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
中山間地域でのEVロボット遠隔制御等による果樹栽培支援に向けたローカル5Gの技術的条件及び利活用に関する調査検討

成果報告書概要版

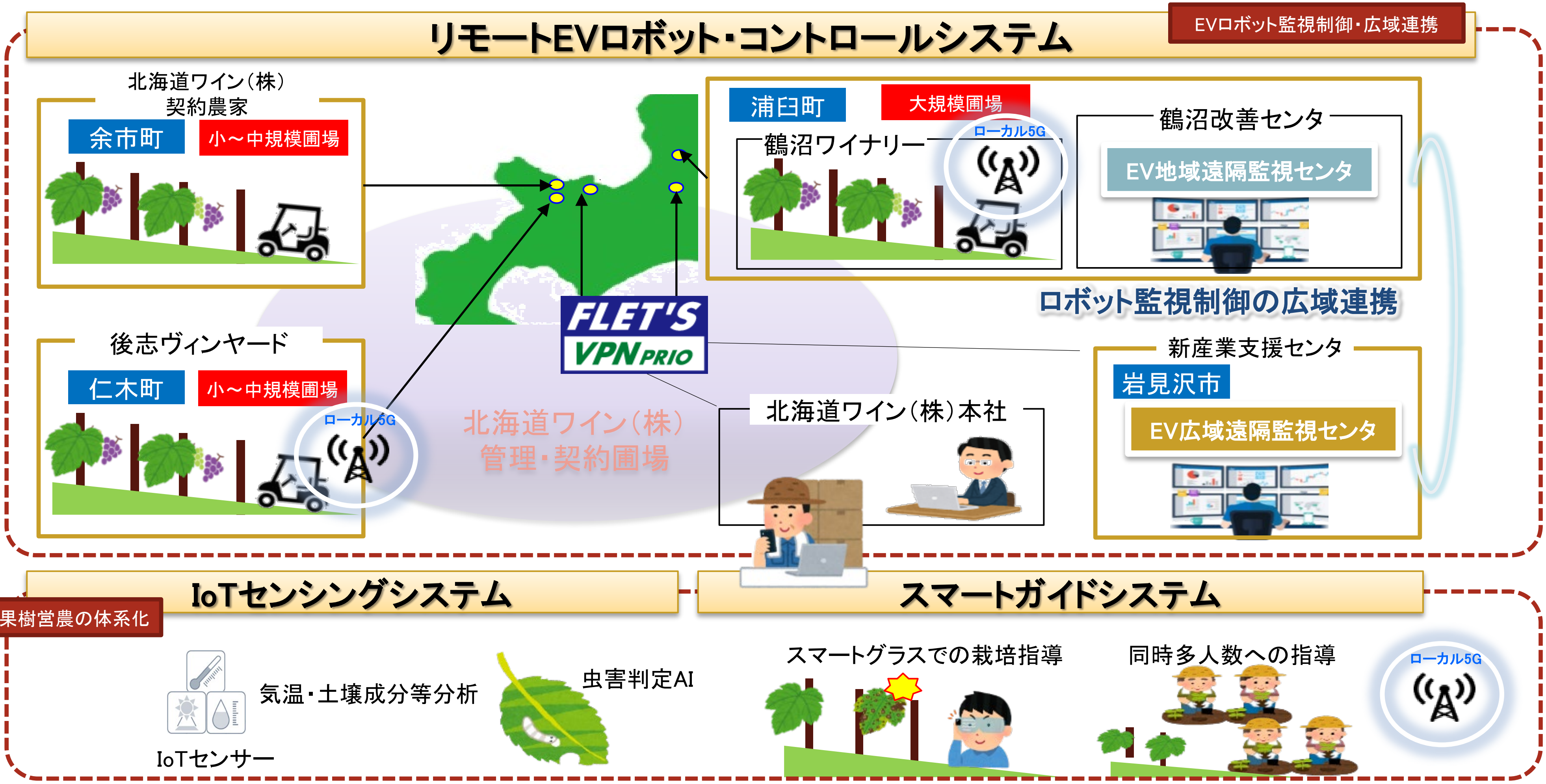
令和4年3月25日

東日本電信電話株式会社

実証概要

実証概要

ローカル5G等を用いて、中山間地果樹園における労働力不足（高齢化・新規就業者の減少）問題の解決や果樹栽培データの体系化を目的に、EVロボット・スマートデバイス・AI等の活用によるデータ駆動型かつ体系化されたスマート果樹園を実現するための検証・評価を実施。

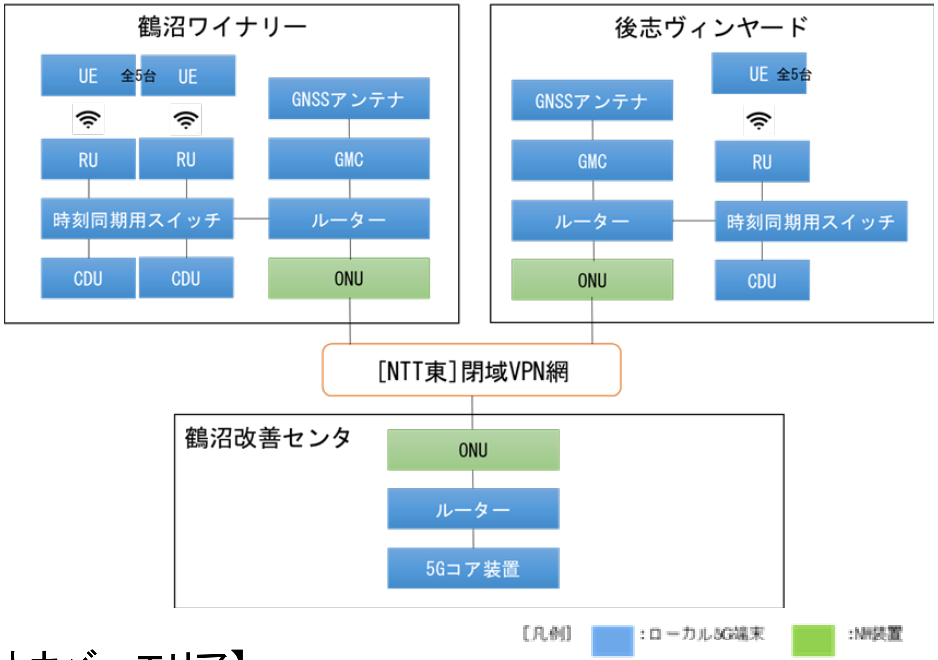


実証環境の構築

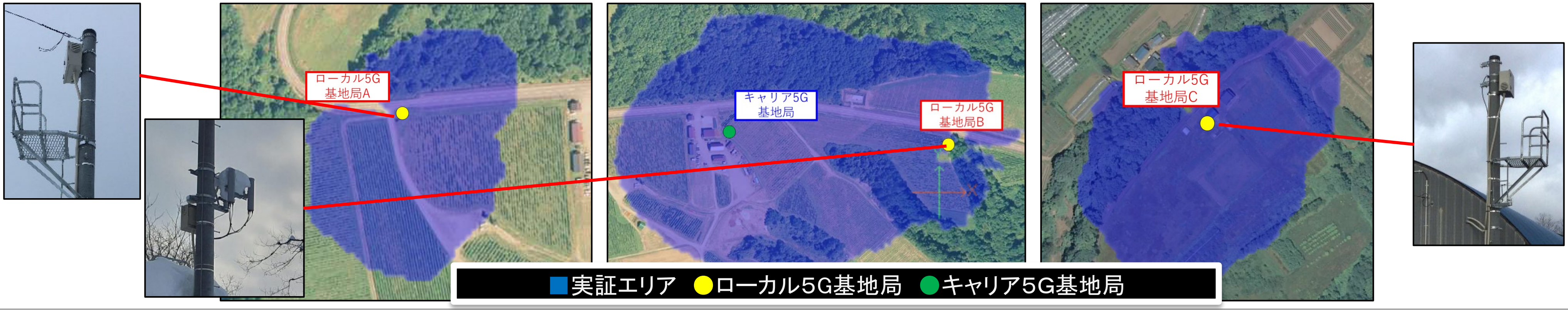
実証環境の構築①

- 対象周波数帯：Sub6帯　4.8-4.9GHz（100MHz幅）
- 実施環境：北海道内の醸造用ぶどう果樹園（屋外・中山間地域）
  - 基地局A・B　：浦臼町（鶴沼ワイナリー）
  - 基地局C　：仁木町（後志ヴィンヤード）
  - コア装置　：浦臼町（鶴沼改善センタ）
- ネットワーク・システム構成
  - 基地局A・Cはオムニアンテナ
  - 基地局Bは指向性のあるセクタアンテナを外部アンテナとして取付
  - 基地局Aと基地局Bの間にはキャリア5G基地局が商用稼働中
  - ローカル5Gシステムはアプレシア社の機器を利用し構築
  - コア装置は圃場とは別の地域コミュニティ施設（鶴沼改善センタ）に設置し、各圃場の基地局とは閉域網経由で接続
  - コア装置から基地局A・Bまでの距離は約4km
  - コア装置から基地局Cまでの距離は約100km

【本実証L5Gシステム構成図】



【各基地局の設置位置とカバーエリア】

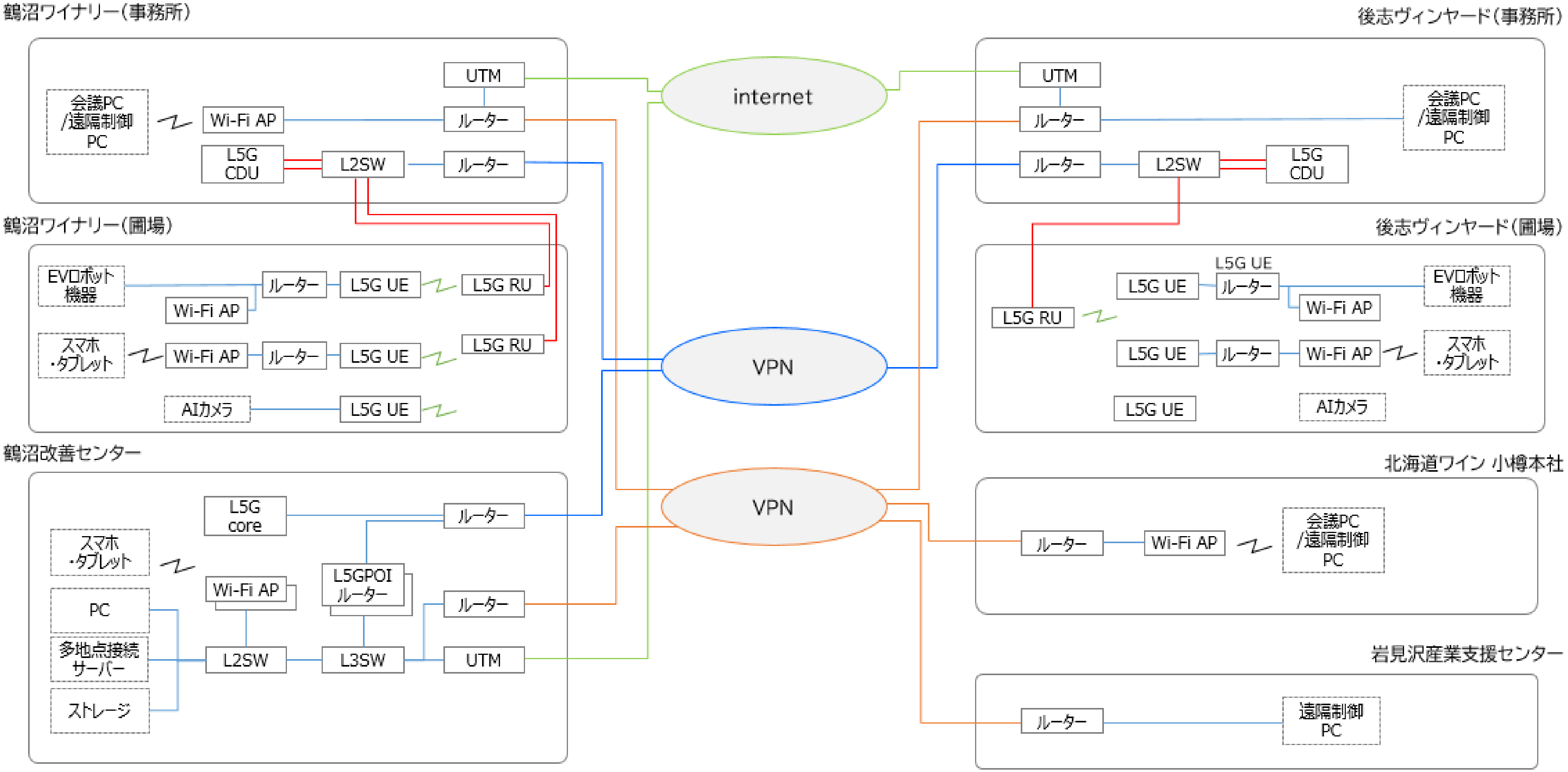


実証環境の構築②

実証圃場より約4km離れた地域コミュニティ施設（鶴沼改善センター）内にEVロボットの遠隔監視設備を造作し実証
また約30km離れた岩見沢市にあるトラクタ遠隔監視センタと連携し、EVロボットの遠隔監視制御連携を実証。

実証ネットワーク

ローカル5Gコアと3つの基地局を閉域網を通じ接続、トラヒック混雑による影響回避のためEVロボットの監視制御は別の閉域網にて接続する構成。



実証環境の運用

中山間地の地域課題を抱える自治体への課題解決に資するため、北海道大学・豊田通商株式会社を中心とした自動走行EV制御の仕組みを用い、各自治体の協力を得ながら北海道ワイン株式会社が保有するワイナリー等で自治体の協力を得ながら果樹向けスマート営農システムの実証を東日本電信電話株式会社が代表機関となり実施。

総務省

↕

株式会社三菱総合研究所

↕ 報告・連絡・調整

北海道次世代ヴィンヤード実証コンソーシアム

代表機関

東日本電信電話株式会社
・実証全体企画、統括
・ローカル5G課題実証・技術実証
・契約/費用管理業務

↕

岩見沢市 浦臼町 仁木町 余市町	北海道ワイン 株式会社	北海道大学	豊田通商 株式会社	日本電信電話 株式会社

- **ローカル5G課題実証（課題解決システムの効果検証、機能検証、運用検証）**
- **ユースケースに基づくローカル5G評価**
- **周辺住民との協力調整**

↕

【実証圃場協力】
・有限会社鶴沼ワイナリー
・北海道ワイン後志ヴィンヤード株式会社
・北海道ワイン契約農家

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北海道総合通信局へ申請、2021年12月10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	○8/6 干渉調整 事前相談 ○8/31 採択結果発表				○12/7 免許申請 ○12/10 本免許取得 ○12/17 電波発射		
利用スケジュール	設計 →	設計 →	設計 →	無線基地局構築 →	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12月10日～2026年3月31日
免許を受けた送信出力	16dBm、18dBm、23dBm、29dBm
干渉調整について	・株式会社NTTドコモ（2021年8月6日申請のとおり合意に至る）

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

■ **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と共に、ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能を満たすか評価（UL:63.5Mbps、DL:24Mbps、伝送遅延：400msec）

■ **実証内容**

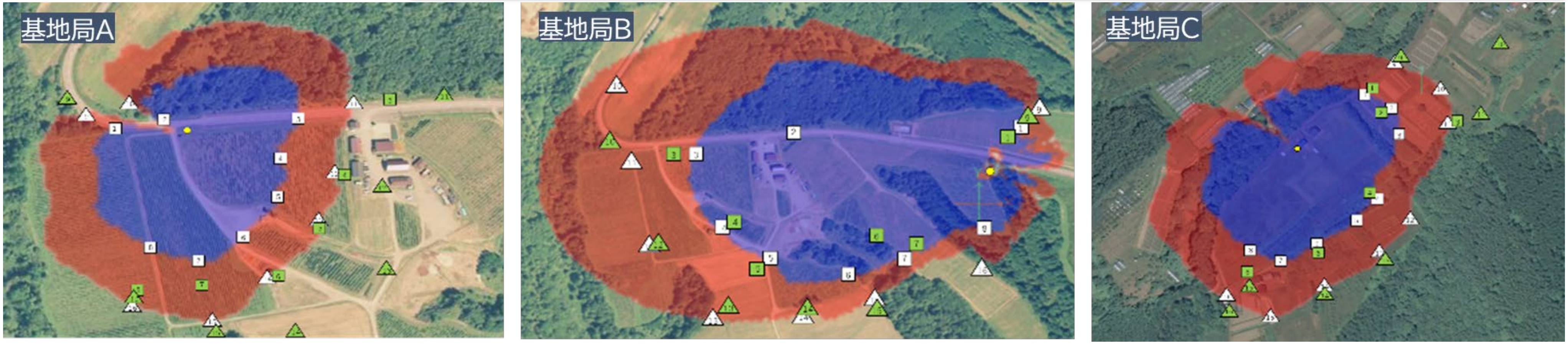
- 受信電力を測定。カバーエリアおよび調整対象区域の閾値と実測値を比較し異なる場合には、閾値が実測される基地局からの距離を確認
- 基地局付近20か所の測定ポイントにおける受信電力と伝送性能を測定

■ **実証結果と分析・考察**

- 基地局までの見通しが良く、遮蔽物が全く無い環境ではエリア算出法よりも実際のカバーエリア・調整対象区域は広い
- 測定点ごとに伝送性能に差分は無かったものの、アップリンク(以下、UL)について所要性能をいずれも達成しなかった。
    - UL測定結果　基地局A：約41Mbps　、基地局B：約17Mbps　、基地局C：約16Mbps
    - 要因：DMCSの非対応、耐ノイズの脆弱性、無線リソースブロック割り当ての効率性

【各基地局のエリア算出法に基づくカバーエリア・調整対象区域と、閾値の実測ポイント】

●基地局　●カバーエリア　●調整対象区域　■カバーエリア閾値実測箇所　▲調整対象区域閾値実測箇所



テーマⅠ: 電波伝搬モデルの精緻化

■ **課題解決システム利活用環境における技術的課題**
- 中山間地域における電波伝搬モデルを考察し、高低差や樹木の影響でエリア設計が困難な地域への横展開に貢献

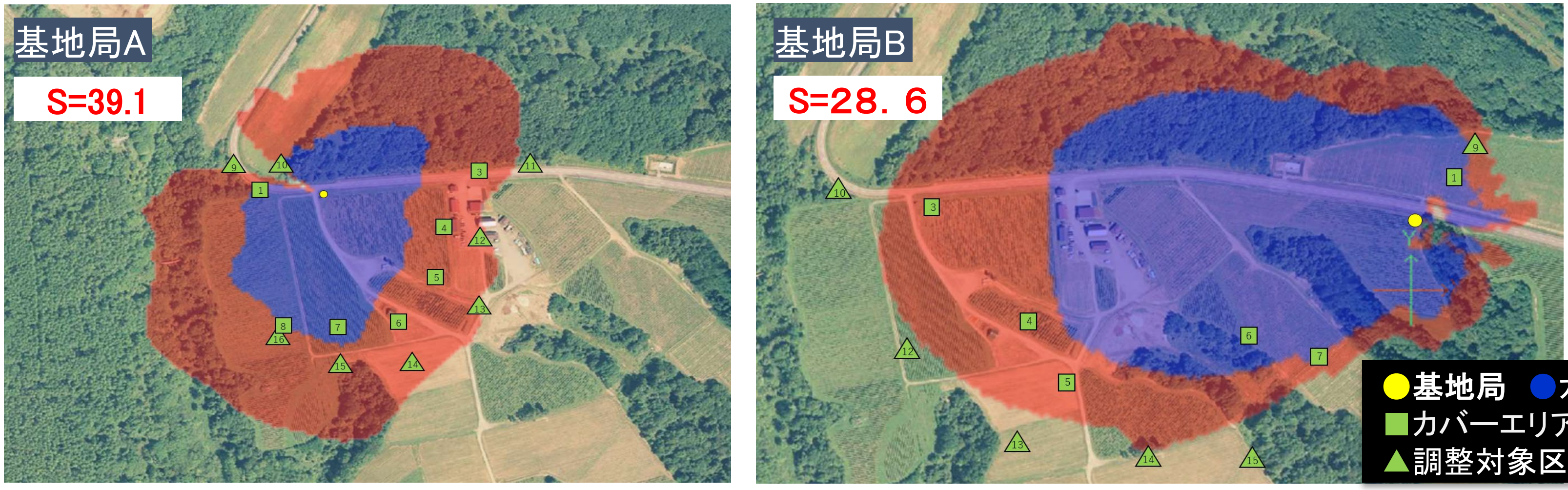
■ **実証目標**
- 植生や樹木の影響を含むパラメータについて精緻化の実施

■ **実証前の仮説**
- 樹木の遮蔽についてITU-R P.833-3 「Attenuation in vegetation」を参考に37.1dBの電波減衰を想定

■ **実証内容**
- 受信電力を測定し、中山間地域特有の環境（見通し、植生等）を考慮した開放地Sの精緻化を実施

■ **実証結果と分析・考察**
- 基地局A：S=39.1　条件：基地局からの距離200m以内のLOS、又は距離170m以内のNLOS地帯
- 基地局B：S=28.6　条件：基地局から100~400m以内、高さ9m以上かつ植生幅10m以上のNLOS地帯
- 中山間地域では地点ごとの特性が多様なため、基地局に一様な開放地Sを利用することは適さないと考察

【精緻化後パラメータにおけるカバーエリア・調整対象区域と閾値実測ポイント】



【測定風景】

テーマⅡ: 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

■　**課題解決システム利活用環境における技術的課題**
- 樹木等の遮蔽物がある環境で、基地局増設以外の方法として反射板によるエリア拡大の有効性を検討

■　**実証目標**
- 反射板設置後の不感地帯改善エリアの受信電力および伝送性能の評価

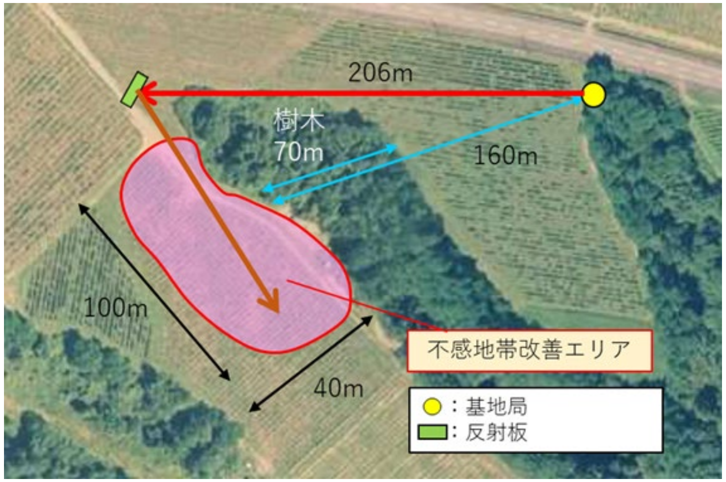
■　**実証前の仮説**
- 不感地帯改善エリアにおいて、反射板設置後は設置前と比較して受信電力13.4dB程度の改善を想定

■　**実証内容**
- 20以上のポイントにおいて、反射板設置前後で受信電力および伝送性能を測定

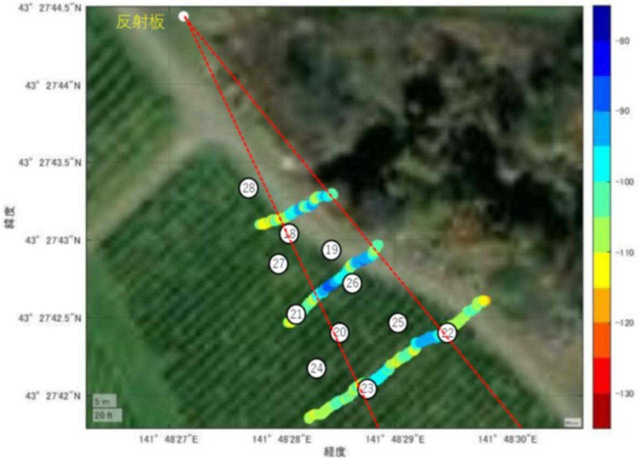
■　**実証結果と分析・考察**
- 不感地帯改善エリアで反射板設置後、受信電力は平均6.6dB の改善が見られたが、伝送性能は変化なし
- 樹木による遮蔽が少なく、反射波に加え、直接波も届く環境であったことが上記結果の要因の一つになったことが考えられ、今後反射板の活用にあたっては、直接波による影響も考慮に入れた設計が必要

【反射板】

【不感地帯改善エリア】



【測定結果から推定されるビーム幅】



テーマⅢ: 準同期TDDの追加パターンの開発

■ **課題解決システム利活用環境における技術的課題**
- 圃場のスマート化実現のため、TDD2を利用し高い上り伝送性能を実現
- 追加準同期パターン「準同期TDD2」について同期パターンとの干渉調整の検討

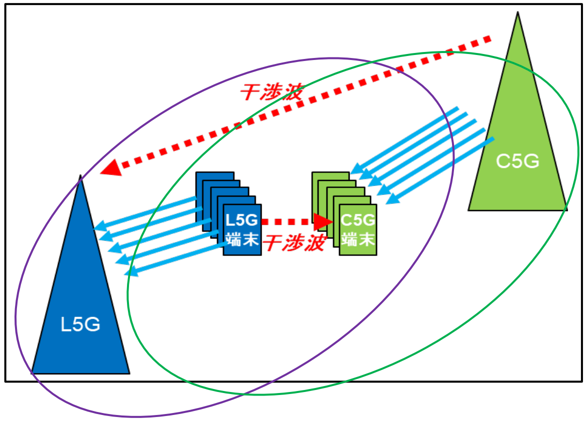
■ **実証目標**
- 準同期TDD2で電波を発射し、同期局であるキャリア5Gとの干渉影響を複数ポイントで確認

■ **実証前の仮説**
- 実証前のシミュレーションでは、指向性アンテナ利用時のみ帯域内で基地局間干渉が発生
- 実証前のシミュレーションでは、無指向性/指向性アンテナともに移動局間干渉が発生

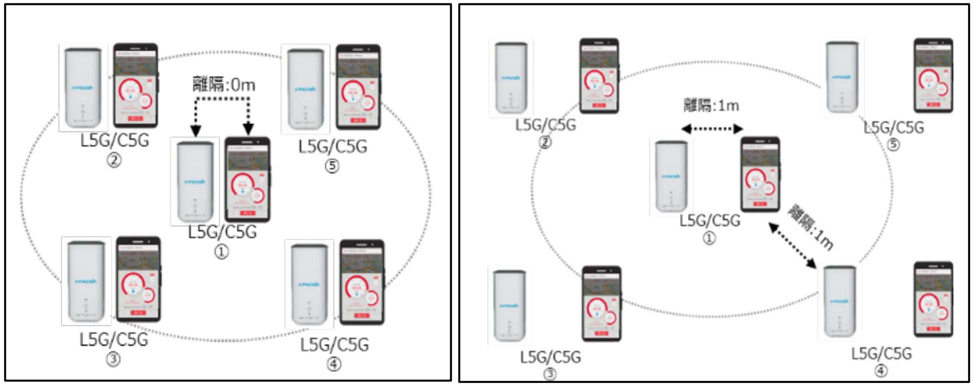
■ **実証内容**
- ローカル5G単体/キャリア5G単体/ローカル5G・キャリア5G併用でのパターン、また同時接続端末数を1台/5台の2パターンで伝送性能、受信電力、通信品質を測定

■ **実証結果と分析・考察**
- 実測値から、ローカル5G、キャリア5Gともに干渉影響による伝送性能の悪化は見られなかった

【基地局間・移動局間干渉のイメージ】



【ローカル5G端末、キャリア5G端末の設置イメージ】



【測定の様子】

テーマⅣ:外部アンテナ利用によるエリア構築効率化(独自提案)

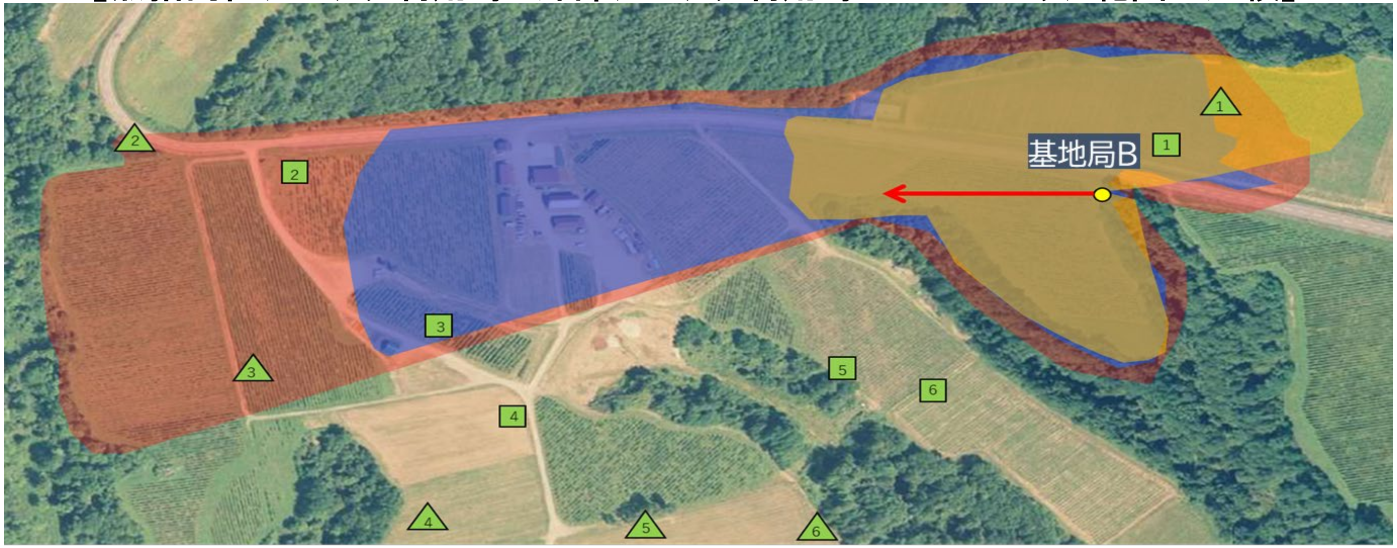
■ **課題解決システム利活用環境における技術的課題**
- 広く圃場をカバーするためにカバーエリアを拡大し、不要な干渉を減らすために特定方向以外への電波伝搬を抑制

■ **実証目標**
- 特定の方向に、無指向性アンテナの基地局設置時よりもカバーエリアが拡大していること
- 特定の方向以外への電波伝搬が抑えられていること

■ **実証内容**
- 指向性外部アンテナ利用時の電波伝搬について、受信電力を測定することで特定方向への増幅・抑制傾向を検証

■ **実証結果と分析・考察**
- カバーエリア・調整対象区域がアンテナ指向性の方向に拡大されていることを確認
- カバーエリア・調整対象区域がアンテナ指向性と反対方向について縮小されていることを確認
- 中山間地域では広さや傾斜に合わせたエリア調整が可能となるため指向性アンテナは有効であると考察

【無指向性アンテナ利用時と外部アンテナ利用時のカバーエリア範囲の比較】



●オムニアンテナ利用時カバーエリア
●カバーエリア
●調整対象区域
■カバーエリア閾値実測箇所
▲調整対象区域閾値実測箇所

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）

背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

本コンソーシアムの実証全体目標は、世界に先駆けた醸造用ぶどう栽培のスマート化とそれによる中山間地果樹栽培の生産性向上および栽培技術の体系化。

地域課題	課題解決の方向性	課題解決システム
農業従事者の高齢化や働き手不足	ロボットによる省人化及び、遠隔監視制御による効率化	リモートEVロボット・コントロールシステム
除草作業の人件費増加や防除作業の健康被害	草刈り・防除作業の無人化	リモートEVロボット・コントロールシステム
未熟練者・臨時雇用労働者へ栽培技術伝達稼働過多	効率的な指導ツールの提供	スマートガイドシステム
醸造用ブドウの栽培技術の未体系化による収量・品質の格差	データ駆動型農業	IoTセンシングシステム

各課題解決システムの実証目標は個別ページに記載

実証環境

本実証では複数の課題解決システムについて果樹等の模擬環境を設置し実証を実施。

リモートEVロボット・ コントロールシステム	スマートガイドシステム	IoTセンシングシステム
【鶴沼ワイナリー走行実証模様】	【複数指導模様】	【撮影・AI判定走行模様】
【後志ヴィンヤード走行実証模様】	【倉庫内オピニオン評価模様】	【AIカメラ設置】

課題解決システム①EVロボット・コントロールシステム

【実証目標】中山間地域におけるEVロボット無人走行による複数圃場・複数EV・複数監視施設での遠隔監視による安全な運用の実現。

（1）実証方法

（効果検証）

1)遠隔制御	・・・	通信環境、制御動作、緊急停止時の停止距離におけるローカル5Gの有効性を評価
2)遠隔映像監視	・・・	映像トラフィック、映像伝送遅延、映像品質を評価
3)複数監視センター間連携	・・・	制御動作、監視映像の連携動作、連携に係る遅延時間を評価

（機能検証）

1)EVロボット･コントロール	・・・	通信環境、遠隔制御機能を評価
2)遠隔監視制御	・・・	遠隔監視による緊急停止動作における必要条件を評価
3)監視センター	・・・	監視拠点間制御連携におけるコミュニケーション機能、連携機能を評価

（運用検証）

1)EVロボット･コントロール	・・・	設定・走行、保管、メンテナンスにおける実運用上の要件、課題事項の確認
2)監視センター	・・・	制御設定、操作における実運用上の要件、課題事項の確認

EVロボット緊急停止動作検証

複数監視センター間連携検証

監視センター（鶴沼改善センター）

課題解決システム②スマートガイドシステム

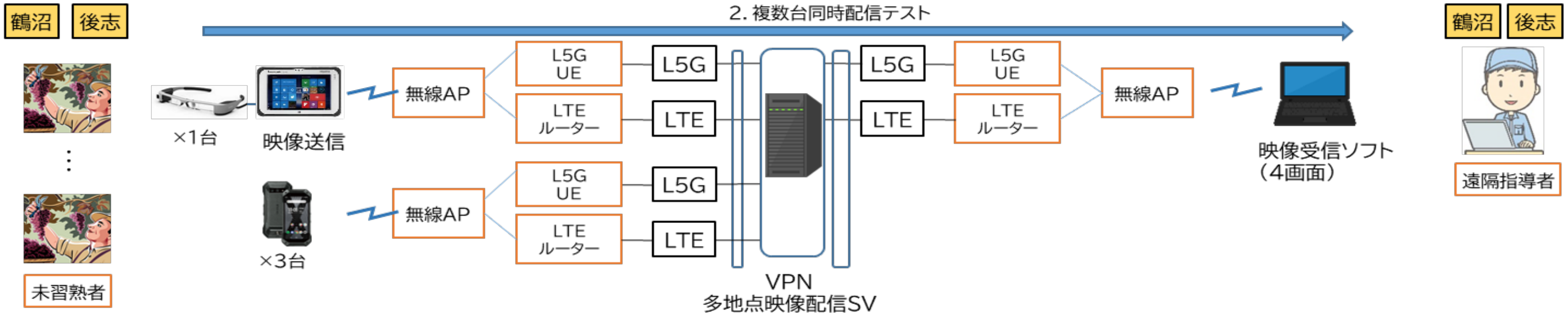
【実証目標】スマートデバイス等を通じた、複数の未熟練者への効率的な栽培指導の実現。

（1）実証方法

（効果検証 ： 生産者によるオピニオン評価）

1)カメラデバイス評価 ・・・ 果樹栽培作業の指導に適したカメラデバイスと装着法を検証

2)複数台同時配信評価 ・・・ 一人の指導者が複数の未熟練者の作業映像を閲覧し指導する際の映像品質・遅延を評価



3)録画映像の評価試験 ・・・ 同時配信試験時の映像録画・再生の映像品質を評価（指導用映像コンテンツへの活用を想定）

（機能検証 ： 生産者によるオピニオン評価）

4)音声機能の検証 ・・・ ウェアラブルスピーカーを活用した音声コミュニケーション機能の評価検証

5)スマートグラスモニター ・・・ スマートグラスのモニターを使い遠隔指導する際の視認性を検証

6)バッテリー容量 ・・・ 連続利用時間、充電時間が栽培業務形態に適するかを確認・検証

（運用検証）

7)機器の運用管理 ・・・ 機器リスト、接続構成図の作成、システム利用管理簿の運用

8)トラブル対応管理 ・・・ トラブルQA等のマニュアル化、故障等トラブル履歴の運用

課題解決システム③IoTセンシングシステム

【実証目標】病虫害予兆のAI判定検出を行い、予兆の種類判別と集計をタイムリーに実施し病虫害によるロス果減少の実現。

（1）実証方法

①（効果検証）

1)AI検出精度 ・・・ AIカメラの映像撮影による病虫害の検出精度を評価、課題の抽出

2)EV走行時の病虫害検出 ・・・ EV走行中に映像撮影しながら病虫害を検出できるか検出結果およびローカル5Gを経由した分析サーバーへのファイル送信を評価

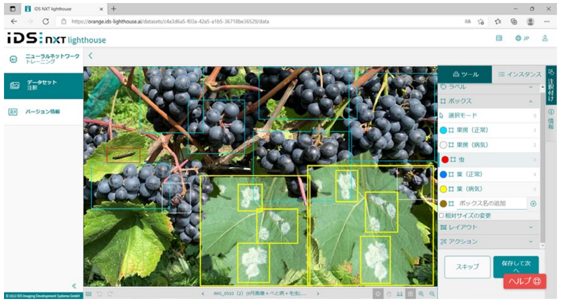
②（機能検証）

1)学習・検出ツール ・・・ AI学習、物体検出、検出状況閲覧、カメラ設定、ログ出力の各機能および操作性を評価

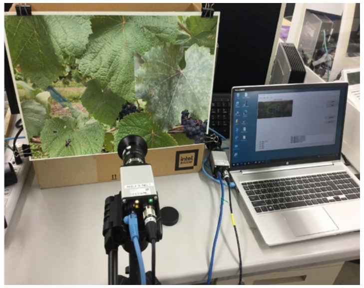
③（運用検証）

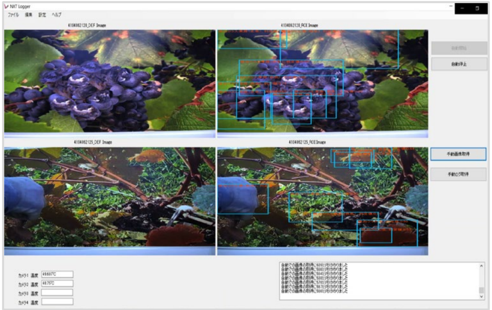
1)運用管理 ・・・ AIカメラの運用管理、運用手順、運用サポートの連絡体制

AI学習（Lighthouse）



AI検出精度測定（ラボ環境）





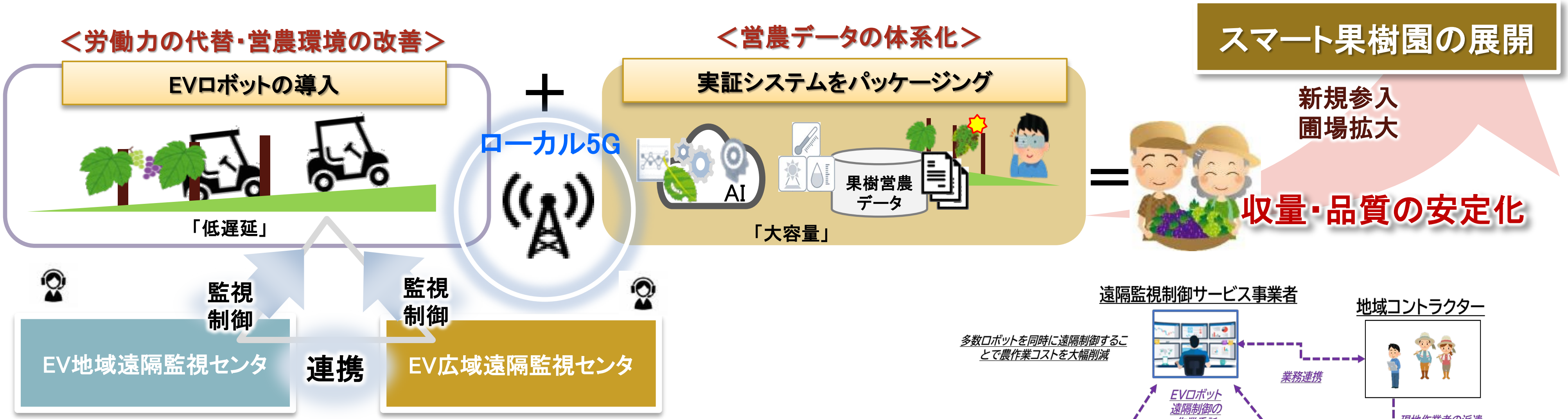
AI検出・判定の様子（Loggerツール）

課題解決システムの検証結果

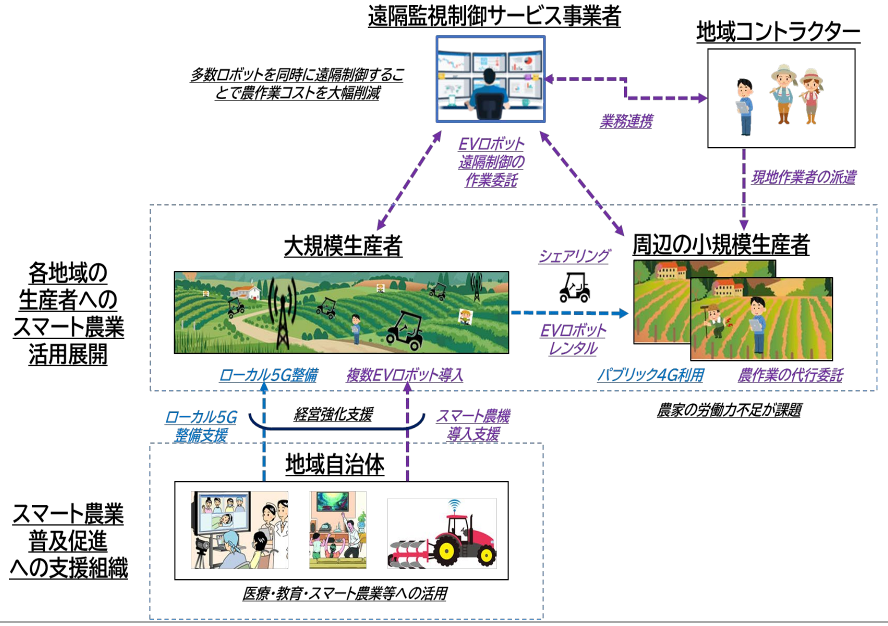
課題解決システム	効果検証	機能検証	運用検証
①リモートEVロボットコントロールシステム	●遠隔制御（監視センターとEVロボット間） ①往復遅延時間 ローカル5G：約35ms　キャリア5G：約97ms 制御動作、緊急停止時におけるローカル5Gの有効性確認 ②EV搭載カメラ映像を監視センタモニタへの表示遅延時間 ローカル5G：約0.2s　キャリア5G：約0.3s カメラ映像伝送におけるローカル5Gの有効性確認 ③複数監視センター間連携 サブ拠点との音声・映像コミュニケーションによる制御の受け渡しに要する時間は30～40sであり運用上問題無し	●EVロボットからのスループット ・上りスループット 約11.5Mbps ・下りスループット 約22.2Mbps 接続断等の通信状態不安定挙動も見られたため、安定性向上が必要 ●遠隔監視制御（緊急停止動作） ・空走距離約0.8m ・制動距離約0.1m 停止距離1m以内達成 ●監視拠点間制御連携 コミュニケーション・リモートからの制御動作連携に動作滞留なく運用問題無し	●EVロボット・コントロール ・事前の走行経路作成にスキルが必要 ・EV制御機器の動作温度、保管場所温度に留意必要 ※上記マニュアル化済 ●監視センター ・遠隔制御、映像監視ともに操作者に高スキルの必要性なし
②スマートガイドシステム	●カメラデバイス評価 [装着性・映像品質]スマホを胸部にハーネス装着が高評価 ●複数台同時配信評価 1Mbps30fpsで映像安定し指導にも適すると高評価 遅延は未習熟者デバイス映像から指導者まで300msec ●録画映像の評価 遠隔指導を録画したコンテンツの映像品質は高評価 （指導用映像コンテンツへの活用可能）	●音声機能の検証 ウェアラブルスピーカーでの音声コミュニケーション機能は高評価 ●スマートグラスモニター スマートグラスのモニター機能は難ありの評価 ●バッテリー容量 連続利用時間、充電時間が栽培業務形態に適すると高評価	●機器の運用管理 ・機器リスト、接続構成図 ・システム利用管理簿 ※運用マニュアル作成済 ●トラブル対応管理 ・トラブルQA等 ・故障等トラブル履歴 ※運用マニュアル作成済
③IoTセンシングシステム	●AI検出精度 病虫害画像の病虫害平均検出率は66% ・果房の病気および虫の検出率が低い ●EV走行時の病虫害検出 病虫害画像の病虫害平均検出率65% ・逆光、照り返しの影響を受け誤認判定するパターン有 ・EV走行時の揺れ、振動影響は無し ・撮影間隔に応じたEV走行スピードの調整が必要	●学習・検出ツール AIカメラ専用ツールの確認 ・GUIによる学習データセット登録 ・AIカメラ　ネットワーク設定 ・AIカメラ　絞り・フォーカス機能 ・（映像による）物体検出機能 ・ログ出力機能	●機材管理 AIカメラ機材管理 運用手順書 についてのマニュアルを整備 問合せ等の連絡体制を整備

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

本実証を通じ、EVロボットによる労働力の代替、複数遠隔監視センタからの連携運用、AI等のデータ活用についての有効性を確認できた。一方で社会実装を進めるには全ての課題解決システムを導入するのではなく、地域のニーズ（必要になるインフラや圃場規模あるいは育成方法の違い等）を吸収しながら、そのコスト感・効果に応じた実装を進めていくことが重要。
（経営効果については次年度の農研機構実証にて実施していく）



計画（例）	A自治体	B自治体	C自治体	D自治体	E自治体
圃場	大規模ワイナリー	中規模ｳﾞｨﾝﾔｰﾄﾞ	小規模ｳﾞｨﾝﾔｰﾄﾞ	参加意向有	－
監視センタ	地域遠隔監視センタ		－	広域遠隔監視センタ	自社監視
通信回線	ローカル5G		LTE	ローカル5G	固定光



まとめ

まとめ

本実証のねらい

中山間地果樹栽培の生産性向上および中山間地果樹栽培の体系化および活性化にむけたローカル5Gの活用評価

1　ローカル5Gを地域で使用する際の技術条件等の検証を実施、課題点等を確認

2　ローカル5Gを使用した課題解決システムを構築、有効性を確認

① スマート農業の社会実装を加速させるための環境形成

・高齢化や働き手不足
・除草・防除の労力・健康被害等
→ EVリモートコントロールシステムの導入
（ロボットによる省人化・遠隔監視による効率化）

② 未熟練者（雇用者・非雇用者）ICT/IoT活用による営農基盤強化（収量・品質の安定化）

・栽培技術の指導レベル平準化　→ スマートガイドシステム
・栽培技術の未体系化　→ IoTセンシングシステム

中山間地特有の地形条件への対応力ならびにスマート果樹園への新たな道筋（課題の解決）を確認することができたため、社会実装に向けての調整を加速していく。