

農業分野の課題解決（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）に向けた
ローカル5G等の技術的条件及び利活用に関する
調査検討の請負

報告書

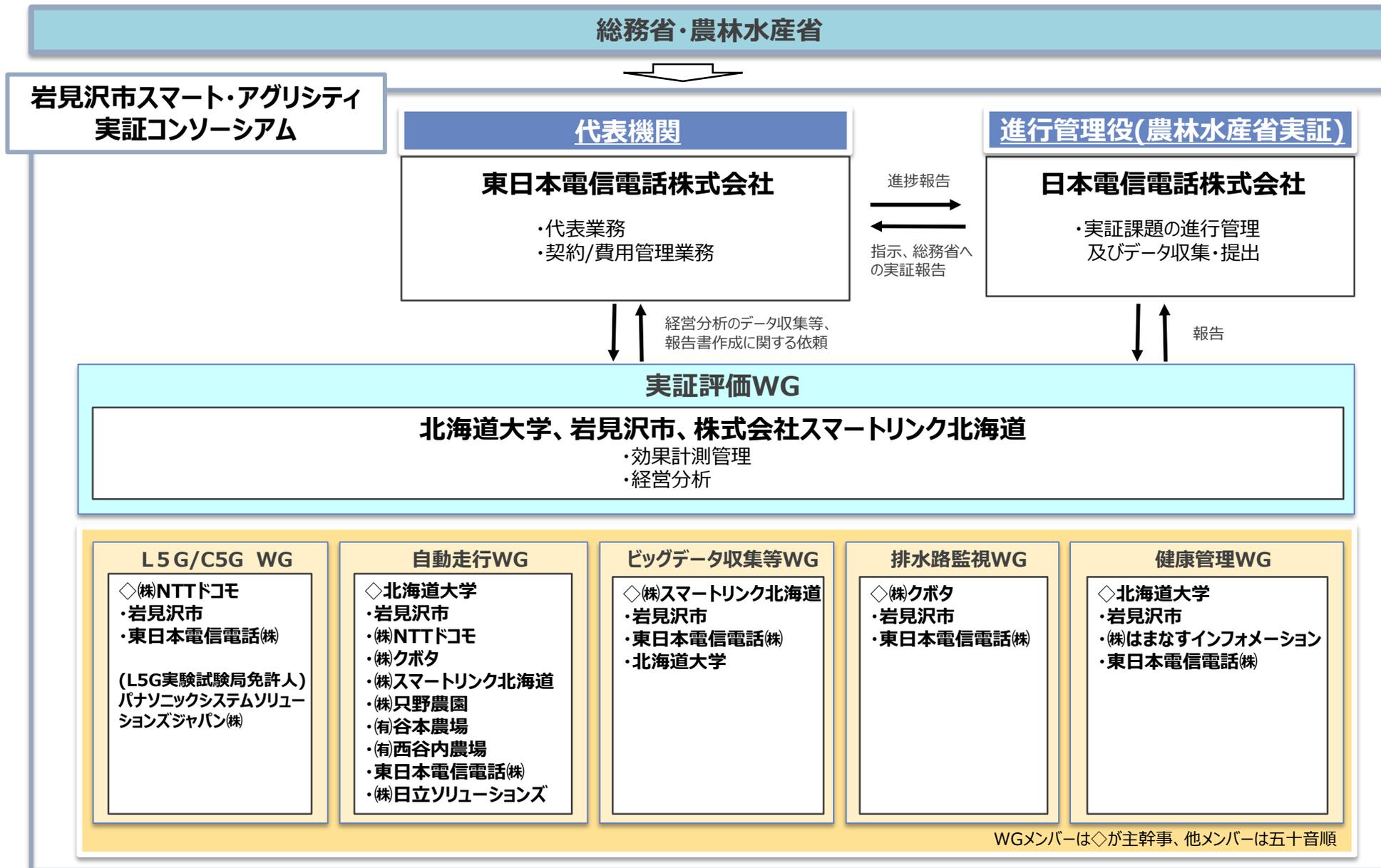
概要版

令和3年3月25日

東日本電信電話株式会社
（岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアム）

実証概要

実証体制



地域課題と解決方法

地域課題

農業従事者の**担い手不足**による
生産量の低下

農家数減少に伴う
農地集約化による**稼働の逼迫**

降雪量増加・温暖化等による
農業基盤の**水害リスク上昇**

高齢化・単独世帯化に伴う
健康リスク上昇

課題解決の方向性

少ない稼働で生産規模の維持・拡大を可能とする**高効率的な営農作業の実現**

農作業**スケジュールの最適化**、**農機の共同利用・作業委託**による営農稼働・コスト削減

水路異常の早期発見、**水位増加予測**による水害リスクの低減

健康状態の本人・遠隔者通知による熱中症等の重症化リスク低減

課題解決システム

自動走行トラクターの遠隔監視制御

ビッグデータ収集

排水路監視システム

ウェアラブル機器による健康管理システム

実証全体像

農業従事者の担い手不足による
生産量の低下

- 農業領域（自動運転トラクター）
圃場内作業（複数台）/圃場間移動
- (1)ローカル5G単体による遠隔監視制御
- (2)ローカル5G・地域BWAによる遠隔監視制御
- (3)ローカル5G・キャリア5Gによる遠隔監視制御

農家数減少に伴う
農地集約化による稼働の逼迫

- 農業領域（ビッグデータ収集等）
LPWA・ローカル5G・地域BWAによる
生育・気象・土壌データ収集など作業
の最適化に資する解析データ配信

降雪量増加・温暖化等による
農業基盤の水害リスク上昇

- 生活領域（排水路管理）
- (1)LPWA、キャリア5G、地域BWAによる水位・流速
データ収集
- (2)LPWAによる排水機場の遠隔監視

遠隔監視センター

光ファイバ網

高齢化・単独世帯化に伴う
健康リスク上昇

- 生活領域（ヘルスケア、防災）
安全安心快適な生活確保
- (1)ローカル5G、キャリア5G等利用したウェアラブル
による健康管理等
- (2)（水位情報に基づく）避難情報送受信等

排水路

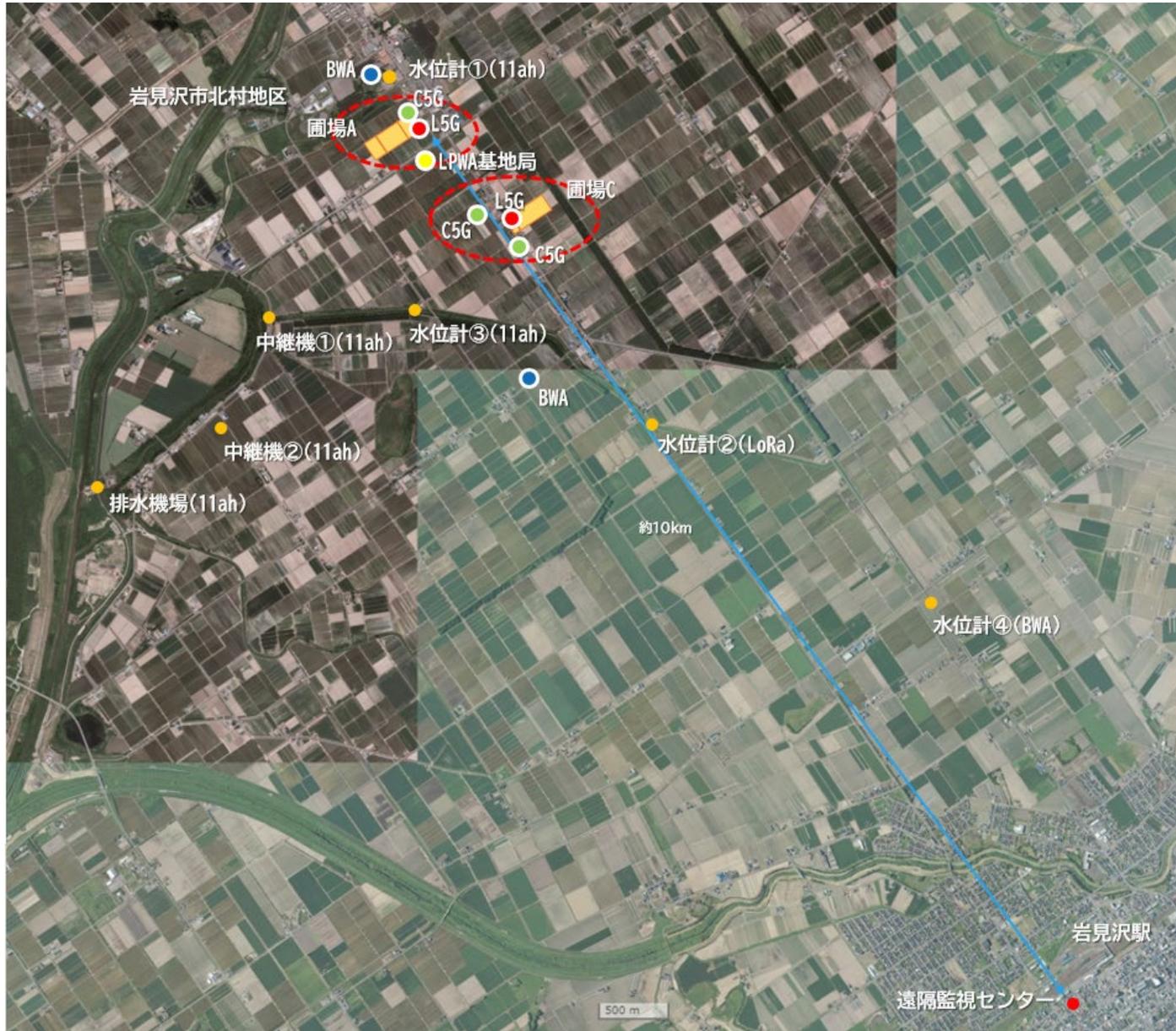
河川、排水路、
堰門監視

：地域BWA/LPWA

：キャリア5G

：ローカル5G（4.8-4.9GHz）

実証拠点位置



実証エリア凡例

- ・自動走行トラクターの遠隔監視制御
 - ・ビッグデータ収集
 - ・ウェアラブル機器による健康管理システム
- ●
- ・排水路監視システム

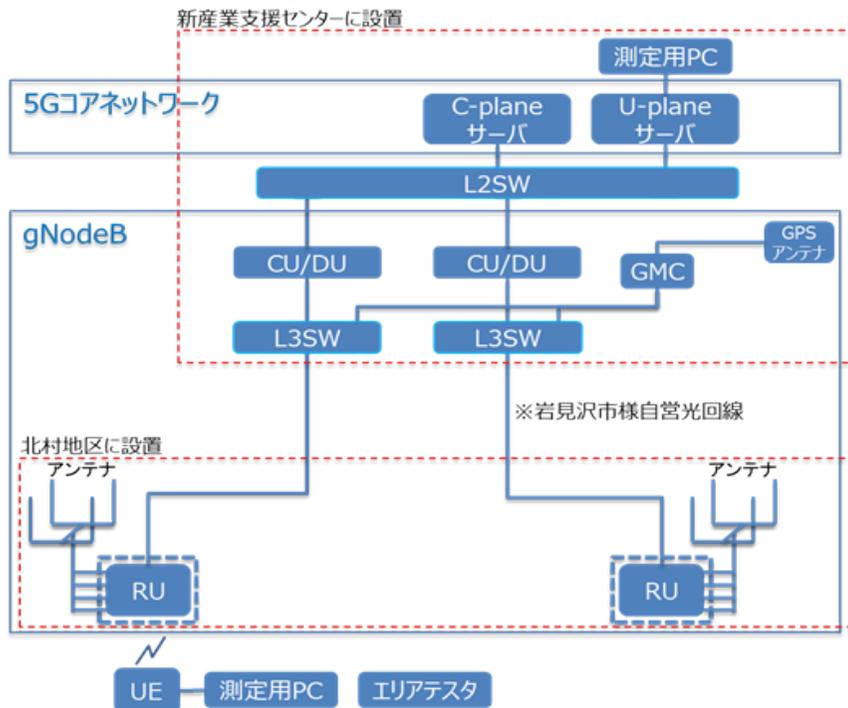
基地局等凡例

- ローカル5G基地局
- キャリア5G基地局
- 地域BWA基地局
- LPWA(11ah、LoRa)基地局
- 排水路監視システム拠点

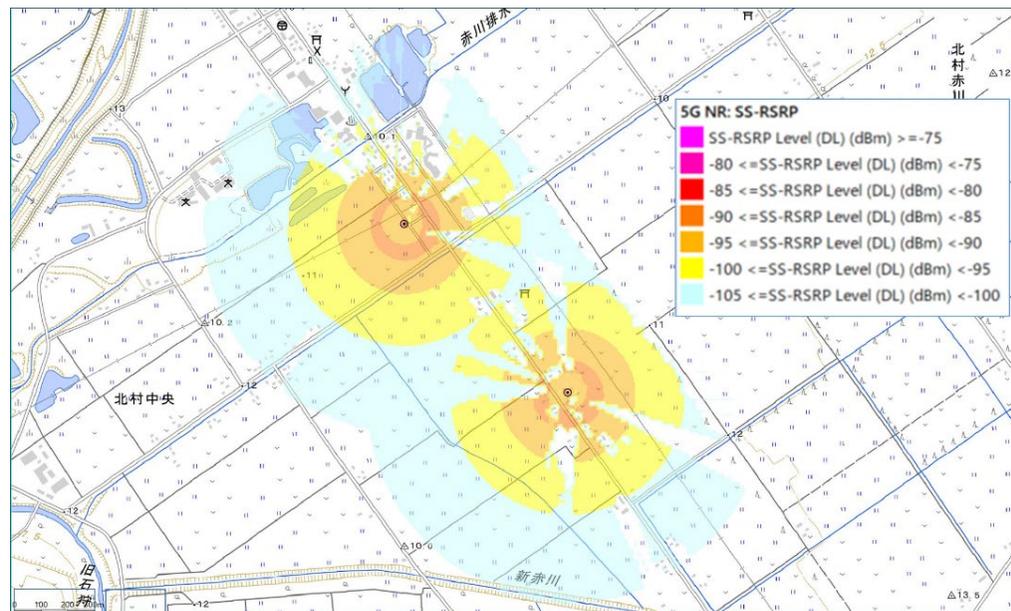
国土地理院(URL:<https://www.gsi.go.jp>)のデータを使用して作成

ネットワーク構成概要

ローカル5Gネットワーク構成概要



ローカル5Gカバレッジエリアシミュレーション



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

ローカル5Gシステム概要

使用周波数	4.8-4.9GHz(100MHz幅)
屋内外環境	屋外環境
遮蔽物の概要(静止・移動、素材等)	農機(測定時は静止、金属) 家屋(静止、木造) 防風林(静止)
反射物の概要(静止・移動、素材等)	なし
端末の台数、静止・移動環境	屋外用端末:10台(測定時は静止)
基地局の台数	2局
同期・非同期運用	同期運用、準同期運用(UL:DL比率 5:5)
DU比	0db地点及び10db地点で測定
構成	スタンドアローン構成

課題解決システムの実証

実証目標

(1) 農業領域(自動走行トラクター遠隔監視制御)

自動走行トラクター等の圃場内複数台協調作業、異なる圃場内の複数台協調作業、圃場間移動の遠隔監視下での安全な運用の実現

(2) 農業領域(ビッグデータ収集)

営農稼働やコスト削減に向けた、農作業データ、気象・土壌等のデータを収集するシステムの構築、収集したデータを利用した、作物の生育ステージの推定、必要な作業実施期間の推定、最も効率的な作業集約日程の推定についての試算

(3) 生活領域(排水路監視)

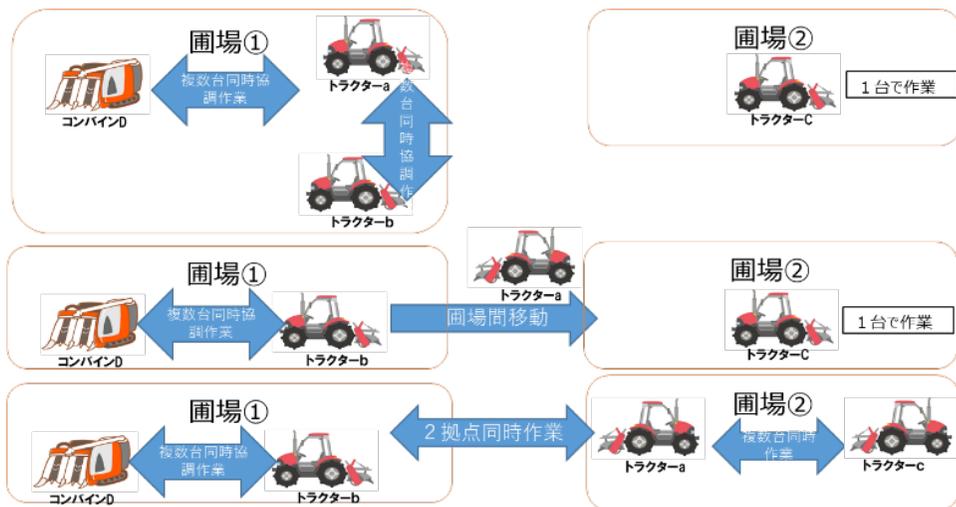
水害リスク低減に向けた、複数の無線通信を使用した排水路監視システムの構築による、水位センシング、自動アラート、遠隔監視の実現、運用面の評価、水位異常発見時の情報伝達時間測定による災害リスク低減評価

(4) 生活領域(健康管理等)

高齢者の熱中症等発生・重症化リスク低減に向けた、ウェアラブル機器による生体情報の把握、家族等への遠隔通知の実現と、サービスの連続運用性、健康リスク低減評価

課題解決システム1 自動走行トラクター遠隔監視制御

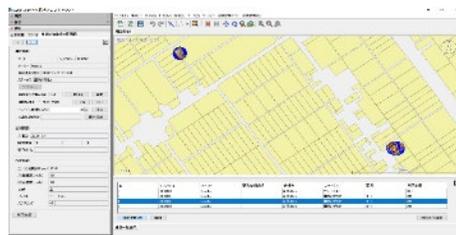
圃場内複数台協調作業、異なる圃場内の複数台協調作業、圃場間移動



遠隔監視からの安全な運用



遠隔監視センター



遠隔制御ソフトウェア

複数台走行試験



公道走行試験

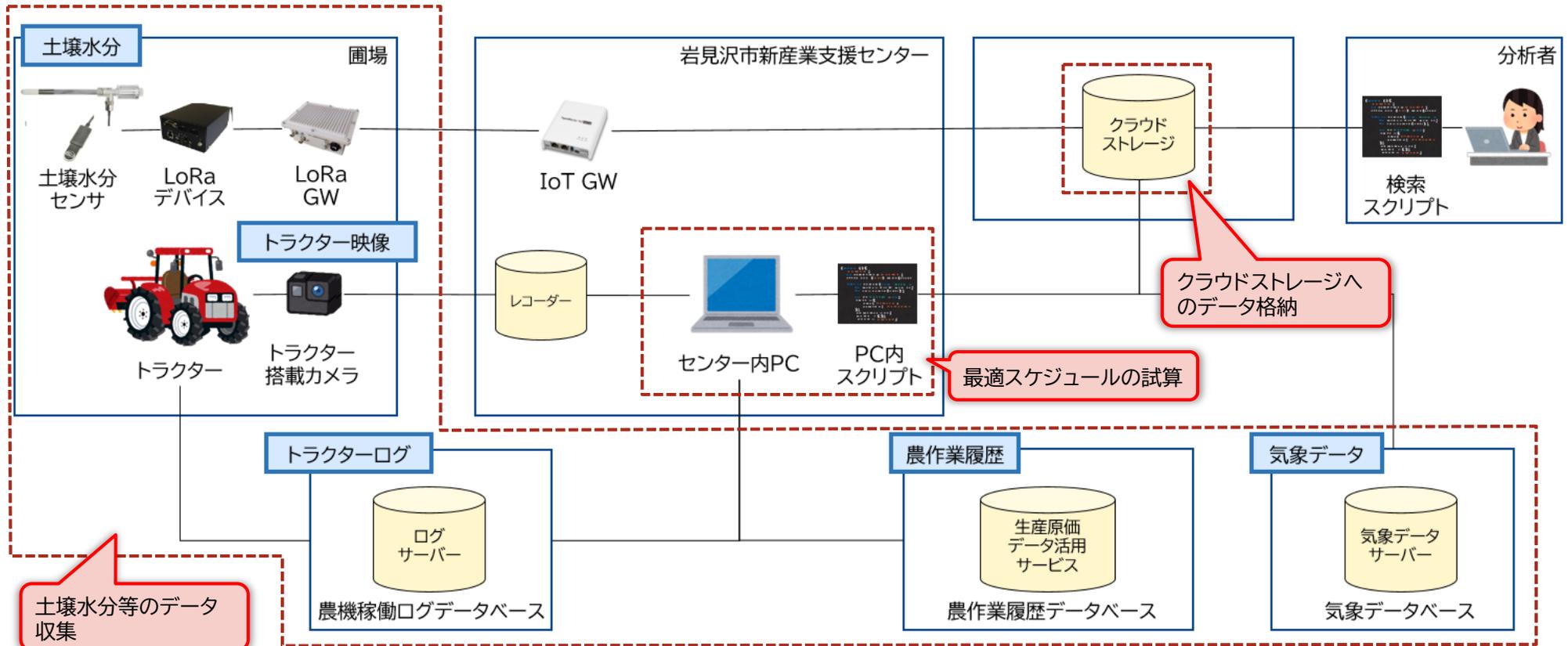


緊急停止試験



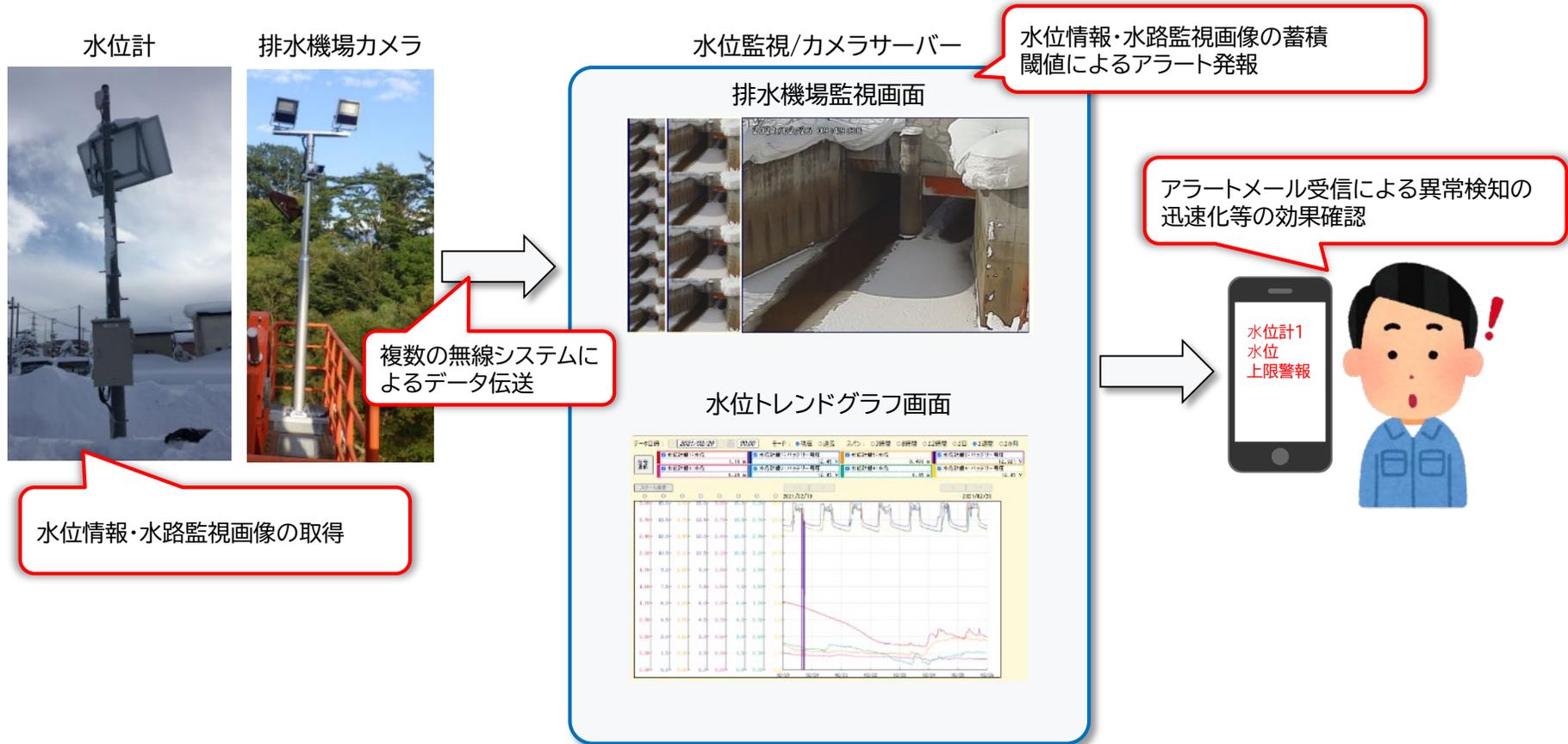
全体検証	効果検証	機能検証	運用検証
全体 <ul style="list-style-type: none"> ローカル5G等の複数の無線ネットワークを用いた遠隔監視制御システムの動作に問題ないことを実運用にて確認 遠隔監視制御による複数圃場でのスマート農機の自動走行、(公道走行を含む)を実運用にて確認 	作業改善効果 <ul style="list-style-type: none"> 作業実績に基づく有人・無人比率から作業時間70%減の現実性が高いことを確認 遠隔制御による安全性・有効性確認 <ul style="list-style-type: none"> 事故、異常走行、異常停止がないことを確認 遠隔からの非常停止動作の有効性を制動距離測定により確認 	撮影機能 <ul style="list-style-type: none"> 夜間走行時のカメラナイトモードの有効性を確認 伝送遅延時間 <ul style="list-style-type: none"> システム全体遅延160~200msから、遠隔制御における通信遅延時間の目標値400ms以下を達成 	同時複数台の遠隔監視制御 <ul style="list-style-type: none"> 遠隔監視・制御同時4台の実現性に問題ないことを実運用にて確認 自動走行トラクターの運用 <ul style="list-style-type: none"> 異常走行、異常停止がないことから、実運用上の問題がないことを確認

課題解決システム2 ビッグデータ収集



全体検証	効果検証	機能検証	運用検証
全体 <ul style="list-style-type: none"> トラクターカメラ映像、トラクター走行履歴データ、土壌水分データ、気象データ、農作業履歴データを収集、保存するシステム構築し、動作に問題ないことを確認 気象データ、農作業履歴データを用いた農作業の最適スケジュール作成を実施、実現性を確認 	スケジュール最適化 <ul style="list-style-type: none"> 気象データ、農作業履歴データから、農作業の最適スケジュールを作成するロジックを作成、試算により実現性を有することを確認 	土壌環境データ取得、伝送 <ul style="list-style-type: none"> 土壌水分センサーを使用したデータ取得、複数の無線ネットワークを使用したデータ伝送に問題ないことを確認 データ収集 <ul style="list-style-type: none"> クラウドストレージへのデータ格納を運用にて問題ないことを確認 	運用面での課題 <ul style="list-style-type: none"> 各種データの収集自動化方式の策定 最適スケジュール作成自動化に向けたデータベース構築 データの収集周期、保管条件、命名規則等の策定

課題解決システム3 排水路監視システム



全体評価	効果検証	機能検証	運用検証
<p>全体</p> <ul style="list-style-type: none"> 水位センサー・監視カメラを複数の無線システム(ローカル5G/キャリア5G/BWA/LPWA)で接続した排水路監視システムを構築、運用に問題ないことを確認 水位データ、監視画像、アラート機能による遠隔からの水路管理が有効であることを確認 	<p>初動対応の迅速化</p> <ul style="list-style-type: none"> 疑似的な水位アラート発生によるメール通知・確認作業に係る時間を計測し有効性を確認 <p>遠隔からの広域水位状況把握</p> <ul style="list-style-type: none"> 複数の水位トレンドの可視化による状況確認・推測の有効性を実運用にて確認 	<p>水路監視機能</p> <ul style="list-style-type: none"> 水位監視機能、水位アラート通知機能、カメラ画像監視機能について、実運用による確認を実施、機能の正常性、性能に問題無い事を確認 	<p>運用面での課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 降雪・荒天長期化時を想定した電源確保、カメラ着雪対処 定期的なアラート閾値の見直しと防災訓練 水位トレンドによる増水予測ノウハウの蓄積

課題解決システム4 健康管理

実証イメージ



画面イメージ



心拍数

体調変化通知

現状表示アイコン
 ・体調
 ・ストレス
 ・暑熱リスク
 ・眠気

全体評価	効果検証	機能検証	運用検証
全体 ・複数ネットワーク(ローカル5G/キャリア5G/BWA/LTE)を使用した健康管理システムを運用し、適正動作、見守りへの有効性を確認	緊急対応・予防効果 ・複数名での運用、アンケート実施により、単独作業時の緊急対応・予防への有効性が期待できることを確認	データ送受信・通知 ・複数ネットワーク(キャリア5G/ローカル5G/地域BWA/LTE)で構成された環境下で実運用することにより、データ送受信および通知の正確性に問題がないことを確認	運用面での課題 ・高齢者の操作習得 ・操作支援体制 ・機器装着への抵抗感低減

ローカル5Gの性能評価等の技術実証

技術実証目標

以下3項目の検証結果を踏まえて技術基準等の見直しに資する新たな知見を得る

(1) フィールドでのローカル5G性能測定及び遮蔽物による性能低下の測定

広大な農地でのローカル5G利用

⇒実証フィールド(圃場)におけるSub6帯での性能を測定

① 性能測定

電波伝搬性能、伝送スループット、伝送遅延を測定

【目標値】(農機自動運転を想定)

－カバレッジエリア:半径500m

－伝送スループット:上り50Mbps

－伝送遅延:400msec(エンコーダー、デコーダー処理遅延含む)

② 遮蔽物測定

3種類の遮蔽物による性能低下の影響を把握

⇒技術的解決方法の検討及び横展開地域に向けた基地局の設置位置や運用時の注意点を検証

(2) キャリア5Gとローカル5Gの干渉による性能低下の測定

同期・準同期運用時は省略可(ガイドライン第2版)とされている干渉調整について、

キャリア5Gとローカル5Gの基地局隣接環境における干渉を測定、影響・条件等について検証

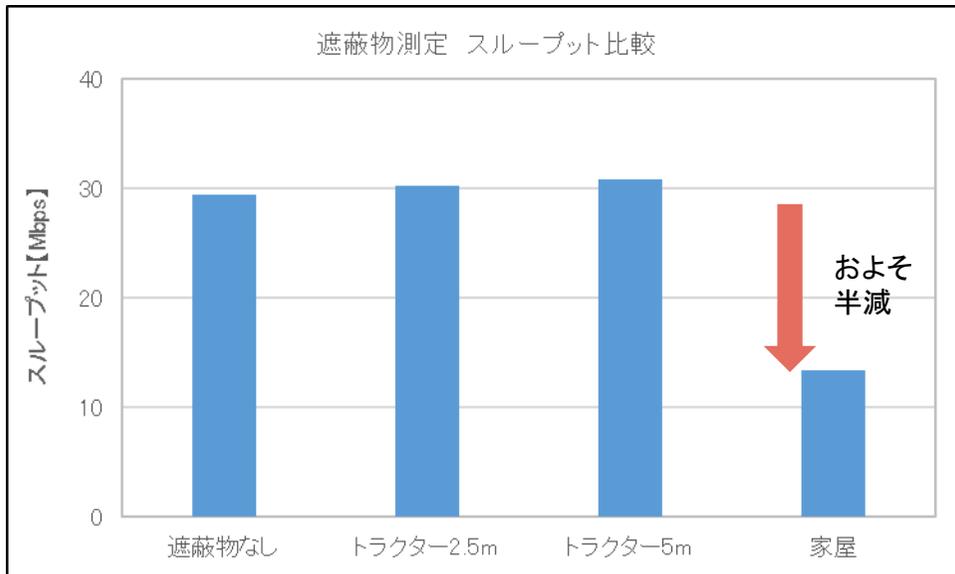
(3) 同一周波数帯を利用する同一システム内の基地局間の干渉による性能低下の測定

Sub6では、屋外利用は4.8-4.9GHzだけで、同一周波数での運用となるため、複数基地局のカバレッジ重複エリアにおける干渉を測定、影響や運用時の注意点について検証

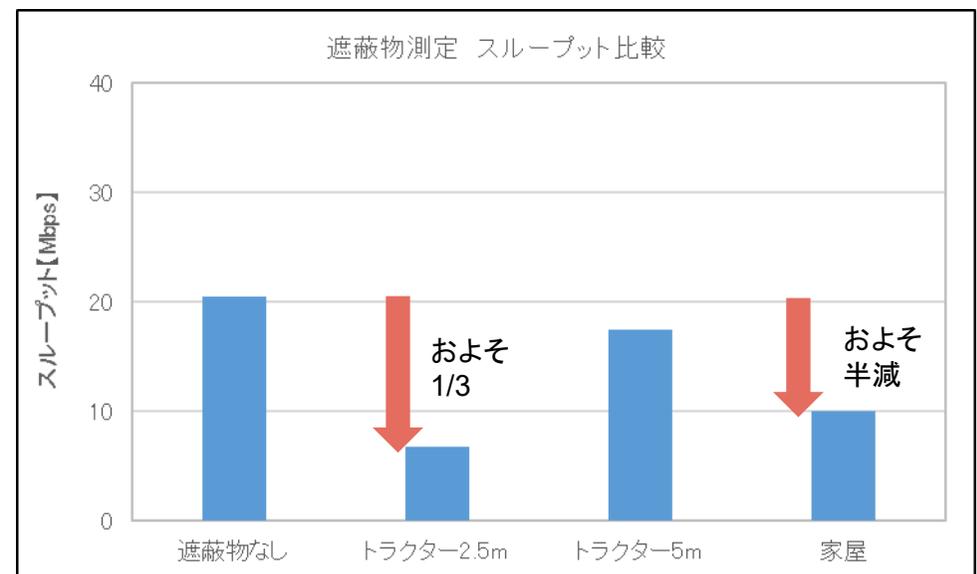
検証結果(1)

フィールドでのローカル5G性能測定及び遮蔽物による性能低下の測定

- ・背景となる技術的課題: Sub6帯は2020年12月に制度化されたばかりのため、フィールドで目標性能を満たすかどうか検証が必要
- ・計測指標: RSRP、伝送スループット、伝送遅延値
- ・評価、検証方法: 遮蔽物なしの状態を基準とし、どの程度性能低下がみられたか検証
- ・遮蔽物: トラクター、家屋、防風林
- ・検証結果:
 - トラクターによる遮蔽⇒ローカル5G端末をトラクター上部に設置することで影響低下が可能
 - 家屋による遮蔽⇒トラクターを上部に設置してもスループットが半減
 - 防風林による遮蔽⇒RSRPが25dB以上低下、端末の接続が不可能なレベルまで低下



遮蔽物測定 上りスループット比較(移動局をトラクター上部に設置)

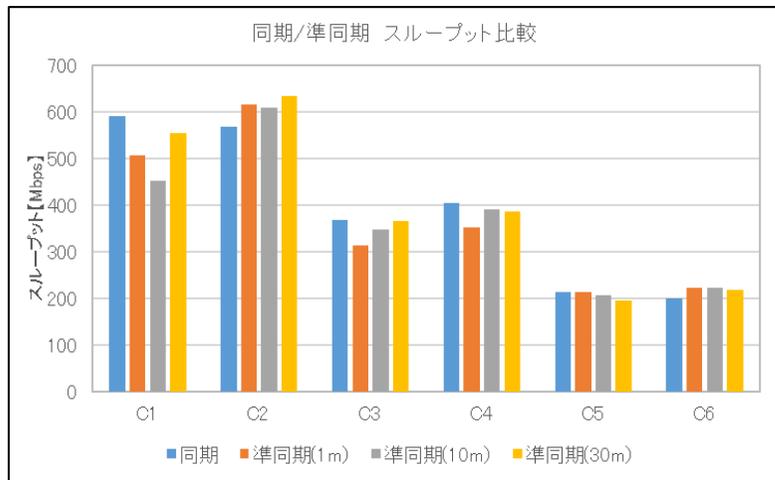
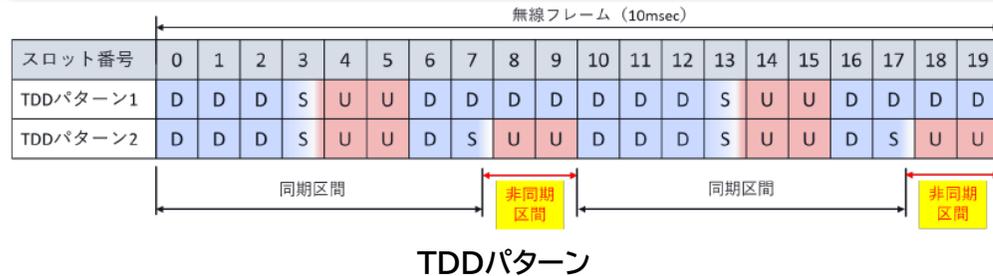


遮蔽物測定 上りスループット比較(移動局をトラクター内部に設置)

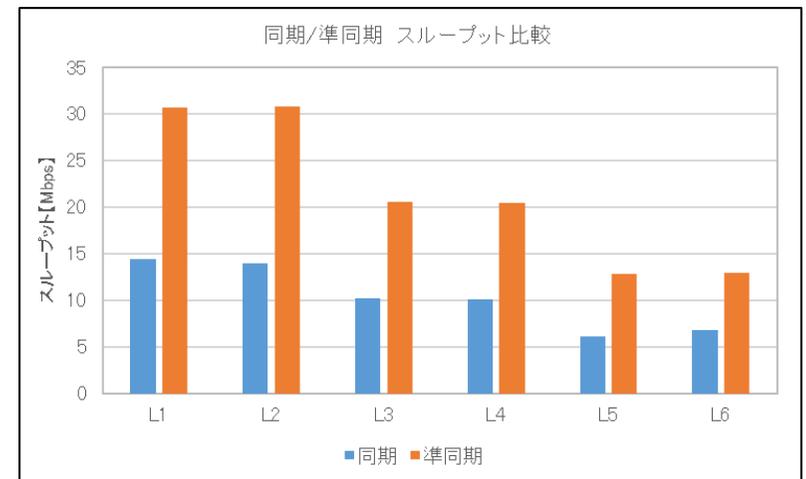
検証結果(2)

キャリア5Gとローカル5Gの干渉による性能低下の測定

- ・背景となる技術的課題: 農機自動運転の社会実装時にはキャリア5Gも組み合わせて利用する可能性があるため、キャリア5Gとローカル5Gの端末を近接(1m)に設置しても性能低下が起きないか検証が必要
- ・計測指標: RSRP、下り伝送スループット(キャリア5G)、上りスループット(ローカル5G)、伝送遅延値
- ・評価、検証方法: ローカル5GをTDDパターン1で同期運用しているときの性能を基準とし、TDDパターン2で準同期運用に変えた場合にどの程度性能低下がみられるか検証
- ・検証結果: キャリア5Gの下りスループット、ローカル5Gの上りスループットともにTDDパターン2の準同期運用に変えても大きな性能低下は見られなかった



同期と準同期下りスループット比較(キャリア5G)

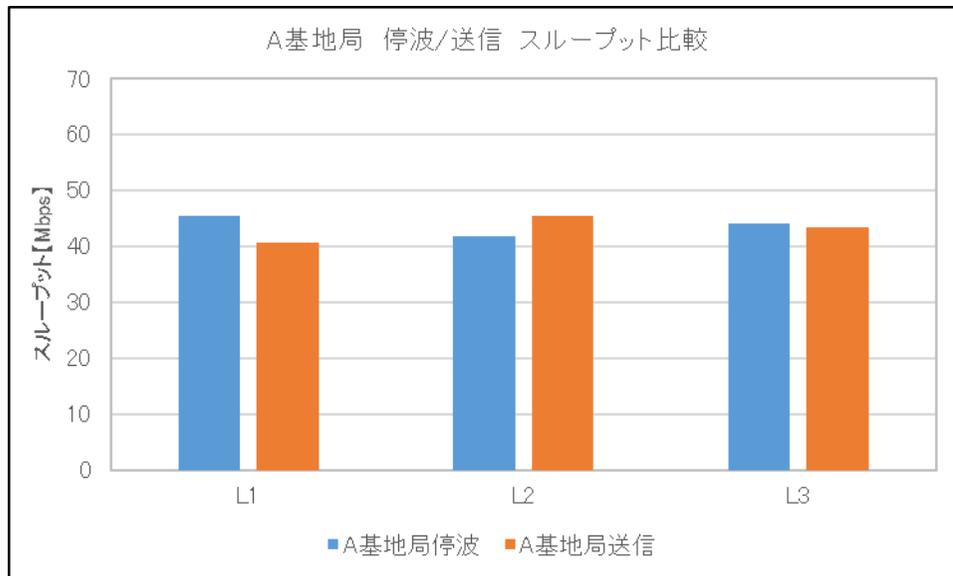


同期と準同期上りスループット比較(ローカル5G)

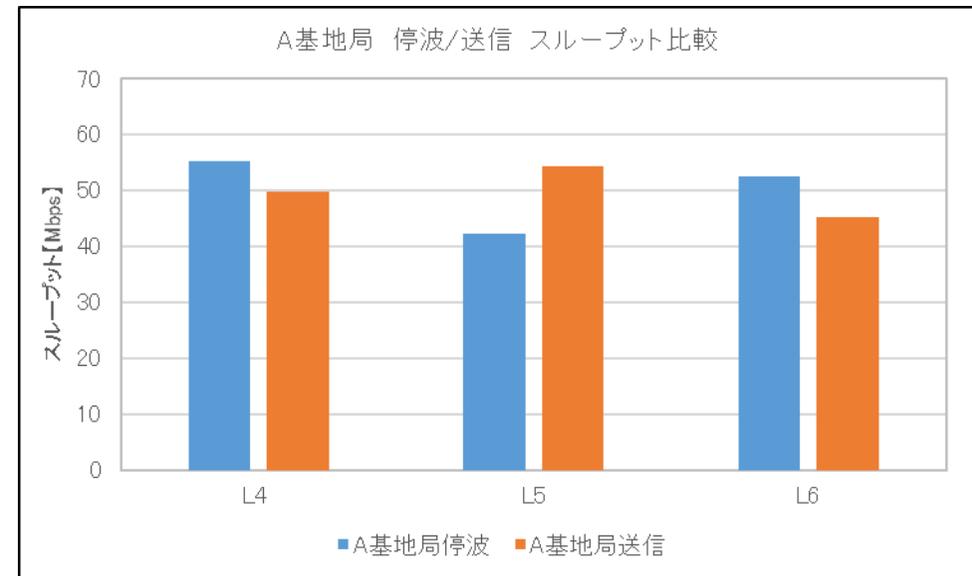
検証結果(3)

同一周波数帯を利用する同一システム内の基地局間の干渉による性能低下の測定

- ・背景となる技術的課題: Sub6では、屋外利用は4.8-4.9GHzだけで、同一周波数での運用となるため、複数基地局のカバレッジ重複エリアでは干渉が起きる可能性がある
- ・計測指標: RSRP、伝送スループット、伝送遅延値
- ・評価、検証方法: 片方の基地局を停波した状態を基準とし、両方の基地局を送波した際のDU比のポイントごとに性能低下の影響を比較する。
- ・検証結果: DU比0dBのエリアでも、DU比10dBのエリアでも性能低下は見られなかった。



下りスループット DU比0dB程度地点



下りスループット DU比10dB程度地点

考察及び更なる技術的課題

(1) フィールドでのローカル5G性能測定及び遮蔽物による性能低下の測定

- ・カバレッジとしては目標の半径500m以上を達成し、広大な農地での利用に適していると考えられる。
- ・スループットについては目標の上り50Mbpsを達成できなかった。機器が開発品であり、フィールドで受信レベルが変動したことが原因と考えられる。
- ・遅延値については、目標の400msec(機器の処理遅延含む)を達成し、200msec程度の遅延で映像伝送できており、十分な性能が確認された。
- ・遮蔽物による遮蔽はローカル5G端末をトラクター上部に取り付けることで性能低下を抑えられる場合もあるが、家屋など高さのある遮蔽物ではスループットが半減する。
- ・防風林はかなり電波を遮り、同距離のポイントと比較して25dB以上もRSRPが低下した。防風林を境界とし、別の基地局を設置するエリア設計を推奨する。

(2) キャリア5Gとローカル5Gの干渉による性能低下の測定

- ・準同期運用の場合、端末を近接(隔離距離1m)させてもスループット等性能低下は見られないことからガイドライン通り干渉調整は不要であることが確認できた。

(3) 同一周波数帯を利用する同一システム内の基地局間の干渉による性能低下の測定

- ・DU比0dBのポイントでもDU比10dBのポイントでも性能低下は見られなかったが、端末を移動させて利用する場合はハンドオーバー機能を実装した機器を選定したほうがより安定した運用が可能と考える。

(4) 更なる技術的課題

- ・遮蔽物による性能低下に対しては基地局アンテナ高を上げることで改善が図れる見込みがあり、実際の走行ルートで発生する遮蔽物との距離を踏まえて検証する必要がある。
- ・本実証では準同期でも上りスループットが平均値17.2Mbps、最大値42.2Mbpsという結果となった。ユースケースとしてより多くのトラクターを走行させる場合、上りのスループットはさらに必要になるため、準同期以上にULのスロットを増やす非同期での検証も必要だと考える。
- ・DU比が0dB程度のエリアに端末を固定して設置する場合には「空中線利得は20dBi以下であること。ただし、等価等方輻射電力が43dBm以下である場合は、この限りではない。」という規定に則り、さらに指向性のある端末を選定するとDU比を安定させることが可能と考えられる。指向性のある端末を選定することでどの程度安定するのか、本実証結果と比較し検証する必要があると考える。

(5) 制度上の課題

- ・本実証のユースケースは複数圃場での作業や公道での走行を行うことから、ローカル5Gガイドラインの規定では「他者の建物または土地等での利用(他社土地利用)」に分類されるため、固定通信(原則として、無線局を移動させずに利用する形態。)の利用に限定されてしまうため、制度として他社土地での移動通信の利用可能条件を設けてほしい。

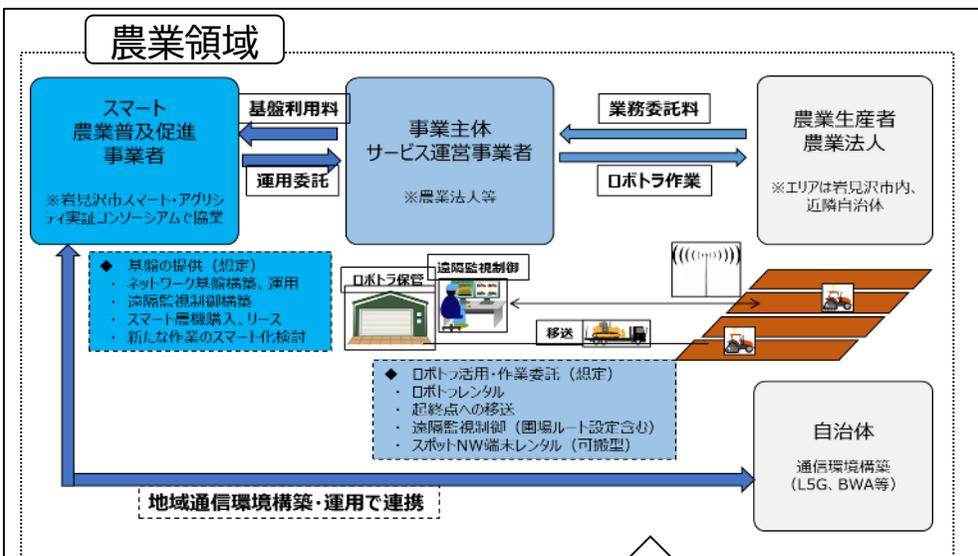
実装・横展開に関する検討

持続可能な事業モデル等の構築・計画

スマート農機、通信環境、遠隔監視等必要な機材を含めた委託サービス体制を構築し、生産者等が委託料を支払ってサービスを利用するモデルにより、生産者の収入増、事業の持続性を図る

【課題解決】農業生産者：働き手が不足、生産者の高齢化、耕作面積が広い
スマート農業：スマート農機が高い、通信環境が不足、ITスキルが必要

事業モデル



通信環境等の活用による費用分担

生活領域等

排水路監視



健康管理



除雪作業



草刈作業



実装スケジュール

	2020年度 (総務省事業) (農水省事業)	2021年度 (農水省)	2022年度 (産官学包括連携)	2023年度 (産官学包括連携)
自動トラクター技術開発	遠隔監視制御 A1障害物検出、GNSS受信NGの自立走行等		実証・知見収集	トラクターへ実装
レベル3安全性確保ガイドライン	評価項目検討	評価実証・提言	知見提供	ガイドライン制定
ビックデータ収集、分析	データ収集 (新規・既存) データ分析 (作業スケジュール)	データ分析 (土壌水分 農機稼働状況) データ収集 (農機稼働スケジュール、経営分析)	農機シェアリング実証	自動農機シェアリング実装
排水路監視	水位データに基づく通報 (防災システム連携)	排水路管理試験運用・実装		
健康管理	健康データに基づく緊急通報等	健康管理試験運用・実装		
事業モデル	モデル検討・構築	モデル検証 (経営分析)	ビジネス試行	展開・評価・改善

実装上の課題

- ・レベル3における安全性確保ガイドラインの策定
- ・道路交通法、ローカル5G(私有地)など法整備
- ・通信環境整備費用(光ファイバ、5G等)の負担
- ・リスク評価及び対応策の検討

横展開に資する普及モデルに関する検討

(1)想定されるターゲット

①農業領域

耕作放棄地や農業生産者減少による過疎化に直面している地域、若手生産者が多く耕作面積が年々拡大している地域、且つスマート農業導入の意識が高く、補助金の活用や街全体のスマート化(スマートシティ構想)を検討している自治体や、JA等の農業団体が存在する地域をターゲットとする。

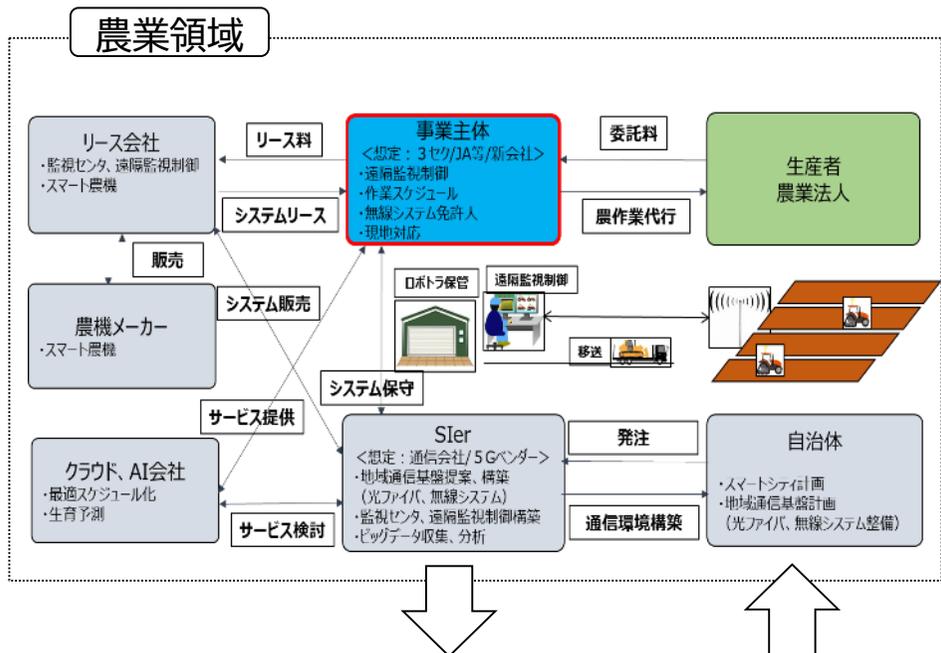
②生活領域

排水路監視は防災、減災の観点から全自治体をターゲットとする。健康ウェアラブルは高齢者が多い農業生産者や林業生産者の多い自治体やJA等農業協同組合、森林組合などをターゲットとする。

横展開に資する普及モデルに関する検討

(2)体制・事業スキーム等

【体制・事業スキーム】



通信環境等の活用による費用分担
(Sier⇒自治体)

生活領域等

排水路監視



健康管理



除雪作業



草刈作業



【役割】

事業主体

- ・農業生産者、農業法人へ農作業委託サービスの提供
- ・スマート農機、遠隔監視センターの運用

Sier

- ・事業主体へ監視センター、遠隔監視制御等システム提供
- ・自治体へ地域通信環境提案、構築
- ・ビッグデータ収集、分析による最適作業スケジュール構築
- ・生活領域等他分野への通信環境の活用検討

自治体

- ・地域通信環境計画の検討、活用
- ・スマート農業普及の促進

リース会社

- ・Sierのシステムを購入し、事業主体へリース

農機メーカー(複数のメーカーを想定)

- ・安全性確保ガイドラインに則したスマート農機の開発

クラウド、AI会社

- ・Sierと協業しながらビッグデータの収集、分析検討

横展開の課題

- ・通信環境整備費用(光ファイバ、5G等)の負担
- ・農地の区画整理状況
- ・事業主体の安定した経営の持続化
- ・事業主体の人材確保、スキル等

横展開に資する普及モデルに関する検討

(3)生活領域にける普及モデルに必要な要素

①スマート農機

安全性確保ガイドラインに基づいて販売されているスマート農機(トラクタ、コンバイン)に、遠隔制御に必要な機能を追加

【スマート農機標準機能】

- ・測位衛星+測位補強信号により無人で走行できる機能
- ・周囲センサーによる自動停止機能

【追加機能】

- ・4K映像撮影・送信機能
- ・ローカル5G通信機能
- ・駆動系の遠隔制御機能

②ローカル5G通信環境

技術基準適合証明を受けたローカル5G無線システム(5Gコア装置、基地局、移動局)

【移動局機器】

ローカル5G無線設備のシステムとして技術基準適合証明を受けた製品が必要

【基地局間ネットワーク】

5Gコア装置と基地局間は光ケーブルで接続する必要があり、自治体等で整備された自営光設備を活用するか新たに整備が必要

③遠隔監視制御(センター)

【必要機器等】

- ・監視センタースペース
- ・モニター
- ・映像受信機器
- ・ネットワーク機器
- ・遠隔制御用ソフトウェア

【遠隔制御ソフトの機能】

- ・スマート農機の位置情報に基づいた稼働マップ作製
- ・スマート農機への開始・停止・再スタート信号送信による遠隔制御機能

④最適作業スケジュール

【必要なデータ】

- ・地区を細分した気象観測データ
- ・スマート農機の稼働情報
- ・乾燥機等の農業関連機器の稼働情報
- ・農作業日報、標準作業スケジュール等の作業日程
- ・作物毎の積算気温等の育成情報

【機能】

- ・作物の生育ステージの推定
- ・必要な作業実施期間の推定
- ・最も効率的な作業集約日程の推定

実装・横展開に関する検討

共同利用型プラットフォームに求められる機能

今回の実証を通じ「5Gソリューション提供センター(仮称)」についてプラットフォームのあるべき姿を検討し、センター機能として、以下の2つの機能から企画・設立検討していくことが望ましいと考えます。

- ①ローカル 5G 実証成果等を横展開するためのインデックス機能
- ②エッジプラットフォーム連携機能

事業種別	事業者例	ビジネス領域
垂直統合型	大手SIer等	各分野への従前からの知見・実績等を活かし、アプリケーションに加えハードウェア、インテグレーション、保守、運用等を囲い込み、1つのユーザからの収益最大化を目指す。 そのため、5Gソリューション提供センターへのアプリケーション提供には一定のハードルがあると想定される。
通信キャリア型	固定通信、携帯電話事業者等	アクセス回線や接続回線の販売に資するアプリケーションの提供を行いネットワーク収入による収益最大化を目指す。 そのため、5Gソリューション提供センター上のアプリケーション活用が自社のネットワーク販売に寄与するのであればサービス提供の意欲は高いと想定される。
ソフトウェア提供型	アプリケーション提供事業者	ソフトウェア販売、ライセンス提供にて収益最大化を目指す。 そのため、5Gソリューション提供センターにアプリケーション提供することで販売機会の増が見込めるのであればサービス提供の意欲は高いと想定される。

まとめ

まとめ

地域課題

就業人口減少や稼働負担増が深刻化する農業分野の持続性確保と地域整備・コミュニティ活性化

本実証のねらい



Society5.0社会の実現に向けた「スマート農業の社会実装」と「地域整備・コミュニティの高度化」の実現性評価および必要な通信インフラ基盤の検証

1 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
 - ・高効率化による生産性維持向上 → 自動走行トラクターの遠隔監視制御
 - ・生産者の導入推進・持続性確保 → 作業スケジュールの最適化
- ② ICT/IoT活用による定住基盤・産業基盤強化(安心・安全な生活環境)
 - ・生活・農業基盤の水害リスク低減 → 排水路遠隔監視
 - ・住民の健康リスク低減 → 健康状態可視化・遠隔見守り

2 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

- ・ ローカル5GをTDDパターン2で運用し、キャリア5G端末とローカル5G端末を近接(1m隔離)させても干渉による性能低下は見られない。
- ・ 2基のローカル5G基地局のカバレッジ重複エリアでも干渉による性能低下は見られない。

事業モデルの持続性向上に向けて、作業スケジュールの最適化および農機のシェアリング・作業委託の検証を、農林水産省スマート農業実証プロジェクト(ローカル5G)にて継続実施