

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

成果報告書概要版

---

令和4年3月25日

東日本電信電話株式会社

---

---

# 実証概要

# 本実証の目的及び全体概要

■本実証では、令和3年度農水省「スマート農業実証プロジェクト」と連携し、スマート農業技術の社会実装を加速させるため、輸出重点27品目となっているイチゴ生産現場において、新しい生活様式に対応した農作業のリモート化、ローカル5Gを活用した施設園芸の生産性・収益向上モデルの創出、感染症のリスクと共存する新たな事業モデルの創出にむけた検証・評価を実施。

代表機関

東日本電信電話株式会社

実証背景

施設園芸農業における高齢化や新規就農者の減少による労働力不足、および新型コロナウイルスの感染症リスクを踏まえた「新たな生活様式」への対応が急務

コンソーシアム  
メンバー

埼玉県大里農林振興センター、深谷市、花園農業協同組合、㈱いちご畑、GINZAFARM(㈱)、他5団体

課題実証

イチゴの観光農園の農薬散布量の削減、予約枠の適正化、イチゴ狩り来園者の満足度向上・コロナ対策のアピールをするために、「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」を導入

実証地域

埼玉県深谷市(いちご畑花園)  
茨城県つくば市(農研機構)

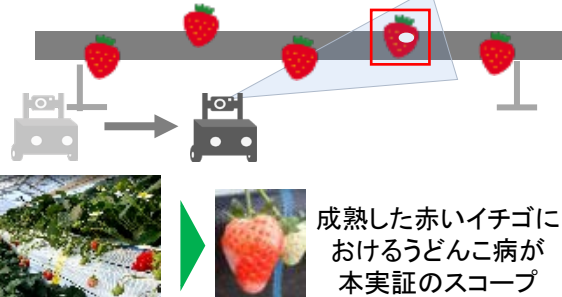
技術実証

ローカル5Gシステムを展開に際し、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うため「電波伝搬特性の測定」「電波伝搬モデルの精緻化」「電波反射板によるエリア構築の柔軟化」「準同期TDDの追加パターンの開発」を実施



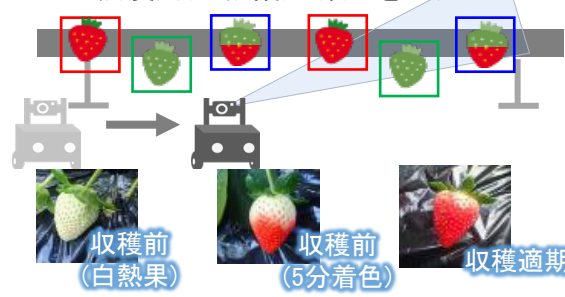
## (1) イチゴの病害検知

高精細映像から成熟したイチゴの病害を検知



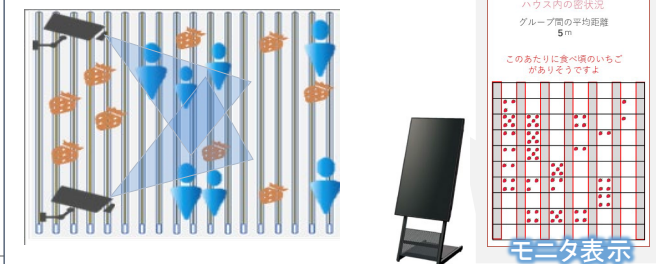
## (2) イチゴの熟度別数量把握

熟度別(三段階)で数量をカウント



## (3) 密検知・顧客誘導

リアルタイムにイチゴが余っているエリア、密状況を見える化



---

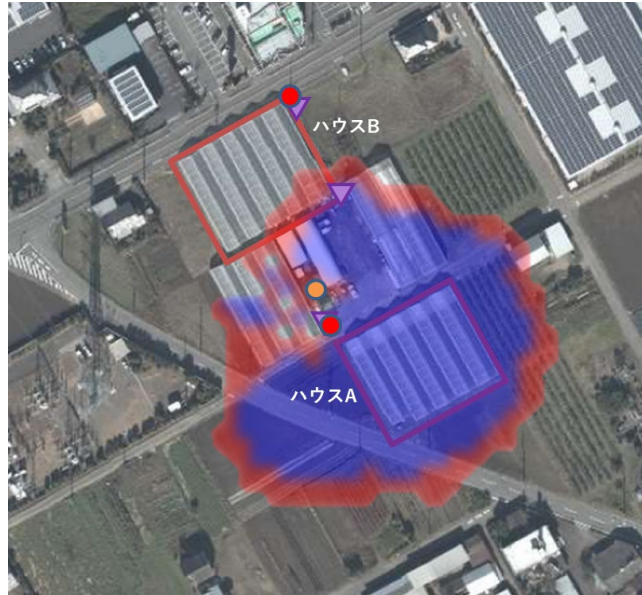
# 実証環境の構築

# 実施環境の構築-1

■ 本実証は、深谷市の観光イチゴ農園であるいちご畑花園のビニールハウスA・B及びつくば市の農研機構のビニールハウスを実証エリアとして設定

【実証環境及びエリアカバレッジ】 (国土地理院(電子国土Webのデータを使用して作成))

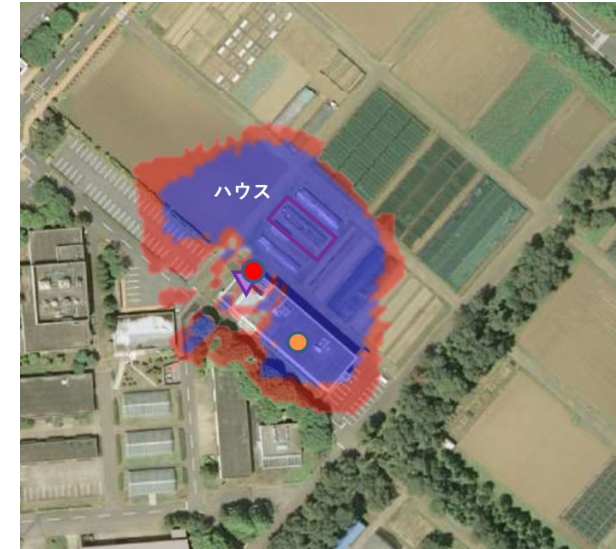
## ■ いちご畑花園(ハウスA)



## ■ いちご畑花園(ハウスB)



## ■ 農研機構



### 【電界強度】

SS RSRP 0
-119.8 dBm <= SS RSRP < 0 dBm
-126.2 dBm <= SS RSRP < -119.8 dBm

### 【凡例】

- : 対象ビニールハウス
- : 基地局
- : CDU、その他ネットワーク機器
- : 引込柱(電力・光)

# 実施環境の構築-2

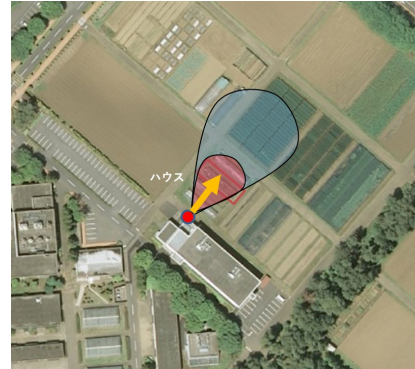
■ビニールハウス内を実証エリアとし、Sub6(4.8-4.9GHz)+指向性アンテナを活用した環境を構築。

## ■いちご畑花園(埼玉県深谷市)



(国土地理院(電子国土Webのデータを使用して作成)

## ■農研機構(茨城県つくば市)



### 【凡例】

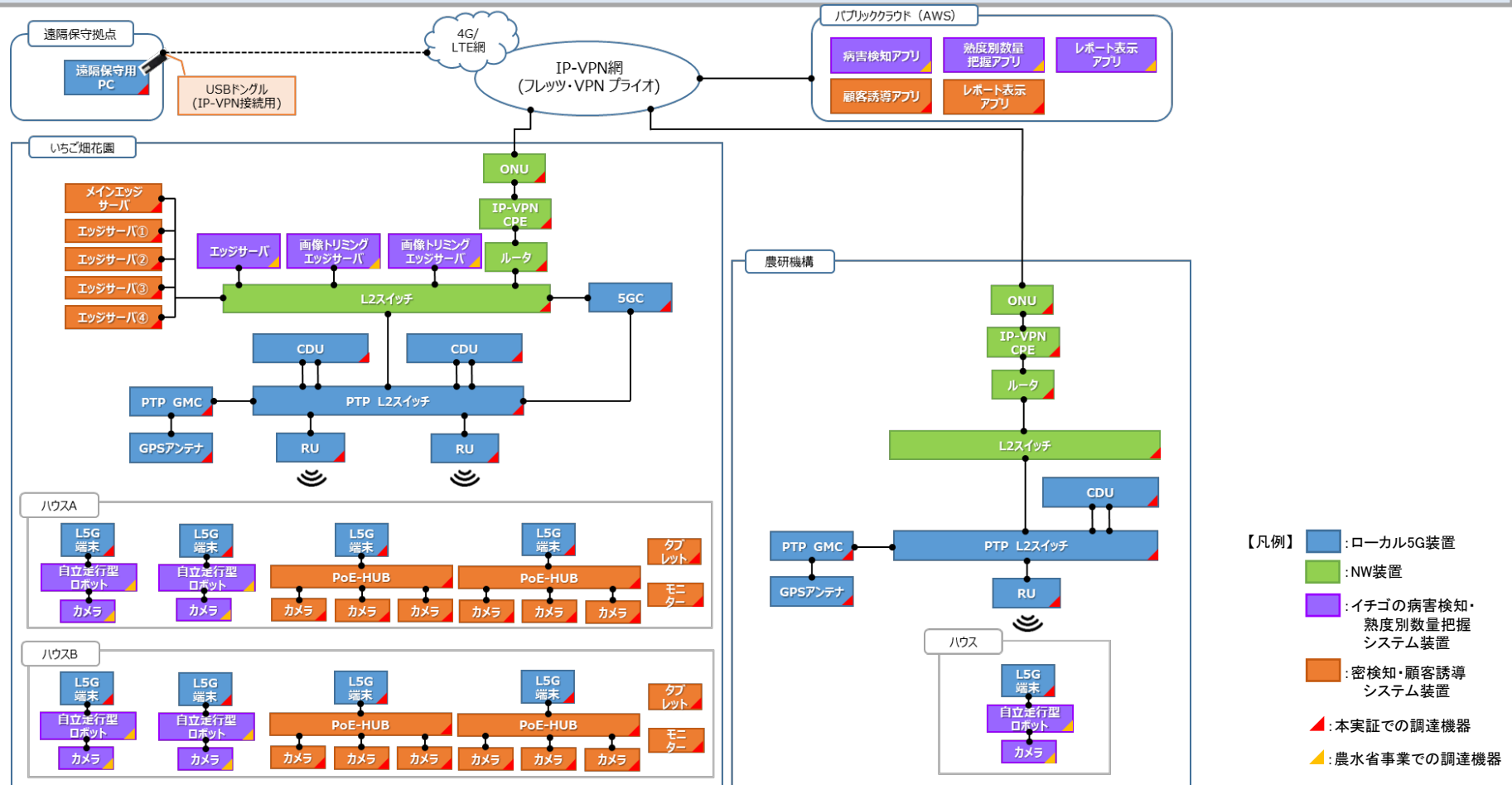
- : 対象ビニールハウス
- : 基地局
- : CDU、その他ネットワーク機器
- ▲ : 引込柱(電力・光)

## ■いちご畑花園様ハウスAの内部



# ネットワーク・システム構成

- 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。
- 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。
- 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た。



# システム機能・性能・要件について

■ 課題解決システムとしてローカル5Gに求める性能は以下のとおり。

- ・上りスループット: 40Mbps (内訳: 4Kカメラ 20Mbps × 2台 ※1ハウスあたり)
- ・伝送遅延: 30msec (ローカル5G端末～エッジサーバ間)

## ■ 基地局無線部特性

項目	基地局相当装置	移動局相当装置
製造ベンダ	APRESIA	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

## ■ 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
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

## ■ その他要件

- ローカル5G機器は3GPP準拠のものを選定し、将来への拡張性を考慮した設計とする
- 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る



# 免許及び各種許認可について

■ 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、2021年11月16日に交付。

## ■ 実験試験局免許取得までのスケジュール

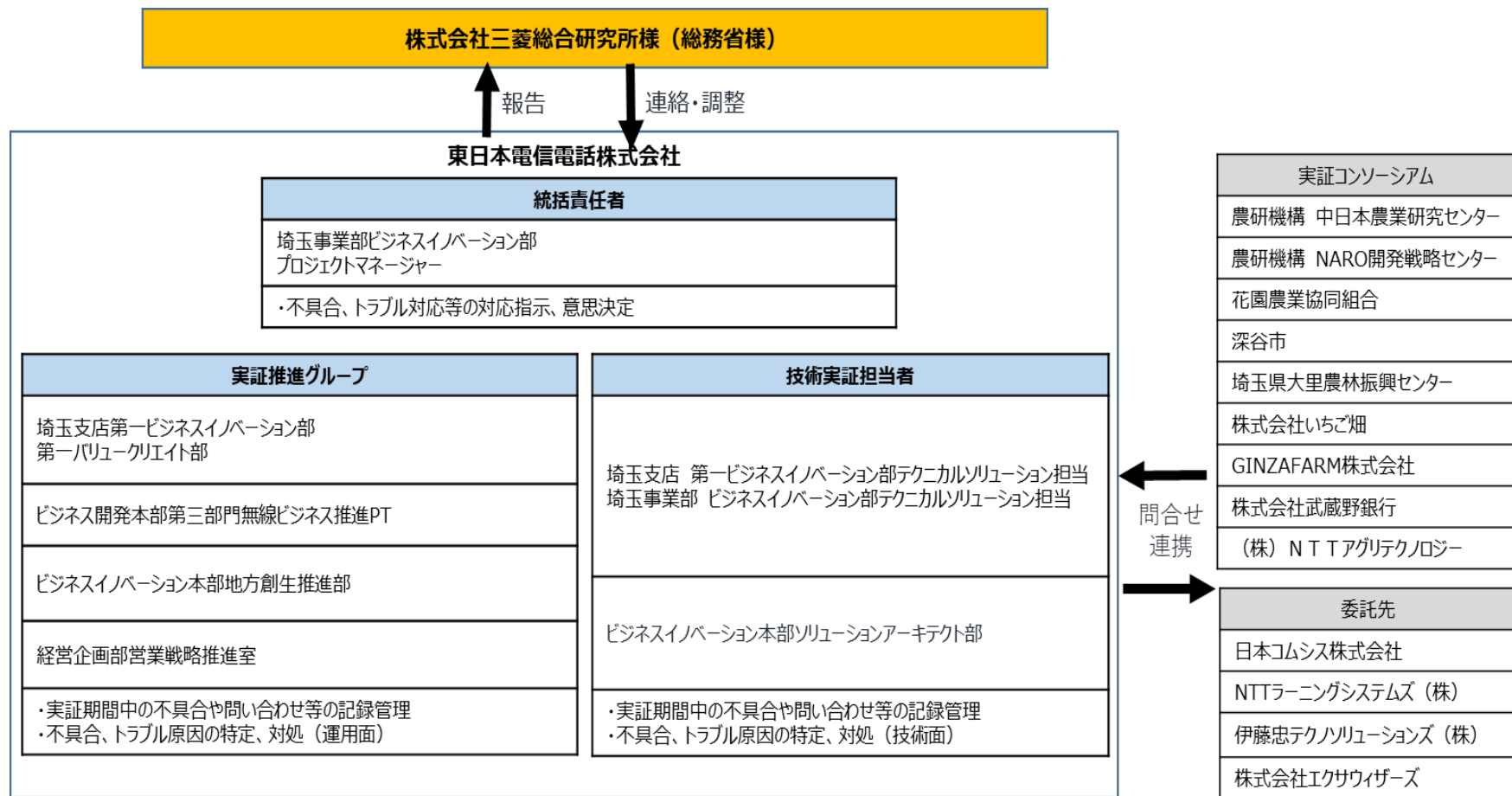
	2021年					2022年	2023年
	8月	9月	10月	11月	12月	～3月	～3月
■ 免許申請 スケジュール	○ 8下 採択決定	○ 9上 事前相談 ○ 9中 干渉調整		○ 11上 免許申請 ○ 11/16 本免許交付 ○ 11下 電波発射			
■ 利用スケジュール		→ 設計		→ 無線基地局構築	→ 実証期間 現地での利用開始 (課題解決実証・技術実証等)		→ 農水省実証

## ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・株式会社NTTドコモ(2021年9月2日合意)</li> <li>・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)</li> </ul> …二社とも申請の通りに合意に至った。

# 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花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、実施体制の説明を実施。
- 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、以下の保守受付体制にて対応。



---

# 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)

# 実証目標(技術的課題、仮説含む)

## ◆a. ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

**実証目標:** ローカル5Gの電波伝搬特性等を測定し、エリア算出法と比較することで、精緻化に寄与する知見を得ること。  
ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能と実測値を比較・評価し、その関係性を明らかにすること。  
※所要性能: ULスループット40Mbps、伝送遅延30ms

## ◆b- I. 電波伝搬モデルの精緻化

**技術的課題:** ハウス内の金属製骨組によって電波伝搬損失の発生が想定される。

**実証目標:** 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/  
対象: ビニールハウス)のパラメータの精緻化を実施すること。

**実証仮説:** ビニールハウスと同様の材質であるビニール傘を使って設置前後の受信電力をエリアテストで測定。  
差分よりR=2dBを仮説値とした。

## ◆b- II. 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

**技術的課題:** ハウス内の栽培レーンが遮蔽物となること、及び、指向性アンテナの水平角の偏向性によって不感地帯が発生し、  
ビニールハウス農家の課題解決システム利用が困難となる。不感地帯解消のため基地局を増設する場合、基地  
局間干渉やコスト増大という新たな問題が発生するため、反射板によるエリア柔軟化が課題となる。

**実証目標:** 不感地帯において反射波の受信電力が直接波を上回ること、また、所要性能を達成すること。所要性能の達成に  
必要な反射板設置位置の適正受信電力・電波強度等のパラメータのモデル化を実施すること。

**実証仮説:** レーダ方程式を採用し不感地帯で直接波-105.38dBm、反射波で-98.967dBmと想定した。

## ◆b- III. 準同期TDDの追加パターンの開発(準同期TDD2)

**技術的課題:** 作物の生育状況を高精細カメラでアップロードするため、TDD2を利用し高い上り伝送性能が必要となる。  
準同期TDD2は干渉調整について整理されておらず、諸条件における干渉検討が必要である。

**実証目標:** 追加準同期パターン「準同期TDD2」を開発すること。同期運用と比較したULスループット改善量の測定、同期局と  
の所要離隔距離等の干渉検討を複数パターンで測定し共用条件を導くこと。

**実証仮説:** 机上検討の結果、基地局間干渉では所要離隔距離8,070m、移動局干渉では所要離隔距離390m、と仮説を立て  
た。また、机上検討の結果非正対時は干渉は発生しないと予測した。

# a. ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

## ■ 計測指標

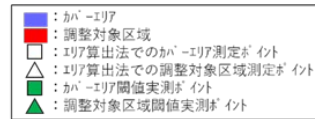
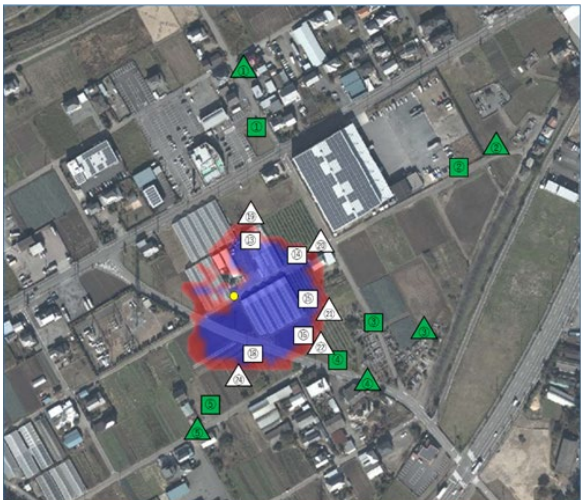
- ① エリア算出法と実測値の比較: 受信電力
- ② ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能と実測値の比較: 受信電力/伝送性能(スループット、遅延)

## ■ 評価・検証方法

- ① エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域のエリア端で閾値と実測値を測定・比較した。
- ② カバーエリア内の20以上の測定点における受信電力と伝送性能を測定した。

## ■ 検証結果・考察

- ① 結果: エリア算出法と閾値が実測された測定点の比較より、算出結果より遠くまで電波が到達する結果となった。  
 考察: エリア算出法はSを郊外地としていたが開放地に近い環境であったこと、指向性アンテナの3D指向性やチルト角の影響であると考察。エリア設計ではアンテナの3D指向性やチルト角の特性を理解し適切に設計することが重要。
- ② 結果: 平均でULスループット31.5Mbps、伝送遅延16.9msと、スループットのみ所要性能未達となった。(準同期TDD2)  
 考察: 受信電力は十分であったことから、UL方向のレイヤー数増加・HPUEの制度化・帯域幅の拡張による性能向上によって伝送性能は改善されると考察した。



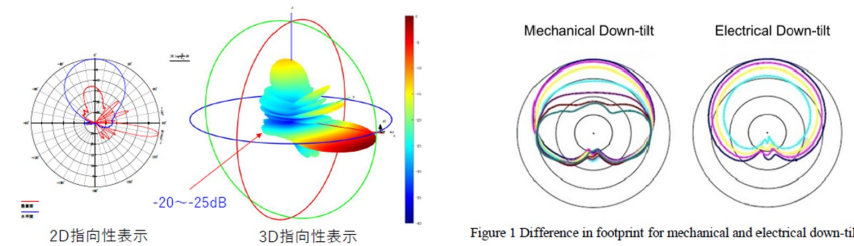
アンテナ～測定点間距離

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

いちご畑花園ハウスA エリア算出法と閾値が実測された測定点の比較  
 (国土地理院(電子国土Web)のデータを使用して作成)

平均値	ハウスA 準同期TDD2	ハウスB 準同期TDD2	農研機構 同期
受信電力 SS-RSRP[dBm]	-102.0	-99.1	-94.2
ULスループット [Mbps]	33.7	29.2	14.9
伝送性能 [ms]	16.6	17.1	21.2

ハウスごとの測定結果平均値



外部アンテナの指向性

外部アンテナのチルトによる指向性変化

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

# b- I . 電波伝搬モデルの精緻化

## ■ 計測指標

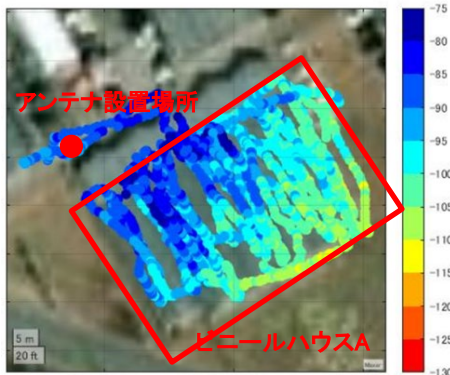
- ① 実証エリアにおける自由空間伝搬式と実測値の比較: 受信電力/伝送性能(スループット、遅延)
- ② 仮説に基づいたエリア算出法と実測値の比較: 受信電力

## ■ 評価・検証方法

- ① エリアテストを持ち歩行しながら面的に受信電力を測定し差分の数値から建物侵入損Rを導出し、精緻化したRを算出式に入れて実測値と算出式の受信電力を比較した。
- ② 仮説R=2dBに基づくカバーエリア・調整対象区域20以上の測定点における受信電力と伝送性能を測定し実測値と比較した。

## ■ 検証結果・考察

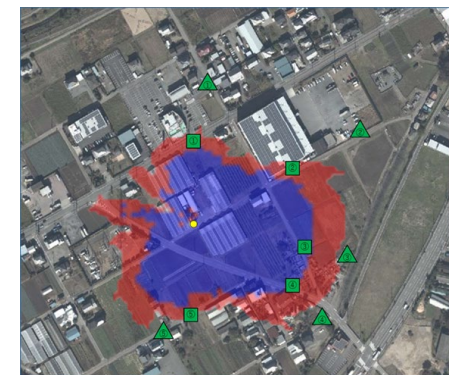
- ① 結果: いちご畑花園はR=5.77dB、農研機構はRの影響なしという結果が見られた。  
考察: いちご畑花園では、鉄骨率が高く仮説を上回る建物侵入損の影響が見られた。農研機構では20°とチルト角が高く、ハウス手前が主ビーム方向となっていた影響で、地面反射が発生しハウス内部の電波が屋外を上回る結果となったと考察。
- ② 結果: エリア端はRの精緻化後も実測値との乖離が大きくSの精緻化を実施。いちご畑花園のSは24.4dB、農研機構のSは29.2dBとなり、RMS=26.9dBとなった。精緻化後の算出式と実測値の比較では深谷は概ね近づき農研機構は乖離が大きい結果となった。  
考察: 環境ごとにビニールハウスの内部構造や周囲の遮蔽物による反射等状況は異なるため定数を使った精緻化にはより多くのサンプルを入力し統計的検証・分析が必要。



測定方法



(左)いちご畑花園(右)農研機構 ハウス内部構造



- : 基地局
- : カバーエリア
- ▲: 調整対象区域

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

いちご畑花園 S精緻化後シミュレーション図  
(国土地理院(電子国土Web)のデータを使用して作成)

# b-Ⅱ. 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

## ■ 計測指標

- ・ 反射板設置前後の不感地帯のエリア改善: 受信電力/伝送性能(スループット、遅延)/通信品質(SIR)

## ■ 評価・検証方法

- ・ 金属板(アルミ合金版)の反射板横1.5m×縦1mを設置しカバーエリアおよび調整対象区域の20以上の地点において電波反射板設置前後の実測値を比較し直接波が反射波を上回るかを計測・評価した。当初設定の送信出力0dBmではUEの受信電力閾値に達せず測定不可となったため、送信出力を5dBmに変更し、いちごの栽培レーンの陰となるエリア(ポイント20,21)を不感地帯と定義した。直接波がポイント20で-128.06dBm、ポイント21で-127.50dBm、反射波で-86.8dBmと想定した。

## ■ 検証結果・考察

結果:ポイント21で受信電力が-122.31dBm から -114.43dBmへ7.9dBの改善効果が見られた。

ポイント21でULスループットが22.84Mbps から 40.60Mbps へ17.8Mbpsの改善効果が見られた。

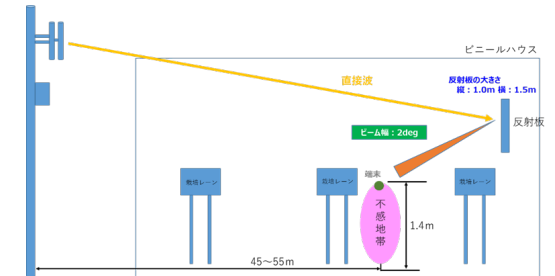
考察:実証結果を基に、反射板設計手法および反射板を使ったエリア設計手法をモデル化した。本実証では非常に狭いエリアでの改善効果(ビーム幅2deg)のみ得られる結果となり反射板の有用性は低い結果となったが、不感地帯が発生しやすい山地エリアや工場エリア等に対し、利用する箇所に合わせた反射板のサイズを検討する事で、反射板の有用性が発揮できると考察した。



ビニールハウス内不感地帯(国土地理院(電子国土Web)のデータを使用して作成)



反射板設置写真



反射板によるエリア改善イメージ

測定ポイント	設置前 受信電力 [dBm]	設置後 受信電力 [dBm]	設置前 ULスループット [Mbps]	設置後 ULスループット [Mbps]
20	-121.55	-120.77	36.34	26.53
21	-122.31	-114.43	22.84	40.60

反射板設置前後の受信電力/伝送性能

# b-Ⅲ. 準同期TDDの追加パターンの開発(準同期TDD2)

## ■ 計測指標

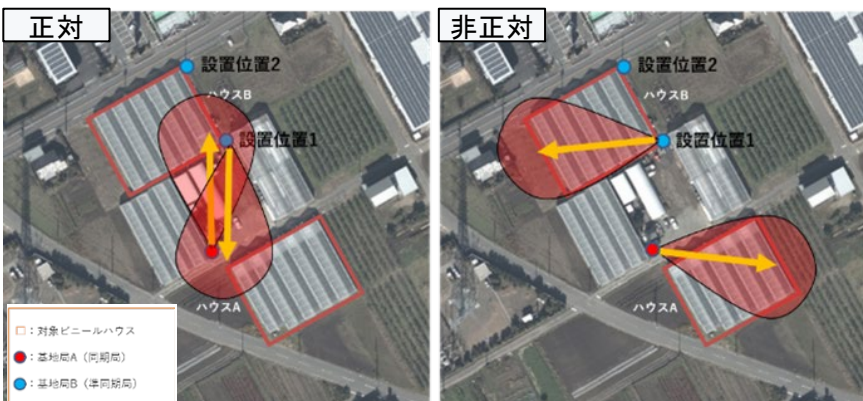
干渉検討パターンごとの干渉影響評価: 受信電力/伝送性能(スループット、遅延)/通信品質(SIR)

## ■ 評価・検証方法

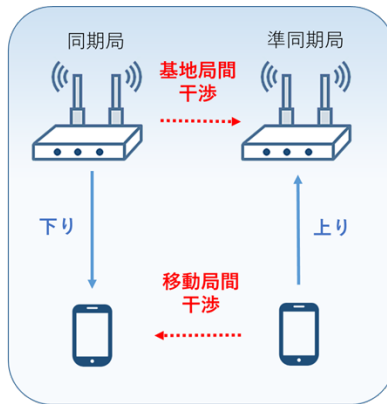
- ① 移動局間干渉では準同期局上り通信を与干渉、同期局下り通信を被干渉とし離隔距離0m,5mの2パターンで測定した。  
基地局間干渉では同期局下り通信を与干渉、準同期局上り通信を被干渉とし離隔距離50m,90mの2パターンで測定した。  
当初仮説では考慮していなかった垂直方向の指向減衰を反映し測定前シミュレーションを実施した結果、基地局の所要離隔距離が8,070mから240mとなった。\*移動局の所要離隔距離は変更なし。
- ② 基地局の指向性方向を正対、非正対2パターンで同期局、準同期局の単独運用時と測定結果を比較した。

## ■ 検証結果・考察

- ① 結果: 同期局下り性能の結果から、移動局間干渉影響は見られなかった。準同期上り性能の結果から、基地局間干渉の影響も見られなかった。  
共用検討シミュレーションの結果、所要離隔距離は基地局で0m、移動局で385mとなった。  
考察: 本ユースケースに限らず離隔距離は50mにおいても共用出来る可能性はあるが、より多くの検証結果が必要だと考察した。
- ② 結果: 同期局、準同期局いずれも正対・非正対両方で単独運用時と比較し一定量の性能低下が確認された。例えば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5Mbps以上の低下が確認された。  
考察: 基地局一移動局間干渉の測定後シミュレーションを実施し非正対とした場合でも移動局から基地局への干渉が発生する可能性があることが分かった。干渉評価にあたっては、基地局一移動局干渉影響についても考慮することが重要。



検証方法イメージ図 (国土地理院(電子国土Web)のデータを使用して作成)



干渉イメージ図

対象	離隔距離	帯域内干渉		
		与干渉量 [dBm/MHz]	所要改善量 [dB]	所要離隔距離 [m]
基地局	50m	-111.10	-1.10	—
	90m	-115.04	-5.04	—
移動局	5m	-72.34	37.66	385
	0m	-18.36	91.64	385

共用検討シミュレーション



---

# 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)

# 実証概要・実証目標

■本実証では、「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3点について、KPIを設定し実証を実施。

## ■ 実証概要及び実証目標

### 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

<課題解決に対するKPI> 農薬散布量33%以上削減、農薬散布稼働33%以上削減

### 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(在庫把握)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

<課題解決に対するKPI> 集客数25%増、収穫・調製稼働25%削減

### 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検証を行い、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

<課題解決に対するKPI> 対人平均距離2m以上、顧客満足度80%以上

# 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ

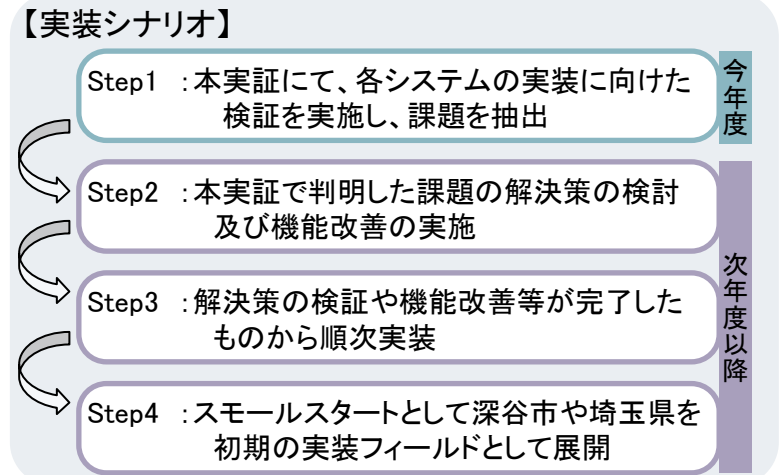
- いちご畑花園における課題を踏まえ実証内容として決定した「イチゴの病害検知」「イチゴの熟度別数量量把握」「密検知・顧客誘導」についての効果や課題について検証。
- 本実証で明らかになった課題について、次年度以降も引き続き検証や機能改善を行い実装に向けた取り組みを実施し、スモールスタートとして深谷市や埼玉県を実装フィールドとして想定。

## ■背景となる課題と解決の方向性

課題	いちご畑花園の課題認識	課題解決の方向性	本実証方法
①来園客の予約可能人数の増加	農園内の在庫把握（収穫適期のイチゴの数）が出来ていないため、イチゴ狩りの予約可能人数は経験と勘で設定。在庫把握ができれば予約枠の適正化が可能となり需要のとりこぼしを回避し、来園者・売上増加につながる。	病害の早期発見による農業使用量・農業散布稼働の削減、病害被害の縮減	実証1 イチゴの病害検知
②来園客満足度向上（リピーターの獲得）	来園者は入口付近のイチゴを食べることが多く、奥のイチゴが多く余る傾向がある。また、入口付近で過熟でないイチゴを食べたり、イチゴが少ないと思われると来園者の不満につながってしまう恐れがある。 「おいしいイチゴが多くある場所が知りたい」という一般ユーザーからのニーズ有り。 ※一般ユーザーへのアンケート調査より	イチゴの在庫把握を通じた来園者予約の適正化によるビジネス機会損出の回避、収穫稼働の削減	実証2 イチゴの熟度別数量把握
③生育作業の効率化	観光農園のため、できるだけ農業を使わない運営を行っている。病害が発生した際に農業を使うことが、早期発見ができれば、農業散布の回数も減らすことができ、農業の使用量、散布稼働の削減が期待 過去に圃場全体の1/3がうどんこ病に侵され、300万程度の被害がでた。被害がでない様毎日見回り、管理を徹底して行っている。	コロナ対策及びハウス内の食べごろのイチゴの場所の見える化による顧客満足度の向上	実証3 密検知・顧客誘導
④収穫・調製作業の効率化	コロナの影響による直販（出荷、通販等）の増加に伴い、収穫・調製稼働が大きな負担となっている。イチゴ狩りが増えれば、お客が食べるため、収穫・調製稼働も減り、直売所の販売も増える。また出荷、通販と異なり手数料と手間もかからない。イチゴ狩り8割、直販2割が理想である。		
⑤コロナ対応の効率化	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。		

## ■実装シナリオ

- 【農業分野における主な課題】
- ・農業従事者の高齢化・後継者不足による生産者の減少や耕作放棄地の増加傾向
  - ・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



# 実証環境

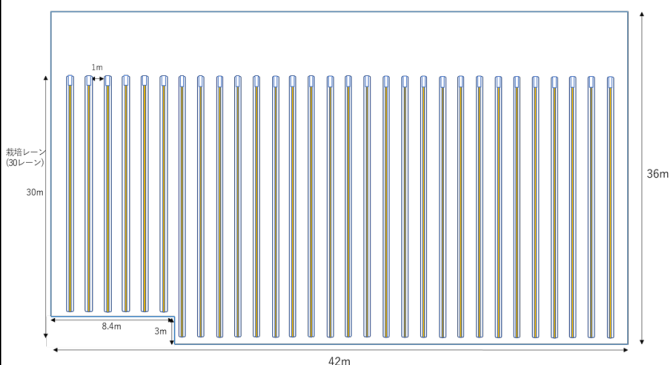
- 本実証では、いちご畑花園において「イチゴの病害検知」、「イチゴの熟度別数量把握」、「密検知・顧客誘導」の実証を実施。
- 「イチゴの病害検知」については、病害モデルイチゴを利用して実証を行ったいちご畑花園に加え、農研機構の試験ハウスでも病害を故意に発生させ、観光農園のビニールハウスの疑似的な環境にて実証を実施。

## ■ 実証環境 いちご畑花園(埼玉県深谷市)



(国土地理院(電子国土Web)のデータを使用して作成)

いちご畑花園の試験ハウスA内の栽培レーンイメージ

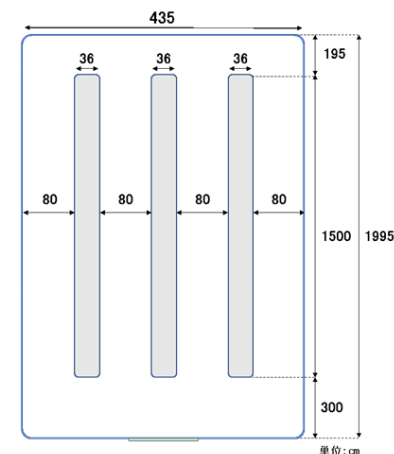


## ■ 実証環境 農研機構(茨城県つくば市)



(国土地理院(電子国土Web)のデータを使用して作成)

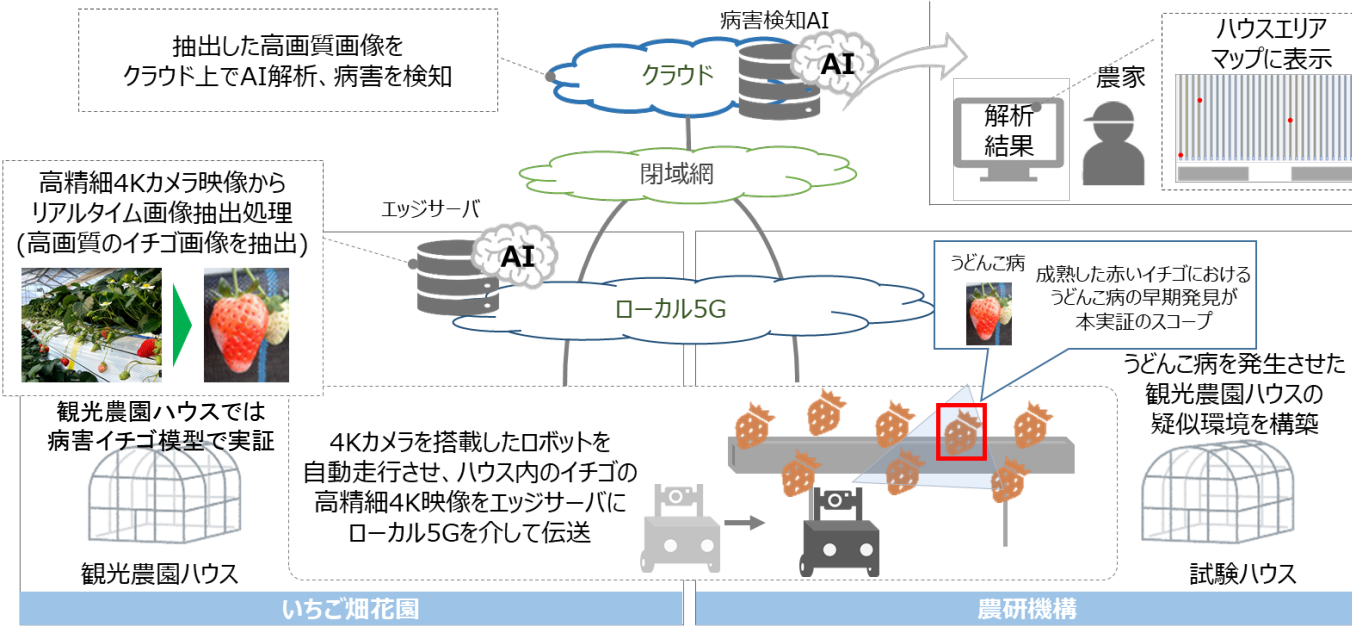
農研機構の試験ハウス内の栽培レーンイメージ



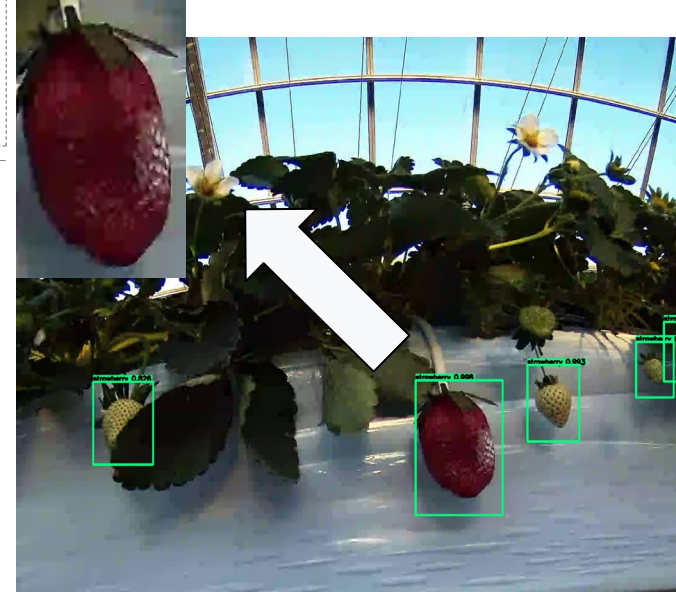
単位: cm

# 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 イチゴの病害検知システム

■ 高精細カメラを搭載した自立走行型ロボットとAI解析を用いた病害の検知を行い、うどんこ病の早期発見による農薬使用量・農薬散布稼働の削減、病害被害の縮減について評価・検証を実施。



【病害イチゴ模型の検知画像】



## 効果検証

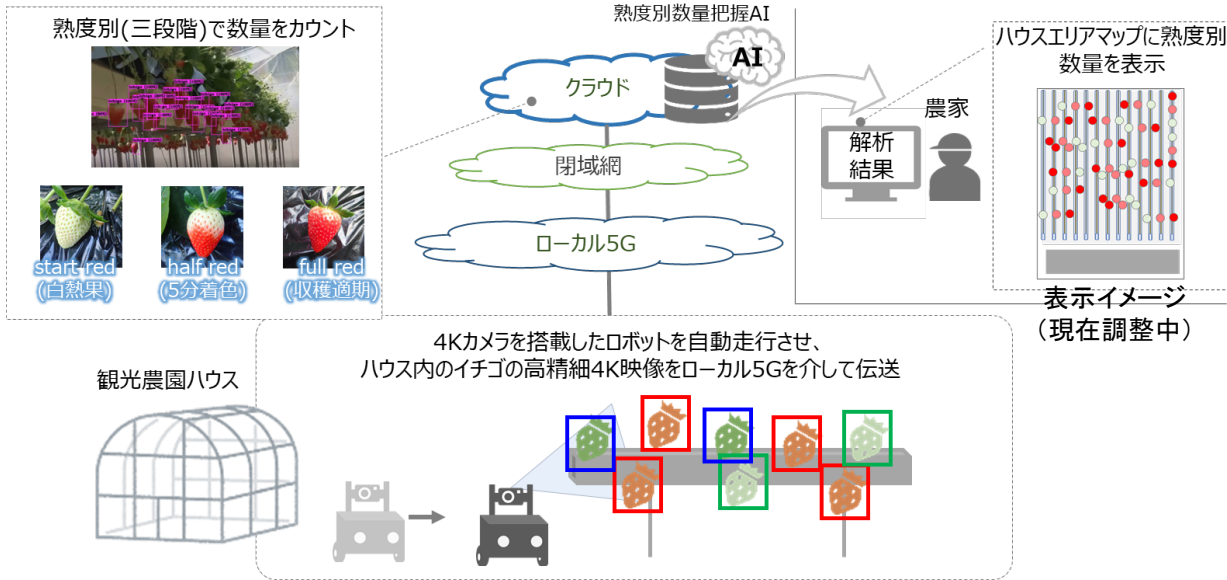
- 農薬使用量、費用、散布稼働の削減効果
  - 従業員による検知率95%に対し、本システムの検知率85%であり、1回の見回りを対象にした場合の農薬使用量、費用、散布稼働の削減効果は見込まれないが、1日に2回以上の走行を行えば、病害検知の見回りの稼働削減につながると考えられる。
- 病害発見に要する時間削減効果
  - 従業員による見回りの作業時間30分に対し、本システムの作業時間は45分となるが、本システムは完全自立走行が可能のため、従業員による見回り作業時間30分の削減が見込まれる。
- 生産者の満足度に関する効果
  - 生産者へアンケート調査を実施し、当システムにおける有用性について全従業員が「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。

## 機能検証

- 撮影機能(病害検知用4Kカメラ)
  - いずれの画像もAIアプリで病害診断ができていることを確認
- 映像伝送機能(ローカル5Gシステム)
  - パケットロス0%、遅延時間30msec未満であることを確認
- 画像抽出処理機能(AIアプリ)
  - イチゴ模型20個含むイチゴの画像抽出が正常にできていることを確認
- 病害検知機能(AIアプリ)
  - いちご畑花園では、218枚のトリミング画像の内、205枚を正しく判断(正答率94.0%)
  - 農研機構では、362枚のトリミング画像の内、331枚を正しく判断(正答率91.4%)
- レポート機能(レポート表示アプリ)
  - 病害検知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

# 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 イチゴの熟度別数量把握システム

■ 高精細カメラを搭載した自立走行型ロボットとAI解析を用いてイチゴの三段階の熟度別数量を計測し、適切な来園者数の設定（予約枠）によるビジネス機会損失の回避や収穫稼働の削減に向けた検証を実施。



## 効果検証

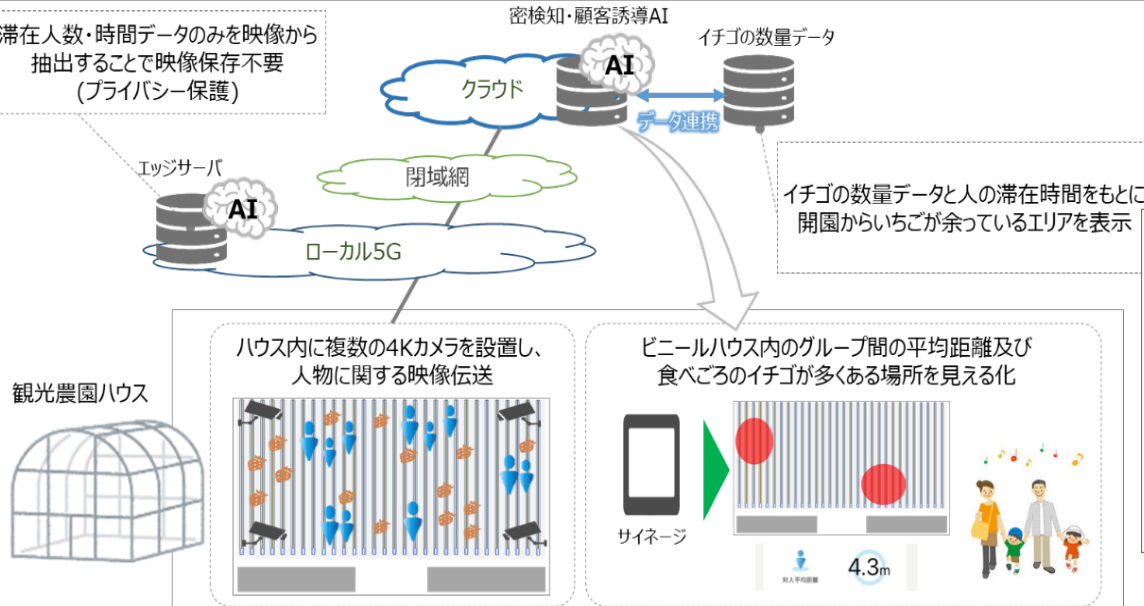
- 集客数の増加効果
  - システムで取得したFull redの個数を基に、受け入れ上限人数を+4人、+18人と増やすことが可能であることを示唆され、予約枠の適正効果が見込まれる。
- 収穫・調製稼働の削減効果
  - 当システムの利用して予約枠を適正化することで、収穫におけるパック数を90%以上削減する可能性を示唆した。
- 生産者の満足度に関する効果
  - 生産者へアンケート調査を実施し、当システムにおける有用性について92%が「有用性を感じる」もしくは「どちらかといえば有用性を感じる」と回答頂いた。

## 機能検証

- 撮影機能(数量把握用4Kカメラ)
  - 76枚のパンorama画像が生成され、いずれもイチゴが検出できていることを確認
- 映像伝送機能(ローカル5Gシステム)
  - パケットロスが0%、伝送遅延が30msec未満であることを確認
- 熟度別数量把握機能(AIアプリ)
  - 人の目による熟度別の分類した160個のイチゴに対し、本システムでは143個のイチゴを検出(差分10.6%)  
(参考)熟度別の差分は以下の通りでした。  
Full red: 3.2%、Half red: 25.0%、Start red: 31.2%
- レポート機能(レポート表示アプリ)
  - 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

# 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 密検知・顧客誘導システム

■ 複数台の高精細カメラとAI解析を用いて、ハウス内の密状況や食べごろのイチゴが多くある場所をリアルタイムで見える化し来訪した観光客のグループ間距離を表示することで密状態を見える化し注意喚起を促すことで、新型コロナウイルスに対応した施設運営、顧客満足度の向上につながるかに関する検証を実施。



## 【観光客向けモニタ表示】

コロナ対策のいちご狩りの方法

ハウス内の密状況  
グループ間の平均距離  
5m

美味しい食べ頃のいちご

いちごの品種

## 効果検証

- 新型コロナウイルスの感染防止効果
  - システム利用あり/なしでグループ間の平均距離を比較したところ3.08m、3.00mといずれも2mを超えていたことが分かった。イチゴ狩りの運営が従来と異なり、摘んだイチゴをテーブルで食べる運用であるため、運用が戻った場合の検証を行う必要がある。
- 生産者の満足度に関する効果
  - 食べ頃のイチゴをモニターに表示したところ、モニターを見た全員から「役に立った」もしくは「どちらかと言えば役に立った」との回答を受領
- 観光客の満足度に関する効果
  - 生産者へアンケート調査を実施し、グループ間の平均距離表示について92%が「有効だと思う」もしくは「どちらかという有効だと思う」と回答頂き、また、食べごろイチゴのマップ表示の有用性については、100%が「有用性を感じる」もしくは「どちらかと

## 機能検証

- 撮影機能(人物検知用4Kカメラ)
  - 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人物を撮影できることを確認
- 映像伝送機能(ローカル5Gシステム)
  - パケットロス0%、遅延時間30msec未満を確認
- 人物検知機能(AIアプリ)
  - 人物検知は44区画のうち36区画で検知(81.8%)。また、24区画で正しく位置情報を検知(54.5%)
  - 実際の累計滞在時間680秒の内、414秒を検知(誤差39.1%)
- 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によるFull redのデータを基にレポート画面が正しく表示されること、および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

# 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 検証結果を踏まえた今後の方向性の検討

- 効果検証、機能検証、運用検証の評価の結果、更なるAI学習の必要性や自立走行型ロボットの運用方法の工夫の必要があることが分かった。
- 本実証の結果明らかになった課題については、来年度の農林水産省実証事業において引き続き検討を実施。

実証システム	検証結果の評価			今後の方向性
	効果検証	機能検証	運用検証	
病害検知システム	農薬使用量・費用・散布稼働及び、病害発見に要する時間削減効果は、 <b>本実証での効果は得られなかったが、システムの運用方法の変更により今後、効果を見込むことが可能</b> 生産者のアンケート結果では有用性を感じていると回答	撮影機能及び画像抽出処理機能によるイチゴの撮影および病害診断ができ、映像伝送も問題なく実施可能 イチゴの病害検知も <b>正答率94%であり、高い認識率</b>	自立走行型ロボットでのイチゴの撮影時間を確保するため、 <b>職員の作業や観光客の入場時間、日の出日の入りを考慮して、走行時間の設計が必要</b> であることが分かった	病害検知率向上に向けた更なる病害イチゴ画像のAIによる学習 確実な病害検知のための自立走行型ロボットの適切な走行回数の検討
熟度別数量把握システム	本実証システムにより、 <b>予約枠の適正化や収穫調整稼働の削減を見込むことが可能</b> 生産者のアンケート結果では有用性を感じていると回答	撮影機能によるイチゴの撮影ができ、映像伝送も問題なく実施可能 熟度別数量把握機能は、全体としての <b>検知率は目標達成</b> 。一方 <b>Full redの検知率は高かったが、Start red、Half redの検知には課題が残った</b>		自立走行型ロボットの安定走行や走行時間の設定に関する検討  Start redやHalf redのイチゴの種類や生育環境による色づき方の違いに関するAI学習の深化
密検知顧客誘導システム	グループ間平均距離は目標を達成したが、 <b>通常運用におけるシステムの効果は別途検証が必要</b> 生産者及び観光客のアンケートでは、システムに有用性を感じていると回答	撮影機能による人物の撮影ができ、映像伝送も問題なく実施可能 人物検知機能は <b>人物の位置の特定や滞在時間の測定には課題が残った</b>	<b>通常運営下でイチゴ狩りを実施した場合の、システムの効果や観光客の誘導の実施方法を改めて検証することが必要</b> となる	通常運営下での本システムの効果の再検証 人物検知機能の精度の向上

本実証にて課題となった部分については、来年度の農林水産省実証事業にて改善が図れないか引き続き検討を行っていく





# 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

■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として、「システムの安全性・正確性・経済性」、「普及展開のターゲット」「普及展開に向けたソリューションパッケージ」等について検討を行い、本実証システムの実装シナリオについて検証を実施。

## ■実装性に向けた検討

### 【システムの正確性】

本システムの病害検知や熟度別数量把握の正確性の向上のために、より多くのデータを学習するため、AIの学習期間及び学習データの確保が重要となる

### 【システムの安全性】

既設ハウスに本システムを導入する際には栽培レーン間に十分な広さがあるか、走行アルゴリズムチューニングで対応できる程度の傾斜・凹凸かといった点が安全性確保のポイントとなる

### 【システムの経済性】

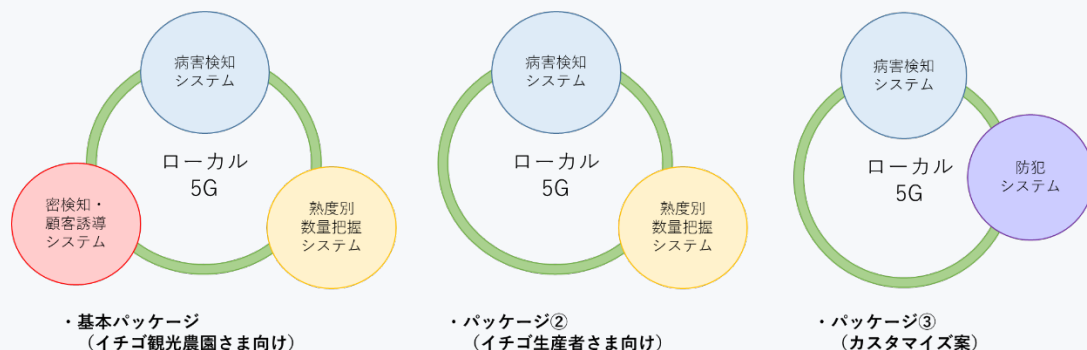
本システムを導入することで得られるコスト削減や機会損失防止による経済効果が、システム導入・運用に関する費用を上回ることが重要となる

## ■普及展開のターゲット

深谷市	ターゲット： 深谷市内のいちご生産者12経営体 *1
埼玉県	ターゲット： 埼玉県内のいちご生産者345経営体 *1
その他地域	小規模農家だけではなく企業・農業法人もターゲットとして拡大する。

※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)

## ■普及展開に向けたソリューションパッケージ



# 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

■ローカル5Gの実装に向けて、「技術的課題」「導入効果、運用に関する課題」「ローカル5Gに関する制度的な課題」「普及方策に係る課題」の4つの観点から課題を整理し、解決策について検討を実施。

## ■技術的課題、導入効果、運用に関する課題

本実証システムの導入により、今まで職員の経験に頼っていた病害検知やイチゴの熟度の判断をシステムの判定結果に基づき実施することが可能となる導入効果としては、完熟イチゴ数量把握による予約枠の拡張によって年間約50万円程度が見込まれる  
運用に当たっては本実証で分かった技術的課題の解決が必要であるとともに費用対効果を得るためにシステムの共同利用者を増やすことが重要となる

本実証で判明した技術的課題の抜粋

### 【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ため、ハード面・ソフト面での改良が必要

### 【熟度別数量把握システム】

Half red、start redの検知精度向上のため、品種による色づき方の違いに関するAIの学習が必要

### 【密検知・顧客誘導システム】

位置検知の精度向上のために、体格が異なるパターンをAI学習させると共に、画角・画質の調整が必要

## ■ローカル5Gに関する制度的な課題

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
運用時の課題	基地局の自己土地内 移動設置時の申請簡易化	自己土地内での移動、尚且つ他社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

## ■普及方策にかかわる課題

本実証システム導入に関する初期コスト・ランニングコストは共に数千万円規模であることに対し、システム導入による経済効果は年間50万円程度となる。また、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ることより、以下2点が課題となる。

- ・ローカル5Gの価格低廉化
- ・本実証システムのサービス化及び価格の設定

## ■今後の方針

### 【ローカル5Gの価格低廉化】

利用者ニーズや事業規模に見合った性能の機器を選定、複数ユーザとの共用やサービス利用型の活用も視野に入れる

### 【本実証システムのサービス化及び価格の設定】

イチゴ生産者が利用できる価格帯の検討及びシステムのサービス化を進める

---

# まとめ

# まとめ

## ■本実証における課題

イチゴ観光農園では病害検知やイチゴの生育状態の把握、生産者の経験に頼った運営となっており、人手依存の作業体系からの脱却が求められている

新型コロナウイルス対策として、3密回避をしたうえで顧客満足度が向上できるような「新しい生活様式」に対応した農園運営が求められている

ローカル5Gと最先端技術を活用した、農作業や観光農園運営のスマート化を通じ  
生産性の高い「稼ぐ農業」の実現を目指す

### 1 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)

- ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定 ⇒平均でULスループット31.5Mbps、伝送遅延16.9ms
- 電波伝搬モデルの精緻化 ⇒いちご畑花園R=5.77dB、S=24.4dB/農研機構S=29.2dB
- 電波反射板によるエリア構築の柔軟化 ⇒1ポイントで受信電力7.9dB、ULスループット17.8Mbps改善
- 準同期TDDの追加パターンの開発 ⇒所用離隔距離は基地局0m、移動局385mという結果を得たが  
基地局ー移動局干渉も考慮しより多くの検証が必要と考察

### 2 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)

- イチゴの病害検知システム ⇒KPI(農薬散布量・稼働33%以上削減)は未達成  
但し、本システムの運用方法見直しにより削減効果を見込むことが可能
- イチゴの熟度別数量把握システム ⇒試算上、KPI(集客数25%増、収穫・調製稼働25%削減)達成見込み
- 密検知・顧客誘導システム ⇒KPI(グループ間平均距離2m以上、顧客満足度80%以上)を達成

本実証で課題として明らかになった事項については、農林水産省スマート農業実証プロジェクト(ローカル5G)にて継続検証を実施

農林水産省スマート農業実証プロジェクト(ローカル5G)の結果を踏まえ、本実証システムの普及展開を進める