07	-95.1	1.0
3	-100.08	-99.0	-1.11
4	-75.67	-84.9	9.20
5	-93.90	-84.2	-9.73
6	-103.82	-98.8	-5.05
7	-86.79	-83.4	-3.42
8	-87.99	-87.5	-0.52
9	-96.86	-97.8	0.91
10	-84.44	-93.6	9.13
11	-97.49	-97.7	0.18
12	-99.47	-107.3	7.80

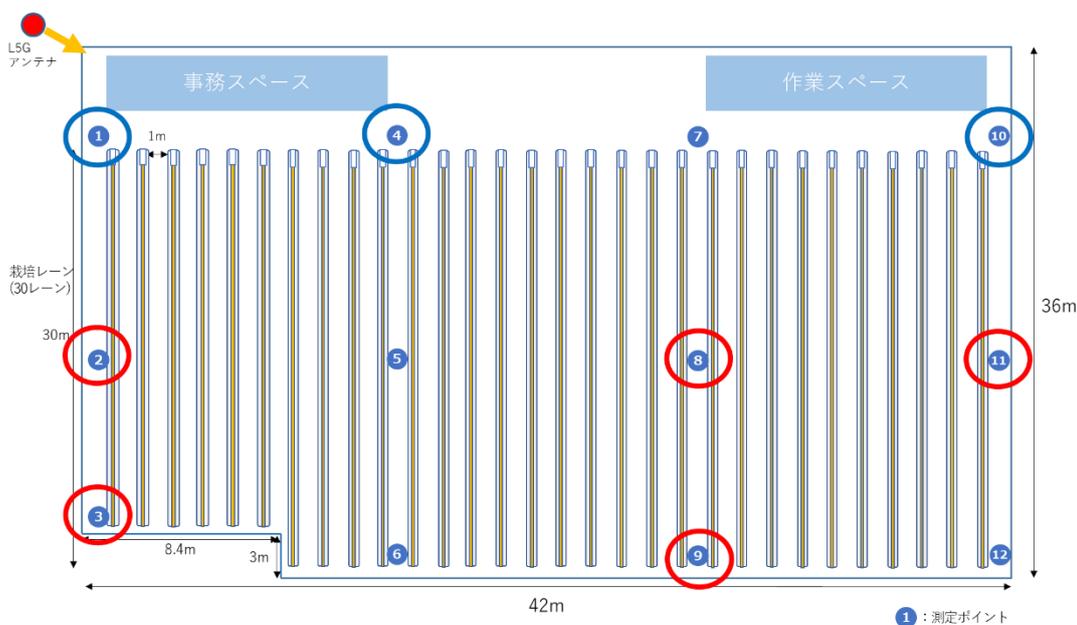


図 3-49 いちご畑花園 ハウス内測定ポイント

この結果については、実測値の値はアンテナとの距離が近いほど受信電力が高くなっているのに対して、算出式の値は距離が近いのにも関わらず受信電力の値が低くなっていることが原因と考えられます。その原因としては、算出式で使用しているアンテナパターン表の値と実際のアンテナパターンの値に差異があると考えられます。これらの影響を取り除くためには、アンテナパターンについても事前に現地で測定し、正しい値を元に算出することにより実測値に近い形で精緻化を行うことができると考えます。

なお、ビニールハウス内の金属製の骨組みによる電波の乱反射による影響については「図 3-46」の近似直線の傾きが十分に小さく、距離特性にばらつきが見られなかった点、また、「表 3-18」の実測値の通り、ハウス内においても基地局からの距離に比例して受信電力が得られている点からほとんど影響は見られなかったと考えます。

次に、農研機構での建物侵入損 R の精緻化結果について記載します。エリアテスタを持ち歩行しながら面的に複数地点で受信電力を測定した結果、以下の「図 3-50」に示す結果となりました。農研機構に関してはいちご畑や比較して、ビニールハウスのサイズが小さくビニールハウス内だけのデータではデータ数が少なくなってしまうためビニールハウス周辺についても歩行して複数の受信電力値を測定しました。移動距離に対する基地局との距離を以下の「図 3-51」に示します。

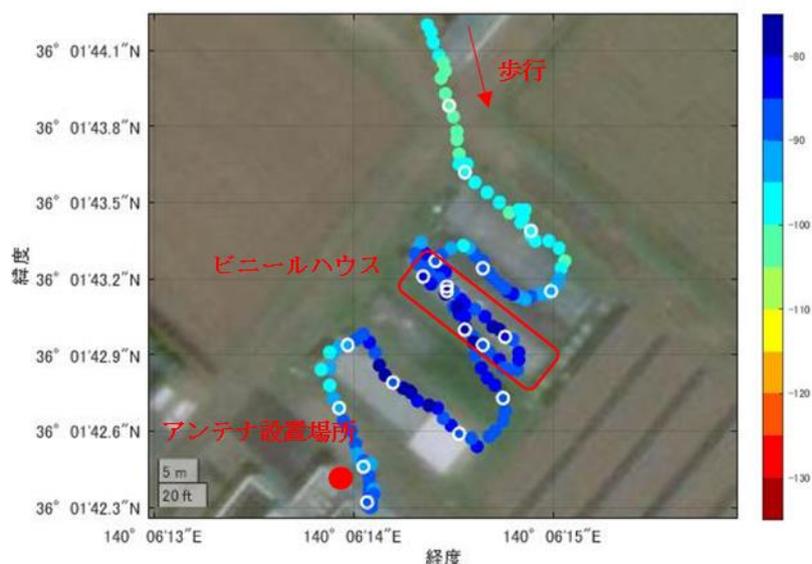


図 3-50 農研機構 受信電力測定結果
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

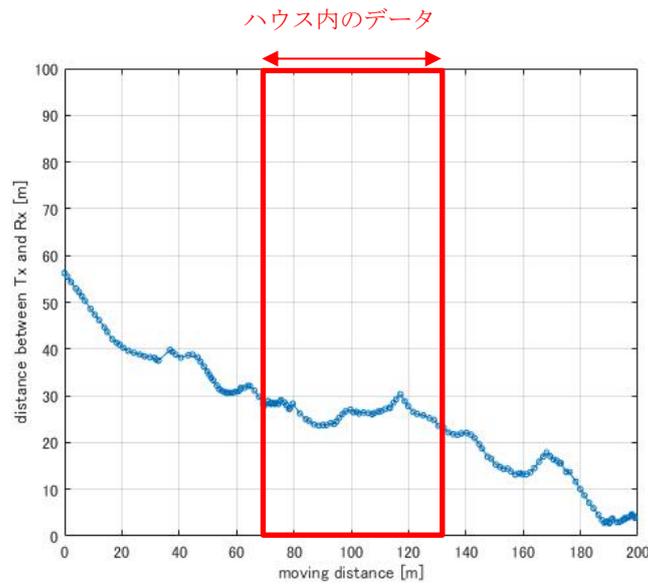


図 3-51 移動距離に対する基地局との距離

受信電力の実測値と自由空間伝搬式カーブを比較するため、以下の「図 3-52」に基地局から測定点までの距離ごとの受信電力の実測値と算出した自由空間伝搬式の値によるカーブを示します。

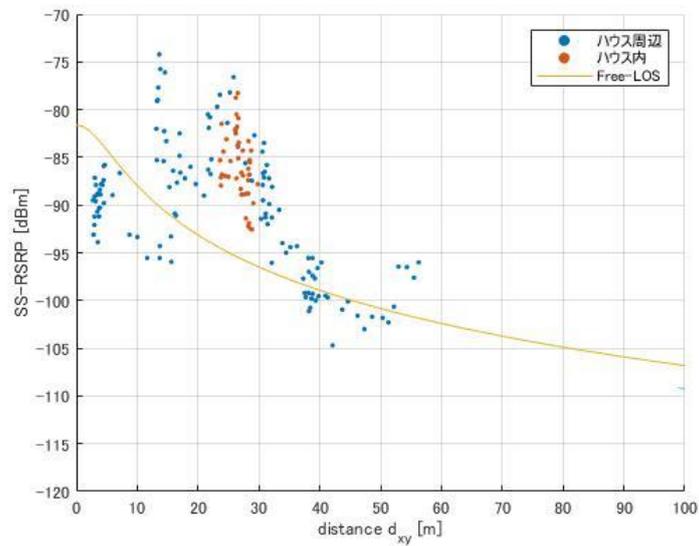


図 3-52 農研機構 受信電力の実測値と自由空間伝搬式カーブ

いちご畑花園での結果と同様に、ほとんどの地点で自由空間伝搬式カーブよりも実測値が高くなる傾向が見られました。実測値から外部アンテナの指向性を除外し算出した結果を以下の「図 3-53」に示します。

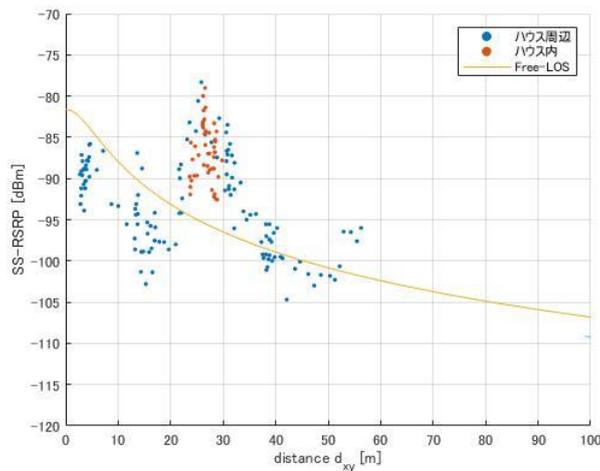


図 3-53 農研機構 受信電力の実測値と自由空間伝搬式カーブ（指向性除去）

「図 3-53」より外部アンテナの指向性の影響を取り除いても、ビニールハウスの内外で受信電力の値が自由空間伝搬式カーブよりも高くなっていることが見て取れます。この理由について考察を行うために作成した、移動距離を横軸、受信電力を縦軸にしたグラフ上に自由空間伝搬式から算出した値と実測値を以下の「図 3-54」にプロットしました。

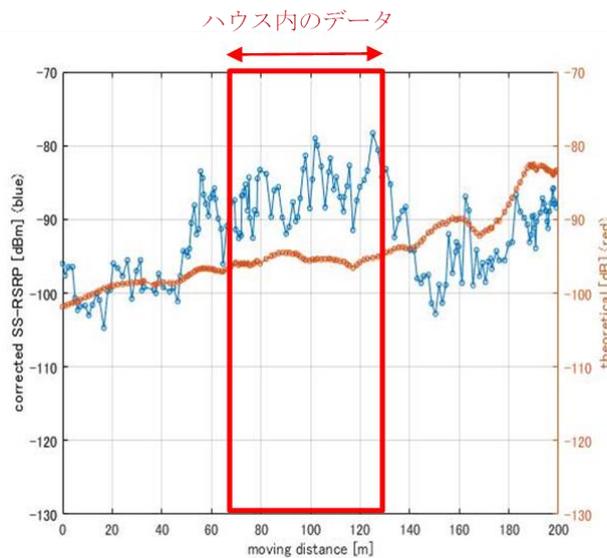


図 3-54 農研機構 受信電力の理論値と実測値の比較

受信電力の理論値と実測値を比較したところ、主にビニールハウス内で実測値が理論値より高くなっていることがわかりました。

その要因の一つとしては、「図 3-55」の通り、今回使用している指向性アンテナのチルト角の設定値が電気チルト下向き 10° と機械チルト下向き 10° の合計下向き 20° になっており、「図 3-56」のようにビーム方向がビニールハウスの手前になっているため、大地で反射した反射波がハウス周辺の RSRP を高くしたのではないかと考えられます。なお、ビーム方向をビニールハウス手前にした理由は、シミュレーション上チルトを 20° か

けた場合もハウス内に電波が強く吹く想定であったこと、周囲に遮蔽物がなかったことから、電波が飛びすぎることを防ぐためにハウス手前に設定しています。

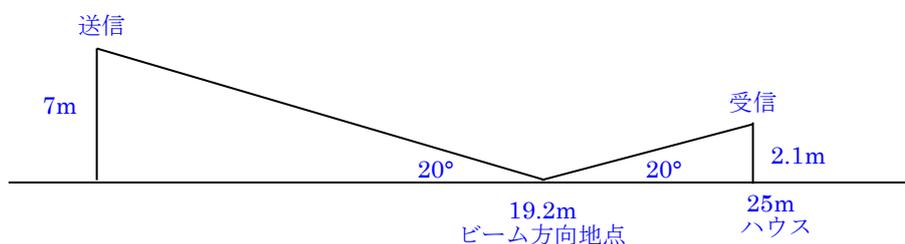


図 3-55 農研機構 ビームの反射点

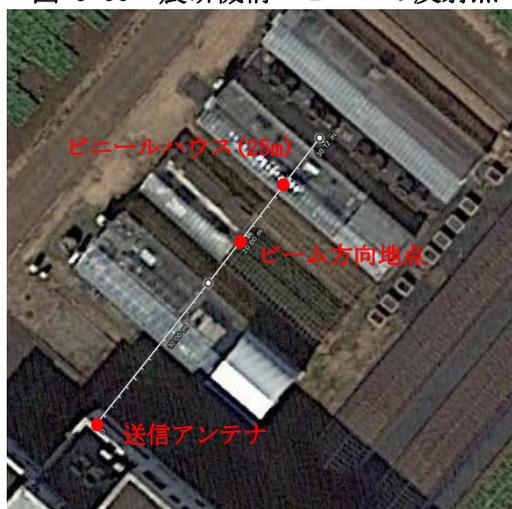


図 3-56 農研機構 ビームの反射点とハウスの位置関係

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

上記の結果より、農研機構での測定においては、ビニールハウスによる電波減衰の影響が見られなかったため、建物侵入損 R の精緻化を導くことが出来ないという結論となりました。今後、農研機構の環境のような低いアンテナ設置位置 (7m) で、指向性アンテナに高チルトをかけて使用する場合は、地面からの反射波の影響も考慮し、エリア設計や各種測定を行うことが必要であると考えます。

いちご畑花園および農研機構での建物侵入損 R の精緻化結果を踏まえて、今回の実証環境のみに有効な結論ではなく、他の環境でも有効な汎用的/一般的な成果を得るための考え方や具体的な取り組みについて記載を行います。以下「図 3-57」～「図 3-60」のようにいちご畑花園および農研機構の各ビニールハウスのビニールと鉄骨の厚さや材質を測定しました。

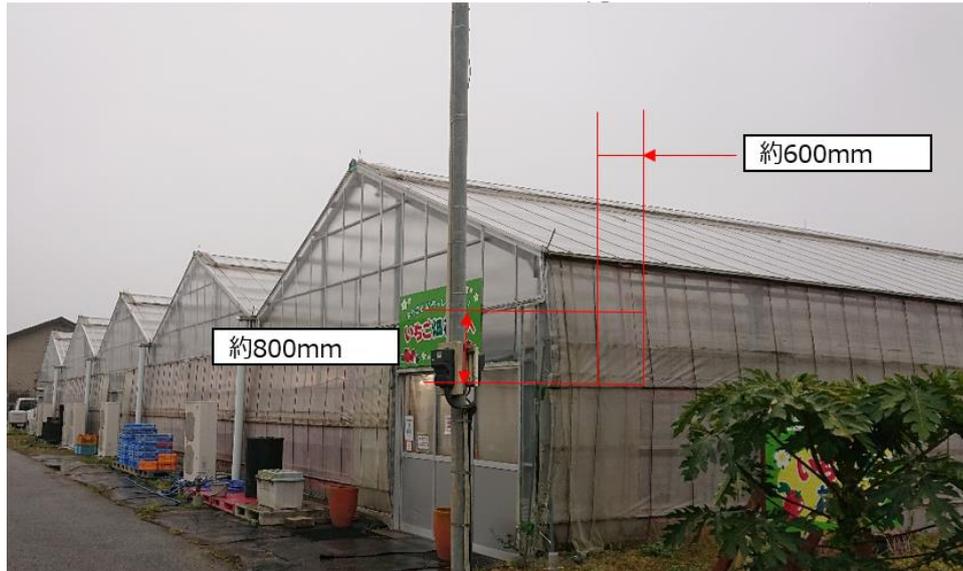


図 3-57 いちご畑花園 ビニールハウス構造

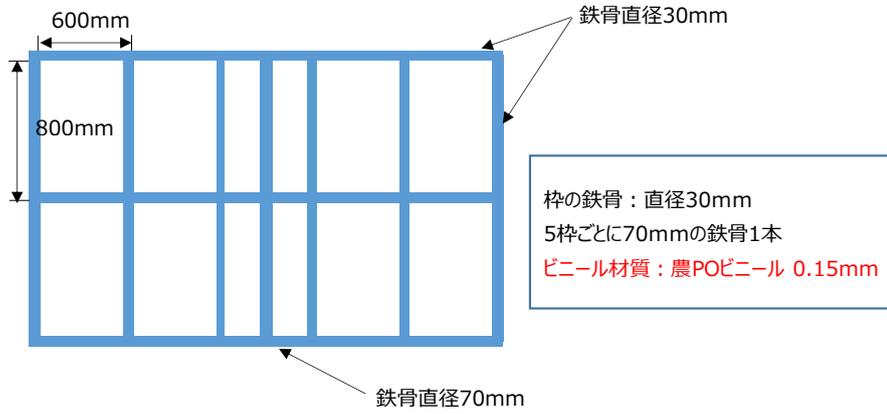


図 3-58 いちご畑花園 ビニールハウス構造 (詳細)



図 3-59 農研機構 ビニールハウス構造

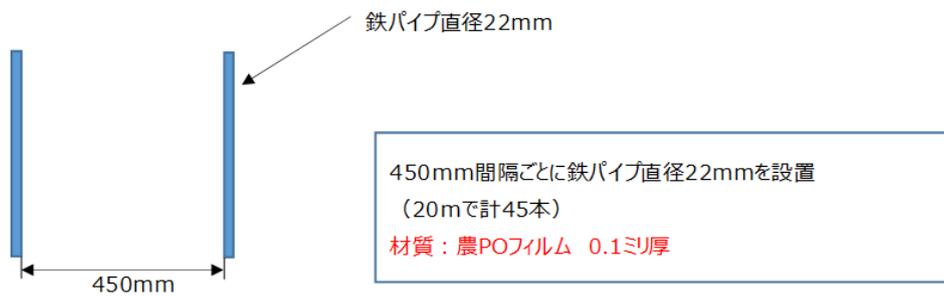


図 3-60 農研機構 ビニールハウス構造 (詳細)

以下の「表 3-19」「表 3-20」にて、いちご畑花園並びに農研機構のそれぞれの環境でのビニールハウスの材質等の情報を示します。

表 3-19 いちご畑花園 建物パラメータ

周波数	建物	材質	厚さ	面積率
4.7GHz	代表値			
	壁面 1	ビニール	0.15mm	89%
		鉄骨	30mm, 70mm	11%

表 3-20 農研機構 建物パラメータ

周波数	建物	材質	厚さ	面積率
	代表値			

4.7GHz	壁面 1	ビニール	0.1mm	95%
		鉄骨	22mm	5%

本実証では、構造・大きさの違う2つの環境に焦点を当て考察します。測定結果より、各ビニールハウス内で指向性アンテナに対し、おおよそ同方向・同位置を条件に測定ポイントを抽出し、その結果を以下の「表 3-21」「表 3-22」に示します。合わせて、各ハウス内での測定ポイントを以下の「図 3-61」「図 3-62」に示します。

表 3-21 いちご畑花圃比較ポイント

測定ポイント	算出式による受信電力 [dB]	実測値 [dBm]					水平距離 [m]
		中央値	平均値	標準偏差	上位 10% 値	下位 10% 値	
4	-91.6	-75.00	-75.67	1.69000	-73.6700	-79.15	23.80
5	-90.9	-95.00	-93.90	3.47000	-87.1100	-97.76	32.40
7	-90.1	-87.10	-86.79	1.57000	-84.0200	-89.16	33.30

表 3-22 農研機構比較ポイント

測定ポイント	算出式による受信電力 [dB]	実測値 [dBm]					水平距離 [m]
		中央値	平均値	標準偏差	上位 10% 値	下位 10% 値	
8	87.5	-83.40	-84.56	4.47	-78.51	-92.89	27.0
9	93.2	-82.40	-82.26	2.24	-78.57	-85.58	28.30
5	86.4	-85.10	-85.35	3.09	-80.77	-91.44	26.0

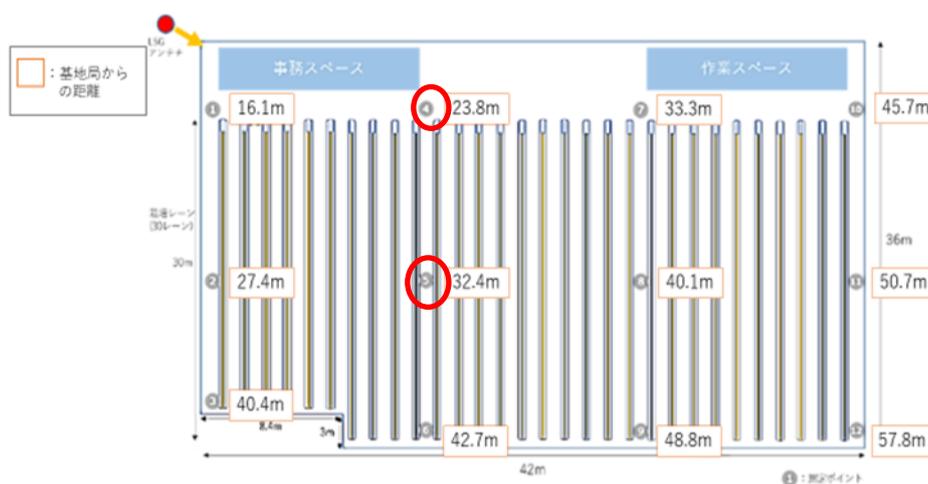


図 3-61 いちご畑花圃 ハウス内測定ポイント

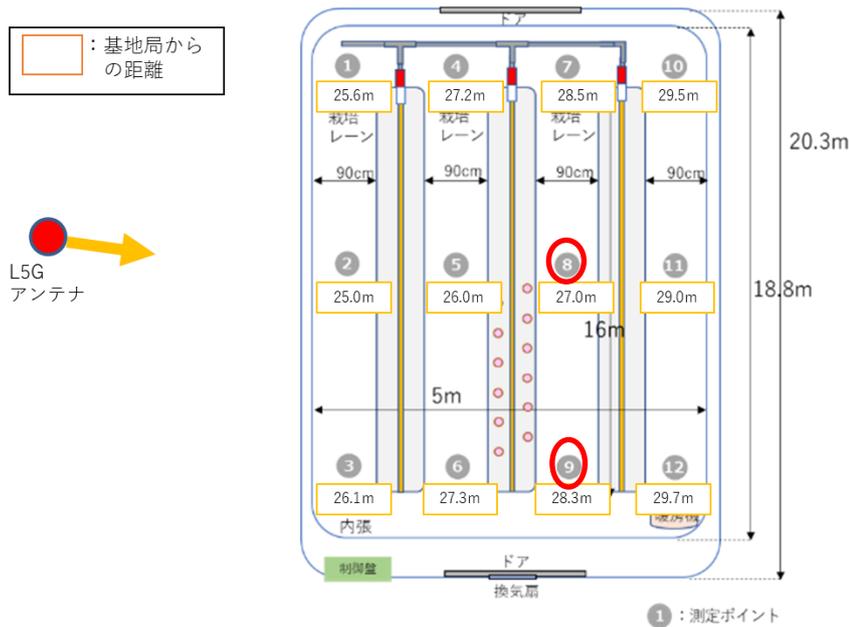


図 3-62 農研機構 ハウス内測定ポイント

なお、どちらのアンテナも地上高 7m 位置に設置していることから、距離条件は水平距離に焦点を当てます。仮に、ビニールハウスの内部構造が同等であるのであれば、2つの環境は同等の結果を得られるものと考えられますが、今回の環境では内部構造が異なるため、他の条件を合わせることで逆説的に内部構造差に要因があると推察します。

「表 3-21」「表 3-22」からいちご畑花園測定ポイント 4 と農研機構測定ポイント 8 の上位・下位 10%を比較すると、5~13dB ほどいちご畑花園環境のほうが良好であることが確認できます。この傾向の理由については、第一に基地局からの距離によるものではないかと考えられるため、農研機構側でいちご畑花園よりも基地局からの距離に近い測定ポイント 5 といちご畑花園測定ポイント 4 との間で比較すると、この場合でもいちご畑花園環境のほうが良好であることが確認できます。したがって、純粋な基地局からの距離によるものではなく、他の要因が存在するものと考えられます。

ここで、2つの測定環境の違いについて振り返ると、ビニールハウスの構造・大きさに違いがあるため、ビニールハウスの内部構造によって電波伝搬に差を及ぼしているのではと推測されます。いちご畑花園測定ポイント 5 と、農研機構測定ポイント 9 で比較すると、前述の結果と異なり、9dB~12dB ほど農研機構のほうが良好であることが確認できます。この結果はいちご畑花園測定ポイント 7 と比較しても同程度の結果を確認することができます。前述の通り 2つの測定環境の違いはビニールハウス環境が主な要因であるため、ビニールハウスの内部構造の違いによって電波伝搬が変化すると推測されます。

前述の比較結果の要因を考察するため、2つの環境の写真を下記の「図 3-63」および「図 3-64」に記載します。



図 3-63 いちご畑花園 ハウス内環境



図 3-64 農研機構 ハウス内環境

上記の写真から、ビニールハウスとしてはいちご畑花園のほうが大きくビニールハウス内の骨組み等構造が複雑になっており、対して農研機構のほうが小さくハウス内の構造は簡素になっています。また、両ビニールハウスの材質等の情報を示した「表 3-19」「表 3-20」より農研機構と比較するといちご畑花園のビニールハウスの方が金属製の骨組の面積率が大きいいため、電波に与える影響も比較的大きいということが推測されます。これらのことを考慮すると、農研機構のハウス内の受信電力がいちご畑花園よりも大きな値になると考えられますが、実際の値を比較すると、前述の通り、値の大小が逆転しているポイントも見取れます。この結果より、内部構造の要因として広さ（高さ）や内部の骨組等の密度が影響していると推測されますが、その影響は支配的ではなく、例外となる点も存在するため、利用閾値である -119dBm の距離範囲や、内部構造の広さ（高さ）・密度の関係性について明らかにするには、より多くのケースにおいて、サンプルを入手し統計的処理も含め詳細に分析することが必要であると考えます。

続いて導出したRの汎用性について考察します。本実証では、いちご畑花園環境より $R=5.77\text{dB}$ が建物侵入損と導出されましたが、この数値は電波法関連審査基準における回線設計で用いる $R=16.2\text{dB}$ と比べ非常に小さい値となりました。ビニールハウスを対象とするR値は 6dB 程度と比較的小さな値となることは一定程度の基準となるかと考えますが、

いちご畑花園環境でも精緻化後±10dB程度の乖離が生じたポイントもあり、カバーエリア構築の際にはハウス内全体を広くまんべんなくカバーするために送信電力等で余裕のある設計をすることが必要だと考えます。また、前述の通り農研機構環境ではRを導出することが出来なかったため、汎用的なRを導くためには様々な構造・サイズのビニールハウスで検証を行い、より多くのサンプルを入手し統計的処理も含め分析しRを導出する必要があると考えます。また、本実証フィールドのようなビニールハウス内部に鉄骨を多く有する電波伝搬環境に影響を及ぼしやすい構造においては受信器相当の高さに遮蔽物が多く存在する場合それらの反射、回折により実測が大きく変わる可能性も高いためレイトレース法等、電波影響を高度に計算するシミュレータ等を用いたエリア設計手法が有効であると考えます。

一方で、内部構造の違う2つの環境の測定結果から、ビニールハウスの内部構造が違ったとしても、指向性アンテナ地上高7mに対し、水平距離30mの範囲に収まる距離であれば、受信電力として-100dBm以下の結果を得られ、接続可能環境として見込める、ということが言えます。

(2) 仮説に基づいたエリア算出法と実測値の比較

続いて精緻化後のパラメータを用いた屋内外のカバーエリア及び調整対象区域を作図し、実測に近い結果が得られていることを示すことで、本精緻化の効果を示します。仮説に基づきパラメータの値を修正したエリア算出法によって算出されたカバーエリアおよび調整対象区域は「図 3-25」「図 3-30」にて図示しております。

まず、実証環境および測定点に関する情報を整理し示します。

基地局や端末の設置状況、測定の様子、周辺の様子（遮蔽物・反射物）がわかる写真等や測定点の基地局からの距離とそれぞれのアンテナ高、LOS/NLOSの情報を以下の「表 3-23」～「表 3-28」に示します。



図 3-65 いちご畑花園 測定ポイント写真

表 3-23 いちご畑花園 測定パラメータ

項目	パラメータ値
測定点の建物内深さ	測定点の場所に送信機に面さない壁がある
基地局から壁面までの距離	38m
壁面に対する水平角	105°
壁面に対する垂直角	5°

表 3-24 農研機構 測定パラメータ

項目	パラメータ値
測定点の建物内深さ	測定点の場所に送信機に面さない壁がある
基地局から壁面までの距離	26m
壁面に対する水平角	44°
壁面に対する垂直角	8°

表 3-25 いちご畑花園 測定環境

項目	数値
基地局アンテナ地点標高[m]	76.4
基地局アンテナ地上高[m]	7.00
送信電力 Pt[dBm]	17.00
送信アンテナ利得[dBi]	17.30
基地局給電線損失 Lf[dBi]	1.07
受信アンテナ利得 Gr[dBi]	0.40
端末アンテナ地上高[m]	1.50

表 3-26 農研機構 測定環境

項目	数値
基地局アンテナ地点標高[m]	21.40
基地局アンテナ地上高[m]	7.00
送信電力 Pt[dBm]	17.00
送信アンテナ利得[dBi]	17.30
基地局給電線損失 Lf[dBi]	1.07
受信アンテナ利得 Gr[dBi]	0.40
端末アンテナ地上高[m]	1.50

表 3-27 いちご畑花園 各測定ポイントの情報

測定ポイント	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	測定点標高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
1	17.01	16.10	76.4	1
2	27.95	27.40	76.4	1
3	40.77	40.40	76.4	1
4	24.43	23.80	76.4	1

測定ポイント	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	測定点標高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
5	32.86	32.40	76.4	1
6	43.05	42.70	76.4	1
7	33.75	33.30	76.4	1
8	40.48	40.10	76.4	1
9	49.11	48.80	76.4	1
10	46.03	45.70	76.4	1
11	51.00	50.70	76.4	1
12	58.06	57.80	76.4	1
13	44.84	44.50	76.4	0
14	62.45	62.20	76.3	0
15	64.25	64.00	76.2	1
16	67.36	67.10	76.0	1
17	64.59	64.30	75.8	1
18	53.14	52.80	75.9	0
19	57.08	56.80	76.3	1
20	70.61	70.40	76.5	0
21	71.93	71.70	76.2	1
22	77.13	76.90	76.0	1
23	75.05	74.80	75.8	1
24	62.40	62.10	75.8	0
25	44.14	43.80	76.4	1
26	47.33	47.00	76.3	1
27	52.52	52.20	76.1	0
28	73.09	72.90	76.6	1
29	73.89	73.70	76.6	1
30	79.08	78.90	76.5	1

表 3-28 農研機構 各測定ポイントの情報

測定ポイント	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	測定点標高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
1	26.21	21.20	21.30	0
2	25.62	21.00	21.30	0
3	26.69	25.50	21.30	0
4	27.77	23.10	21.30	0
5	26.60	22.40	21.30	0
6	27.87	26.90	21.30	0
7	29.04	24.90	21.30	0
8	27.57	24.60	21.30	0
9	28.85	28.40	21.30	0
10	30.03	26.50	21.30	0
11	29.54	26.40	21.30	0
12	30.22	30.00	21.30	0
13	43.36	43.00	21.30	1
14	46.04	45.70	21.30	1
15	48.42	48.10	21.30	1
16	44.57	44.20	21.20	1
17	51.23	50.90	21.10	1
18	51.49	51.20	21.40	1
19	58.15	57.90	21.50	1
20	52.30	52.00	21.30	1
21	55.28	55.00	21.30	1
22	50.82	50.50	21.20	1
23	58.08	57.80	21.20	1
24	59.78	59.50	21.10	1
25	47.52	47.20	21.40	1
26	45.70	45.40	21.70	0

測定ポイント	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	測定点標高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)
27	43.55	43.20	21.40	0
28	64.20	64.00	21.90	0
29	69.18	69.00	21.90	0
30	85.55	85.40	21.90	0

受信電力のエリア算出法の値と実測値の比較結果を以下の「表 3-29」「表 3-30」に示します。

表 3-29 いちご畑花園 エリア算出法で算出した
カバーエリアおよび調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定ポイント	エリア算出法での受信電力 (dBm)	実測値中央値 (dBm)	実測値上位 10% (dBm)	実測値下位 10% (dBm)	差分 (dB)
1	-108.1	-85.20	-81.41	-89.73	-22.9
2	-101.8	-93.20	-88.48	-101.00	-8.6
3	-105.7	-98.70	-95.75	-108.31	-7.0
4	-91.6	-75.00	-73.67	-79.15	-16.6
5	-90.9	-95.00	-87.11	-97.76	4.1
6	-105.5	-103.60	-96.88	-112.26	-1.9
7	-90.1	-87.10	-84.02	-89.16	-3.0
8	-94.2	-87.90	-83.96	-92.79	-6.3
9	-104.5	-96.90	-93.94	-99.86	-7.6
10	-100.3	-98.70	-96.08	-102.31	-1.6
11	-104.4	-98.80	-96.19	-104.86	-5.6
12	-114.0	-98.30	-93.63	-108.28	-15.7
13	-119.8	-97.40	-93.14	-105.74	-22.4
14	-119.8	-91.00	-89.44	-96.65	-28.8
15	-119.8	-107.70	-100.67	-112.39	-12.1

測定ポイント	エリア算出法での受信電力 (dBm)	実測値中央値 (dBm)	実測値上位 10% (dBm)	実測値下位 10% (dBm)	差分 (dB)
16	-119.8	-105.85	-103.57	-108.17	-14.0
17	-119.8	-105.60	-103.66	-110.49	-14.2
18	-119.8	-103.10	-92.93	-108.71	-16.7
19	-126.2	-106.90	-101.82	-114.94	-19.3
20	-126.2	-92.90	-91.98	-95.23	-33.3
21	-126.2	-108.40	-102.71	-114.09	-17.8
22	-126.2	-110.70	-107.74	-114.33	-15.5
23	-126.2	-106.70	-103.65	-116.22	-19.5
24	-126.2	-106.00	-100.80	-111.61	-20.2
25	-131.8	-112.10	-105.83	-118.16	-19.7
26	-126.2	-109.40	-107.47	-114.43	-16.8
27	-126.2	-97.70	-95.85	-102.18	-28.5
28	-141.4	-116.50	-113.77	-120.97	-24.9
29	-141.4	-113.60	-108.02	-119.57	-27.8
30	-141.7	-112.30	-106.78	-116.18	-29.4

表 3-30 農研機構 エリア算出法で算出した
カバーエリアおよび調整対象区域での閾値と各測定ポイントでの実測値の比較

測定ポイント	エリア算出法での受信電力 (dBm)	実測値中央値 (dBm)	実測値上位 10% (dBm)	実測値下位 10% (dBm)	差分 (dB)
1	-88.5	-91.40	-85.54	-100.82	2.9
2	-85.6	-72.40	-70.56	-86.25	-13.2
3	-91.2	-90.00	-80.09	-95.85	-1.2
4	-87.7	-85.00	-82.35	-98.18	-2.7
5	-86.4	-85.10	-80.77	-91.44	-1.3
6	-92.3	-83.15	-76.29	-95.99	-9.1
7	-88.7	-80.40	-77.57	-82.94	-8.3

測定ポイント	エリア算出法での受信電力 (dBm)	実測値中央値 (dBm)	実測値上位 10% (dBm)	実測値下位 10% (dBm)	差分 (dB)
8	-87.5	-83.40	-78.51	-92.89	-4.1
9	-93.2	-82.40	-78.57	-85.58	-10.8
10	-90.6	-90.90	-85.53	-96.79	0.3
11	-89.1	-83.10	-79.93	-91.27	-6.0
12	-96.3	-79.50	-77.01	-84.85	-16.8
13	-119.8	-102.50	-98.54	-108.59	-17.3
14	-119.8	-106.30	-101.92	-112.60	-13.5
15	-119.8	-102.30	-99.73	-105.67	-17.5
16	-119.8	-97.50	-93.21	-108.54	-22.3
17	-119.8	-103.70	-98.36	-115.35	-16.1
18	-119.8	-105.50	-98.79	-112.90	-14.3
19	-126.2	-107.60	-102.68	-119.57	-18.6
20	-126.2	-101.35	-97.87	-105.37	-24.9
21	-126.2	-104.30	-101.97	-113.80	-21.9
22	-126.2	-98.20	-96.77	-113.73	-28.0
23	-126.2	-104.40	-102.08	-110.97	-21.8
24	-126.2	-103.00	-100.26	-111.70	-23.2
25	-137.6	-108.80	-105.75	-113.47	-28.8
26	-126.2	-120.20	-114.93	-128.06	-6.0
27	-126.2	-132.80	-127.93	-140.65	6.6
28	-149.4	-115.10	-110.11	-119.19	-34.3
29	-149.1	-131.10	-125.88	-138.77	-18.0
30	-156.6	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可

上記の比較結果より値が異なっているポイントにおける、閾値が実測された基地局相当の無線局からの距離を示した図を以下の「図 3-66」「図 3-67」に示します。

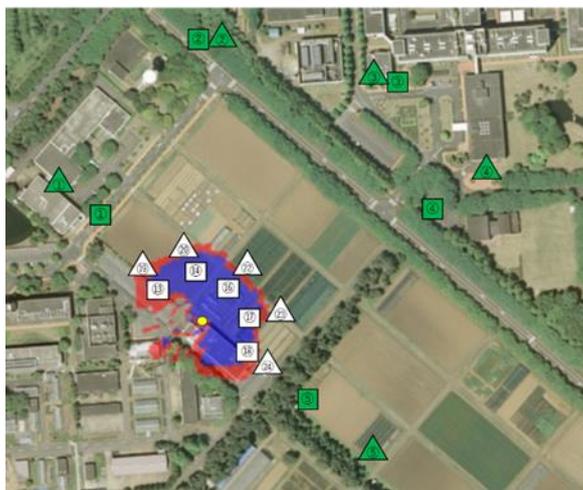


- : カバ-エリア
- : 調整対象区域
- : エリア算出法でのカバ-エリア測定ポイント
- △ : エリア算出法での調整対象区域測定ポイント
- : カバ-エリア閾値実測ポイント
- ▲ : 調整対象区域閾値実測ポイント

アンテナ～測定点間距離

測定点	距離[m]
■	141.26
■	212.77
■	119.48
■	86.56
■	105.55
▲	185.84
▲	250.37
▲	167.84
▲	139.62
▲	118.43

図 3-66 いちご畑花園 閾値が実測された基地局相当の無線局からの距離
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>)) のデータを使用して作成



- : カバ-エリア
- : 調整対象区域
- : エリア算出法でのカバ-エリア測定ポイント
- △ : エリア算出法での調整対象区域測定ポイント
- : カバ-エリア閾値実測ポイント
- ▲ : 調整対象区域閾値実測ポイント

アンテナ～測定点間距離

測定点	距離[m]
■	123.18
■	225.3
■	241.0
■	200.2
■	99.1
▲	150.3
▲	224.4
▲	236.1
▲	245.3
▲	172.3

図 3-67 農研機構 閾値が実測された基地局相当の無線局からの距離
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>)) のデータを使用して作成

次に、エリア算出法でのカバーエリアおよび調整対象区域における閾値と実測値との比較を以下の「表 3-31」～「表 3-34」に示します。

表 3-31 いちご畑花園 エリア算出法でのカバーエリアにおける閾値と実測値との比較

測定ポイント	エリア算出法での閾値 (dBm)	エリア端での実測値 (dBm)
1	-119.8	-123.02
2	-119.8	-114.73
3	-119.8	-120.32

測定 ポイント	エリア算出法での 閾値(dBm)	エリア端での 実測値(dBm)
4	-119.8	-120.60
5	-119.8	-114.73

表 3-32 いちご畑花園 エリア算出法での調整対象区域における閾値と実測値との比較

測定 ポイント	エリア算出法での 閾値(dBm)	エリア端での 実測値(dBm)
1	-126.2	-121.50
2	-126.2	-129.59
3	-126.2	-127.40
4	-126.2	-128.00
5	-126.2	-126.95

表 3-33 農研機構 エリア算出法でのカバーエリアにおける閾値と実測値との比較

測定 ポイント	エリア算出法での 閾値(dBm)	エリア端での 実測値(dBm)
1	-119.8	-118.84
2	-119.8	-121.75
3	-119.8	-119.63
4	-119.8	-119.56
5	-119.8	-121.24

表 3-34 農研機構 エリア算出法での調整対象区域における閾値と実測値との比較

測定 ポイント	エリア算出法での 閾値(dBm)	エリア端での 実測値(dBm)
1	-126.2	-125.43
2	-126.2	-133.24
3	-126.2	-126.50
4	-126.2	-125.89
5	-126.2	-125.30

上記の通り、エリア算出法での閾値と各測定ポイントでの実測値に乖離が生じた理由について、考察を行います。

本実証においては、エリア算出法で郊外地のパラメータ値である $S=12.3$ で測定前シミュレーションを行いました。郊外地のパラメータ値は、市街地と開放地の間の値であり、市街地ほど建物の影響は無いが、ある程度の数の民家等による影響を考慮した値になっております。一方で、今回の実証フィールドであるいちご畑花園および農研機構の周辺環境においては、ほとんどが畑や道路、駐車場といったエリアになっており、エリア端の閾値が実測されたポイントと基地局との間についても、見通しもしくはビニールハウスのみの遮蔽物による見通し外となっているため、郊外地のパラメータ値 $S=12.3$ よりも開放値のパラメータ値 $S=32.5$ に近い値になっていると考えられます。

本実証では、建物進入損 R の精緻化を実施するとしておりましたが、ビニールハウスが立ち並び、畑が多く存在するような典型的な農業環境での新たな補正項を求めることが有意義であると考え、パラメータ S 値についても精緻化を実施することとしました。

いちご畑花園と農研機構の両環境において、エリアテストを持ち歩行しながら面的に複数地点で受信電力の測定を行いました。

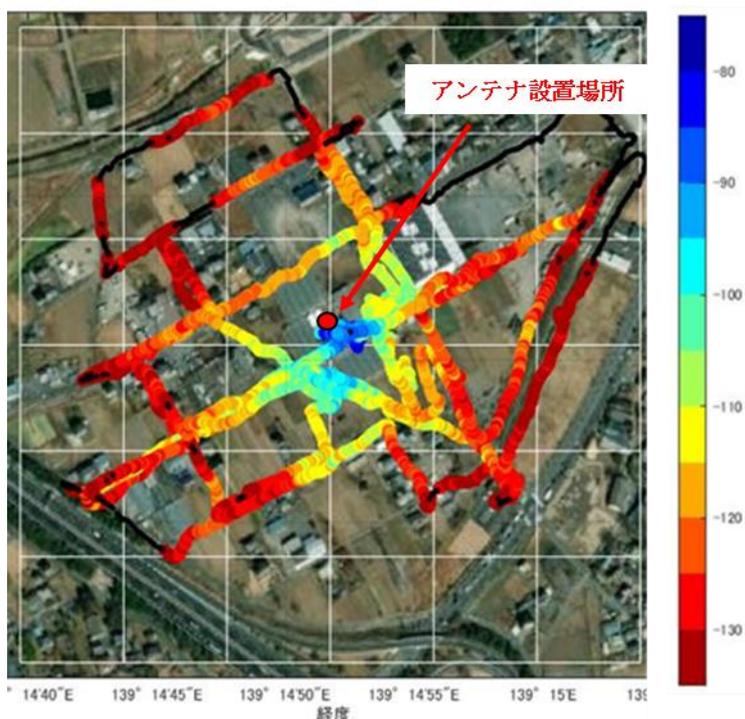


図 3-68 いちご畑花園 受信電力測定ポイント
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

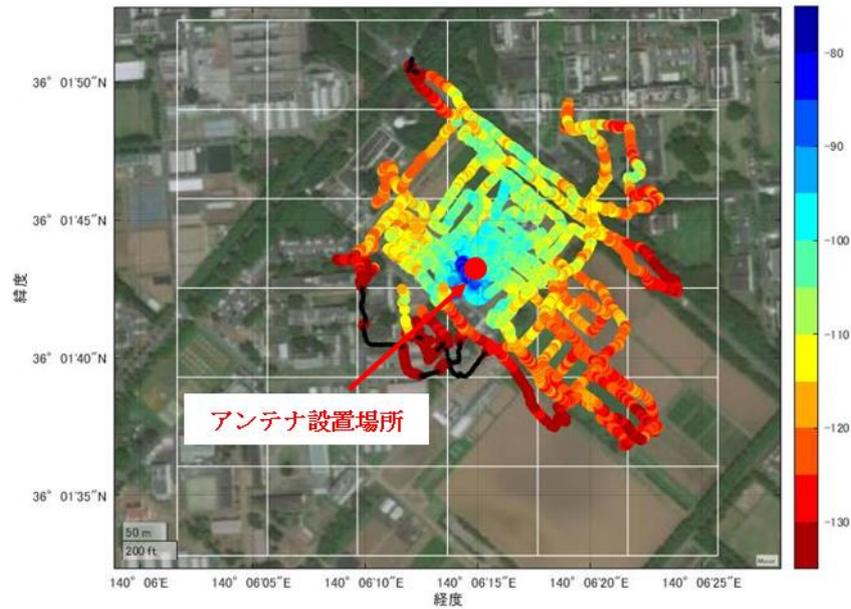


図 3-69 農研機構 受信電力測定ポイント
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

受信電力の実測値と市街地、郊外地、開放地のそれぞれの S 値を比較するため、以下の「図 3-70」に基地局から測定点までの距離ごとの受信電力の実測値と各 S 値によるカーブを示します。なお、受信電力の実測値は送信アンテナの指向性を取り除いた値でプロットしております。

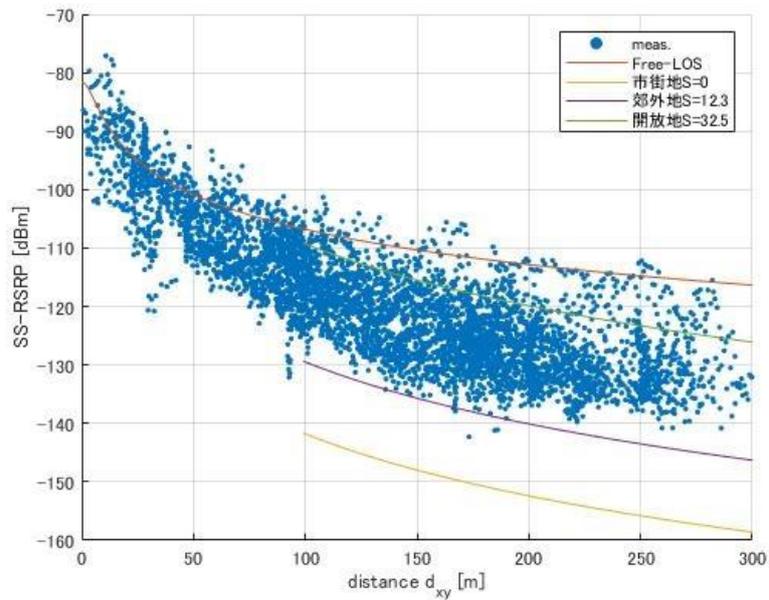
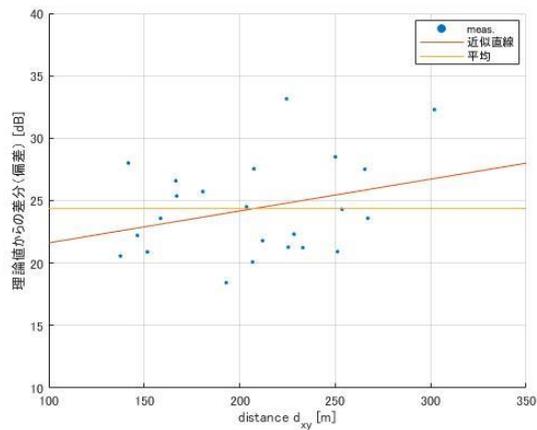


図 3-70 いちご畑花園 受信電力の実測値と S 値の比較

上記の図より、受信電力の実測値は郊外地と開放地の間に多く分布している傾向が見られました。

続いて S 値の推定を行うため、基地局から 100m 以上での測定値を使用し、いちご畑花園のサブエリア（100m×100m）内での受信電力中央値を求め測定値と基準値 S=0（市街地）との差分（偏差）に対して、平均値を求めて S の推定を行った結果を以下の「図 3-71」に示します。



いちご畑花園
平均値 S=24.4

図 3-71 いちご畑花園 サブエリア毎の受信電力の実測値と推定した S 値

実測値と基準値 S=0（市街地）との差分（偏差）に対して、平均値を求めて S 値を推定したところ、S=24.4 となりました。

今回得られたデータおよび S 値の妥当性を評価するために、受信電力の 10m ごと短区間中央値から導出した S=24.4 を減算した値を推定誤差と定義しました。推定誤差 [dB] (=測定値-推定 S 値) のばらつきを導出するために分布表の中央値を 0dBm として度数分布を「図 3-72」に示します。度数分布より、標準偏差 $\sigma=3.9$ dB となります。

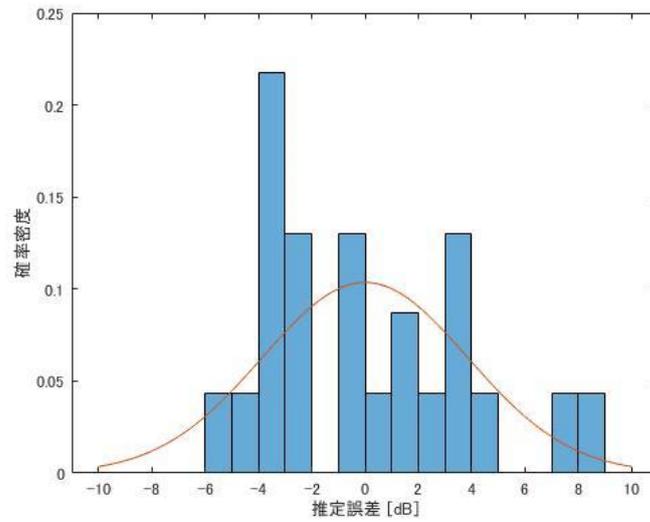


図 3-72 いちご畑花園 確率密度

続いて、推定誤差の累積数（累積確率）を「図 3-73」に示します。

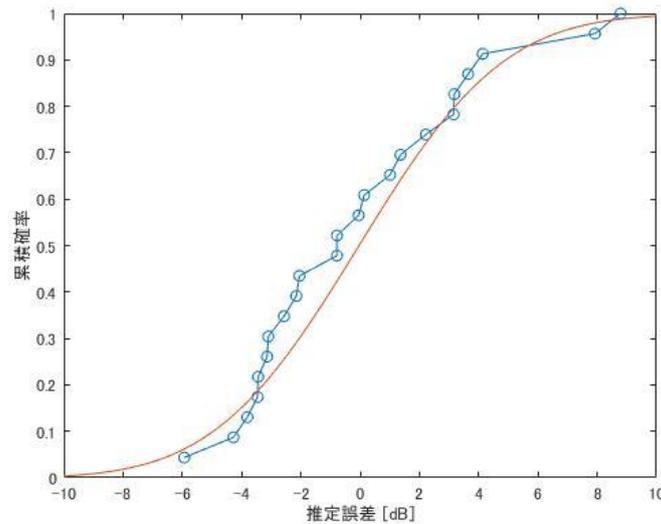


図 3-73 いちご畑花園 累積密度

推定誤差は、ほぼ正規分布していることから測定結果を類似していることにより、基地局周辺における S 値は $S=24.4$ と推測することが出来ました。

続いて農研機構についても、受信電力の実測値と市街地、郊外地、開放地のそれぞれの S 値を比較するため、以下の「図 3-74」に基地局から測定点までの距離ごとの受信電力の実測値と各 S 値によるカーブを示します。なお、受信電力の実測値は送信アンテナの指向性を取り除いた値でプロットしております。

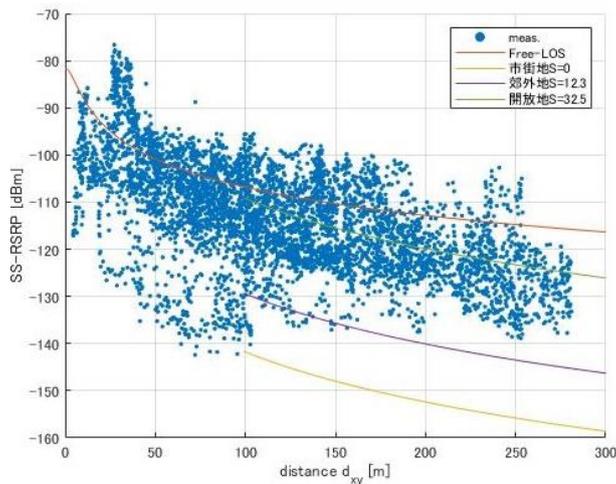
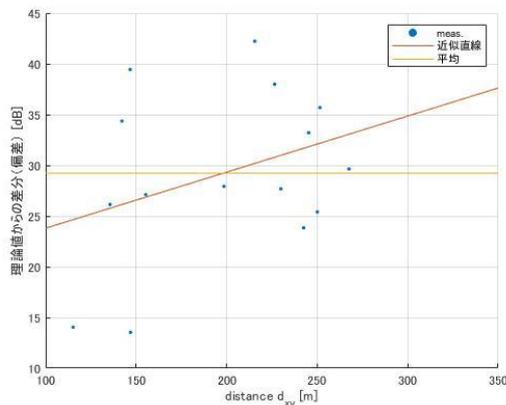


図 3-74 農研機構 受信電力の実測値と S 値の比較

上記の図より、受信電力の実測値はおおむね自由空間伝搬式と開放地の S 値の間に分布する傾向が見られました。

続いて S 値の推定を行うため、基地局から 100m 以上での測定値を使用し、農研機構のサブエリア (100m×100m) 内での受信電力中央値を求め測定値と基準値 S=0 (市街地) との差分 (偏差) に対して、平均値を求めて S の推定を行った結果を以下の図に示します。



農研機構
平均値 S=29.2

図 3-75 農研機構 サブエリア毎の受信電力の実測値と推定した S 値

実測値と基準値 S=0 (市街地) との差分 (偏差) に対して、平均値を求めて S 値を推定したところ、S=29.2 となりました。

今回得られたデータおよび S 値の妥当性を評価するために、受信電力の 10m ごと短区間中央値から導出した S=29.2 を減算した値を推定誤差と定義しました。推定誤差 [dB] (=測定値-推定 S 値) のばらつきを導出するために分布表の中央値を 0dBm として度数分布を「図 3-76」に示します。度数分布より、標準偏差 $\sigma=8.3$ dB となります。

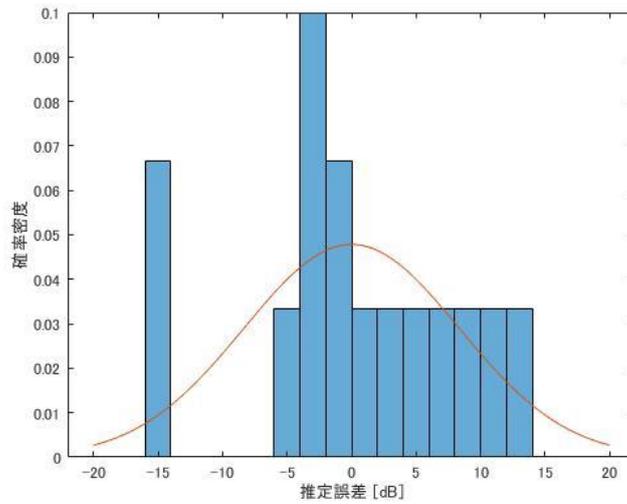


図 3-76 農研機構 確率密度

続いて、推定誤差の累積数（累積確率）を「図 3-77」に示します。

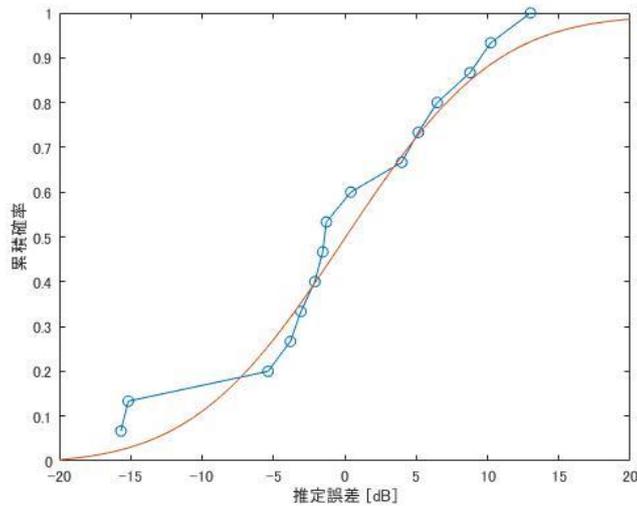


図 3-77 農研機構 累積確率

推定誤差は、おおむね正規分布しており測定結果を類似していることにより、基地局周辺における S 値は $S=29.2$ と推測することが出来ました。

次に、導き出したパラメータ S 値を用いて算出式で求めた受信電力と実測値との差分について比較を行います。また、精緻化前後でのカバーエリアと調整対象区域の算出値と実測値の差分の比較も実施します。

表 3-35 いちご畑花園 精緻化前のカバーエリア

いちご畑花園_精緻化前のカバーエリア S=12.3			
測定ポイント	実測値 [dBm]	精緻化前の算出式による 受信電力 [dBm]	実測値ー精緻化後の算出式 差分 [dB]
1	-123.02	-136.48	-13.46
2	-114.73	-136.81	-22.08
3	-120.32	-135.48	-15.16
4	-120.60	-136.20	-15.60
5	-116.05	-141.68	-25.63
差分平均値			18.38

表 3-36 いちご畑花園 精緻化のカバーエリア

いちご畑花園_精緻化後のカバーエリア S=24.4			
測定ポイント	実測値 [dBm]	精緻化後の算出式による 受信電力 [dBm]	実測値ー精緻化後の算出式 差分 [dB]
1	-123.02	-125.26	-2.24
2	-114.73	-124.90	-10.17
3	-120.32	-119.42	0.90
4	-120.60	-123.84	-3.24
5	-116.05	-126.92	-10.87
差分平均値			5.48

表 3-37 いちご畑花園 精緻化前の調整対象区域

いちご畑花園_精緻化前の調整対象区域 S=12.3			
測定ポイント	実測値 [dBm]	精緻化前の算出式による 受信電力 [dBm]	実測値ー精緻化前の算出式 差分 [dB]
1	-121.50	-151.18	-29.68
2	-129.59	-146.68	-17.09
3	-127.40	-146.28	-18.88
4	-128.00	-141.06	-13.06
5	-126.95	-140.26	-13.31
差分平均値			18.40

表 3-38 いちご畑花園 精緻化後の調整対象区域

いちご畑花園_精緻化後の調整対象区域 S=24.4			
測定ポイント	実測値 [dBm]	精緻化後の算出式による 受信電力 [dBm]	実測値ー精緻化前の算出式 差分 [dB]
1	-121.50	-138.64	-17.14
2	-129.59	-134.62	-5.03
3	-127.40	-134.21	-6.81
4	-128.00	-128.96	-0.96
5	-126.95	-132.47	-5.52
差分平均値			7.09

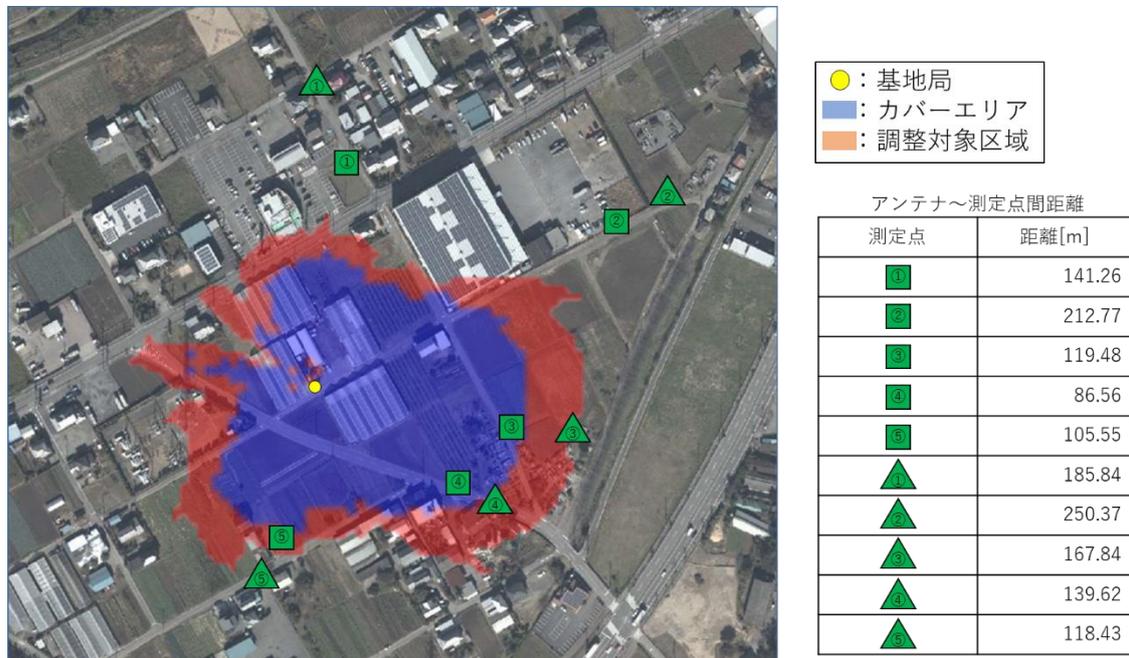


図 3-78 いちご畑花園 パラメータ再精緻化後のエリア算出法により算出されたカバーエリアおよび調整対象区域と実測値
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

表 3-39 農研機構 精緻化前のカバーエリア

農研機構_精緻化前のカバーエリア S=12.3			
測定ポイント	実測値 [dBm]	精緻化前の算出式による 受信電力 [dBm]	実測値ー精緻化後の算出式 差分 [dB]
1	-118.84	-154.11	-35.27
2	-121.75	-156.21	-34.46
3	-119.63	-151.02	-31.39
4	-119.56	-149.12	-29.56
5	-121.24	-148.81	-27.57
差分平均値			31.65

表 3-40 農研機構 精緻化後のカバーエリア

農研機構_精緻化後のカバーエリア S=29.2			
測定ポイント	実測値 [dBm]	精緻化後の算出式による 受信電力 [dBm]	実測値ー精緻化後の算出式 差分 [dB]
1	-118.84	-136.48	-17.64
2	-121.75	-138.25	-16.50
3	-119.63	-134.12	-14.49
4	-119.56	-132.04	-12.48
5	-121.24	-134.33	-13.09
差分平均値			14.84

表 3-41 農研機構 精緻化前の調整対象区域

農研機構_精緻化前の調整対象区域 S=12.3			
測定ポイント	実測値 [dBm]	精緻化前の算出式による 受信電力 [dBm]	実測値ー精緻化前の算出式 差分 [dB]
1	-125.43	-157.16	-31.73
2	-133.24	-157.24	-24.00
3	-126.50	-152.24	-25.74
4	-125.89	-152.25	-26.36
5	-125.30	-159.75	-34.45
差分平均値			28.46

表 3-42 農研機構 精緻化後の調整対象区域

農研機構_精緻化後の調整対象区域 S=29.2			
測定ポイント	実測値 [dBm]	精緻化後の算出式による受信電力 [dBm]	実測値ー精緻化前の算出式差分 [dB]
1	-125.43	-139.97	-14.54
2	-133.24	-139.17	-5.93
3	-126.50	-135.02	-8.52
4	-125.89	-135.08	-9.19
5	-125.30	-142.04	-16.74
差分平均値			10.98

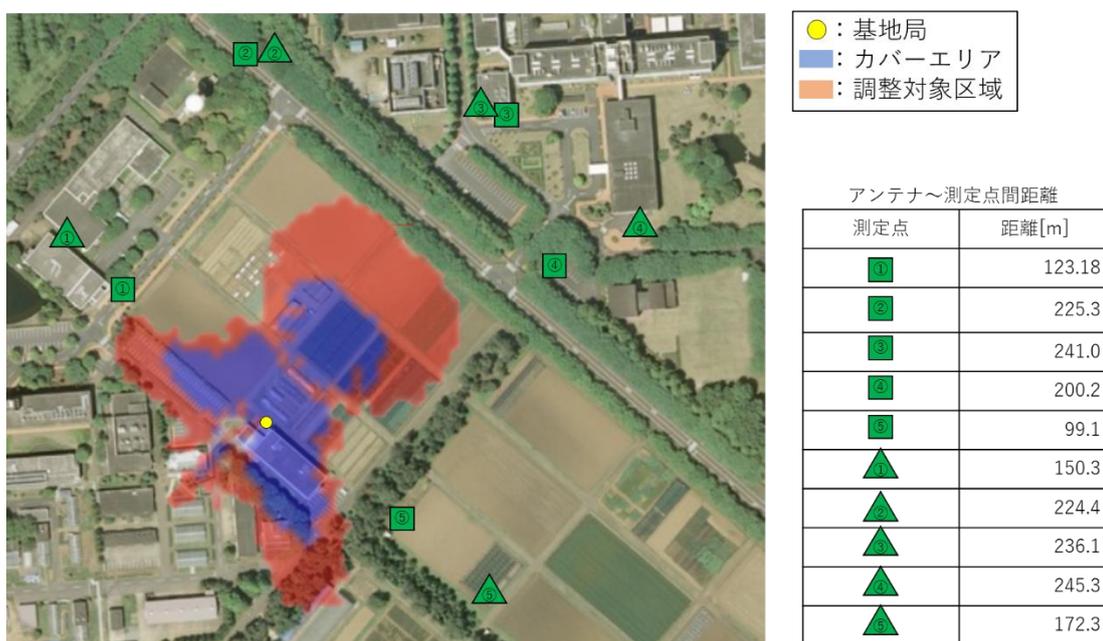


図 3-79 農研機構 パラメータ再精緻化後のエリア算出法により算出されたカバーエリアおよび調整対象区域と実測値

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

いちご畑花園、農研機構ともに精緻化前のパラメータ S を使用して算出した受信電力と実測値の差分はいちご畑花園のカバーエリアで平均 12.9dB、調整対象区域で 11.3dB 差分が解消されました。農研機構ではカバーエリアで平均 16.8dB、調整対象区域で 17.5dB 差分が解消される結果となっています。ただし、農研機構環境では精緻化後の S を用いたシミュレーション図と実測地点にはまだ乖離が見られる結果となりました。これはハウス内部の R の精緻化でも考察したように、アンテナパターン表の値と実際のアンテナパターンの値に差異があることが一つの要因だと考えられます。これらの影響を取り除くためには、アンテナパターンについても事前に現地で測定し、正しい値を元に算出することでより実測値に近い形で精緻化を行うことができると考えます。今回いちご畑花園・農研機構 2 つの実証エリアの精緻化結果から RMS=26.9dB が導出されましたが、実際に同様の農業ユースケースにおいてこの S 値を使用するには、最大値と最小値を示しカバーエリア内の構

築、干渉調整の観点にそれぞれ±偏差を見込んでおき余裕をもった設計が推奨されると考えます。エリア算出法の精緻化はより多くのサンプルを入手し統計処理も含めさらなる検証・分析が必要だと考えられます。

通常、建物侵入損 R は屋内に基地局を設置した際の屋外エリア端を適切に導出するためのパラメータですが、本実証では基地局をビニールハウス近傍の屋外に設置しローカル 5G をビニールハウス内部で使用する場合における R の影響を測定、考察しました。エリア設計の最適化に向けては、ハウス全体をまんべんなくカバーするために送信出力を算出する際にパラメータ R を使用し、ハウス外への電波照射範囲を求め干渉調整等を行うためには、パラメータ S を使用するといった目的に応じたパラメータの選択が必要であると考えます。仮にローカル 5G を利用する屋内環境が広大であり、シミュレーション上もおおむねハウス内がカバーエリアとなる場合においてはパラメータ R のみを使用しエリア設計を行うことも可能かと考えます。しかし本実証で示したようにビニールハウスを対象とするユースケースでもハウス内部の構造や周辺環境によって実測値と算出式の値にはバラつきが出てしまうため、より精緻に求めるためにはレイトレースシミュレーション等を活用することが推奨されると考えます。

3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

3.3.3.1 実証の目的・目標

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

本実証フィールドのようなビニールハウスを有する農園においては、ビニールハウス内が電波利用エリアとなるため、比較的狭いエリアを対象に、局所的にかつ効率的にカバーすることが求められます。その場合、「3.2 実証環境」で記載しました通り、無指向性アンテナではなく、指向性アンテナを用いることで不要なエリアカバーを最小化する形で環境を整備することが可能です。一方で、本実証のように、ビニールハウス近傍に指向性アンテナを設置する場合には、その水平角の偏向性により一部のエリアが不感地帯となる可能性があります。また、「3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化」で記載しました通り、本実証エリアであるビニールハウス内には複数の栽培レーンが存在するため、その影響で電波伝搬損失が大きくなり、不感地帯が発生する可能性があります。不感地帯が発生することにより、本実証の課題実証システムのような、ビニールハウス農家の課題の解決を図るシステムの利用が難しくなることが考えられます。したがって、本実証では、このような実証環境でのエリア化について、基地局を増設する方法やリピーターを設置する方法とそのコストやメリット・デメリットに対する比較を行うことで、反射板によるエリア化の有効性を検討し、同時に、本実証環境のようなビニールハウスへのエリアカバー手法の柔軟化を実現することを目的としています。



※カバーエリアおよび調整対象区域はイメージ図であり、精緻なものではありません

図 3-80 カバーエリアおよび調整対象区域と想定される不感地帯
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

なお、反射板の実証事例としては、令和2年度地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証における「eスポーツ等を通じた施設の有効活用による地域活性化の実現」が上げられます。ただし昨年度実証では28GHz帯を利用した屋内環境での実証であったため、電波の直進性が弱いSub6での有効性は明らかになっておりません。本実証ではSub6でも一定の条件で反射板の活用が可能であることを明らかにするとともに、本ユースケースにおける所要性能であるULスループット：40Mbps、伝送遅延：30msを反射板の活用に

よって達成するための方策、および、反射板を活用したエリア構築方法について取りまとめることを目的としています。なお、上記所要性能を達成するために必要な受信電力については、使用するローカル 5G システムのラボデータから類推し、実証内で定義することとしています。また、本ユースケースにおいては、いずれのシステムも無人による動作を前提としているため、人体損失については考慮しないこととしています。

(2) 実証目標

本実証項目の目標としては、ビニールハウス内へのエリアカバーに際して、指向性アンテナを利用した場合に発生する不感地帯のエリア改善を目的として、反射板利用時の不感地帯での受信電力（RSRP 値）が基地局からの直接波を上回り、なおかつユースケースの所要性能を達成するための受信電力を上回ることを目標としています。具体的な受信電力の値については、実証内で定義することとしています。

3.3.3.2 実証仮説

仮説としては、本実証で使用する指向性アンテナの指向性が水平角約 60° であることを踏まえると、「図 3-80」のように、ハウス A の一部のエリアが不感地帯となることが予想されます。「図 3-82」のように、主ビームから約 50° ずれた位置に反射板を設置することで、不感地帯の受信電力の改善が望めます。反射板の仕様の事前検討は、アンテナ位置からの反射板設置位置までの自由空間損失、送信出力、受信アンテナの利得等より反射板の設計を行うものとします。本ユースケースにおけるソリューションである、自立走行型ロボットが不感地帯にある栽培レーン間を走行すること、また、顧客誘導システムに使用するカメラが不感地帯に数台設置されることを考慮すると、反射板によるエリア化により不感地帯の受信電力が改善されることは本ユースケースにおいて重要な要素であるといえます。

反射板によって不感地帯の受信電力が改善される場合の模式図を「図 3-81」に示します。反射板は可搬性を有した状態で屋内に設置し、位置と方向が可変出来るものとします。反射板の設置により、不感地帯が解消し、ビニールハウス内がまんべんなくエリアカバーされると、結果的に本ユースケースにおけるソリューションがそのパフォーマンスを下げることなく効率的に実施され、農家の抱える課題の解決に大きく寄与することが期待されます。



※カバーエリアおよび調整対象区域はイメージ図であり、精緻なものではありません

図 3-81 反射板設置後のカバーエリアと調整対象区域
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

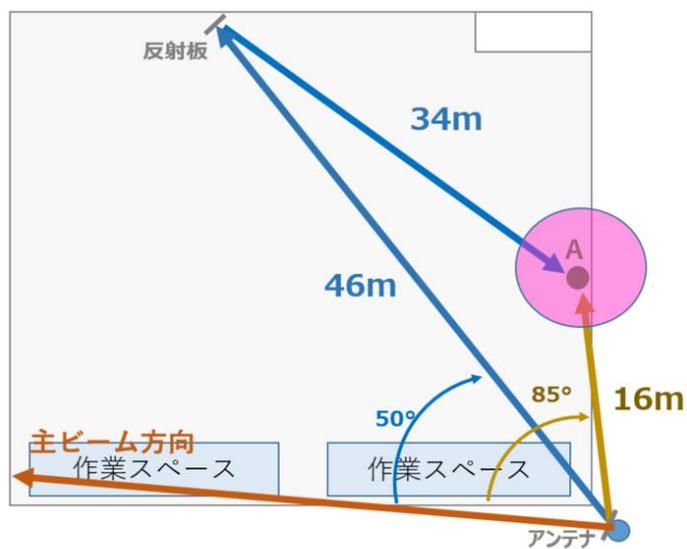


図 3-82 反射板設置位置 (案)

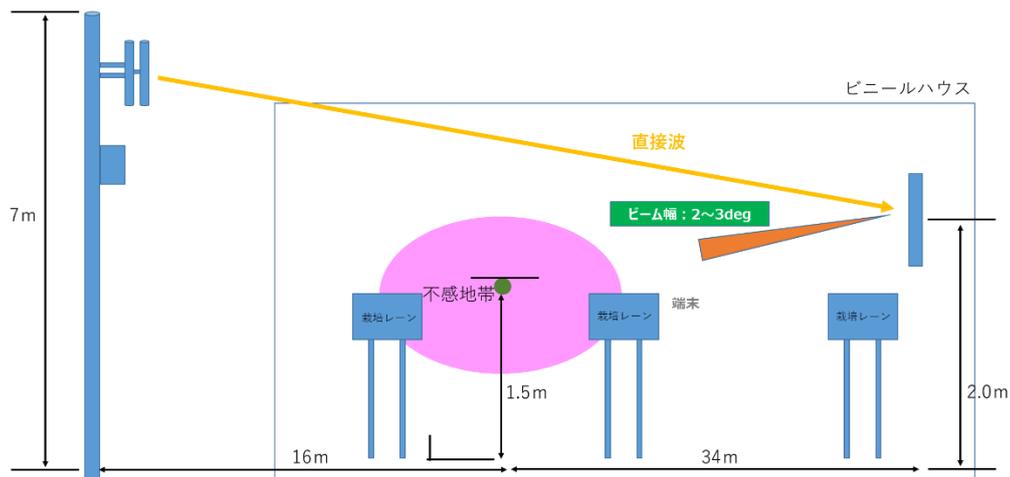


図 3-83 反射板設置位置 垂直図 (案)

反射板によるエリア改善の効果については、「図 3-82」で示しました A 地点において、アンテナからの直接波（自由空間損失を計算）受信レベルと反射板からの反射波レベルを比較計算致しました。反射波の計算方法については、①電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号改正：別紙 1 別図第 30 号の 2）による計算、②レーダ方程式による計算、の 2 種類にて机上検討を行いました。

アンテナデータを基にシミュレーション検討した結果、送信出力 17dBm の場合ではハウス内に不感エリアは生じない結果となりましたため、送信出力を抑える必要があるような他ユースケース（近隣に他ローカル 5G システムがある場合等）も見据え、送信出力を [17dBm→0dBm] へ変更し、本実証を行うこととしました。

検討①

電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号改正：別紙 1 別図第 30 号の 2）を基に計算した結果は以下の通りです。

■ 直接波

- ・送信出力：17.0 dBm → 0.0 dBm
- ・送信アンテナ利得：17.0 dBi (チルト5°：電気チルト10°/機械チルト-5°)
 水平面内指向性利得減衰：22.70 dB
 垂直面内指向性利得減衰：29.52 dB
- ・受信アンテナ利得：0.0 dBi
- ・距離：16.0 m
- ・伝搬ロス：70.16 dB ※自由空間
想定受信電力：-105.38 dBm

■ 反射波 (反射板 0.4m×0.4mの場合)

- ・反射板の利得 G_R ：54.2 dB ※ $20 \cdot \log(4\pi\eta A_e / \lambda^2)$
 反射板の大きさ(縦)：0.4m (横)：0.4m
 - ・送信電力17dBm → 0.0 dBm
 - ・送信アンテナ利得：2.9 dBi ※アンテナ利得-水平面内指向性減衰
 - ・受信アンテナ利得：0.0 dBi
 - ・送信アンテナ～反射板間距離：46m 伝搬ロス：79.3 dB
 - ・反射板～受信アンテナ間距離：34m 伝搬ロス：76.7 dB
- 【想定受信電力】
 送信電力+送信アンテナ利得-送信アンテナ～反射板間距離による自由空間伝搬損
 -反射板～受信アンテナ間距離による自由空間伝搬損+受信アンテナ利得+反射板の利得
想定受信電力：-98.9 dBm

受信電力が-100dBm以上となる条件は、使用する反射板
 サイズ**0.4m×0.4m以上**が必要と考えられる。
 ※反射板 0.3m × 0.3mの場合：-110.93dBm

図 3-84 電波法関連審査基準による想定受信電力

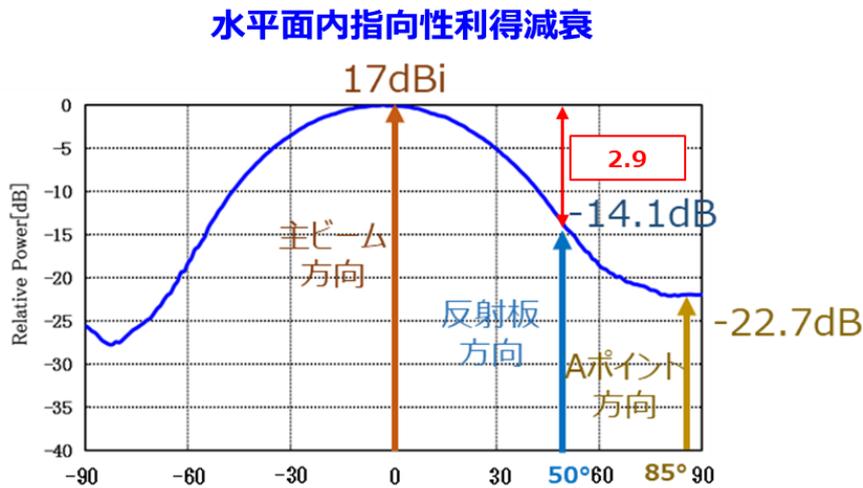


図 3-85 水平面内指向性利得減衰

上記で示しました直接波および反射波の受信電力の算出式を以下に示します。

○計算式 (直接波)

送信出力+送信アンテナ利得+水平面内指向性利得減衰+垂直面内指向性利得減衰

$$\begin{aligned}
& + \text{受信アンテナ利得} + \text{伝搬ロス (自由空間損失)} \\
& = 0 + 17 + (-22.70) + (-29.52) + 0 + (-70.16) \\
& = -105.38 \text{ [dBm]}
\end{aligned}$$

○計算式 (反射波)

$$\begin{aligned}
& \text{送信電力} + \text{送信アンテナ利得} - (\text{送信アンテナ} \sim \text{反射板間距離による自由空間伝搬損}) \\
& - (\text{反射板} \sim \text{受信アンテナ間距離による自由空間伝搬損}) + \\
& \text{受信アンテナ利得} + \text{反射板の利得} \\
& = 0 + 2.9 - 79.3 - 76.7 + 0 + 54.2 \\
& = -98.9 \text{ [dBm]}
\end{aligned}$$

検討②

レーダ方程式での検討結果は以下の通りです。

直接波

送信出力 : 17dBm → 0dBm
 送信アンテナ利得 : 17dBi
 (チルト 5° : 電気チルト 10°/機械チルト -5°)
 水平面内指向性利得減衰 : 22.70dB
 垂直面内指向性利得減衰 : 29.52dB
 受信アンテナ利得 : 0dBi
 距離 : 16m
 伝搬ロス : 70.16dB ※自由空間
受信電力 : -105.38dBm

反射波 (MSR 0.4m×0.4mの場合)

送信出力	0.00	[dBm]
送信アンテナ利得	2.90	[dBi]
受信アンテナ利得	0.00	[dBi]
送信からMSRの距離[m]d1	46.00	[m]
MSRからRxの距離[m]d2	34.00	[m]
MSRの大きさ (縦)	0.40	[m]
MSRの大きさ (横)	0.40	[m]
入射角 θ _i	7.80	[deg]
反射角 θ _r	7.80	[deg]
レーダ断面積 σ	19.08	[dBsm]
MSRで反射されてきた電波の受信電力Pr	-98.967	[dBm]

受信電力が-100dBm以上となる条件は、使用する反射板サイズ0.4m×0.4m以上が必要と考えられる。

※MSR 0.3m×0.3m : -103.97dBm

図 3-86 レーダ方程式による想定受信電力

水平面内指向性利得減衰

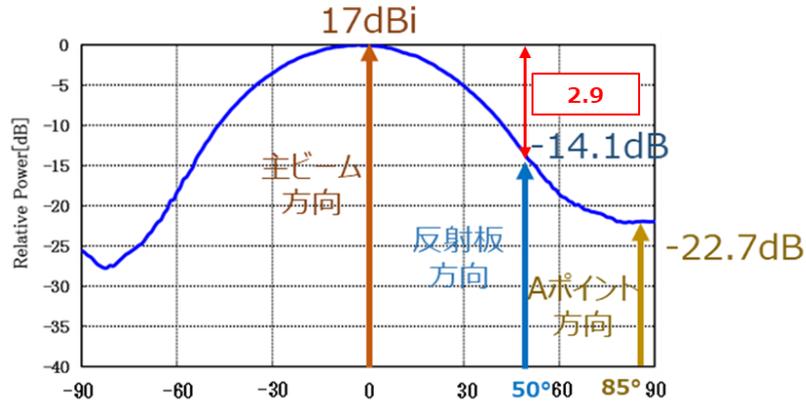


図 3-87 水平面内指向性利得減衰

上記で示しました直接波および反射波の受信電力の算出式を以下に示します。

○計算式（直接波）

$$\begin{aligned}
 & \text{送信出力} + \text{送信アンテナ利得} + \text{水平面内指向性利得減衰} + \text{垂直面内指向性利得減衰} \\
 & + \text{受信アンテナ利得} + \text{伝搬ロス（自由空間損失）} \\
 & = 0 + 17 + (-22.70) + (-29.52) + 0 + (-70.16) \\
 & = -105.38 \text{ [dBm]}
 \end{aligned}$$

○計算式（反射波）

下記のレーダ方程式に代入し算出(-98.967[dBm])

レーダ方程式

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_t^2 R_r^2}$$

レーダ断面積 σ を代入して、整理すると

$$\begin{aligned}
 & = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^3 R_t^2 R_r^2} \frac{4\pi W^2 L^2 \cos \theta_i \cos \theta_r}{\lambda^2} \\
 & = \frac{P_t G_t G_r W^2 L^2 \cos \theta_i \cos \theta_r}{(4\pi)^2 R_t^2 R_r^2}
 \end{aligned}$$

図 3-88 レーダ方程式

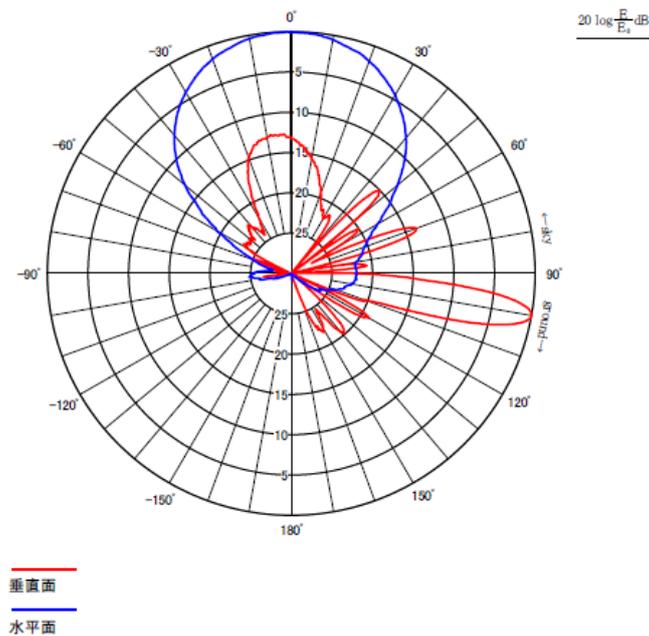


図 3-89 アンテナパターン

①電波法関係審査基準、②レーダ方程式による机上計算の結果、非常に近い計算結果となりました。

①電波法関係審査基準

想定受信電力 = -98.9 dBm

②レーダ方程式

想定受信電力 = -98.967 dBm

電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号改正：別紙 1 別図第 30 号の 2）より「反射板の設置場所が送信空中線から $2D^2/\lambda$ （ D は空中線の直径、 λ は電波の波長で単位はいずれも m とする。）未満の距離にある場合の伝搬損失は、次により算出する。…」と記載があります。今回、空中線の直径を 1.0m と仮定した場合、 $2D^2/\lambda$ は約 32m となり、想定している反射板までの距離は 40m を超えております。よって、本実証実験ではレーダ方程式による電波反射板の利得算出方法を採用することとしました。

3.3.3.3 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下の「表 3-43」のとおりです。

表 3-43 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	反射板有無によるカバーエリアおよび調整対象区域の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・反射板設置前後のカバーエリアおよび調整対象区域における各測定ポイントでの受信電力 (RSRP)、通信品質 (SIR)、及び伝送性能 (UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延等) の測定 ・エリア算出法によって算出されたカバーエリアおよび調整対象区域の閾値と実測値の比較 ・(上記比較にて値が異なっている場合、) 閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認

なお、本実証では、いちご畑花園のハウス A の基地局を対象に実施しました。

3.3.3.4 評価・検証方法

本実証で利用した反射板の仕様は以下のとおりです。

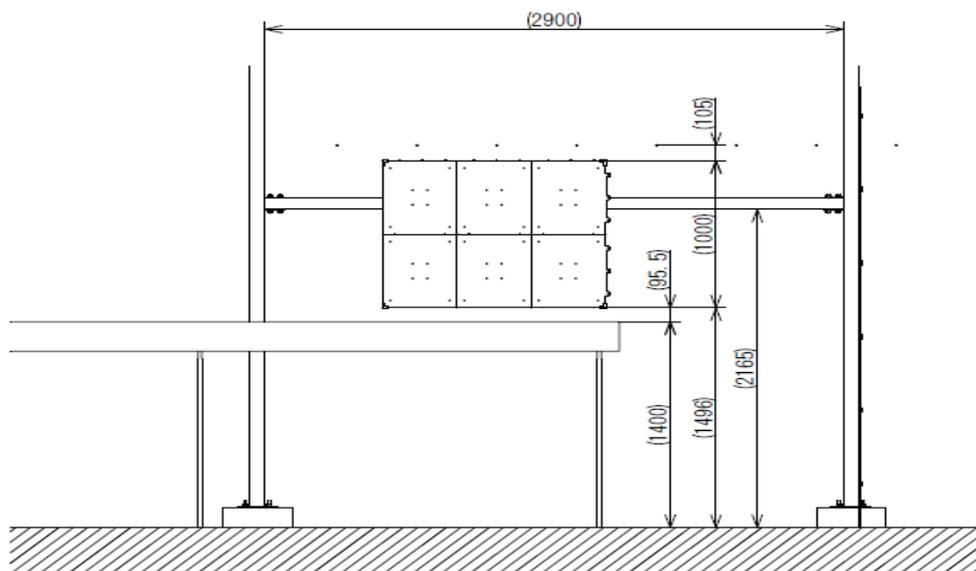


図 3-90 反射板外観図_正面

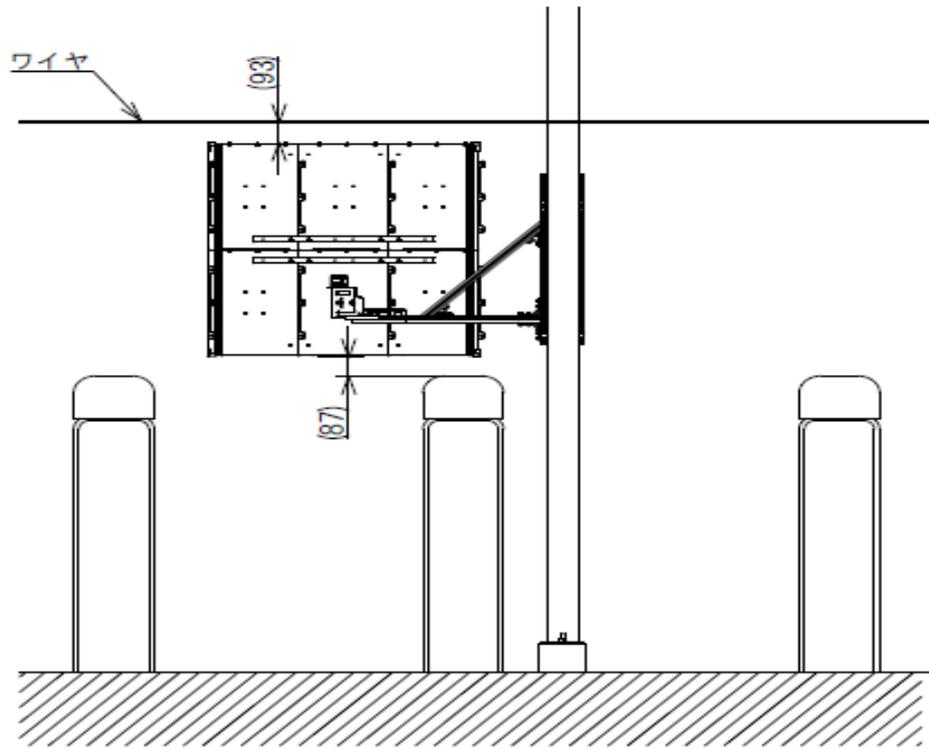
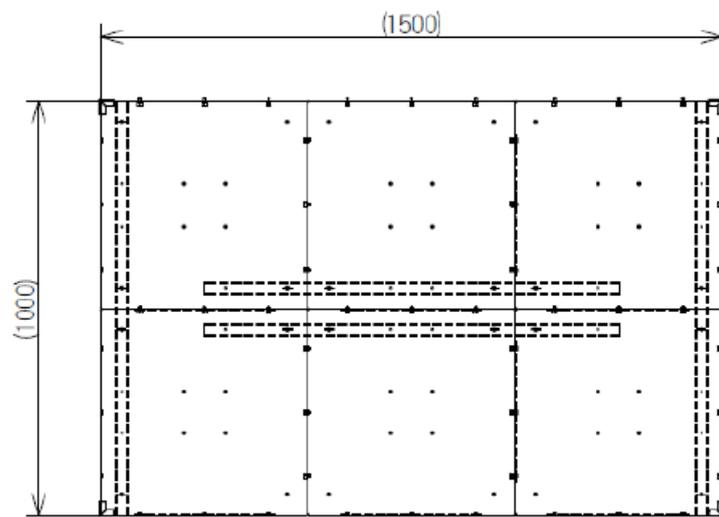


図 3-91 反射板外観図_裏面



2×3素子

図 3-92 反射板外観図

表 3-44 反射板仕様

項目	仕様
電波反射板種別	金属板(アルミ合金板)
電波反射板の大きさ	反射板サイズ：1.5m(水平方向) 1.0m(垂直方向) ※1パーツ：0.5m×0.5m の金属板を 横2列、縦3列で構成
重量	約25.3kg
反射ビーム幅	2～3° 「図 3-93」のA地点において、送信出力0dBmの場合に生じる不感地帯に対して、反射板を利用した場合に、不感地帯のエリアを改善 ビーム幅算出式 <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <ul style="list-style-type: none"> ・電力半値幅 (3 dB ビーム幅、半値角) ・一般的な開口を持つアンテナの電力半値幅 $\theta_{-3} \approx \frac{60\lambda}{D} \sim \frac{70\lambda}{D} \text{ [deg]}$ <p>D：開口径、λ：波長</p> </div>
金属反射板の表面仕上げ精度(平面度)	反射板の連結部について、製作公差を考慮した結果、片面設置の場合は±0.4mmとなります。その為、両面設置を行う場合の最大寸法公差は±0.8mm程度となります。
電波反射板設置金具自由度	俯仰角度：±5° 水平角度：±15°
電波反射板の利得	19.08[dBsm]程度(レーダ断面積σ)

表 3-45 反射板リンクバジェット

送信出力	0.00	[dBm]
送信アンテナ利得	2.90	[dBi]
受信アンテナ利得	0.00	[dBi]
送信からMSRの距離[m]d1	46.00	[m]
MSRからRxの距離[m]d2	34.00	[m]
MSRの大きさ(縦)	0.40	[m]
MSRの大きさ(横)	0.40	[m]
入射角θi	7.80	[deg]
反射角θr	7.80	[deg]
レーダ断面積σ	19.08	[dBsm]

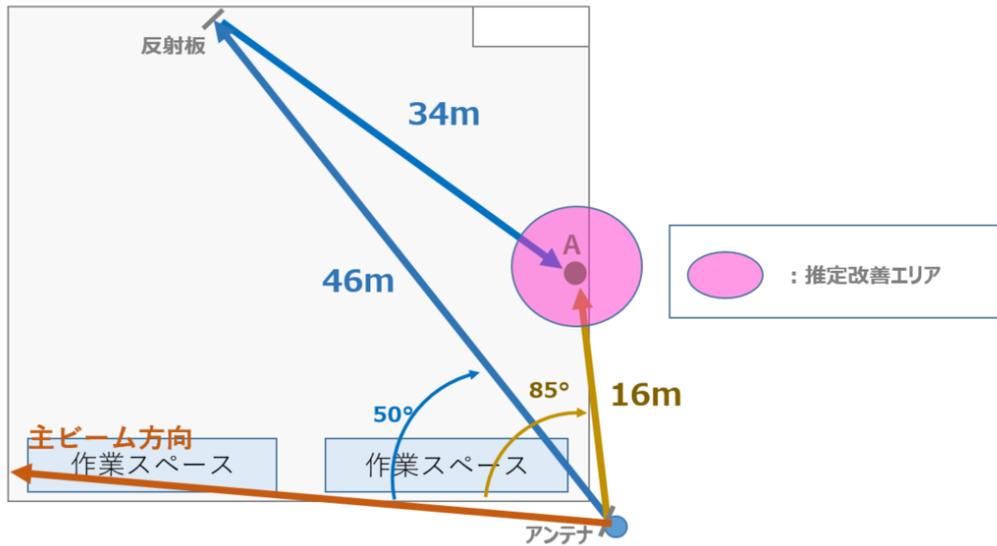


図 3-93 反射板推定改善エリア

本実証にて実施した試験の手順は、以下の「表 3-46」のとおりです。

表 3-46 試験手順

工程	実施内容	対応図表
1	エリア算出法を基にしたエリアシミュレーションにより、反射板設置前後のカバーエリアおよび調整対象区域を算出・図示しました。	図 3-94 図 3-95
2	カバーエリアおよび調整対象区域内の20以上の地点において、電波反射板未設置時及び設置時の受信電力 (RSRP)、通信品質 (SIR)、及び伝送性能 (UL/DL別の伝送スループット、伝送遅延等) を測定しました。 また、電波反射板への到来波の入射角、反射角の計測も実施しました。 ※反射板未設置時のデータは「3.3.1 ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定」より引用しました ※通信品質と受信電力の相関についてはラボデータを基準としました	図 3-96
3	算出したカバーエリア及び調整対象区域の閾値と実測値が異なる場合、GPSシステムを用いて閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離を確認しました。 距離測定器はディファレンシャル GPS受信機 SPS351を使用しました。 水平精度誤差：1m未満 垂直精度誤差：5m未満	—

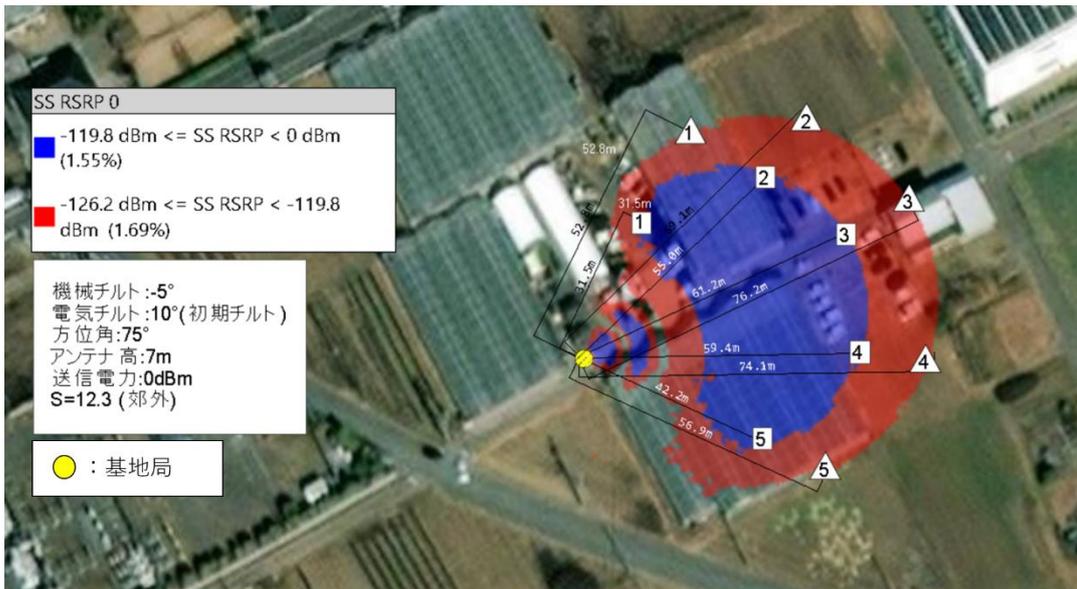


図 3-94 反射板設置前のカバーエリア及び調整対象区域内の測定ポイント (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

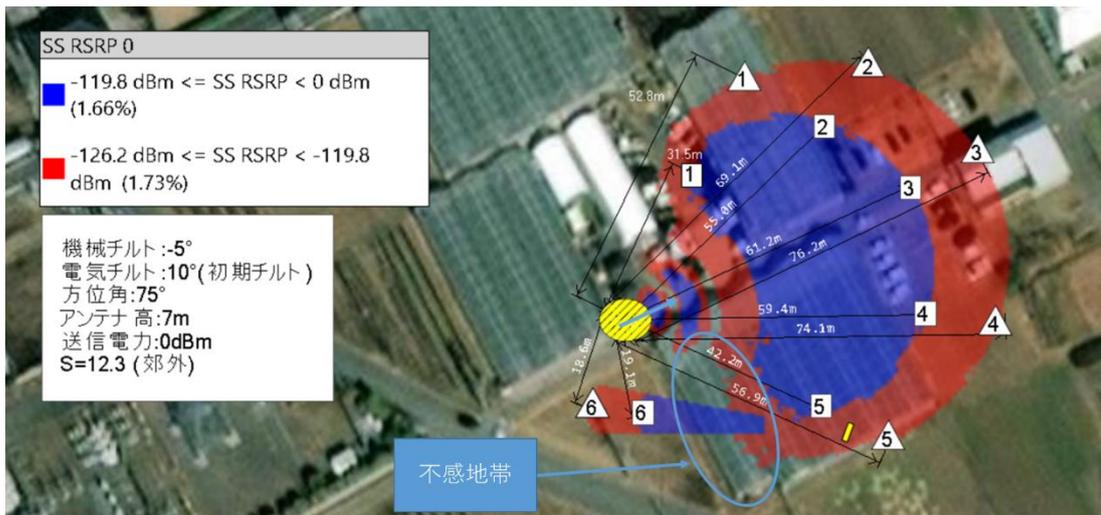


図 3-95 反射板設置後のカバーエリア及び調整対象区域内の測定ポイント (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

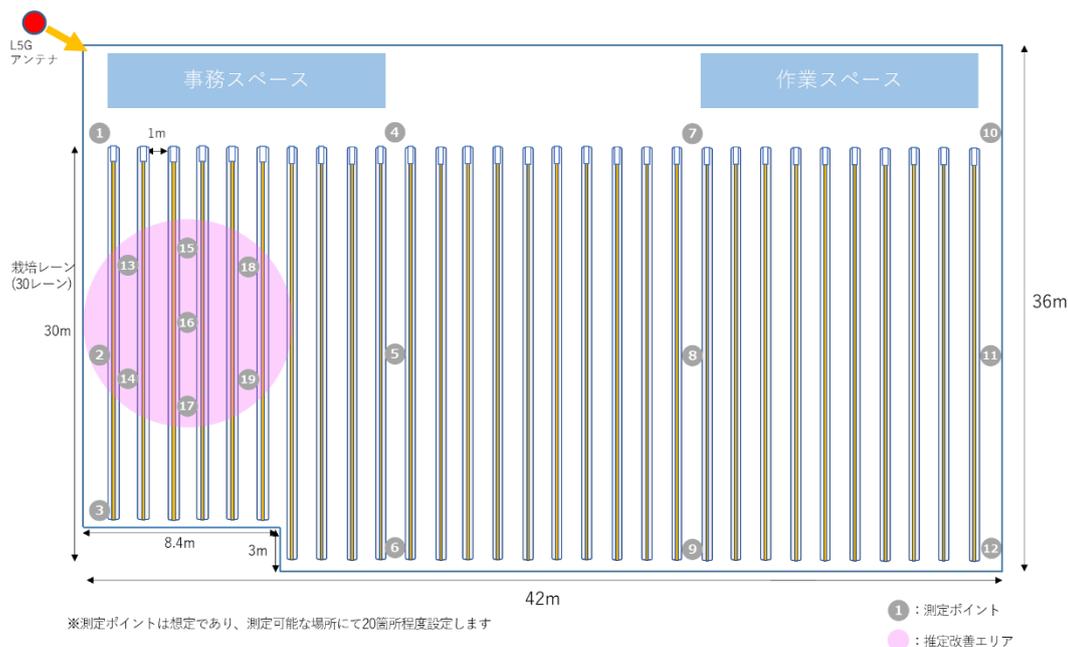


図 3-96 測定ポイント ハウス内

本実証で使用した測定器・測定方法については以下の「表 3-47」の通りです。

表 3-47 測定器情報

項目	内容	備考
測定機器	ML8780A+5GNR TDD sub-6GHz測定ユニット+ソフトウェア：MX878072A	メーカー： Anritsu
測定設定項目	<ul style="list-style-type: none"> 測定対象：SSS (Secondary Synchronization Signal), DMRS for PBCH (Demodulation Reference Signal) Cyclic Prefix：Normal 測定PCI数：最大40 (PCI: Physical Cell Identifier) チャンネル帯域幅：10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 MHz 	—
測定方法	<p>対象エリアおよび反射板を利用した際に、各測定ポイントで測定器を用いて測定を行い、PCI毎にSS-RSRP、SS-RSRQ、SS-SIR、SS-RSSIを計測しました。</p> <ul style="list-style-type: none"> 測定周期：PCI=1、周期 20mS サンプル数：1200 測定時間：24秒 測定器アンテナ：オムニアンテナ <p>※測定器の詳細については「2.2ネットワーク・システム構成」に記載しております。</p>	—

3.3.3.5 実証結果及び考察

本実証を実施したところ、想定していた不感地帯だけでなく、ハウス内全体にて受信電力が低く、端末がアタッチしない結果となりましたため、送信出力を 0dBm から 5dBm に変更し再測定を実施することと致しました。なお、想定とは異なる結果が得られた理由としては、「3.3.2.5 実証結果及び考察」においても記載しましたが、シミュレーションで使用しているアンテナパターン表の値と実際のアンテナパターンの値に差異があったためと考えております。

内容を変更した実証について、測定前の内容を記載します。想定した不感地帯に関する図を下記に示します。

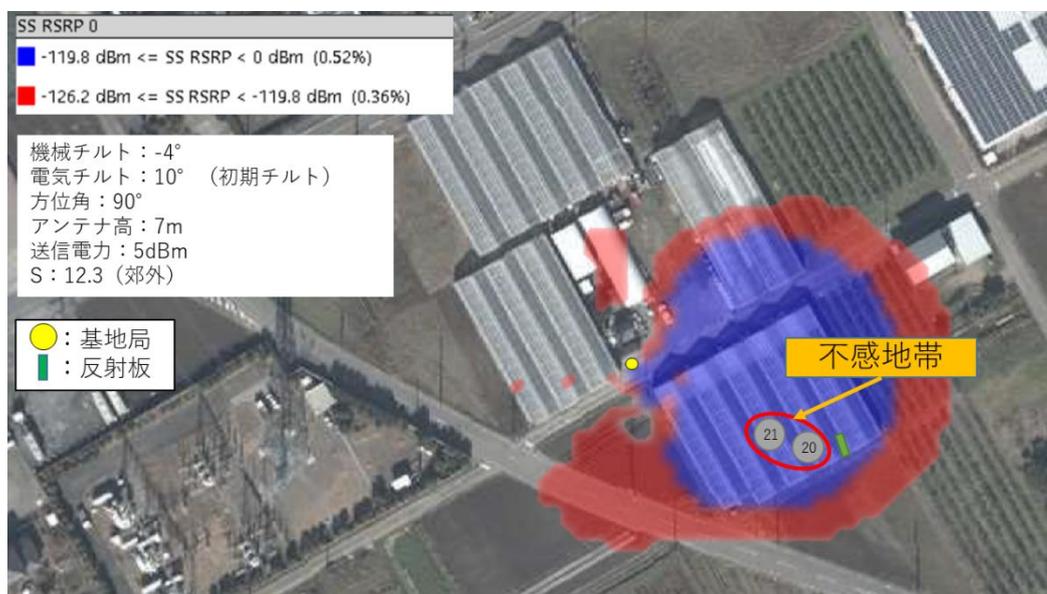


図 3-97 ビニールハウス内想定不感地帯
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

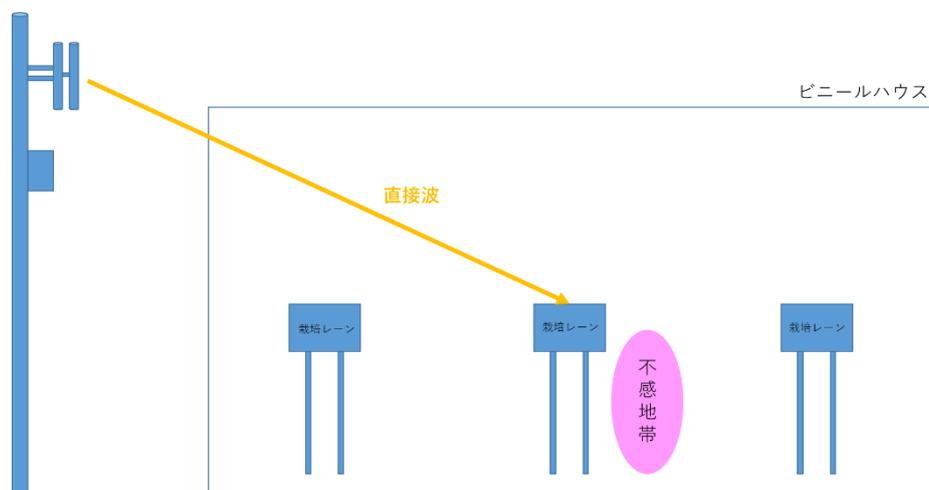


図 3-98 ビニールハウス内想定不感地帯 (イメージ図)

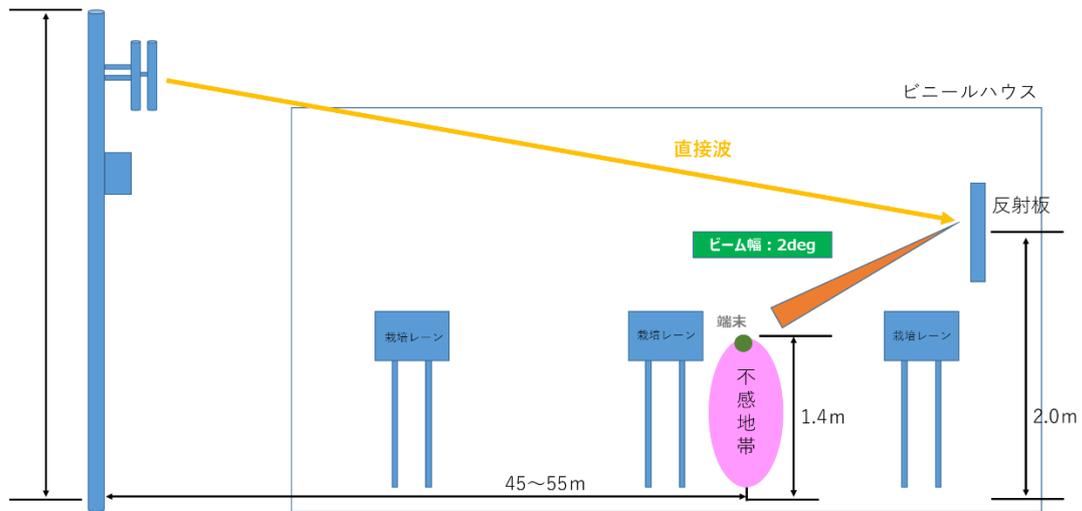


図 3-99 反射板によるエリア改善イメージ

上記の通り、本実証エリアにおいて存在する、イチゴの栽培レーンの影となるエリア（測定ポイント 20, 21）を不感地帯と定義し、反射板によるエリア改善を試みました。本ユーザースペースにおいては、栽培レーンの間を自立走行型ロボットが走行するため、栽培レーンの影となるエリアへのエリア改善のアプローチは有意義なものであると考えております。なお、不感地帯における直接波と反射波の想定受信電力は以下の通り算出しております。

○直接波

前提条件は以下の通りです。

- ・送信アンテナ利得：17.5 dBi
- ・受信アンテナ利得：0.4 dBi
- ・基地局からの距離：約 45～55m
- ・方位角：90°

シミュレーション上の想定不感地帯（測定ポイント 20, 21）での想定受信電力は、自由空間伝搬損失式 $LOS(dB)=20*\log(4*\pi*r/\lambda)$ より算出しました。

測定ポイント 20：基地局から約 55.65m
 $SS-RSRP = -81.06-35.15$
 $= -116.11 [dBm]$

測定ポイント 21：基地局から約 51.56m
 $SS-RSRP = -80.4-35.15$
 $= -115.55 [dBm]$

ここで、事前測定した栽培レーンの上下の受信電力差について考慮します。

表 3-48 栽培レーンの上下の受信電力差

	測定ポイント 20	測定ポイント 21
栽培レーン下側[dBm]	-114.36	-123.46
栽培レーン上側[dBm]	-103.29	-110.62
差[dB]	-11.07	-12.84

上記結果より、平均値を算出しました。

$$\text{平均値} = (-11.7 - 12.84) / 2 = -11.95$$

したがって、栽培レーンの影響により不感地帯となる測定ポイント 20, 21 における想定受信電力は以下になります。

想定受信電力=(直接波の受信電力-栽培レーンによる減衰)より算出し、

$$\text{測定ポイント 20} : 116.11 - 11.95 = -128.06 [\text{dBm}]$$

$$\text{測定ポイント 21} : 115.55 - 11.95 = -127.50 [\text{dBm}]$$

○反射波

反射波については下記の式より算出しております。

$$\begin{aligned} \text{想定受信電力} &= \text{送信電力} + \text{送信アンテナ利得} - (\text{送信アンテナから反射板間距離による自由空間伝搬損}) - (\text{反射板から受信アンテナ間距離による自由空間伝搬損}) + \text{受信アンテナ利得} + \text{反射板の利得} \\ &= -86.8 [\text{dBm}] \quad \text{※SS-RSRP 値} \end{aligned}$$

なお、各パラメータ値は下記の通りとなります。

表 3-49 反射波 想定受信電力の各パラメータ値

項目	値	単位	備考	
反射板利得	73.7	dB	$20 * \log(4\pi \eta A_e / \lambda^2)$	
送信電力	5.0	dBm		
送信アンテナ利得	アンテナ最大利得	17.0	dB _i	ビームチルト 6° (電気チルト 10° / 機械チルト -4°)
	垂直面内減衰量	0.6	dB	メインビームから約 1.5° 方向
	水平面内減衰量	1.8	dB	メインビームから約 19° 方向
受信アンテナ利得	0.4	dB _i		

項目	値	単位	備考
伝搬損失 1	81.26	dB	送信アンテナ～反射板間：約 56m
伝搬損失 2	64.13	dB	反射板～受信アンテナ間：約 8m

続いて、下記に反射板設置前および設定後のカバーエリア及び調整対象区域内の測定ポイントを示します。

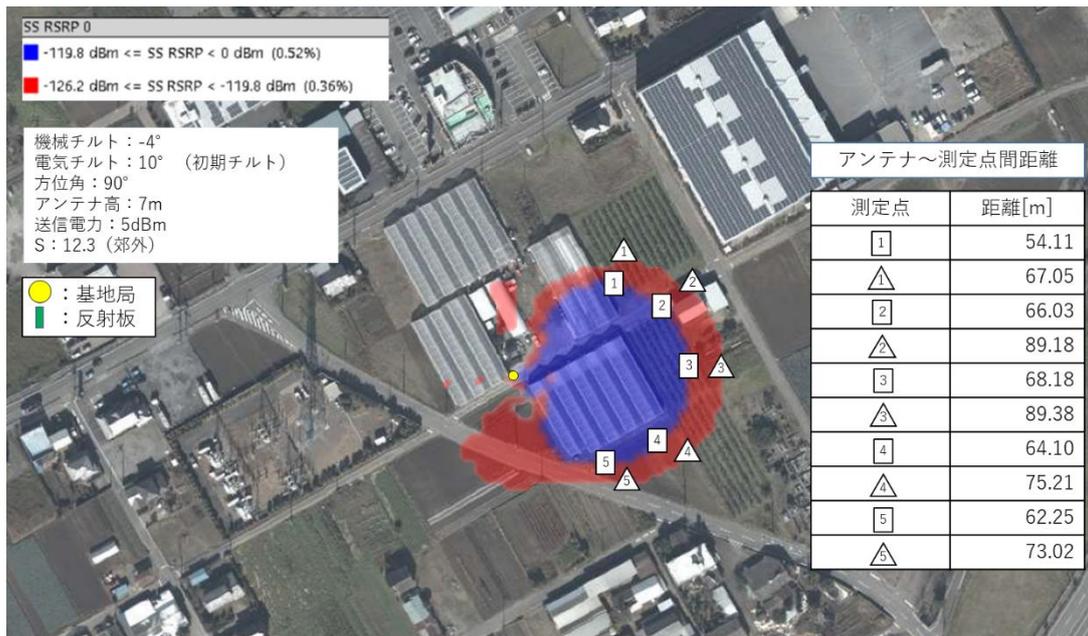


図 3-100 反射板設置前のカバーエリア及び調整対象区域内の測定ポイント
(内容変更後)

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

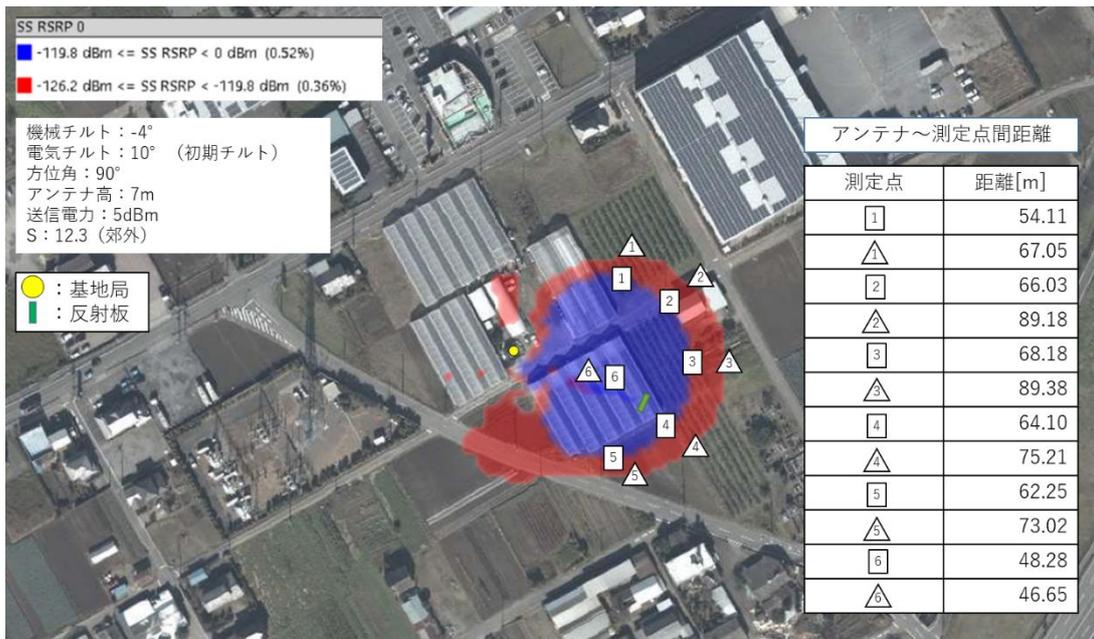


図 3-101 反射板設置後のカバーエリア及び調整対象区域内の測定ポイント
（内容変更後）
（国土地理院（電子国土 Web）（URL：https://maps.gsi.go.jp/）のデータを使用して作成）

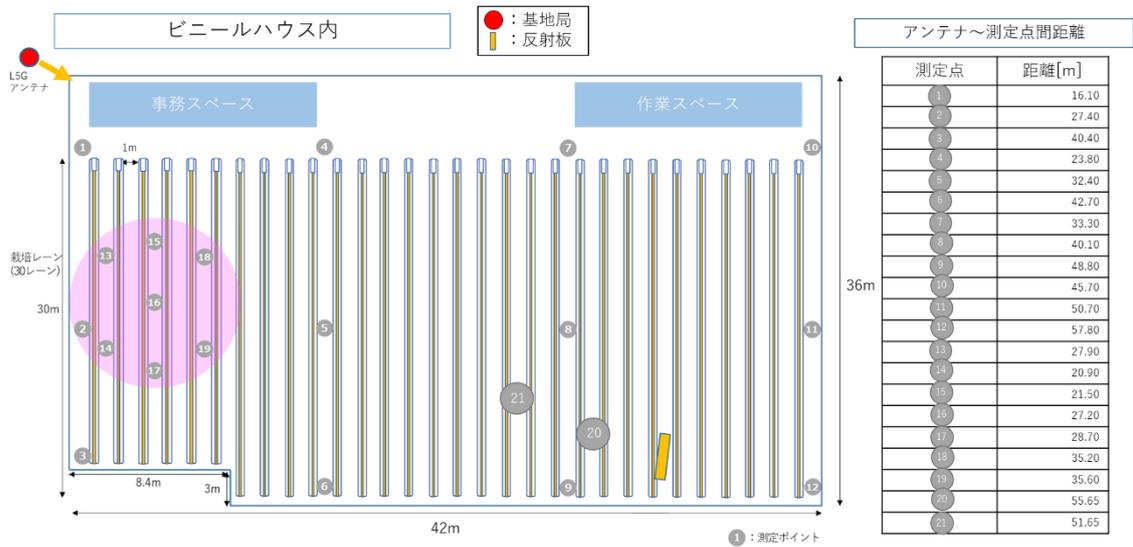


図 3-102 ビニールハウス内の測定ポイント（内容変更後）

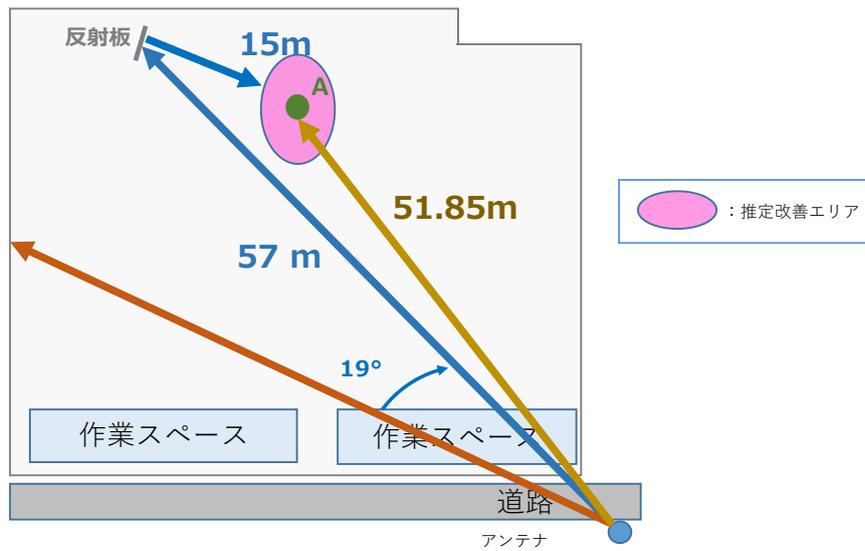


図 3-103 反射板推定改善エリア（内容変更後）

他、測定項目および測定方法等については変更せず、「3.3.3.3 評価・検証項目」および「3.3.3.4 評価検証方法」の通り実施しました。

以降、実証結果および考察について記載します。

電波反射板未設置時の各測定ポイントにおいて、測定ポイントの情報および受信電力・伝送性能の測定結果を下記に示します。

表 3-50 測定ポイントに関する情報

測定ポイント	基地局との3D距離 (m)	基地局と反射板との3D距離 (m)	反射板と端末(測定器)との3D距離(m)	反射板への入射角 (deg)	反射板からの反射角 (deg)
1	17.01	86.76	41.08	19.00	19.00
2	27.95	86.76	34.17	19.00	19.00
3	40.77	86.76	33.18	19.00	19.00
4	24.43	86.76	45.05	19.00	19.00
5	32.86	86.76	39.60	19.00	19.00
6	43.05	86.76	16.23	19.00	19.00
7	33.75	86.76	29.17	19.00	19.00

測定ポイント	基地局との 3D 距離 (m)	基地局と反射板との 3D 距離 (m)	反射板と端末 (測定器)との 3D 距離 (m)	反射板への入射角 (deg)	反射板からの反射角 (deg)
8	40.48	86.76	19.18	19.00	19.00
9	49.11	86.76	11.50	19.00	19.00
10	46.03	86.76	23.73	19.00	19.00
11	51.00	86.76	20.71	19.00	19.00
12	58.06	86.76	9.48	19.00	19.00
13	28.44	86.76	34.85	19.00	19.00
14	21.61	86.76	38.61	19.00	19.00
15	22.19	86.76	39.60	19.00	19.00
16	27.75	86.76	34.65	19.00	19.00
17	29.22	86.76	34.82	19.00	19.00
18	35.63	86.76	28.17	19.00	19.00
19	36.02	86.76	29.93	19.00	19.00
20	55.92	86.76	3.36	19.00	19.00
21	51.85	86.76	7.50	19.00	19.00
カバーエリア 1	54.40	86.76	58.20	19.00	19.00
カバーエリア 2	66.25	86.76	49.15	19.00	19.00
カバーエリア 3	68.41	86.76	25.20	19.00	19.00
カバーエリア 4	64.35	86.76	10.13	19.00	19.00
カバーエリア 5	62.55	86.76	25.03	19.00	19.00
カバーエリア 6	48.58	86.76	8.40	19.00	19.00
調整対象区域 1	67.26	86.76	73.58	19.00	19.00
調整対象区域 2	89.35	86.76	72.11	19.00	19.00
調整対象区域 3	89.57	86.76	40.26	19.00	19.00

測定ポイント	基地局との 3D 距離 (m)	基地局と反射板との 3D 距離 (m)	反射板と端末 (測定器) との 3D 距離 (m)	反射板への入射角 (deg)	反射板からの反射角 (deg)
調整対象区域 4	75.44	86.76	19.34	19.00	19.00
調整対象区域 5	73.27	86.76	25.62	19.00	19.00
調整対象区域 6	47.02	86.76	10.92	19.00	19.00

表 3-51 反射板設置前の受信電力・伝送性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	通信品質 SIR (dB)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (40Mbps) [所要性能との差分]	DL スループット (Mbps)	伝送遅延 往復 (ms)	伝送遅延 片道 (ms)	伝送遅延 (30ms) [所要性能との差分]
1	-102.13	18.54	41.09	-1.09	44.90	31.60	15.80	-14.20
2	-107.25	14.70	45.97	-5.97	44.74	31.45	15.73	-14.28
3	-111.15	5.78	44.74	-4.74	44.97	31.47	15.73	-14.27
4	-105.21	15.19	45.99	-5.99	37.75	30.53	15.26	-14.74
5	-100.62	19.13	45.50	-5.5	37.76	29.91	14.96	-15.04
6	-103.65	17.48	45.78	-5.78	37.75	30.75	15.38	-14.62
7	-98.44	19.99	45.86	-5.86	45.00	30.86	15.43	-14.57
8	-103.11	17.80	39.04	0.96	45.00	31.73	15.86	-14.14
9	-125.06	-1.87	44.83	-4.83	44.91	30.64	15.32	-14.68
10	-110.03	8.49	45.96	-5.96	38.99	33.00	16.50	-13.50
11	-107.34	13.06	39.51	0.49	37.75	33.05	16.53	-13.47
12	-109.04	13.23	36.75	3.25	37.70	測定不可	測定不可	測定不可
13	-110.41	11.48	45.95	-5.95	44.93	32.57	16.28	-13.72
14	-109.09	12.93	44.51	-4.51	45.01	33.12	16.56	-13.44
15	-104.10	16.36	45.82	-5.82	45.00	37.43	18.71	-11.29
16	-111.23	11.07	45.82	-5.82	44.94	32.67	16.33	-13.67
17	-97.07	20.28	45.58	-5.58	45.00	32.83	16.41	-13.59
18	-99.93	18.45	45.98	-5.98	44.92	33.02	16.51	-13.49
19	-106.43	15.15	45.87	-5.87	45.00	31.24	15.62	-14.38
20	-121.55	2.93	36.34	3.66	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
21	-122.31	2.23	22.84	17.16	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
カバーエリア1	-114.66	8.01	43.22	-3.22	37.43	測定不可	測定不可	測定不可
カバーエリア2	-104.11	16.76	21.84	18.16	37.90	32.05	16.03	-13.97

測定ポイント	受信電力 (dBm)	通信品質 SIR (dB)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (40Mbps) [所要性能との差分]	DL スループット (Mbps)	伝送遅延 往復 (ms)	伝送遅延 片道 (ms)	伝送遅延 (30ms) [所要性能との差分]
カバーエリア 3	-112.10	10.51	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
カバーエリア 4	-112.84	9.68	7.12	32.88	37.42	測定不可	測定不可	測定不可
カバーエリア 5	-105.68	16.01	43.42	-3.42	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
カバーエリア 6	-103.81	17.20	45.17	-5.17	44.67	28.70	14.35	-15.65
調整対象区域 1	-114.69	6.54	39.87	0.13	35.46	測定不可	測定不可	測定不可
調整対象区域 2	-101.65	11.26	22.07	17.93	37.89	33.32	16.66	-13.34
調整対象区域 3	-114.07	5.90	11.45	28.55	36.03	測定不可	測定不可	測定不可
調整対象区域 4	-122.25	0.12	36.68	3.32	37.26	測定不可	測定不可	測定不可
調整対象区域 5	-110.86	11.80	38.19	1.81	37.43	測定不可	測定不可	測定不可
調整対象区域 6	-99.91	19.45	45.67	-5.67	44.87	34.48	17.24	-12.76

表 3-52 反射板設置後の受信電力・伝送性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	通信品質 SIR (dB)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (40Mbps) [所要性能との差分]	DL スループット (Mbps)	伝送遅延 往復 (ms)	伝送遅延 片道 (ms)	伝送遅延 (30ms) [所要性能との差分]
1	-100.34	19.48	45.54	-5.54	37.51	31.80	15.90	-14.10
2	-106.98	15.76	46.11	-6.11	37.49	32.63	16.32	-13.68
3	-108.03	15.09	46.08	-6.08	37.69	31.90	15.95	-14.05
4	-96.54	20.50	46.00	-6	37.47	32.33	16.17	-13.83
5	-97.92	20.29	45.99	-5.99	37.71	30.83	15.42	-14.58
6	-105.40	17.32	46.02	-6.02	37.70	38.12	19.06	-10.94
7	-105.11	17.12	22.30	17.7	37.89	31.60	15.80	-14.20
8	-99.75	20.10	22.56	17.44	37.89	32.55	16.28	-13.73
9	-108.88	14.88	22.70	17.3	37.90	37.50	18.75	-11.25
10	-103.23	18.52	46.02	-6.02	44.69	30.41	15.21	-14.79
11	-105.17	17.42	45.94	-5.94	44.68	28.82	14.41	-15.59
12	-110.83	13.26	40.89	-0.89	37.43	測定不可	測定不可	測定不可
13	-100.91	19.16	46.04	-6.04	37.49	31.05	15.53	-14.48
14	-106.53	16.14	46.02	-6.02	37.50	31.22	15.61	-14.39
15	-104.91	17.09	44.84	-4.84	37.47	31.77	15.88	-14.12
16	-104.82	17.05	42.70	-2.7	37.69	32.19	16.09	-13.91
17	-98.54	20.22	46.02	-6.02	37.48	32.50	16.25	-13.75
18	-96.57	20.77	46.12	-6.12	37.47	31.73	15.86	-14.14
19	-115.63	8.57	46.07	-6.07	37.48	30.92	15.46	-14.54
20	-120.77	3.69	26.53	13.47	36.93	35.83	17.92	-12.08
21	-114.43	9.82	40.60	-0.6	37.45	30.30	15.15	-14.85
カバーエリア1	-104.99	17.01	43.22	-3.22	37.43	測定不可	測定不可	測定不可
カバーエリア2	-100.73	19.33	21.84	18.16	37.90	32.05	16.03	-13.97

測定ポイント	受信電力 (dBm)	通信品質 SIR (dB)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (40Mbps) [所要性能との差分]	DL スループット (Mbps)	伝送遅延 往復 (ms)	伝送遅延 片道 (ms)	伝送遅延 (30ms) [所要性能との差分]
カバーエリア 3	-116.80	6.64	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
カバーエリア 4	-120.44	2.77	7.12	32.88	37.42	測定不可	測定不可	測定不可
カバーエリア 5	-118.06	5.16	43.42	-3.42	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
カバーエリア 6	-104.17	14.07	16.56	23.44	44.67	28.70	14.35	-15.65
調整対象区域 1	-116.07	7.54	39.87	0.13	35.46	測定不可	測定不可	測定不可
調整対象区域 2	-112.21	10.95	22.07	17.93	37.89	33.32	16.66	-13.34
調整対象区域 3	-118.15	5.11	11.45	28.55	36.03	測定不可	測定不可	測定不可
調整対象区域 4	-112.19	10.77	36.68	3.32	37.26	測定不可	測定不可	測定不可
調整対象区域 5	-106.52	12.30	38.19	1.81	37.43	測定不可	測定不可	測定不可
調整対象区域 6	-106.97	14.98	45.96	-5.96	44.68	31.27	15.63	-14.37

上記の結果から、実証目的である不感地帯での受信電力改善に対する電波反射板の有効性評価を実施します。「表 3-51」「表 3-52」を見ると、測定ポイント 21 において、受信電力および伝送性能の改善が見られます。下記に結果を抜粋し示します。

受信電力：-122.31dBm → -114.43dBm (7.9dB の改善)

UL スループット：22.84Mbps → 40.60Mbps (17.8Mbps の改善)

DL スループット：測定不可 → 37.45Mbps

非常に狭いエリアではありますが、反射板によるエリア改善効果が見られる結果となりました。また、本ユースケースの所要性能に達する結果となりました。なお、測定ポイント 21 と同様に、栽培レーンの影となるエリアである測定ポイント 20 については、反射板設置後の受信電力が-120.77dBm となり、設置前の受信電力-121.55dBm からほとんど改善しない結果となりました。これは、測定ポイント 20 が測定ポイント 21 に比べ、反射板に近い距離であったため、基地局-反射板および反射板-測定ポイントでの角度を考慮すると、反射波を十分に受信出来なかったものと推測されます。

続いて、本ユースケースにおける総合的な電波反射板の有効性評価を行います。上記の結

果から、ビニールハウス内のイチゴの栽培レーン間に生じる不感地帯に対して、局所的にエリア改善を行うことが可能といえますが、一方で、反射板のビーム幅が 2° と非常に狭域であったことから、面的なエリア改善は難しく、反射板利用によるエリア改善の効果は限定的であるといえます。反射板の設計上、その寸法を小さくし、面積を狭くすることにより、ビーム幅を広げることが可能ですが、その場合には、反射波の電波強度がより弱いものとなるため、受信電力に関するエリア改善効果が小さくなると考えられます。ミリ波よりも直進性が弱く、広い範囲にエリアカバーの確保が可能なSub6の特性も考慮すると、本ユースケースにおける不感地帯へのエリア改善において、反射板を利用することは最適解ではないと考えられます。

本実証では金属反射板を設置し、設置前後の受信電力・伝送性能の比較のみ行ったため、複数種類の反射板を設置した際の改善効果の比較や、反射板設置角度調整による柔軟性の検証は今後の課題となります。複数種類の反射板検証については、本実証では金属板を使った検証のみ実施しましたが、メタマテリアル反射板を使用することで反射波の方向やビーム形状を任意に設計することが可能なため、より詳細かつ広域でのエリア改善効果が期待できると考えます。例えば本実証フィールドであるいちご畑花園のビニールハウスは縦36m、横42m程の広さとなっており、仮に今回の反射板の設置位置から、30m先の位置で5m幅のエリア改善をする場合、約 10° 程度のビーム幅で改善が可能となりますが、これはメタマテリアル反射板を用いて拡散反射することで実現できると考えられます。また、反射板設置角度調整については、受信レベルを確認しながら反射板の水平角、チルト角を調整し電波の反射方向を変え最適な角度に調整したうえで設置することで不感地帯における受信電力・伝送性能の改善効果を向上することが期待されます。

以上の可能性より、仮に本ユースケースにて反射板の角度調整やメタマテリアル反射板を導入した際の反射板有用性について考察します。まず受信レベルを確認しながら反射板の角度調整を実施することで、一定の受信電力・伝送性能の改善は図れるものの、狭域のエリア改善にとどまるという点では変わりなく、有用でないと考えます。より広域のエリア改善には、やはりメタマテリアル反射板が有効と考えられますが、本ユースケースのようにいちごの栽培棚の陰となる不感エリアを面的に改善するには、複数枚のメタマテリアル反射板の設置が必要となり、作物の生育に重要な日光の妨げになり得る他、農業従事者の作業の妨げとなることが懸念されます。また、複数枚設置することでコスト面の増大にもつながり、反射板の設置容易性・低コストというメリットが発揮されない可能性があると考えます。本実証のようにビニールハウスの栽培棚の陰となるエリアを面的に改善する場合には、中継器をハウス天井に設置し上から電波照射することが有効な改善策ではないかと考えます。ハウス内部に中継器を設置する場合は、夏場の高温環境に対する冷却対策や電源工事、コストの考慮は必要となるものの、メタマテリアル反射板を複数枚設置しエリア改善を図る手法と比較した場合には中継器の導入が有効な手段であると考えます。以上より、仮に反射板の角度調整、メタマテリアル反射板を使用した場合も本ユースケースにおいては反射板活用は最適解ではないと考えられます。

次に、エリア算出式で作成したカバーエリアと調整対象区域と実測データを比較した結果を下記に示します。なお、下記の図における測定ポイント⑥については、反射波に関する測定ポイントのため、他の測定ポイントとは異なり屋内にて測定したものととなります。



図 3-104 反射板設置後 閾値が実測された基地局相当の無線局からの距離 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

反射波によってカバーエリアおよび調整対象区域は広がりましたが、エリア算出法での閾値と各測定ポイントでの実測値に乖離が生じました。その理由については、

「3.3.1.4 実証結果及び考察」「3.3.2.5 実証結果及び考察」にて記載の通り、本実証では周辺環境を考慮し、郊外地である S=12.3 を適用させ、カバーエリアおよび調整対象区域を算出しましたが、実際の基地局の周辺環境においては、遮蔽物となりうるような建物が存在せず、唯一の遮蔽物であるビニールハウスについても電波減衰が少なかったため、結果的に開放地である S=32.5 に近いカバーエリアとなったと考えられます。

次に、電波反射板を設置する際の設計手順について記載します。電波反射板を設置・検討する上で以下の工程が必要になると考えます。

①机上検討

机上検討にて、下記の「表 3-53」に記載の項目について、整理・検討する。

表 3-53 机上検討 チェックリスト

No	チェック内容	チェック
1	RU 諸元	<input type="checkbox"/>
2	外部アンテナの有無(有り場合はアンテナ諸元)	<input type="checkbox"/>
3	設置環境(屋内/屋外)	<input type="checkbox"/>
4	遮蔽物の状況(樹木の有無、建物の有無等)	<input type="checkbox"/>
5	環境条件(雨・雪などの自然環境、市街地、郊外地、開放地等)	<input type="checkbox"/>
6	設置場所・位置の状況(支持材の有無、荷重計算等)	<input type="checkbox"/>
7	設置方法	<input type="checkbox"/>

8	対象エリア情報(カバーしたいエリアの広さ)	<input type="checkbox"/>
9	反射板設置角度(俯仰角度、水平角度)	<input type="checkbox"/>
10	不感エリアの改善検討(受信電力、スループット等)	<input type="checkbox"/>

②現地調査

現地調査にて、下記の「表 3-54」に記載の項目について、確認を行う。

表 3-54 現場調査 チェックリスト

No	チェック内容	チェック
1	フレネルゾーン半径内の障害物の有無	<input type="checkbox"/>
2	不感エリア状況の確認(受信電力、スループット等)	<input type="checkbox"/>
3	設置環境(屋内/屋外)	<input type="checkbox"/>
4	遮蔽物の確認(樹木の有無、建物の有無等)	<input type="checkbox"/>
5	環境条件(雨・雪などの自然環境、市街地、郊外地、開放地等)	<input type="checkbox"/>
6	設置場所・位置の検討(既設建造物の状況、高さ、材質、寸法)	<input type="checkbox"/>
7	設置方法の検討(設置に必要な鋼材などの選定)	<input type="checkbox"/>
8	反射板のサイズ、材質の検討	<input type="checkbox"/>
9	反射板設置金具	<input type="checkbox"/>
10	金物可変範囲(俯仰角度、水平角度)	<input type="checkbox"/>

③シミュレーション

下記の「表 3-55」に記載の項目について考慮した上で、シミュレーションソフトを活用し、反射板の設置前後のエリア改善効果についてシミュレーションを実施する。

表 3-55 シミュレーション チェックリスト

No	チェック内容	チェック
1	RU の送信出力	<input type="checkbox"/>
2	アンテナパターン	<input type="checkbox"/>
3	設置環境(屋内/屋外)	<input type="checkbox"/>
4	遮蔽物の状況(樹木の有無、建物の有無等)	<input type="checkbox"/>
5	フレネルゾーン半径内の障害物の有無	<input type="checkbox"/>

④設計・製作

現地調査した結果を踏まえ、下記の「表 3-56」に記載の項目について検討の上、反射板の設計・製作を実施する。

表 3-56 設計・製作 チェックリスト

No	チェック内容	チェック
1	反射板材質・大きさ	<input type="checkbox"/>
2	反射板設置金具	<input type="checkbox"/>
3	反射板支持金具	<input type="checkbox"/>
4	金物可変範囲(俯仰角度、水平角度)	<input type="checkbox"/>
5	反射ビーム幅(反射板の枚数、角度)	<input type="checkbox"/>

⑤設置・調整

現地調査時より、環境（自然／構造物）が変化していた場合は設置場所の調整、設置方法の再検討を行う。また、受信レベルを確認しながら反射板の角度を上下左右に調整できる範囲で動かし最良の角度で反射板を固定する。その実測作業でシミュレーションとの比較を行い、想定と異なる結果であった場合は方位角や、反射板のチルトなどを変更し、実測値の変化を確認する。

次に、モデル化した電波反射板を設置する際のエリア設計手法について記載します。

1) エリア設計の条件

1. 反射板の設置位置に、一定程度の強電界の電波が受信出来ること
※本実証では、100～119.8dBmのエリアで選定
2. 反射板は設置可能な場所かつ「基地局～反射板」、「反射板～エリア改善ポイント」間にて遮蔽物が最小となる位置に設置
3. エリア改善したいポイントが直接波の影響が少ない箇所（マルチパスは考慮しない）

2) エリア設計モデルの概要

1. 「基地局から反射板まで」及び「反射板からエリア改善ポイントまで」の2区間に分けて設計する。
2. 区間内での伝搬損失は自由空間伝搬損失によって算出する。
3. 「基地局から反射板まで」の区間では反射板を受信アンテナとして扱い、反射板に到達する電力を受信電力として算出する。
4. 「反射板からエリア改善ポイントまで」の区間は反射板を送信アンテナとして扱う。反射板に到達する電力を送信電力として、反射板でカバーするエリアにおける受信電力を算出する。

3) エリア設計モデルに用いるパラメータ

エリア改善したいエリアの広さ、形状によって反射板のサイズ、反射板の枚数を検討する必要があります。本実証では500mm×500mmの反射板を6枚使用してビーム幅が約2°程度の反射波を利用し、近接ポイントの受信電界の改善を確認しました。反射波の利得を変更したい場合は、反射板のサイズを大きくする事で、以下の通り反射板の利得が上がると考えられます。

周波数：4850MHz 波長 λ ：61.81287794 mm D：1500 mm の場合

反射板利得 = $20 \cdot \log(4\pi \eta A_e / \lambda^2)$ より

反射板サイズ：1.0m×1.0m → 70.1dB

反射板サイズ：1.0m×1.5m → 73.7dB

反射板サイズ：1.5m×1.5m → 77.2dB

また、以下「表 3-57」にモデル化に必要と考えるパラメータをまとめました。

表 3-57 モデル化に必要なパラメータ

基地局	移動局	反射板	距離
使用周波数[MHz]	受信アンテナ利得[dBi]	横の寸法[m]	基地局から反射板まで [m]
送信電力[dBm]		縦の寸法[m]	反射板から反射板でカ バーするエリアまで[m]
送信アンテナ利得[dBi]		設置 Azimuth 角[°]	
送信指向性にかかる減 衰[dB]		設置 Elevation 角[°]	
給電線損失[dB]		反射効率[%]	
		反射板利得 [dB]	

4) エリア設計モデルの算出例

本実証における実環境へエリア設計モデルを適用します。今回エリア改善が見られた測定ポイント 21 にて検証を行います。

1. 「基地局から反射板まで」の区間における反射板に到達する電力の算出

反射板に到達する電力は電波法関係審査基準の回線設計において受信電力として扱い、次の式から算出します。

$$P_{r1} = P_t + G_t - L_D - L_f - L_1$$

各パラメータについては以下の通りです。

P_{r1} ：反射板に到達する電力[dBm]

P_t ：送信電力[dBm]

G_t ：送信アンテナ利得[dBi]

L_D ：送信指向性にかかる減衰[dB]

L_f ：給電線損失[dB]

L_1 ：「基地局から反射板まで」の区間における空間伝搬損失[dB]

本実証において基地局のパラメータから、 $P_t=5$ [dBm]、 $G_t=17.5$ [dBi]、 $L_D=20.6$ [dB]、 $L_f=1.07$ [dB]となります。

L_1 は完全な見通しがある状態でフレネル半径内に障害物がなく、マルチパスは考慮しないという算出条件から、次の自由空間伝搬損失式から算出します。

$$L_1 = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_1}{\lambda} \right)$$

d_1 は基地局から反射板までの距離[m]で本実証では 56.43[m]になります。 λ は使用する電波の波長で本実証では 0.062[m]になります。よって $L_1=81.17$ [dB]と算出されます。したがって、「基地局から反射板まで」の区間における反射板に到達する電力 P_{r1} は-62.14[dBm] (SS-RSRP 換算：-97.29[dBm])となります。

2. 「反射板からエリア改善ポイントまで」の区間におけるエリア改善ポイントに到達する電力の算出

反射板でカバーするエリアにおける受信電力は次の式から算出する。

$$P_{r2} = P_{r1} - L_2 + G_r + G_R$$

各パラメータについては以下の通りです。

P_{r2} ：エリア改善ポイントにおける受信電力[dBm]

P_{r1} ：1. で算出した「基地局から反射板まで」の区間における反射板に到達する電力 (=反射板からの送信電力[dBm])

L_2 ：「反射板からエリア改善ポイントまで」の区間における空間伝搬損失[dB]

G_r ：受信アンテナ利得[dBi]

G_R ：反射板利得[dBi]

本実証においては、1. より $P_{r1}=-62.14$ [dBm]となります。

今回使用したエリアテストのアンテナ利得は $G_r=0.4$ [dBi]になります。 L_2 は完全な見通しがある状態でマルチパスは考慮しない、反射指向性は反射板実効面積で一様の開口分布のもの、という算出条件から、次の自由空間伝搬損失式から算出します。

$$L_2 = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_2}{\lambda} \right)$$

d_2 は反射板からエリア改善ポイントまでの距離[m]で本実証では 7.5[m]になります。

λ は使用する電波の波長で本実証では 0.062[m]になります。よって、 $L_2=63.64$ [dB]と算出されます。

G_R は反射効率から生じる損失を含め、73.7[dB]となっております。

したがって、「反射板からエリア改善ポイントまで」の区間におけるエリア改善ポイントに到達する電力 P_{r2} は-51.68[dBm] (SS-RSRP 換算：-86.83[dBm])となります。

- 5) エリア設計モデルによって算出した値と実測値の比較

最後に、1)～4)にて示したエリア設計モデルを本実証にて適用した場合の結果について記

載します。エリア改善ポイント（想定不感地帯）である測定ポイント 20, 21 について、算出値及び実測値の比較を以下の「表 3-58」に示します。

表 3-58 エリア設計モデルによって算出した値と実測値の比較

測定ポイント	受信電力算出値 [dBm]	SS-RSRP 算出値 [dBm]	SS-RSRP 実測値 [dBm] ※平均値	差分 [dB] (算出値-実測値)
20	-44.70	-79.85	-120.77	-40.92
21	-51.68	-86.83	-114.43	-27.61

上記の通り、エリア設計モデルによる算出値と実測値の間に大きな乖離が発生する結果となりました。ここで、反射板の位置での受信電力実測値を引用すると、-112.50 [dBm] という値が得られており、「4) エリア設計モデルの算出例」で算出した想定を受信電力値-97.29 [dBm] よりも低い値となっていることが分かります。今回のエリア設計モデルにおいては、自由空間伝搬損失式にて反射板での受信電力を算出しているため、伝送経路上に存在するビニールハウスの被覆材や鋼材、農園設備等により発生した遮蔽損失が乖離を引き起こしていると推測されます。したがって、今後、より精緻なエリア設計モデルとするためには、実際の環境に合わせた形での算出を行う必要があると考えます。

次に、設置の容易性やコストを、電波反射板を使用しない解決方法と比較し、電波反射板が有効となる条件や使い方を示します。比較結果を以下に示します。

表 3-59 設置の容易性比較結果

評価項目	電波反射板 (反射板材質：金属板(アルミ合金板))	簡易基地局	中継器 (リピータ)	アンテナ張出 (アンテナのみを張り出して、装置は地上の収容函等に設置する構成を想定)
設置位置(アクセス容易、面積)	アクセス容易性：容易 面積：数 m×数 m の空きスペースがあり、かつ反射板の取付金具が支持可能な鋼材がある事。	アクセス容易性：やや困難。高所の場合は別途、高所作業車要。 面積：5～10m 四方の空きスペースが必要	アクセス容易性：比較的容易(平地の場合)。高所の場合は別途、高所作業車要 面積：数 m×数 m の空きスペースが必要	アクセス容易性：比較的容易(平地の場合)。高所の場合は別途、高所作業車要 面積：数 m×数 m の空きスペースが必要
電源の必要性	不要	必要(AC 電源)	必要(AC 電源)	不要
伝送路の必要性	不要：自由空間	必要(光、電気の伝送路)	必要(電気、同軸の伝送路)	必要(同軸の伝送路)

評価項目	電波反射板 (反射板材質：金属板(アルミ合金板))	簡易基地局	中継器 (リピータ)	アンテナ張出 (アンテナのみを張り出して、装置は地上の収容函等に設置する構成を想定)
施工の容易性	難易度低 (平地、地面から1.5m程度の高さを想定)	難易度高	難易度中	難易度中
導入リードタイム	設計～製作まで、3～4ヶ月程度	設計～製作まで、5～6ヶ月程度	設計～製作まで、3～4ヶ月程度	設計～製作まで、4～5ヶ月程度
移設の容易性	容易	困難	比較的容易	比較的困難
総合評価	◎	△	○	△
電波反射板が有効となる条件や使い方	電波反射板を設置する位置に、強電界の電波が届く場所であつ、反射板を支持する為の構造物(梁などの鋼材)が存在する場合。			

表 3-60 設置のコスト比較結果

評価項目	電波反射板 (反射板材質：金属板(アルミ合金板))	簡易基地局 (RU)	中継器 (リピータ)	アンテナ張出 (アンテナのみを張り出して、装置は地上の収容函等に設置する構成を想定)
設備費用	50万～数百万程度	数百万～1千万程度	100万～数百万程度	100万～数百万程度
設備施工費用	10万～数十万程度	100万～500万程度	数十万～100万程度	数十万～100万程度
付帯設備費用(電源、コン柱等)	不要 ※反射板を支持する鋼材が存在する想定	数十万～100万程度	数十万～100万程度	数十万～100万程度
付帯設備施工費用(電源、コン柱等)	不要 ※反射板を支持する鋼材が存在する想定	数百万～500万程度	数十万～100万程度	数十万～100万程度
伝送設備費用(光、無線)	不要	数十万～100万程度	10万～数十万程度	10万～数十万程度
伝送設備施工費用(光、無線)	不要	数百万～500万程度	数十万～100万程度	数十万～100万程度
運用・保守費用	50万～100万 ※反射板が破損、故障想定	100万～数百万程度 ※コン柱上の機器や、伝送路の破損や高所作業での場合を想定	数十万～100万程度 ※設置箇所が高所で、高所作業車を利用して交換を実施する想定	数十万～100万程度 ※設置箇所が高所で、高所作業車を利用して交換を実施する想定
概算合計金額	100万～数百万程度	1千万～数千万程度 ※5GC、CDU、GPSなどの機器は含めず	数百万程度～1千万程度	数百万程度～1千万程度
総合評価	◎	△	○	○
電波反射板が有効となる条件や使い方	予算の上限が数百万程度で、新規で基地局開設が困難な場合。 不感地帯が反射板の反射面方向にあり、反射板からの距離が数十m以内の場合。			

本ユースケースでの検証結果および分析・考察を踏まえ、電波反射板活用に適したユースケースの提案を行います。

山地が多い日本では山岳地、丘陵地など比較的農作業が困難な山地エリアでのローカル 5G 活用が期待されますが、基地局を開設するには、基地局を設置するスペース、伝送路（光、電気）が課題になるとともに、費用の観点からも簡単には基地局の増設が困難であ

ると想定されます。山地エリアの農業の場合、田畑の広さを想定すると最低でも 10m×10m 程度の広さを反射波でカバーする必要があると想像しますが、本実証では 6 枚の金属板から反射板 (1.0m×1.5m) を合成して、ビーム幅を 2[deg]程度の反射波を利用し、狭域での受信電界の改善効果を得るに留まったため、より多くの金属板によって反射板を構成し、各反射板で方位角、チルトを調整出来るようにする事で、より広範なエリア改善を実現し、基地局開設が困難な山地エリアの農業に対するローカル 5G の活用に寄与できると考えます。

例として以下では 10m×10m 程度の広さを反射波でカバーする場合に必要な反射板のサイズについて具体的に検討します。前述のエリア設計モデルを用いて、仮に反射板を本実証で使用した反射板の 2 倍の 12 枚で構成し、角度調整する事で 4[deg]のビーム幅を確保した場合を考察します。幅 10m までビーム幅が広がるには約 150m の離隔を必要とします。150m 離れた位置までの自由空間伝搬損失は約 89.68dB です。

<算出条件>

- ・ 送信出力 17[dBm]
- ・ 基地局から反射板までの距離 56.43[m]
- ・ 反射板への入射波 -62.14[dBm]
- ・ 反射板利得 73.7[dB]
- ・ 受信アンテナ利得 0.4[dBi]

150m 先の位置での受信電力は-112.87dBm と算出できます。これは回線設計上のカバーエリアの閾値である受信電力-119.75dBm を上回る数値となります。従って、反射板 12 枚、ビーム幅 4[deg]、離隔 150m という条件下で、10m×10m のエリアをカバーできるものと考えます。ただし、環境条件としては、RU と反射板および反射板と改善エリア (10m×10m) の間において十分見通しが確保出来ていること、が条件に挙げられます。

また、工場でのユースケースを考慮しても、取り扱う化学物質や、発生する粉塵、使用する化学溶剤等により基地局の設置が困難なケースが想定されます。その様な過酷な環境下では、基地局設備への物理的ダメージや、クリーンルームといった特殊環境下へのエリアまでの伝送路を構築することが困難で、ローカル 5G によるエリアカバーが難しい状況が起こりえると考えられます。この様な環境下では今回用いたような反射板の活用が極めて有効だと考えられます。反射板であれば精密機器に比べ、化学物質、粉塵、化学溶剤等の影響を受けにくく、反射板を支持する構造物さえ準備できれば、利用は可能であると推察出来ます。また、電源も不要なため、クリーンルームの様な特殊な環境下でも伝送路が不要であることから、基地局の設置が困難であっても、反射板の設置が可能であると考えます。

前述の通り、本実証では反射板のビーム幅が 2[deg]程度と狭域の反射波ではありますが、利用する箇所を特定し、反射板のサイズを検討する事で、ローカル 5G の活用に寄与できると考えます。

3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発

3.3.4.1 実証の目的・目標

(1) 背景となる技術的課題と実証目的

本実証では、高精細カメラによるイチゴの生育状況等の撮影や、顧客誘導システムで用いる複数台のカメラでの撮影等で、ローカル 5G 経由で大量の映像データの伝送を行うため、上りスロットの多い準同期パターンを必要とします。令和 2 年度地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証における「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等の実現」では準同期 TDD1 での上りスループットが 30Mbps 程度であり、全体的な性能改善が要求されると同時にユースケースとしてもさらに上りスループットの改善が望まれる結果でした。一般的に、上りスループットが改善されることにより、ユースケースの多様化、複数同時利用による効率化が期待できます。そのため、本実証では高精細カメラ等の映像伝送を複数台同時に行うことを目的とし、追加準同期パターンである「準同期 TDD2」を開発の上、性能を検証しました。

また、令和 2 年度 12 月に改訂された「ローカル 5G 導入ガイドライン」では準同期運用は全国 MNO 含む同期局との事前の干渉調整を省略することが可能とされていますが、ここで該当するのは制度化済準同期パターンの「準同期 TDD1」のみであり、今回検証する追加準同期パターンについては干渉調整について整理する必要があります。本実証フィールドでは、ローカル 5G 基地局 2 基でそれぞれ同期局、準同期局として実証を行うことで、他のローカル 5G 同期局（同一周波数、屋外）を想定した干渉評価を行いました。その上で、各干渉パターンを検討の上、実際に測定することで、干渉検討について考察を行い、離隔距離等の共用検討に対する具体的な技術基準の改訂への提言をまとめました。

(2) 実証目標

本実証の目標としては、追加準同期パターン「準同期 TDD2」を開発し、実証フィールドで実際に電波を送信することとしました。準同期 TDD2 を実証フィールドにて測定し、同期運用と比較した上りスループットの改善量を測定するとともに、ローカル 5G 同期局との干渉検討を複数のパターンで測定しました。

3.3.4.2 実証仮説

情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（令和2年7月）第4章4.7GHz帯における5Gシステムと他システムとの干渉検討及び移動通信システム相互間の干渉検討「4.2 移動通信システム相互間における干渉検討」において、同一周波数帯を利用するローカル5G同期局と非同期で運用する場合の検討が行われております。同報告書の干渉検討結果まとめでは、屋外環境における基地局間干渉についてはNLOS環境となるようなサイトエンジニアリングを行うことで共用は可能な範囲と考えられており、更に、基地局タイプの選択、基地局の送信電力や空中線利得、空中線指向特性等を調整することで、更なる離隔の短縮が期待されるとしています。また、非同期運用の与干渉局が準同期運用を行う場合、準同期運用の基地局が、同期運用の基地局からの干渉を受けることとなるが、準同期運用の基地局アンテナの向きや離隔の確保、遮蔽対策等を行うことで、干渉を低減することができると記載されています。一方、移動局間干渉については屋外利用においてNLOS条件で最大10m程度の離隔で共用可能と考えられていますが、このデータは非同期運用前提のため、準同期運用下では共用条件はより緩和されるものと考えます。上述の報告書では最後に、「実利用における離隔の実態や近接時の事業者間調整等は、今後の運用で実績が蓄積されていくことから、当初の干渉検討の設定条件等についても、その妥当性が段階的に評価されることが想定されます。従って、同一周波数を使用するローカル5G同士の共存における設定条件等については、同期・非同期条件を含めて今後、必要に応じて再検討していくことが適当であると考えられる。」と締めくくられており、本実証がその検討に対し有意義なデータを提供できるものと考えます。

本実証ではローカル5G基地局2基を設置し、それぞれ同期局または準同期局に設定し実証を行いました。各基地局間の隔離距離は「図3-105」のとおり、基地局Aは固定とした上で、基地局Bの設置位置を変更することで隔離距離を確保しました。隔離距離はそれぞれ設置位置1の場合は約50m、設置位置2の場合は約90mです。隔離距離ごとの干渉影響を測定し、基地局間隔離距離について検証しました。基地局間隔離距離の算出に当たっては情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（総務省；令和2年7月）を参考として算出しました。本実証の干渉パターンはローカル5G同士の同一周波数帯の干渉検討に該当するため、帯域内干渉について検討を行いました。

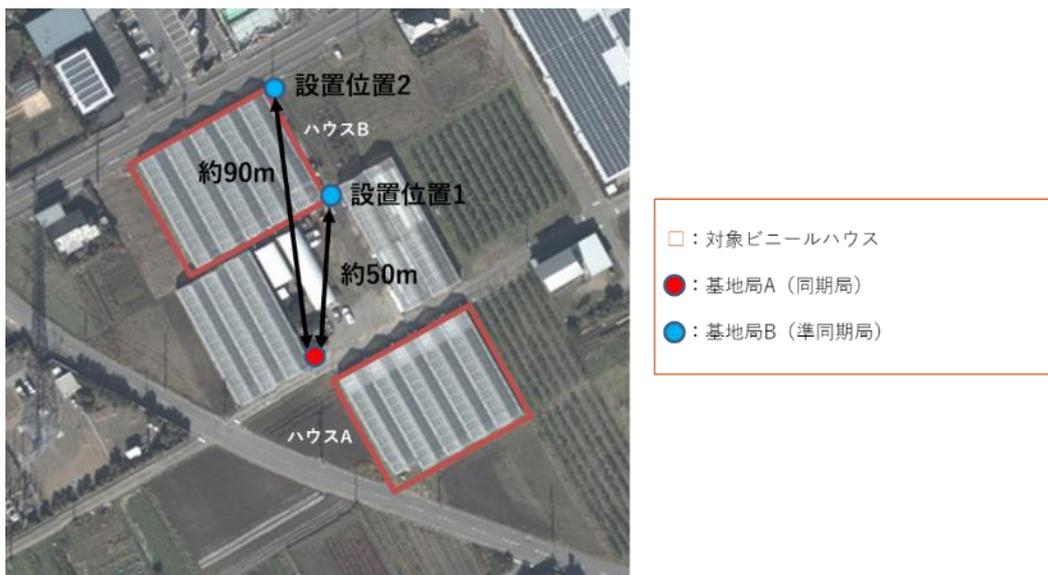


図 3-105 ローカル 5G 基地局 A、ローカル 5G 基地局 B の設置位置及び隔離距離
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

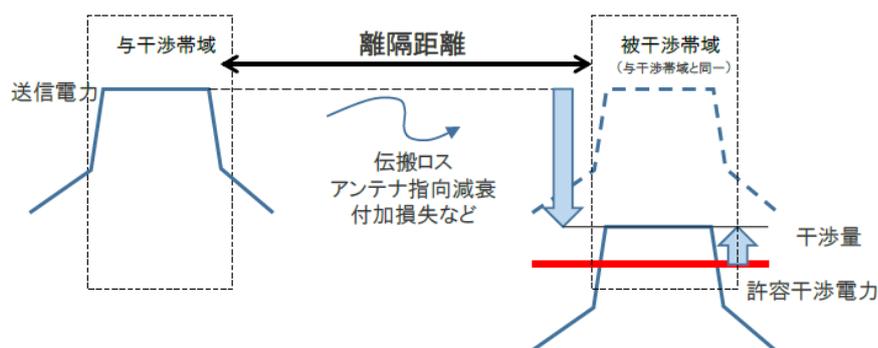


図 3-106 同一周波数を利用した 5G システム間における最悪値条件での干渉検討 (情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告 (総務省 ; 令和 2 年 7 月) より抜粋)

(1) 情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告 (令和 2 年 7 月) にて明らかになっていること

基地局及び移動局について任意のパラメータを設定し、最悪値条件での干渉検討を行っています。この際、基地局間の干渉及び移動局間の干渉について同一周波数利用環境により帯域内干渉について検討を行っています。

干渉検討結果については「図 3-106」のとおりとなっているものの、具体的にどのような算出式を使用したかは明記されていません。帯域内干渉については不要発射強度を与干渉量として算出していると考えられます。また帯域内干渉については、等価等放射電力 (EIRP) が示されていることから与干渉局の送信出力や電波強度を与干渉量として算出していると考えられます。

その結果、基地局間干渉については本実証フィールドと同様の「屋外⇒屋外」の環境では

基地局のアンテナ向きを正反対に設置した場合はスモールセル基地局で離隔距離 225m を確保することで所要改善量がマイナスになるとされています。さらに「準同期運用の基地局アンテナの向きや離隔の確保、遮蔽対策等を行うことで、干渉を低減することができる」と考えられる。」と整理されました。

移動局間干渉の算出条件としては「最悪値条件」としてはとされていますが、離隔距離については明記されておりません。屋外や同一室内で遮蔽なく与干渉局と被干渉局が共存するケースであり、双方が近接したまま与干渉局が大きな送信電力で連続的に通信を行うような特殊な状況が起こると、被干渉局の性能が劣化する可能性もあるとの結果があるものの、与干渉局と被干渉局が近接した状態の干渉影響については明らかになっていないものと判断しました。

以上の報告内容から、任意の所要改善量を設定し、与干渉量（帯域内干渉の場合は不要発射強度）が所要改善量を上回らなければ許容可能と判断できるとしました。ただし、算出方法については明記されておらず、(1) 情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（令和2年7月）内の「参考資料3 干渉検討における計算の過程」から仮説を立てました。

表 3-61 基地局⇒基地局の干渉検討結果（最悪値条件）

	屋外⇒屋外	屋外⇒屋内	屋内⇒屋内	
マクロセル局	LOS 条件 離隔 5700 km 正対	LOS 条件 離隔 4070m	隣室	LOS 条件 離隔 2.2m
	NLOS 条件 離隔 55.6km 正対 離隔 4500m 反対	NLOS 条件 離隔 114m	別建物	LOS 条件 離隔 0.4m
スモールセル局	LOS 条件 離隔 453 km 正対	LOS 条件 離隔 300m	隣室	LOS 条件 離隔 2.2m
	NLOS 条件 離隔 10.8km 正対 離隔 225m 反対	NLOS 条件 離隔 31m	別建物	LOS 条件 離隔 0.4m

表 3-62 移動局⇒移動局の干渉検討結果（最悪値条件）

	屋外⇒屋外	屋外⇒屋内	屋内⇒屋内	
40MHzシステム	LOS 条件 離隔 640m	LOS 条件 離隔 99m	隣室	LOS 条件 離隔 99m
	NLOS 条件 離隔 7.7m	NLOS 条件 離隔 1.23m	別建物	LOS 条件 離隔 16m
100MHzシステム	LOS 条件 離隔 404m	LOS 条件 離隔 63m	隣室	LOS 条件 離隔 63m
	NLOS 条件 離隔 4.9m	NLOS 条件 離隔 0.82m	別建物	LOS 条件 離隔 10m

(2) 本実証にて実施した机上検討内容

上記にて記載の通り、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（令和2年7月）では、基地局間及び移動局間の干渉検討が行われているものの、干渉項目に関する各算出式が明記されていないことから、同資料を参考資料として掲載されている干渉による各計算の過程を参考に以下の方法で机上検討を行いました。

【5G基地局→5G基地局】マクロセル局ベース						
(1)干渉モデル						
項目	値			単位	備考	
干渉モデルタイプ	屋外→屋外	屋外→屋内	屋内→屋内			
与干渉局アンテナ高	40	40	5	5	m	屋外はマクロ局、屋内はマセル局
被干渉局アンテナ高	40	5	5	5	m	屋外はマクロ局、屋内はマセル局
与干渉局アンテナチルト角	6	6	90	90	deg	
被干渉局アンテナチルト角	6	90	90	90	deg	
水平距離	5,700.000	4,070	2.2	0.4	m	自由空間伝搬ロスによる離隔距離
評価ポイントの周波数	4,700	4,700	4,700	4,700	MHz	
(2)干渉量の計算						
項目	値			単位	備考	
空中線電力	20	20	5	5	dBm/MHz	
アンテナ利得	23	23	23	23	dB	
伝電線損失	3	3	3	3	dB	
帯域幅					MHz	40~200MHz帯を想定
EIRP密度	48.0	48.0	25.0	25.0	dBm/MHz	
受信アンテナ利得(Grx)	23	23	23	23	dB	
受信伝電線損失(Frx)	3	3	3	3	dB	
許容干渉レベル(Y)	-115	-110	-110	-110	dBm/MHz	
Minimum Coupling Loss(MCL)	183.0	178.0	155.0	155.0	dB	=B+Grx-Frx-Y
伝搬距離	5700000	4070	2.2	0.4	m	
自由空間伝搬ロス(L)	181.00	118.08	52.73	37.92	dB	=20log(4π L f/c)
送信主ビーム方向	6	6	90	90	deg	
送信干渉方向	0.00	0.49	0.00	0.00	deg	
送信主ビームと干渉の角度差	6.00	5.51	90.00	90.00	deg	
送信アンテナ指向減衰	-1.0	-0.5	-43.2	-43.2	dB	チルト6度、10度では最大パターンを使用 チルト90度では利得-20dBを下限とした
受信主ビーム方向	6	90	90	90	deg	
受信干渉方向	0.00	0.49	0.00	0.00	deg	
主ビームと干渉の角度差	6.00	90.49	90.00	90.00	deg	
受信アンテナ指向減衰	-1.0	-43.196	-43.196	-43.2	dB	チルト6度、10度では最大パターンを使用 チルト90度では利得-20dBを下限とした
アンテナ指向減衰(A)	-2	-43.236	-86.392	-86.39	dB	
建物侵入損(場所率50%、Traditional)	0	18.2	18.2	32.4	dB	
人住吸出損	0.0	0.0	0.0	0.0	dB	
付加損失(X)	0.0	16.2	16.2	32.4	dB	
干渉量	-0.01	-0.01	-0.32	-1.72	dB	=MCL-L+A-X
【ITU-R P.1411: Over roof-top】	(厳密値以下)	(厳密値以下)				
水平距離(m)	138.01	114				
NLOS伝搬モデル ITU-R P.1411 ※	181.01	118.62				
平均建物高H(m)	39.99	30.00				
送信主ビーム方向	6.00	6.00				
送信干渉方向	0.00	17.07				
送信主ビームと干渉の角度差	6.00	11.07				
送信アンテナ指向減衰(dB)	-1.00	-0.99				
受信主ビーム方向	6	90				
受信干渉方向	0.00	17.07				
主ビームと干渉の角度差	6.00	107.07				
受信アンテナ指向減衰(dB)	-1.00	-43.196				
アンテナ指向減衰(dB)	-2.00	-43.29				
干渉量(dB)	-0.01	-0.10				
※)Over roof-top伝搬モデル(NLOS、Suburban、エリア条件)を使用(4.2.2)						
【Modified Hata】 屋外→屋外	(正対)	(90度)	(併設)	(-90度)	(正反対)	
水平距離(m)	330.00	330.00	131.10	260.00	450.00	
NLOS伝搬モデル(市街地) Modified Hata	181.03	159.37	137.72	129.73	121.74	
a(端末アンテナ高)	40.51	40.51	40.51	40.51	40.51	
b(基地局アンテナ高)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
α=1、ただしd≤20km	1	1	1	1	1	
α、20km<d≤100km	1.555	1.321	#NUM!	#NUM!	#NUM!	
送信主ビーム方向	6	6	6	6	6	
送信干渉方向	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
送信主ビームと干渉の角度差	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
送信アンテナ指向減衰(dB)	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	
受信主ビーム方向	6	6	6	6	6	
受信干渉方向	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
主ビームと干渉の角度差	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
受信アンテナ指向減衰(dB)	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	
垂直方向アンテナ指向減衰(dB)	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	
水平方向アンテナ指向減衰(dB)	0.00	-21.64	-43.29	-51.28	-59.27	
NLOS所収改善量(FWHA検討ベース)	-0.93	-0.91	-0.61	-0.91	-0.91	

図 3-107 基地局間干渉の計算表

こちらについては計算過程となりますが、具体的な算出式が明示されていないため、本案件として計算過程を使用した仮説として算出したものです。帯域内干渉については、EIRP密度、アンテナ利得、離隔距離をもとに算出した自由空間伝搬損失、アンテナ指向減衰を利用し干渉量を導き出しました。なお、与干渉量については、「MCL-伝搬損失+アンテナ指向減衰-付加損失」の算出を定義し与干渉量を求めました。また、各パターンによる計算過程より干渉量=所要改善量と定義し、離隔距離やアンテナ方向調整を実施した上での干渉量が0以下（マイナス値）の数値を所要離隔距離と定義しました。本実証では、ローカル5G基地局Aとローカル5G基地局Bの離隔距離50m、90m及び正対方向、非正対方法の干渉量を算出しました。

表 3-63 基地局間干渉検討による机上計算結果（1対1対向モデル）

検討パターン	アンテナパターン	基地局方向	帯域内干渉		
			与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要離隔距離 [m]
① (離隔距離 50m)	指向性アンテナ	正対	-70.8	44.1	8,070
② (離隔距離 90m)	指向性アンテナ	正対	-75.9	39.1	8,070
③ (離隔距離 50m)	指向性アンテナ	非正対	-131.2	-16.2	-
④ (離隔距離 90m)	指向性アンテナ	非正対	-136.3	-21.3	-

上記の結果より非正対についての干渉は無いと想定されますので、ローカル 5G 基地局を近隣に設置する場合、離隔距離やアンテナ方向、見通し外環境を考慮することで干渉量を 0 とすることが可能となると推定しました。本机上検討結果を踏まえまして、本実証にて、正対方向から非正対方向へアンテナ方向調整を含めた実証検証を実施いたしました。

移動局間干渉検討については、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（令和 2 年 7 月）では離隔距離については触れられていないものの、参考資料としては「屋外⇒屋外」の伝搬距離が 404m のパラメータが利用されていますが、離隔距離が近接での検討が無いため、本実証にて近接での離隔距離で検討しました。

[5G移動局⇔5G移動局]										
(1) 干渉モデル										
項目	40MHzシステム				100MHzシステム				単位	備考
	屋外→屋外	屋外→屋内	屋内→屋内	屋内→屋内	屋外→屋外	屋外→屋内	屋内→屋内	屋内→屋内		
干渉モデルタイプ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	m	
与干渉アンテナ高	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	m	
被干渉アンテナ高	0	0	0	0	0	0	0	0	dBg	
与干渉アンテナチルト角	0	0	0	0	0	0	0	0	dBg	
被干渉アンテナチルト角	0	0	0	0	0	0	0	0	dBg	
水平距離	64.0	99	99	16	404	63	63	10	m	自由空間伝搬ロスによる離隔距離
評価ポイントの周波数	4,700	4,700	4,700	4,700	4,700	4,700	4,700	4,700	MHz	
(2) 干渉量の計算										
項目	値								単位	備考
空中線電力	23	23	23	23	23	23	23	23	dBm	
アンテナ利得	0	0	0	0	0	0	0	0	dBd	
送電線損失	0	0	0	0	0	0	0	0	dB	
帯域幅	40	40	40	40	100	100	100	100	MHz	
回線幅	7.0	7.0	7.0	7.0	3.0	3.0	3.0	3.0	dBm/MHz	
受信アンテナ利得(Grx)	0	0	0	0	0	0	0	0	dBd	
受信線電線損失(Frx)	0	0	0	0	0	0	0	0	dB	
許容干渉レベル(Y)	-111	-111	-111	-111	-111	-111	-111	-111	dBm/MHz	
Minimum Coupling Loss (MCL)	118.0	118.0	118.0	118.0	114.0	114.0	114.0	114.0	dB	= B+Grx-Frx-Y
伝搬距離	64.0	99	99	16	404	63	63	10	m	
LDS伝搬ロス(L)	102.01	85.80	85.80	68.97	88.01	81.87	81.87	65.88	dB	= 20lg(4πL f/c)
送信アンテナ指向減衰	0	0	0	0	0	0	0	0	dB	
受信アンテナ指向減衰	0	0	0	0	0	0	0	0	dB	
アンテナ指向減衰(A)	0	0	0	0	0	0	0	0	dB	
建物侵入損	0.0	16.2	16.2	32.4	0.0	16.2	16.2	32.4	dB	建物侵入損(場所率50%、Tradition)
人体吸収損	16	16	16	16	16	16	16	16	dB	送信機6dB、受信機6dB
付加損失(X)	16	32.2	32.2	48.4	16	32.2	32.2	48.4	dB	
干渉量	-0.03	-0.02	-0.02	-0.39	-0.01	-0.07	-0.07	-0.20	dB	= MCL-L+A-X
(HLOS条件) (HLOS条件) (HLOS条件) (HLOS条件)										
水平距離(m)	7.7	1.23	99	16	4.9	0.87	63	16		
NLOS伝搬ロス(dB) ITU-R P1411※	101.98	85.84	85.80	68.97	98.06	81.82	81.87	65.88		
コーナー数	3	3	3	3	3	3	3	3		
干渉量(dB)	0.00	-0.06	-0.02	-0.39	-0.06	-0.02	-0.07	-0.20		

図 3-108 移動局間干渉の計算表

本実証について、移動局間の離隔距離を5mと0mとして検討を実施しました。なお、与干渉量については、「MCL-伝搬損失+アンテナ指向減衰-付加損失」の算出を定義し与干渉量を求めました。また、各パターンによる計算過程より干渉量=所要改善量と定義し、離隔距離やアンテナ方向調整を実施した上での干渉量が0以下（マイナス値）の数値を所要離隔距離と定義しました。帯域内干渉については、許容干渉レベルを利用し算出しました。机上検討した結果が以下の通りです。

表 3-64 移動局間干渉検討による机上計算結果（1対1対向モデル）

検討パターン	帯域内干渉		
	与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要離隔距離 [m]
① (離隔距離 5m)	-73.1	37.9	390
② (離隔距離 0m)	-19.2	91.8	390

上記検討結果より離隔5m及び0m時は移動局間での干渉が想定されますので、実測結果に応じて、離隔距離パターンを追加し、その結果より実際の所要離隔距離を算出することとしました。

また、本実証では、基地局間の離隔距離の検討だけでなく、指向性アンテナを使用したローカル5G基地局どうしの運用を想定し、その向きによる干渉度合の評価を行いました。

具体的には、「図 3-109」に示した通り、2つの基地局の向きを正対させた場合と、本来の実証エリアをカバーさせる向き（非正対）の場合のそれぞれにおいて、干渉評価を行いました。前述の報告書の記載内容を踏まえ、正対した場合には互いに相当量の干渉が生じ、通信に大きな影響が発生すると考えます。一方で、非正対の場合には、2つの基地局ともに指向性を持つアンテナのため、不要なエリアカバーは最小化されているものと考えられ、互いの干渉量も少ないと考えられます。本仮説の検証によって、指向性アンテナを利用した、同期局と準同期局の干渉調整手法を提言できると考えます。本手法は今後の様々なパターンでの干渉検討において、大変有意義なものになると期待されます。

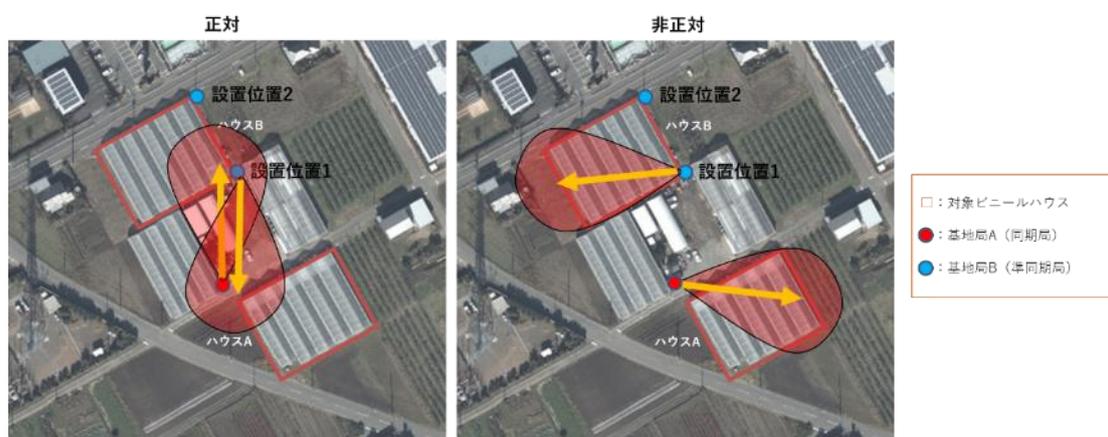


図 3-109 2つの基地局の向きによる干渉評価 模式図
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

加えて、端末間干渉の検証においては、局所的な条件とならないように、各端末間の位置を複数パターン変更し、検証を行いました。

なお、準同期 TDD2 で運用したローカル 5G では上りスループット 160Mbps 程度と期待しています。本数値は干渉影響を除外した開発上の目標値です。情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告 (令和 2 年 7 月) の干渉検討結果まとめでは基地局間干渉、端末間干渉ともに共用可能の整理となっており、さらに干渉影響を低減する方法として準同期 TDD による運用もあげられていることから、同期局からの影響を受けることなく目標数値の達成が可能であると考えます。

3.3.4.3 評価・検証項目

本実証での評価・検証項目は、以下の「表 3-65」のとおりです。

表 3-65 評価・検証項目

項番	大項目	小項目
1	追加準同期パターンの干渉検討	<ul style="list-style-type: none"> ・情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告(令和2年7月)に記載された手法、パラメータによる、提案する追加準同期パターンの干渉検討のシミュレーション ・共用検討シミュレーションごとの与干渉/被干渉システムそれぞれにおける受信電力(RSRP 値)、通信品質(SIR)、及び伝送性能(UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延 等)の測定 ・追加準同期パターンの所望性能を得るに必要な所用改善量と必要離隔距離の検証

なお、本実証では、いちご畑花園のハウス A およびハウス B の基地局を対象に実施しました。

3.3.4.4 評価・検証方法

本実証としては後述する干渉パターンのそれぞれにて受信電力 (RSRP 値)、通信品質 (SIR)、及び伝送性能 (UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延 等) を測定しました。測定方法については、「3.3.1.3 評価・検証方法」と同様に測定を行いました。受信電力については、2.2 項にて記載した測定器 (エリアテスタ Anritsu MU878070A) を用いて測定を行いました (測定周期: 20ms、サンプル数: 1000、測定時間: 20 秒)。ローカル 5G 同期局、準同期局それぞれ単体運用の環境も準備し、単体運用の場合の測定データを基準値としました。

なお、測定の事前に不慮の測定誤差を未然に排除するために、「2.5 その他要件」にて記載しました通り、事前にベンダにて品質保証試験を行い、評価データの提供を受けるとともに、正常性試験を行った上で、現地の測定を実施しました。

ローカル 5G 導入ガイドラインでは同期運用優先のルールが定められているため、本実証では同期局を被干渉、準同期局を与干渉として干渉影響を測定しました。ただし、準同期局の場合は上りスロットと下りスロットのタイミングが不一致のため、同期局の下り性能および準同期局の上り性能に影響が出る可能性があると考えますが、基地局から端末へ発出された電波の方が、端末から基地局へ発出される電波よりも比較的強いことから、準同期局の上り性能により干渉影響が生じるものと推測されます。したがって、準同期局の上り性能への影響についても、後述の「表 3-66」項番 7~30 の際に合わせて測定することで基地局との距離及び端末間隔離距離ごとのデータを比較することで検証することとしました。

各パターンにおける測定は基地局との距離を変えて行いました。以下の「図 3-110」のと

おり、同期局に近いポイント、中間地点、準同期局に近いポイントの3か所ずつ行うこととしました。現時点では、準同期局の設置位置1および2についてのそれぞれポイントを仮に1-1～1-3、2-1～2-3としていますが、最終的には現地での電波伝搬状況を鑑みたくえで決定します。



図 3-110 干渉検討測定ポイント
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

なお、端末間の隔離距離については、前述のとおり、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告 (令和2年7月) において、移動局間干渉については屋外利用においてNLOS条件で最大10m程度の離隔で共用可能と考えられています。このデータは非同期運用前提のため、準同期運用下では共用条件はより緩和されるものと考えます。また、隣接周波数帯での検証にはなりますが、令和2年度地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証における「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等の実現」ではローカル5Gを制度化済準同期パターンTDD1で運用した際のキャリア5Gとの干渉検討を行っており、端末間の隔離距離を1m/10m/30mのパターンで変えて比較を行ったが、1m距離でも影響は見られませんでした。情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告及び昨年度実証の結果を踏まえ、本実証では端末間の隔離距離を0m (隣接して設置) と5mとし、接触・近接距離の端末間干渉の検証を行うこととしました。

上記を整理し、立案した干渉検討パターンを下記に示します。

表 3-66 干渉検討パターン一覧

項番	干渉パターン	基地局 A TDD パターン	基地局 B TDD パターン	両基地局の 指向性	同期局端末 設置ポイント	準同期局端 末 隔離距離
1	同期局単体	同期	停波	正対	1-1	—
2					1-2	
3					1-3	
4					2-1	
5					2-2	
6					2-3	
7	同期局被干渉 (準同期局 設置位置 1)	同期	準同期 TDD2	正対	1-1	0m
8					1-2	5m
9						0m
10					5m	
11					1-3	0m
12						5m
13				非正対	1-1	0m
14					5m	
15					1-2	0m
16						5m
17					1-3	0m
18						5m
19	同期局被干渉 (準同期局 設置位置 2)	同期	準同期 TDD2	正対	2-1	0m
20					2-2	5m
21						0m
22					5m	
23					2-3	0m
24						5m
25				非正対	2-1	0m
26					5m	
27					2-2	0m
28						5m
29					2-3	0m

項番	干渉パターン	基地局 A TDD パターン	基地局 B TDD パターン	両基地局の 指向性	同期局端末 設置ポイント	準同期局端 末 隔離距離
30						5m
31	準同期局単 体 (設置位置 1)	停波	準同期 TDD2	正対	1-1	—
32					1-2	
33					1-3	
34	準同期局単 体 (設置位置 2)				2-1	
35					2-2	
36					2-3	

続いて、各干渉パターンの概要およびイメージについて記載します。「図 3-111」は準同期局を停波し、同期局を単体運用した場合のイメージになります。これは、「表 3-66」の項番 1～6 に該当します。本パターンにて取得できたデータを基準値とするため、1-1～2-3 まで全ポイントで測定しました。

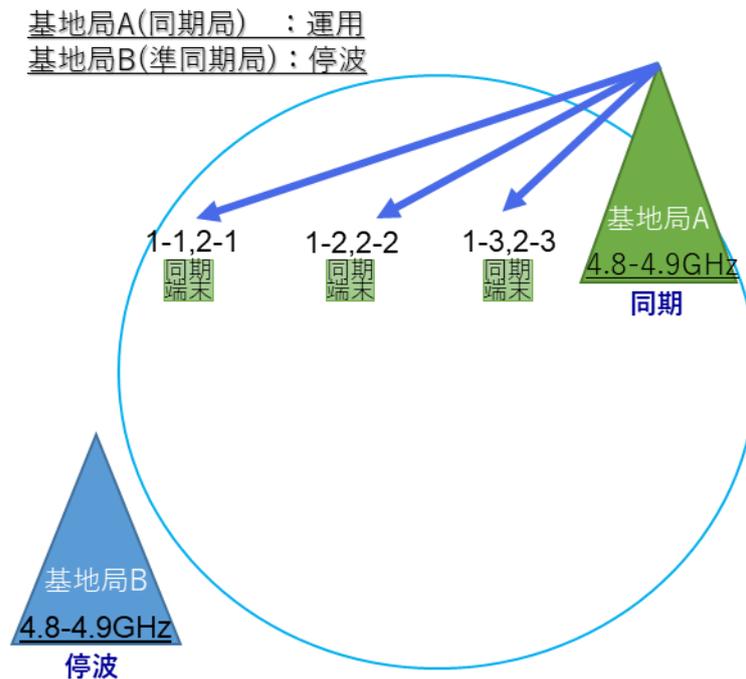


図 3-111 同期局単体運用イメージ (干渉検討一覧表項番 1～6 に該当)

以下の「図 3-112」は基地局 B を準同期 TDD2 で、基地局 A を同期で運用し、基地局との距離、基地局どうしの向き及び端末間の隔離距離を変更し、干渉影響を測定するイメージになります。同期局端末の設置位置は 1-1～1-3 および 2-1～2-3 とし、各ポイントの同期局端末と 0m, 5m のそれぞれの距離に準同期局端末を設置しました。各パターンで同期局の

下り性能及び準同期局の上り性能を測定し、両端末の影響を検証しました。

基地局A(同期局) : 運用
 基地局B(準同期局) : 運用

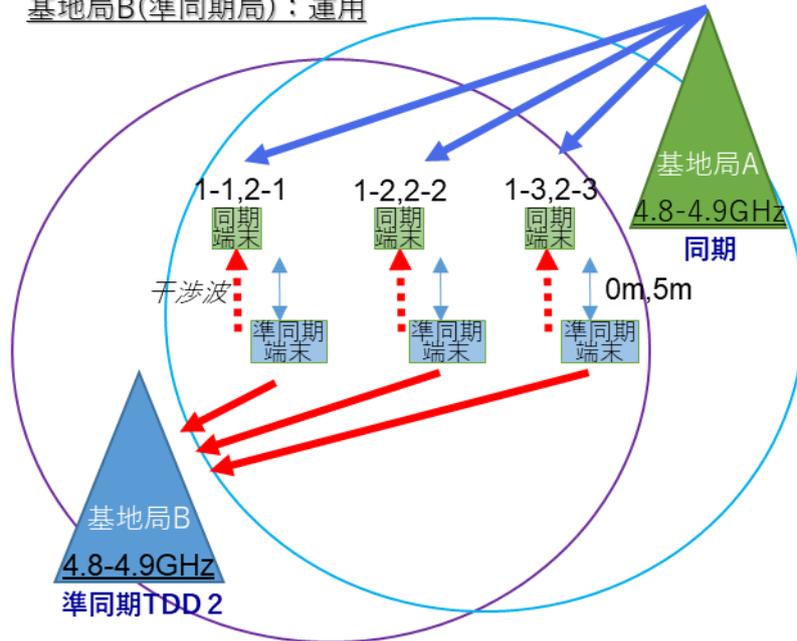


図 3-112 端末間干渉における同期局被干渉イメージ (干渉検討一覧表項番 7~30 に該当)

以下の「図 3-113」は同期局を停波し、準同期局を単体運用した場合のイメージになります。これは、「表 3-66」の項番 31~36 に該当します。本パターンにて取得できたデータを基準値とするため、1-1~2-3 まで全ポイントで測定しました。

基地局A(同期局) : 停波
 基地局B(準同期局) : 運用

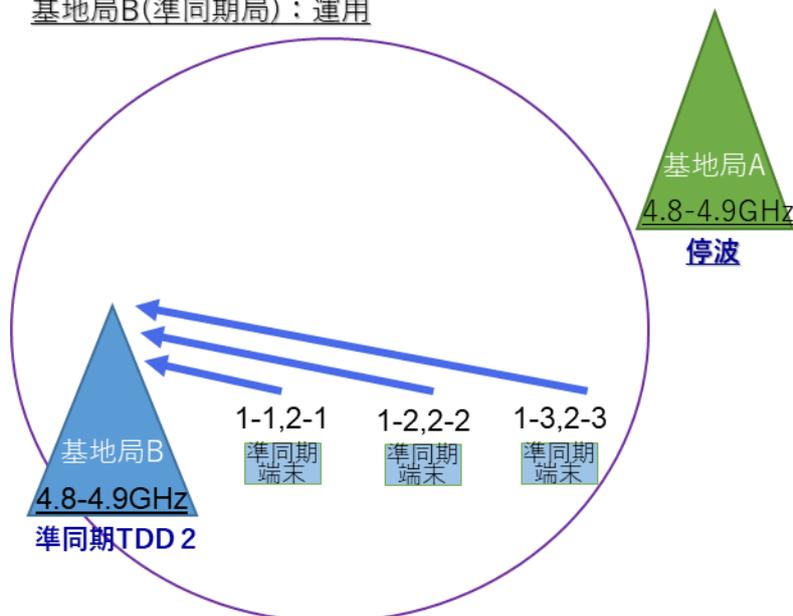


図 3-113 準同期局単体運用イメージ (干渉検討一覧表項番 31~36 に該当)

最後に、指向性アンテナを有する同期局および準同期局の向きを調整することで、干渉影響を最小化出来ることを確認するために、非正対の場合において両ハウス内で測定を行い、単独での運用時とその性能に変化がないことを確認しました。イメージ図を「図 3-114」に示します。

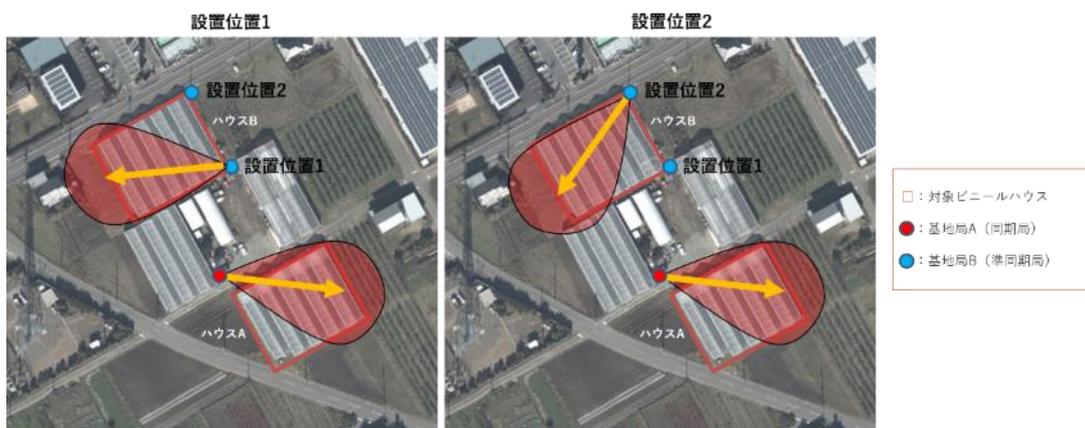


図 3-114 非正対時のローカル 5G 基地局 A、ローカル 5G 基地局 B の設置イメージ (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

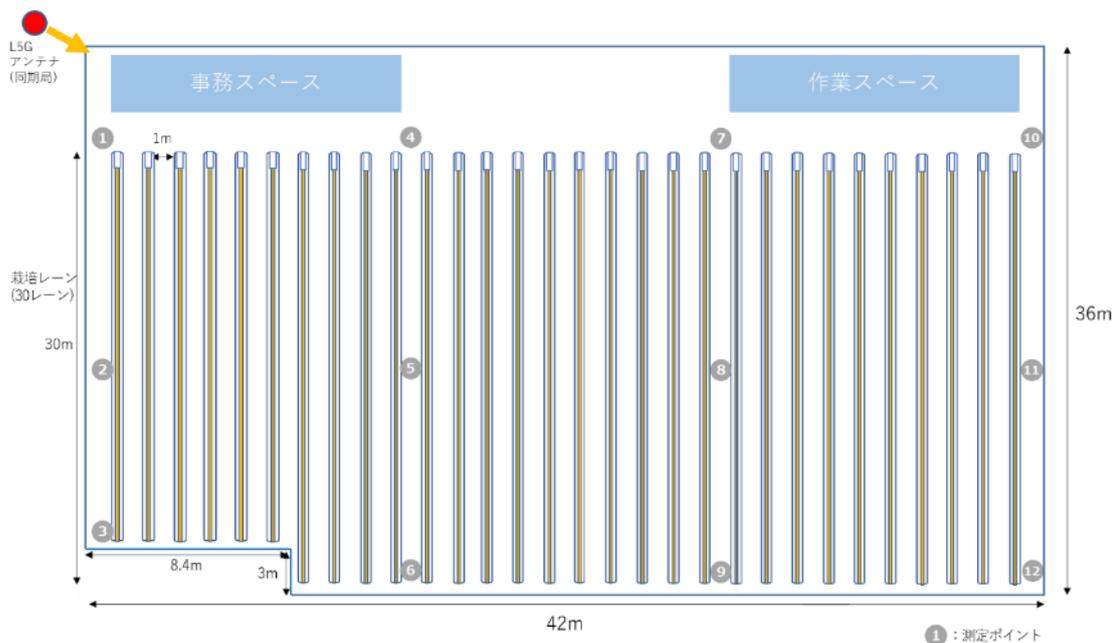


図 3-115 ハウス A 測定ポイント

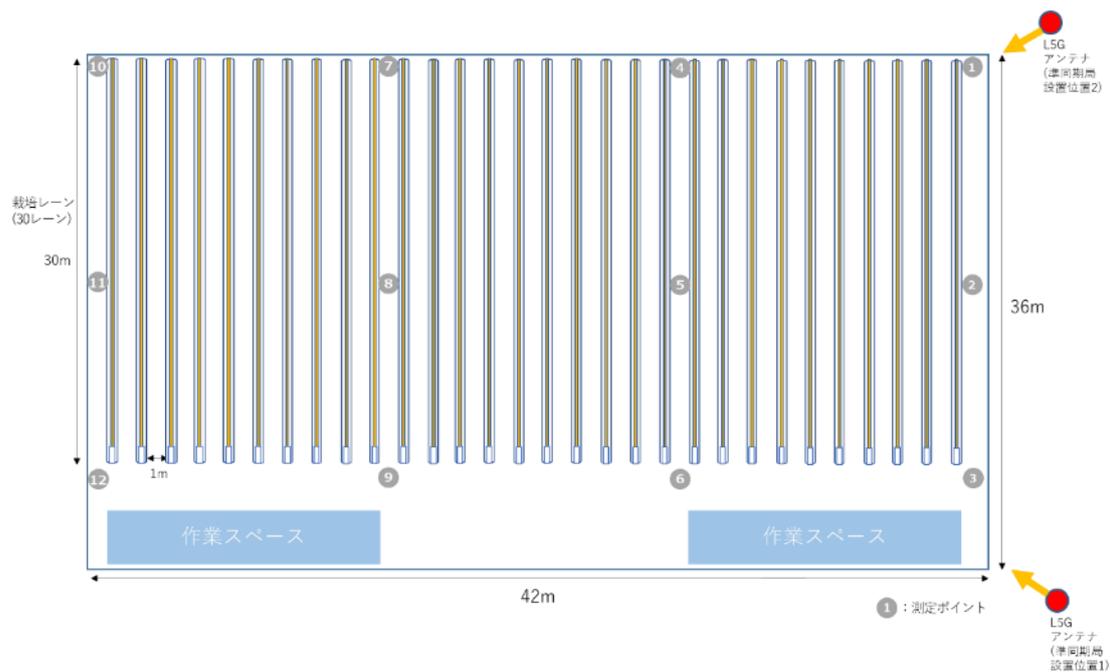


図 3-116 ハウス B 測定ポイント

測定後、送信スペクトラムマスクや端末の送信電力等の各実測データを基に、「3.3.4.2 実証仮説」で行った共用検討シミュレーションを改めて実施し、測定前に行った干渉検討シミュレーションの妥当性を確認しました。

3.3.4.5 実証結果及び考察

「3.3.4.2 実証仮説」にて記載しました、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（令和2年7月）を参考にした干渉検討について、「表 3-67」～「表 3-72」に測定前・測定後シミュレーションのシステム諸元とアンテナ情報を示します。また、各干渉パターンの測定データを元に、与干渉量、所要改善量、所要離隔距離を取りまとめ、共用条件を下記の「表 3-73」「表 3-74」に示します。

表 3-67 測定前シミュレーション システム諸元（基地局）

与干渉(送信)側 諸元			被干渉(受信)側 諸元		
空中線電力	3.0	dBm/MHz	受信アンテナ利得	23.0	dBi
	23.0	dBm	受信給電線損失	3.0	dB
アンテナ利得	17.5	dBi	許容被干渉電力	-115.0	dBm/MHz
給電線損失	2.0	dB	所要結合量 (帯域内)	153.5	dB
帯域幅	100.0	MHz			
EIPR	18.5	dBm/MHz			

表 3-68 測定前シミュレーション アンテナ情報（基地局）

項目		正対		非正対	
基地局間離隔距離	m	50	90	50	90
送信 チルト角	deg	13	13	13	13
送信主ビーム方向	deg	4	-10	105	105
送信干渉方向	deg	0	0	-101	-115
送信アンテナ 水平面指向減衰	dB	-0.12	-0.12	-26.19	-29.24
送信アンテナ 垂直面指向減衰	dB	-29.78	-29.78	-13.19	-20.21
受信 チルト角	deg	13	13	13	13
受信主ビーム方向	deg	-176	170	-54	-155
受信干渉方向	deg	0	0	-122	-35
受信アンテナ 水平面指向減衰	dB	-0.12	-0.12	-30.02	-4.94
受信アンテナ 垂直面指向減衰	dB	-29.78	-29.78	-24.09	-29.28
アンテナ指向減衰(A)	dB	-59.80	-59.80	-93.49	-83.67

表 3-69 測定後シミュレーション システム諸元（基地局）

与干渉(送信)側 諸元			被干渉(受信)側 諸元		
空中線電力	-3.0	dBm/MHz	受信アンテナ利得	17.0	dBi
	17.0	dBm	受信給電線損失	1.1	dB
アンテナ利得	17.0	dBi	許容被干渉電力	-110.0	dBm/MHz
給電線損失	1.1	dB	所要結合量 (帯域内)	138.9	dB
帯域幅	100.0	MHz			
EIPR	12.9	dBm/MHz			

表 3-70 測定後シミュレーション アンテナ情報 (基地局)

項目		正対		非正対	
基地局間離隔距離	m	50	90	50	90
送信 チルト角	deg	13	13	13	13
送信主ビーム方向	deg	4	-10	105	105
送信干渉方向	deg	0	0	-101	-115
送信アンテナ 水平面指向減衰	dB	-0.12	-0.12	-26.19	-29.24
送信アンテナ 垂直面指向減衰	dB	-29.78	-29.78	-13.19	-20.21
受信 チルト角	deg	13	13	13	13
受信主ビーム方向	deg	-176	170	-54	-155
受信干渉方向	deg	0	0	-122	-35
受信アンテナ 水平面指向減衰	dB	-0.12	-0.12	-30.02	-4.94
受信アンテナ 垂直面指向減衰	dB	-29.78	-29.78	-24.09	-29.28
アンテナ指向減衰(A)	dB	-59.80	-59.80	-93.49	-83.67

表 3-71 測定前シミュレーション システム諸元・アンテナ情報 (移動局)

与干渉(送信)側 諸元			被干渉(受信)側 諸元		
空中線電力	23.0	dBm/MHz	受信アンテナ利得	0	dB
	3.0	dBm	受信給電線損失	0	dB
アンテナ利得	0.4	dB	許容被干渉電力	-111.0	dBm/MHz
給電線損失	0	dB	所要結合量 (帯域内)	114.0	dB
帯域幅	100.0	MHz			
EIPR	3.0	dBm/MHz			
送信アンテナ 指向減衰	0	dB	送信アンテナ 指向減衰	0	dB
受信アンテナ 指向減衰	0	dB	受信アンテナ 指向減衰	0	dB

表 3-72 測定後シミュレーション システム諸元・アンテナ情報 (移動局)

与干渉(送信)側 諸元			被干渉(受信)側 諸元		
空中線電力	23.0	dBm/MHz	受信アンテナ利得	0.4	dB
	3.0	dBm	受信給電線損失	0	dB
アンテナ利得	0.4	dB	許容被干渉電力	-110.0	dBm/MHz
給電線損失	0	dB	所要結合量 (帯域内)	113.8	dB
帯域幅	100.0	MHz			
EIPR	3.4	dBm/MHz			
送信アンテナ	0	dB	送信アンテナ	0	dB

与干渉(送信)側 諸元			被干渉(受信)側 諸元		
指向減衰			指向減衰		
受信アンテナ 指向減衰	0	dB	受信アンテナ 指向減衰	0	dB

表 3-73 基地局間干渉検討 与干渉量、所要改善量、所要隔離距離

基地局間 隔離距離	基地局方向	検討種別	帯域内干渉		
			与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要隔離距離 [m]
50m	正対方向	仮説検討	-70.80	44.16	8,070
		測定前	-101.44	13.56	240
		測定後	-111.10	-1.10	—
90m	正対方向	仮説検討	-75.90	39.06	8,070
		測定前	-106.54	8.46	240
		測定後	-115.04	-5.04	—
50m	非正対方向	仮説検討	-131.20	-16.24	—
		測定前	-135.13	-20.13	—
		測定後	-144.79	-34.79	—
90m	非正対方向	仮説検討	-136.30	-21.34	—
		測定前	-130.41	-15.41	—
		測定後	-138.91	-28.91	—

表 3-74 移動局間干渉検討 与干渉量、所要改善量、所要隔離距離

移動局間 隔離距離	検討種別	帯域内干渉		
		与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要隔離距離 [m]
5m	仮説検討	-73.14	37.86	390
	測定前	-73.14	37.86	390
	測定後	-72.34	37.66	385
0m	仮説検討	-19.16	91.84	390
	測定前	-19.16	91.84	390
	測定後	-18.36	91.64	385

基地局間干渉については、まず、仮説検討時と測定前シミュレーションの結果に差分が生じることとなりました。差分については、仮説検討時においては情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（令和2年7月）を参考に、水平方向の指向減衰に対し値を適用しておりましたが、実際には垂直方向の指向減衰についても考

慮が必要と判断し、測定前シミュレーションにて考え方を適用させたことにより発生したものになります。アンテナの垂直面指向減衰（チルト角 13° ）の適用については、本実証で使用したアンテナが水平面から上方向に対しては強い指向減衰（概ね-20～30dB）を持っていたため、大きくシミュレーション結果に差分を与えたと考えられます。測定後の共用検討シミュレーションにおいて、全てのパターンにおける所要改善量がマイナスの値となり、所要離隔距離を要しないという結果となりました。測定前シミュレーションと異なる結果となった理由としましては、実測値を適用したことが挙げられます。実測値については、両基地局の空中線電力、アンテナ利得、給電線損失、を適用しております。移動局間干渉については、仮説検討時および測定前後の共用検討シミュレーション結果にほぼ差分は生じず、所要離隔距離が 385m という結果となりました。こちらも基地局間干渉と同様に、実測値を適用しておりますが、測定前の想定値との差分がほぼ無かったため、結果的に所要改善量にも差分が生じなかったと考えられます。

続いて、実環境で行った各種試験結果について記載します。なお、用意しました実環境において、与干渉側にて最大限のリソースブロックを使用した状態での実証を実施しました結果、正対時だけでなく非正対時においても双方の基地局のカバーエリアが重なったことによるセル間干渉（帯域内干渉）の影響が支配的となったため、本実証の目的である同期-準同期 TDD2 間での干渉影響評価の実施が困難であると判断し、与干渉側のリソースブロック数を減らしてセル間干渉の影響を低減させた上で、干渉評価の各パターンにおける影響度の差分を見るという方向性で本実証を実施しております。

まず、与干渉局からの距離を変数とした際の無線区間の伝送性能（スループット、遅延等）を取りまとめた結果を以下に示します。干渉影響を評価する一つの指標として通信品質 SIR も記載します。所要性能については、本実証でのユースケースに準じて、準同期局上り性能について取りまとめています。

表 3-75 同期局下り性能測定結果

項番	測定ポイント	準同期局端末との隔離距離	受信電力 (dBm)	下りスループット (Mbps)	伝送遅延 (ms)片道	通信品質 SIR (dB)
1	1-1	-	-94.32	136.55	18.11	17.55
2	1-2	-	-95.29	119.73	17.99	20.83
3	1-3	-	-98.76	140.40	18.06	17.56
4	2-1	-	-98.76	136.55	17.68	19.38
5	2-2	-	-97.35	120.18	18.25	19.50
6	2-3	-	-91.17	100.62	21.17	13.22
7	1-1	0m	-94.33	133.88	14.56	4.66
8	1-1	5m	-94.65	148.78	13.98	-7.56
9	1-2	0m	-81.58	114.19	17.36	-4.70
10	1-2	5m	-77.89	135.67	15.59	3.23
11	1-3	0m	-90.46	68.32	18.43	4.08
12	1-3	5m	-89.95	62.36	18.13	5.51
13	1-1	0m	-100.65	108.99	15.78	5.33
14	1-1	5m	-83.67	103.60	21.48	18.18
15	1-2	0m	-107.47	102.78	18.47	5.27
16	1-2	5m	-96.60	102.95	17.33	1.82
17	1-3	0m	-95.14	102.53	18.08	-9.54
18	1-3	5m	-95.58	56.72	14.72	2.63
19	2-1	0m	-88.24	106.35	18.50	18.08
20	2-1	5m	-87.65	129.18	17.52	12.19
21	2-2	0m	-99.92	126.79	17.99	0.34
22	2-2	5m	-88.84	129.90	18.34	3.62
23	2-3	0m	-91.86	65.47	18.02	測定不可
24	2-3	5m	-94.46	64.77	17.38	測定不可
25	2-1	0m	-103.53	121.21	17.50	15.16
26	2-1	5m	-93.47	114.30	17.00	17.14
27	2-2	0m	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
28	2-2	5m	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
29	2-3	0m	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
30	2-3	5m	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
31	1-1	-	-95.16	-	-	-
32	1-2	-	-90.84	-	-	-
33	1-3	-	-95.29	-	-	-
34	2-1	-	-112.53	-	-	-
35	2-2	-	-95.52	-	-	-
36	2-3	-	-92.09	-	-	-

表 3-76 準同期局上り性能測定結果

項番	測定ポイント	同期局端末との 隔離距離	受信電力 (dBm)	上りスループット (Mbps)	上りスループット [所要性能 (40Mbps) との差分]	伝送遅延 (ms)片道	伝送遅延 [所要性能 (30ms)と の差分]	通信品質 SIR (dB)
1	1-1	-	-94.32	-	-	-	-	-
2	1-2	-	-95.29	-	-	-	-	-
3	1-3	-	-98.76	-	-	-	-	-
4	2-1	-	-98.76	-	-	-	-	-
5	2-2	-	-97.35	-	-	-	-	-
6	2-3	-	-91.17	-	-	-	-	-
7	1-1	0m	-94.33	13.84	26.16	9.74	-20.26	-2.89
8	1-1	5m	-94.65	13.29	26.71	15.71	-14.29	7.24
9	1-2	0m	-81.58	26.19	13.81	15.10	-14.90	7.20
10	1-2	5m	-77.89	21.11	18.89	20.51	-9.49	-2.53
11	1-3	0m	-90.46	31.47	8.53	14.21	-15.79	-5.19
12	1-3	5m	-89.95	26.94	13.06	15.46	-14.54	-5.15
13	1-1	0m	-100.65	17.60	22.4	15.71	-14.29	-4.56
14	1-1	5m	-83.67	17.62	22.38	15.51	-14.49	測定不可
15	1-2	0m	-107.47	17.61	22.39	15.41	-14.59	-6.60
16	1-2	5m	-96.60	16.81	23.19	15.86	-14.14	-0.64
17	1-3	0m	-95.14	41.07	-1.07	15.43	-14.57	10.55
18	1-3	5m	-95.58	36.30	3.7	14.94	-15.06	-1.36
19	2-1	0m	-88.24	11.81	28.19	19.08	-10.92	測定不可
20	2-1	5m	-87.65	13.62	26.38	17.80	-12.20	-6.90
21	2-2	0m	-99.92	15.89	24.11	14.80	-15.20	-0.45
22	2-2	5m	-88.84	13.84	26.16	15.14	-14.86	測定不可
23	2-3	0m	-91.86	31.28	8.72	15.60	-14.40	18.13
24	2-3	5m	-94.46	30.74	9.26	16.14	-13.86	16.40
25	2-1	0m	-103.53	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
26	2-1	5m	-93.47	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
27	2-2	0m	-99.92	37.31	2.69	15.98	-14.03	20.23
28	2-2	5m	-88.84	11.76	28.24	16.79	-13.22	12.41
29	2-3	0m	-91.86	21.66	18.34	17.57	-12.44	17.80
30	2-3	5m	-94.46	39.64	0.36	17.10	-12.90	13.54
31	1-1	-	-95.16	26.99	13.01	15.68	-14.32	20.90
32	1-2	-	-90.84	29.59	10.41	14.92	-15.08	20.73
33	1-3	-	-95.29	30.99	9.01	15.48	-14.52	19.89
34	2-1	-	-112.53	0.01	39.99	11.21	-18.79	11.85
35	2-2	-	-95.52	31.20	8.8	15.43	-14.58	20.76
36	2-3	-	-92.09	31.74	8.26	16.09	-13.91	20.75



図 3-117 干渉検討測定ポイント (再掲)
 (国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

上記測定結果を踏まえて、基地局間干渉および移動局間干渉について考察を行います。各干渉に関するイメージ図を以下に示します。

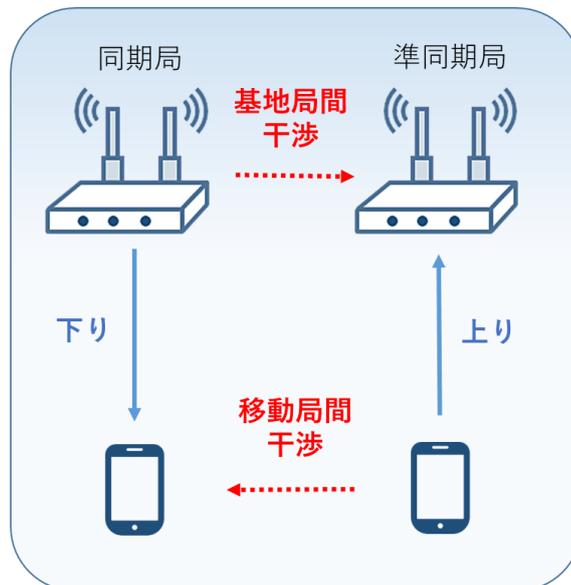


図 3-118 基地局間干渉および移動局間干渉イメージ

まず、移動局間干渉による影響について考察を行います。移動局間干渉では、準同期局上り通信が与干渉、同期局下り通信が被干渉となるため、同期局下り性能に着目し評価を行います。移動局間の離隔距離 0m、5m のそれぞれにおける、同期局下りスループット、伝送遅延、通信品質 SIR の差分をまとめた結果を下記に示します。

表 3-77 移動局間干渉評価 同期局下り性能

項番	測定ポイント	準同期局端末との 隔離距離	下り スループット 差分 (Mbps)	伝送遅延 差分 (ms)	通信品質 SIR 差分
7	1-1	0m	14.90	-0.58	-12.22
8	1-1	5m			
9	1-2	0m	21.48	-1.76	7.93
10	1-2	5m			
11	1-3	0m	-5.96	-0.30	1.43
12	1-3	5m			
13	1-1	0m	-5.39	5.70	12.85
14	1-1	5m			
15	1-2	0m	0.18	-1.14	-3.45
16	1-2	5m			
17	1-3	0m	-45.81	-3.36	12.17
18	1-3	5m			
19	2-1	0m	22.83	-0.98	-5.89
20	2-1	5m			
21	2-2	0m	3.11	0.35	3.28
22	2-2	5m			
23	2-3	0m	-0.69	-0.64	—
24	2-3	5m			
25	2-1	0m	-6.91	-0.50	1.98
26	2-1	5m			
27	2-2	0m	—	—	—
28	2-2	5m	—	—	—
29	2-3	0m	—	—	—
30	2-3	5m	—	—	—

上記の結果をまとめると、同期局下り性能については、移動局間の隔離距離を取ること
で、スループットが増加したのは3ポイント（平均値+19.74Mbps）、減少したのは4ポイ
ント（平均値-16.2Mbps）、伝送遅延が増加したのは1ポイント（+5.70ms）、減少したの
は3ポイント（平均値-2.09ms）、SIRが増加したのは4ポイント（平均値+9.06）、減少
したのは3ポイント（平均値-7.19）、となりました。

この結果から、移動局間の隔離距離に対する準同期局上り性能については、性能向上と低
下のどちらも多く見られたこと、その傾向とSIRについても因果関係が確認できなかつた
こと、から相関関係が見られないという結果となりました。また、同期局に最も近い測定
ポイントである1-1と2-1の単独運用時の下りスループット（項番1,4）と両基地局運用
時の下りスループット（項番7,8,19,20）を比較すると、4ポイント中3ポイントで同等
か単独運用時以上の値を確認出来ていることから、同期局下り性能への移動局間干渉によ
る影響は見られないという結果となりました。

次に、基地局間干渉による影響について考察を行います。基地局間干渉では、同期局下り通信が与干渉、準同期局上り通信が被干渉となるため、準同期局上り性能に着目し評価を行います。基地局間の離隔距離 50m、90m のそれぞれにおける、準同期局上りスループット、伝送遅延、SIR の平均値をまとめた結果を下記に示します。（両基地局の正対時と非正対時で分けて表を作成しています）

表 3-78 基地局間干渉評価 準同期局上り性能 正対時

項番	測定ポイント	同期局端末との 離隔距離	上り スループット 平均値 (Mbps)	伝送遅延 平均値 (ms)	通信品質 SIR 平均値 (dB)
7	1-1	0m	13.57	12.73	2.18
8	1-1	5m			
9	1-2	0m	23.65	17.81	2.34
10	1-2	5m			
11	1-3	0m	29.20	14.83	-5.17
12	1-3	5m			
19	2-1	0m	12.72	18.44	-6.90
20	2-1	5m			
21	2-2	0m	14.87	14.97	-0.45
22	2-2	5m			
23	2-3	0m	31.01	15.87	17.27
24	2-3	5m			

表 3-79 基地局間干渉評価 準同期局上り性能 非正対時

項番	測定ポイント	同期局端末との 離隔距離	上り スループット 平均値 (Mbps)	伝送遅延 平均値 (ms)	通信品質 SIR 平均値 (dB)
13	1-1	0m	17.61	15.61	-4.56
14	1-1	5m			
15	1-2	0m	17.21	15.64	-3.62
16	1-2	5m			
17	1-3	0m	38.69	15.19	4.60
18	1-3	5m			
25	2-1	0m	—	—	—
26	2-1	5m			
27	2-2	0m	24.53	16.38	20.23
28	2-2	5m			
29	2-3	0m	30.65	17.33	15.67
30	2-3	5m			

正対時の準同期局上り性能については、測定ポイント 1-1 と 2-1 での結果を比較し、スループットは-0.8Mbps、伝送遅延は+5.7ms、SIR は-9.0、測定ポイント 1-2 と 2-2 での結果を比較し、スループットは-8.8Mbps、伝送遅延は-2.9ms、SIR は-2.7、測定ポイント 1-3 と 2-3 での結果を比較し、スループットは+1.8Mbps、伝送遅延は+1.0ms、SIR は+22.4、となりました。非正対時の準同期局上り性能については、測定ポイント 1-2 と 2-2 での結果を比較し、スループットは+7.3Mbps、伝送遅延は+0.7ms、SIR は+23.8、測定ポイント 1-3 と 2-3 での結果を比較し、スループットは-8.0Mbps、伝送遅延は+2.2ms、SIR は+11.0、となりました。

基地局間干渉の影響がより観測される可能性の高い、両基地局の正対時の測定結果に着目すると、基地局間の離隔距離を大きくした場合においてスループットが同等もしくは低下するという結果が得られたため、推測とは反した結果となりました。非正対時においても同様の傾向が見られました。

また、準同期局に最も近い測定ポイントである 1-3 と 2-3 の単独運用時の上りスループット（項番 33, 36）と両基地局運用時の上りスループット（項番 11, 12, 23, 24）を比較すると、4 ポイント中 3 ポイントで同等か単独運用時以上の値を確認出来ていることから、準同期局上り性能への基地局間干渉による影響は見られないという結果となりました。

本ユースケースに限らず、準同期局が共用条件下においても所望の性能を発揮するために必要な離隔距離について考察を行います。本実証においては、基地局間の離隔距離 50m, 90m の 2 つのパターンにおいて測定を行いましたため、そのそれぞれのパターンにおいて、両基地局の運用時と準同期局単独での運用時の上りスループットについて比較を行い、その差分を明らかにすることで、必要な離隔距離について推測します。なお、準同期局の性能をより純粋に比較するために、最も準同期局から近い測定ポイントである 1-3、2-3 にて比較を行いました。下記にその結果を示します。

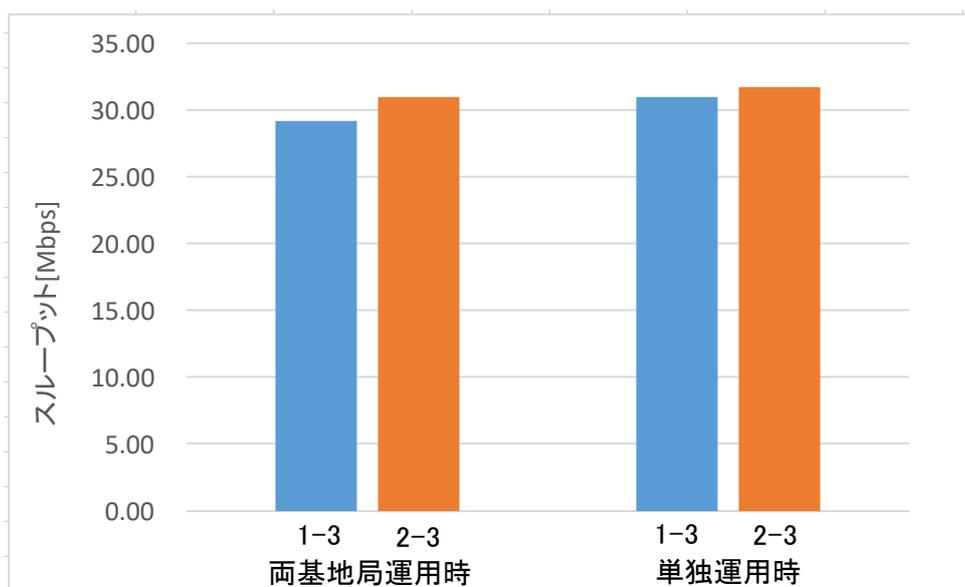


図 3-119 基地局間離隔距離に応じた両基地局運用時および単独運用時での性能比較

上記に示しました通り、両基地局運用時においても単独運用時とほぼ変わらない上りスループット性能を示す結果となりました。したがって、準同期局の上りスループット性能という観点においても、両基地局間での干渉影響は確認されませんでした。ただし、前述の通り、与干渉側のリソースブロック数を下げた形での干渉評価であるため、所望の性能を発揮するために必要な離隔距離の導出については、実環境にて更に離隔距離を確保した上での干渉評価が必要だと考えます。

次に、指向性アンテナを有する同期局および準同期局の向きを調整することで、干渉影響を最小化出来ることを確認するために、非正対の場合において両ハウス内で測定を行ったデータをまとめ、単独運用時の性能との差分について確認します。以下の「表 3-80」～「表 3-86」にその測定結果を示します。

表 3-80 単独運用時のハウス A(同期局)内各測定ポイントでの伝送性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	伝送遅延 (ms) 往復
1	-90.43	11.98	105.32	30.59
2	-86.57	3.74	105.35	30.36
3	-95.50	17.68	105.26	31.37
4	-90.03	17.60	105.24	29.72
5	-94.65	17.76	105.11	30.75
6	-105.93	17.56	105.33	29.75
7	-101.79	17.71	105.33	30.80
8	-89.48	17.74	105.36	29.78
9	-97.58	17.71	104.37	30.15
10	-104.77	17.69	105.54	30.46
11	-91.93	17.72	105.58	30.88
12	-106.37	16.58	105.58	29.10

表 3-81 準同期局(設置位置 1)運用時のハウス A(同期局)内
各測定ポイントでの伝送性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	DL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) [単独運用時との差分]
1	-86.55	17.66	-5.68	104.65	0.67	29.43	1.16
2	-93.86	16.46	-12.72	111.56	-6.21	31.63	-1.28
3	-94.08	17.65	0.03	101.89	3.37	30.31	1.06
4	-85.79	17.63	-0.03	101.73	3.51	29.86	-0.14
5	-89.79	17.76	0.00	102.00	3.11	30.11	0.64
6	-101.24	17.12	0.43	102.04	3.29	30.38	-0.63
7	-90.09	17.76	-0.05	101.33	4.00	29.90	0.90
8	-102.34	17.68	0.06	101.47	3.89	31.05	-1.28
9	-92.23	12.81	4.90	102.30	2.07	34.85	-4.70
10	-107.29	17.06	0.63	102.91	2.63	30.21	0.25
11	-98.58	17.65	0.07	102.66	2.92	30.78	0.10
12	-98.52	0.64	15.94	102.23	3.34	35.18	-6.08

表 3-82 準同期局(設置位置 2)運用時のハウス A(同期局)内
各測定ポイントでの伝送性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	DL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) [単独運用時との差分]
1	-80.21	13.89	-1.91	102.04	3.27	32.02	-1.43
2	-85.68	9.92	-6.18	110.20	-4.85	37.48	-7.12
3	-103.58	9.98	7.70	101.15	4.11	35.47	-4.10
4	-94.04	13.88	3.72	102.25	2.99	31.66	-1.94
5	-80.80	13.65	4.11	108.36	-3.25	31.42	-0.67

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	DL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) [単独運用時との差分]
6	-97.90	9.92	7.64	133.81	-28.48	30.88	-1.14
7	-91.86	11.80	5.90	125.70	-20.37	35.60	-4.80
8	-95.92	13.71	4.03	115.15	-9.80	35.13	-5.36
9	-100.55	13.16	4.54	126.10	-21.73	38.30	-8.15
10	-104.89	13.81	3.87	140.59	-35.06	27.04	3.42
11	-93.58	9.30	8.42	108.42	-2.84	31.42	-0.54
12	-111.45	15.27	1.32	112.83	-7.26	30.57	-1.46

表 3-83 単独運用時のハウス B(準同期局設置位置 1)内
各測定ポイントでの伝送性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	伝送遅延 (ms) 往復
1	-86.32	46.06	37.90	30.55
2	-87.01	46.17	39.10	31.27
3	-90.63	46.17	45.17	31.22
4	-97.54	33.07	37.79	30.43
5	-89.99	46.12	37.90	30.80
6	-91.48	46.15	37.43	30.90
7	-97.16	46.16	37.89	30.60
8	-95.23	46.12	37.91	32.05
9	-94.33	46.15	37.89	31.98
10	-98.23	46.18	44.21	31.90
11	-100.03	46.15	43.74	30.88
12	-106.69	46.14	44.21	31.25

表 3-84 単独運用時のハウス B(準同期局設置位置 2)内
各測定ポイントでの伝送性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps)	伝送遅延 (ms) 往復
1	-93.28	40.10	65.35	39.75
2	-84.37	31.28	65.44	32.00
3	-102.18	36.28	57.30	44.95
4	-91.23	40.23	68.11	32.63
5	-82.38	29.29	58.83	29.24
6	-89.44	30.45	68.11	31.62
7	-90.40	33.44	57.25	31.27
8	-90.34	33.44	65.64	31.10
9	-96.81	31.24	63.19	31.00
10	-107.02	33.06	57.26	30.20
11	-98.70	33.05	58.77	31.60
12	-94.26	30.50	67.97	39.02

表 3-85 同期局運用時のハウス B(準同期局設置位置 1)内
各測定ポイントでの伝送性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	DL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) [単独運用時との差分]
1	-84.03	41.17	4.89	68.14	-30.25	29.95	0.60
2	-94.66	41.18	4.98	68.09	-28.98	28.50	2.77
3	-91.79	41.12	5.05	58.42	-13.25	27.52	3.70
4	-88.70	41.15	-8.08	68.18	-30.39	28.60	1.83
5	-88.38	41.12	4.99	63.78	-25.88	28.23	2.57
6	-100.20	41.15	5.01	68.10	-30.67	29.29	1.61
7	-99.48	41.15	5.00	57.35	-19.46	33.04	-2.44

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	DL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) [単独運用時との差分]
8	-96.80	22.25	23.87	68.05	-30.14	28.24	3.81
9	-85.75	41.18	4.97	68.14	-30.24	42.46	-10.48
10	-98.80	10.97	35.21	62.67	-18.47	31.85	0.05
11	-97.98	40.78	5.37	62.62	-18.88	30.43	0.45
12	-98.84	28.47	17.67	68.07	-23.86	30.76	0.49

表 3-86 同期局運用時のハウス B(準同期局設置位置 2)内
各測定ポイントでの伝送性能測定結果

測定ポイント	受信電力 (dBm)	UL スループット (Mbps)	UL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	DL スループット (Mbps)	DL スループット (Mbps) [単独運用時との差分]	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) [単独運用時との差分]
1	-83.30	23.47	16.63	67.93	-2.58	32.73	7.02
2	-94.67	31.20	0.08	68.11	-2.67	31.80	0.20
3	-91.18	31.19	5.09	67.45	-10.16	31.80	13.15
4	-87.45	25.11	15.12	57.23	10.88	32.19	0.44
5	-84.25	26.90	2.39	57.29	1.54	31.27	-2.03
6	-94.73	38.99	-8.54	57.30	10.81	30.23	1.38
7	-97.98	34.36	-0.92	68.16	-10.91	29.87	1.40
8	-85.39	25.24	8.20	57.28	8.36	30.27	0.83
9	-102.27	39.85	-8.61	61.51	1.67	29.43	1.57
10	-98.74	39.68	-6.62	57.33	-0.07	32.43	-2.23
11	-92.89	8.26	24.79	57.64	1.14	0.00	31.60
12	-94.82	測定不可	-	測定不可	-	測定不可	-

上記の結果のうち、両基地局運用時の各パターンにおける UL/DL スループット、伝送遅延の単独運用時との差分について着目し、まとめます。具体的には、差分が UL スループット

トの場合は-5Mbps、DL スループットの場合は-10Mbps、伝送遅延の場合は+5ms を超えるものをピックアップし、考察を行います。上記閾値は概ね各値の 10%程度の値としています。下記にその結果について示します。

表 3-87 準同期局(設置位置 1)運用時のハウス A(同期局)内にて
単独運用時の伝送性能との差分が得られたポイント

単独運用時との差分の有無	UL スループット (Mbps) [差分 5Mbps 以上低下]	DL スループット (Mbps) [差分 10Mbps 以上低下]	伝送遅延 (ms) [差分 5ms 以上低下]
有りのポイント数	1	0	1
無しのポイント数	11	12	11

表 3-88 準同期局(設置位置 2)運用時のハウス A(同期局)内にて
単独運用時の伝送性能との差分が得られたポイント

単独運用時との差分の有無	UL スループット (Mbps) [差分 5Mbps 以上低下]	DL スループット (Mbps) [差分 10Mbps 以上低下]	伝送遅延 (ms) [差分 5ms 以上低下]
有りのポイント数	4	0	3
無しのポイント数	8	12	9

表 3-89 同期局運用時のハウス B(準同期局設置位置 1)にて
単独運用時の伝送性能との差分が得られたポイント

単独運用時との差分の有無	UL スループット (Mbps) [差分 5Mbps 以上低下]	DL スループット (Mbps) [差分 10Mbps 以上低下]	伝送遅延 (ms) [差分 5ms 以上低下]
有りのポイント数	7	0	1
無しのポイント数	5	12	11

表 3-90 同期局運用時のハウス B(準同期局設置位置 2)にて
単独運用時の伝送性能との差分が得られたポイント

単独運用時との差分の有無	UL スループット (Mbps) [差分 5Mbps 以上低下]	DL スループット (Mbps) [差分 10Mbps 以上低下]	伝送遅延 (ms) [差分 5ms 以上低下]
有りのポイント数	5	2	0
無しのポイント数	6	9	10

同期局に関しては、準同期局設置位置 2 の場合の UL スループットにおいて、約 3 割のポイントで性能低下が見られました。その他のポイントについても誤差範囲ではありますが性能低下の傾向が見られたことから、多少の干渉影響が発生している可能性が示唆されます。干渉影響が見られたのは同期局の上り性能であるため、準同期局との基地局間および移動局間干渉影響によるものではなく、準同期局移動局から同期局基地局への干渉影響によるものだと考えられます。

準同期局に関しては、どちらの設置位置の場合においても、約 5 割のポイントで UL スループットの性能低下が見られたため、干渉影響が発生している可能性が示唆されます。こちらは、準同期局の上り性能であるため、基地局間干渉による影響である可能性が高いと考えられます。

上記の通り、非正対とした場合でも、一部にて干渉影響が見られる結果となりました。本結果は、前述しました測定後シミュレーションにて得られた基地局間干渉並びに移動局間干渉の結果、ならびに、伝送性能による基地局間干渉および移動局間干渉の評価結果と整合しないものとなりましたため、その理由について、更に考察を行うこととしました。具体的には、本実証で考慮していなかった基地局-移動局間干渉について、追加で測定後シミュレーションを実施し、考察を行いました。以下の「表 3-91」にその結果を示します。

表 3-91 基地局-移動局間干渉検討 与干渉量、所要改善量、所要隔離距離

隔離距離と方向	対象パターン	帯域内干渉		
		与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要隔離距離 [m]
50m 非正対	基地局⇒移動局	-142.97	-5.45	-
50m 非正対	移動局⇒基地局	-136.97	0.55	54

上記の結果の通り、非正対とした場合においても、移動局から基地局への干渉が発生する可能性があるといえます。本実証においては、基地局-移動局間の干渉影響について測定を実施出来ませんでした。本実証で得られた伝送性能評価等の結果に対して、基地局-移動局間の干渉影響が寄与した可能性を否定できないものと考えます。今後、より精緻な共用検討を実施する上では、無視出来ない要素であるため、2つの基地局を同期もしくは準同期の同一方式にそろえた形で検証を行うことで、基地局-移動局間の干渉影響について測定を実施し評価されることが望まれます。

なお、共用条件下でのユースケースの所要性能はごく一部のポイントを除き、いずれの条件においても達成しない結果となりました。各測定ポイントでの受信電力については、総じて-110dBm 以上であったため、エリア算出法のカバーエリアの定義が-119.8dBm であることを考慮すると、所要性能未達の原因が受信電力によるものではないと考えられます。また、前述の通り、移動局間の干渉影響についても、その影響が見られなかったことか

ら、同じく原因とはなり得ないものと考えられます。したがって、所要性能の達成へ向け
ては、「3.3.1.4 実証結果及び考察」にて記載しました通り、ローカル 5G システム自体
の性能改善や帯域幅の拡張による性能向上が必要であると考えます。

本実証のまとめとして、ローカル 5G 同期システムと準同期 TDD2 システムの共用条件につ
いて見解を記載します。まず、共用検討シミュレーションの結果において、基地局間干渉
ではいずれの離隔距離ならびにアンテナの向きに対しても所要改善量がマイナスとなり、
離隔距離を要さない結果となりました。一方、移動局間干渉では所要改善量がプラスの値
となり、約 390m の離隔距離を要す結果となりました。次に、同期局と準同期局の双方の
運用時における伝送性能評価結果においては、基地局間干渉および移動局間干渉のどちら
も干渉影響が明確な形では見られない結果となりました。ただし、一部の結果からは伝送
性能の低下が見られたこと、また、別途実施した基地局-移動局間の共用検討シミュレー
ション結果から所要改善量がプラスとなり干渉影響が発生する可能性が示唆されたこと、
を考慮すると、本実証結果から同期局および準同期局の間で干渉影響が発生していないと
は言い切れない結果であると考えます。したがって、今後も多くのケースにおいて干渉影
響について評価されること、特に基地局間および移動局間干渉だけでなく、基地局-移動
局間干渉も踏まえて評価されることが望まれます。

なお、本実証環境において干渉影響を低減するために実施可能な方策については、下記 3
点が挙げられます。

1 点目は、アンテナの指向性の最適化による基地局間干渉影響の低減です。本実証におい
ては、各ハウス内の受信電力を十分に確保するという観点から十分に大きな送信出力にて
実証を行いました。結果的に、想定よりも横方向に広い指向性となったために、基地局間
干渉影響がより発生しやすい環境になったと考えられます。したがって、より指向性の強
い（対象エリアのみにカバーエリアを確保可能な）アンテナを用意し、また、互いの基地
局に対して干渉しないように方向を最適化することで、干渉影響の低減が図れると考えま
す。

2 点目は、各々の基地局に接続された両ハウス内の端末を物理的に近づけないような運用
上の対処による移動局間干渉影響の低減です。具体的には、課題実証システムの動作に影
響を及ぼさない範囲で可能な限り両ハウス内の端末からの距離を確保した形で実証を行う
ことが挙げられます。また、互いのハウス方向に対して遮蔽物を用意することも一つの移
動局間干渉影響の低減方策だと考えます。

3 点目は、ローカル 5G システムの許容干渉電力値の改善です。前述の通り、本実証環境に
おいて、基地局-端末間干渉の影響が示唆されております。ローカル 5G システムの許容
干渉電力値が低い場合には、基地局-端末間干渉の影響が大きくなると考えられます。し
たがって、ソフトウェアの改善、具体的にはエラー耐性の強化等によりローカル 5G シス
テムの許容干渉電力値が改善されることで、干渉影響の低減が図れると考えます。

4. ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）

4.1 実証概要

高齢化・人口減少社会を迎えて脆弱化が懸念される国内食料生産基盤の強靱化を図るため、スマート農業による超省力化技術の社会実装を加速し、生産性・利益の向上を図る必要があります。また、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、農業生産現場においても3密回避・人手依存の作業体系からの脱却など、「新しい生活様式」に対応した農作業のリモート化が望まれています。

このような状況を踏まえ、本実証ではローカル 5G による安定した高速大容量の「アップロード」通信、ロボット、AI などの最先端技術を活用した「観光農園現場の見える化」による生産性の高い「稼げる農業」の実現に向け、以下3点の実証を行いました。

① イチゴの病害検知

高精細 4K カメラを搭載した自立走行型ロボットと AI 解析を用いた病害検知により、成熟したイチゴにおけるうどんこ病を早期に発見し、農薬使用量・散布稼働の削減、病害による被害の縮減を実現

② イチゴの熟度別数量把握

高精細 4K カメラを搭載した自立走行型ロボットと AI 解析を用いたイチゴの熟度別数量把握により、適切な来園者数の設定（予約枠）等の「ビジネス機会損出の回避」、「収穫・調製稼働の削減」を実現

③ 密検知・顧客誘導

複数台の高精細 4K カメラと AI 解析を用いて、ビニールハウス内の人のグループ間平均距離及び食べごろのイチゴの場所をリアルタイムに見える化し、新型コロナウイルスに対応した施設運営及び顧客満足度の向上を実現

観光農園現場の見える化による生産性・収益向上の実現

ローカル5G、ロボット、AI等の最先端技術を活用した「観光農園現場の見える化」による生産性の高い「稼げる農業」を実現

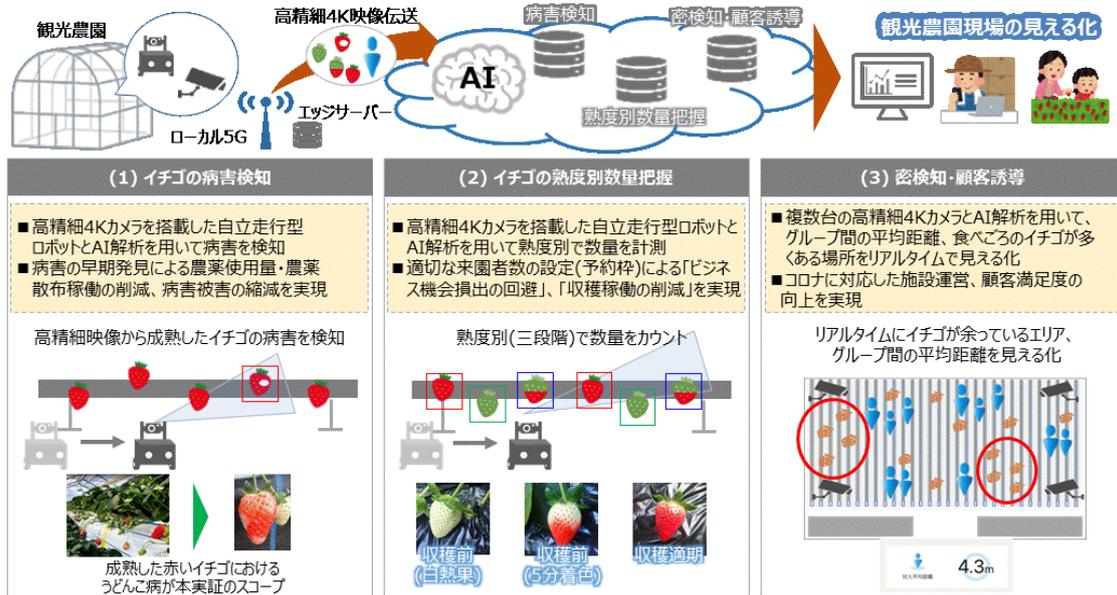


図 4-1 「観光農園現場の見える化」実証概要

また、本実証プロジェクトと連動展開する農林水産省「スマート農業実証プロジェクト（ローカル5G）」では、ロボット、AI、IoT等の先端技術を活用したスマート農業の社会実装に向け、「ローカル5Gを活用したイチゴ栽培の知能化・リモート化実証」を実施しています。

本実証プロジェクトとの事業区分を「表 4-1」に示します。

表 4-1 本実証と農林水産省「スマート農業実証プロジェクト」の実証項目区分

実証課題	区分	名称	事業区分
イチゴの病害検知	NW環境	ローカル5G	総務省実証
	利用機器	自立走行型ロボットFARBOT	農水省実証
		高精細4Kカメラ	農水省実証
		エッジサーバ	農水省実証
		画像トリミングエッジサーバ	農水省実証
		病害検知アプリケーション	農水省実証
		レポート表示アプリケーション	農水省実証
イチゴの熟度別数量把握	NW環境	ローカル5G	総務省実証
	利用機器	自立走行型ロボットFARBOT	農水省実証
		高精細4Kカメラ	農水省実証
		エッジサーバ	農水省実証
		画像トリミングエッジサーバ	農水省実証
		熟度別数量把握アプリケーション	農水省実証
		レポート表示アプリケーション	農水省実証
密検知・顧客誘導	NW環境	ローカル5G	総務省実証
	利用機器	カメラ	総務省実証
		タブレット	総務省実証
		モニタ	総務省実証
		人物検知エッジサーバ	総務省実証
		顧客誘導アプリケーション	総務省実証
		レポート表示アプリケーション	総務省実証
データ駆動型農業	利用機器	局所CO2施用配風ダクト	農水省実証
		UV-B照射機	農水省実証
		データ管理アプリケーション	農水省実証

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

4.2.1 課題整理

高齢化・人口減少社会を迎えて脆弱化が懸念される国内食料生産基盤の強靱化を図るため、スマート農業による超省力化技術の社会実装を加速し、生産性・利益の向上を図る必要があります。また、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、農業生産現場においても3密回避・人手依存の作業体系からの脱却など、「新しい生活様式」に対応した農作業のリモート化が望まれています。

そのため埼玉県深谷市では、「アグリテック集積戦略 - 豊かな農業、儲かる農業都市の実現 -」を掲げ、テクノロジー活用による農業生産性の向上（コスト・負担の軽減）や付加価値の創出（収穫量の増加商品の高価格化）、それらと連動した、農業者の働き方改革、新たなワークスタイルの実現を通じて、農業の生産性を向上し、稼ぐ力を高め、新規就農が始めやすい環境への変革に向け取り組みを行っているところです。

本実証にあたり、地元自治体である「埼玉県大里農林振興センター」及び「深谷市」、生産者である「いちご畑花園」、農業と食品産業の研究機関である「農研機構」へのヒアリング並びに「一般ユーザ」へのアンケート調査（約250名）を行い、当該地域が抱える現状の課題を整理し、その課題解決の方向性に関する設定を行いました。

（課題整理及び課題解決の方向性については「図 4-2」、「図 4-3」を参照）

●埼玉県大里農林振興センターへのヒアリング結果

○埼玉県の農業者の現状

・埼玉県の基幹的農業従事者の年齢構成は、65歳以上の割合が66.5%（全国64.6%）、39歳以下の割合は、4.3%（全国4.9%）であり、高齢者の割合が大きい（平成27年）。一方深谷市の65歳以上の割合が57%と全国の割合よりは低い状況である。

○埼玉県におけるスマート農業の取組みと課題、現状認識

スマート農業の技術は日進月歩で進んでおり、普及実装に向けた導入の目安やリスク等に課題があるため、本県におけるスマート農業の方向性を示す「埼玉県スマート農業アクションプラン」を策定した（令和2年9月）。また、令和2年度にスマート農業普及推進事業（令和2～令和4）を立ち上げ、スマート農業の実証・実装に取り組んでいる

○イチゴ生産についての動向と課題

・管内のイチゴ生産者数は17経営体となっている（熊谷市3、深谷市13、寄居町1）
・管内の令和元年のイチゴの算出額は19千万円となっており、うち深谷市16千万円と管内では大きな割合を占めている。
・また、イチゴの土耕栽培の面積は減少しているが、新たにイチゴ栽培を始める生産者は高設栽培を導入していて、イチゴの作付面積は横ばいである。
・病害虫管理と環境制御に関する技術開発が課題である。
・観光イチゴ園では、コロナ禍によりイチゴ狩り客数を制限する、中止するなどの対策を強いられている状況。

○本取組みに対する期待

・イチゴ狩りの集客予測システムには大きな期待をしている。

- ・本県秩父地域は、観光イチゴ園が多くあり、そのうち6戸が栽培面積2.8haと大きな圃場を保有しているため、今回の技術実証で実装できるようなパッケージができあがれば、導入の可能性がある。また、高設イチゴ生産者の多くは先進技術に対して関心が高いことから、実装されれば導入の見込みがある。

●深谷市へのヒアリング結果

○深谷市における農業分野の課題と取組

埼玉県深谷市は、深谷ねぎをはじめ多様な農産物を生み出す一大生産地であり、首都圏の食を支えてきましたが、日本の農業の全体の課題と同じく、深谷市においても耕作放棄地の増加や後継者不足、技能伝承等、農業の持続可能性が危ぶまれる様々な課題を抱えています。

そのような中、深谷市は、農業を次世代に引き継ぐためには、他産業の発展において蓄積された知識や磨かれた技術を活用・融合し、農業課題を解決する技術（アグリテック）を生み出し、農業の生産性を高め、価値を高めることが必要であると考えています。

そのために、様々な知識や技術を深谷市に集め、アグリテックを生み出し、この地から日本の農業課題の解決を図り、これからの日本の産業の発展に資する企業や人材を多く輩出していくために、アグリテックの集積を図り、地域の経済課題解決と国家の経済発展に貢献し、アグリテック集積都市 DEEP VALLEY を目指すことを、令和元年6月に宣言をし、様々な施策を推進しています。

○本取組に対する期待

深谷市は、アグリテック集積戦略に基づき、「儲かる農業都市 ふかや」を目指して、農業を軸に、人々がつながり、まちに活力あふれ、豊かに暮らせる持続可能な社会の実現をめざしています。

農業の持続性の確保に向け、地域の生産者の農業課題と解決する技術をつなげ、課題解決する技術・製品の開発に期待をしています。深谷市としては、更なる取組を戦略に基づき、ひろげる支援をしていければと考えています。

本実証を通じて、従来の「生産者の経験や勘に頼る農業」だけでなく、「AI解析に基づくスマート農業」の導入により、農作物の高品質化や農作業の効率化、栽培環境の最適化を進め、担い手不足の解消や高収益化の実現の推進となることを期待しています。

●いちご畑花園へのヒアリング結果

○いちご畑花園について

- ・いちご畑花園は、7,000㎡（428,000株）の栽培面積を保有しているイチゴ観光農園であり、埼玉県のオリジナル品種で糖度が高く人気のある「あまりん」に力を入れており、栽培面積は埼玉県内で最大規模である。
- ・もともと観光農園（イチゴ狩り等）と直販（直売、出荷、通販等）の事業の割合は5割ずつであったが、新型コロナウイルスの影響で、観光農園と直販が2割：8割となってしまった。コロナ前の来園者は約5,000人であったが、コロナ後は約2,000人程度に落ち込んでいる。コロナ前の来園者数、売上を戻すことが喫緊の課題である。

○病害対策について

- ・観光農園であるため、来園者のイメージもあることから極力農薬を使わない運営を行っている。例えばうどんこ病の対策としては、2月下旬頃から3回に分けて（約10日おき）農薬を散布することで、当該シーズンにおける発生はほとんど抑えることができるが、当施設では予防としての散布は行わず、病害が発生した場合に農薬散布を行っている。発生

した場合は、通常どおり農薬を3回散布するが、早期発見できれば散布回数を1回にとどめられる可能性があるなど農薬散布量・散布稼働の削減が期待できる。

- ・過去に全体圃場の1/3がうどんこ病に侵され、300万程度の被害があった、また被害時のイチゴの仕分け作業（病気、健全）がとても骨が折れる作業であったため、被害がでない様毎日見回り、管理を徹底して行っている。

○イチゴ狩りにおける来場者予約枠の適正化について

- ・コロナの影響による直販（出荷、通販等）の増加に伴い、従来の収穫・調製稼働が増え、大きな負担となっている。観光農園としてはイチゴ狩り8割、直販2割が理想である。なぜなら、イチゴ狩りはお客様が食べてくれるのでその分の収穫・調製稼働も減り、また来園者が増えれば直売所の売上も上がる。また出荷、通販と異なり手数料や手間もそこまでかからないという利点もある。コロナの影響で来園者が激減しているが、とにかく来園者を増やしていきたい。
- ・来園者を増やすにあたっては、来園者の予約枠の適正化が重要である。但し、現在、農園内のイチゴの在庫把握（収穫適期のイチゴが何個育っているか、育ちそうか）が出来ていないため、イチゴ狩りの来園者予約枠の設定に関しては経験と勘に頼り、適正な判断が出来ていない。予約枠の適正化を図れば、需要の取りこぼしを回避し、来園者・売上の増加につながられる。

○観光農園の運営について

- ・イチゴ狩りでは、来園者が入口付近のイチゴを食べる傾向があるため、奥のイチゴが余ることが多い、余ったイチゴは収穫か加工品として対応しているが、来園者には満足して帰ってもらいたいため、多く余っている場所について声掛けを行っている。入口付近で適熟ではないイチゴを食べたり、イチゴが少ないと思われたりすると来園者の不満にもつながってしまう。さらに、イチゴが多く余ると収穫・調製の稼働もその分増えるため、適正化を図っていきたい。また、満足度を上げてリピーターになってもらいたい。
- ・お客様がいらっしゃる場所なので、コロナ対策は徹底し、アピールしていきたいが、対策にあたっての稼働はできる限り効率化を図っていきたい。

●農研機構へのヒアリング結果

○イチゴの市場について

- ・イチゴは、日本において施設野菜でトマトに次いで第2位の市場規模を有する一方で、単位面積当たりの労働時間はトマトの3倍近く（年間約2,000時間/10a）を要し、その過半は収穫・調製作業である。ただし、観光農園経営では収穫を来場者が実施するため、生産者は少ない労働時間で規模拡大や栽培管理ができ、高収益経営につながられるメリットもある。

○イチゴの研究開発について

- ・これまで困難とされていた生育・収量予測モデルの開発にも取り組んでおり、今回ローカル5G環境で運用されるロボットから得られる高精細な映像や施設内環境情報を活用することで、果実の成熟期間の精緻な予測が可能となり、観光農園での利用においては来園予約の受付可能数を1週間前に精度よく予測でき、収益向上を図ることが期待できる。

○今後、生産現場において必要な取り組みについて

- ・今後は施設野菜生産において、上記技術を生産現場で実証すると共に、広く社会実装することが必要である。また、各種ロボット技術の活用の進展が想定され、施設内環境

や作物生育状況のセンシング情報を収集し、それに基づく作業計画の策定、管理の自動化技術のプロトタイプを早期に構築する必要がある。営農場面において次世代通信技術を活用した現場実証を行うことは、政府政策目標である「令和7年までに農業の担い手のほぼ全てがデータを活用した農業を実践（データ活用型農業の推進）」の観点からも重要である。

●一般ユーザへのアンケート調査結果（約 250 名）

本アンケートは、「行きたくなるイチゴ狩り」という内容の実態調査を目的に 2021 年 4 月 14 日から 4 月 28 日に実施しました。（回答数 n=247）

アンケートでは、「スイーツアレンジ、加工体験」が大きく割合を占め、続いて「トッピング」や「食べ比べ」のイチゴそのものをアレンジ、楽しむということが求められており、また「ゆっくり食べられる場所」や「映えスポット」などのファシリティ面も重要であることがわかりました。いちご畑花園で未対応かつニーズがある項目としては「食べごろなイチゴがわかる」ということわかりました。※イチゴ持ち帰りは当園では禁止のため取り組み不可

<属性情報>

・性別

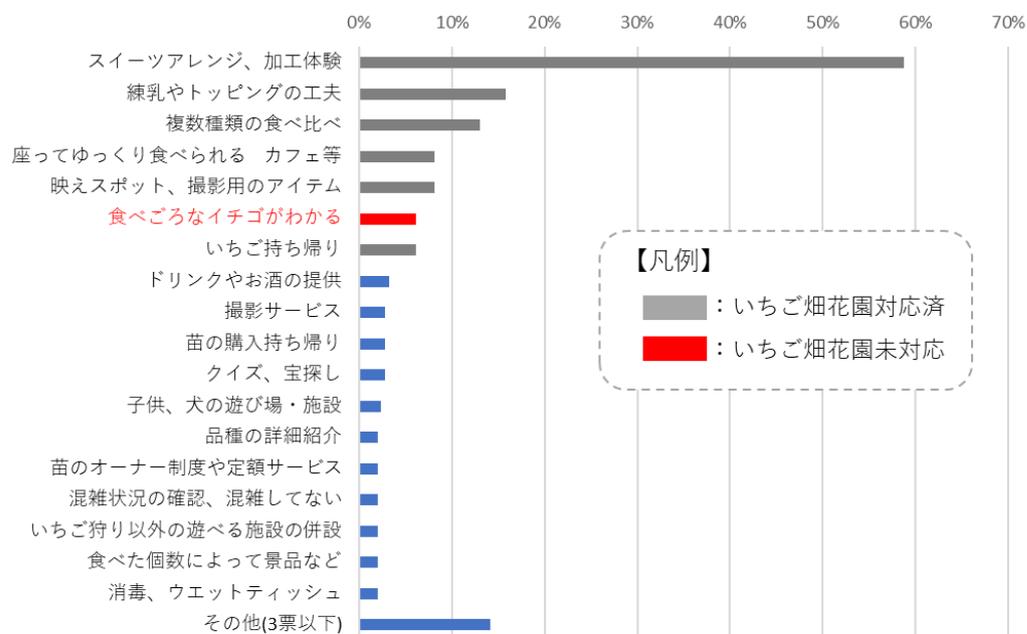
男性：20 名、女性 124 名、不明 1 名

・年齢

10 代：3 名、20 代：105 名、30 代：108 名、40 代：17 名、50 歳以上：13 名、不明：1 名

<行きたくなるイチゴ狩り>

行きたくなるイチゴ狩り（n=247,複数回答あり）



今回の実証に向けて、上記関係者にヒアリングを実施して、現時点で関係者が抱えている

課題や、必要としている取組、目指すべき方向性を以下の図にて整理しました。
 その課題に対して、必要な取組を生産者のニーズ・他のエリア等への普及展開も想定し、
 イチゴ観光農園事業における収益向上を目指し、関係者が考える必要な取組を組合せて、
 課題解決の方向性を整理し、そして本実証内容を決定しました。

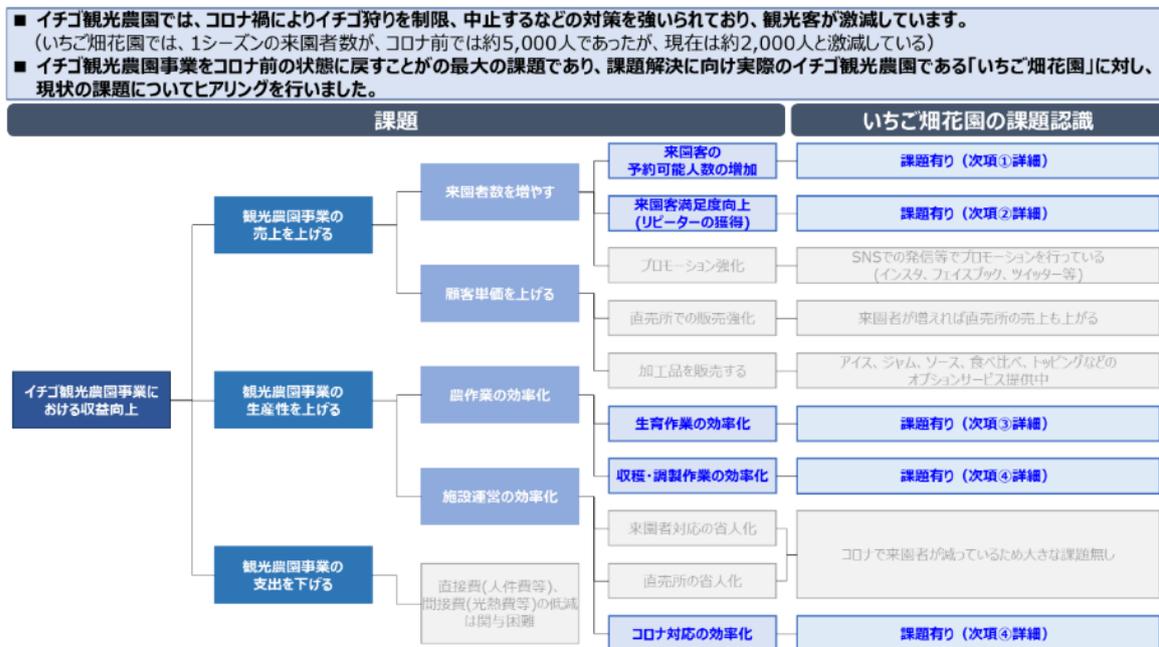


図 4-2 課題整理

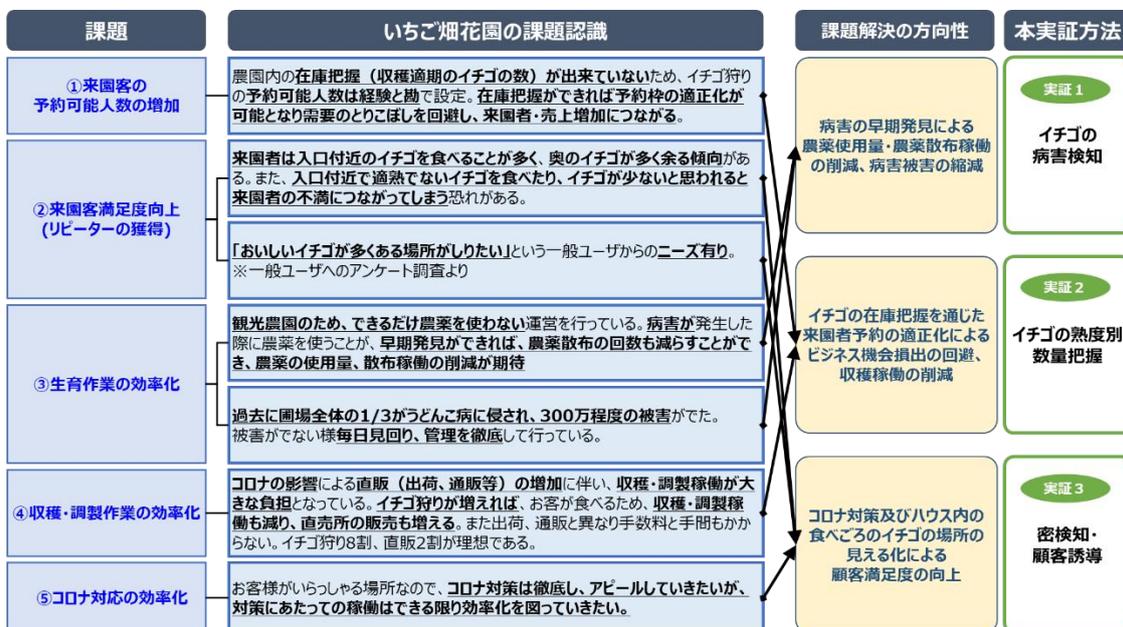


図 4-3 課題整理(つづき)及び解決の方向性

4.2.2 ローカル 5G を用いたソリューションによる課題解決

前項の課題を踏まえ、当該地域が抱える課題解決に資する最も効率的、効果的なソリューションを実施するとともに、ローカル 5G を活用したスマート農業の社会実装の推進、更には新型コロナウイルスの感染症リスクを踏まえた観光農園現場の新たな生活様式への対応の実現を目指します。解決策の見極めが急務である 3 種要素技術について、実環境のイチゴの観光農園および試験ハウスにおいて「イチゴの病害検知」、「イチゴの熟度別数量把握」、「密検知・顧客誘導」に関する実証に取り組みました。

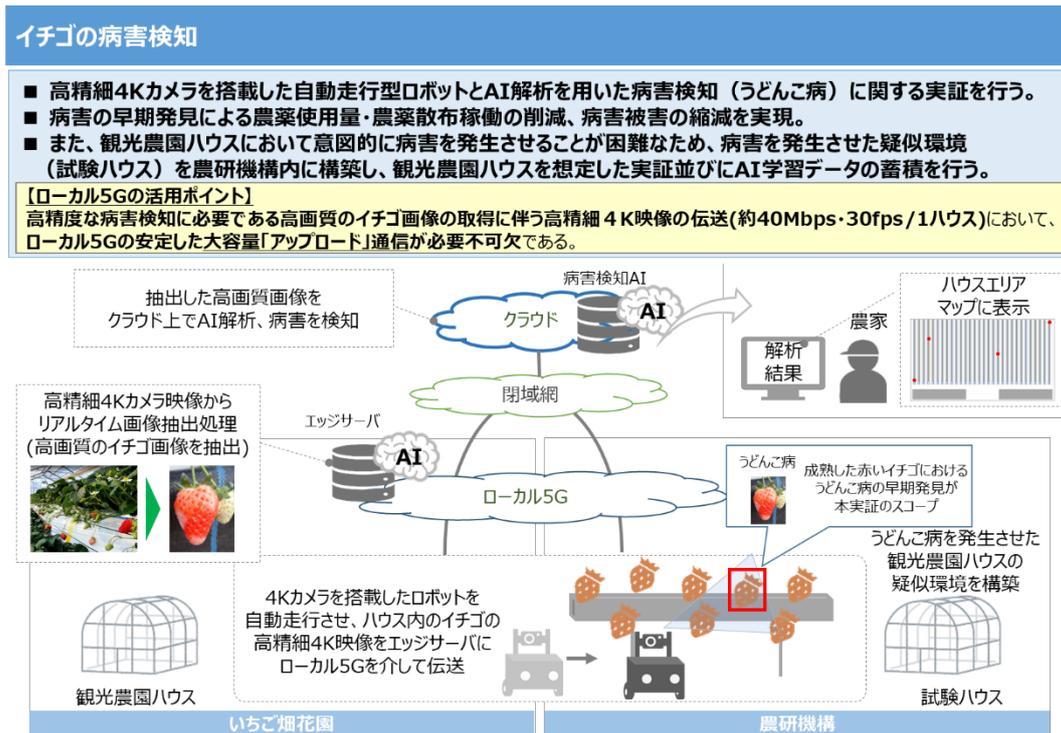


図 4-4 イチゴの病害検知

イチゴの熟度別数量把握

- 高精細4Kカメラを搭載した自動走行型ロボットとAI解析を用いたイチゴの熟度別数量把握に関する実証を行い、適切な来園者数の設定(予約枠)による「ビジネス機会損出の回避」、「収穫稼働の削減」を実現。

【ローカル5Gの活用ポイント】

高精度な熟度別数量把握に必要となる高精細4K映像の伝送(約40Mbps・30fps/ハウス)において、ローカル5Gの安定した大容量「アップロード」通信が必要不可欠である。

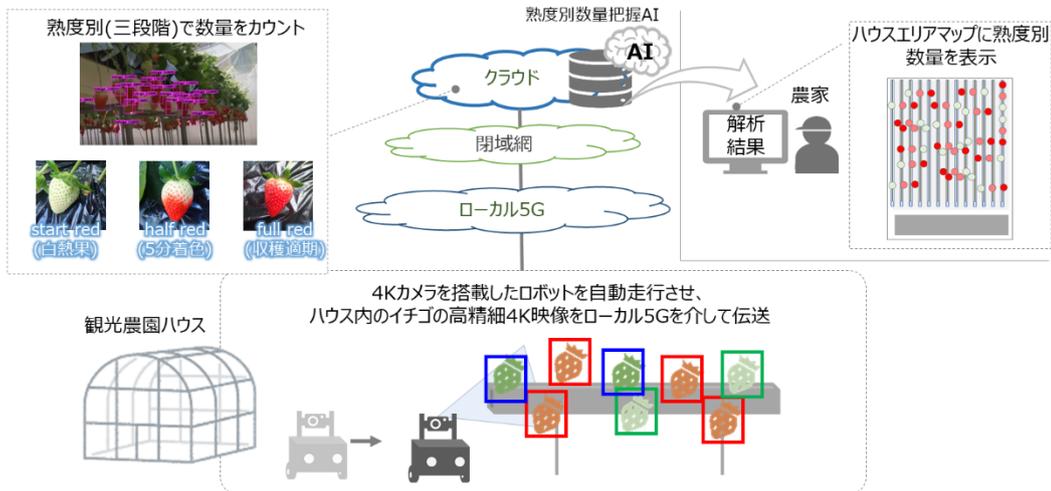


図 4-5 イチゴの熟度別数量状況

密検知・顧客誘導

- 複数台の高精細カメラとAI解析を用いて、ビニールハウス内の密検知及び食べごろのイチゴの場所をリアルタイムで見える化する実証を行い、コロナに対応した施設運営及び顧客満足度の向上を実現。

【ローカル5Gの活用ポイント】

広範囲エリアにおいて人物検知を最小限のカメラ台数(最大20m先の人物を撮影)で実現するにあたり、高精細4K映像(約24Mbps・30fps/ハウス)の伝送が必要となり、ローカル5Gの安定した大容量「アップロード」通信が必要不可欠である。

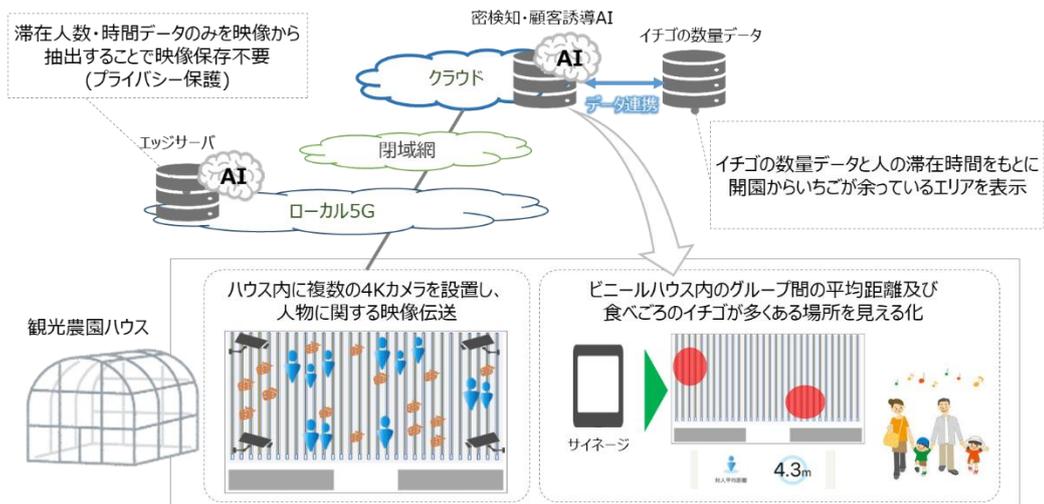


図 4-6 密検知・顧客誘導

4.2.3 各実証におけるローカル 5G 活用の必然性

各実証におけるローカル 5G 活用の必然性について、以下に示します。

4.2.3.1 イチゴの病害検知・熟度別数量把握システム

本システムは、自立走行型ロボットより取得する高精細 4K カメラ映像から、イチゴの病害検知、および熟度別数量把握（三段階）に必要な高解像度なイチゴの画像を取得するにあたり、カメラからエッジサーバ間で高精細 4K 映像の大容量データの伝送が必須となります。具体的には、本実証において 1 ハウスにつき、4K カメラ（約 20Mbps、30fps/台）を搭載したロボットを 2 台走行させるため、合計 40Mbps、30fps 程度/1ハウスの映像伝送を可能とする大容量「アップロード」通信が必要となります。

また、より高精度なイチゴの病害検知・熟度別数量把握の実現にあたり、解析データの元となる高精細 4K 映像の伝送においてデータの損失、遅延のない安定的な伝送路（パケットロス率 0%、30msec 未満）が必要となり、ローカル 5G の特徴である他の電波と干渉がなく安定通信・低遅延通信が可能であることが必要となります。

さらに、ビニールハウス内の高設架台の栽培レーン間（1m）をロボットで自立走行させる必要があるため、有線ではなく高品質な無線ネットワークが必要となります。

4.2.3.2 密検知・顧客誘導システム

本システムは、最低限のカメラ台数でビニールハウス内のエリアをカバーし、人を検知するには高精細な映像が必須であり、それらを伝送する大容量通信が必要となります。具体的には、本実証において 1 台のカメラで最大 20m 先の人物を認識させる解像度が必要なため、人物検知用の 4K カメラ（約 4Mbps、30fps/台）を 6 台設置し、合計 24Mbps、30fps 程度/1ハウスの映像伝送を可能とする容量「アップロード」通信が必要となります。

また、より高精度な密検知・顧客誘導を実現するにあたり解析データの元となる高精細 4K 映像の伝送においてデータの損失、遅延のない安定的な伝送路（パケットロス率 0%、30msec 未満）が必要となり、ローカル 5G の特徴である他の電波と干渉がなく安定通信・低遅延通信が可能であることが必要となります。

さらに、観光農園のような大きな圃場においてカメラを利用する場合、有線のカメラであると設置場所までの配線を都度施さなければならず、加えて設置位置のフレキシブルな運用が困難と想定されるため、安定した高速大容量の無線ネットワークとの組み合わせが望ましいと考えます。今後、ローカル 5G の電波を直接受けられるカメラの開発が進み、安価なものが市中に出てきた場合は、最低限のカメラ台数、工事でフレキシブルな運用が期待できます。

4.2.4 令和2年度総務省ローカル5G実証農業分野課題への対応

令和2年度総務省ローカル5G実証におけるスマートグラスを活用したぶどう果実の「数量把握」、「熟度判断」に関する取り組み内容と今後の実証に必要と考える事項を整理し、本実証において残課題の解決に取り組みました。

本実証における「イチゴの熟度別数量把握」では自立走行型ロボットによる「数量把握」、「熟度判断」を行い、「更なる省人化」、「検出精度の向上」、「農業分野での横展開」に向け取り組みを行っております。

<ユースケースに基づく機能の差異（機能の高度化等）>

- 令和2年度実証ではスマートグラスを装着した人を介して数量把握・熟度判断に取り組まれていたが、本実証においてはLiDAR SLAM技術によりロボットをビニールハウス内において自動走行させ、人手を介さずにイチゴの数量把握・熟度判断を行いました。（完全自動化）
- 令和2年度実証ではスマートグラスを装着する人の身体差に伴う検知率の差異（装着者の身長の違いによりスマートグラスで果実を見る角度が異なる）が生じたが、本実証ではロボットによる一定角度での果実映像を取得するため、検出精度の向上が期待されます。
- 令和2年度実証ではスマートグラス装着者が果実を手を持った状態での検知等、対象物を固定した状態で検知を行っていたが、本実証ではロボットを用いて走行しながらイチゴの映像を取得し、実運用に耐えうる高精度なイチゴの数量把握・熟度判断を目指しています。

R2年度 スマートグラスを活用した熟練農業者技術の「見える化」の実現 (山梨県山梨市)		本実証 ＜イチゴの熟度別数量状況＞				
R2年度総務省ローカル5G実証におけるスマートグラスを活用したぶどう果実の「数量把握」、「熟度判断」に関する実証結果を踏まえ、今後の実証に必要とされる残課題の解決に取り組みます。 本実証における「イチゴの熟度別数量状況」では自動走行型ロボットによる「数量把握」、「熟度判断」を行い、更なる省人化・検出精度の向上・農業分野での横展開に向け取り組みます。						
実証概要	実証結果を踏まえた今後の課題	R3年度における取組みの差分・ポイント				
<ul style="list-style-type: none"> ●スマートグラスに搭載されたカメラでブドウの状態を撮影し、AIによる最適な軸長・適粒数、収穫の回答を解析し、スマートグラス上に投影 ●熟練作業者の栽培・収穫等技術をスマートグラス・AIを通して継承し、新規就農者の作業効率・精度の向上に貢献 <table border="1"> <tr> <td>課題ソリューション ※類似領域のみ抜粋</td> <td>ユースケース</td> </tr> <tr> <td>農業領域 (匠ソリューション)</td> <td>適粒切除粒数表示（数量把握） 適期収穫色判断（熟度）</td> </tr> </table>	課題ソリューション ※類似領域のみ抜粋	ユースケース	農業領域 (匠ソリューション)	適粒切除粒数表示（数量把握） 適期収穫色判断（熟度）	<ul style="list-style-type: none"> 人の介入が必要である (人によるスマートグラスを活用した取り組み) 高齢化する農業現場におけるスマートグラスの利用の障壁 (焦点を合わせる、着用による疲労など) 人の違い(身長等)による検出結果に差異が生じる (一定の角度でみる必要がある) 他の農作物、農業現場への応用可能性の確認 (当実証はぶどう農家) 	<ul style="list-style-type: none"> 自動走行型ロボットによる「数量把握」、「熟度判断」の完全自動化 (更なる省人化が期待) ロボットによる一定の角度での映像・画像の取得 (検出精度の向上が期待) イチゴの観光農園における活用 (農業分野での横展開が期待) ※イチゴはぶどう同様農林水産省の輸出重点品目に選定
課題ソリューション ※類似領域のみ抜粋	ユースケース					
農業領域 (匠ソリューション)	適粒切除粒数表示（数量把握） 適期収穫色判断（熟度）					

図 4-7 令和2年度総務省ローカル5G実証を踏まえた本実証の残課題への取り組み

4.2.5 実装シナリオ

現在、農業分野における課題として、農業従事者の高齢化により生産者が減少していること、生産者の高齢化から世代交代等を機に耕作放棄地が近年増加傾向であることがあります。持続可能な農業を実現していくためには、農業の担い手の確保・育成が必要ですが、特に後継者不足の課題があります。また、初期投資の壁や技術ノウハウ伝承の壁等があり、新規就農が難しいという課題があります。

このような課題を踏まえて、農業の生産性を向上し、より効率的な農業経営力を高め、新規就農が始めやすい環境を作っていくことが必要です。本実証では新規就農者への技術継承として、病害検知システムと熟度別数量把握システムの検証を行い、熟練者と同等の検知、見回り作業が可能かどうか見極め、有効性を確認します。

機能実証や効果検証の結果をもとに、本実証エリアでの実装が可能か判断を行います。なお、本実証は農林水産省「スマート農業加速化実証」との連携実証であるため、実装の判断は令和4年度の実証終了後に行う予定です。2年間の実証後に、本実証システムを「深谷モデル」としてパッケージ化し、横展開を行う計画です。

各システムを横展開するにあたっては「図4-8」に記載のシナリオを想定しています。

本実証事業の取組から、「実証モデルを活用したビジネスモデル展開」を目指していきます。

- ・深谷市実証事業モデルの展開
- ・街としての新しい農業事業の創出
- ・ノウハウのブランド化（売り物化）等

本実証事業をもとに、更なる農業を起点とした街づくりの推進に向けた取組を検討いたします。



図 4-8 実証事業展開案～農業分野における展開～

まずはステップ1として、本実証エリアである深谷市を中心に近隣のイチゴ生産者を対象に本実証システムの利用者を増やしていくことを検討しています。次にステップ2として、イチゴ以外の作物への展開を検討しています。深谷市はアグリテック集積戦略としてスマート農業技術と生産者のマッチングを支援しており、この枠組みを活用することで、イチゴ以外の生産者の課題を吸い上げ、本実証システムをさらに発展させることが可能と考えます。ステップ2で得たノウハウをもとに、最終的には新しい農業事業の創出を目指します。ノウハウだけではなく、本実証システムも技術的に成熟していると予想されることから、例えば農地だけ所有し、生産活動はすべてロボットに任せるといった完全無人化モデルを策定し、農業分野への新規参入者増加を図ります。こういった3ステップの取り

組みを通して農業を起点とした街づくりを推進していきます。

なお、上記実装シナリオについては、技術上の課題や費用対効果、ユーザーの生産規模といった要素を適宜見直していく必要があると考えています。そのため、実証期間中に各ステークホルダーとも相談の上、適宜見直しを行うこととします。最終的な実装シナリオは「4.4.2 ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証」に記載していません。

4.2.6 実証目標

本実証では、農作業及び観光農園運営の効率化の実現に向け「3.2 実証環境」で構築したローカル5G等の実証環境下においてローカル5G、ロボット、AIの先進テクノロジーを活用した「イチゴの病害検知」、「イチゴの熟度別数量把握」、「密検知・顧客誘導」に関する実証を行い、効果・機能・運用、他地域への横展開の観点等多角的に検討を行いました。

<課題解決に対する KPI>

① イチゴの病害検知

ビニールハウス内における成熟したイチゴの病害（うどんこ病）を早期に発見することによる農薬使用量・農薬散布稼働の削減を KPI に設定しました。

【目標】

- ・農薬散布量 33%以上削減（1 回分以上の削減）
- ・農薬散布稼働 33%以上削減（1 回分以上の削減）

【算定根拠・目標達成の位置づけ】

現状、いちご畑花園ではうどんこ病が発生した際、農薬散布を 3 回実施しているが、病害を早期発見することで散布回数や散布範囲を低減させることができるという生産者からのヒアリング結果をもとに、イチゴの病害検知を用いて散布回数を 2 回もしくは 1 回、散布範囲を低減させ、散布量及び散布稼働の削減を目指します。

農薬散布 3 回実施のうち、1 回分以上の削減を目指すことに基づき、目標値を 3 回のうち 1 回分以上削減することにあたる 33%以上を目標値として設定しました。農林水産省の「みどり戦略」においても、「2050 年までに化学農薬使用量の 50%低減」を目標としていることから、本実証の病害検知システムによる農薬散布量の削減として、その一部となる 33%を削減するという目標は妥当と判断しました。

また、目標達成を通じて、できる限り農薬を使わない事業方針（観光農園であるため）への貢献及び運営コスト削減を目指します。

【実証時期】

令和 4 年 2 月

② イチゴの熟度別数量把握

ビニールハウス内における収穫適期のイチゴの数量を把握することによる集客数の向上（予約可能人数の適正化）、並びに収穫・調製稼働の削減を KPI に設定しました。

【目標】

- ・集客数 25%増
- ・収穫・調製稼働 25%削減

【算定根拠・目標達成の位置づけ】

集客数については令和3年1月～5月の集客数実績約2,000人を踏まえ、2022年1月～5月は当システムを通じて2,500人(+25%)の集客を目指します。但し、本実証では、実証期間中の2週間程度の期間において25%の集客増を目指します。

※最終目標は、コロナ前の集客数5,000人に引き戻すこととなりますが、当目標は農林水産省「スマート農業実証プロジェクト」と連携し、2カ年で取り組んでいきます。

(コロナ前：約5,000人、コロナ禍：約2,000人)

収穫・調製稼働については、前述の集客数25%増を達成と仮定した際、1日あたり+5人の集客となり(補足1参照)、1日あたり収穫・調製稼働を30分削減できることから(補足2参照)、本システムにより25%の削減効果(補足3参照)が期待できます。

また、目標達成を通じビジネス機会損出の回避及び農作業稼働の削減を目指します。

<補足1：1日あたりの集客増加数>

- ・作シーズの1月～5月の集客数実績：約2,000人
- ・1カ月(20営業日)あたりの集客数：400人、
- ・1日あたりの集客数：20人
- ・1日あたり集客数(+25%)：25人
- ・1日あたりの集客増加数：5人

<補足2：1日あたりの収穫・調製稼働の削減時間>

- ・来園者ひとりあたりの消費量：2パック
- ・1日あたりの集客増数：5人
- ・1日あたりの収穫・調製稼働削減パック数：10パック
- ・1パックあたりの収穫・調製稼働：3分
- ・1日あたりの収穫・調製稼働の削減時間：30分

<補足3：1日あたりの収穫・調製稼働削減率>

- ・1日あたりの収穫・調製パック数：50パック
- ・1パックあたりの収穫・調製稼働：3分
- ・1日あたりの収穫・調製稼働時間：150分
- ・1日あたりの収穫・調製稼働の削減時間：30分
- ・1日あたりの収穫・調製稼働削減率：25%

【実証時期】

令和4年2月

③ 密検知・顧客誘導

ビニールハウス内における密状況及び食べ頃のイチゴが残っているエリアの見える化による対人平均距離(ソーシャルディスタンスの維持)、顧客満足度の向上をKPIに設定し

ました。

【目標】

- ・対人平均距離 2m 以上
- ・顧客満足度 80%以上

【算定根拠・目標達成の位置づけ】

対人平均距離については厚生労働省が定める、「新しい生活様式」の実践例における、指標に基づき、目標を算定しました。観光農園の運営における新型コロナウイルス感染リスクの低減及び来園者へのアピールにもつながります。

本実証における顧客誘導の取り組みの顧客満足度 80%以上を高評価と設定しました。満足度の向上に寄与することで、リピーターや口コミによる更なる集客効果を期待できます。

【実証時期】

令和4年2月

4.3 実証環境

本実証では、いちご畑花園（埼玉県深谷市黒田 646-1）が保有しているビニールハウスにおいて「イチゴの病害検知」、「イチゴの熟度別数量把握」、「密検知・顧客誘導」の実証を行いました。

また、「イチゴの病害検知」については、実証期間中にいちご畑花園において病害が発生しない可能性があること、また観光農園のビニールハウスで病害を故意に発生させることは困難なため、いちご畑花園においては、病害いちご模型を利用して、実証を行いました。さらに、農研機構（茨城県つくば観音台 3-1-1）の試験ハウス内の1レーンにおいて病害を故意に発生させ、観光農園のビニールハウスの疑似的な環境においても実証を行っております。

<いちご畑花園 実証フィールド>

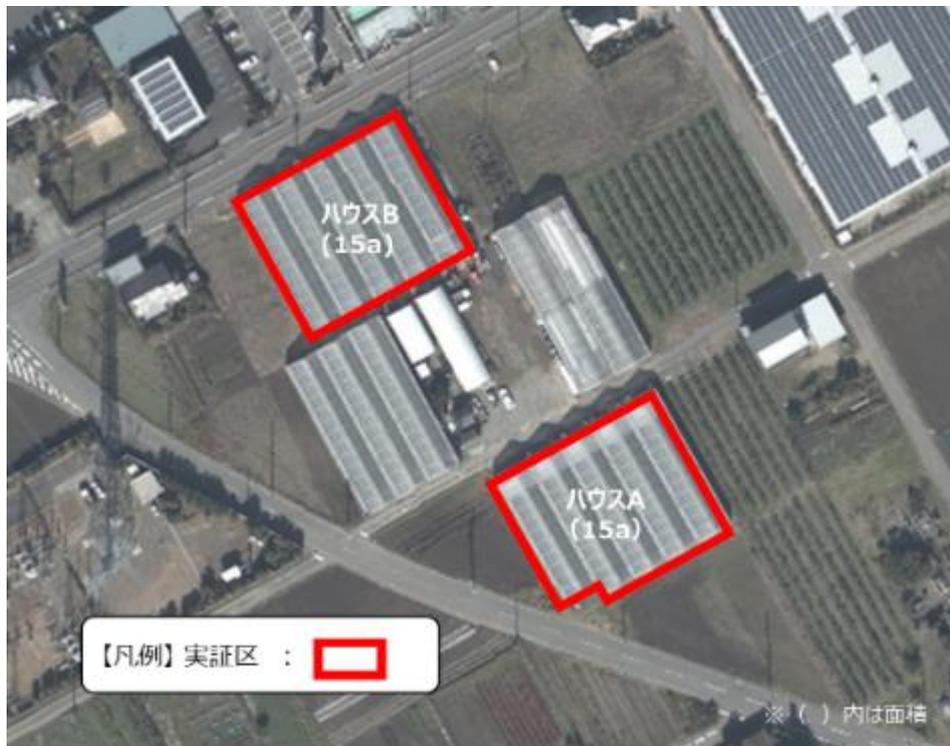


図 4-9 いちご畑花園の圃場
(国土地理院（電子国土 Web）（URL：<https://maps.gsi.go.jp/>）のデータを使用して作成)

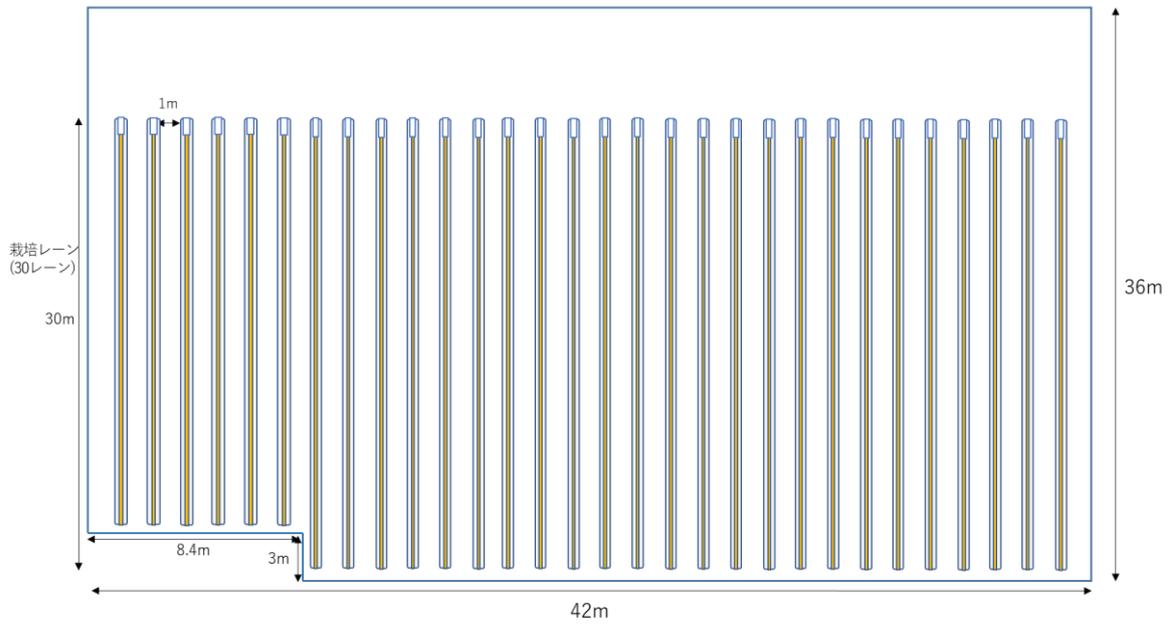


図 4-10 いちご畑ハウス A

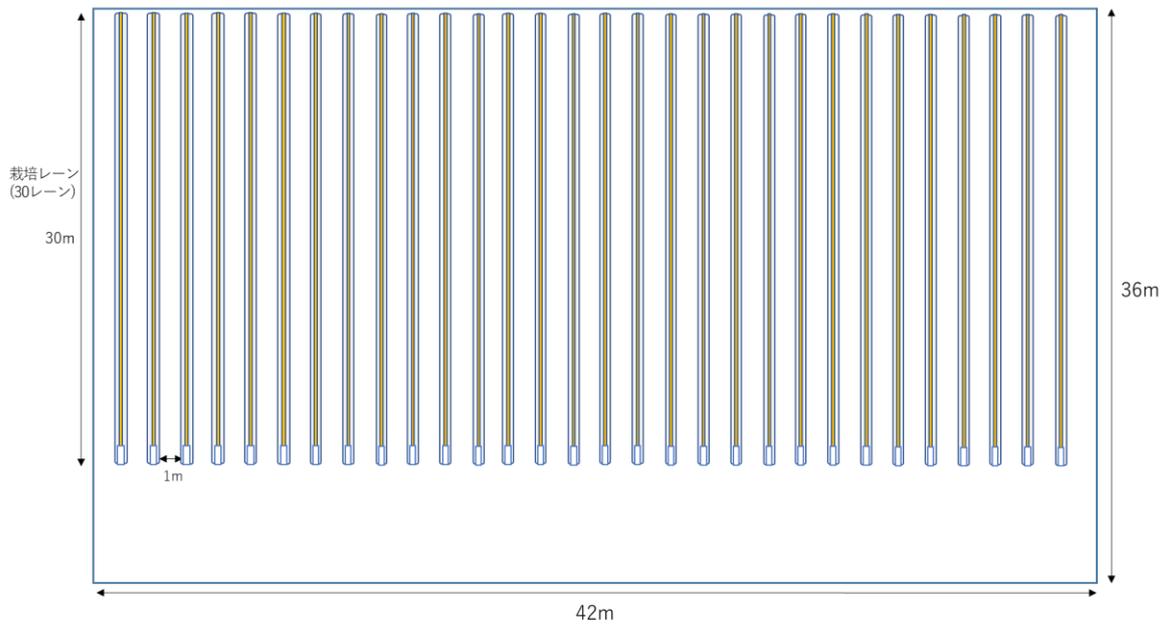


図 4-11 いちご畑ハウス B

<農研機構 実証フィールド>

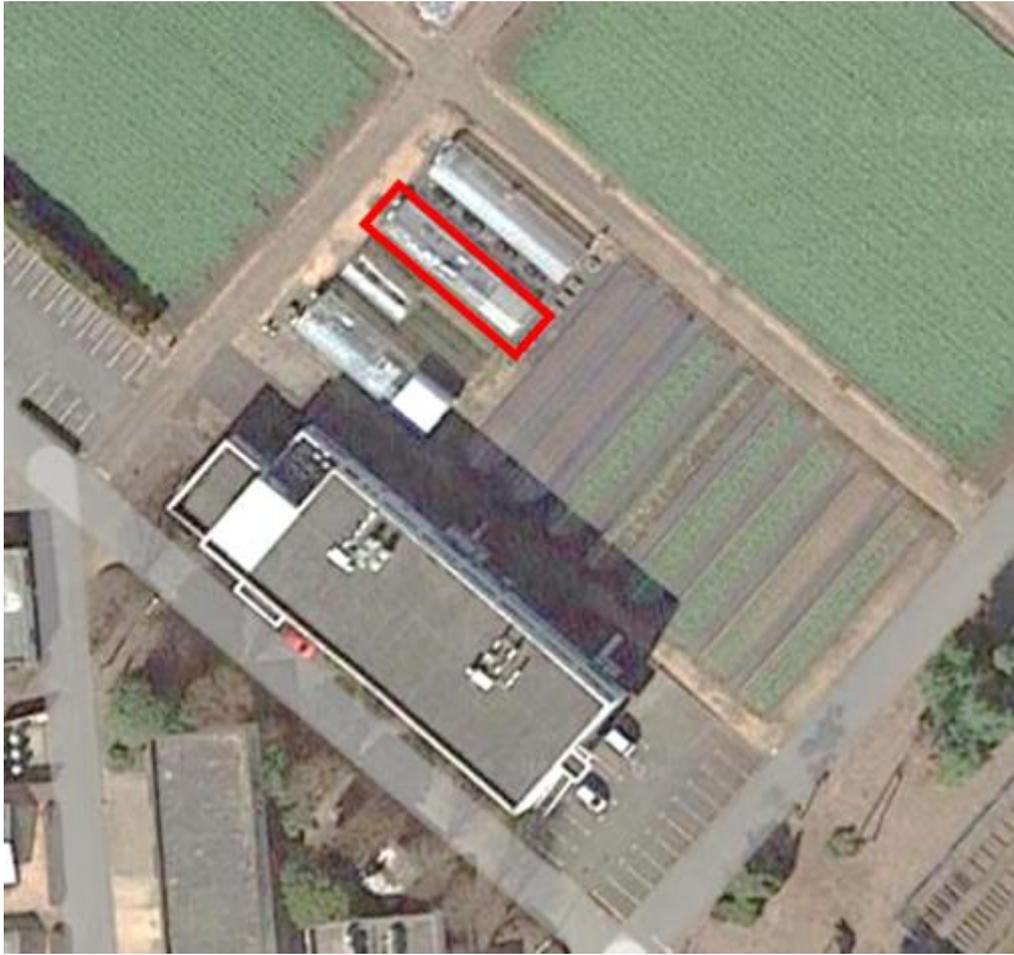


図 4-12 農研機構の試験ハウス
(国土地理院 (電子国土 Web) (URL : <https://maps.gsi.go.jp/>) のデータを使用して作成)

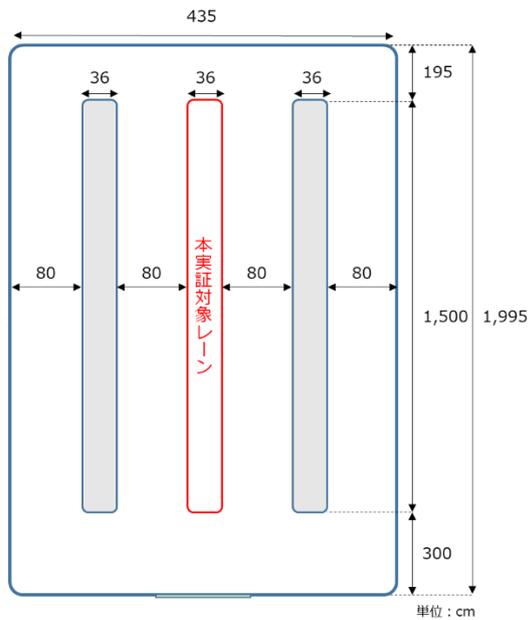


図 4-13 農研機構の試験ハウス

4.4 実証内容

4.4.1 ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証

4.4.1.1 効果検証

(1) 評価・検証項目

従来環境と比較して農作業、観光農園運営における効率性及び有用性について定量的かつ定性的な面から測定し、効果検証を行いました。評価・検証項目を以下に示します。

1) イチゴの病害検知システム

a) 農薬使用量、費用、散布稼働の削減効果

うどんこ病を発症したイチゴの模型を有識者（農研機構）と共同で制作し、それらの模型をビニールハウス内に無作為に設置し、生産者による回収率と当システムによる検知率を比較し評価します。

また、生産者に対して行ったうどんこ病が発症したイチゴを発見した際の防除作業（農薬散布回数、散布量、費用等）についてのヒアリングに基づき、検知率から農薬使用量、費用、散布稼働の削減効果を評価します。

b) 病害発見に要する時間削減効果

うどんこ病を発症したイチゴの模型をビニールハウス内に設置し、生産者による検知に要した時間と当システムによる検知に要した時間を比較し、検知に要する時間の削減効果について評価します。

c) 生産者の満足度に関する効果

いちご畑花園社員に対して当システムに関するアンケート調査を実施し、生産者の満足度に関する効果を評価します。また、有用性を感じるという回答が 8 割以上をもって当システムを有効として評価します。

2) イチゴの熟度別数量把握システム

a) 集客数の増加効果

従来の手法による予約可能人数と当システムによる予約可能人数を比較し、集客数の増加効果を評価します。

なお、新型コロナウイルスの影響により、いちご畑花園ではイチゴ狩りの新規予約受付を停止したため、新型コロナウイルスの影響がなく通常営業を行えた場合の試算結果から、予約可能人数の比較を行います。

b) 収穫・調製稼働の削減効果

従来の手法による収穫・調製稼働と当システムによる収穫・調製稼働を比較し、収穫・調製稼働の削減効果を評価します。

尚、新型コロナウイルスの影響により、いちご畑花園ではイチゴ狩りの新規予約受付を停止したため、新型コロナウイルスの影響がなく通常営業を行えた場合の試算結果から、収穫・調製稼働の比較を行います。

c) 生産者の満足度に関する効果

いちご畑花園社員に対して当システムに関するアンケート調査を実施し、生産者の満足度に関する効果を評価します。また、有用性を感じるという回答が8割以上をもって当システムを有効として評価します。

3) 密検知・顧客誘導システム

a) 新型コロナウイルスの感染防止効果

当システムによる誘導を行わなかった場合と当システムによる誘導を行った場合の平均対人距離を比較し、新型コロナウイルスの感染防止効果を評価します。

なお、新型コロナウイルスの影響によりいちご畑花園では開園日を限定したため、検証期間も限定せざるを得ず、それぞれ1日ずつ実施します。

なお、イチゴ狩りにおいては子供連れの利用も多く、密回避に必要な対人距離を取ることができない場合も多いため、本実証においてはグループ間の隔離距離を測定し、モニタ表示することとしました。

b) 生産者の満足度に関する効果

いちご畑花園社員に対して当システムに関するアンケート調査を実施し、生産者の満足度に関する効果を評価します。また、満足を感じるという回答が8割以上をもって当システムを有効として評価します。

c) 観光客の満足度に関する効果

観光客に対して、当システムに関するアンケート調査を実施し、当システムの効果を評価しました。また、有用性を感じるという回答が8割以上をもって当システムを有効として評価しました。

(2) 評価・検証方法

1) イチゴの病害検知システム

a) 農薬使用量・費用・散布稼働の削減効果

- ① 4K カメラ搭載の自立走行型ロボットがビニールハウス内を撮影しながら走行し、無作為に設置した病害イチゴ模型を検知した数を記録します。
- ② いちご畑花園の従業員が朝の収穫作業の際に、ビニールハウス内に無作為に設置した病害イチゴ模型を回収した数を記録します。
- ③ 当システムの検知率と従業員による回収率を比較し、農薬使用量・費用・散布稼働の削減効果について評価します。

b) 病害発見に要する時間削減効果

- ① 4K カメラ搭載の自立走行型ロボットがビニールハウス内を撮影しながら走行し、無作為に設置した病害イチゴの模型を検知し終えるまでの所要時間を計測します。
- ② いちご畑花園の従業員が朝の収穫作業の際に、ビニールハウス内に無作為に設置した病害イチゴ模型を回収し終えるまでの所要時間を計測します。
- ③ 当システムの所要時間と従業員の所要時間を比較し、病害発見に要する時間削減効果を評価します。

c) 生産者の満足度に関する効果

- ① いちご畑花園社員に対して当システムの満足度に関するアンケート調査を実施します。
- ② アンケート項目は「図 4-14」の通りです。アンケートに対する各回答の構成比を表示します。

c) 観光客の満足度に関する効果

- ① 観光客にアンケート調査を実施します。
- ② アンケート項目案は「図 4-17」の通り。アンケートに対する各回答の構成比を表示します。

(3) 実証結果及び考察

1) イチゴの病害検知システム

a) 農薬使用量・費用・散布稼働の削減効果

ビニールハウス内に病害イチゴの模型を無作為に設置し、当システムの検知数・検知率と、いちご畑花園の従業員が朝の収穫作業時に回収した模型の数・回収率は「表 4-2」の通りでした。

表 4-2 病害イチゴ模型の検知数・検知率

	従業員	当システム
実施数	1 人	1 台
模型配置	20 個	20 個
回収数・検知数	19 個	17 個
回収率・検知率	95%	85%
見逃し率	5%	15%

また、実証フィールドであるいちご畑花園にて、うどんこ病が発生した際の防除作業についてヒアリングをした結果は「表 4-3」の通りです。

表 4-3 農薬使用量・費用・散布稼働のヒアリング内容

項目	回答内容
ヒアリング対象	いちご畑花園
ヒアリング日	2022/1/14
散布範囲	進行度によらずハウス全体に散布
面積	15a (1,500㎡)
散布回数	1回/週 x 3週間
散布量	450L
農薬単価 ^{*1}	3,000円/1回
農薬費	9,000円
農薬散布稼働	4人時 x 3回
稼働単価 ^{*2}	956円/時
稼働費	11,472円
合計	20,472円

*1 農薬により変動。菌が抗体を持つ可能性もあるため、頻繁に変更

*2 埼玉県の最低賃金を記載

併せて、「農薬散布を減らすために栽培方法の見直しの必要性を感じていますか」についてもヒアリングしたところ、「平畝・土耕と高畝・高設架台で病害の発生確率に差異は無いものと考えるので、栽培方法の見直しなどは現在検討していない。」とのご意見をいただきました。

また、本実証のコンソーシアムメンバーである埼玉県大里農林振興センターに対し、農薬使用量についてヒアリングを行ったところ、大里地区で高設架台によるイチゴ栽培を行う6農家の10アール当たりの農薬（防除薬剤）使用量の平均は、約235Lであることが分かりました。

いちご畑花園の使用農薬費と散布稼働費の合計金額を防除作業コストとして、削減効果を以下の式から1回の見回り・検知を対象に試算したところ、農薬費用・散布稼働の削減効果は見込めない結果となりました。

（防除作業コスト削減効果）

$$= (\text{当システムの検知率と従業員の回収率の差}) \times (\text{防除作業コスト})$$

$$(85\% - 95\%) \times 20,472 \text{ 円} = -2,047.2 \text{ 円}$$

ただし、ロボットによる見回りは1日に複数回可能なので、1日に2回の走行を行うと見落とし率は2.25%となり、人の見回り検知率を上回ることが可能となります。よって、作業者と同等程度の病害検知が可能であり、少なくとも病害検知の見回りの稼働削減につながるのではないかと考えられます。

なお、本検証は実営業を行っている観光農園で実施したため、模型のイチゴを使用せざるを得ず、果実や茎の質感は実物とは異なるものでした。にもかかわらず従業員の回収率も100%とはならなかったため、実物のイチゴで検証した場合は更に見逃しが発生しやすい可能性も考えられます。一方で、当システムの検知率は学習を重ねることで向上させることが可能であるため、農薬使用量・費用・散布稼働の削減効果が期待されます。

また、実証評価における追加のヒアリングにおいて、うどんこ病は菌の蔓延による感染があるため、現状でも目に見える被害がなくなっても滅菌のために3回散布を行っていることがわかりました。そのため、本実証の結果だけでは菌がハウス内にどれだけ残っているか把握できないため散布回数を減らすことはできないとの意見をもらいました。より現状の防除作業に即したシステムとなるよう改修が必要と考えます。

b) 病害発見に要する時間削減効果

ビニールハウス内に病害イチゴの模型を無作為に設置し、当システムの検知数・検知率と、いちご畑花園の従業員が朝の収穫作業時に回収した模型の数・回収率は「表 4-4」の通りとなりました。

表 4-4 病害イチゴ模型の回収数・回収率

	従業員	当システム
実施数	1人	1台
模型配置	20個	20個
回収数・検知数	19個	17個
作業時間	30分	45分

見回りに関する作業時間は従業員より当システムの方が長い結果となりました。しかし、本システムは完全自立走行することで、作業員の介在がほとんどなくなるため、人の見回り作業時間・稼働を削減し、別の作業に充てることが可能となる見込みです。

c) 生産者の満足度に関する効果

令和4年3月8日にいちご畑花園の従業員12名に対して、各システムについてのアンケートを実施しました。なお、各従業員の経験年数は「表4-5」の通りとなります。

表 4-5 アンケート対象の経験年数、およびその人数

経験年数	人数
0-5年	5名
6-10年	4名
11-15年	2名
16年超	2名

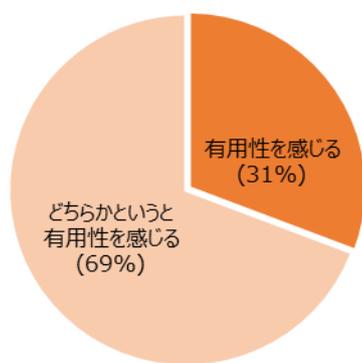
本アンケートの結果を「表4-6」、および「図4-18」に示します。全従業員がイチゴの病害検知システムに対して「有用性を感じる」もしくは「どちらかといえば有用性を感じる」と回答し、本システムは有用であると判断可能な結果となりました

表 4-6 アンケート項目と回答結果（病害検知システム）

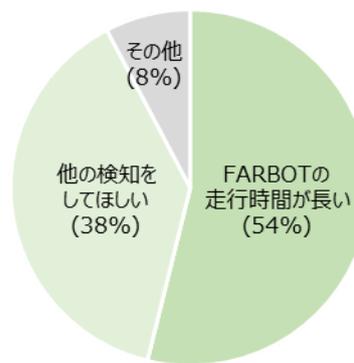
項目	回答	備考
Q1：イチゴの病害検知システムに有用性を感じますか？		
ア. 有用性を感じる	4	31%
イ. どちらかというとも有用性を感じる	9	69%
ウ. どちらでもない	0	0%
エ. どちらかというとも有用性を感じない	0	0%
オ. 有用性を感じない	0	0%
Q2：システムについて、改善点やご要望がございましたら、ご記入ください		
ア. PCの表示が見づらい	0	0%
イ. FARBOTの走行時間が長い	7	54%
ウ. 検知率が悪い	0	0%
エ. 他の検知をしてほしい	5	38%
オ. その他	1	8%
Q3：他のイチゴ観光農園に向けて、紹介したいですか？		
ア. 紹介したい	1	8%
イ. どちらかといえば紹介したい	3	23%
ウ. どちらでもない	9	69%
エ. どちらかといえば紹介したくない	0	0%
オ. 紹介したくない	0	0%

項目	回答	備考
Q4：これからイチゴ農家を始める方に向けて、紹介したいですか？		
ア. 紹介したい	2	15%
イ. どちらかといえば紹介したい	2	15%
ウ. どちらでもない	8	62%
エ. どちらかといえば紹介したくない	1	8%
オ. 紹介したくない	2	15%

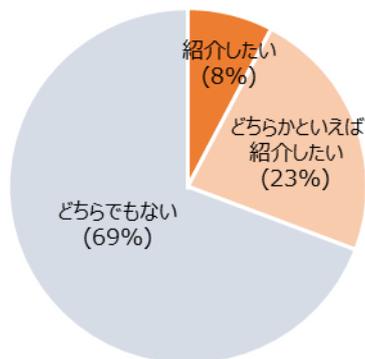
Q1
病害検知システムに
有用性を感じますか？



Q2
システムについて、改善点や
ご要望がございましたら、ご記入ください



Q3
他のイチゴ観光農園に向けて、
紹介したいですか？



Q4
これからイチゴ農家を始める方に向けて、
紹介したいですか？

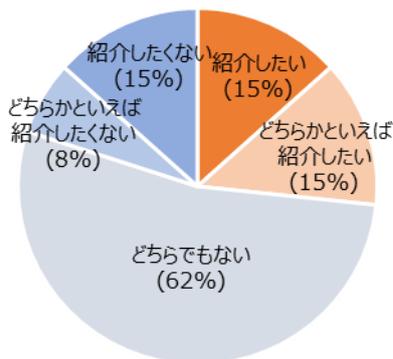


図 4-18 各回答の構成比（病害検知システム）

「Q2：システムについて、改善点やご要望がございましたら、ご記入ください」では、「FARBOT の走行時間が長い」、「うどんこ病以外の病虫害検知をしてほしい」という意見を頂きました。FARBOT（自立走行型ロボット）の走行時間短縮については、AI 診断に必要な画質を確保するためには走行速度を上げることが難しく、運用面で対応可能かどうかを

検討して参ります。また、うどんこ病以外の病虫害検知については、技術的に可能かどうかも含め、今後の取り組み課題として検討してまいります。

「Q3：他のイチゴ観光農園に向けて、紹介したいですか?」、「Q4：これからイチゴ農家を始める方に向けて、紹介したいですか?」では「どちらでもない」が60%を超えました。従業員のシステムへの習熟度が不足しているため、判断が困難であったと考えられます。次年度の農林水産省実証にて、システムを利用頂く場面を増やし、再度ヒアリングを行うことが有効だと考えられます。

2) イチゴの熟度別数量把握システム

a) 集客数の増加効果

新型コロナウイルスの感染再拡大の影響で、本検証は2/12（土）、2/26（土）の2日間で実施しました。

予約枠を推定するため、それぞれ前日の15時頃に本システムを用いて、各熟度別数量把握を実施し、結果は「表4-7」の通りになりました。

表 4-7 検証日前日の熟度別数量把握結果

	2月11日（金）	2月25日（金）
Full red	1,224 個	1,928 個
Half red	1,121 個	1,539 個
Start red	1,037 個	1,275 個

また、実証フィールドであるいちご畑花園にて、予約枠の考え方についてヒアリングしました。

●予約枠にかかるヒアリング結果

- ・1人の来園者の消費量は大体500～600gであるが、多い人では1,000g程度食べる来園者もいるため、予約枠を考える際は1人当たり1,000g消費するものとして計算し、いちごが少ない場合でも対応できるように予約枠は20人として考えている。いちごの個数が多い場合は、当日に飛び込みで来園されたお客様を受け入れて調整している。
- ・イチゴ1つの重量は20g程度であるため、1人当たりの消費個数は50個程度になる。

ヒアリング結果を基に、それぞれの検証日における受け入れ上限人数を試算すると、「表4-8」の通りになり、受け入れ上限人数を増加させ、機会損失の抑止が見込まれる結果となりました。

【条件】

- 1人当たりのイチゴの消費個数は50個とする。
- 「前日のFull redの個数」を50個で割った数を「試算した受け入れ上限人数」とする。
- 生産者が想定する受け入れ上限人数は20人である。

表 4-8 システム結果を基に試算した受け入れ上限人数

	2月12日（土）	2月26日（土）
前日のFull redの個数	1,224 個	1,928 個
試算した受け入れ上限人数	24 人	38 人
生産者が想定する受け入れ上限人数	20 人	
差分	+4 人	+18 人

本検証で試算した38人(+18人)について生産者にヒアリングを行ったところ、キャパシティを考慮しても受け入れ可能であることを確認しました。本検証の結果から、これまで当日の飛び込み客の受け入れで調整していた人数を事前に把握することができるため、本システムの効果は十分に見込まれるものと考えます。

一方で、Full red の個数で判断すると、あくまでも「当日の受け入れ枠」を調整することしかできないため、Half red や Start red の個数を基に、1 週間先の受け入れ枠を調整することは、次年度での取り組み課題となります。

また、生産者からは「40 日後の数量を把握したい」といった、さらに長期での予測を立てたいというご意見を頂きました。一般的に花が咲いてから 40 日後に Full red になるため、さらに対象範囲を広げ、花の個数等も用いた長期での受け入れ上限人数の推定が技術的に可能かどうかも含め、検討する必要があります。

b) 収穫・調製稼働の削減効果

生産者に、イチゴ狩り後の収穫・調制作業についてヒアリングしたところ、1 パック当たりの重量は 200～250g 程度であることがわかりました。「a) 集客数の増加効果」に記載のとおり、1 個当たりのイチゴの重量は 20g 程度であることを踏まえると、1 パック当たり、イチゴが 10 個程度入っていることとなります。この数字を基に、システム導入前の予約枠上限 20 名の場合と、「a) 集客数の増加効果」で試算した受け入れ上限数の場合とで、収穫・調制作業後の残りのパック数を比較すると「表 4-9」「表 4-10」の通りとなりました。

【条件】

- 1 人当たりのイチゴの消費個数は 50 個とする。
- 「来園者数」に 50 個をかけた数を「消費個数」とする。
- 「前日の Full red の個数」から「消費個数」を引いた数を「残りの Full red の個数」とする。
- 1 パック当たりのイチゴの個数は 10 個とする。
- 「残りの Full red の個数」を 10 個で割った数を「残りのパック数」とする。

表 4-9 システムを導入した場合の収穫パック数の比較 (2 月 12 日)

		当日の結果	受け入れ数上限での予測	
			20 名の場合	24 名の場合
前日の Full red の個数		1,224 個	1,224 個	1,224 個
来園者数		9 人	20 人	24 人
試算	消費個数	450 個	1,000 個	1,200 個
	残りの Full red の個数	774 個	224 個	24 個
	残りのパック数	77 パック	20 パック	2 パック
	導入効果	—	—	-90.0%

表 4-10 システムを導入した場合の収穫パック数の比較 (2月26日)

	当日の結果	受け入れ数上限での予測	
		20名の場合	38名の場合
前日の Full red の個数	1,928 個	1,928 個	1,928 個
来園者数	8 人	20 人	38 人
試算	消費個数	400 個	1,900 個
	残りの Full red の個数	1,528 個	28 個
	残りのパック数	152 パック	2 パック
	導入効果	—	-97.8%

いずれの検証日においても、システム導入前の 20 名を受け入れ数上限とした場合に対して、システム導入後は 90%以上のパック数の削減効果が見込まれる試算結果となりました。ただし、今回は新型コロナウイルスの感染再拡大に伴い、いちご畑花園では令和 4 年 1 月からの新規予約受付を停止したため、実証日数が大きく縮減し、試算結果の妥当性を分析できるほどのデータを取得することができませんでした。そのため次年度の農林水産省実証にて試行回数を重ね、試算内容の妥当性を分析し、よりいちご畑花園の実態に沿った予測が立てられるように精緻化を進めてまいります。

c) 生産者の満足度に関する効果

令和 4 年 3 月 8 日にいちご畑花園の従業員 12 名に対して、各システムについてのアンケートを実施しました。なお、各従業員の経験年数は「表 4-11」の通りとなります。

表 4-11 アンケート対象の経験年数、およびその人数

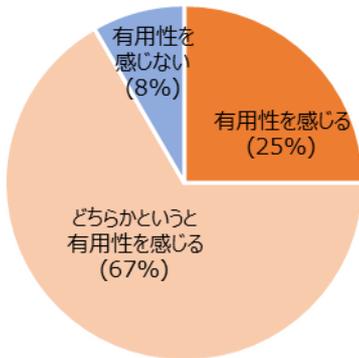
経験年数	人数
0-5 年	5 名
6-10 年	4 名
11-15 年	2 名
16 年超	2 名

本アンケートの結果を「表 4-12」、および「図 4-19」に示します。92%の従業員がイチゴの熟度別数量把握システムに対して「有用性を感じる」もしくは「どちらかといえば有用性を感じる」と回答頂き、本システムは有用であると判断可能な結果となりました。

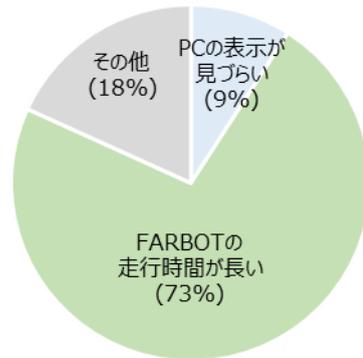
表 4-12 アンケート項目と回答結果（熟度別数量把握システム）

項目	回答		備考
Q1：熟度別数量把握システムに有用性を感じますか？			
ア. 有用性を感じる	3	25%	
イ. どちらかというとも有用性を感じる	8	67%	
ウ. どちらでもない	0	0%	
エ. どちらかというとも有用性を感じない	0	0%	
オ. 有用性を感じない	1	8%	
(未回答)	1	—	
Q2：システムについて、改善点やご要望がございましたら、ご記入ください			
ア. PC の表示が見づらい	0	0%	
イ. FARBOT の走行時間が長い	7	54%	
ウ. 検知率が悪い	0	0%	
エ. 他の検知をしてほしい	5	38%	イチゴ全体の赤さを検知してほしい
オ. その他	1	8%	
(未回答)	2	—	
Q3：他のイチゴ観光農園に向けて、紹介したいですか？			
ア. 紹介したい	0	0%	
イ. どちらかといえば紹介したい	3	23%	
ウ. どちらでもない	10	77%	
エ. どちらかといえば紹介したくない	0	0%	
オ. 紹介したくない	0	0%	
Q4：これからイチゴ農家を始める方に向けて、紹介したいですか？			
ア. 紹介したい	0	0%	
イ. どちらかといえば紹介したい	3	23%	
ウ. どちらでもない	9	69%	
エ. どちらかといえば紹介したくない	0	0%	
オ. 紹介したくない	1	8%	

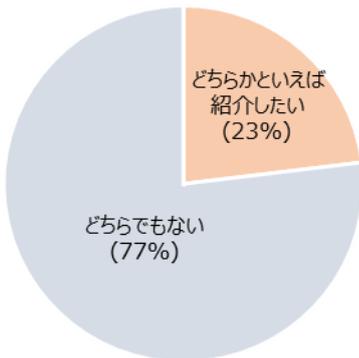
Q1
熟度別数量把握システムに
有用性を感じますか？



Q2
システムについて、改善点や
ご要望がございましたら、ご記入ください



Q3
他のイチゴ観光農園に向けて、
紹介したいですか？



Q4
これからイチゴ農家を始める方に向けて、
紹介したいですか？

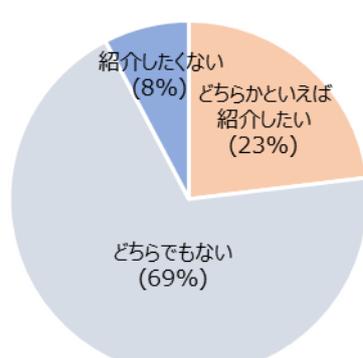


図 4-19 各回答の構成比（熟度別数量把握システム）

「Q2：システムについて、改善点やご要望がございましたら、ご記入ください」では、「FARBOT の走行時間が長い」、「イチゴ全体の赤さを検知してほしい」という意見を頂きました。FARBOT（自立走行型ロボット）の走行時間については、病害検知システムと同様、AI 診断に必要な画質を確保するためには走行速度を上げることが難しく、運用面で対応可能かどうかを検討して参ります。イチゴ全体の赤さを検知することについては、技術的に可能かどうかも含め、今後の取り組み課題として検討します。

「Q3：他のイチゴ観光農園に向けて、紹介したいですか？」、「Q4：これからイチゴ農家を始める方に向けて、紹介したいですか？」では「どちらでもない」が60%を超え、病害検知システムと同様の結果となりました。従業員のシステムへの習熟度が不足しているため、判断が困難であったと考えられます。次年度の農林水産省実証にて、システムを利用頂く場面を増やし、再度ヒアリングを行うことが有効だと考えられます。

3) 密検知・顧客誘導システム

a) 新型コロナウイルスの感染防止効果

新型コロナウイルスの感染再拡大により、いちご畑花園では開園日が限定されたため、検証期間も減らさざるを得ず、当システムにより誘導を行わなかった場合の検証を2月12日に、誘導を行った場合の検証を2月26日に実施しました。それぞれの来園者数とグループ間の平均距離については、「表 4-13」の通りとなりました。

表 4-13 各検証日におけるグループ間の平均距離測定結果

	本システム利用なし	本システム利用あり
日程	2月12日(土)	2月26日(土)
来園者	2グループ	1グループ
	9名(6名、3名)	8名
グループ間の平均距離	3.08m	3.00m

上記結果より、本システムの利用有無にかかわらず、グループ間の平均距離が2m以上であり、また本システムによりグループ間の平均距離を表示することによる影響はほとんどないことが示唆されました。

原因として、本実証期間中のイチゴ狩り運営方法が従来と異なることが考えられます。いちご畑花園では新型コロナウイルス感染防止対策を徹底した運営を実施しており、従来のようにイチゴをとり、その場で食べるような運営ではなく、とったイチゴをエリア外に設置したテーブルで食べる運営としていました。そのため、来園者がエリア内に滞在する時間が短くなり、グループ間の平均距離2m以上を確保した運営ができたと考えられます。

また、新型コロナウイルスの感染再拡大により、来園者数も極端に少なく、本システムによるグループ間の平均距離を表示した、2月26日においては1グループのみの来園となったため、モニタに表示したグループ間の平均距離を意識しなかったことも要因として考えられます。

グループ間の平均距離を測定・表示することが新型コロナウイルスの感染防止につながるかどうかについては、従来のイチゴ狩り運営に戻り、かつ来園者がいる程度のグループ数に戻った状態で再度検証する必要があると考えます。

b) 生産者の満足度に関する効果

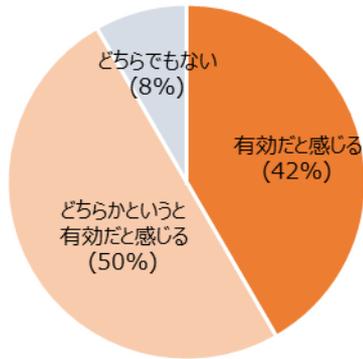
令和4年3月8日、いちご畑花園の従業員12名に対し、各システムについてのアンケートを実施しました。本アンケートの結果を「表 4-14」および「図 4-20」に示します。グループ間の平均距離の表示は92%の従業員が有効だと感じ頂き、食べごろイチゴのマップ表示に関しては100%の従業員が「有用性を感じる」もしくは「どちらかといえば有用性を感じる」と回答頂いたため、本システムは有用であると判断可能な結果となりました。

表 4-14 アンケート項目と回答結果（密検知・顧客誘導システム）

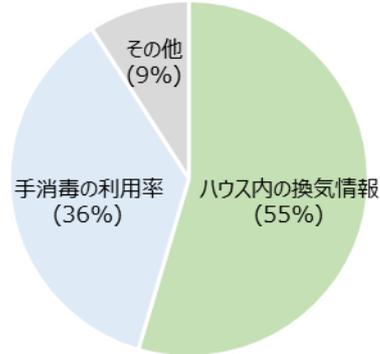
項目	回答	備考
Q1：感染症対策として、グループ間の平均距離の表示は有効だと思いますか？		
ア. 有効だと思う	5	42%
イ. どちらかというとも有効だと思う	6	50%
ウ. どちらでもない	1	8%
エ. どちらかというとも有効でないと思う	0	0%
オ. 有効でないと思う	0	0%
(未回答)	1	—
Q2：感染症対策として、どのような情報の表示があれば有効だと考えますか？		
ア. ハウス内の換気情報	6	55%
イ. 手消毒の利用率	4	36%
ウ. その他	1	9%
(未回答)	2	—
Q3：食べごろイチゴがある箇所を表示することに、有用性を感じますか？		
ア. 有用性を感じる	7	58%
イ. どちらかというとも有用性を感じる	5	42%
ウ. どちらでもない	0	0%
エ. どちらかというとも有用性を感じない	0	0%
オ. 有用性を感じない	0	0%
(未回答)	1	—
Q4：システムについて、改善点やご要望がございましたら、ご記入ください		
ア. PCの表示が見づらい	1	33%
イ. FARBOTの走行時間が長い	0	0%
ウ. 検知率が悪い	1	33%
エ. 他の検知をしてほしい	0	0%
オ. その他	1	33%
(未回答)	10	—
Q5：他のイチゴ観光農園に向けて、紹介したいですか？		
ア. 紹介したい	0	0%
イ. どちらかといえば紹介したい	5	45%
ウ. どちらでもない	6	55%
エ. どちらかといえば紹介したくない	0	0%
オ. 紹介したくない	0	0%
(未回答)	2	—

項目	回答	備考
Q6：これからイチゴ農家を始める方に向けて、紹介したいですか？		
ア. 紹介したい	1	9%
イ. どちらかといえば紹介したい	4	36%
ウ. どちらでもない	6	55%
エ. どちらかといえば紹介したくない	0	0%
オ. 紹介したくない	0	0%
(未回答)	2	—

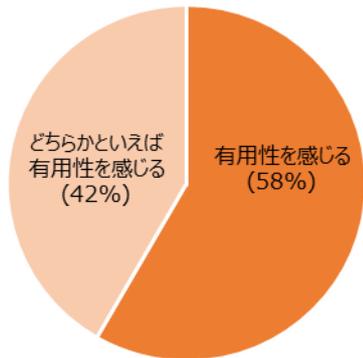
Q1
感染症対策として、
グループ間の平均距離の表示は
有効だと思いますか？



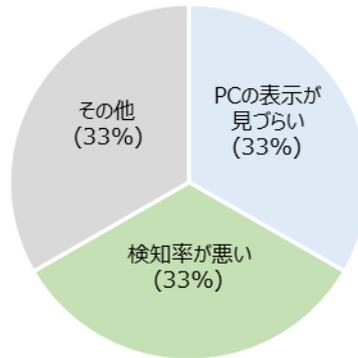
Q2
感染症対策として、
どのような情報の表示があれば
有効だと考えますか？



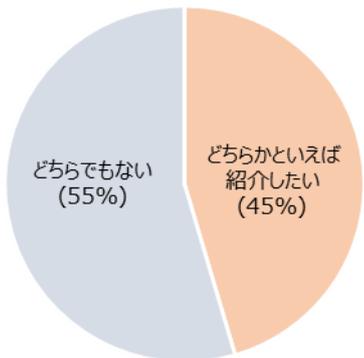
Q3
食べごろイチゴがある箇所を
表示することに、
有用性を感じますか？



Q4
システムについて、
改善点やご要望がございましたら、
ご記入ください



Q5
他のイチゴ観光農園に向けて、
紹介したいですか？



Q6
これからイチゴ農家を始める方に向けて、
紹介したいですか？

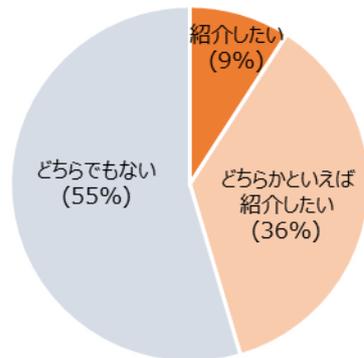


図 4-20 各回答の構成比（密検知・顧客誘導システム）

各表示内容の有用性はほぼ認められているが、換気情報と手消毒利用率についても有効であるというご意見を頂きました。それぞれの回答数に大きな差がないため、追加ヒアリングを実施しながら、体系的なコストも踏まえて表示内容追加の検討していきます。体系的な改善点については、13人中未回答が10名と非常に多く、従業員のシステムへの習熟度が不足しているため、判断が困難であったと考えられます。また、「表示が見づらい」という回答は観光客向けのアンケートでも同様の回答を頂いていることより、生産者の意見も取り入れながら、表示画面の改善を行うことが必要となります。本システムを紹介したいかについても、改善点と同様の理由より「どちらでもない」の回答が多い結果となりました。しかしながら、「紹介したくない」という否定的な意見はないことから、コンテンツとしては概ね好評であったと考えられます。

c) 観光客の満足度に関する効果

令和4年2月26日に観光客（来園者）向けアンケートを実施しました。なお、新型コロナウイルス感染拡大の影響により、観光客の人数は6名（男性3名、女性3名）となりました。本アンケートの結果を「表 4-10」、「図 4-21」に示します。食べ頃イチゴのモニター表示について、モニターを確認した4名全員が「役に立った」もしくは「どちらかと言えば役に立った」と回答し、本実証に満足いただいた結果となりました。

表 4-15 アンケート項目と回答結果（観光客向けアンケート）

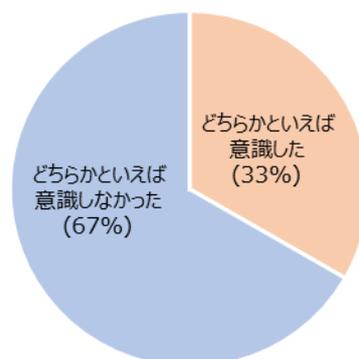
項目	回答		備考
Q1：モニター上の平均対人距離はご覧になりましたか？			
ア. 見た	6	100%	
イ. 見ていない	0	0%	
Q2：Q1で「ア. 見た」と答えた方に質問です。グループ間の平均距離を見て、フィジカルディスタンス（来園者同士の距離）を意識しましたか？			
ア. 意識した	0	0%	
イ. どちらかといえば意識した	2	33%	
ウ. どちらでもない	0	0%	
エ. どちらかといえば意識しなかった	4	67%	
オ. 意識しなかった	0	0%	
Q3：モニター上の食べごろいちごの数量情報はご覧になりましたか？			
ア. 見た	4	67%	
イ. 見ていない	2	33%	
Q4：Q3で「ア. 見た」と答えた方に質問です。食べごろいちごの数量情報は役に立ちましたか？			
ア. 役に立った	2	50%	
イ. どちらかといえば役に立った	1	25%	
ウ. どちらでもない	1	25%	
エ. どちらかといえば役に立たなかった	0	0%	
オ. 役に立たなかった	0	0%	

項目	回答		備考
Q5：モニター情報について、改善点はございますか？			
ア.表示が見えづらかった	1	17%	
イ.設置場所がわかりづらかった	0	0%	
ウ.情報の更新頻度が遅い	0	0%	
エ.他の情報が知りたい（具体的に）	0	0%	
オ.その他	5	83%	<ul style="list-style-type: none"> ・表示の切り替えが早い ・ページを自分で変えたい

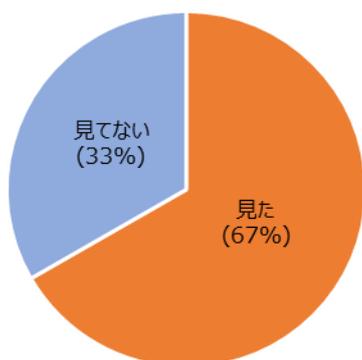
Q1
モニター上の平均対人距離は
ご覧になりましたか？



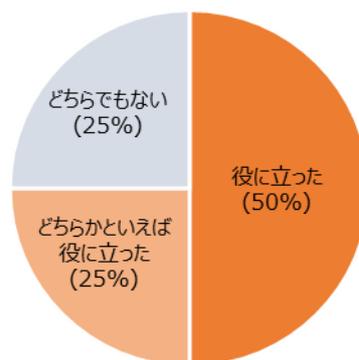
Q2
グループ間の平均距離を見て、
フィジカルディスタンス
を意識しましたか？



Q3
モニター上の食べごろいちごの
数量情報はご覧になりましたか？



Q4
食べごろいちごの数量情報は
役に立ちましたか？



Q5
モニター情報について、
改善点はございますか？

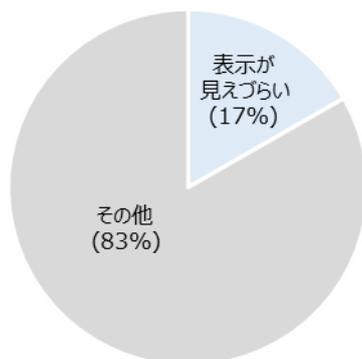


図 4-21 各回答の構成比（観光客向けアンケート）

現地で確認したところ、来園者のうちモニタから遠い場所でイチゴ狩りをしていた方は、モニタそのものを確認していない様子でした。そのため、イチゴ狩りエリアのどの位置にいてもモニタが見えるよう、モニタ設置位置の調整や、モニタ台数の増加を検討する必要があります。

また、モニタにはグループ間の平均距離に関する情報も表示しましたが、グループ間の平均距離については「意識しなかった」との回答が多く得られました。新型コロナウイルスの感染対策としてイチゴ狩りの運営が、イチゴを摘んでその場で食べる運営ではなく、摘んだイチゴを用意されたテーブルで食べる運営に変更となっていたこと、またアンケートを実施した来園者が1グループであったため、グループ間の平均距離を意識する必要がなかったものと考えられます。そのため、グループ間の平均距離に関する検証は、今回のようなイチゴ狩りの運営から、元の運営に戻ったタイミングで改めて検証する必要があります。

前述の通り、食べ頃イチゴの表示については、モニタを見た全員が「役に立った」もしくは「どちらかと言えば役に立った」と回答しました。現地の様子でも、モニタを見た上で、奥の栽培槽に向かって歩いていく様子が見えたとことから、本システムは有用であると判断できます。

一方で改善点として、「モニタ表示が見づらい」、「モニタ表示を自分で変えられるようにしてほしい」という意見をいただきました。今回、モニタ表示は「図 4-22」の4画面を10秒ごとに切り替えました。食べ頃イチゴのマップを見ている途中で画面が切り替わってしまい、食べ頃イチゴのマップが再度表示されるまで30秒待たなければならない仕様となっていたため、このような意見をいただいたものと考えられます。よって、食べ頃イチゴのマップが表示される時間を長くする、もしくはイチゴ狩り実施中は食べ頃イチゴのマップのみ表示するといった検討を行って参ります。また、「モニタ表示を自分で変えられるようにしてほしい」という意見に対しては、タッチパネル式のモニタを採用し、来園者が画面をタッチ操作することで表示したい画面を選べるようにするなど、利用するモニタの機種を変更する工夫が必要となります。

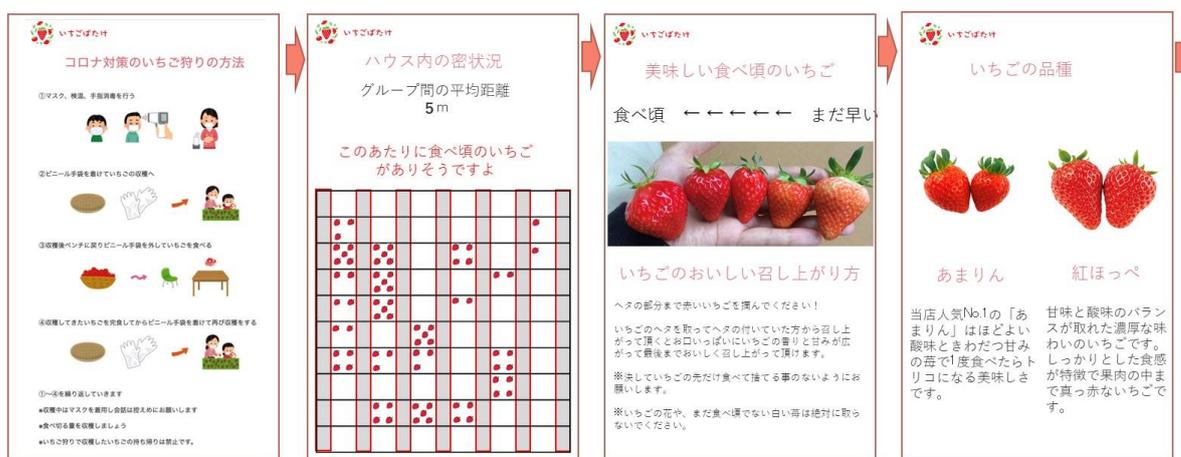


図 4-22 モニタ表示画面

4.4.1.2 機能検証

(1) 評価・検証項目

機能検証については「イチゴの病害検知システム」、「イチゴの熟度別数量把握システム」、「密検知・顧客誘導システム」ごとに評価・検証項目を設定し実証を行っております。各システムにおけるデータ処理の概要を「図 4-23」に示します。

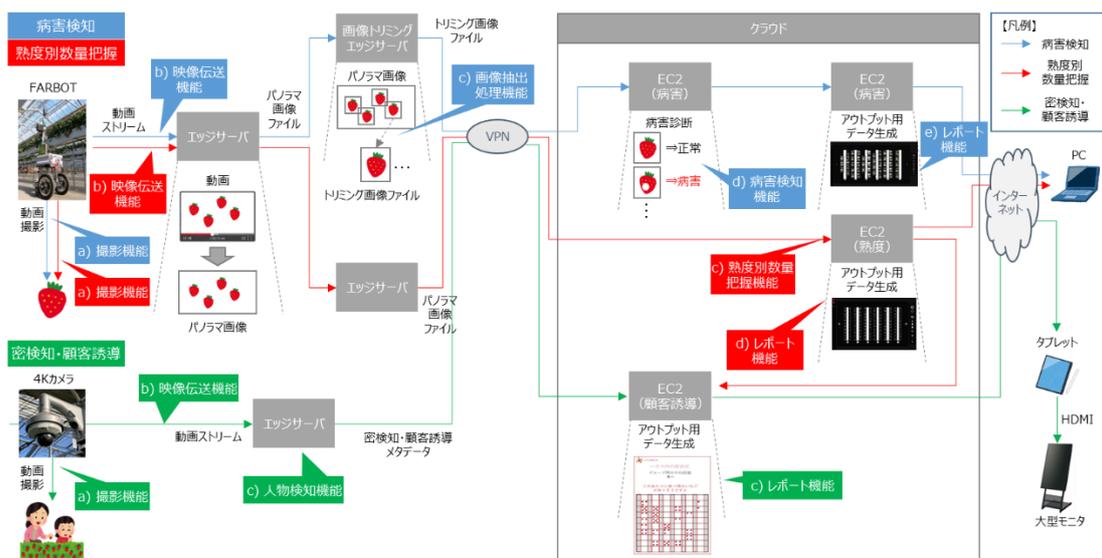


図 4-23 各システムにおけるデータ処理概要

1) イチゴの病害検知システム

イチゴの病害検知システムにおける評価・検証項目は以下の通りです。

a) 撮影機能（病害検知用 4K カメラ）

ビニールハウス内で 4K カメラを搭載した自立走行型ロボットを 2 台走行させ、高設架台に設置された病害イチゴ模型の映像を取得し、撮影されたイチゴが AI アプリで検知可能な解像度（480×270 程度）であることを確認します。

b) 映像伝送機能（ローカル 5G システム）

UE からローカル 5G 経由でエッジサーバまで伝送（20Mbps、30fps 程度）し、その区間におけるパケットロスが 0%、遅延時間が 30msec 未満であることを確認します。

c) 画像抽出処理機能（AI アプリ）

自立走行型ロボットより取得した 4K 映像から、病害イチゴの模型を抽出（指定解像度での静止画像の取得）できていることを確認します。

d) 病害検知機能 (AI アプリ)

c) で画像抽出処理されたイチゴの画像が AI により正しく判定されているかを確認し、検知精度を評価します。

【目標】 うどんこ病認識正答率 90%以上、非検出 10%以下

e) レポート機能 (レポート表示アプリ)

d) で検知した病害イチゴの模型及び病害イチゴのある区画が正しく表示されることを確認します。加えて、試験ハウスにおいては、実際の病害イチゴがある区画に差異がないか比較します。

2) イチゴの熟度別数量把握システム

イチゴの熟度別数量把握システムにおける評価・検証項目は以下の通りです。

a) 撮影機能 (数量把握用 4K カメラ)

ビニールハウス内で 4K カメラを搭載した自立走行型ロボットを 2 台走行させ、高設架台のイチゴの映像を取得し、撮影されたイチゴが識別できるレベルで撮影できているかを目視で確認します。

b) 映像伝送 (ローカル 5G システム)

UE からローカル 5G 経由でエッジサーバまで伝送 (20Mbps、30fps 程度) し、その区間におけるパケットロスが 0%、遅延時間が 30msec 未満であることを確認します。

c) 熟度別数量把握機能 (AI アプリ)

自立走行型ロボットより取得したイチゴ映像から作成したパノラマ画像に写っているイチゴが AI により正しく熟度別 (三段階) に分類できているかを、目視で確認したイチゴの数と比較し、評価します。

【目標】 熟度ごと、合計の数量が±10%の範囲内

d) レポート機能 (レポート表示アプリ)

c) で取得したイチゴの熟度別数量結果が該当レーンの各区画に正しく熟度別 (三段階) かつ数量が表示されることを確認します。

3) 密検知・顧客誘導システム

密検知・顧客誘導システムにおける評価・検証項目は以下の通りです。

a) 撮影機能（人物検知用 4K カメラ）

ビニールハウス内上部の位置に設置された人物検知用 4K カメラ 6 台で高設架台前の通路の人物（複数箇所）を識別できるレベルで撮影できているかを目視で確認します。

b) 映像伝送機能（ローカル 5G システム）

UE からローカル 5G 経由でエッジサーバまで伝送（12Mbps、30fps 程度）し、その区間におけるパケットロスが 0%、遅延時間が 30msec 未満であることを確認します。

c) 人物検知機能（AI アプリ）

取得した 4K 映像から、エッジサーバ上で人物検知を行い、検知した人物が立っている高設架台前の区間の特定に関する精度を確認します。

【目標】 区間の特定精度 90%以上、非検出 10%以下

d) レポート機能（レポート表示アプリ）

人物検知情報（人数、位置）を元にした人の密状態（グループ間の平均離隔距離）及び人物検知情報とイチゴ数量情報（数量・位置）からハウス内の収穫適期のイチゴが多く残っているエリア（3m 区画に 6 個以上）がフロアマップ表示されることをモニタ、タブレットで確認します。また、イチゴが多く残っているエリア検知について実際の数と比較し精度を評価します。

【目標】 検出精度 90%以上、非検出 10%以下

(2) 評価・検証方法

評価・検証方法について「イチゴの病害検知システム」、「イチゴの熟度別数量把握システム」、「密検知・顧客誘導システム」ごとに示します。

1) イチゴの病害検知システム

イチゴの病害検知システムにおける評価・検証については、いちご畑で病害イチゴ模型 20 個を用いて行い、農研機構の試験ハウスではうどんこ病を故意に発生させ、実際のうどんこ病イチゴを用いて行いました。



図 4-24 病害イチゴ模型

a) 撮影機能（病害検知用 4K カメラ）

- ① ビニールハウス内で病害検知用の 4K カメラを搭載した自立走行型ロボットを 2 台走行させ、高設架台に設置された病害イチゴの映像を撮影します。エッジサーバより病害イチゴのトリミング画像を取得し、解像度を確認します。
- ② 病害イチゴのトリミング画像が AI アプリで検知可能な解像度（480×270 程度）であることを確認します。



図 4-25 病害イチゴ模型のトリミング画像

b) 映像伝送機能（ローカル 5G システム）

- ① UE からエッジサーバにローカル 5G 経路で伝送を実施し、パケットおよび遅延時間を iperf3、ping を用いてそれぞれ測定し、パケットロスが 0%、遅延時間が 30msec 未満であることを確認します。
- ② 映像伝送前と後の動画を目視にて比較し、劣化が発生していないことを確認します。

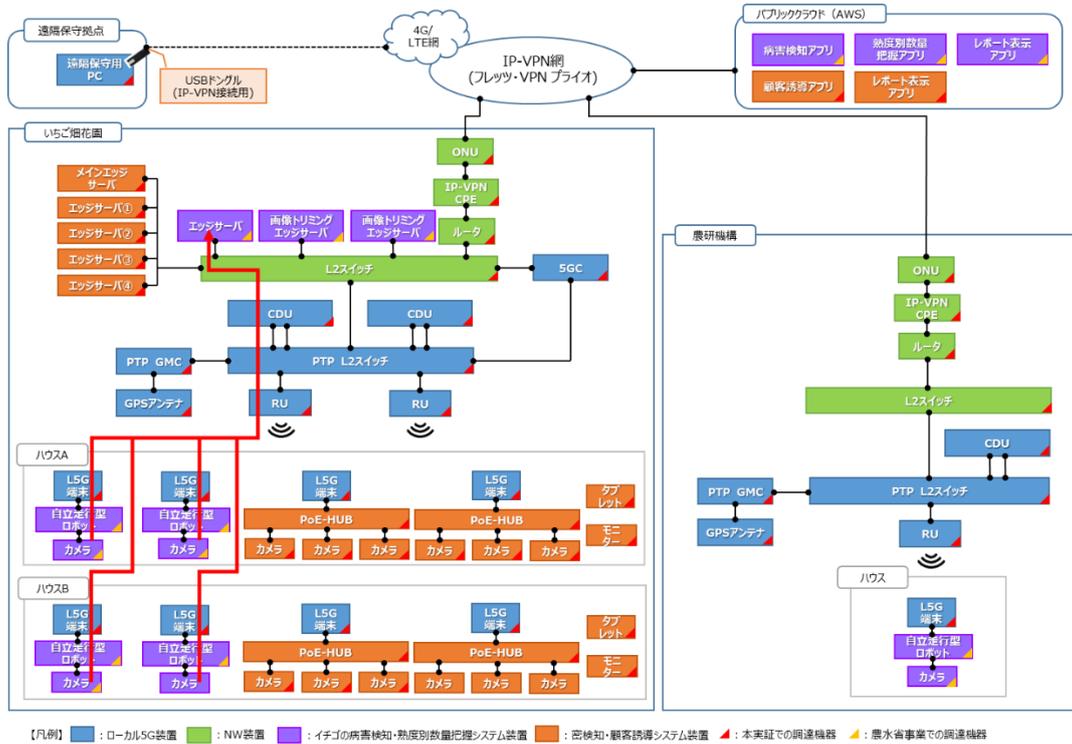


図 4-26 映像伝送機能の検証区間（病害検知システム）

c) 画像抽出処理機能（AI アプリ）

- ① エッジサーバよりパノラマ画像を取得し、病害イチゴが全て抽出されていることを確認します。



図 4-27 病害検知パノラマ画像

d) 病害検知機能 (AI アプリ)

- ① トリミングされたイチゴの画像が病害検知機能 (AI アプリ) で正しく判定されているかを確認します。

なお、判定基準は、以下のとおりとします。

正答：病害/健全を正しく認識

非検出：病害イチゴを健全なイチゴと認識

誤認識：健全なイチゴを病害イチゴと認識

e) レポート機能 (レポート表示アプリ)

- ① 病害検知機能 (AI アプリ) で検知したイチゴがレポート機能 (レポート表示アプリ) のUI 画面で正しい位置にマッピングされていることを確認します。
- ② レポート機能で表示されたマッピング結果と、人が確認した結果を比較します。

2) イチゴの熟度別数量把握システム

イチゴの熟度別数量把握システムについては、ビニールハウス内で 4K カメラを搭載した自立走行型ロボット 2 台を走行させて、実施しました。

a) 撮影機能 (数量把握用 4K カメラ)

- ① ビニールハウス内で数量把握用の 4K カメラを搭載した自立走行型ロボットを 2 台走行させ、高設架台にあるイチゴの映像を取得します。エッジサーバよりパノラマ画像を取得し、パノラマ画像内のイチゴが AI アプリにて識別されていることを確認します。

なお、識別されたイチゴには熟度別に応じた枠が付与されるため、枠が付与されてい

れば十分な画質を担保しているとしています。



図 4-28 熟度別数量把握パノラマ画像

b) 映像伝送機能（ローカル 5G システム）

- ① UE からエッジサーバにローカル 5G 経由で伝送を実施し、パケットおよび遅延時間を iperf3、ping を用いてそれぞれ測定し、パケットロスが 0%、遅延時間が 30msec 未満であることを確認します。
- ② 映像伝送前と後の動画を目視にて比較し、劣化が発生していないことを確認します。

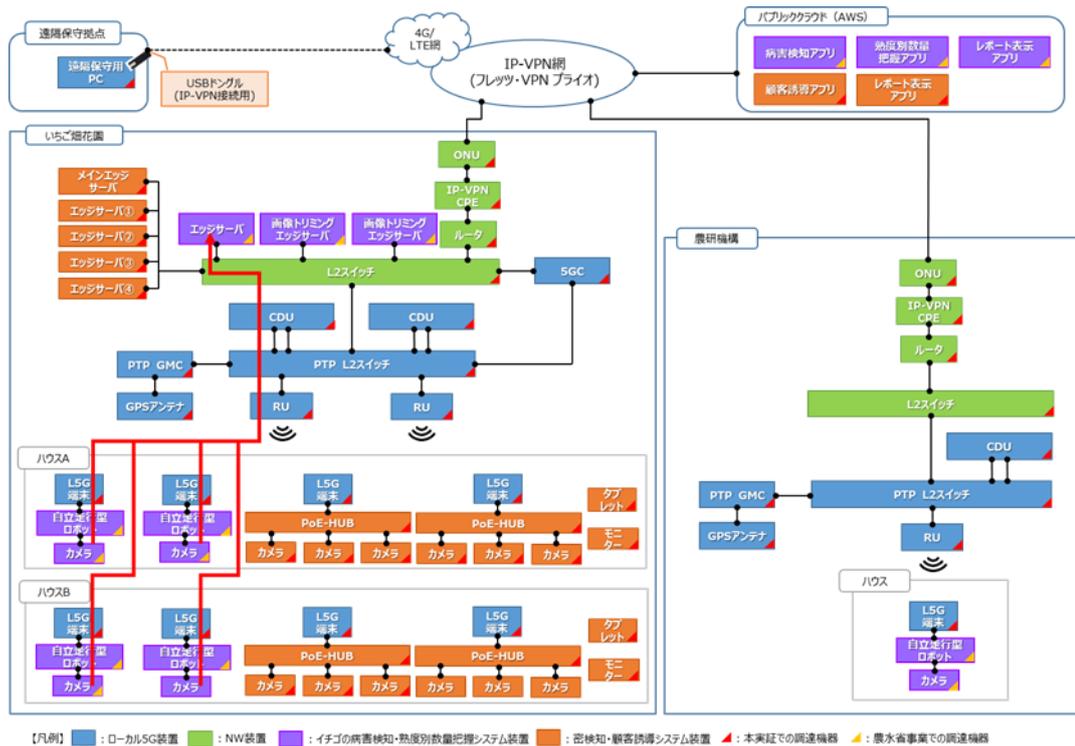


図 4-29 映像伝送機能の検証区間（熟度別数量把握システム）

c) 熟度別数量把握機能（AI アプリ）

- ① 熟度別数量把握機能（AI アプリ）にて、熟度別（Start red、Half red、Full red、合計）にイチゴの数量を分類した結果と担当者が目視にて分類した結果を比較し、差分を確認します。

d) レポート機能（レポート表示アプリ）

- ① イチゴの熟度別数量把握結果が UI 画面の該当レーンの各区画に正しく熟度別（三段階）に数量が表示されることを確認します。

3) 密検知・顧客誘導システム

ビニールハウス内上部の位置に設置された人物検知用 4K カメラ 6 台で高設架台前の通路の人物を撮影して実施しました。

a) 撮影機能（人物検知用 4K カメラ）

- ① 「図 4-31」の青色のエリア内を人が移動し、6 台のカメラの死角に入ることなく、常にいずれかのカメラで撮影できていることを確認します。



図 4-30 人物検知画像

E70	E60	E50	E40	E30	E20	E10	D60	D50	D40	D30	D20	D10	C60	C50	C40	C30	C20	C10	B60	B50	B40	B30	B20	B10	A60	A50	A40	A30	A20	A10
E71	E61	E51	E41	E31	E21	E11	D61	D51	D41	D31	D21	D11	C61	C51	C41	C31	C21	C11	B61	B51	B41	B31	B21	B11	A61	A51	A41	A31	A21	A11
E72	E62	E52	E42	E32	E22	E12	D62	D52	D42	D32	D22	D12	C62	C52	C42	C32	C22	C12	B62	B52	B42	B32	B22	B12	A62	A52	A42	A32	A22	A12
E73	E63	E53	E43	E33	E23	E13	D63	D53	D43	D33	D23	D13	C63	C53	C43	C33	C23	C13	B63	B53	B43	B33	B23	B13	A63	A53	A43	A33	A23	A13
E74	E64	E54	E44	E34	E24	E14	D64	D54	D44	D34	D24	D14	C64	C54	C44	C34	C24	C14	B64	B54	B44	B34	B24	B14	A64	A54	A44	A34	A24	A14
E75	E65	E55	E45	E35	E25	E15	D65	D55	D45	D35	D25	D15	C65	C55	C45	C35	C25	C15	B65	B55	B45	B35	B25	B15	A65	A55	A45	A35	A25	A15
E76	E66	E56	E46	E36	E26	E16	D66	D56	D46	D36	D26	D16	C66	C56	C46	C36	C26	C16	B66	B56	B46	B36	B26	B16	A66	A56	A46	A36	A26	A16
E77	E67	E57	E47	E37	E27	E17	D67	D57	D47	D37	D27	D17	C67	C57	C47	C37	C27	C17	B67	B57	B47	B37	B27	B17	A67	A57	A47	A37	A27	A17
E78	E68	E58	E48	E38	E28	E18	D68	D58	D48	D38	D28	D18	C68	C58	C48	C38	C28	C18	B68	B58	B48	B38	B28	B18	A68	A58	A48	A38	A28	A18
E79	E69	E59	E49	E39	E29	E19	D69	D59	D49	D39	D29	D19	C69	C59	C49	C39	C29	C19	B69	B59	B49	B39	B29	B19	A69	A59	A49	A39	A29	A19

図 4-31 人が移動する範囲

b) 映像伝送機能（ローカル 5G システム）

- ① UE からエッジサーバにローカル 5G 経由で伝送を実施し、パケットおよび遅延時間を iperf3、ping を用いてそれぞれ測定し、パケットロスが 0%、遅延時間が 30msec 未満であることを確認します。
- ② 映像伝送前と後の動画を目視にて比較し、劣化が発生していないことを確認します。

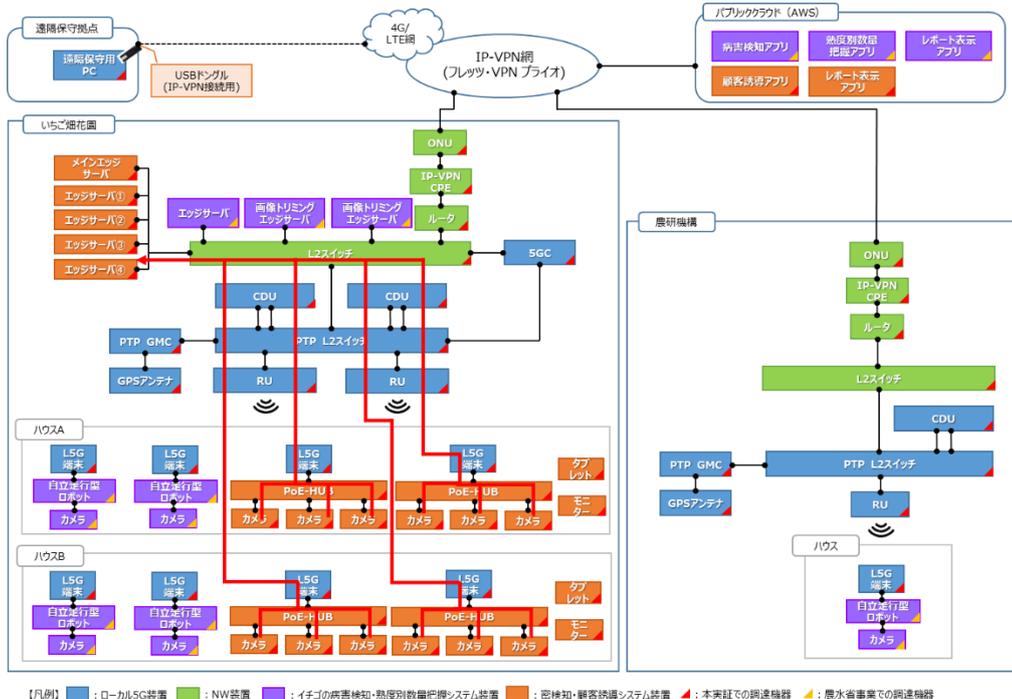


図 4-32 映像伝送機能の検証区間（密検知・顧客誘導システム）

c) 人物検知機能 (AI アプリ)

- ① ビニールハウス内に「図 4-33」の青色の箇所を配置し、正しい区画に人物が検知できていることを確認します。

E70	E60	E50	E40	E30	E20	E10	D60	D50	D40	D30	D20	D10	C60	C50	C40	C30	C20	C10	B60	B50	B40	B30	B20	B10	A60	A50	A40	A30	A20	A10
E71	E61	E51	E41	E31	E21	E11	D61	D51	D41	D31	D21	D11	C61	C51	C41	C31	C21	C11	B61	B51	B41	B31	B21	B11	A61	A51	A41	A31	A21	A11
E72	E62	E52	E42	E32	E22	E12	D62	D52	D42	D32	D22	D12	C62	C52	C42	C32	C22	C12	B62	B52	B42	B32	B22	B12	A62	A52	A42	A32	A22	A12
E73	E63	E53	E43	E33	E23	E13	D63	D53	D43	D33	D23	D13	C63	C53	C43	C33	C23	C13	B63	B53	B43	B33	B23	B13	A63	A53	A43	A33	A23	A13
E74	E64	E54	E44	E34	E24	E14	D64	D54	D44	D34	D24	D14	C64	C54	C44	C34	C24	C14	B64	B54	B44	B34	B24	B14	A64	A54	A44	A34	A24	A14
E75	E65	E55	E45	E35	E25	E15	D65	D55	D45	D35	D25	D15	C65	C55	C45	C35	C25	C15	B65	B55	B45	B35	B25	B15	A65	A55	A45	A35	A25	A15
E76	E66	E56	E46	E36	E26	E16	D66	D56	D46	D36	D26	D16	C66	C56	C46	C36	C26	C16	B66	B56	B46	B36	B26	B16	A66	A56	A46	A36	A26	A16
E77	E67	E57	E47	E37	E27	E17	D67	D57	D47	D37	D27	D17	C67	C57	C47	C37	C27	C17	B67	B57	B47	B37	B27	B17	A67	A57	A47	A37	A27	A17
E78	E68	E58	E48	E38	E28	E18	D68	D58	D48	D38	D28	D18	C68	C58	C48	C38	C28	C18	B68	B58	B48	B38	B28	B18	A68	A58	A48	A38	A28	A18
E79	E69	E59	E49	E39	E29	E19	D69	D59	D49	D39	D29	D19	C69	C59	C49	C39	C29	C19	B69	B59	B49	B39	B29	B19	A69	A59	A49	A39	A29	A19

図 4-33 人物検知機能検証における人の配置箇所

- ② エリア外から、「図 4-34」の青色の区画に指定人数を移動・滞在させ、滞在エリアと総滞在時間（各人の滞在時間の合計）が正しく記録されることを確認します。また、グループ間の平均距離が正しく算出されることを確認します。

E70	E60	E50	E40	E30	E20	E10	D60	D50	D40	D30	D20	D10	C60	C50	C40	C30	C20	C10	B60	B50	B40	B30	B20	B10	A60	A50	A40	A30	A20	A10
E71	E61	E51	E41	E31	E21	E11	D61	D51	D41	D31	D21	D11	C61	C51	C41	C31	C21	C11	B61	B51	B41	B31	B21	B11	A61	A51	A41	A31	A21	A11
E72	E62	E52	E42	E32	E22	E12	D62	D52	D42	D32	D22	D12	C62	C52	C42	C32	C22	C12	B62	B52	B42	B32	B22	B12	A62	A52	A42	A32	A22	A12
E73	E63	E53	E43	E33	E23	E13	D63	D53	D43	D33	D23	D13	C63	C53	C43	C33	C23	C13	B63	B53	B43	B33	B23	B13	A63	A53	A43	A33	A23	A13
E74	E64	E54	E44	E34	E24	E14	D64	D54	D44	D34	D24	D14	C64	C54	C44	C34	C24	C14	B64	B54	B44	B34	B24	B14	A64	A54	A44	A34	A24	A14
E75	E65	E55	E45	E35	E25	E15	D65	D55	D45	D35	D25	D15	C65	C55	C45	C35	C25	C15	B65	B55	B45	B35	B25	B15	A65	A55	A45	A35	A25	A15
E76	E66	E56	E46	E36	E26	E16	D66	D56	D46	D36	D26	D16	C66	C56	C46	C36	C26	C16	B66	B56	B46	B36	B26	B16	A66	A56	A46	A36	A26	A16
E77	E67	E57	E47	E37	E27	E17	D67	D57	D47	D37	D27	D17	C67	C57	C47	C37	C27	C17	B67	B57	B47	B37	B27	B17	A67	A57	A47	A37	A27	A17
E78	E68	E58	E48	E38	E28	E18	D68	D58	D48	D38	D28	D18	C68	C58	C48	C38	C28	C18	B68	B58	B48	B38	B28	B18	A68	A58	A48	A38	A28	A18
E79	E69	E59	E49	E39	E29	E19	D69	D59	D49	D39	D29	D19	C69	C59	C49	C39	C29	C19	B69	B59	B49	B39	B29	B19	A69	A59	A49	A39	A29	A19

図 4-34 人物検知機能検証における人の配置箇所

d) レポート機能 (レポート表示アプリ)

- ① レポート画面にグループ間の距離の平均値が表示できているかを確認します。
- ② レポート画面に表示された収穫適期のアイコンが、熟度別数量把握システムの結果を正しく反映できているかを確認します。
- ③ イチゴ狩り中の人物情報を基に予測した、レポート画面上のイチゴのアイコン数と、イチゴ狩り後の熟度別数量把握システム結果を比較し、精度を確認します。

(3) 実証結果及び考察

1) イチゴの病害検知システム

イチゴの病害検知システムにおける評価・検証方法及び結果の概要は「図 4-35」の通りです。

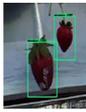
機能区分	機能概要	評価・検証項目	評価・検証結果
a) 撮影機能	4Kカメラを搭載したロボットを自動走行させ、ハウス内のイチゴ映像を撮影	トリミング後の画像が病害診断可能な解像度（480x270程度）であることを確認	いずれも病害診断可能であることを確認 
b) 映像伝送機能	取得した高精細4K映像をエッジサーバーにローカル5Gを介して伝送	4Kカメラでの映像伝送におけるパケットロス0%、遅延時間30msec未満であることを確認	パケットロス率が0%、伝送遅延が30msec未満であることを確認
c) 画像抽出処理機能	高精細4Kカメラ映像からリアルタイム画像抽出処理	病害イチゴの模型がすべてトリミングされていることを確認	病害イチゴの模型20個すべての画像抽出処理ができたことを確認 
d) 病害検知機能	抽出した高画質画像をクラウド上でAI解析、病害を検知	画像抽出処理されたイチゴ画像における病害検知【目標】うどんこ病認識正答率90%以上、非検出10%以下	いちご畑花園、農研機構どちらも正答率90%以上であった
e) レポート機能	病害検知結果をフロアマップ表示	病害イチゴ検知結果を1.5m区画でフロアマップ表示	検知した病害イチゴを正しい位置に表示できていることを確認

図 4-35 イチゴの病害検知システムにおける評価・検証の概要

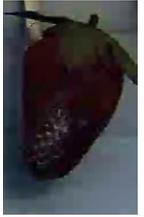
a) 撮影機能（病害検知用 4K カメラ）

いちご畑花園ではビニールハウス内に病害イチゴの模型 20 個を設置し、自立走行型ロボットによる撮影を行いました。撮影された映像から、エッジサーバでトリミングされた、各病害イチゴ模型の画像と解像度は「表 4-16」に示しております。

各画像の解像度は 60×313～338×539 の間となっており、解像度の目安である 480×270 を下回る画像もありますが、いずれの病害イチゴの模型も AI アプリで病害診断ができていることが確認できました。よって、病害診断足りうる撮影機能が担保されていることが確認できました。

表 4-16 撮影機能（病害検知）判定結果（いちご畑花園 1月21日実施）

項目	模型1		模型2	
トリミング後画像				
解像度	248x424	242x435	269x404	108x407
項目	模型3	模型4	模型5	模型6
トリミング後画像				
解像度	211x504	295x400	274x400	282x403
項目	模型7	模型8	模型9	
トリミング後画像				
解像度	300x448	270x403	279x355	270x403

項目	模型10	模型11	模型12	
トリミング後画像				
解像度	279x436	270x428	269x390	242x394
項目	模型13		模型14	
トリミング後画像				
解像度	148x380	286x354	252x409	
項目	模型15		模型16	模型17
トリミング後画像				
解像度	278x418	274x399	299x443	338x539
項目	模型18		模型19	模型20
トリミング後画像				
解像度	60x313	274x398	322x523	249x474

農研機構においては、実際にイチゴにうどんこ病を発生させ、自立走行型ロボットによる

撮影を行いました。農研機構で撮影した各病害イチゴの画像と解像度は「表 4-17」に示してあります。農研機能で撮影したいずれの病害イチゴも AI アプリで病害診断ができていたことが確認できました。

表 4-17 撮影機能（病害検知）判定結果（農研機構 2月16日実施）

トミング後画像				
解像度	292x403	294x375	283x371	404x373
トミング後画像				
解像度	286x367	194x219	267x339	257x297
トミング後画像				
解像度	325x399	167x435	252x317	282x265

トリミング後画像				
解像度	85x367	96x289	272x383	302x373
トリミング後画像				
解像度	298x493	276x365	296x363	274x337
トリミング後画像				
解像度	302x473	274x381	234x349	353x397
トリミング後画像				
解像度	300x387	280x339		

b) 映像伝送機能（ローカル 5G システム）

いちご畑にて、自立走行型ロボットに接続する UE～エッジサーバ間のパケットロス、遅延値を検証するために、iperf3、ping を用いてそれぞれ測定しました。結果を「表 4-18」に示します。これらの結果から、パケットロスが 0%、伝送遅延が 30msec 未満であることが確認できました。

また、映像伝送前と後の動画を目視にて比較し、「図 4-36」の通り劣化が発生していないことを確認しております。

表 4-18 映像伝送機能測定結果

iperf3による結果				ping測定結果		
	送信側	受信側	パケットロス	パケット	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) 片道
平均スループット (詳細)	20.0	20.0	0%	1	46.4	23.2
Interval	送信側	受信側	パケットロス	2	36.9	18.5
0.00-1.00	20.0	19.5	0%	3	40.6	20.3
1.00-2.00	20.0	20.1	0%	4	35.4	17.7
2.00-3.00	20.0	19.8	0%	5	33.1	16.6
3.00-4.00	20.0	20.2	0%	6	32.6	16.3
4.00-5.00	20.0	19.7	0%	7	30.7	15.4
5.00-6.00	20.0	20.3	0%	8	29.4	14.7
6.00-7.00	20.0	20.0	0%	9	27.6	13.8
7.00-8.00	20.0	19.8	0%	10	25.6	12.8
8.00-9.00	20.0	20.0	0%			
9.00-10.00	20.0	20.1	0%			
10.00-10.02	-	25.3	0%			

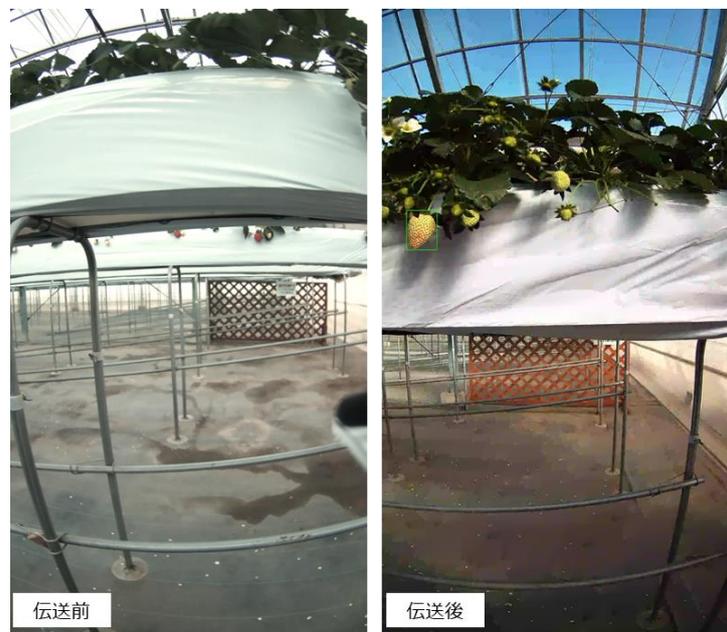


図 4-36 映像伝送前後の画質比較

c) 画像抽出処理機能 (AI アプリ)

病害イチゴの各画像と解像度については「表 4-16」に記載した通りとなります。

「4.4.1.2 (3) 1) a) 撮影機能 (病害検知用 4K カメラ)」に記載した通り、病害イチゴの模型 20 個すべてがトリミングされ、かつ AI アプリでの病害検知が出来ていることから、利用環境に耐えうる画像抽出処理機能を担保していることが確認できました。

しかし、病害イチゴの模型 20 個に対して、トリミングした画像は 27 枚と実際の病害イチゴ模型よりも画像の方が 7 枚多く画像が生成されました。画像の重複はトリミングの前段階であるパノラマ画像への変換工程においても発生しており、自立走行型ロボットが一定の速度で走行出来ていないことが原因と考えられます。ビニールハウスは更地にシートを引く構造をしているため、凹凸があります。さらに、雨による浸水やモグラ等の地中生物の影響で日々凹凸が変化することがわかりました。自立走行型ロボットが凹凸部分を走行する際に機体が揺れることで、タイヤが一部空転し、レーン内を一定の速度で走行することができないため、改善が必要と考えます。

本事象を改善するためには、凹凸がある地面の上でも一定速度で走行できるよう、自立走行型ロボットの走行アルゴリズムの改良や、機体の揺れを抑えるような追加機器導入等のハードウェア面の改良が必要と考えます。一方で、自立走行型ロボットが撮影する映像は画像の重複があることを前提とし、パノラマ画像からトリミング画像に切り取る際に重複が起こらないよう、切り取る範囲を調整するなどのソフトウェア面での工夫も改善策として考えられます。

自立走行型ロボットのハードウェア面の改良やソフトウェア面の工夫については、今年度の実証中に解決することは難しいため、次年度の農林水産省実証の中で、具体的な対応策の検証を行うこととします。

d) 病害検知機能 (AI アプリ)

病害検知機能については、いちご畑花園においてイチゴの病害模型を利用した検証と、農研機構において、実際のイチゴに病害を発生させた環境下での検証を実施しました。なお、AI アプリには、病害イチゴの模型の画像データと、農研機構より提供いただいたうどんこ病を発症したイチゴの画像データ等を事前に学習させました。

それぞれの実証フィールドにおける病害検知機能の検知数・検知率については「表 4-19」に示した通りとなりました。

表 4-19 病害検知機能の検証結果

検証日	1月21日	2月16日
実証フィールド	いちご畑花園	農研機構
正答数	205	331
(同率)	(94.0%)	(91.4%)
非検出数	10	27
(同率)	(4.6%)	(7.5%)
誤認識数	3	4
(同率)	(1.4%)	(1.1%)
合計数	218	362

いちご畑花園ではエッジサーバにてトリミングされた、全 218 枚の画像の内、病害検知機能が正しく病害/健全を判断できた画像は 205 枚、正答率は 94.0%となり、目標値である 90%を達成することが出来ました。

一方で、非検出（病害イチゴを健全なイチゴと認識）が 10 枚（4.6%）、誤認識（健全なイチゴを病害イチゴと認識）が 3 枚（1.4%）発生しておりました。

非検出・誤認識の画像を確認すると、明度が想定より著しく低い（画像全体が暗い）傾向にありました。人工物の陰や多くの重なった葉の陰にイチゴがあった、厚い雲の通過などにより短時間での日差しの急激な変化にカメラの絞り調整が追い付かなかったなどが明度低下の原因として考えられます。明度の異なるイチゴの画像を追加学習させ引き続き精度向上を図ります。



図 4-37 非検出のイチゴ例

農研機構での実証ではエッジサーバにてトリミングされた、全 362 枚の画像の内、病害検知機能が正しく病害/健全を判断できた画像は 331 枚、正答率は 91.4%となり、こちらも目標値である 90%を達成することが出来ました。

一方で、いちご畑花園での検証と同様に、非検出（病害イチゴを健全なイチゴと認識）が 27 枚（7.5%）、誤認識（健全なイチゴを病害イチゴと認識）が 4 枚（1.1%）発生しました。

農研機構で発生した病害イチゴを確認してみると、作成した模型イチゴや教師データとして学習した病害イチゴよりもうどんこ病の白い粉が細かく、さらに粉が付く範囲自体が小さいものでした。そのため、模型イチゴや、農研機構より頂いたデータベースの画像では学習が不十分であったことが考えられます。

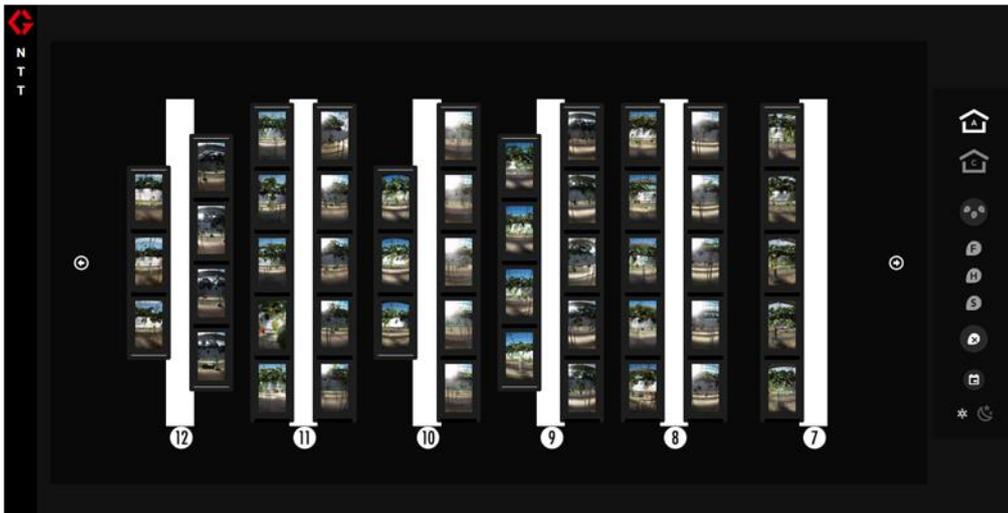
次年度の農林水産省実証の中で、今回のデータも含め、より実態に合った学習を進めることで、精度を上げてまいります。

e) レポート機能（レポート表示アプリ）

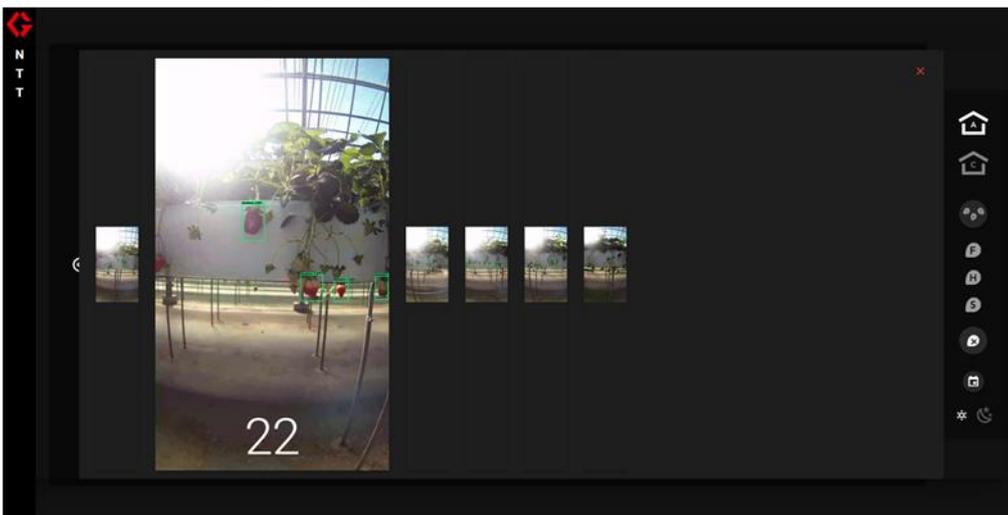
いちご畑花園でのレポート画面を「図 4-38」農研機構でのレポート画面を「図 4-39」に示します。どちらの実証フィールドでも本システムが検知した病害イチゴをレポート画面の正しい位置に表示されていることを確認しました。

病害検知システムのレポート画面は「図 4-38」のようにエリア・レーン毎に病害と検知したイチゴが含まれるパノラマ画像を一覧で表示します。パノラマ画像をタッチすると拡大ができ、さらに病害と検知したイチゴのトリミング画像を拡大して確認することができる仕様となっております。来年度の実証の中で、引き続き生産者と相談しながら、より実際の運用に合ったレポート表示が行えるよう、調整する必要があります。

エリアのサマリ表示



レーン毎のパノラマ画像表示



病害イチゴ拡大表示

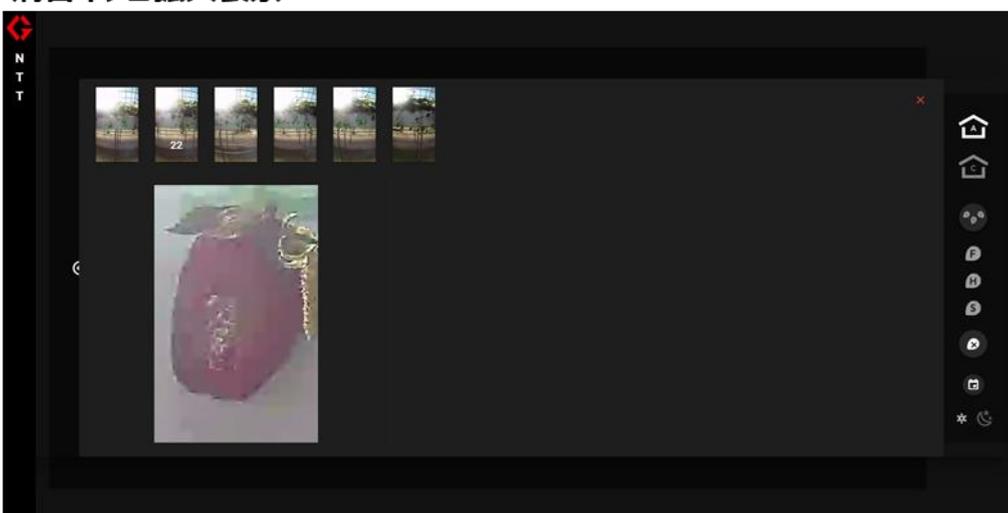


図 4-38 病害検知システムレポート画面 (いちご畑花園/2月24日)

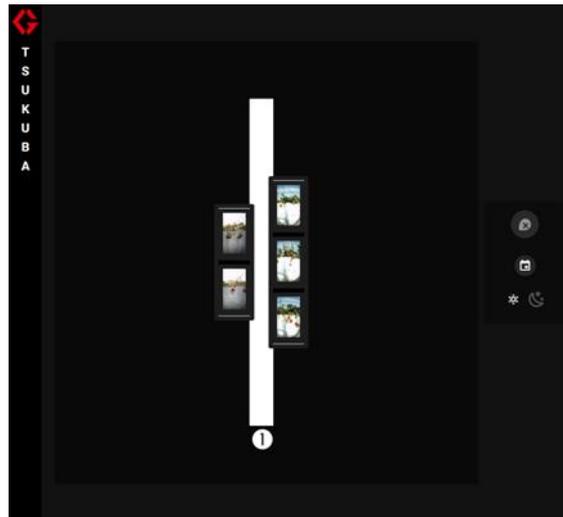


図 4-39 病害検知システムレポート画面（農研機構/2月16日）

2) イチゴの熟度別数量把握システム

イチゴの熟度別数量把握システムにおける評価・検証方法及び結果の概要は「図 4-40」の通りです。

機能区分	機能概要	評価・検証項目	評価・検証結果
a) 撮影機能	4Kカメラを搭載したロボットを自動走行させ、ハウス内のイチゴ映像を撮影	ビニールハウス内におけるイチゴ映像の撮影（認識できるレベル）	イチゴが識別できるレベルで撮影できていることを確認 
b) 映像伝送機能	取得した高精細4K映像をローカル5Gを介して伝送	4Kカメラでの映像伝送におけるパケットロス率、遅延時間の測定	パケットロス率が0%、伝送遅延が30msec未満であることを確認
c) 熟度別数量把握機能	クラウド上でAI解析、熟度別で数量をカウント	取得した4K映像を用いたイチゴの熟度別数量計測 【目標】 熟度ごと、合計の数量が±10%の範囲内、非検出10%以下	Full red : +3.2% Half red : +25.0% Start red : -31.2% 合計 : -10.6%
d) レポート機能	熟度別数量結果のフロアマップ表示	イチゴの熟度別数量計測結果を1.5m区画でフロアマップ表示	計測した熟度別数量結果を正しく表示できていることを確認

図 4-40 イチゴの熟度別数量把握システムにおける評価・検証の概要

a) 撮影機能（数量把握用 4K カメラ）

エッジサーバにてパノラマ画像は全 76 枚生成され、いずれのパノラマ画像にもイチゴを検出する際に発生する枠が確認できたため、イチゴが識別できるレベルで撮影機能が担保されていることがわかりました。



図 4-41 撮影されたパノラマ画像

b) 映像伝送機能（ローカル 5G システム）

いちご畑にて、自立走行型ロボットに接続する UE～エッジサーバ間のパケットロス、遅延値を検証するために、iperf3、ping を用いてそれぞれ測定しました。結果を「表 4-20」に示します。これらの結果から、パケットロスが 0%、伝送遅延が 30msec 未満であることが確認できました。

また、映像伝送前と後の動画を目視にて比較し、「図 4-42」の通り劣化が発生していないことを確認しております。

表 4-20 映像伝送機能測定結果

iperf3による結果				ping測定結果		
平均スループット (詳細)	送信側	受信側	パケットロス	パケット	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) 片道
	20.0	20.0	0%	1	46.4	23.2
Interval	送信側	受信側	パケットロス	2	36.9	18.5
0.00-1.00	20.0	19.5	0%	3	40.6	20.3
1.00-2.00	20.0	20.1	0%	4	35.4	17.7
2.00-3.00	20.0	19.8	0%	5	33.1	16.6
3.00-4.00	20.0	20.2	0%	6	32.6	16.3
4.00-5.00	20.0	19.7	0%	7	30.7	15.4
5.00-6.00	20.0	20.3	0%	8	29.4	14.7
6.00-7.00	20.0	20.0	0%	9	27.6	13.8
7.00-8.00	20.0	19.8	0%	10	25.6	12.8
8.00-9.00	20.0	20.0	0%			
9.00-10.00	20.0	20.1	0%			
10.00-10.02	-	25.3	0%			



図 4-42 映像伝送前後の画質比較

c) 熟度別数量把握機能 (AI アプリ)

本実証で開発した熟度別数量把握機能 (AI アプリ) による分類と人の目による分類を比較することで、本 AI アプリがどれだけ人の感覚に近づけたかを検証しました。

AI アプリと目視により各熟度別に分類した結果は「表 4-21」の通りとなりました。なお、目視による分類は、本 AI アプリの教師データを作成した GINZAFARM 株式会社により教師データと同じ分類基準で行いました。

表 4-21 AI 及び目視による検知数と差分

		Full red	Half red	Start red	合計
AI による検知数	(個)	65	25	53	143
目視による検知数	(個)	63	20	77	160
差分	(個)	+2	+5	-24	-17
	(%)	+3.2%	+25%	-31.2%	-10.6%

一方で、パノラマ画像毎に、差分を確認すると、AI アプリが過剰で検知をしている、検知が不足しているパノラマ画像もありました。画像毎に正答/過剰/不足数を整理すると「表 4-22」の通りになり、正答率は Full red 88.2%、Half red 50.0%、Start red 58.0%となりました。

表 4-22 AI アプリの正答率

		Full red	Half red	Start red
正答	(個)	60	15	47
	(%)	88.2%	50.0%	58.0%
過剰	(個)	5	10	5
	(%)	7.4%	33.3%	6.2%
不足	(個)	3	5	29
	(%)	4.4%	16.7%	35.8%

完熟である Full red は目標精度に近いですが、成長期である Half red、Start red は目視との差が大きく、今後も試行回数を重ねることで精度向上を図ります。

また、精度が低い原因として、いちご畑花園のイチゴは色づき過程が当初想定していたものと異なることが実証期間中に判明しました。本システム導入に際し、GINZAFARM 株式会社が研究機関等と作成したイチゴの画像データを基にイチゴの生育過程を「図 4-43」のように 8 つに分類し、AI 学習を行いました。しかし、今回対象としたイチゴは白となる生育過程がなく、「図 4-44」のように緑から赤に変化することが判明しました。このことから、イチゴの色づき過程は品種やハウス構造等の生育環境により変化する可能性が示唆され、各イチゴの色づき過程に応じた教師データを作成することが必要であることが判明しました。

本実証 熟度別対象範囲								
	花	緑1	緑2	緑3	白	start red	harlf red	full red
おおよその生育日数	1	7	14	18	21	24	25	28
状態								

図 4-43 イチゴの生育過程



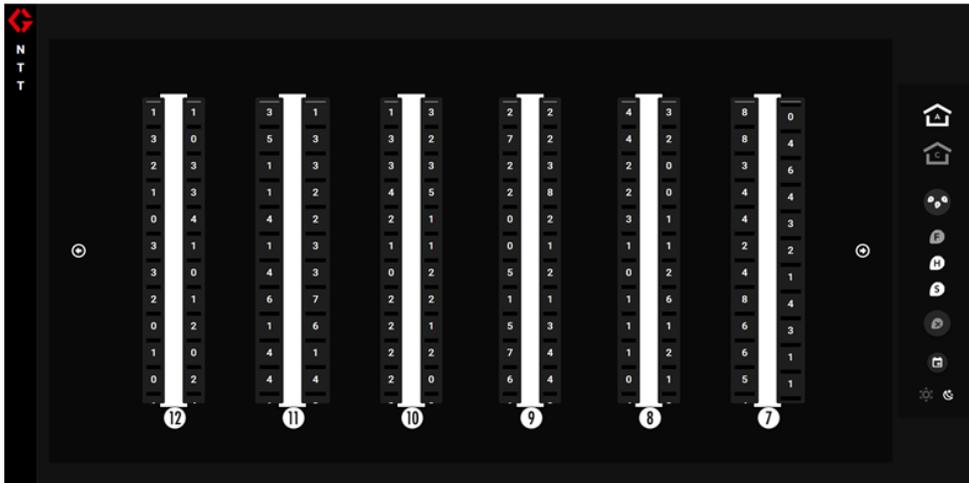
図 4-44 Start red の色づき方（緑から赤）

d) レポート機能（レポート表示アプリ）

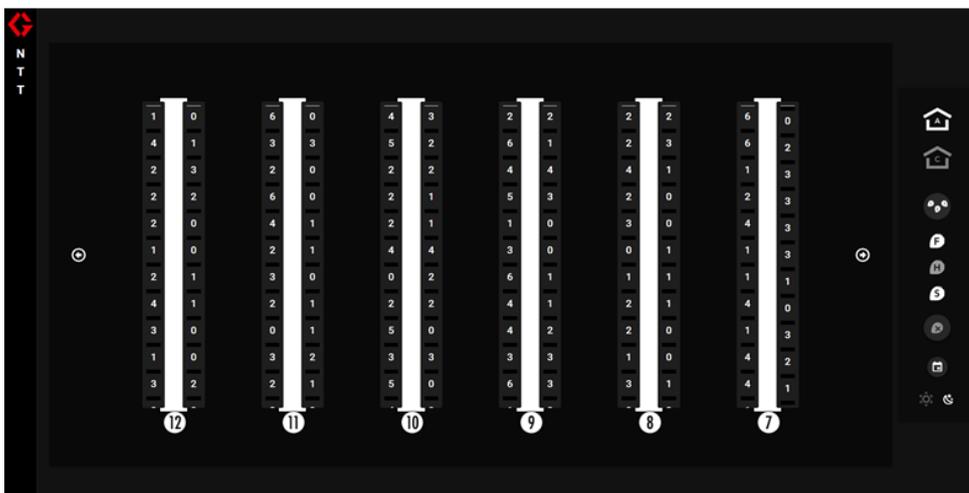
令和4年2月25日の熟度別数量把握データを基に、システムで分類した熟度別数量データがレポート画面に正しく表示されていることを確認しました。

レポート画面は「図 4-45」のように、エリア・レーンごとに熟度別にイチゴの数量を確認できる仕様となっております。一方で、生産者より、レポート画面について「エリアの合計等、区画別の合計数がわかるようにしてほしい」とのご意見を頂いており、来年度の実証の中で改めて生産者の要望に合ったレポート表示ができるように調整を行う必要があります。

Full red



Half red



Start red

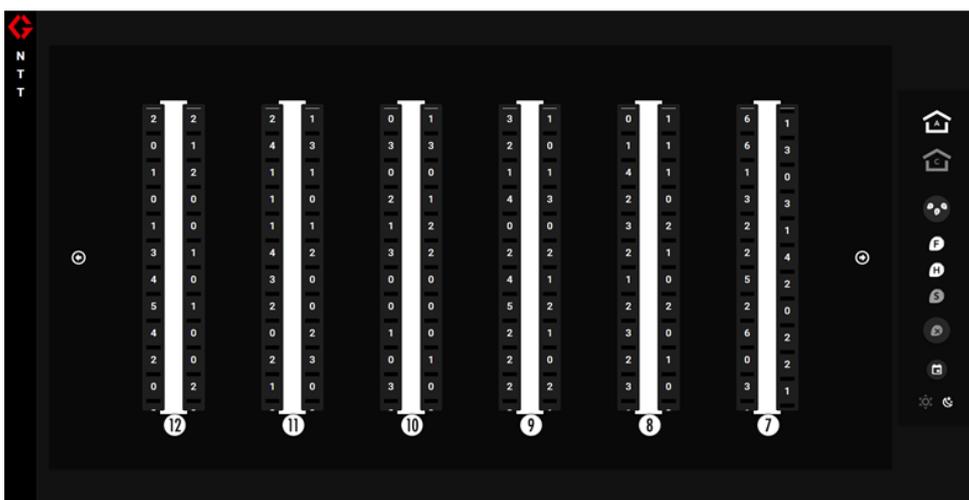


図 4-45 熱度別数量把握機能レポート画面 (令和4年2月25日)

3) 密検知・顧客誘導システム

密検知・顧客誘導システムにおける評価・検証方法及び結果の概要は「図 4-46」の通りです。

機能区分	機能概要	評価・検証項目	評価・検証結果
a) 撮影機能	ハウス内に設置された4Kカメラで人物を撮影	ビニールハウスにおける人物映像の撮影（認識できるレベル）	人物が移動した際に、カメラの死角に入ることなく常にいずれかのカメラで撮影できることを確認 
b) 映像伝送機能	取得した高精細4K映像をローカル5Gを介して伝送	4Kカメラでの映像伝送におけるパケットロス率、遅延時間の測定	パケットロス率が0%、伝送遅延が30msec未満であることを確認
c) 人物検知機能	取得した4K映像を用いた人物検知	取得した4K映像を用いた人物の検知、位置の特定 【目標】 ・特定精度90%以上 ・非検出10%以下	位置検知精度：54.5% 滞在時間測定精度：17.6%
d) レポート機能	ビニールハウス内のグループ間平均距離、及び食べ頃のイチゴが多くある場所を表示	グループ間平均距離、イチゴが多く残っている区画(3m)に関するフロアマップ表示 【目標】検出精度90%以上、非検出10%以下	いずれも結果を正しく表示していることを確認

図 4-46 密検知・顧客誘導システムにおける評価検証の概要

a) 撮影機能（人物検知用 4K カメラ）

評価・検証項目で指定したビニールハウス内の各レーンを人物が移動した際に、6台のカメラの死角に入ることなく常にいずれかのカメラで確認できるかについて目視で確認をした結果、常に人物をいずれかのカメラで確認することができました。

特に、「図 4-47」に示すようなカメラの画角から人物が消える、または死角に入ってしまう場合でも、別のカメラで人物を確認することができたことから、撮影機能が担保されていることがわかりました。

しかし、実証期間中に敷地内に構造物が追加されたことにより、人物検知機能検証時には一部死角が発生していることが判明しました。

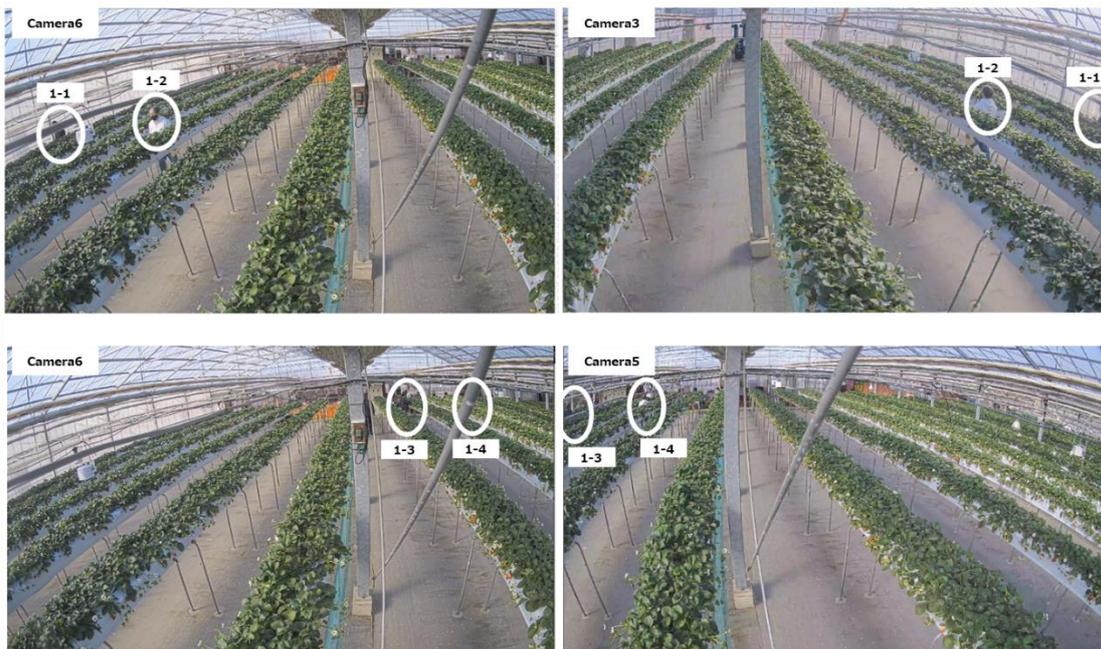


図 4-47 実際に撮影した映像例

b) 映像伝送機能（ローカル 5G システム）

いちご畑にて、PoE-HUB に設置している UE～エッジサーバ間の iperf3・ping による測定結果を「表 4-23」に示します。これらの結果から、パケットロスが 0%、伝送遅延が 30msec 未満であることが確認できました。

また、映像伝送前と後の動画を目視にて比較し、「図 4-48」の通り、劣化が発生していないことを確認しております。

表 4-23 映像伝送機能測定結果

iperf3による結果				ping測定結果		
	送信側	受信側	パケットロス	パケット	伝送遅延 (ms) 往復	伝送遅延 (ms) 片道
平均スループット (詳細)	12.0	12.0	0%	1	33.7	16.9
Interval	送信側	受信側	パケットロス	2	31.6	15.8
0.00-1.00	12.0	11.8	0%	3	29.9	15.0
1.00-2.00	12.0	12.0	0%	4	27.7	13.9
2.00-3.00	12.0	12.0	0%	5	26.6	13.3
3.00-4.00	12.0	11.7	0%	6	25	12.5
4.00-5.00	12.0	12.0	0%	7	44.3	22.2
5.00-6.00	12.0	12.2	0%	8	42.5	21.3
6.00-7.00	12.0	12.0	0%	9	40.6	20.3
7.00-8.00	12.0	12.0	0%	10	39.8	19.9
8.00-9.00	12.0	12.0	0%			
9.00-10.00	12.0	12.0	0%			
10.00-10.02	-	7.6	0%			



図 4-48 映像伝送前後の画質比較

c) 人物検知機能 (AI アプリ)

6 台のカメラで撮影した映像をエッジサーバに送り、人物検知アプリが人物の位置を検知できるか検証を実施しました。同様に、人物検知アプリが人物の位置に加え、滞在時間を検知できるか検証を実施しました。

なお、ビニールハウス内の 5 エリア各 5 区画、計 25 区画で 1 回目は位置検知、2 回目は区画を変えて位置検知+滞在時間測定と、段階を踏んだ検証を実施する計画でしたが、検証の準備から実施までの期間中に多数の機材が新設され想定外の死角が生じました。計画の遅れにより再調整が困難だったため、位置検知は 2 回計 44 区画、滞在時間は 1 回 23 区画での検証となりました。

人物検知機能については「表 4-24」に示した通りとなりました。

表 4-24 人物検知機能結果

	区画数	検知率
検知	36	81.8%
正解	24	54.5%
位置ずれ	12	27.3%
非検知	8	18.2%
合計	44	100%

人物が検知出来たのは 44 区画中 36 区画 (81.8%) となりました。ただし、人物は検知出来たが、検知位置がずれてしまっているものが 12 区画あるため、検知位置も含め正しく検知出来た (正解) のは 24 区画 (54.5%) でした。検知位置がずれてしまった 12 区画と、検知出来なかった 8 区画の位置を確認すると、カメラのカバーエリア内ではあるが、AI アプリの検知距離の限界付近となる遠い区画が非検知となりやすい傾向にあり、またカメラの画角の際に当たる区画が誤判定となりやすい傾向にありました (図 4-49)。

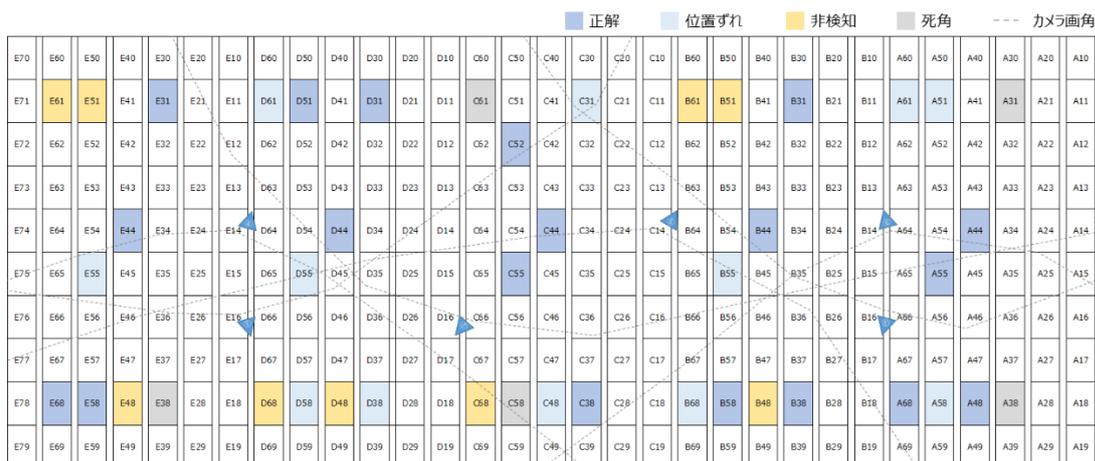


図 4-49 人物位置の検知結果 (マップ)

滞在時間については、「表 4-25」の通りとなりました。

表 4-25 滞在時間の測定結果

	累計	1名配置	2名配置
		(12区画)	(5区画)
実際の滞在時間	680秒	280秒	400秒
測定した滞在時間	414秒	208秒	206秒
誤差	-266秒	-72秒	-194
	-39.1%	-25.7%	-48.5%

なお、非検知区画を除いた実際の滞在時間の累計 680 秒に対して、人物検知アプリが測定した滞在時間は累計 414 秒と誤差は-266 秒 (-39.1%) となりました。1 名のみ配置した 12 区画については、実際の滞在時間の累計 280 秒に対して、人物検知アプリが測定した滞在時間は累計 208 秒と誤差は-72 秒 (-25.7%) となりました。2 名配置した 5 区画については、実際の滞在時間の累計 400 秒に対して、人物検知アプリが測定した滞在時間は累計 206 秒と誤差は-194 秒 (-48.5%) となりました。複数名の滞在時間を同時計測すると誤差が大きくなる傾向となりました。

グループ間平均距離の算出については、上記の通り、位置・滞在時間の精度が影響し、6.5m となるように配置した結果、3.1m と算出される結果となりました。

なお、各グループから最も近い位置にいる他グループとの距離を平均した値を「グループ間平均距離」と定義し、観光客に開放していない他エリアでの作業等者はカウントしないように、10メートル以上離れたグループは対象外としました。

位置を検知できなかった要因、位置を誤判定した要因、滞在時間に誤差が生じた要因、及びそれらに対する対策を、「表 4-26」に記載しました。

表 4-26 要因分析と対策

要因	対策	位置の 非検知 への影響	位置の 誤判定 への影響	滞在時間 の誤差 への影響
ハウスの構造上、カメラの設置方法・場所が限定され、1 台のカバーする区画が広がった	AI アプリが適切に検知できる距離や画質になるよう、台数増設や画角・画質の調整を行って、カメラの配置の適正化を図る	○	○	○
ハウスの構造上、カメラの設置方法・場所が限定され、カメラの画角を通常より広角に設定する必要性が生じた		○	○	○
死角とはなっていないが、人物と新設機材の境界付近が、ぼやけた	現地環境により適した教師データを学習させる	○	○	○
天候の変化による明度の変化	現地環境により適した教師データを学習させる	—	○	○
高設栽培のため、身長に対する可視範囲が上半身の一部に限定された	現地環境により適した教師データを学習させる 男女や背の高さなどの体格等が異なるあらゆるパターンの教師データを学習させる	—	○	○
人物の重なりによる追尾中止に伴い、時間計測が停止した	男女や背の高さなどの体格等が異なるあらゆるパターンの教師データを学習させる 人物追尾アルゴリズムを改良する	—	—	○

d) レポート機能（レポート表示アプリ）

熟度別数量把握システムの Full red のカウント結果を基に、レポート画面を表示させ、6 個以上の収穫適期のイチゴがある区画にアイコンが表示できていること、またグループ間の平均距離が正しく表示されていることを確認しました。

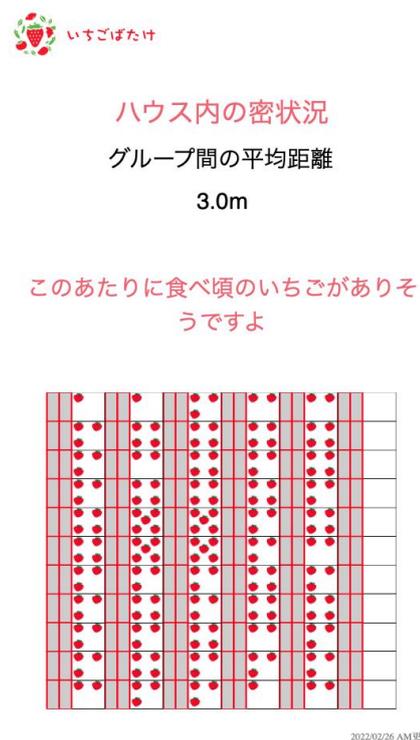
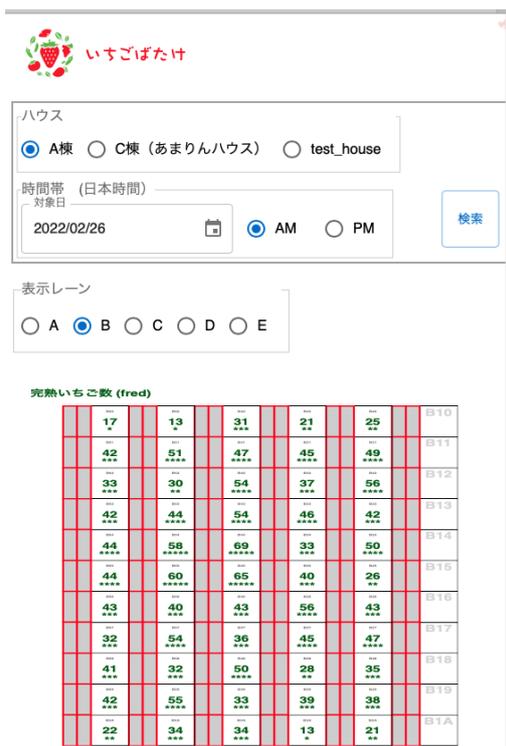


図 4-50 レポート機能画面

なお、アイコンの表示はイチゴ6個を下限（アイコン1つ）とし、それ以上のアイコン数の表示はエリア内における最大個数に応じて「表 4-27」のように対応させました。

表 4-27 イチゴのアイコンの数

エリア内の各区画におけるイチゴの数量の最大値が10個の場合	
区画内のイチゴの数	アイコンの数
0～5個	0
6個	1
7個	2
8個	3
9個	4
10個	5

エリア内の各区画におけるイチゴの数量の最大値が30個の場合	
区画内のイチゴの数	アイコンの数
0～5個	0
6～10個	1
11～15個	2
16～20個	3
21～25個	4
26～30個	5

また、イチゴ狩り中の人物検知情報を基に、AIがイチゴの消費量を予測し、レポート画面のイチゴのアイコン数が減少していることを確認したところ、合計4区画でイチゴのアイコンが減少したことを確認しました。

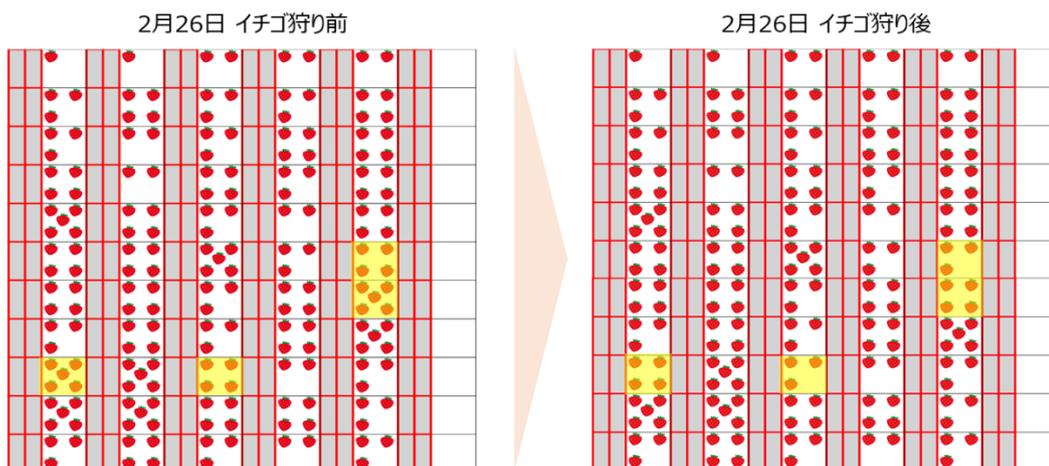


図 4-51 イチゴ狩り前後のレポート画面表示遷移

なお、2月25日（金）の午後に取得したイチゴの数量データを区画毎に集計すると13～53個であったことより、実際のイチゴの個数とアイコンの個数は「表4-22」のように対応します。

表 4-28 実際のイチゴとアイコン数の対応表

2月26日（土）	
区画内のイチゴの数	アイコンの数
0～5 個	0
6～14 個	1
15～23 個	2
24～33 個	3
34～43 個	4
44～53 個	5

イチゴのアイコン数が減った区画は実際のイチゴ数も減ったことにはなりますが、イチゴ狩り後の熟度別数量把握システム結果（パノラマ画像）を確認したところ、実際の Full red の数は減っていないことがわかりました。



図 4-52 イチゴ狩り前後のパノラマ画像比較

本検証では、1人が20秒滞在していることを検知すると実際のイチゴの個数を1つ減らすというロジックでイチゴ個数を減らしていきました。しかし、本検証期間中のイチゴ狩り運営が、とったイチゴをエリア外のテーブルで食べるという運営であり、滞在時間が想定よりも短かったため、AIによる予測ではイチゴの個数が全体的に減っていないと認識されてしまったと考えられます。また、実際にイチゴ狩りの様子を観察すると、イチゴのアイコン数が減った区画では複数人で写真撮影を行っている様子が見受けられたため、滞在時間が長くなり、当該区画でのイチゴの個数並びにイチゴのアイコン数が減少したものと考えられます。

今回採用したロジックは、いちご畑花園でのイチゴ狩り運営の実態とは異なるものでした。新型コロナウイルスの感染再拡大により、検証日を1日しか設けることができなかつたため、本実証期間中でのロジックの改善は出来ませんでした。そのため、次年度も引き続きロジックの調整を行う必要があります。また、早めにイチゴのアイコン数を減らすロジックを導入した方が来園者の誘導という点では適しているという声もあり、生産者と相談しながら、より効果のあるロジックへ修正していく必要があります。

4.4.1.3 運用検証

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

具体的な検証項目、検証方法及びアウトプットを以下に示します。

(1) 評価・検証項目

1) 各システム（イチゴの病害検知、イチゴの熟度別数量把握、密検知・顧客誘導）

- システム利用時の新たな業務フローに関する事項
（現在の運用よりも作業が増えないか、現在の作業と代替可能か）
- 各システム運用に関する事項
（生産者が本実証システムをすぐに利用できるか、どの程度サポートが必要か）
- 各システム故障時に関する事項
（保守体制、故障時の対応フロー等）

2) ローカル 5G システム

- ローカル 5G 免許運用に関する事項
（更新・変更・新規取得等）
- ローカル 5G 設備運用に関する事項
（機器操作、定期検査、セキュリティ対策、盗難対策、留意点等）
- ローカル 5G 保守に関する事項
（保守体制、故障時の対応フロー等）

(2) 評価・検証方法

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

1) 各システム（イチゴの病害検知、イチゴの熟度別数量把握、密検知・顧客誘導）

実証を進めていくなかで、現在の手作業での育成も長年の経験で効率化が図られていることがわかりました。（例：収穫作業と病害見回りを同時に行う）本実証における自立走行型ロボットの走行時間帯や走行に関わる所要時間、最も効率的に導入できる方法について、いちご畑花園の職員にヒアリングを行い、導入・運用における課題を洗い出しました。

● システム利用時の新たな業務フローに関する事項

（現在の運用よりも作業が増えないか、現在の作業と代替可能か）

病害検知や熟度別の確認作業については、収穫作業とは別に職員が実施していることを想定していましたが、いちご畑花園では、病害検知や熟度の確認作業は、作業の効率化のために収穫作業の際に合わせて実施していることが、本実証の中でわかりました。一方で、病害検知システム及び熟度別数量把握システムについては、イチゴを撮影するために自立走行型ロボットを走行する時間を確保する必要があります。自立走行型ロボットを職員の収穫作業と同時に走らせることはできないため、収穫作業の時間以外にロボットを走行させる時間を確保することがわかりました。また、ロボットは日の光が出ている日中帯でないときれいに映像が撮影できないため、走行の時間帯は日中帯を想定することになります。

このことより、自立走行型ロボットの走行については、日中の日が出ている時間帯かつ、職員の収穫作業や観光客の入場時間帯に重ならない時間帯に設定することが必要となります。また、自立走行型ロボットは走行速度が分速3m程度であることから、自立走行型ロボットが走行可能な時間に、走行が完了できるよう、自立走行型ロボットの適切な使用台数についても今後検討が必要と考えます。

また、イチゴの病害検知や熟度別数量把握は結果を見た最終的な判断や作業はいちご畑花園の職員が実施する必要がありますが、病害検知や熟度別の判定に関するノウハウ部分については、今後AIの学習が更に深化していけば、システムにて代替していくことが可能と考えます。

密検知・顧客誘導システムについては、イチゴの多く残っている場所や観光客同士の距離をサイネージに表示することが可能となります。従前はこれらの情報をいちご畑花園の職員が口頭でお知らせしていたことを考えると、職員の稼働を削減したうえで、顧客サービスの向上に寄与できると考えられます。一方で、今回の検証期間は新型コロナウイルスの影響で、観光客の入場数が限定されていたことや、通常のイチゴ狩りのスタイルとは違う形で実施していたことより、通常営業時と同じ環境下でシステムを活用した際の効果については、別途検証する必要があります。

● 各システム運用に関する事項

（生産者が本実証システムをすぐに利用できるか、どの程度サポートが必要か）

本実証期間においては、自立走行型ロボットの走行や各システムの操作は、本実証システムを構築した会社の従業員が実施しており、いちご畑花園の職員は操作の様子や実証の結果を確認してもらうことに留めております。そのため、来年度以降、実際にいちご畑花園の職員が自立走行型ロボットの操作方法や画面に表示された結果の見方を習得する必要がある

あります。いちご畑花園の職員が操作可能となるよう、来年度も農林水産省の事業を通して操作を実際に体験してもらうことに加え、各システムのマニュアルの作成を行うことで、いちご畑花園の職員のサポートを行う予定です。また、自立走行型ロボットについては、本実証において、地面の凹凸や障害物があると走行時に自立走行型ロボットがバランスを崩すことがわかっております。そのため、自立走行型ロボットについては、いちご畑花園の職員が利用する前に、GINZAFARM 株式会社の従業員が安全性を確保できるかのテストを十分に行ったうえで、いちご畑花園の職員の方が操作できるようフォローを実施する予定となっております。

● 各システム故障時に関する事項
(保守体制、故障時の対応フロー等)

各システムの故障時における対応フローの検討を行いました。来年度の農林水産省の実証事業においては、引き続きコンソーシアムメンバーが現地に対応するため、システム不具合については、各システムを構築している企業がその場で対応する体制を取ります。各企業が現地にいない時間帯等については、いちご畑花園が GINZAFARM 株式会社に故障連絡を行い、GINZAFARM 株式会社が一次切り分けを行い、各社と連携する体制といたします。農林水産省の実証事業終了後の対応については、次年度の実証期間中の故障受付回数や内容等を踏まえ、適切な保守体制について検討いたします。

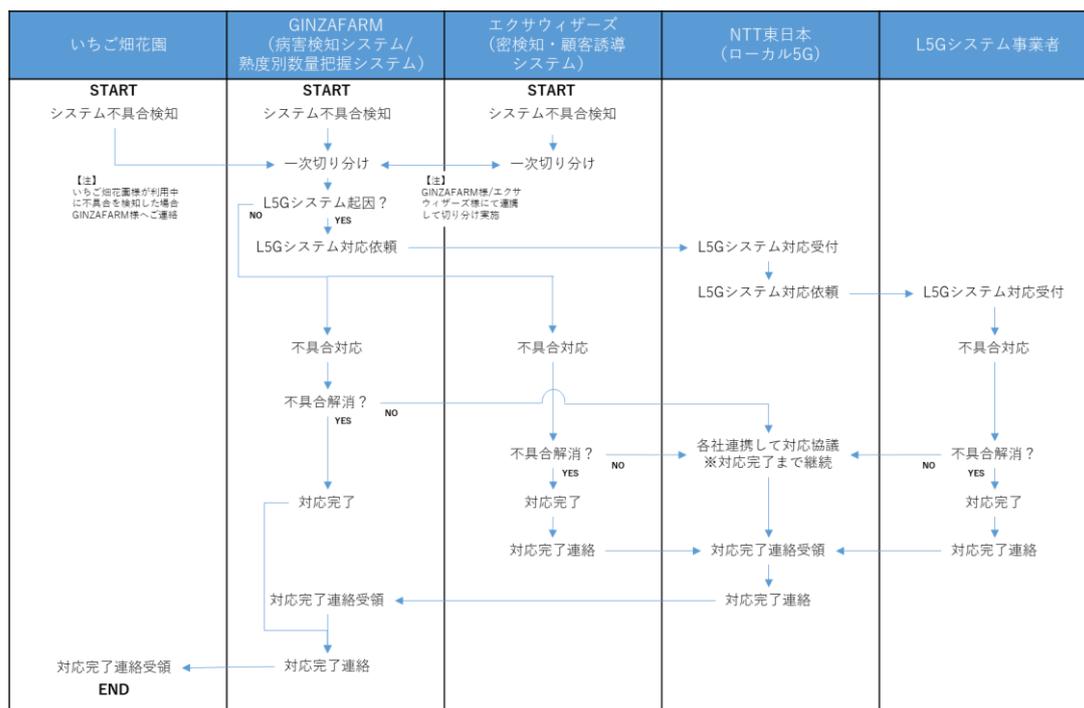


図 4-53 故障時の対応フロー図

2) ローカル 5G システム

本実証においては、実験的利用のため代表企業である東日本電信電話株式会社の名義で実験局免許を取得しましたが、実際の運用においては自己の土地での利用とするためにシ

システム利用者（各生産者を想定）が自身の名義にて商用局免許を取得することになると想定します。無線システムに不慣れな農業従事者が申請書を作成し、干渉調整等を行うのは難しく、導入の障壁になると考えます。

また、運用においては日常的に生産者が電波を発する機器を操作するため、免許取得のみならず無線従事者として資格を取得する必要もあります。以上のことから本実証システムの免許運用における課題としては以下の内容があげられます。

- 免許運用における課題

- ・免許申請業務の簡易化（技適取得機器を利用する場合はメーカーからの機器仕様書をもって工事設計書及び無線局事項書の代替資料とみなす等）
- ・無線従事者資格の取得に関する補助（無線システムの基本知識を教える研修の実施、資格取得費用の補助）

次に、設備運用・保守については、UE 等直感的な操作が可能なものもある一方で基地局やコア装置については通信システムの基本知識を要するものもあります。そのため、農業従事者が独自に運用・操作することは難しいと考えます。

本実証においては VPN 経由で操作が可能なネットワーク構成を採用し、効率的な運用が行えました。保守の面でも故障個所の特定のためにはローカル 5G ベンダーが遠隔でログを確認できる環境が望ましく、実際の運用においても本実証の構成と同様、遠隔運用・保守拠点を設けることが望ましいと考えます。ローカル 5G システム構築者は継続して利用者をサポートする体制を整えるとともに、上記内容を利用者にも説明し、保守・運用費用を確保してもらうとともに、不具合があった際の問い合わせ窓口として理解を求める必要があります。

また、設備の設置・運用においては、農業分野特有の課題として、農作業場所周辺にサーバ室のような通信機器の設置に適した屋内環境がないことがあげられます。本実証においては屋外用の防水・防塵対策が取られたラックを採用し、いちご畑花園の敷地内に設置しました。温湿度管理も含めて、機器の使用適正環境が保たれていることを確認することが重要となります。

本実証期間中は屋外用ラックを施錠することでセキュリティ対策を施しましたが、サーバ室のように入退室管理を行うことができないため、機器の盗難やデータの抜き取りへの対策も重要となります。ローカル 5G は SIM の認証を行っているため不正利用は発生しづらいと考えられますが、コア装置に接続されデータを抜かれてしまうと重要なデータの流出につながることも考えられるため、物理レイヤでの対策も必要だと考えます。

以上のことから本実証システムにおけるローカル 5G 設備運用・保守の課題としては以下の内容があげられます。

- ローカル 5G 設備運用・保守における課題

- ・コア装置、基地局の操作及び故障時の切り分けのために遠隔操作・保守拠点を設けることが望ましい
- ・利用環境が屋外や半屋外となり、サーバ室のような通信機器に適した環境が準備できないため、屋外用ラック等を準備する必要がある

・屋外もしくは半屋外の場合、セキュリティ対策を十分に行うことが難しくなるため、監視カメラを合わせて設置する等、物理的にアクセスしづらい環境を整備する必要がある

(3) 実証結果及び考察

いちご畑花園の従業員のヒアリング結果を基に要望のあったマニュアルを作成しました。本実証の期間は自立走行型ロボットの走行については、GINZAFARM 株式会社の従業員が主に操作を行っていたことより、実運用になった際にいちご畑花園の社員でも操作が可能なようマニュアルの作成をしてほしい旨の要望をいただきました。また、同様に、イチゴの病害検知システム、イチゴの熟度別数量把握システム、密検知・顧客誘導システムについても、システムの操作方法や画面等に表示された結果の見方などについてのマニュアルが必要とのご意見を踏まえ、マニュアルの作成を行いました。

4.4.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検証

4.4.2.1 ローカル 5G 活用モデルの構築・検証

本実証で構築するローカル 5G 機器および自立走行型ロボットと AI 解析を用いたシステムについて、実証中に発生した課題を抽出・整理し、一般市場における実装に向けた検証を行いました。

本実証結果を踏まえたローカル 5G 活用モデルとしては、自立走行型ロボットが熟練農業従事者と同等の見回りを行い、省人化及び収益向上につながる点がポイントです。

前半の「熟練農業従事者と同等の見回りが行えるかどうか」については、機能検証にて性能を確認し、課題は残るものの、一定の精度での運用が可能であるとの結果を得ることができました。ただし、本実証システムの活用のためには各農業従事者が自ら安全に本システムを利用できなければなりません。そのため、安全性についてはシステムで補える範囲はどこまでかを検証するとともに、アンケートにより協力農家に本システムを利用するにあたって必要なマニュアルのヒアリングを行うことで検証を行いました。

後半の「省人化及び収益向上につながるかどうか」については、効果検証にて明らかとなった本システムのコスト削減効果や収益性について評価を行いました。

これらの検証結果を踏まえると、熟練農業従事者のノウハウをデータ化することで新規就農者の参入ハードルを下げることもできるとともに、既存農家に対しても一部作業を省人化することでコスト削減や農地拡大を図ることも期待できると考えています。また、本実証は 1 台のコア装置を複数ユーザーで共同利用する「コア共用型」での運用を検討しており、利用が増えるほどコスト按分効果も大きくなり、AI の学習精度の向上も期待できます。そのため、本実証システムを展開し、利用者を増やすことでローカル 5G 活用モデルの継続的な利用が可能であると考えます。想定ターゲットや導入モデルのパッケージ化については後述します。

ただし、利用者の増加を図るにあたっては、導入にかかる初期費用や、各生産者への周知に課題が残ります。そのため、本実証モデルを深谷市や埼玉県を初期段階の展開エリアとし、本実証コンソーシアム参加企業と協力して横展開を図ります。このコンソーシアム参加者と連携したノウハウを基に、深谷市や埼玉県以外のエリアへの展開に向けても推進事業者を中心に各地域のステークホルダーの参加を呼びかけ、広く展開していくことが可能であると考えます。本実証システムのサービス提供者及び主要ステークホルダー及びステークホルダー拡大に向けた取り組みは「図 4-54」の通りです。

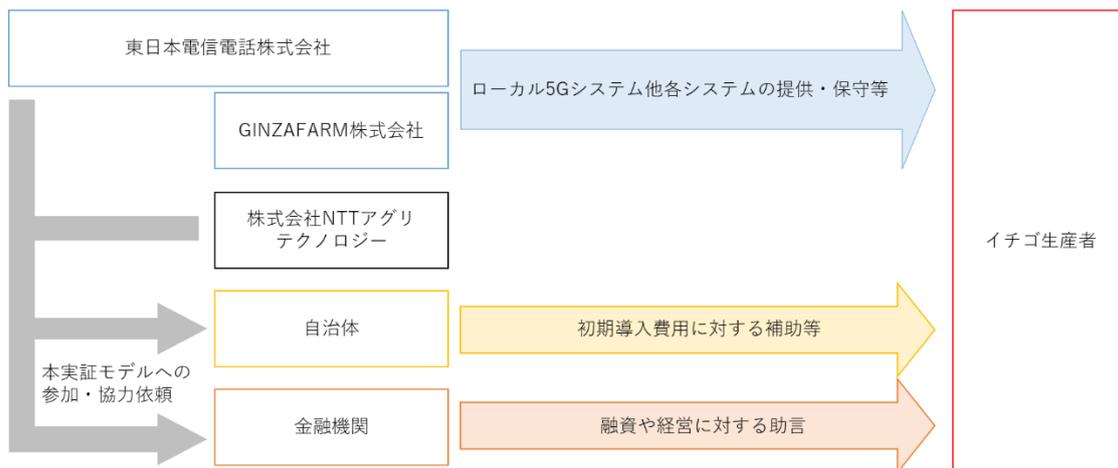


図 4-54 本実証活用モデルの展開における体制及び役割

(1) 本実証フィールドにおける持続可能な事業モデルの構築・計画策定

本実証を行うにあたり、自立走行型ロボットの運用及びAI解析を用いたシステム利用において、このシステムにおける「正確性」「安全性」「経済性」について検討を行いました。

1) 正確性

本実証システムにおける病害検知及び熟度別数量把握の精度の検証を行いました。具体的には各システムの機能検証で実施したとおり、病害検知システムにおいては病害いちご模型の検出ができたか、熟度別数量把握システムにおいてはシステム開発者の熟度別数量カウント数とシステムによるカウント数の差分により正確性を検証しました。結果は「表 4-29」のとおりで、病害検知システムについては模型を用いた検証で検知率 94.0%、実際の病害イチゴを用いた検証で 91.4%という結果となり、計画当初に設定していた目標を達成することができました。熟度別数量把握システムについては、完熟イチゴ (Full Red) については正答率 88.2%と目標を達成できているものの、その他の熟度については正答率が低くなっていることから、機能改善及び検証が必要です。

本実証においてはシステムが正確に病害や熟度別数量を検知・検出できることが前提になっているため、現地でのイチゴの状況や農研機構から提供いただいた病害イチゴの画像データ、既に存在し公開されている病害イチゴの画像データを学習データとし、AIの精度を向上させました。正確性の向上のためにはより多くのデータを学習させることが必須となるため、学習期間及び学習データの確保が重要だとわかりました。

表 4-29 正確性検証項目

検証項目	結果	正確性向上に向けた課題
病害検知システム の精度	①1/21 いちご畑 花園 検知率：94.0%	イチゴへの光の当たり方により、光の当たっている部分が白く光り病害と検知する可能性があることから、光の当たり具合が異なる画像を

検証項目		結果	正確性向上に向けた課題
		②2/16 農研機構 検知率：91.4%	AI に学習させることが必要となる。 非検出となったイチゴを正しく AI に学習させることで AI の精度が向上するため、サンプル画像による学習に加え、実際の利用の場面における学習の機会と頻度の確保が必要となる。
熟度別数量把握システムの精度	システム開発者と自立走行型ロボットの熟度別数量検出数の比較	正答率 Full red 88.2% Half red 50.0% Start red 58.0%	イチゴの種類や生育環境によって、果実の色づき方が異なることから、その特性を踏まえた熟度別の定義 (Start red、Half red、Full red) や教師データを AI に学習させることが必要となる。

2) 安全性

a) システムによる安全性確保

本実証にて利用した自立走行型ロボットは農林水産省が定める「農業機械の自動走行に関するガイドライン」に準拠した運用を行っており、センサによる自立走行を行う際には周囲に人がいないことを確認したうえで走行を開始しています。そのため、人への被害は最小限に抑えられることから、農作物や栽培レーンへの衝突等利用環境への物的損害が発生しないか検証を行いました。物的損害を予防するためには自立走行ルートを繰り返し走行し、走行アルゴリズムをチューニングする必要があります。特に本実証フィールドのようなビニールハウスには栽培レーン以外にも暖房用の機器等の障害物が多く、障害物を避けて安全に走行させるため、チューニングに1~2か月ほど要しました。また、地面が平坦ではないため、凹凸がある部分や傾斜のある部分でもロボットが倒れることなく走行させることも調整要素の一つとなりました。

以上のような安全性対策を取りましたが、ビニールハウスの両端では地面の傾斜が大きく、走行時にハウスの壁面となるビニールに接触してしまう恐れがあったため、対象となるレーンの走行については回避しました。

以上の結果から、システムでの安全性確保については本実証期間中、物的損害は一度も発生しなかったことから一定の効果が見られたものと考えます。ただし、安全性の確保のために利用環境の整備を行ったり、何度もチューニングを行ったりする必要があり、導入にあたってはハウス内の環境について条件付きとするほうがよいと考えます。具体的には以下のようなハウスの仕様・環境であることが望ましいと考えます。

① ハウス内の地表面が平坦であること

- 風雨や土竜などの侵入による、ハウス内の地表面への影響を抑止することが可能となるよう、床材などが敷設されていること。

- ハウス内の壁面付近の地表面に傾斜がなく、側壁から側壁に至るまで平坦（水平）であること。
- ② 側壁と栽培レーンの間隔及び栽培レーン相互の間隔が均一となっており、自立走行型ロボットの機体がイチゴの果実等に接触することなく走行できる間隔（本実証においては1m程度）が確保できていること。
- ③ 自立走行型ロボットの走行ルート上の特定箇所に、走行の障害となる機材などが設置されていないこと。

上記3つを満たさない場合でも、走行アルゴリズムチューニングで対応可能な場合もあるため、事前の現場調査にて確認することが重要です。

b) 利用者による安全性確保

次に、実際に本システムを利用する農業従事者自身による安全性の確保として、利用にあたって必要なマニュアルのヒアリングを行いました。「4.4.1.3 運用検証」の項目にて記載のとおり、いちご畑園職員へのヒアリングにより要望のあったマニュアルを作成し、本実証システムの運用・管理の支援を行いました。

いちご畑園の職員より要望のあったマニュアルは以下の通りとなります。

- 自立走行型ロボットの操作マニュアル
- イチゴの病害検知システムの利用マニュアル
- イチゴの熟度別数量把握システム利用マニュアル
- 密検知・顧客誘導システム利用マニュアル

また、いちご畑園職員は本実証期間中に検証担当者が操作しているところを何度も見ていることから、ある程度利用方法については理解があったものと考えられます。予備知識のない初期利用者については、要望に応じて初期段階には現地での操作指導もあったほうがよいと考えます。

3) 経済性

本システムを利用することにより、省人化等のコスト削減や予約枠の適正化による機会損失の防止が実現可能かどうか検証を行いました。本実証システムの経済性を評価するためには、これらのコスト削減効果や機会損失の防止によって得られる収益拡大効果が運用コストを上回る必要があります。これらの評価については効果検証の結果をもとに行いました。

また、合わせて本実証システムの運用コストの削減方法について検討を行うことにより、コスト削減効果及び収益拡大効果の最大化を目指します。

a) 効果検証結果を基にした本システムの経済的効果

「4.4.1.1 効果検証」の検証を踏まえ、本実証システムにおける費用削減効果について試算しました。

イチゴの熟度別数量把握システムによる、集客数の増加効果については、検証回数は少ないものの、2日間の検証ではそれぞれ+4人分、+18人分の機会損失を抑止できる試算結果となりました。本実証では新型コロナウイルスの感染再拡大により、いちご畑花園では令和4年1月以降新規の予約受け入れを停止し、上記人数の妥当性を分析できるほどの結果は得られていないため、実証目標である予約枠25%拡張（5名増）とした仮説を基に集客数の増加効果による経済性について考察しました。

【条件】

- もともと20名で設定していた予約枠が25名に増員できた
- 大人1名の入園料はあまりんハウスの場合3,000円、それ以外のハウスの場合1,900円
- 1日につき、イチゴ狩りはあまりんハウスで2回、それ以外のハウスで3回行われる
- 1か月であまりんハウスもそれ以外のハウスも8回ずつ開園する

表 4-30 予約枠拡張によるシミュレーション（予約枠拡張）

【算出結果】

	あまりんハウス		それ以外のハウス	
	システム導入前	システム導入後	システム導入前	システム導入後
受け入れ人数	20名	25名 (+5名)	20名	25名 (+5名)
入園料	3,000円	3,000円	1,900円	1,900円
1日の開園回数	2回	2回	3回	3回
1か月の開園回数	8回	8回	8回	8回
1か月の収入	960,000円	1,200,000円	912,000円	1,140,000円
システム導入効果	468,000円/月			

上記、条件および「表 4-30」に示したシミュレーション結果より、集客数の増加効果による経済的効果は月468,000円となることがわかりました。

また、上記条件のもと、イチゴの熟度別数量把握システムにより、集客数が増加した場合、来園者がイチゴ狩りをした後の収穫・調整作業として生じるイチゴのパック詰めについても同様に削減効果の経済性に試算を行いました。

【条件】

- もともと 20 名で設定していた予約枠が 25 名に増員できた
- 来園者 1 人あたりが食べるイチゴの量は 50 個 (1,000g) とする
- イチゴ狩り後の収穫時のパック詰めは 1 パック当たり 10 個 (200g) とする
- 1 日につき、イチゴ狩りはあまりんハウスで 2 回、それ以外のハウスで 3 回行われる
- 1 か月であまりんハウスもそれ以外のハウスも 8 回ずつ開園する

表 4-31 予約枠拡張によるシミュレーション (収穫・調整作業)

【算出結果】

	あまりんハウス		それ以外のハウス	
	システム導入前	システム導入後	システム導入前	システム導入後
受け入れ人数	20 名	25 名 (+5 名)	20 名	25 名 (+5 名)
1 回の来園者のイチゴ消費量	1,000 個	1,250 個 (+250 個)	1,000 個	1,250 個 (+250 個)
1 日の開園回数	2 回	2 回	3 回	3 回
1 か月の開園回数	8 回	8 回	8 回	8 回
1 か月の来園者のイチゴ消費量	16,000 個	20,000 個	24,000 個	30,000 個
1 か月のイチゴパック詰め削減量	—	400 パック	—	600 パック

上記、条件および「表 4-31」に示したシミュレーション結果より、本実証システムにより、1 か月 1,000 パック分の収穫調整作業が削減となることがわかりました。

実証目標で記載した「1 パックあたりの収穫・調製稼働：3 分」を踏まえると、1 か月あたり、3,000 分 (50 時間) の削減効果が見込まれます。50 時間分の経済的効果は月 47,800 円となることがわかりました。

(試算式) 956 円/時※ × 50 時間 = 47,800 円/月 ※埼玉県の最低賃金

上記の試算結果を踏まえ、本実証終了後に各システムをサービス化する際のサービス提供

価格について検討を行いました。

本実証システムの費用はローカル 5G の導入及び保守運用費が高額となっており、イチゴ生産者が利用できるような価格設定にはなっていないことから、現実的にイチゴ生産者がシステムを導入できる価格を設定することが必要となります。

また、イチゴの生産は初期投資が大きく、ハウスの建設や高設栽培レーンの整備でハウス 1 反につき 6,000 万円程度かかる場合もあります。このように栽培に直結する投資でもかなり高額なものになるため、スマート農業への投資としては 120 万円～150 万円程度がターゲット価格となり得るというヒアリング結果も得ています。本実証と同構成でローカル 5G 環境を整備する場合、コア装置や構築工事費用も含めて約 4,500 万円、運用保守費としてはライセンス費用も含めると年間約 2,300 万円という規模になります。仮にコア装置を共用したとしても基地局の整備で 1,000 万円以上はかかります。ターゲット価格からの乖離が大きく、シェア型を推進してもなかなかターゲット価格には追い付かないと考えます。そのため、本実証モデルの活用は例えば複数の大規模ハウスを持つ農業法人等に限られることとなります。

本実証システムの主な費用対効果は上記の予約枠拡大による収入拡大となります。月に約 45 万円以下のシステム運用費用でなければ費用対効果を見込めないため、ローカル 5G 機器の選定やシステム利用料の設定の際には上記の仮説をターゲット規模に応じて算出し検討します。システムの低廉化の検討と合わせて、機器の耐用年数も考慮に入れる等、費用対効果については多角的に検討していく必要があると考えます。本システムの耐用年数についてはローカル 5G システムは 10 年程度、自立走行型ロボットは 7 年程度を想定しており、これらの耐用年数以内で投資回収可能となるようなコスト削減及び本システムにより得られる収益の拡大が必要と考えます。また、今回の実証環境のように屋外設置がある場合は雨水の浸水等による経年劣化の影響が、屋内設置よりも大きいことが予想されます。そのため、屋外/屋内設置の場合に応じた利用期間中における修繕費に関する考慮も必要と考えます。

b) 技術やシステムの構成によるコスト削減

次に、使用する機器や機器構成の選択によるコストの低減を検討しました。

ローカル 5G を活用したスマート農業システムの普及展開に向けて、全体のコスト低減を進めていくにあたり、重要となるのはローカル 5G 機器の選定と利用方法です。課題実証システムは今後商用化を行う予定で、その際の価格設定時には本検討と同様に費用対効果を鑑みる必要がありますが、現時点ではコストの大半がローカル 5G に関する費用のため、ローカル 5G について①導入する機器の選定及びカバーエリア拡張方法の検討、②コア共用によるコスト削減、③ビジネスモデルの工夫・検討からのコスト削減、の 3 つの観点から検討を行いました。

① 導入する機器の選定及びカバーエリア拡張方法の検討

各ベンダーから機器選定をする際に、通信キャリアグレードの基地局を選定するのではなく、利用者それぞれの事業にあった性能を見極めた機器の選定を行い、無駄なコストを抑制します。本実証においても、低廉化した機器を選定しており、令和 2 年度の実証では一

式で1億超を超える機器も多くあった中、5,000万円を下回る機器も出てきており、今後ともローカル5Gの普及とともに低廉化が図られると考えます。

以下は機器選定時の考え方の一例です。

●導入する機器コストの削減の考え方

- ・利用者の規模と比較し、機器がオーバースペックになっていないか
- ・複数のローカル5G対応端末のうち、利用用途に適した端末を選定しているか
特に、端末タイプ（CPE型、ゲートウェイ型、スマートデバイス型、IoT端末一体型、等）の選定がポイントとなる
- ・カバーしたいエリアやその環境に応じたRUもしくはアンテナを選定しているか
また、その個数は適切か
特に、アンテナの指向性を考慮した上で選定することがポイントとなる
- ・システムが求めるインターフェースのスペックを確認しているか
また、そのスペックを満たすネットワーク機器およびケーブル類を正しく選定しているか
- ・複数のユニット（CU、DU、RU）で構成されるシステムを導入する場合、時刻同期システムは各ユニットで共用出来るようになっているか
- ・各ユニットに対して接続できるユニットおよび端末の数に制限はないか
例：1台のDUに接続可能なRUは10台まで
- ・接続する端末数に応じてライセンス利用料が変動するシステムの場合、その端末数および利用料は適切か
- ・5GCソフトウェアを実装するサーバのハードウェアおよび仮想化ソフトウェア（必要であれば）に必要なスペックに応じて正しく選定しているか
- ・利用者の求める保守レベルを確認し、適切な保守メニューを選定しているか
- ・特定ベンダの製品特有の機能等が含まれていないか
- ・複数のベンダから見積もりを取るなど、費用の妥当性を評価しているか
- ・サービス提供型のローカル5Gシステムの導入を検討しているか
(全体的なコスト削減、並びに、イニシャルコストの低減に関する効果が期待できる)

また、本実証の技術実証でも行った通り、カバーエリアの拡張や、電波送信方向の変更のために反射板が有効であることもわかりました。機器の構成についても基地局数を増やさずにカバーエリアを最適化する手段が増えており、コストを抑えた導入が可能になっていくと考えます。

② ローカル5G コアの共用化

ローカル5G通信を実現するために必要となるコア装置を複数ユーザで共用することにより、ローカル5G構築コストの低減を図ります。

本実証においては、ローカル5Gコア装置を共用し、深谷市内とつくば市内の2拠点にローカル5G基地局を設置し実証を行いました。本実証結果をもとにローカル5Gコア共用モデルの実現を図ると共に、普及展開モデルを検討していきます。

本実証は、ローカル5G利用者が生産者であり、単体でローカル5Gコア装置を含むシステムを維持するには、現時点では費用面、運用面等での負担が大きいと想定されます。本ビジネスモデルを普及展開していくためには、生産者間でローカル5Gコア装置を共用し、費用面、運用面等での負担を少なくすることが必要と考えており、本実証を通じ、これらの可能性を検証しました。具体的なコスト削減効果としては、コア装置に関する導入費用

及び運用時のライセンス費用等があげられます。

また、運用面でも拠点の一括管理が可能になるため、保守運用に関する稼働の削減効果が期待できます。

表 4-32 ローカル 5G コア装置を共用した場合の効果

区分	効果
費用面	ローカル 5G コア装置を共用した場合、共用せず各拠点それぞれにローカル 5G コア装置を設置した場合と比較して、1 拠点あたり約 770 万円（物品費用：650 万円、構築費用：120 万円）の費用削減のメリットが発生することが分かりました。本実証では、深谷市とつくば市の 2 拠点にてコア装置の共用を行いました。また、ローカル 5G システムの利用には、毎年のランニングコスト（ライセンス費用・保守費用）が発生します。1 システムあたり約 2,300 万円/年の費用負担が必要であることを考えますと、こういったランニングコストについて、コア共用を行う各利用者にて費用の按分を行うことが可能であるため、費用面の更なる効果が期待できます。
運用面	ローカル 5G コア装置を共用した場合、各拠点に構築する基地局の一括管理が可能となり、個々の拠点での管理が不要となるため、運用面での稼働削減の効果が期待できます。また、端末の増設等の軽微な運用上の対応についても、遠隔から一括で対応することも可能なため、コア共用を行わない場合と比較して大きな優位性があると考えられます。

③ ビジネスモデルの工夫・検討によるコスト削減

ローカル 5G を活用したビジネスモデルの工夫・検討により、コスト低減を検討していきます。

本実証システムにより作物の品質向上や低コスト化が可能となれば、地域 JA のような各生産者の作物の販売促進を担う団体がステークホルダーとなり、ともに展開・推進をするパートナーになり得ると考えます。地域 JA 等の組織は各地域の生産者とも密接に関わっていることから、より多くの生産者に本実証システムを紹介・普及することが可能と考えます。本実証システムのステークホルダーや利用者を増やすことにより、②にて記載したとおりコア装置を共用するユーザーが増え、運用コストを按分し利用者一人当たりのコストを削減できると考えます。本ビジネスモデルの展開に関するターゲットエリアやコンソーシアム参加者の役割については次項以降で具体的に記載します。

(2) 横展開に資する普及モデルに関する検討

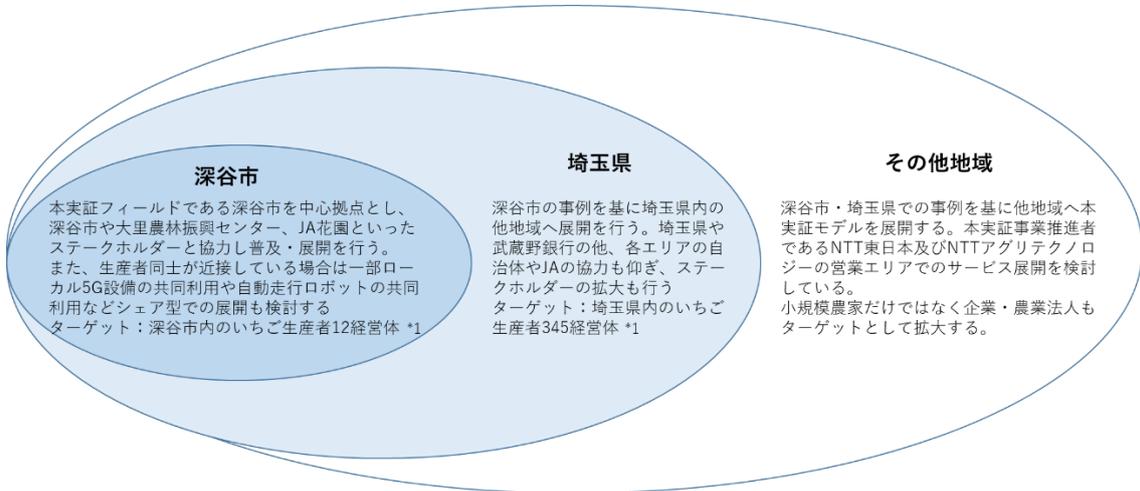
近年の施設栽培では、収益性を優先した作物を選定し、生育状況のコントロールや収集したデータを活用する IT 化が進んでいます。施設園芸の大規模化、農業従事者の減少などの課題解決に向けて、作業の効率化・省人化を促進するモデルが今後より求められている

ことを想定し、横展開に資する普及モデルを以下の通り検討しました。

1) 想定されるターゲット（地域・市場・ユーザ等）

本実証における事業展開モデルとして、本実証地域のステークホルダーと検討した結果、まずはスマート農業の推進に取り組んでいる地域自治体等ステークホルダーの協力を得ながら展開していく結果となりました。

本実証地域である深谷市及び埼玉県はスマート農業の推進を政策として挙げており、本実証事業の趣旨も理解し、効果に期待を寄せています。そのため、本実証システムの普及展開モデルとしては本実証システムを理解している実証地域からのスモールスタートを検討しています。なお、本実証エリアでのイチゴ生産者は深谷市内に12経営体、埼玉全域には約345経営体あり、ターゲット規模としても適していると考えます。本実証の対象とした埼玉県オリジナル品種の「あまりん」を栽培している生産者も埼玉県内に60以上あり、本実証の展開エリアとして妥当だと考えます。



※1. 出典：農林水産省2020年農林業センサス第1巻都道府県別統計書（埼玉県）

図 4-55 想定されるターゲット



図 4-56 あまりん栽培農家

また、コスト削減のため、利用者間でのシェア型モデルも検討していきますが、ローカル 5G 機器については令和 4 年度以降も各メーカーにより新機能の実装や、機器の低廉化、サービス提供型の開始等、市場が大きく変化していくと考えられます。そのため、本実証にて得られたローカル 5G の性能や構成を基本としつつ、各ユーザーの条件に応じた構成をその都度検討し、最適な構成にて本サービスを展開していく予定です。

2) 対象となるシステム(普及に資するソリューションやビジネスモデル等のパッケージ)

本実証にて検証した課題実証システムについては、すべて導入することを前提としてしまうとターゲットユーザーが「観光イチゴ農園」に限られてしまうため、各ユーザーの経営方針や規模によって取捨選択可能なものとし、また、ローカル 5G システムを活用し、農業分野以外の課題解決にも活用できるものとし、カスタマイズ案も検討します。具体的なパッケージ例は以下のとおりです。なお、本実証においては各ハウスに RU を取り付けましたが、生産規模によってローカル 5G 設備の機器構成を検討することとします。例えば、3 章にて記載のとおり、本実証によりビニールハウスの構造によってハウス内の電波伝搬性能が異なることがわかりました。いちご畑花園のような鉄骨が多用されており、なおかつ同規模のハウスであれば 1 ハウスごとに基地局を設置することが望ましいと考えます。また、いちご畑花園の場合、ハウスが道路を挟んで離れた位置にありましたが、ハウスが隣接している場合や、規模が比較的小さいハウスの場合は 1 台の RU で複数のハウスをカバーできる可能性もあります。以上のとおり、ハウスの材質や設置エリアによって各ユーザーが最も効率的に運用できる構成を検討しながら展開します。

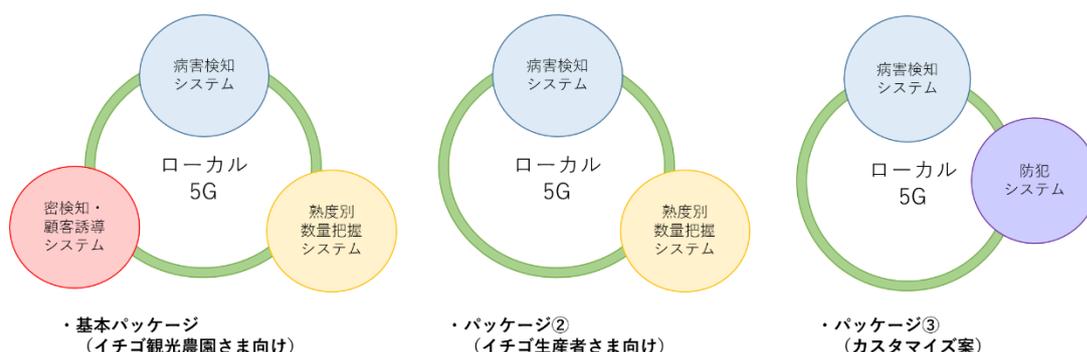


図 4-57 ソリューションパッケージの概要

<本実証を踏まえたソリューションパッケージ>

a) 基本パッケージ (イチゴ観光農園様向け)

本実証で導入したシステムをトータル・ソリューションとして展開することで、病害検知や熟度別把握といった生産者の作業の自動化や効率化のみでなく、イチゴ狩りの観光客へリアルタイムでハウス内の食べごろイチゴの場所をお知らせできる顧客サービスの向上に資することができます。密検知・顧客誘導システムは、イチゴ狩りを実施している観光農園向けのサービスとなるため、本パッケージのターゲットはイチゴ観光農園になると考えます。

b) パッケージ② (イチゴの病害検知・熟度別数量把握システム) (イチゴ生産者向け)

病害検知システムと熟度別数量把握システムはハードウェアの観点から重複するものが多く、本実証では自立走行型ロボット 1 台で両システムの性能要件を満たすことが出来ました。そのため、両システムを一つのソリューションパッケージとしての展開を行うことで、イチゴ狩りを実施していないイチゴ生産者向けにもパッケージとして提供することができると考えます。

c) パッケージ③ (イチゴの病害検知 or 熟度別数量把握システム+防犯システム等のカスタマイズ)

イチゴ農園のニーズに応じて本システムにて利用するローカル 5G を本実証におけるソリューション以外にも活用するパターンも実施することが可能と考えます。例えば、イチゴ農園に監視カメラを設置し、防犯対策として活用することが考えられます。

3) 普及モデル導入のための前提条件

本システムは特定地域や特定ユーザ固有のモデルではなく、汎用的なシステムとして普及が可能なシステムと想定しております。また、本システムを利用するためのネットワークとしては、ローカル 5G 環境を想定しております。本モデルを普及展開していくために必要となる前提条件について整理しました。

表 4-33 普及モデル導入のための前提条件

前提条件	理由
機器導入・保守費が低価格であること	多くの生産者が利活用できる普及モデルを展開していくにあたり、機器導入・保守費が低価格であることで展開を促進することができる。
自立走行型ロボットによる走行及び撮影が可能なこと	自立走行型ロボットが映像を撮影するためには、高設栽培のイチゴであること、安全に走行できる通路の幅を確保できることが必要となる。
関連団体・自治体等との連携すること	ノウハウがなくても、本事業モデルを活用することで農業の新規参入をサポートすることができるよう関連団体・自治体等との連携が必要となる。

4) 標準モデル（機能要件・非機能要件、ネットワークシステム構成、運用ノウハウ等）

各実証システムの標準モデルを以下の通り整理しました。

a) 機能要件

実証システムの標準モデルとしての機能要件は以下を想定しております。

表 4-34 機能要件案

システム名	項目	機能内容
イチゴの病害検知システム	撮影機能	4K カメラを搭載した自立走行型ロボットにて、高設架台に設置された病害イチゴを病害が識別できる解像度で撮影できること
	映像伝送機能	撮影された映像をローカル 5G 経由で、エッジサーバ上の画像抽出処理アプリへ転送できること
	画像抽出処理機能	撮影機能で撮影した映像から、イチゴを検知し指定解像度で画像抽出処理ができること
	病害検知機能	画像抽出処理機能で抽出されたイチゴの画像を AI で解析し、病害の検知ができること
	レポート機能	病害検知機能で検知した病害イチゴのある区画が正しくタブレットや PC 上の画面に表示されること
イチゴの熟度別数量把握システム	撮影機能	4K カメラを搭載した自立走行型ロボットにて、高設架台に設置されたイチゴが識別できるよう映像を撮影できること
	映像伝送機能	撮影された映像をローカル 5G 経由で、エッジサーバに転送し、クラウド上の熟度別数量把握機能アプリへ転送できること

システム名	項目	機能内容
	熟度別数量把握機能	撮影機能で取得したイチゴ映像から AI により正しく熟度別(三段階)に数量が計測できること
	レポート機能	熟度別数量把握機能で計測したイチゴの熟度別数量把握結果が該当レーンの各区画に正しく熟度別(三段階)にかつ数量が表示されること
密検知及び顧客誘導システム	撮影機能	人物検知用固定カメラでビニールハウス内栽培棚前の人物を撮影できること
	映像伝送機能	撮影された映像をローカル 5G 経由で、エッジサーバ上の人物検知アプリへ転送できること。
	人物検知機能	撮影された映像に映っている人物を検知し、検知した人物が立っている栽培棚前の区画を特定できること
	顧客誘導機能	人物検知情報を元に人の密状態を数値化すると共に、人物検知情報とイチゴ数量カウント情報からイチゴの残量を数値化できること
	レポート機能	人物検知機能及び顧客誘導機能で数値化された情報を元に、「密検知」「顧客誘導情報」がモニタに表示できること

b) 非機能要件

本実証で利用するシステムの非機能要件については、以下を想定しております。

表 4-35 非機能要件案

項目		非機能要件
可用性	運用時間	いちごの病害検知・熟度別数量把握システムについては、システム利用者が本システムを活用して熟度の検知や病害把握を実施する日時に稼働を行うこと 密検知及び顧客誘導システムについては、システム利用者が運営する農園において、顧客を受け入れる日時に稼働を行うこと
	運用・保守性	システム利用者からの本システムに関する一元問い合わせ窓口を設置すること 問い合わせ窓口は平日 9:00-17:00 とすること
	障害対応	システム利用者から障害の連絡を受けた場合は速やかに対応すること 障害復旧後、発生原因や再発防止策等の報告を行うこと

(3) ネットワークシステム構成

本実証のネットワークシステム構成は、以下の通りとなります。

<イチゴの病害検知システム>

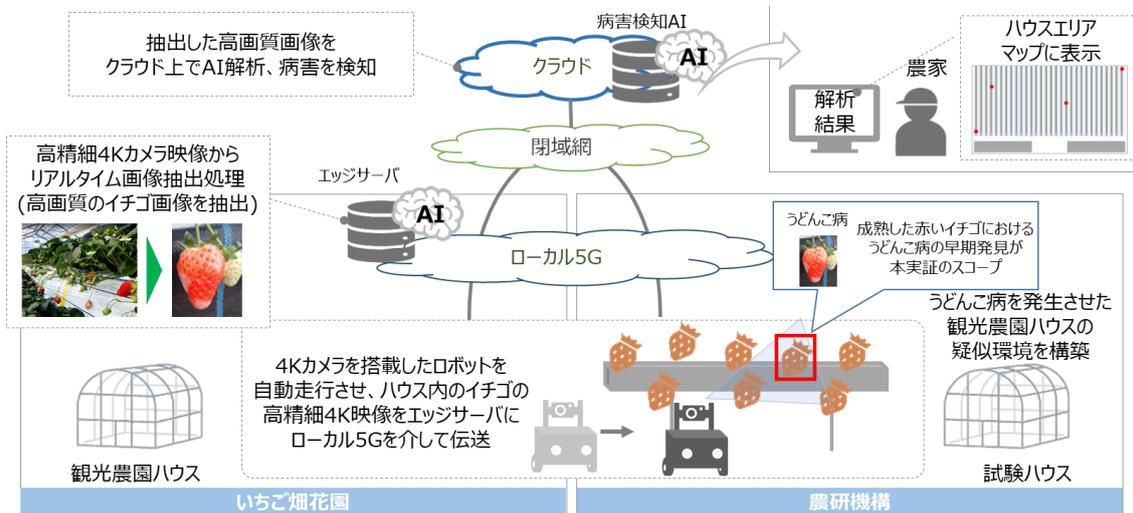


図 4-58 イチゴの病害検知システムネットワークシステム構成

<イチゴの熟度別数量把握システム>

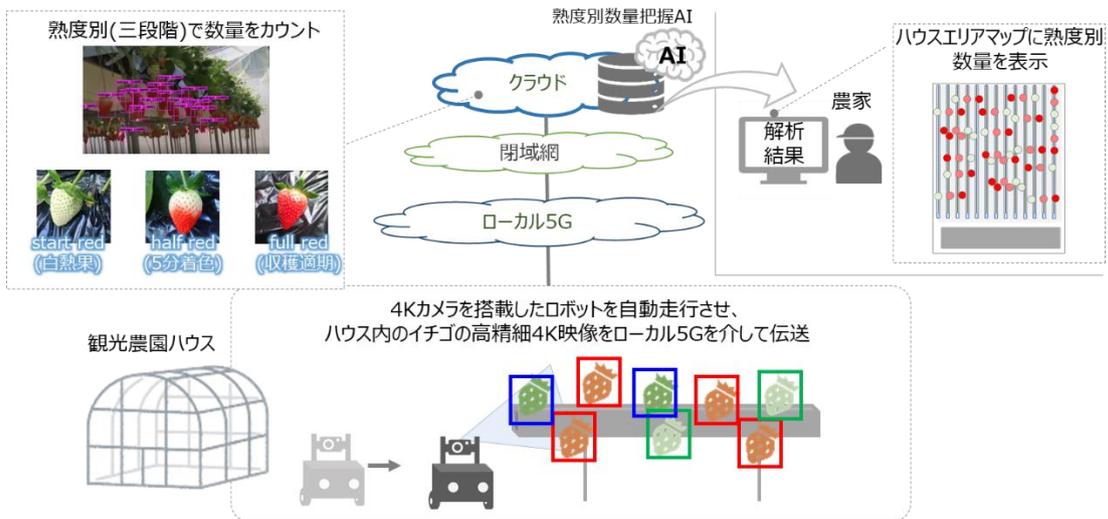


図 4-59 イチゴの熟度別数量把握システムネットワークシステム構成

<密検知・顧客誘導システム>

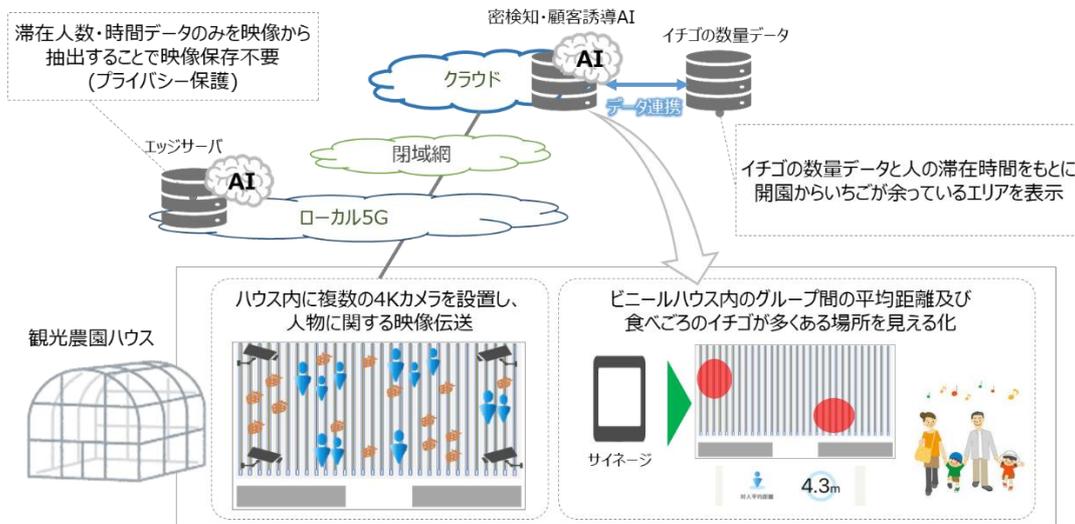


図 4-60 密検知・顧客誘導システムネットワークシステム構成

(4) 実証終了後の運営体制・導入効果

本実証終了後の運営体制やシステムの導入効果について、本実証地域のステークホルダーへのヒアリング等を踏まえ、検討いたしました。

1) 体制・事業スキームのモデル(免許人・ネットワーク・システム構築・運用等の役割分担の在り方含む)

本実証における事業展開モデルとしては、本実証地域のステークホルダーと検討した結果、本実証にて構築したシステムをパッケージ化し、深谷市や埼玉県のイチゴ農家を中心に展開をしていく方針となりました。

ローカル 5G についても、本実証システムを利用する農家が自営設備として利用することになります。一方で、個別の農家がローカル 5G の設備を自営で保有することはコストや運用等の観点から困難であり、導入できるのは一部の大規模農家に限定されると考えられます。そのため、個別の農家がローカル 5G を利用するためには、該当地域の複数農業従事者にて農業法人を組む等の工夫が必要となります。農業従事者が自営設備として運用するには、商用局免許を取得する必要があるため、商用局免許取得に必要な各種申請書類の作成や干渉調整を行うには、無線通信に対する汎用知識や構築するローカル 5G システムに関する技術的知識が必要となります。そのため、独自に免許を取得することは難しいと考えられ、今後は通信事業者等によるサービス提供型のローカル 5G も提供される見通しのため、サービス提供型のローカル 5G の活用した体制や事業スキームのモデルについても引き続き検討してまいります。

本モデルの横展開の体制は、コンソーシアムメンバーにて以下の通り、役割分担を行って進めていきます。なお、以下の横展開モデルの体制については深谷市及び埼玉県内へ普及展開する場合の役割分担です。もちろん本実証システムは他のエリアのイチゴ生産者にも

有効ですが、横展開するためには本実証コンソーシアムのように該当エリアの金融機関やJA、自治体の協力が得られたほうがスムーズであると考えます。埼玉県以外のエリアへの展開については事業推進者である東日本電信電話株式会社や株式会社NTT アグリテクノロジーの営業活動や情報発信によりステークホルダーを拡大することで行います。

表 4-36 普及モデル横展開の体制

ステークホルダー	考え・意向
【事業推進者】 東日本電信電話(株) (株)NTT アグリテクノロジー	本実証システムをパッケージ化し、各ステークホルダーと協力して普及・横展開を促進する。 本実証地域外へ普及・展開を視野に入れ、他地域のステークホルダーへ本実証システムの紹介、提案活動を実施する。
【サービス提供事業者】 GINZAFARM(株)	本実証でローカル 5G 対応の自立走行型ロボットと AI 解析を活用したシステムを開発実証することで、今後、自立走行型ロボットの販売展開を拡大し、高精細映像と AI 解析を活用した更なるサービス提供も検討する。 ローカル 5G も含めて展開・販売を行う。
【設備構築・保守者】 東日本電信電話(株)	ローカル 5G 等ネットワーク環境の構築・提供を行う。 ローカル 5G の市場動向を鑑み、コンサルティングを実施したうえで各ユーザーに適した機器の選定を行う。 ローカル 5G に限らず各ユーザーが本実証を利用するために必要なネットワーク環境（基地局設置環境整備や VPN 網整備等）全般の構築を行い、適宜保守業務も請け負う。
【事業協力・支援者】 埼玉県大里農林振興センター・深谷市・JA 花園・武蔵野銀行・農研機構	本実証フィールドである埼玉県も深谷市も政策としてスマート農業の推進を掲げており、本実証システムがサービス化した際には普及・横展開への協力を行う。 埼玉県は、施設園芸の労働負担を軽減するため、環境管理や栽培管理の自動化、労働の効率化を推進する補助事業「施設園芸先端サポート技術導入事業」を実施中。 深谷市は「アグリテック集積戦略」を推進し、農業現場の課題解決のため、アグリテックと農業者の課題のマッチングを行っており、市内の農業者への普及が期待できる。また、同政策にて導入時の初期費用の補助事業も行っており、本実証システムの横展開として導入を検討している農業従事者への支援となり得る。 JA 花園は農業従事者に対して生産におけるノウハウや技術支援を行う等、農業従事者支援の最前線として最も距離が近く、稼働削減や費用削減等の課題を抱える農業従事者に対して、本実証システムの普及・展開を行う。 武蔵野銀行は本実証地域の金融機関として本実証システムを導入検討している農業従事者に対して融資並びに経営計画策定の支援を行う。本実証システムはユーザーの規模や営業方法（観光農園か栽培のみか）によって利用システムの取捨選択も可能であるため、本実証システムの最も効率的な利用方法についてのコンサルティングアドバイスを行う。 農研機構は本実証システムに限らずスマート農業技術の普及・促進に取り組んでおり、本実証についても技術面やマネタイズの観点から助言を行う。

2) 導入効果（ターゲットの特長を踏まえ課題解決等に資する導入効果及び有用性等）

a) 生産者の視点

自立走行型ロボットを活用した病害検知システム、熟度別数値把握システム、密検知・顧客誘導システムを導入することにより、既存生産者が、作業の効率化による時間の削減、労働負荷の軽減につなげられるかを検討しました。また、新規就農者にとっては、高度な就農スキルをシステムにて補完されることにより、新規就農を始めやすくなるかを検証しました。

表 4-37 生産者支援団体の視点

検証項目	アンケート結果
生産者がより作業の効率化による時間の削減、労働負荷の軽減につなげられるか	<p>本実証システムの導入が作業の効率化による時間の削減、労働負荷の軽減につながる手段の一つになり得ることを確認できました。</p> <p>以下深谷市と大里農林振興センターの具体的なコメントとなります。</p> <p>【深谷市】 課題解決にむけた一つ一つの取り組み・積み重ねが就農負担の軽減につながると考えており、本実証システムもその一つであると考えています。サービス提供型の開始等により導入コストを抑える形で提供できることを期待します。</p> <p>【大里農林振興センター】 本実証にて検証した各システムの中でも熟度別数値把握システムに大きな期待を持っています。農業従事者は生産作物管理に大きな時間を費やしており、その負担軽減の一つに成り得ると考えます。</p>
新規就農者が就農スキルをシステムにて補完されることにより、農作業を始めやすくなるか	<p>本実証システムの導入による就農スキルのシステム補完が、就農環境の改善ならびに就農スキルを高める働き方に変わり、新規就農の始めやすさにつながることを確認できました。</p> <p>以下深谷市と大里農林振興センターの具体的なコメントとなります。</p> <p>【深谷市】 新規就農者増加にむけての課題として、就農負担と合わせて長時間労働があり、就農スキルのシステムによる補完にて負担軽減できることは新規就農とともに継続した就農にもつながると考えます。</p> <p>【大里農林振興センター】 農業者が長年の経験で培ってきた営農スキルは</p>

	一朝一夕には身につくものではありません。そのスキルがシステムで補完されることは、新規就農を考えている人にとって安心材料となり、就農のハードルを下げることにつながると考えます。
--	---

b) 地域の普及推進者の視点

地域にて農業事業を推進する立場にある、自治体や JA 等の関連団体において、農業のスマート化の実施により、未経験者を中心とした新たな就農者を増やし、移住や定住につながる事業となりえるモデルとなれば、地域活性化への貢献につながるのか検証しました。

表 4-38 地域の普及推進者の視点

検証項目に関する質問	回答内容
農業のスマート化の実施により、未経験者を中心とした新たな就農者を増やし、移住や定住につながる事業となりえるモデルとなれば、地域活性化への貢献につながるのか	<p>深谷エリアは広大な農地を有した農業都市であり、次世代農業の創出ならびに農業人財・担い手の育成等による農業先進都市を目指しております。最先端の知識・技術を活用した農業のスマート化が、農業未経験者への呼び水となり、就農者増・移住や定住につながるモデルとして、地域活性化への貢献方法の一つとして期待されていることを確認できました。</p> <p>以下深谷市と JA 花園の具体的なコメントとなります。</p> <p>【深谷市】</p> <p>深谷市では、アグリテック集積戦略を通して農業課題の解決に役立つ技術を集め、現場とのマッチングを行っております。今回の技術対象である病害検知やいちごの熟度別数量把握等は、現場での省力化の実現だけでなく、経営的な観点での効果も期待できるアグリテックであると考えます。</p> <p>一方、資金面、あるいは人でなければできない部分をどうクリアするかが大きな課題であると考えます。</p> <p>上記課題の解決により、新規就農者だけでなく、既存のいちご生産者への展開等、拡がりに向けた導入しやすさにつながると考えます。</p> <p>また、移住・定住にはそれ以外にも大きな壁はいくつもありますし、農業で生活していくためには知識も技術もモノも出口戦略も必要です。そのため、今回の実証だけではすぐに地域活性化につながるものであるとは判断できませんが、深谷市の農業課題を解決してくれるアグリテックとして、地域の生産者の方の役に立つ技術となることを</p>

検証項目に関する質問	回答内容
	<p>期待します。そうなれば、地域の活性化にもつながると考えます。</p> <p>【JA 花園】</p> <p>JA 花園は旧大里郡花園町（2006 年に合併し深谷市）を活動エリアとし、米作中心の農業から野菜や花卉、植木や畜産といった都市近郊型農業に移行する組合員様が多く加入されております。</p> <p>本事業の取り組みにおいては、とりわけ目視に頼っていた数量把握・病害検知をスマート農業化により機械化出来たことは高齢化しつつある就農者の負担軽減になるだけでなく、多くの経験と高い技術を持たない未経験者に対しても新たな就農・品種への取り組みを想起させる大きなきっかけになり得ると考えます。</p> <p>農業経験の伝承は、多くの知識を基礎としますが、その判断には経験に頼る点も多く未経験者が農業を始めるにあたっては長期にわたる地道な努力（労力と時間）を必要とします。</p> <p>花園地域は関東平野に代表されるような広大な農地を有しており、本事業の持つ「経験に頼らない就農スタイル」が未経験者の呼び水となり、就農者増・移住や定住につながり、地域活性化につながることを期待しています。</p>

c) 民間企業の視点

本事業を実施することにより、人手不足の改善や後継者不在の回避など安定的な農業経営に寄与するのかを明確にし、導入効果及び有用性について検討しました。

表 4-39 民間企業の視点

検証項目	ヒアリング結果
<p>本事業は人手不足の改善や後継者不在の回避につながるか</p>	<p>安定的な農業経営の課題として就農環境、それに伴う離農者があります。本事業を実施することで、就農環境の改善と合わせて若者の農業に対するイメージの改善にもつながり、新規就農希望者を呼び込み、人手不足の改善策の一つとなり得ることを確認できました。</p> <p>以下武蔵野銀行の具体的なコメントとなります。</p> <p>【武蔵野銀行】</p> <p>農業・林業など1次産業がもつ課題である労働人口の減少や高齢化の原因の一つとして、業種が持つ特性（長期労働、収益の不安定性）の影響が考えられますが、高齢者が就農人口の大半を占めている現状からも、若者の農業に対する「遅れてい</p>

検証項目	ヒアリング結果
	<p>る」イメージと就農人口の減少が関係しているとも考えられます。</p> <p>本事業を通じた期待効果は、個々の生産者の収益改善や生産性の向上が大きいと言えますが、農業がもつイメージの改善にも資する取り組みであると考えます。</p> <p>これまで農業に興味をもつ障害の一つとなっていたイメージを払拭することで、農業に対する興味を高めさせるとともに、就農希望者を呼び込むきっかけにつながると考えます。</p> <p>就農希望者の増加による就農年齢の改善や人口増加が、ひいては事業の継続・活性化の面において優れた効果へとつながる可能性があると考えます。</p>
<p>本事業は安定的な農業経営に寄与するか</p>	<p>本実証システムをサービス化した際の生産者が利用できる価格帯での設定や補助金活用等により、安定的な農業経営に寄与することを確認できました。</p> <p>以下武蔵野銀行の具体的なコメントとなります。</p> <p>【武蔵野銀行】</p> <p>設備を導入することで得る生産性向上による収益拡大、または就労時間短縮による運用コストの削減による効果が、設備の導入・運用コストを何年で回収出来るのかによります。適当な規模での設備投資が大前提ではありますが、本事業で得られる収益やコスト削減効果が、イニシャルコストとランニングコストを上回れば、安定的な農業経営に寄与するものと考えます。</p> <p>今後、導入機材の購入・運用費の面においても補助金（例：デジタル田園都市構想交付金）などの新たな支援事業を活用することができれば、これまでは高い壁となっていたスマート農業化にむけた機械等の導入も行いやすくなると思われま</p>

4.4.2.2 普及展開方策の検討

本実証システムの普及展開に向けた取り組みについて記載します。

これまで記載してきたとおり、本実証システムは利用者の生産形態や生産規模によって導入システムを柔軟に変更できる内容で展開を検討しています。その場合、利用者に最適なシステムを見極める必要があるため、本実証システムを理解した者がコンサルティングを行ったうえで選定することが重要となります。また、本実証システムにはローカル 5G 機器や自立走行型ロボット等の初期投資も必要となることから、費用面の支援が必要な利用者も出てくると考えられます。

以上のことから、本実証システムの展開にあたっては本コンソーシアム参加企業と同様の役割を担うステークホルダーを増やし、ステークホルダーを介してイチゴ生産者にアプローチしていくことが効果的だと考えます。以下の「図 4-61」に普及展開方法を図示しました。事業推進者である東日本電信電話株式会社と株式会社 NTT アグリテクノロジーは主に各地域の自治体、金融機関や JA 等のステークホルダーに本実証システムの意義を説明し、システム普及展開への協力を要請します。それだけではなく、各社の営業活動の一環として直接イチゴ生産者へのシステムの紹介も行います。また、サービス提供事業者の GINZAFARM 株式会社も、東日本電信電話株式会社と株式会社 NTT アグリテクノロジーと協力して普及展開を行います。既にイチゴ生産者からシステムに関する問い合わせを受けており、主に生産者に向けた普及展開に取り組めます。

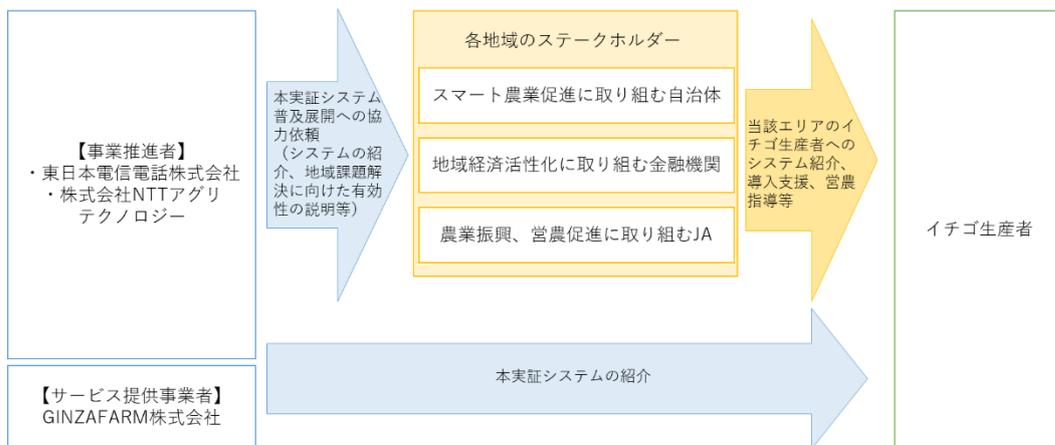


図 4-61 普及展開方法

以上のような本コンソーシアムの拡大モデルによる普及展開だけではなく、5G ソリューション提供センター構想のようなローカル 5G 普及に向けた政策も活用することでより利用者の増加も見込めると考えます。

(1) 活用ソリューションの拡張と共同利用化（5G ソリューション提供センター構想）

5G ソリューション提供センターの具体的な提供サービス、提供形態は今後具体化される予定ですが、本実証においては 5G ソリューション提供センターに対してアプリケーション・ソリューションの提供が可能です。「4.4.2.1 (2) 横展開に資する普及モデルに関

する検討」にて記載したとおり、本実証システムはターゲットによりパッケージを変えて展開することを検討しており、その際の通信設備として 5G ソリューション提供センターの機器も選択肢の一つとなり得ると考えます。5G ソリューション提供センターにアプリケーション・ソリューションを提供することにより、より多くのユーザーの目に留まる機会が増え、普及が進むことを期待します。また、本実証システムはパッケージ化して展開していく計画ではあるものの、自動走行アルゴリズムや品種ごとの生育状況によるチューニング等現地での調整作業も発生します。5G ソリューション提供センターにアプリケーション・ソリューションの提供を行うことでこれらの調整作業を行う技術者の派遣・支援が可能となればよりスムーズに普及が進むと考えます。

ただし、本実証システムはまだ開発段階にあり、サービス提供形態等は未確定であるため、5G ソリューション提供センターの提供サービスや価格設定も鑑み、ユーザー企業への勧奨を行うこととします。

また、ローカル 5G 環境の整備に当たっては現地での基地局設置角度や基地局パラメータの調整が必要不可欠です。ローカル 5G は普及しつつあるシステムではあるものの、各利用ユーザー環境にてコンサルティングのうえ、現地調整を行うには技術者が十分にそろっているわけではありません。アプリケーション・ソリューションと同様にローカル 5G 部分についても 5G ソリューション提供センターにて技術者の派遣・支援がサービス化されると、より一層ローカル 5G 導入のハードルが下がると考えます。

(2) ビジネスモデルの工夫・検討によるコスト削減

ローカル 5G を活用したビジネスモデルの工夫・検討により、コスト低減を検討しました。

1) 地域での複数サービス・ソリューションの利活用

地域にてローカル 5G を運用する場合は公平性を鑑み、農業分野のみならず、福祉分野や観光分野といった住民サービスや地域振興につながるソリューションと組み合わせた利用方法を検討する必要があります。ローカル 5G の大容量通信や低遅延といった特性を活かし、高齢者の見守りサービスや観光客の人流分析等のサービスを利用することが可能と考えます。また、これまでの「地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」において、工場での利用や鉄道等インフラ点検にもローカル 5G を活用できることがわかっており、各地域の課題解決としてローカル 5G は多様な活用が可能です。

ただし、ローカル 5G を地域インフラとして活用する場合、制度上は自己土地利用の原則があるため、本実証のような各ハウスやほ場へのエリア化には制限が発生します。そのため、本実証システムの展開という観点では地方自治体がローカル 5G 機器の所有かつ運用者となるモデルの形成は難しいと考えます。地域モデルとして形成する場合は、該当地域の複数農業従事者にて農業法人を組み、その農業法人名義で免許を取得する等により本実証システムの利用が可能となります。運用コスト最適化の規模とローカル 5G の性能を損なわずに利用できる規模との検証といった本実証範囲外の内容も検証が必要となるため、シェア型モデルについては今後も議論が必要だと考えます。

一方、アプリケーション側では自立走行型ロボットを共同利用や、AI 学習データを共有することは可能であると考えます。自立走行型ロボットが行う見回り業務は必ずしもすべてのハウスで同一の時間で運用する必要はなく、利用者ごとに時間をずらして利用することが可能です。また、AI 学習データについては、特に埼玉県ではオリジナル品種の「あまりん」や「かおりん」を栽培している生産者も多いため、熟度別数量把握システムのアルゴリズムもチューニング不要で展開することができます。

以上のことから現状のローカル 5G 制度を鑑み、本実証システムを地域モデルとして立てつける場合はアプリケーションのシェア型利用から開始し、今後の制度改正によりローカル 5G のシェアを検討することが望ましいと考えます。

2) 共同利用推進者となる団体との協力による普及展開

地域 JA のような、地域の生産者が生産する作物の販売等を推進することで利益を得ることができる団体が共同利用を推進する主体者となることによる、各ステークホルダーのコスト按分効果や、普及展開モデルを検討しました。

花園エリアを管轄している JA 花園が、生産者に対して本実証システムの利用を推進することに関し、ヒアリングを行いました。JA 花園の管轄にはイチゴ生産者の他にも多種多様な生産者が存在しており、仮にこれらの生産者がローカル 5G を利用することになれば、コストの按分効果は見込める一方、現時点では複数の農作物に対するスマート農業の仕組みが少ないことや、本実証と同構成でローカル 5G 環境を整備した場合、費用の面でも大規模となってしまうことから、生産者におけるローカル 5G の利用は限定的になるのではという意見となりました。

一方、JA 花園は、生産者支援の最前線として、生産におけるノウハウや技術支援なども行っており、農業従事者の就農負担や時間削減にむけたスマート農業化の取り組みの一つとして本実証システムがサービス化した際には地域の生産者への周知・導入サポートを行うなど支援者となり得ます。

推進に向けた、コスト削減として、利用者間でのシェア型モデルも継続検討していきますが、ローカル 5G 機器については令和 4 年度以降も各メーカーにより新機能の実装や、機器の低廉化、サービス提供型の開始等、市場が大きく変化していくと考えられます。

そのため、本実証にて得られたローカル 5G の性能や構成を基本としつつ、各ユーザーの条件に応じた構成をその都度検討し、最適な構成にて導入支援をしていきたいと考えます。

4.4.3 ローカル 5G の実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

4.4.3.1 技術的課題

本実証システムを実装するに向けた技術的課題について「本実証で判明した技術的課題」と「生産者からの改善要望」2つに分けて検討しました。

「本実証で判明した技術的課題」については、令和4年度の農林水産省実証を通じて解決することで実装につなげていきます。

また、「生産者からの改善要望」については、令和4年度の農林水産省実証の取り組み内容には含まれないものの、今後のシステム開発に向けた貴重な示唆として、農研機構様やGINZAFARM様とも共有し、実現可否などの検討を進めます。

(1) 本実証で判明した技術的課題

本実証で構築した課題解決システムを今後実装させるためには、「4.4.1.2 機能検証」で述べた、各ソリューションの技術的課題を解決する必要があります。令和4年度の農林水産省実証ではこれらの課題を解決し、さらなる精度向上を図ります。

表 4-40 本実証で判明した技術的課題

システム名	課題内容	対応方針
病害検知システム	伝送後の映像をパノラマ画像化する際に、重複箇所が発生する	自立走行型ロボットが安定して走行できるように、機体の揺れを抑えるための追加機器導入等のハードウェア改修
		トリミング時の切り取り範囲を調整する等のソフトウェア改修
	病害検知システムの精度向上	農研機構で発生した実際のイチゴを用いて、より実態に合った学習を行う
熟度別数量把握システム	Half red、Start redの精度向上	本実証環境でのイチゴの色づき過程に応じた教師データの作成を行い、学習させる
密検知・顧客誘導システム	位置を検知出来なかった・誤判定した・滞在時間に誤差が生じた	適切に検知できる距離や画質になるように台数増設や画角・画質の調整を行い、カメラの配置の適正化を図る
		現地環境に適した教師データを学習させる
		男女や背の高さなどの体格等が異なるあらゆるパターンの教師データを学習させる
		人物追尾アルゴリズムを改良する

(2) 生産者からの改善要望

一方で、本実証の中でいちご畑花園様から、より実態に沿った運用をするための改善点についてご意見を頂きました。これらの改善が技術的に可能かどうかは、GINZAFARM 様と検討を進めると共に、農研機構様や生産者様からも引き続きご意見も頂きながら、議論を進めていきたいと考えております。

表 4-41 いちご畑花園様からの改善要望

システム区分	いちご畑花園様からの改善要望	生産者からの期待
病害検知システム	葉やがくに発生したうどんこ病を検知してほしい	うどんこ病は葉やがくから発症するため、より早期の段階で検知できるようになれば農薬の使用量や見回り稼働の削減につなげることが可能となる
熟度別数量把握システム	イチゴの重量を把握して欲しい	来園者1人当たりが消費する個数はイチゴの大小に依存してしまうため、重量を把握することの方が予約枠の計画に適している
	イチゴの花を検知してほしい	一般的に花が咲いてから40日後にFull redになることがわかっているため、イチゴの花の数が把握できれば1か月前から予約枠の計画を立てることが可能となる

4.4.3.2 導入効果、運用に関する課題

本実証による導入効果として、業務の効率化や生産に必要なノウハウの共用等を行うことにより、新規就労者に対して営農を始めやすい環境を実現していくことが可能となります。現在の業務フローと新規システム導入フローの比較をしていくことで、業務フローを確立し、実装に向けた効果と課題を抽出する等の検証を行いました。

本実証で活用する自立走行型ロボットを稼働させる時間帯や、走行速度、職員が判断する項目についても、検証を行いました。

(1) 病害検知システム

現在、イチゴの病害検知は、職員が収穫作業の際に目視で病害いちごの発生を確認しており、収穫作業を行いながら病害の確認を行うという経験が必要な作業となっています。そのため、本実証システムを利用することで、収穫時に病害検知を職員が実施する必要がなくなることで、病害検知の経験がない職員であっても収穫作業を行うことが可能であることが分かりました。また、ハウス全体の病害検知をAIで行うことができるため、職員の能力差による病害検知の精度差の解消にもつなげることが可能となります。

一方で、病害検知結果を確認し、農薬散布をどのエリアにどの程度実施するかの判断は職員が行うこととなります。

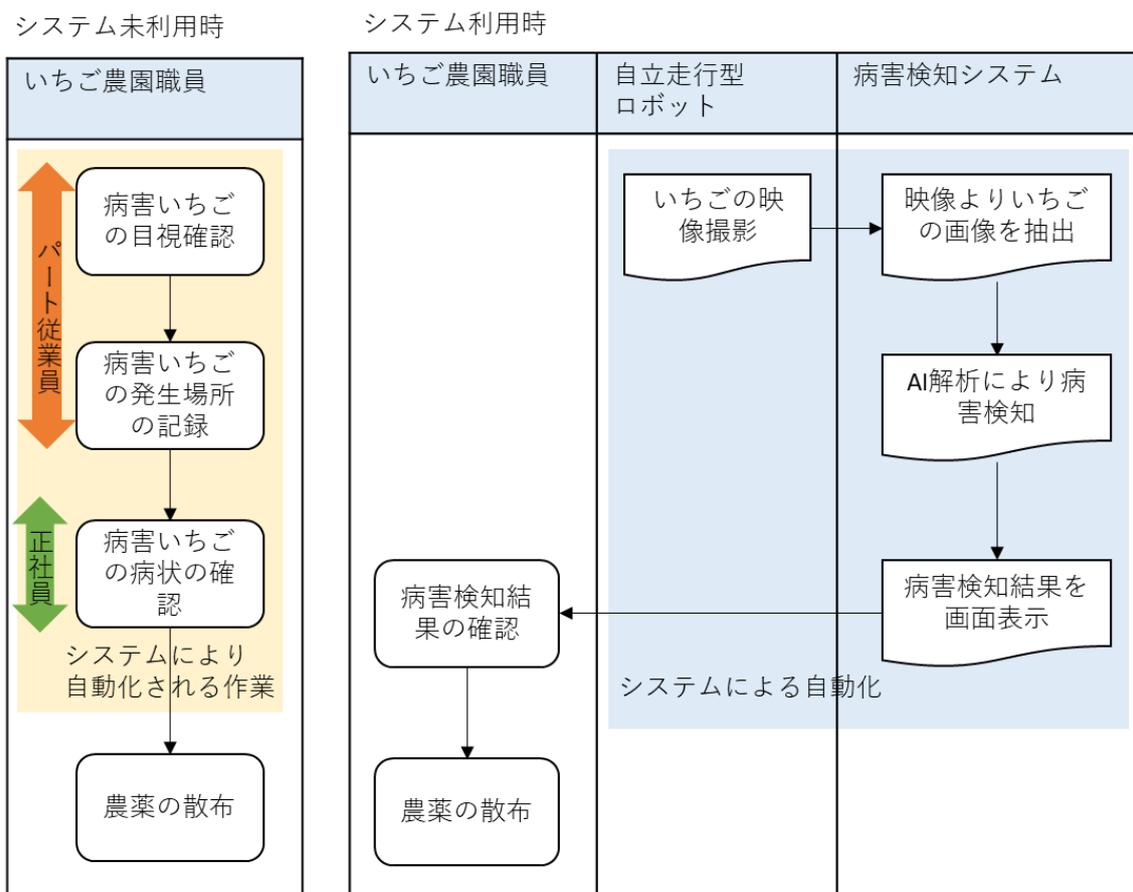


図 4-62 病害検知の業務フロー案

表 4-42 自立走行型ロボットを稼働させる時間帯や、走行速度、職員が判断する項目

検討項目	概要
自立走行型ロボットを稼働させる時間帯	開園前もしくは、閉園後等、いちご狩りのお客様がいない、職員の収穫作業が発生しない時間帯
自立走行型ロボットの走行速度	分速 3m
職員が実施する項目	病害検知結果を確認し農薬散布をするかの判断

(2) 熟度別数量把握システム

現在はイチゴの熟度の判断基準や熟度別の数量把握は行っておらず、予約枠の設定は、生産者の経験に基づき決定しています。

システムを利用することで、今まで把握できていなかった熟度別のイチゴがどこに何個あるのかの把握が可能となります。また、熟度の判断基準も、システムのAIにより自動的に判定することが可能となります。本実証システムを活用することにより、熟度の判断基準とイチゴの数が明確になるため、経験というあいまいな判断基準ではなく、データに基づき予約枠の判断をすることが可能となりました。

一方で、熟度別数量把握の結果に基づくイチゴ狩りの予約枠の判断については、職員が実施することとなります。

また、自立走行型ロボットを走行させる時間帯をイチゴ農園の職員の作業時間や観光客の入場時間と分ける必要があること、早朝や夕方など日が出ている時間帯は明るさの関係で撮影がうまくできないことより、自立走行型ロボットを走らせる時間帯をイチゴ農園の職員のスケジュールや日の出日没の時間を考慮し、設計することが今後必要となります。

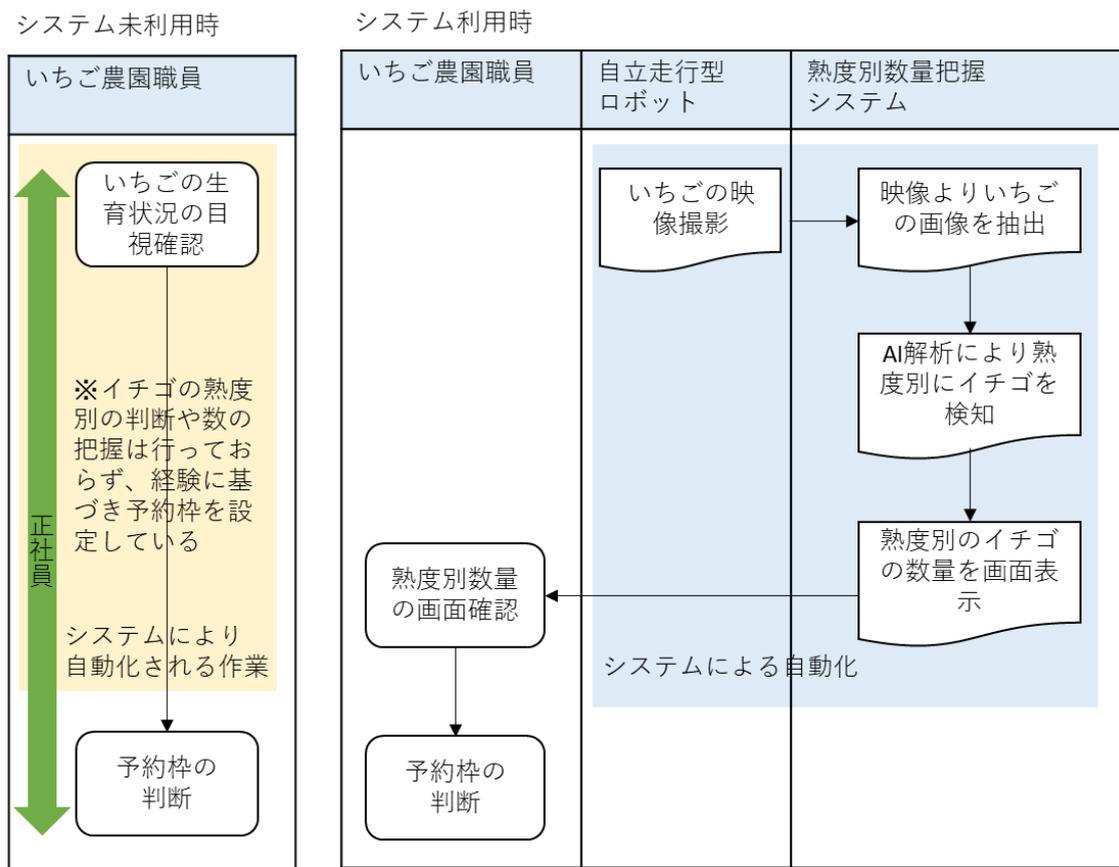


図 4-63 熟度別数量把握の業務フロー案

表 4-43 自立走行型ロボットを稼働させる時間帯や、稼働時間、職員が判断する項目

検討項目	概要
自立走行型ロボットを稼働させる時間帯	職員がいちごの収穫作業を終了した後に残ったイチゴの熟度別は把握し、翌週の予約枠のデータとして用いる
自立走行型ロボットの走行速度	分速 3m
職員が実施する項目	熟度別数量把握の結果による予約枠の判断

(3) 密検知・顧客誘導システム

現在、新型コロナウイルスの蔓延により三密回避を求められており、イチゴ農園においてもイチゴ狩りの際に感染予防に十分配慮した運営が必要となっています。現在は、イチゴ狩りの際は、摘み取ったイチゴをパックに詰めて、別の場所にあるテーブルでイチゴを食べる運用になっていますが、今後新型コロナウイルスが落ち着いてきて、イチゴ狩りしながらイチゴを食べる場合は、十分に観光客間の距離を保って楽しんでもらう必要があります。

本システムを利用することで、観光客はサイネージに表示されたグループの位置を確認することで、ほかのグループがイチゴ狩りをしていない場所を見つけることが可能となりました。また、密を避けるという目的以外にも、他のグループがいない場所でイチゴ狩りすることで、食べられていないイチゴが多く残っている場所を効率よく探すことが可能となっています。

今後の検討課題としては、「4.4.3.1 技術的課題」で挙げたように通常スタイル（ハウス内でイチゴを摘んでその場で食べる）かつ、受け入れ人数の上限を通常に戻した形で、密検知・顧客誘導を行った場合、どのような効果が出るかを改めて検証することが必要となります。

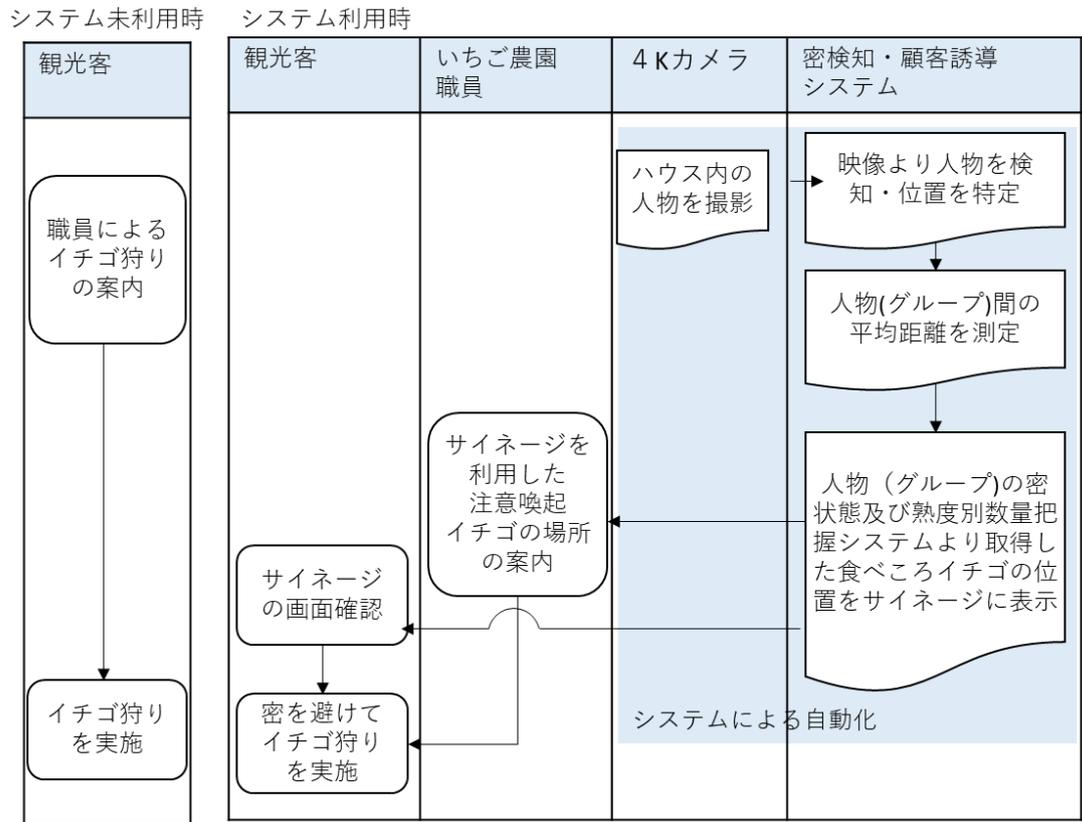


図 4-64 密検知・顧客誘導の業務フロー案

表 4-44 職員が実施する項目

検討項目	概要
職員が実施する項目	サイネージへの表示結果に基づく、観光客への密回避の注意喚起や食べごろイチゴがある場所の案内

4.4.3.3 ローカル 5G に関する制度的課題

本実証を展開するにあたり、免許人の在り方についての検討を行いました。特に、中小規模の生産者がローカル 5G システムを利用する際に、技術的知識を持たずとも簡易に申請を行うために必要な制度的課題や農業分野における実運用を考えた柔軟な免許制度の在り方について検討しました。

本実証においては、実験的利用のため代表企業である東日本電信電話株式会社の名義で実験局免許を取得しましたが、実際の運用では土地の所有者である農業従事者が、自己の名義で商用局免許を取得する必要があります。農業従事者が商用局免許取得に必要な各種申請書類の作成や干渉調整を行うには、無線通信に対する汎用知識や構築するローカル 5G システムに関する技術的知識が必要となるため、独自に免許を取得することは難しいものと考えます。よって免許取得における制度的課題としては免許申請書類の簡易化、干渉調整の簡易化、無線従事者資格の取得に関する補助制度、ローカル 5G 専用資格の新設等新たな制度整備が挙げられます。

また、ローカル 5G 環境の運用にあたって農業分野では、広大な土地を区画分けしブロックごとに順次農耕機器を利用することや、本実証のようにハウス内で農作物の育成状況をロボットに搭載したカメラでデータ収集を行うユースケースが想定され、都度利用したい農耕地、ビニールハウスにあわせて基地局位置を変更する必要があると考えます。現行の免許制度では基地局移動にあたって都度免許の変更申請を行う必要があります。時間と手間を要する問題があります。解決策として、自己土地全域を常にカバーエリアとする手法が挙げられますが中小規模の生産者にはコストが見合わず実現が難しいものと考えます。そこで、制度的課題としては自己土地内で基地局の可搬利用を認める制度、もしくは簡易な事後申請を認める制度整備が必要となると考えます。

また、今後ローカル 5G が農業分野における利用が普及した際にドローンによる農業散布等、上空利用ニーズも生まれてくるものと想定されます。現状、ローカル 5G は陸上移動局システムとして定義されておりドローンのような上空での利用が出来ません。よって利用用途拡大のための制度的課題としてドローン利用の制度化が挙げられます。

以下に免許に関わるフェーズごとの課題とその解決策について表に記しました。運用時の課題である可搬利用の制度化や、用途拡大に向けた課題に示したドローン利用の制度化実現にあたっては、免許取得時の課題に示した干渉調整を簡易化すべく専門機関が対応する制度化が整備されたうえで実現されるものと考えます。

表 4-45 制度的課題と想定される解決策

検討項目	課題	解決策
免許取得時の課題	免許申請書類の簡易化	技適取得機器を利用する場合はメーカーからの機器仕様書をもって工事設計書及び無線局事項書の代替とみなす
	干渉調整の簡易化	他無線システムと同様に、干渉調整を専門機関で対応するよう制度化
	無線従事者資格の取得に関する補助	無線システムの基本知識を習得できる研修の実施、資格取得費の補助
	ローカル 5G 専用資格の新設	陸上特殊無線技士のような無線知識全般への広い知識ではなくローカル 5G に限って重要な知識に絞った専用資格、もしくは講習会等の受講による運用権限を設ける
運用時の課題	基地局の自己土地内可搬利用の申請簡易化	自己土地内での移動、尚且つ他者土地への混信を与えない限りにおいて事後届け出を認めるなど申請を簡易化
用途拡大に向けた課題	ドローン利用の制度化	ローカル 5G 端末の上空利用に関わる制度整備

4.4.3.4 普及方策に係る課題及び解決策

本モデルの普及・展開に向けた課題について検討しました。ローカル 5G については、ユーザ側の費用面・運用面等の負担が大きいため、特に中小企業や小規模自治体等への利用が進みづらいと想定されます。今後、ローカル 5G の普及を更に加速化させていくためには、複数のユーザ（拠点）でローカル 5G ネットワーク及びソリューションをシェアリング（共用）していくことで、ユーザの費用面・運用面の負担を低減していくことが必要であると考えます。また、今後はローカル 5G 機器については、各メーカーにより新機能の実装や、機器の低廉化、サービス提供型の開始等が見込まれるため、各ユーザーの条件に応じた構成をその都度検討し、最適な構成となるよう検討を行うことが重要となります。

表 4-46 普及方策に係る課題及び解決策

検討項目	課題	解決への方向性
導入する機器コストの低廉化	オーバースペックとならないよう利用者ニーズや事業規模に見合った性能の機器を選定・標準化を図る必要がある	ベンダーより機器選定をする際に、機器選定におけるチェック項目（「4.4.2.2 (1) 1」導入する機器コストの削減」に記載の項目を想定）を設けることで、オーバースペックとならない機器選定を行う ローカル 5G 機器については今後も各メーカーにより新機能の実装や、機器の低廉化、サービス提供型の開始等が見込まれるため、各ユーザーの条件に応じた構成をその都度検討し、最適な構成となるよう検討する
ローカル 5G 設備の他ユーザとの共用化	イチゴ農家単体でのローカル 5G 設備の保有は費用面運用面から困難であり、複数ユーザとの共用が必要となる	ローカル 5G 設備の共用化は費用面運用面よりメリットがあると考えられるため、複数農業従事者にて農業法人を組み合わせ、その農業法人名義で免許を取得する等の工夫を検討する 今後は、サービス提供型のローカル 5G の開始が見込まれるため、サービス提供型のローカル 5G を本実証システムへ活用することも検討する
実証システムの機能改善	本実証で明らかとなった課題へ対応するため各システムの機能の改善が必要となる	病害検知システム：葉に発症する早期の段階で病害検知が実現可能かについて検討する 熟度別数量把握システム：イチゴの種類や生育環境に応じた熟度別の AI 学習による精度向上について検討を行う 密検知・顧客誘導システム：通常のイチゴ狩りの運用下で検証する 自立走行型ロボット：農園の運営スケ

検討項目	課題	解決への方向性
		ジュール等を踏まえた走行計画の検討する
システムの運用体制の構築	故障時の連絡体制（いちご畑花園からの故障時の連絡）の整理が必要となる	故障時の連絡体制について、令和4年度の農林水産省の実証事業においては、実証期間中は引き続きコンソーシアムのメンバーが現地にて対応する 令和5年度以降については、令和4年度の農林水産省実証事業の状況も含めて検討する
事業運営に向けたマネタイズ	本実証システムをイチゴ生産者が利用できる価格帯となるようサービス化する必要がある	イチゴ農家の規模や経営形態により各システムをパッケージ化して提供ができるよう検討する コンソーシアムメンバーと調整の上、サービスの価格設定を本実証にて算定した価格（「4.4.4.2 実証終了後の継続利用の費用」にて検証）に近付けられるよう検討する

4.4.4 継続利用の見通し・実装計画

令和3年度の実証終了後の継続利用について、利用方法や費用の面より以下のとおり検討しました。今年度の検証としては、コンソーシアムの一員である武蔵野銀行により、本実証導入後の農業経営の在り方や評価を実施することで実装可能なモデルの構築・実装計画の策定を行いました。また、深谷市や地域JAなどの地域のステークホルダーへ今年度の実証結果をもとに実装に向けたヒアリングを行い、課題の抽出を行いました。これらの評価、ヒアリングをもとに、農林水産省実証終了後の令和5年度以降も継続して利用できるよう事業モデル構築・実装計画の策定及び課題の洗い出しを行いました。

4.4.4.1 実証終了後の継続利用の手段

本実証で構築した病害検知システム、熟度別数量把握システム、密検知・顧客誘導システムについては本実証終了後（令和4年度以降）も継続利用し、サービス提供の実現に向けて、農林水産省「スマート農業加速化実証プロジェクト」事業において、「4.4.3.1

(1) 本実証で判明した技術的課題」に記載した課題の解決に取り組んでまいります。

本実証で使用した機器については、令和4年度は農林水産省「スマート農業加速化実証プロジェクト」事業の2年目において、引き続きローカル5G通信基盤を活用したスマート農業加速化実証を実施することを予定しており、システムについては東日本電信電話株式会社が資産を保有し、引き続きいちご畑花園及び農研機構における実証事業を実施します。

農林水産省「スマート農業加速化実証プロジェクト」においては事業終了後の所有権は農研機構に帰属することとなり、継続利用するためには実証の目的で農研機構にデータ提供を行うことが条件となります。本実証システムについては、今年度の実証においてこれまで記載してきたとおり改良が必要な課題が見つかり、今後も検証が必要です。そのため、本実証フィールドにて構築した機器を引き続き検証用として利用できるかどうかは令和4年度の検証結果をもって判断することとします。

また、いちご畑花園には利用者の目線で本実証システムが実用に足るかどうかを判断してもらうことを優先し、検証終了後のサービス化の段階で導入の検討を行ってもらう予定です。

本実証システムの実装に当たっては検証期間中の教師データの効率的な活用と、コスト削減の観点から、いちご畑花園以外の生産者と共同利用の形態をとることが望ましいと考えます。そのため、まずは「あまりん」生産者間での共同利用として深谷市や埼玉県をターゲットエリアとして展開していくことを検討しています。また、その後の横展開として、本実証フィールドと同様の課題解決を進める施設栽培農園や、新たに最先端技術を活用し、より生産性・収益向上を目指す生産者に対して積極的に本実証モデルを提案します。東日本電信電話株式会社及び株式会社NTTアグリテクノロジーはこれまでもスマート農業の取り組みを行っており、農業を軸に地域活性化を目指し、本実証についても新たなスマート農業のモデルとして発信していきたいと考えています。

また、本実証終了後、構築したシステムを継続利用するために、事業継続を支える体制を整備し、本モデルを広く展開していくために、関連機関と協議しました。

令和4年度の農林水産省「スマート農業加速化実証プロジェクト」の実施体制は以下「図4-65」に示し、それ以降の普及展開モデルに係る各ステークホルダーの役割分担を表4-47に示します。

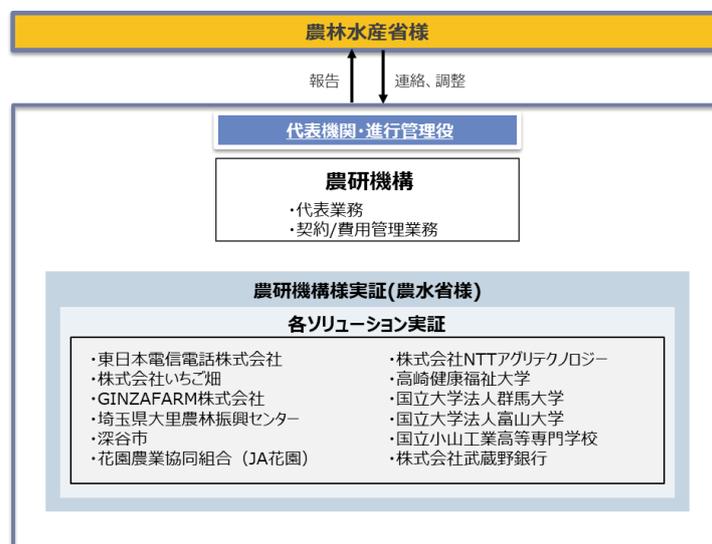


図 4-65 令和4年度農林水産省事業の実施体制

表 4-47 関係者間の役割分担

ステークホルダー	役割
【事業推進者】 東日本電信電話(株) (株)NTTアグリテクノロジー	本実証システムをパッケージ化し、各ステークホルダーと協力して普及・横展開を促進する。 本実証地域外へ普及・展開を視野に入れ、他地域のステークホルダーへ本実証システムの紹介・提案活動を実施する。
【サービス提供事業者】 GINZAFARM(株)	本実証でローカル5G対応の自立走行型ロボットとAI解析を活用したシステムを開発実証することで、今後、自立走行型ロボットの販売展開を拡大し、高精細映像とAI解析を活用した更なるサービス提供も検討する。 ローカル5Gも含めて展開・販売を行う
【設備構築・保守者】 東日本電信電話(株)	ローカル5G等ネットワーク環境の構築・提供を行う。 ローカル5Gの市場動向を鑑み、コンサルティングを実施したうえで各ユーザーに適した機器の選定を行う。 ローカル5Gに限らず各ユーザーが本実証を利用するために必要なネットワーク環境(基地局設置環境整備やVPN網整備等)全般の構築を行い、適宜保守業務も請け負う。
【事業協力・支援者】 埼玉県大里農林振興センター・深谷市・JA花園・武蔵野銀行・農研機構	本実証フィールドである埼玉県も深谷市も政策としてスマート農業の推進を掲げており、本実証システムがサービス化した際には普及・横展開への協力を行う。 埼玉県は、施設園芸の労働負担を軽減するため、環境管理や栽培管理の自動化、労働の効率化を推進する補助事業「施設園芸先端サポート技術導入事業」を実施中。

ステークホルダー	役割
	<p>深谷市は「アグリテック集積戦略」を推進し、農業現場の課題解決のため、アグリテックと農業者の課題のマッチングを行っており、市内の農業者への普及が期待できる。また、同政策にて導入時の初期費用の補助事業も行っており、本実証システムの横展開として導入を検討している農業従事者への支援となり得る。</p> <p>JA 花園は農業従事者に対して生産におけるノウハウや技術支援を行う等、農業従事者支援の最前線として最も距離が近く、稼働削減や費用削減等の課題を抱える農業従事者に対して、本実証システムの普及・展開を行う。</p> <p>武蔵野銀行は本実証地域の金融機関として本実証システムを導入検討している農業従事者に対して融資並びに経営計画策定の支援を行う。本実証システムはユーザーの規模や営業方法（観光農園か栽培のみか）によって利用システムの取捨選択も可能であるため、本実証システムの最も効率的な利用方法についてのコンサルティングアドバイスを行う。</p> <p>農研機構は本実証システムに限らずスマート農業技術の普及・促進に取り組んでおり、本実証についても技術面やマネタイズの観点から助言を行う。</p>

4.4.4.2 実証終了後の継続利用の費用

これまで記載してきたとおり、本実証システムについては商用化時に価格設定がされるものの、本実証にて構築したローカル機器についてはライセンス費用や保守費用が発生します。ローカル 5G に関する費用としてはライセンス費用も含めると年間 2,300 万円程度の見込みです。

「4.4.2.1 (1) 3) 経済性」に記載したとおり、本実証システムによる経済効果としては月額 45 万円程度であり、運用保守費を賄うことができません。本実証のネットワーク構成で運用を続ける場合はコア装置を共用し、利用者間でライセンス費用等を按分する必要があります。

以下はローカル 5G 運用費用について算出した結果です。

本実証協力者のいちご畑花園 1 社にて継続利用する場合は費用対効果が出ず、運用保守費用が大きなマイナスとなります。

表 4-48 継続利用の試算①

①本実証システムをいちご畑花園1社にて利用し続けた場合

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
初期費用	4,500万円						
ランニング費用	実証期間のため除外		2,300万円	2,300万円	2,300万円	2,300万円	2,300万円
システムにより得られる収益*			225万円	225万円	225万円	225万円	225万円
費用対効果			-2,075万円	-2,075万円	-2,075万円	-2,075万円	-2,075万円

※45万円/月×5ヵ月として算出（イチゴ狩り開催期間が1月～5月のため）

コア装置を共用すれば、11名以上の共同利用でシステムによる収益が運用保守費を上回ることができる試算となっており、短期的にはこの共同利用者を募ることで費用対効果を上げることが重要となります。また、これらの新規利用者についても、基地局の設置に係る初期費用が発生しますが、これらの初期投資費用については地方自治体の補助制度の活用も期待できます。例えば、埼玉県は、施設園芸の労働負担を軽減するため、環境管理や栽培管理の自動化、労働の効率化を推進する補助事業「施設園芸先端サポート技術導入事業」を実施していたり、深谷市は「アグリテック集積戦略」として、導入時の初期費用の補助事業も行っていたりするため、こういった補助金の活用が有効な手段となると考えます。

他地域の農業政策としても、農林水産省が公表している「逆引き辞典」

(<https://www.gyakubiki.maff.go.jp/appmaff/input/?domain=M&tab=tab2&riyo=MA%2CMB&moku=M21%2CM22>) で補助金情報を調べると、機械・施設の導入に対する補助金制度は全国各地の自治体にて行われていることがわかります。本事業推進者を中心にこれらの補助制度を推進している自治体と連携し、本実証システムの横展開を進めていきたいと考えています。

表 4-49 継続利用の試算②

②本実証システムのコア装置を11名で共用した場合

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目
初期費用	4,500万円		新規利用者の 基地局構築費用 が発生				
ランニング費用*1	実証期間のため 除外		2,300万円	2,300万円	2,300万円	2,300万円	2,300万円
システムにより得られ る収益*2			2,475万円	2,475万円	2,475万円	2,475万円	2,475万円
費用対効果			175万円	175万円	175万円	175万円	175万円

※1. 新規利用者の基地局に関する保守費が追加となるが、軽微なものであるため除外する

※2. 新規利用者もいちご畑花園と同規模とし、1利用者あたり225万円の収益を得るものと仮定する

また、この試算にあたってはコア装置の構築に関する費用を本実証費用から拠出しているため、初期投資の回収については検討を除外しているものの、同モデルを一から構築する場合は初期投資の回収までの年数も検討する必要があります。中期的にはローカル 5G 機器の耐用年数である約 10 年間で投資回収が可能なユーザー規模の算出及び本システムにより得られる収益の拡大が必要です。また、コア装置の構築、運用には費用及びスキルが必要となることから、初期投資の回収目途がつかない場合や、運用可能な技術者を確保できない場合にはサービス提供型ローカル 5G を活用する等も検討します。

4.4.4.3 展開方策・実装計画

(1) 展開方策

本実証モデルをイチゴ農園に展開していくためには、システムのパッケージ化を行い、価格設定を行ったうえでサービス化を実現することが必要となります。各システムは、開発段階であり、本実証の結果を踏まえた機能改善やAI精度の向上等の実施やシステムの操作や自立走行型ロボットの走行スケジュールなど運用面での課題を解決したうえで、サービス化を行う必要があります。サービス提供開始には時間がかかる見込みとなっています。一方で熟度別数量把握システムについては Full red 以外の早期のイチゴカウントには課題が残っているものの、数量カウントのアルゴリズムはある程度の精度を確認しており、他のシステムと比較すると早期にサービス提供が開始できる見込みです。すでに GINZA FARM 株式会社の取り組みを知ったユーザーから熟度別数量把握システムを利用してみたいという問い合わせも数件あり、本実証システムへの期待が高いことが感じられます。病害検知システムは熟練農業従事者の勘のデータ化という側面が大きいですが、熟度別数量把握システムについては、これまで一つ一つイチゴの数を数えて把握・管理するということは行われていなかった「農作業の見える化」の工程であるため、注目度が高いと考えます。

いずれのシステムも現在は大規模な生育環境を持つ農業法人からの引き合いであり、人力では隔々までハウスの状況を管理できないという課題の解決策として要望を受けています。ローカル 5G 機器の低廉化も十分ではない普及初期段階はこのような大規模農業法人をターゲットとした展開となることが予想されますが、それだけにとどまらず、サービスの低価格化により、大規模農業法人以外のイチゴ生産者にも利用可能となるよう検討を進めます。

(2) 実装計画

展開・実装のスケジュールとしては、令和4年度は、引き続き農林水産省の実証事業において各システムの実証を行い、「表 4-50」に示した技術的課題を解決し、さらなる精度向上を図ります。

表 4-50 本実証で判明した技術的課題

システム名	課題内容	対応方針
病害検知システム	伝送後の映像をパノラマ画像化する際に、重複箇所が発生する	自立走行型ロボットが安定して走行できるように、機体の揺れを抑えるための追加機器導入等のハードウェア改修
	病害検知システムの精度向上	トリミング時の切り取り範囲を調整する等のソフトウェア改修
熟度別数量把握	Half red、Start red の精度向上	農研機構で発生した実際のイチゴを用いて、より実態に合った学習を行う
		本実証環境でのイチゴの色づき過程に

システム名	課題内容	対応方針
握システム		応じた教師データの作成を行い、学習させる
密検知・顧客誘導システム	位置を検知出来なかった・誤判定した・滞在時間に誤差が生じた	適切に検知できる距離や画質になるように台数増設や画角・画質の調整を行い、カメラの配置の適正化を図る
		現地環境に適した教師データを学習させる
		男女や背の高さなどの体格等が異なるあらゆるパターンの教師データを学習させる
		人物追尾アルゴリズムを改良する

また、熟度別数量把握については、ユーザーからの引き合いがあることを踏まえ、農林水産省の事業と並行して先行的にサービス化に向けた検討を実施してまいります。

令和5年度以降はGINZAFARM株式会社と協力し、「4.4.3.1 (2) 生産者からの改善要望」に記載したような機能改善や他の作物への応用に向けた実証等が実施できないかを模索いたします。また、令和4年度の農林水産省実証事業の結果を踏まえ、各システムのパッケージ化や価格設定の在り方をコンソーシアムメンバー含めて検討を行い、早期のサービス化の実現を目指します。

ターゲットについては、地域という観点においては、本実証事業の実施エリアである深谷市より普及展開を始めることを計画しております。深谷市のイチゴ生産者に本実証事業の結果を積極的に発信し、生産者の声を聴くことで、パッケージ化や価格設定の在り方へと反映していきます。また、埼玉県においては、本実証と同じイチゴの品種である「あまりん」を栽培している生産者も多いことから、深谷市の次に埼玉県内のイチゴ生産者への展開を実施するのが有効と考えます。深谷市や埼玉県内のイチゴ生産者への展開にあたっては、イチゴ生産者のシステム導入費や利用費の負担軽減のために、スマート農業の利活用に関する補助金等の活用の可否について深谷市や埼玉県とも調整を行ってまいります。深谷市や埼玉県内での実績を踏まえ更なるユーザの獲得に向けて将来的にはその他地域への拡大を目指していきます。

また、ターゲットの規模という観点においては、システム導入費や利用費を支払える資金力やシステム化による稼働削減等の効果が得やすい大規模農業法人からの利用を想定しています。システムの利用者が増え十分に按分効果が得られることで、価格の低廉化を実現することにより一般的な規模の農家でも利用できるサービスへと進化させていくことを目指しております。

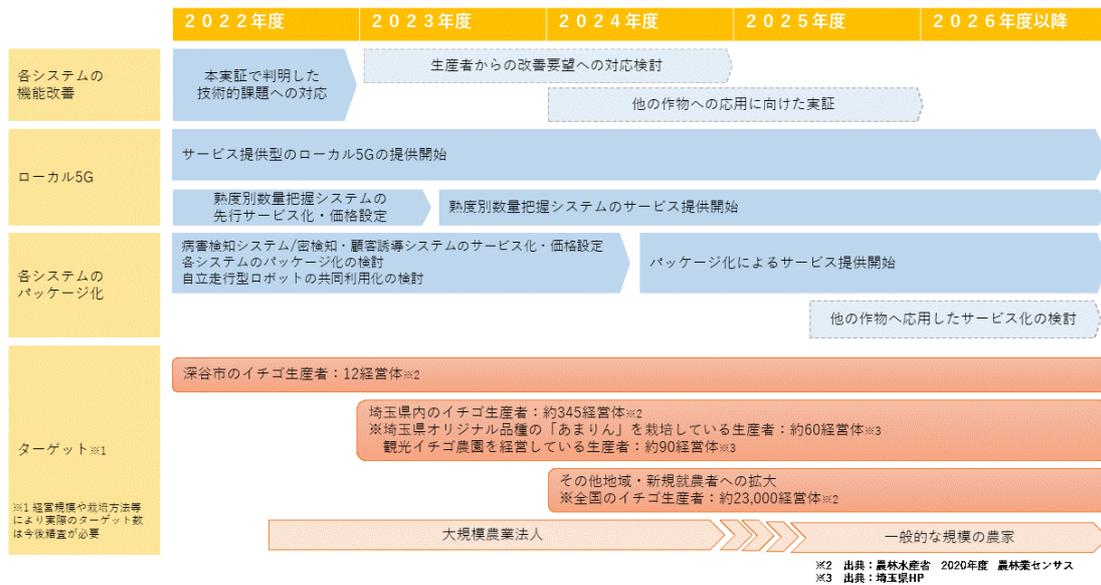


図 4-66 展開・実装に向けたスケジュール

5. 普及啓発活動の実施

ローカル 5G の普及のために以下のとおり、普及啓発活動として広報活動等を行いました。

5.1 映像制作への協力

ローカル 5G の普及を推進するため、三菱総合研究所が制作する本事業の映像制作に協力しました。

また、代表機関グループ会社（NTT ラーニングシステムズ株式会社等）と連携し、品質の高い映像コンテンツを提供しました。本コンソーシアムから提供する映像は三菱総合研究所からいただいた「課題解決型ローカル 5G 開発実証動画撮影依頼書」にのっとり以下の「表 5-1」のとおり撮影をしております。

表 5-1 撮影内容

撮影コンテンツ	具体的な撮影内容
いちご農園の風景	本実証フィールドであるいちご畑花園さまのハウス内の様子及び外観
普段の作業の様子	<ul style="list-style-type: none"> いちご畑花園さまが普段実施している手作業でのイチゴ栽培の様子 本コンソーシアムメンバーの実証作業の様子
自立走行型ロボットの様子	病害検知システム及び熟度別数量把握システムにて利用する自立走行型ロボット FARBOT の走行風景
4K カメラの様子	自立走行型ロボット FARBOT に搭載した 4K カメラ及び密検知・顧客誘導システム用 4K カメラの様子
いちごの病害検知シーン	<ul style="list-style-type: none"> 病害検知システムの機能検証の様子（病害いちご模型をハウス内に設置し、自立走行型ロボット FARBOT で撮影したいちごの高精細動画をもとに AI にて病害いちごを識別する） 病害イチゴを識別した結果が表示される UI 画面のキャプチャ
いちごの熟度別数量把握シーン	<ul style="list-style-type: none"> 熟度別数量把握システムの機能検証の様子（自立走行型ロボット FARBOT で撮影したいちごの高精細動画をもとに AI にてイチゴの生育状況を 3 段階に分けて識別し、熟度別ごとにカウントを行う） 熟度別にカウントした結果が表示される UI 画面のキャプチャ
密検知、顧客誘導シーン	<ul style="list-style-type: none"> 密検知システムの機能検証の様子（ハウス内の人の位置を 4K カメラで正確に把握し、位置関係によって対人距離を算出する） 顧客誘導システムの機能検証の様子（熟度別数量把握のデータを基に、ハウス内のどこに熟した食べごろイチゴがあるかマップ表示する）

撮影コンテンツ	具体的な撮影内容
	※密検知・顧客誘導システムは本来開園日に一般のお客様にご利用いただくことで効果を検証予定ですが、撮影にあたっては関係者のみとすることから、コンソーシアムメンバーのみで機能検証を実施している様子を撮影いたします。

5.2 実証視察会の実施

今後、ローカル 5G を導入し地域・企業の課題を解決していくことに関心を持つ自治体・企業等に対し、本実証における背景・課題・実証内容・成果を説明することで、地域・企業のローカル 5G 導入検討の一助になることを目的とし、実証視察会を実施しました。特に、これからローカル 5G の導入を検討する企業にとっては、現時点で目に見える形でのユースケースが少ないことから、本実証視察会を通じて具体的なユースケースをイメージして頂くことで検討の促進をはかりました。

実証視察会（総務省・関東総合通信局向け）、現地体験会（生産者向け）、現地体験会（報道機関向け）の 3 回実施する予定です。

表 5-2 実証視察会（総務省・関東総合通信局向け）について

項目	内容
開催時期	令和 4 年 2 月 21 日 10 時～11 時
コンテンツ	<ul style="list-style-type: none"> ・コンソーシアムの紹介 ・プレゼン資料によるプロジェクトの説明 説明内容：実証事業の背景 ローカル 5G のネットワーク・システム構成 本実証の取り組み内容(技術実証、課題実証) 等 ・質疑応答・意見交換
開催方法	現地・オンライン開催
参加者	総務省、関東総合通信局、三菱総合研究所、他総勢 72 名 (NTT 東日本参加者 19 名含む)

5.3 その他普及啓発活動

本実証内容をコンソーシアム代表機関等ホームページにて報道発表を実施するとともに、各種講演会や媒体（Web・新聞等）を通じて広く普及啓発稼働を実施しました。また、普及啓発活動や情報発信にあたっては、事前に総務省、三菱総合研究所と発表内容等の確認を行うことで相互に齟齬の無いよう努めました。今年度の普及啓発活動の一覧は以下の「表 5-3」のとおりです。

表 5-3 その他普及啓発活動

発表日	発表媒体	概要
令和3年10月25日	雑誌「テレコミュニケーション」における取材記事	特集「5G 産業革命の足音は聞こえてきたか」において「農家は約半数に、スマート化急ぐ」をテーマに取材を受ける
令和3年10月29日	「5G/IoT 通信展」における講演	「ローカル 5G 等自営無線が切り開く地域活性化」をテーマに東日本電信電話株式会社 執行役員 営業戦略推進室長 加藤成晴 が講演
令和3年12月22日	代表機関東日本電信電話株式会社 HP における報道発表	コンソーシアム参加企業連名で本実証の取り組みを発表
令和3年12月22日	ニュースサイト「Tech+」への掲載	「NTT 東ら、ローカル 5G を活用したイチゴ栽培自動化の実現に向けた実証」として本実証の取り組みを紹介
令和3年12月23日	コンソーシアム参加企業 CTC テクノソリューションズ株式会社 HP における報道発表	東日本電信電話株式会社の報道発表を受け、本実証にてローカル 5G 機器の調達及び保守対応を実施している旨を発表
令和4年1月8日	「日本農業新聞」における記事	「ローカル 5G 地方に新風」として総務省実証における農業分野の取り組みとして紹介 ※取材は受けておりません
令和4年2月8日	日経 CNBC 公式 YouTube チャンネルにおける動画配信	「+5G ～地域の暮らしを変えるチカラ～」をテーマとした動画にて本実証の取り組みの紹介及びいちご畑花園高荷社長インタビューを放送
令和4年3月4日	TBS Nスタ「AI と IT が支える新しい食」	自立走行型ロボット（FARBOT）の走行の様子やディスプレイへ「食べ頃いちご」や「来園者の平均距離」などの投影、及びいちご畑花園高荷社長インタビューを放送
令和4年3月14日	日経電子版への掲載	「ローカル 5G 活用の実証実験 埼玉県内で相次ぐ」として本実証の取り組みを紹介
令和4年3月15日	「日本経済新聞埼玉面」における記事	「ローカル 5G 活用相次ぐ」として本実証の取り組みを紹介

発表日	発表媒体	概要
令和4年3月22日	日本テレビZIP!「特集：水トlog 最新いちご狩り」	自立走行型ロボット（FARBOT）の走行の様子やディスプレイへ「食べ頃いちご」や「来園者の平均距離」などの投影、及びいちご畑花園高荷社長インタビューを放送

6. 実施体制

6.1 コンソーシアム実施体制

実施体制（コンソーシアム）は、「図 6-1」、「表 6-1」のとおりです。

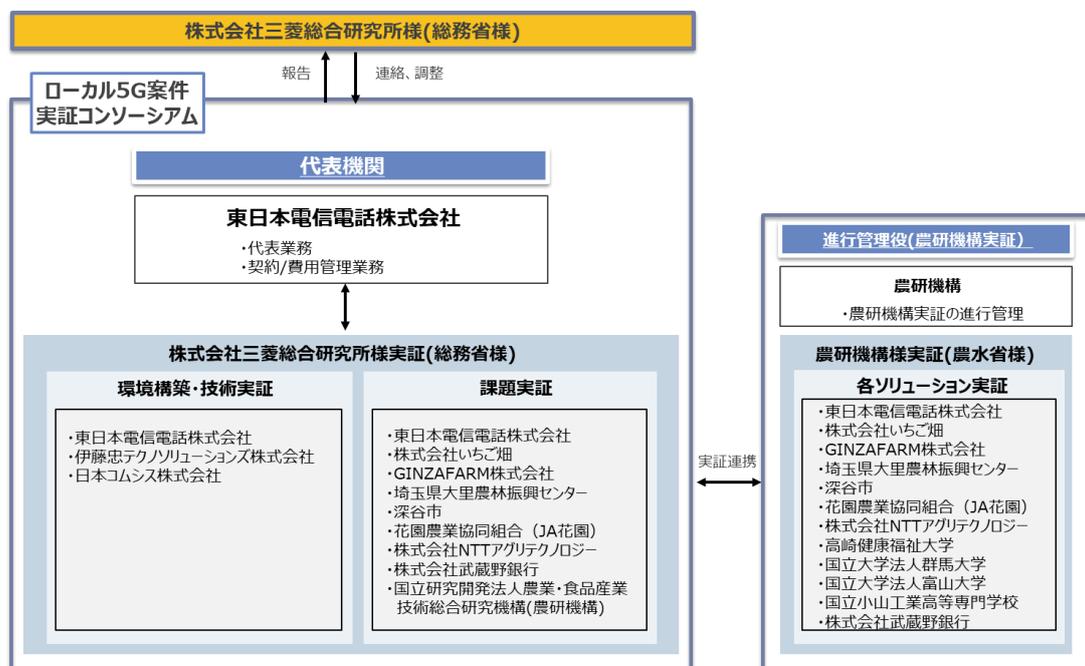


図 6-1 コンソーシアム体制図

表 6-1 コンソーシアム体制

	機関名	主な役割
代表機関	東日本電信電話株式会社 (NTT 東日本)	本事業の代表機関として統括・推進する。東日本地域における地域電気通信業務の他、通信インフラ、ICT等のサービスを提供。ローカル5Gの社会実装加速に向け、産学共同で「ローカル5Gオープンラボ」を設立し、パートナー企業や大学などとユースケース等も共創。電気通信事業者として、ローカル5G環境を構築すると共に、各種環境・作業データ取得用のネットワーク構築などを担当。
共同実証機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社	本実証でのローカル5G装置の提供事業者。ネットワーク等コンサルティングからシステムの開発、運用・保守等トータル・ソリューションの提供をおこなう日本を代表するシステムインテグレーター。

	機関名	主な役割
	日本コムシス株式会社	ネットワークシステムの構築・技術/課題実証における実証協力を行う。 NTT グループを主体とした電気通信事業者の電話・通信設備の構築、社会基盤システムの建設管理、ICT ソリューション事業などを請け負っている。
	農業生産法人 株式会社いちご畑 (※1)	本事業における生産者の位置付けとなる。2002年にイチゴ観光農園を開業以来、高設イチゴ栽培や株元局所 CO2 施用などを先駆的に導入すると共に、新規参入者の研修を数多く受入れ、農業後継者育成にも尽力。本事業では生産者としてスマート農業技術を導入し、イチゴ観光農園における各種データを収集すると共に、経営全体の改善効果を検証。
	GINZAFARM 株式会社 (※1)	農業を取り巻く課題に対して多角的にソリューションを提供する一環として、スマート農業を実現するためのアグリ EV ロボット「FARBOT」やAIを開発・提供。本事象では、イチゴの数量カウント、病害診断などに用いる自走ロボットやイチゴの数量カウント、病害診断、観光農園のお客様誘導などに活用する AI 関連を担当。
	埼玉県大里農林振興センター (※1)	埼玉県の深谷市、熊谷市、寄居町の農業振興を担当し、「埼玉県スマート農業アクションプラン」の実現に向け、各種普及推進事業を立ち上げて農業の振興に資するスマート農業の実証・社会実装に取り組んでいる。本事業ではイチゴ栽培全般に渡る技術支援を担当。
	深谷市 (※1)	深谷市の農業を核とした産業ブランディング推進事業「儲かる農業都市ふかや」の実現に向け、野菜を楽しめるまちづくり、新たな企業を誘致するアグリテック集積、地域内経済循環を高める深谷市地域通貨ネギーなどの施策を推進。本事業では地域行政の立場から儲かる農業都市の実現に向けてのアドバイスや支援を担当。

	機関名	主な役割
	花園農業協同組合 (JA 花園) (※1)	<p>「信頼・貢献・改革」の基本姿勢のもと、「食の安全・安心」をビジョンとして掲げ「食と農を結ぶ豊かな地域社会」を目指している。本事業では、生産者と消費者を結ぶ架け橋として、直販や営農に関する支援を実施すると共に、事業終了後も地域のスマート農業の発展を支援する役割を担う。</p>
	株式会社 NTT アグリテクノロジー (※1)	<p>NTT グループ初の農業専門会社として2019年7月に設立。一次産業の課題解決に向け、自治体向けコンサルティングの他、IoT を活用した生産性向上や省力化を実現。本事業では、病害防除、各種環境・作業データの活用によるデータ駆動型農業を担当。</p>
	株式会社武蔵野銀行 (※1)	<p>「お客さまと地域にずっと寄り添っていく銀行」を目指し、お客さまと地域の持続可能性を高めていく様々な取組みに注力。本事業における生産者や地域の経営向上に向けて取得したデータを経営面から分析し、改善効果および将来へ向けた持続的成長に関する検討を実施</p>
	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構) (※1)	<p>食料・農業・農村に関する研究開発を行う農研機構において、シンクタンク部門として農業やICT(情報通信技術)に関わる技術動向や政策動向を収集・分析。本事業では、進行管理役として事業を推進すると共に、事業終了後も地域のスマート農業の発展を支援する役割を担う。本事業ではAI 関連の実施項目や、各種環境・作業データの活用によるデータ駆動型農業に関する実証を担当。農林水産省「スマート農業加速化実証プロジェクト(ローカル 5G)」においては統括・推進すると共に、病害診断などを担当。</p>

※1：農林水産省「スマート農業加速化実証プロジェクト(ローカル 5G)」メンバー

6.2 プロジェクト体制

ローカル 5G をはじめとした無線通信等の技術者、課題解決に必要な機器開発・実証環境の構築を行うベンダ等、本事業の遂行に必要な専門知識・経験を有する要員を確保し、関係者の協力のもとプロジェクト体制を構築しました。実施体制図等は「図 6-2」のとおりです。

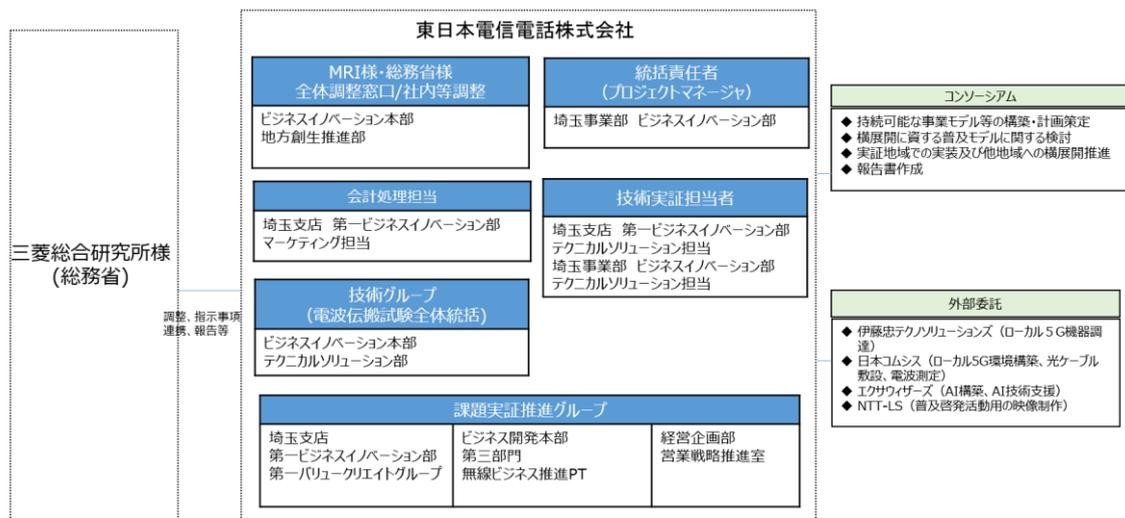


図 6-2 プロジェクト体制図

プロジェクトマネージャー、技術実証担当者、会計処理担当者については「表 6-2」の通り、代表機関である東日本電信電話株式会社より以下 3 名を選任しています。

表 6-2 担当者

プロジェクトマネージャー	東日本電信電話株式会社 埼玉事業部 ビジネスイノベーション部
技術実証担当者	東日本電信電話株式会社 埼玉支店 第一ビジネスイノベーション部 テクニカルソリューション担当
会計処理担当者	東日本電信電話株式会社 埼玉支店 第一ビジネスイノベーション部 マーケティング担当

7. スケジュール

「図 7-1」に示すスケジュールの通り、本事業を推進いたしました。

WBS-ID	WBS名称	10月				11月				12月				1月				2月				3月					
		金	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木
1.	PJ管理																										
1.1.	マイルストーン																										
2.	実証環境の構築																										
2.1.	対象周波数帯申請・機器調達・設計・キッティング																										
2.1.1.	4.7GHz帯利用申請																										
2.1.2.	機器調達・設計・キッティング																										
2.2.	実証環境構築																										
2.2.1.	いちご畑花園構築																										
2.2.2.	農研機構構築																										
2.2.3.	パブリッククラウド（AWS）構築																										
2.2.4.	遠隔保守拠点構築																										
2.2.5.	アクセス回線・VPN構築																										
2.3.	事前検証@ローカル5Gオープンラボ																										
2.4.	現地試験@実フィールド																										
3.	ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検証（技術実証）																										
3.1.	ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定																										
3.2.	電波伝搬モデルの精緻化																										
3.3.	電波反射板によるエリア構築の柔軟化																										
3.4.	準同期TDDの追加パターンの開発																										
4.	ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）																										
4.1.	ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証																										
4.2.	ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証																										
4.3.	ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討																										
4.4.	ローカル5Gの実装シナリオの見直し																										
5.	普及啓発活動の実施																										
5.1.	映像制作への協力																										
5.2.	実証視察会の実施																										
5.3.	その他普及啓発活動																										
6.	成果報告書の作成																										
6.1.	実証環境の構築																										
6.2.	ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検証(技術実証)																										
6.3.	ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討(課題実証)																										
6.4.	普及啓発活動の実施																										
6.5.	令和4年度以降の実証に向けた分析																										
6.6.	ローカル5Gの更なる普及展開																										

図 7-1 スケジュール