

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

成果報告書

令和 3 年 3 月 31 日

東日本電信電話株式会社

目次

1. 全体概要	1
1.1 背景・目的	1
1.2 実施事項	1
1.2.1 課題解決システム実証 1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）	1
1.2.2 課題解決システム実証 2：農業領域（ビッグデータ収集）	3
1.2.3 課題解決システム実証 3：生活領域（排水路監視等）	4
1.2.4 課題解決システム実証 4：生活領域（健康管理等）	4
1.3 実証目標	7
1.3.1 課題解決システム 1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）	7
1.3.2 課題解決システム 2：農業領域（ビッグデータ収集）	7
1.3.3 課題解決システム 3：生活領域（排水路監視等）	7
1.3.4 課題解決システム 4：生活領域（健康管理等）	7
1.4 実施体制	8
1.5 実証スケジュール	11
1.6 免許申請の概要	12
2. 実証地域	16
2.1 実証地域の概要	16
2.2 実証地域の気候条件	18
2.3 実証地域の農業	18
2.4 実証対象圃場	21
2.5 実証地域の課題	22
2.6 実証地域における課題解決システムの役割	22
3. 実証環境	24
3.1 ネットワーク構成	24
3.2 システム機能・要件・性能	41
3.2.1 ネットワークシステム機能・要件・性能	41
3.2.2 課題解決システム機能・要件・性能	45
3.3 実証環境の運用	51
3.3.1 説明会	51
3.3.2 連絡体制	55
3.4 関連事業	56
4. 課題解決システムの実証	57
4.1 前提条件	57
4.2 実証目標	60

4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析	62
4.3.1 アー1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）	62
4.3.2 アー2：農業領域（ビッグデータ収集）	91
4.3.3 アー3：生活領域（排水路監視等）	98
4.3.4 アー4：生活領域（健康管理等）	118
4.4 課題解決システムに関する効果検証	126
4.4.1 イー1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）	126
4.4.2 イー2：農業領域（ビッグデータ収集）	130
4.4.3 イー3：生活領域（排水路監視等）	133
4.4.4 イー4：生活領域（健康管理等）	135
4.5 課題解決システムに関する機能検証	138
4.5.1 ウー1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）	138
4.5.2 ウー2：農業領域（ビッグデータ収集）	139
4.5.3 ウー3：生活領域（排水路監視等）	143
4.5.4 ウー4：生活領域（健康管理等）	154
4.6 課題解決システムに関する運用検証	156
4.6.1 エー1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）	156
4.6.2 エー2：農業領域（ビッグデータ収集）	157
4.6.3 エー3：生活領域（排水路監視等）	159
4.6.4 エー4：生活領域（健康管理等）	163
4.7 まとめ	166
4.7.1 農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）	166
4.7.2 農業領域（ビッグデータ収集）	167
4.7.3 生活領域（排水路監視）	167
4.7.4 生活領域（健康管理等）	168
5. ローカル 5G 技術実証	170
5.1 前提条件	170
5.1.1 ローカル 5G システム概要	171
5.2 実証目標	183
5.3 ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価等	190
5.3.1 ローカル 5G の性能評価について	190
5.3.2 性能測定（直線上測定）	193
5.3.3 性能測定（面的測定）	210
5.3.4 遮蔽物による影響測定について	230
5.3.5 類似調査との比較検討	244
5.3.6 更なる技術的課題及び制度上の課題	246
5.4 ローカル 5G のエリア構築やシステム構成の検証等	248
5.4.1 キャリア 5G 被干渉影響測定	251
5.4.2 ローカル 5G 被干渉影響測定	262
5.4.3 更なる技術課題	267
5.5 その他ローカル 5G に関する技術実証	268

5.5.1 ローカル 5G 基地局間干渉影響測定	268
5.5.2 更なる技術課題	274
5.6 まとめ	275
6. 実装及び横展開に関する検討	277
6.1 前提条件	277
6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定	280
6.2.1 実証終了後の継続利用	280
6.2.2 事業モデル	282
6.2.3 実装計画	288
6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討	289
6.3.1 普及モデル	289
6.4 まとめ	306
7. まとめ	307
8. 参考資料	308
8.1 活動実績	308
8.2 報道実績	311

1. 全体概要

1.1 背景・目的

我が国では、少子高齢化による生産年齢人口の減少が急速に進行しており、特に農業分野では、生産者の高齢化による稼働負担増加や担い手不足が深刻化しています。地域産業の根幹である農業の持続性を確保するためには、生産性向上や収益性向上、稼働負担減少による営農環境の改善が必要であり、ロボット技術や AI、IoT 等の技術を活用した「スマート農業」の社会実装を早急に実現する必要があります。

スマート農業の社会実装には、生産現場である圃場等のエリアをカバーする最適な地域情報通信基盤の整備が不可欠であり、特に自動走行を実現するスマート農機（ロボットトラクター、自動アシストコンバイン等）の普及展開においては、高速・広帯域・低遅延の無線通信の必要性が高くなることが想定されます。

スマート農機の自動走行は、慣行有人作業と比較して稼働時間の削減を図ることができ、また複数台で協調作業を行うことにより、複数の農作業を同時に行うことも可能であることから、生産性の向上や稼働の削減効果に大きな期待が寄せられています。

現在、農林水産省から示されている「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」において、安全性の観点からロボットトラクターの稼働時は近傍での有人監視が必要とされていますが、今後更に就農者が減少していく状況において、個々の生産者が複数の離れた圃場を管理するケースが増加する事が想定されることから、限られた期間に効率的に農機を運用することのできる、遠隔制御による自動走行トラクター等農機運用の必要性は非常に高くなるものと想定されます。

本実証は、Society5.0 の実現に向けた通信システムの検証として、超高速・超低遅延・多数同時接続を実現し、地域や産業の個別ニーズに応じて地域の企業や自治体等の様々な主体が柔軟に構築可能な第 5 世代移動通信システムである、ローカル 5G について電波伝搬特性等の技術的検証を行うとともに、農業分野（水稲作、畑作等）の露地栽培を対象に、ローカル 5G 等を用いた「スマート農業」の具現化や、農業領域、生活領域における地域課題の解決に向けたローカル 5G および複数の無線通信システムの利活用に関する検証・評価を実施したものです。

1.2 実施事項

1.2.1 課題解決システム実証 1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）

農機の自動走行についての実証として、無人走行が可能なコンバイン、トラクター（自動走行トラクター等）を使用した遠隔監視下での無人走行を実施し、圃場間移動、複数台農機の同時遠隔制御による協調作業等の複数のユースケースを想定した走行パターンの試験を実施しました。

遠隔制御に使用するネットワークの検証として、ローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA の複数ネットワークについての試験を実施しました。

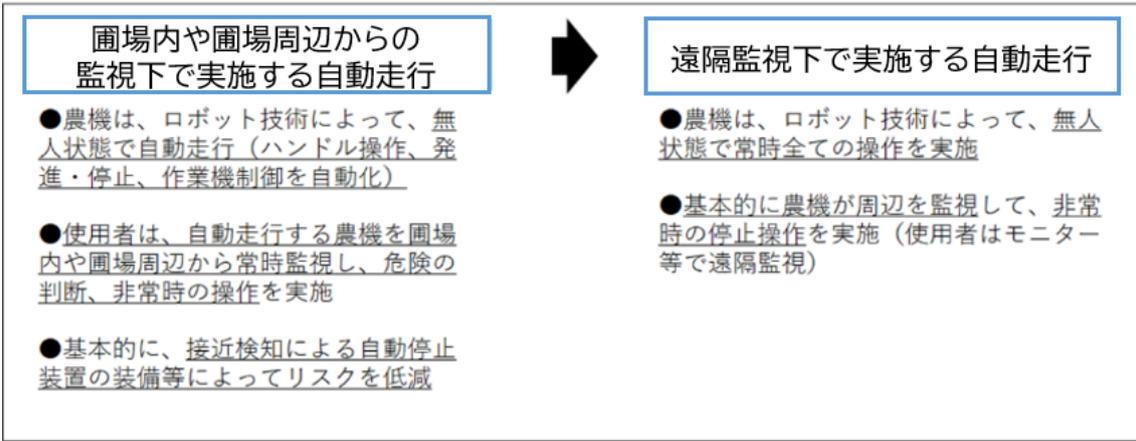


図 1.2.1 近接監視と遠隔監視による自動走行の違い

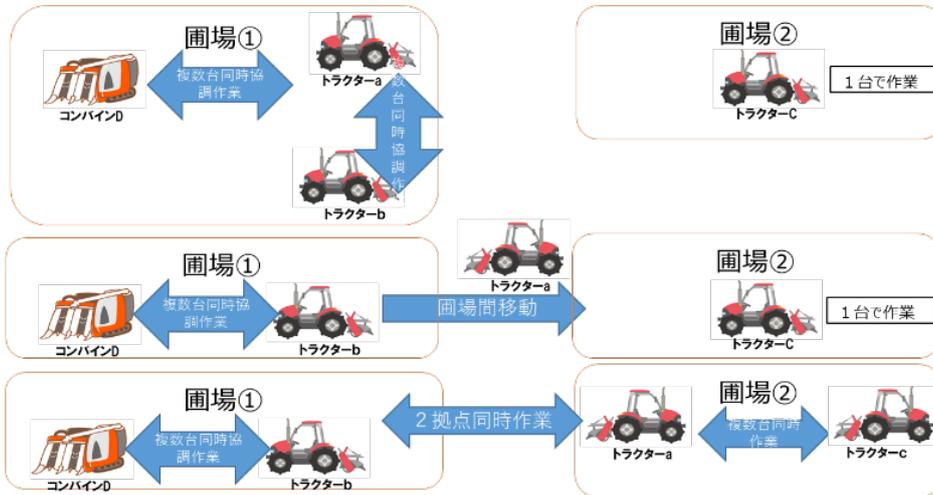


図 1.2.2 農機自動走行のユースケース

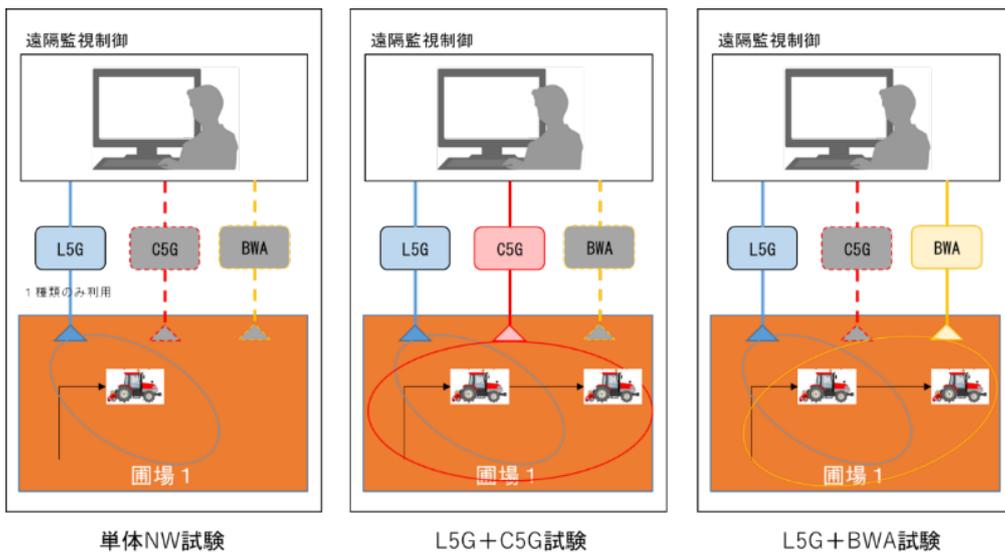


図 1.2.3 ネットワーク試験組み合わせ

【実証項目】

- ・ トラクターの遠隔監視に関する検証（走行監視に効果的なカメラ機能、解像度、フレーム数、画角調整、エンコード/デコード、映像伝送方式）
- ・ トラクターの遠隔制御に関する検証（作業開始・停止、緊急停止）
- ・ 自動運転農機における安全対策の検証

1.2.2 課題解決システム実証 2：農業領域（ビッグデータ収集）

農作業に係るビッグデータを活用した、農作業の最適な実施時期や作業スケジュールおよび農機シェアリング作業の分析を検証しました。

自動走行トラクターの走行履歴（経路情報等）、農作業履歴、気象データ、土壌センサーのIoTデータを、ローカル5G・キャリア5G・LPWA・地域BWA等の複数の無線通信システムを利用して収集するシステムを構築し、各データの収集における課題を検証しました。

農作業履歴、気象データについては各種データ提供サービスからデータを収集し、土壌水分等のデータについてはセンサーによる測定データを収集し、クラウド上に保存します。

土壌センサーについては、実際の圃場に設置してデータ収集するのではなく、試験的にデータを測定しサーバーに収集できるかを検証しました。

IoTデータをサーバーに収集し、各種データを連携させ分析することで、農家にあった最適な農作業計画が可能であるかを検証しました。

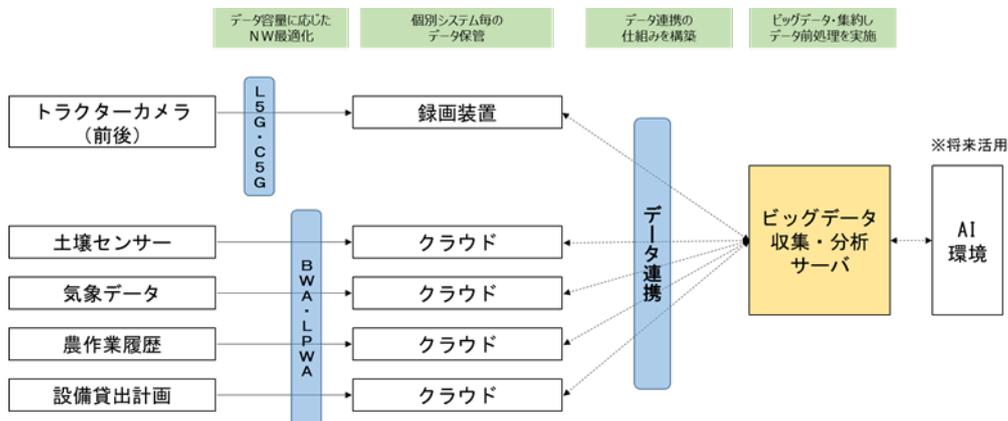


図 1.2.4 データ連携概要図

【実証項目】

- ・ 複数の無線通信システムを使用したIoTデータの収集における課題把握
- ・ IoTデータを活用した農業の最適な作業実施時期や作業スケジュール、農機シェアリングの分析機能検証

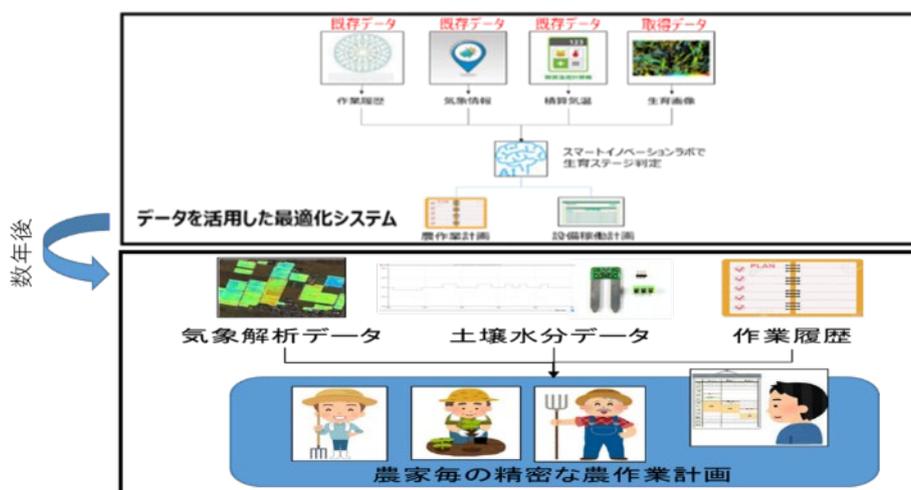


図 1.2.5 スマート農機シェアリングイメージ

1.2.3 課題解決システム実証 3：生活領域（排水路監視等）

水位センサー、監視カメラ、監視サーバー等の機器を、ローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA、LPWA 等複数の無線通信システム用いて接続し、排水路における水位データの収集、排水機場における遠隔監視を可能とする排水路監視システムを構築し、構築・運用上の課題を検証しました。

水位センサーの測定閾値に基づく自動メール発報、遠隔からの河川監視カメラ映像の確認機能による情報共有機能の検証を行い、豪雨時や融雪期による溢水を想定した関連組織（農業・河川・道路・防災等）のパトロール、避難指示におけるリスク回避、迅速化について評価しました。

河川の上流、下流の水位差や、河川水位トレンドとの比較、排水路の水位画像による水路状況把握機能について検証し、市農業基盤部局、土地改良区、国土交通省（北海道開発局札幌開発建設部岩見沢河川事務所）の関連団体にて排水路監視システムの有用性について共同で評価を行いました。

【実証項目】

- ・ ローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA、LPWA 等、複数の無線通信ネットワークを使用した排水路監視システムの構築、運用面の検証
- ・ 遠隔水位監視機能、表示水位状態アラートメール機能、排水機場遠隔画像監視機能による、排水路管理における有用性の検証

1.2.4 課題解決システム実証 4：生活領域（健康管理等）

生産者の安全・安心かつ快適な生活・作業環境構築に向けた、ローカル 5G 等、複数の無線通信システムを用いた健康管理機能について検証しました。

作業や生活活動時に心拍数等の生体情報をセンシングするウェアラブル機器（スマート

ウェア、トランスミッター)を装着し、ローカル 5G 等を経由し常時生体情報のモニタリングを実施しました。センシング情報の変異によりリスク可能性(体調の変化、暑熱リスク、転倒)が確認された際、本人及び家族へ通知する機能を検証しました。

活用できるユースケースは主に農作業時の熱中症等のリスクを想定しますが、本検証の実施時期にあわせた冬季特有の除雪作業時の転倒リスク、暖房による室内での熱中症等に着眼した検証を行いました。

【実証項目】

- ・ 複数無線通信システム(キャリア 5G・ローカル 5G・地域 BWA)を使用した運用における、データ送受信および通知の正確性の検証
- ・ 作業中および通常生活時における遠隔見守りの有効性評価(リスク値発生状況と本人自覚症状との比較)



図 1.2.6 健康管理機能システム概要

	製品名	hamon® transmitter 01
	型番	H-TR01-A
	サイズ	約57×33×12mm
	重量	約25g
	電池	Li-ion 3.7V 250mAh
	入力電圧 / 電流	DC 5.0V / 500mA
	充電端子	micro USB
	無線方式	Bluetooth Low Energy (認証番号001-P00974)
	防水	IPX5/7

図 1.2.7 健康管理機器仕様(トランスミッター)

	製品名	hamon 標準WG タンクトップブラック
	サイズ	S, M, L
	素材	ナイロン 85% ポリウレタン 15% <small>電極部分はAGposs®を使用しています。 AGposs®はミツツジ(株)社製の銀メッキ繊維の商標です。</small>

図 1.2.8 健康管理機器仕様(スマートウェア)



製品名	hamon ミツフジ アプリ
サイズ	70.5MB
動作確認済みOS	iOS 13 (マイナーバージョン含む) Android OS 8 (マイナーバージョン含む) Android OS 9 (マイナーバージョン含む)
カテゴリ	ヘルスケア/フィットネス

図 1.2.9 健康管理アプリケーション仕様

体調の変化および暑熱リスクは、スマートフォン上のアプリケーションにて、3段階の判定を表示します。熱中症可能性の判断は、クラウドシステムがアイコンの変化（黄→赤）を監視することで、アラートを監視者へ通知します。

■体調の変化

- ・ 緑色の顔アイコン…第1段階（良好）
- ・ 黄色の顔アイコン…第2段階（注意）
- ・ 赤色の顔アイコン…第3段階（警告通常）

■暑熱リスク

- ・ 緑色のアイコン…第1段階（正常）
- ・ 黄色のアイコン…第2段階（注意）
- ・ 赤色のアイコン…第3段階（警告）

※暑熱リスクの数値の基準

ACGIH（アメリカ合衆国産業衛生専門官会議）で定める基準では、暑さに順応した人は深部体温が 38.5℃を超えたら作業を中止すべきとしていることから、暑熱リスクアラートは閾値を 38℃と設定し、取得データから分析された数値が閾値を超えると赤色の警告アラートを発出する設定としました。

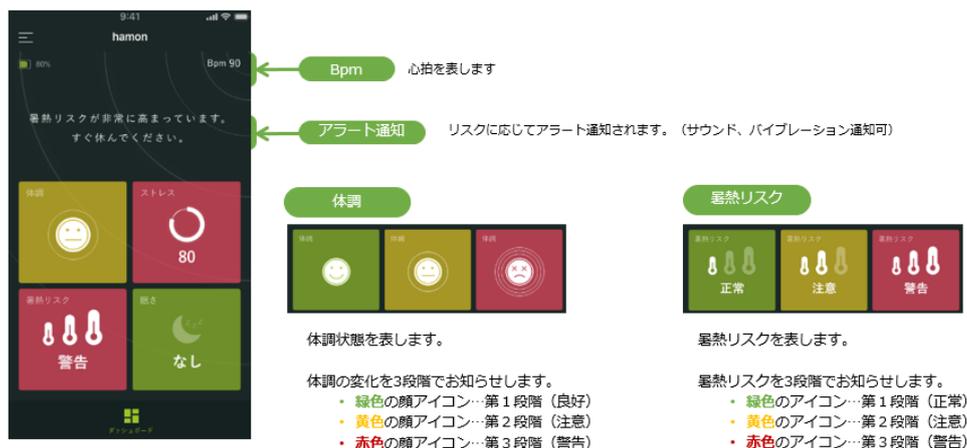


図 1.2.10 スマートフォンアプリケーション画面イメージ

検証対象者は実証地区（赤川地区）の農業従事者・高齢者を対象に複数を選定して実施しました。

実証期間中はウェアラブル機器を終日装着し、動作検証を実施しました。

個人情報の取得にあたっては、サービス提供元とはサービス約款、コンソーシアムとは同意書にて、利用者、参照者ともに個人情報管理を合意しました。また保健所や医療機関の直接の参加はございませんが、緊急対応できる体制にて実証を行いました。

また、検証データによる医療・保健関係者の意見、運用面での利用者コスト等の評価により、年間を通じた防災、健康サポート等の見守り普及に向けた運営・連携・体制等、各種課題抽出を行いました。

1.3 実証目標

1.3.1 課題解決システム 1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）

農業領域では、「スマート農機（ロボットトラクター、自動運転アシストコンバイン等）の5G技術等を用いた遠隔監視制御機能の実現、安全確保として映像伝送遅延（400ms）の実証を目標としました。

期待する効果としては農家人口減少社会への対応、生産性向上であり、労働時間・人件費削減効果として、遠隔監視制御利用による作業改善効果（ロボットトラクター対象作業労働時間：70%削減（自動運転アシストコンバイン作業における人件費は50%削減）を目標としました。

1.3.2 課題解決システム 2：農業領域（ビッグデータ収集）

農作業データ、気象・土壌等のデータを自動的に収集するシステムの構築を目標としました。また、収集したデータを利用した下記項目の検証と評価を目指します。

- ・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

1.3.3 課題解決システム 3：生活領域（排水路監視等）

現状の排水路、河川の巡回監視におけるリスク回避等の有用性評価や、無線通信を使用したシステム構築、運用面の評価に加えて、水位異常発見から防災関係者等への情報伝達時間の短縮時間を測定し、早期初動対応や周辺住民避難による減災の定量的評価を目指します。

1.3.4 課題解決システム 4：生活領域（健康管理等）

複数ネットワーク（キャリア5G/ローカル5G/地域BWA）で構成された環境下におけるデータ送受信および通知の正確性を検証し、サービスの連続運用性を評価するとともに、ウェアラブル機器による遠隔見守りの有効性評価として、熱中症リスク発生状況と本人自覚症状との比較を行い、重症リスクの見逃し削減、早期発見の定量的評価を目指します。

1.4 実施体制

本実証の実施体制の構築にあたっては、農林水産省「スマート農業実証プロジェクト（ローカル 5G）」のコンソーシアム機関に参画する機関を含むこととし、農林水産省の事業実施への協力、連携を行える体制としました。

本実証におけるトラクター等農機の自動運転検証にあたっては、北海道大学・大学院農学研究院 野口教授に参加していただきました。

体制構築における参加団体の概要を下記に示します。

- (1) 別途総務省が指定する農林水産省「スマート農業実証プロジェクト（ローカル 5G）」を実施する地域コンソーシアムの農業生産者の参加
- (2) 実証地域での実装及び他地域への横展開等の推進に必要な関係者である岩見沢市、岩見沢市関連組織、いわみざわ農業協同組合等の参加
- (3) 実証で構築したローカル 5G 等の通信環境について、実証後も実証地域において継続的に利用する学術機関、自治体、および関係者である、北海道大学・大学院農学研究院、岩見沢市、スマート農業の導入を進めているコンサルティング会社スマートリンク北海道の参加
- (4) 実際の農作業等による実証、通信システム構築、全体的な実証代表機関として、東日本電信電話が参加

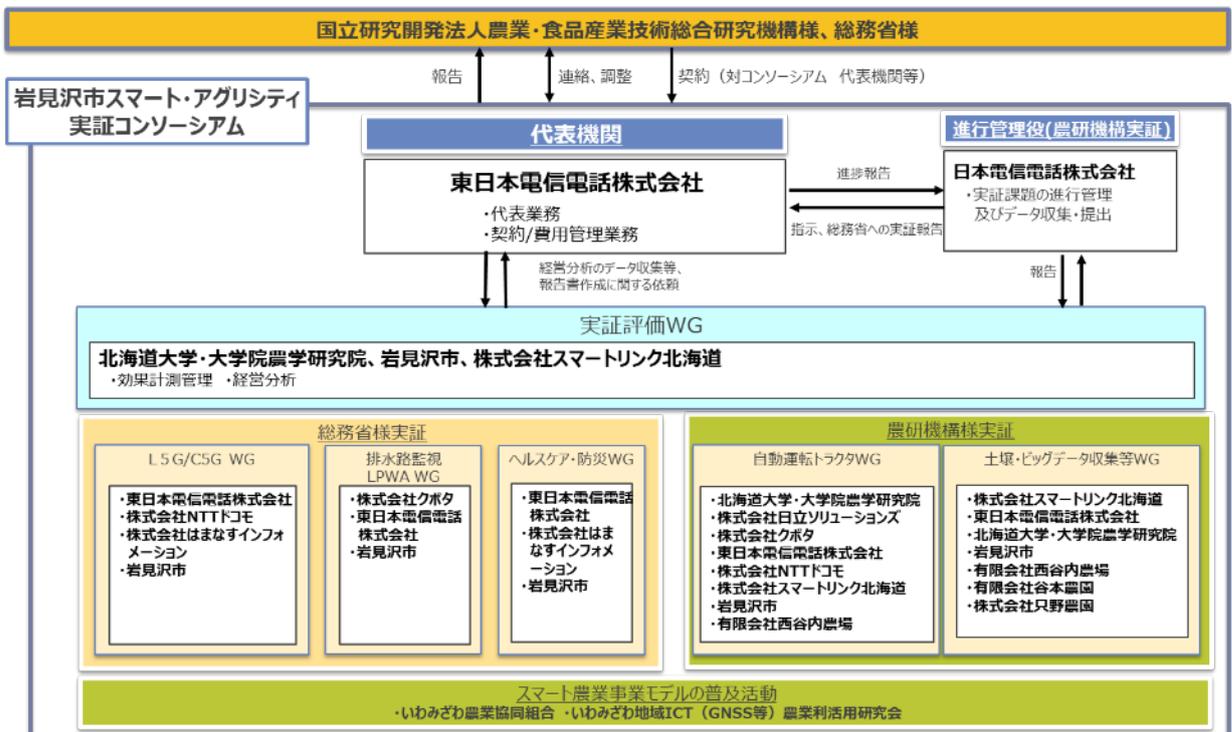


図 1.4.1 コンソーシアム体制図

表 1.4.1 コンソーシアム各社役割

	機関名	役割
代表 機関	東日本電信電話株式会社	通信事業者。本実証では代表機関として全体企画・管理運営及びビッグデータ収集の実証評価、ローカル5Gベンダーと技術検証を行う。具体的にはトラクター搭載のカメラの映像や既存の気象データ、生育情報等のビッグデータを基に最適な農作業スケジュール提案を行うための分析環境を提供。ローカル5G基地局同士の干渉影響調査等、4.8-4.9GHzの屋外利用における共用検討を行う。
	北海道大学・大学院 農学研究院	研究機関（ロボット農機）。本実証では、自動トラクターの遠隔監視制御に係るシステム改良と実証評価を行う。「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」の改定に資する試験実施のための、ロボット農機開発及び走行テストを行う。また、遠隔監視制御における実証指導を行う。
共同 実証 機関	岩見沢市	行政機関。本実証では、農業生産者との調整による実証場所の確保と住民への説明、協力調整を行う。また、期間終了後を含め地域内外への技術普及に向けた施策展開や関連する他事業・施策との連動戦略を展開する。
	株式会社スマート リンク北海道	スマート農業技術のシステム構築・普及のコンサルタント企業。本実証では、ビッグデータ収集の実証検証の支援を行う。具体的には新規生育情報の収集方法や既設データの活用方法、作業スケジュール作成のコンサルを行う。
	株式会社クボタ	農機関連企業。本実証では、課題実証（排水路監視の実証検証）を行う。具体的には排水路等へ水位センサー・カメラを設置し、河川維持管理者の迅速な対応及び安全確保と住民への避難指示等を行う防災システムとの連携の実証検証を行う。
	株式会社日立ソリューションズ	システム関連企業。本実証では自動トラクターの遠隔制御システムの実証評価を行う。具体的には遠隔監視時の安全対策として遠隔制御アプリの調整や緊急停止の実証を行う。
	日本電信電話株式会 社	通信事業者。本実証では通信事業グループ会社と協力して、ビジネス可検討、横展開等の戦略立案を行う。農水省事業では進行管理役として本実証との連携を推進する。

	株式会社NTTドコモ	通信事業者。本実証では課題実証ア-1（自動走行トラクター遠隔監視制御）の実証検証を行う。通信キャリアとしてキャリア5Gを提供し、ローカル5Gとの干渉評価等技術検証の支援を行う。
	株式会社はまなす インフォメーション	地域BWAサービス提供、データセンター事業。本実証では遠隔監視センター機能の支援、課題実証ア-4健康管理の実証検証を行う。具体的には農業従事者のバイタルデータを健康管理クラウドへ接続し、体調不良等緊急時の通報等を検証する。
	いわみざわ農業共同組合	地域内での技術普及活動を行うとともに、生育調査等における栽培技術に関する助言を行う。
	いわみざわ地域 ICT (GNSS等) 農業利活用研究会	生産者サイドとしての実証評価を行うとともに、岩見沢市やいわみざわ農業協同組合等と連携し、市内生産者への持続可能な事業モデルの普及実装に向けた取組みを行う。
生産者	西谷内農場 只野農園 谷本農場	実証圃場および生産者サイドとしての知見提供、農機スマート農機導入実証等に協力する。

表 1.4.2 コンソーシアム協力機関

機関名	役割
株式会社ビート・クラフト	システム関連企業。本実証では課題実証3排水路管理の実証検証のための、水位データ伝送LPWA（11ah）装置の調達、構築を行う。
株式会社マイト	システム関連企業。3排水路管理の実証検証のための802.11ah中継器施設的设计・構築を行う。
パナソニックシステムソリューションズ ジャパン株式会社	システム関連企業。本実証ではローカル5Gの提供及び技術実証を行う。具体的にはローカル5Gコアネットワーク、5G基地局、5G端末の動作確認、接続試験、実験免許申請を実施。4.8-4.9GHz電波を吹いて、ローカル5G基地局同士の干渉影響調査等の屋外利用における共用検討を行う。
株式会社エクシオ	システム構築工事企業。本実証ではローカル5Gの設置工事を行う。具体的には基地局2基を建設し、センターのコアネットワーク装置と光ケーブルで接続を行う。
株式会社エコス北栄	システム構築企業。ローカル5G等実証環境の構築工事（ローカル5G基地局）を行う。

日本コムシス株式会社	システム構築工事企業。本実証では課題実証1（自動走行トラクター遠隔監視制御）における映像遅延測定を行う。
株式会社札幌映像プロダクション	放送に係わる映像制作関連企業。本実証では課題実証1（自動走行トラクター遠隔監視制御）における映像品質測定を行う。
大井電気株式会社北海道支社	システム関連企業。本実証では課題実証3排水路管理の実証検証のための、水位データ伝送LPWA（LoRaWAN）装置の調達、構築を行う。
株式会社データベース	システム関連企業。本実証では課題実証3排水路管理の実証検証のための、水位及びカメラ監視盤設計、取り付け工事を行う。
株式会社ハイエレコン	システム関連企業。本実証では課題実証3排水路管理の実証検証のための、遠隔監視サーバー、及びネットワークの構築を行う。

1.5 実証スケジュール

別紙_（農業）WBS20201220 を参照下さい。

自動走行トラクター等の実証について、当初計画では、10月の大豆収穫時期にコンバイン、収穫後の耕起でサブソイラーとスタブルカルチの同時走行を実施する予定であり、その実証スケジュールに合わせた遠隔監視制御準備として、キャリア5Gでの環境構築を実施しました。ローカル5Gネットワークシステムの構築完了時期は12月を見込んでいたため、実際の農作業での実証は困難であることから、本格的な積雪前に疑似圃場での実証を想定しておりました。しかし、岩見沢市は例年を大きく上回る降雪・積雪量であったため、疑似圃場での走行実証についても実現困難となり、除排雪で走行ルートを確保できる範囲での課題実証に限定して実施しました。

また、全体的に計画時からスケジュールが遅延した要因は、ローカル5Gネットワークについて、一旦構築が完了（2020年12月）した後、性能改善のための調整が長引いたことから、技術実証および課題実証の一部（ローカル5Gでの複数台同時走行、映像品質・遅延測定等）が、約一か月程度延期したことが挙げられます。

1.6 免許申請の概要

本実証で申請した内容は以下のとおりです。

- ・ 対象周波数帯 4.8-4.9GHz (100MHz 幅)
- ・ システム構成 スタンドアローン (SA) 構成

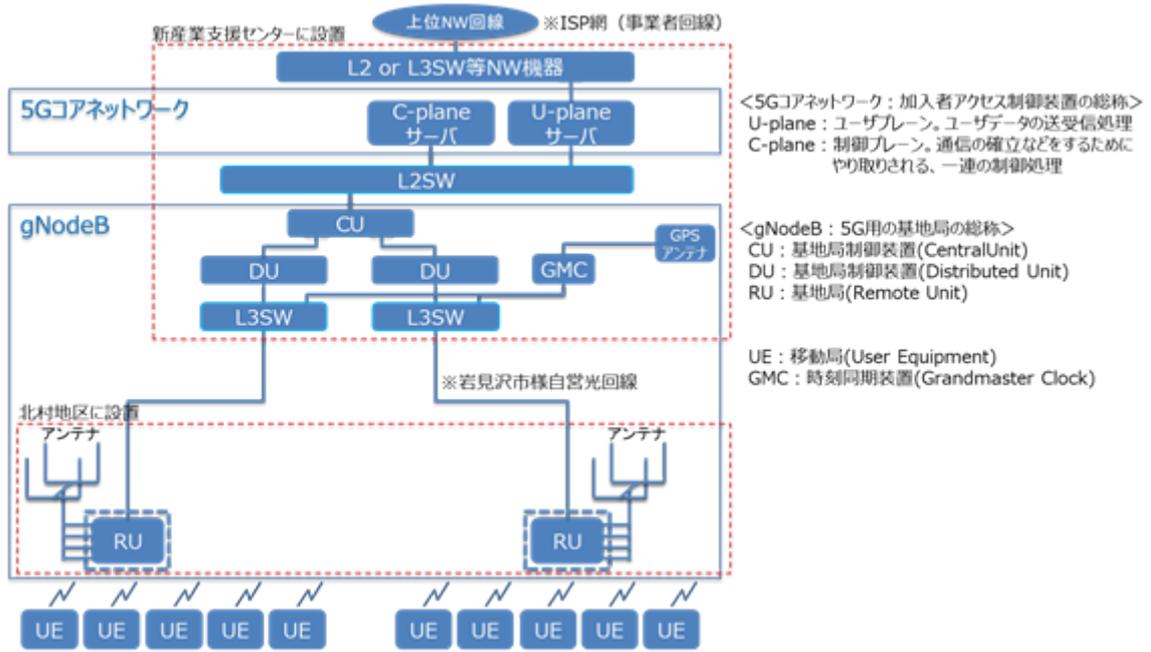


図 1.6.1 システム構成概要図

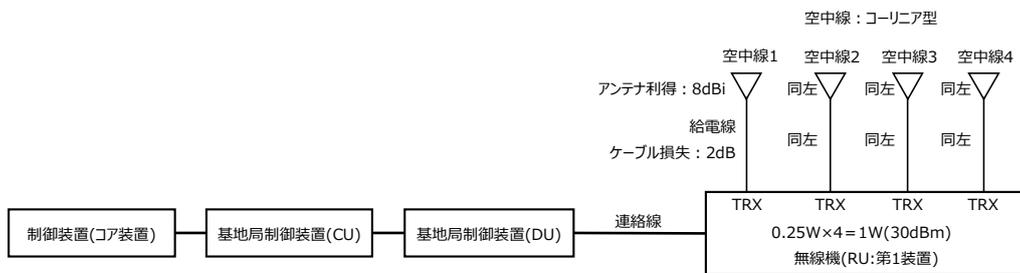


図 1.6.2 基地局系統図

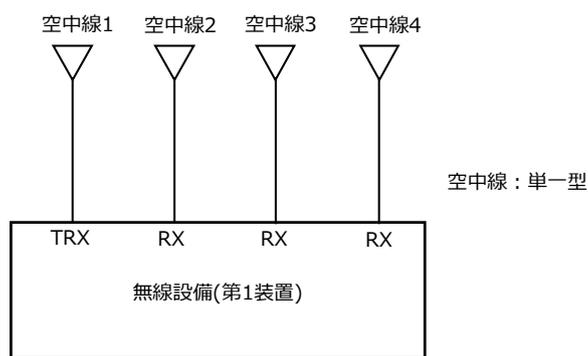


図 1.6.3 端末系統図

- ・ 設置場所 (送受信所) : 北海道岩見沢市北村中央 3707 番地 2
- ・ 設置場所 (制御所) : 北海道岩見沢市有明町南 1 番地 29 岩見沢市新産業支援センター 2 階データベースルーム 5
- ・ 移動範囲 : 北海道岩見沢市内
- ・ 申請局数 : EX(実験試験局) 22 局
- ・ 識別番号 : いわみざわローカル 5G きちきょくじっけん 1、2
いわみざわローカル 5G いどうきょくじっけん 1~20
- ・ 電波形式 (基地局) : 99M9X7W
- ・ 電波形式 (端末) : 99M9
D1A,D1B,D1C,D1D,D1F,D1X,D7W,G1A,G1B,G1C,G1D,G1F,G1X,G7W
- ・ 希望する周波数の範囲 : 4850.01MHz
- ・ 占有周波数帯幅 : 99.98MHz
- ・ 変調方式 : OFDM
- ・ 空中線電力 (基地局) : 1W
- ・ 空中線電力 (端末) : 0.2W
- ・ 空中線利得 (基地局) : 8dBi
- ・ 空中線利得 (端末) : 3dBi
- ・ ケーブルロス (基地局) : 2dB
- ・ アンテナ指向方向・本数 : 無指向・4 本
- ・ メーカー名 : パナソニック システムソリューションズ ジャパン(株)
- ・ 同期方法 : TDD パターン 1
- ・ 免許期間 : 令和 2 年 12 月 24 日~令和 3 年 5 月 31 日
- ・ 回線設計

本実証試験では、圃場での実証エリアを踏まえ 500m を必要カバーエリアとしました。空中線電力を 30dBm、その他諸元を下記とし計算した結果、通信距離は 552m となるため、本実験試験局の基地局は空中線電力 30dBm にて申請しました。

表 1.6.1 無線機諸元

項目		値		備考
基地局	空中線電力	①	30 dBm	250mW×4
	アンテナ利得	②	8 dBi	
	給電線損失	③	2 dB	
移動局	空中線電力	④	23 dBm	
	アンテナ利得	⑤	3 dBi	
	給電線損失	⑥	0 dB	

表 1.6.2 通信距離計算

項目		値		備考
フェージングマージン等		⑦	18 dB	移動体(トラクター等)での検証を考慮したフェージングマージン15dB 移動局アンテナ利得⑤はピーク値のため移動局向きによるマージン3dB
受信電力		⑧	-80 dBm	ローカル5G無線局免許審査基準(100MHzシステムカバーエリアの値)
伝搬損		⑨	101 dB	①+②-③+④-⑤-⑥-⑦-⑧
周波数		⑩	4850 MHz	
通信距離		⑪	562m	見通し環境のため自由空間伝搬損失式※で計算

※自由空間伝搬損失式 $L=20\log f+20\log d+32.4$ [dB]

L: 伝搬損[dB] f: 周波数[MHz] d: 距離[km]

本実証で検証するローカル 5G では、通称 Sub6 と呼ばれる帯域に属する 4.8-4.9GHz の周波数帯を使用するため、実験試験局免許申請を実施しました。採択を受けた 2020 年 7 月時点では、Sub6 帯は制度化検討中であったため、実験試験局免許での実証となりましたが、2020 年 12 月にガイドライン改定により制度化されたため、2021 年以降は商用免許での利用が可能となっています。ただし、商用免許で申請を行う場合はローカル 5G ガイドラインで規定されている通り、他社土地での移動局の利用が認められていないため、公道や他者の土地での利用は不可であり、免許人と利用場所の土地所有者が一致している必要があるため、免許人を選定する際には注意を要します。

本実証で利用したローカル 5G 機器はパナソニックシステムソリューションズジャパン(株)にて開発中の機器を選定しており、開発の段階で諸元表に記載されている内容が変更になる可能性があったため、即時対応できるよう、パナソニックシステムソリューションズジャパン(株)を免許人とし、免許申請を行いました。免許申請は機器の設置場所が北海道であることから北海道総通局に対して行いました。

免許申請にかかった期間については、事前相談から遡ると本免許交付までに約 5 か月を要しました。ただし、本実証では現地での総合試験までにメーカーにて機能改善に取り組んでいたため、登録点検から総合試験まで 1 か月ほど期間が空いており、実際の審査期間は約 4 か月でした。

今回交付された免許は実験局免許であり、有効期限が令和 3 年 5 月 31 日までとなっています。本実証で使用した機器は令和 3 年度も継続して農水省実証で利用予定のため、再免許申請を行う予定です。再免許申請は有効期限 1 か月前までに行う必要があるため、令和 3 年 4 月中に実施予定です。

干渉調整としては公共業務用固定局、5GHz 帯無線アクセスシステム、キャリア 5G 基地局の 3 種類のシステムに対して検討を行いました。公共業務用固定局、5GHz 帯無線アクセスシステムについては、本実証ローカル 5G 機器がスモールセルの機器であることと一定の距離があることから干渉が起きる可能性が低いと考え、調整は行いませんでした。キャリア

ア 5G については基地局が近接することから NTT ドコモと干渉調整を行いました。干渉影響のためにローカル 5G の基地局が設置できないとなると、本実証が実現できないということになりかねないため、本実証の頭出しとして 2020 年 5 月 14 日に第一報を入れました。その後、干渉調整に必要な項目の洗い出しを行い、7 月 1 日に諸元表を提出し、同期及び準同期での運用のみであることを伝え、7 月 2 日にはローカル 5G の開設問題なしとの回答を得られました。

表 1.6.3 免許申請交付スケジュール概要

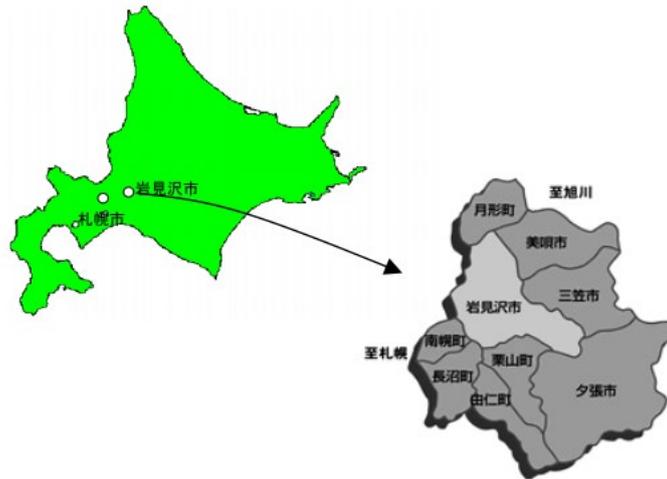
	2020年									2021年																							
	5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月			1月			2月			3月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下			
干渉調整																																	
事前相談																																	
申請																																	
予備免許交付																																	
登録点検																																	
総合試験																																	
落成検査届提出																																	
本免許交付																																	

(実績) 予備免許交付 令和 2 年 10 月 22 日
 本免許交付 令和 2 年 12 月 24 日

2. 実証地域

2.1 実証地域の概要

本実証の実証地域である岩見沢市は、北海道の中西部に位置し、札幌市まで約 40km の距離にあります。東は夕張山地を挟んで夕張市に、西は石狩川を隔てて江別市及び新篠津村、月形町に、北は美唄市及び三笠市に、南は栗山町及び長沼町、南幌町に接しています。



※資料：2020 年岩見沢市統計書より引用

図 2.1.1 市域概要

市域の西部には石狩川流域低地である平野が広がり、東部には夕張山地を形成する低山性の山々が連なっています。また、夕張山地を水源とする幾春別川、幌向川が低地帯に入るところで大小の扇状地をつくりながら、西部を貫流する石狩川と合流しています。



※資料：北海道開発局札幌開発建設部ウェブサイト (https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/iwamizawa_kasen/)

図 2.1.2 岩見沢周辺河川概要

総面積は 481.02 km²で、網走市や福岡県北九州市と同程度の規模となります。

表 2.1.1 岩見沢市位置・面積

位 置		広 が り	標 高	面 積
経 度 (東経)	緯 度 (北緯)			
西 端 141° 36′ 36.6″	南 端 43° 04′ 30.9″	東 西 36.233 Km	最 高 836.2 m	481.02 km ²
東 端 142° 02′ 37.5″	北 端 43° 20′ 14.7″	南 北 29.126 Km	最 低 6.7 m	
		周 囲 139.179 Km		

※資料：2020年岩見沢市統計書より引用

岩見沢市は全国よりも先行して人口減少と少子高齢化が進行しており、総人口（国勢調査）は平成7年の97,042人をピークとして、平成27年には84,499人にまで減少しています。



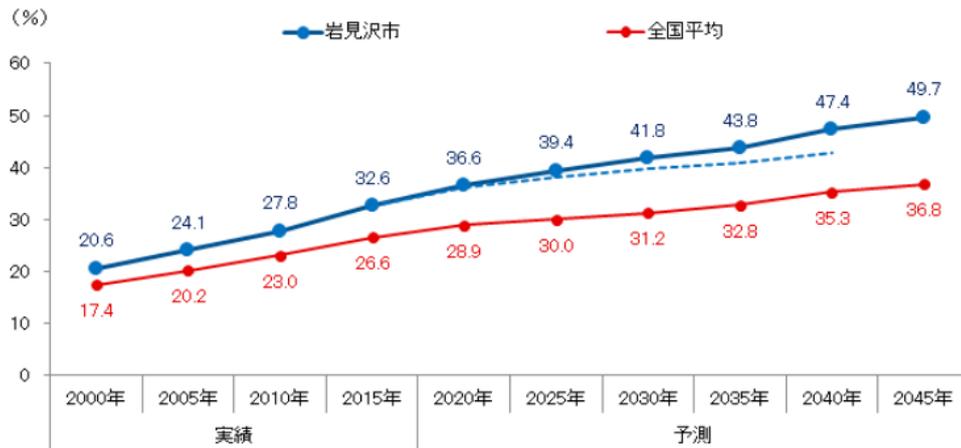
※データ出所：国勢調査(総務省)、将来推計人口(厚生労働省社人研)

※グラフはGDFreak ホームページ (<https://jp.gdfreak.com/>) より引用

図 2.1.3 岩見沢市の人口推移と将来推計人口

年齢構成比では、2015年時点で65歳以上の高齢者人口の割合（高齢化率）が32.6%に達しており、全国平均（26.6%）を大きく上回っています。

特に北村・栗沢地区では、人口が昭和55年との比較で半数近くにまで減少する一方で、高齢化率は40%前後に達しており、人口減少と高齢化の進行がより顕著となっています。



※高齢化率：総人口に占める65歳以上の人口割合(%), 年齢不詳を除いて算出
 ※図中の緑の点線は、前回2013年3月公表の「将来人口推計」に基づく当地域の高齢化率

※出所：国勢調査(総務省)、将来推計人口(厚生労働省社人研)

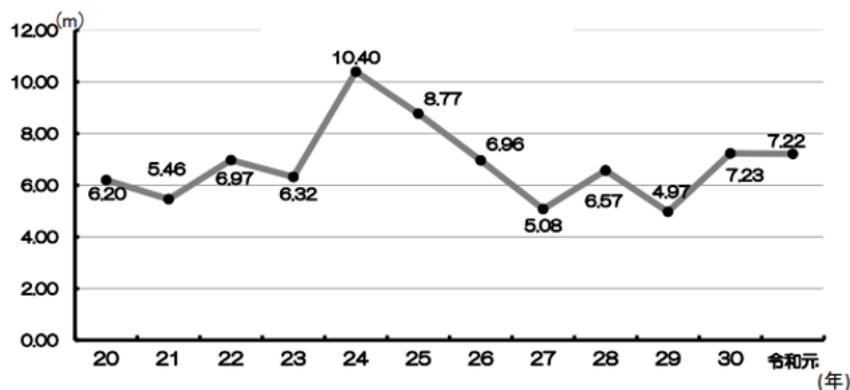
※グラフは GDFreak ホームページ (<https://jp.gdfreak.com/>) より引用

図 2.1.4 岩見沢市の高齢化率の推移

2.2 実証地域の気候条件

岩見沢市の気候は、夏は比較的冷涼で湿度が高く、冬は降雪、強風の傾向があります。気温は、1年を通しておよそ-13度から26度の間で変化します。

日本有数の豪雪地帯として国から特別豪雪地帯の指定を受けており、1シーズンで累計8メートル近い降雪量があり、12月上旬になると降雪が融けずに残る、根雪状態となるため積雪量が一気に増す傾向があります。近年は温暖化による気候の変化の影響もあり、降雪日数や根雪になる時期が変化しており、局地的な大雪が発生する事象も見られています。



※資料：2020年岩見沢市統計書より引用

図 2.2.1 降雪深さの推移

2.3 実証地域の農業

行政面積の約41.2%が農地であるなど国内有数の農業地帯であり、耕地面積19,800haの広大で肥沃な土地と石狩川水系の豊富な水を活かし、水稻作付面積・収穫量ともに全道一

の稲作を中心に、畑作、野菜、果樹、花きなど幅広く農畜産物を生産し、道内有数の食料供給地域として、地域特性を活かした多様な農業が展開されています。

表 2.3.1 地目別土地面積

(各年1月1日現在 単位：km²)

年次	総面積	田	畑	宅地	池沼	山林	牧場	原野	雑種地	その他
平成27年	481.02	175.97	26.05	22	1.66	157.46	0.13	2.75	21.08	73.92
28	481.02	175.44	26.06	22.06	1.72	157.66	0.13	2.70	21.23	74.02
29	481.02	174.58	26.48	22.16	1.72	157.71	0.13	2.68	21.48	74.08
30	481.02	174.46	26.44	22.25	1.74	157.83	0.13	2.63	21.41	74.13
令和元年	481.02	173.77	26.78	22.19	1.72	157.96	0.13	2.61	21.69	74.17

※資料：2020年岩見沢市統計書より引用

平坦な地域では、水稻・小麦・大豆や、玉葱・白菜・人参等の野菜など、広い農地を活用した土地利用型農業が特徴となっており、特に市の主力農産物の一つが米や麦、豆等の耕種農業生産物となっています。

水稻の作付面積は、生産調整により年々減少傾向にあります。作付面積の減に伴い収穫量も減少傾向にあり、平成27(2015)年の収穫量は40,200トンとなっています。

小麦・大豆は、転作及び輪作の作物として増加傾向にあります。栽培管理や生産技術の普及、乾燥調製貯蔵施設等の整備により、農業経営を支える主要な作物となっています。

その他、白菜は全道一の収穫量であるとともに、玉葱、人参、南瓜、きゅうりなど多くの野菜が生産されています。

表 2.3.2 主要作物の作付面積・収穫量

区分		単位	H23 (2011)	H24 (2012)	H25 (2013)	H26 (2014)	H27 (2015)
水稻	面積	ha	7,920	7,780	7,720	7,660	7,170
	10a当たり	kg	560	574	569	572	561
	収穫量	t	44,400	44,600	43,900	43,800	40,200
小麦	面積	ha	4,740	4,910	5,170	5,090	5,150
	10a当たり	kg	353	351	382	449	529
	収穫量	t	16,700	17,200	19,700	22,900	27,200
大豆	面積	ha	1,300	1,320	1,180	1,360	1,640
	10a当たり	kg	241	273	268	280	303
	収穫量	t	3,140	3,590	3,150	3,810	4,960
玉葱	面積	ha	1,070	1,070	1,100	1,100	1,120
	10a当たり	kg	2,600	4,160	3,680	3,210	5,100
	収穫量	t	27,700	44,400	40,300	35,200	57,000
白菜	面積	ha	205	212	177	177	189
	10a当たり	kg	3,000	2,330	3,210	3,450	3,520
	収穫量	t	6,140	4,930	5,680	6,110	6,660

※資料：農林水産省「作物統計調査」より引用

平成27(2015)年時点の総農家戸数は1,265戸となっており、販売農家は1,041戸で、

農業就業人口は2,686人となっています。平成22年時点と比較すると、販売農家は189戸の減、農業就業人口は489人の減であり、現在も農家数減少が大きな課題となっています。

表 2.3.3 農家数及び世帯員数

(各年2月1日現在)

区 分	単位	H7 (1995)	H12 (2000)	H17 (2005)	H22 (2010)	H27 (2015)	
総農家戸数	戸	2,380	2,076	1,743	1,398	1,265	
販売農家	戸	2,253	1,946	1,580	1,230	1,041	
	専業農家	戸	792	677	606	664	782
	第1種兼業農家	戸	1,218	1,044	834	483	213
	第2種兼業農家	戸	243	225	140	83	46
自給的農家	戸	127	130	163	168	224	

※資料：農林水産省「農業センサース」より引用

※販売農家：経営耕地面積が30a以上または販売金額が50万円以上の農家

※自給的農家：経営耕地面積が30a未満で、かつ販売金額が50万円未満の農家

一方、1戸当たりの経営耕地面積（販売農家）は平成27年時点で16.7haと、平成22年時点から2.5ha増え、担い手への規模拡大が進んでいます。経営規模別でも30ha以上の農家が135戸となっており、50ha以上の農家も16戸に増えています。

表 2.3.4 1戸当たりの経営耕地面積（販売農家）

(各年2月1日現在)

区 分	単位	H12 (2000)	H17 (2005)	H22 (2010)	H27 (2015)
1戸当たりの経営耕地面積 (販売農家)	ha	9.5	11.3	14.2	16.7

※資料：農林水産省「農業センサース」より引用

※H7は未公表

表 2.3.5 経営規模別の農家戸数

(各年2月1日現在)

区 分	単位	H7 (1995)	H12 (2000)	H17 (2005)	H22 (2010)	H27 (2015)
1.0ha未満	戸	111	87	73	62	28
1.0ha～3.0ha	戸	179	149	112	80	66
3.0ha～5.0ha	戸	308	230	147	83	59
5.0ha～10.0ha	戸	958	719	495	279	191
10.0ha～20.0ha	戸	627	643	545	436	371
20.0ha～30.0ha	戸	50	91	156	197	191
30.0ha～50.0ha	戸	18	22	45	79	119
50.0ha以上	戸	2	5	7	14	16
50.0ha～100.0ha	戸	—	—	7	13	11
100.0ha以上	戸	—	—	0	1	5
計	戸	2,253	1,946	1,580	1,230	1,041

※資料：農林水産省「農業センサース」より引用

※H7・H12の50ha以上の内訳は未公表

2.4 実証対象圃場

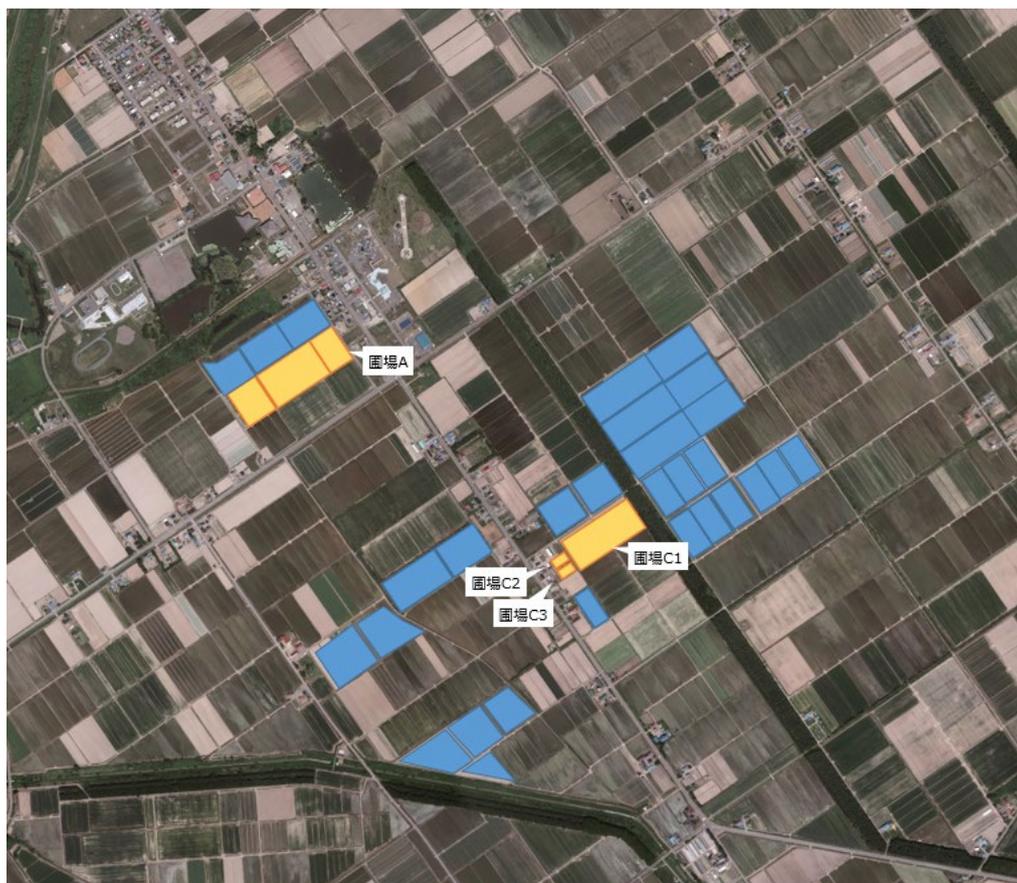
技術実証、および課題解決実証に使用した圃場は、農地を分散して営農する分散錯圃制を採用している、岩見沢市北村地区の生産者圃場から選定しました。

表 2.4.1 生産者概要

母体となる経営体	有限会社西谷内農場
経営体の代表	西谷内 智治

『非公開情報を含むため一部文章を削除』

生産者圃場より、実証で使用する圃場を複数選定し、圃場 A、圃場 C として実証を実施しました（下図黄色部分）。なお、圃場 B については本実証では使用しないため記載しておりません。



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

図 2.4.1 生産者圃場位置（岩見沢市北村地区）

2.5 実証地域の課題

実証地域である岩見沢市は、過去 10 年の平均で 1,000 人/年程度人口が減少し、高齢化率も 36%(令和 2 年 7 月数値)となるなど、全国平均を上回るペースで人口減少や少子高齢化が進展しています。

基幹産業である農業の課題については、農業就業人口（販売農家）が 2010 年から 2015 年の 5 年間で 15.4%減少、現在も減少傾向が続いていることから、農業従事者の担い手不足や熟練の技術を継承することが困難になってきています。また、農家数の減少に伴い、複数の点在する農地を 1 農家が管理する集約化も進むと予想されており、個々の農家における稼働削減や、営農にかかる費用を抑えることによる経営安定化が喫緊の課題となっています。

生活環境の課題としては、豊富な水資源を有することに伴う、水害のリスクが挙げられます。水路の溢水による被害を避けるためには、水位上昇リスクの早期発見、市関係者や協力団体への情報伝達の即時性が重要ですが、水路の現場監視に伴う作業員の転落リスクや、降雨、積雪による移動障害で確認が遅延することが課題となっています。

また、今後更なる住民の高齢化が予想されていることから、農作業時や通常の生活時における、熱中症等の健康リスクが課題視されています。高齢化による単独世帯化が増加することが予想されていることから、体調不良時の発見・対処が遅れることによる重症化リスクが高まる事が想定され、近隣者や親族等の見守り体制の充実が重要視されています。

2.6 実証地域における課題解決システムの役割

本実証は、上記の岩見沢市についての地域課題を踏まえた、産業分野、生活分野における課題解決に向けた情報システムを構築、運用することで、スマート農業等の Society5.0 の早期実現を目指すものです。

(1) 農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）

農業従事者の減少、高齢化による耕作面積・生産量低下に対して、農業従事者の減少傾向下においても生産規模の維持、拡大を可能とする、より効率的な営農作業の実現に向けた、自動走行トラクターの遠隔監視制御の実証を行いました。

(2) 農業領域（ビッグデータ収集）

自動走行トラクターの導入等による、営農に係るコスト増加に対して、作物の生育状況やトラクター稼働情報を活用した農作業スケジュールの最適化による、自動走行トラクター等の共同利用体制の構築に向けた実証を行いました。

(3) 生活領域（排水路監視）

岩見沢市の豊富な水資源の源である、市内複数の水路に伴う水害リスクへの対策として、水位の常時監視による異常の早期発見、水位の増加予測を可能にする排水路監視システムを用いた、初動対応の迅速化、水路監視に伴うリスクの低減化による、安全・安心なまちの実現に向けた実証を行いました。

(4) 生活領域（健康管理等）

人口減少と高齢化の進行が顕著であり、住民の更なる高齢化・単独世帯化が想定される状況を踏まえ、高齢者の熱中症発生・重症化リスク増加への対策として、生体情報の把握と家族等の遠隔への通知を可能とするウェアラブル機器を用いた、健康状態の本人把握による熱中症等健康リスクの予防、遠隔通知による早期発見による、健康で元気に暮らせるまちの実現に向けた実証を行いました。

3. 実証環境

3.1 ネットワーク構成

ネットワーク構成要素は大きく以下の 5 要素に分類されます。

- (1) ローカル 5G ネットワーク
- (2) キャリア 5G ネットワーク (商用サービス)
- (3) 地域 BWA ネットワーク (商用サービス)
- (4) LPWA ネットワーク
- (5) 遠隔監視制御センターネットワーク・サーバー&外部クラウドネットワーク

本課題実証で利用するシステム要素は下記 A)~D)となります。(<> 内に使用するネットワークシステムを記載)

A)自動走行トラクター遠隔監視制御システム

<ローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA、遠隔監視制御>

B)ビッグデータ収集分析システム

<サーバー、外部クラウド>

C)排水路管理システム

<ローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA、LPWA、サーバー>

D)生活領域ウェアラブルシステム

<ローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA>

(1) ローカル 5G ネットワーク

本実証では屋外の農業分野に対する課題解決を目的としていたため、ローカル 5G の周波数としては、指向性が弱く、広範囲のカバレッジが期待できる Sub6 を選定し、Sub6 のなかでも屋外利用についての議論が先行していた 4.8-4.9GHz 帯を利用しました。本実証の課題として、点在する圃場の効率的な農作業の実現があります。また、課題実証として公道での農機の遠隔監視を行ったとおり、圃場内の作業だけでなく、圃場間移動も遠隔制御で行うことを想定しているため、特定の方向に電波を送信する指向性のあるアンテナではなく、無指向性のアンテナのほうが適していると考え、選択しました。本実証機器の計算値上のカバーエリアが図 3.1.2 ローカル 5G 基地局設置場所のとおりで、実際の測定結果をもとに算出したカバーエリアが図 3.1.3 ローカル 5G カバレッジエリアシミュレーションのとおりです。

ガイドライン改定版では 4.8-4.9GHz 帯の屋外での利用が認められたため、横展開地域でも同様の周波数帯での免許申請が必要です。ただし、スモールセル基地局を設置する場合に不要発射の強度の値に制限が設けられている地域があるため、設置地域には注意が必要です。

ローカル 5G ネットワークの使用については、1.6 章に述べた免許申請を行い実験試験局の免許を取得して検証を実施しました。

- ・ 申請開始時期 : 2020 年 9 月 11 日
- ・ 免許取得時期 : 2020 年 12 月 24 日

- ・ 申請担当者 : パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社
- ・ 申請概要 : 未割当ての 4.8GHz-4.9GHz の周波数帯を使うため、実験試験局免許を申請、取得。

※ 免許有効期限は 2021 年 5 月 31 日までのため、それ以降の実証のために再免許申請を行う予定。

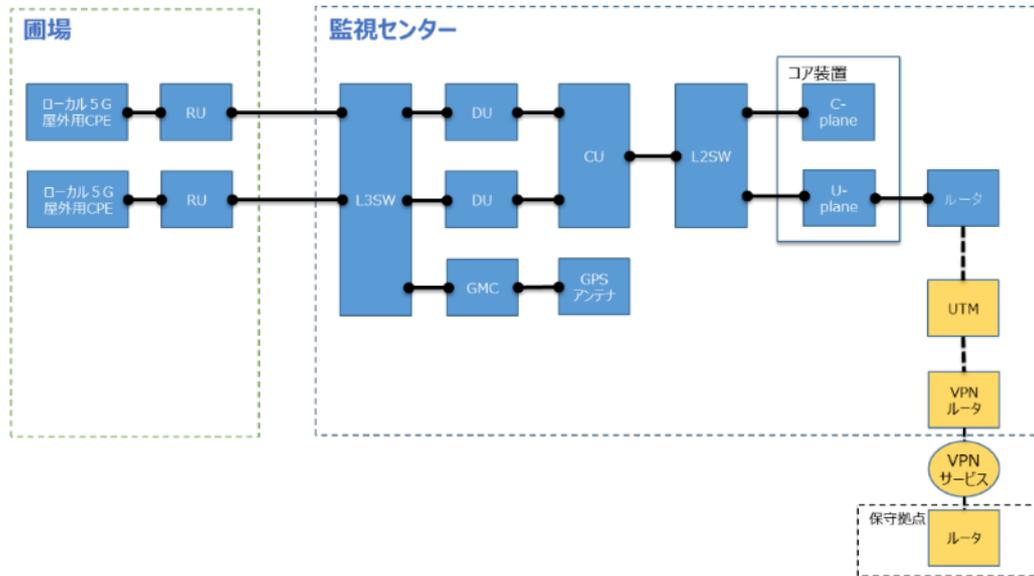


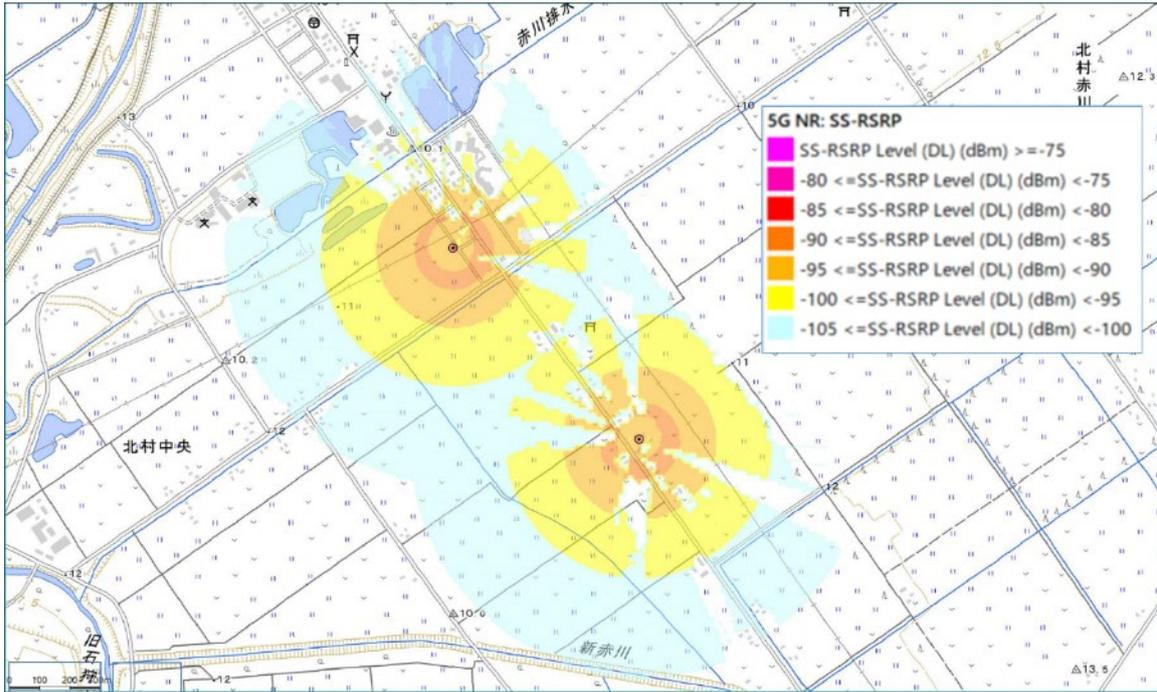
図 3.1.1 ローカル 5G ネットワーク構成概要



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

図 3.1.2 ローカル 5G 基地局設置場所

※青色円は半径 500m (参考)



国土地理院 (URL : <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成
 図 3.1.3 ローカル 5G カバレッジエリアシミュレーション



図 3.1.4 ローカル 5G 基地局

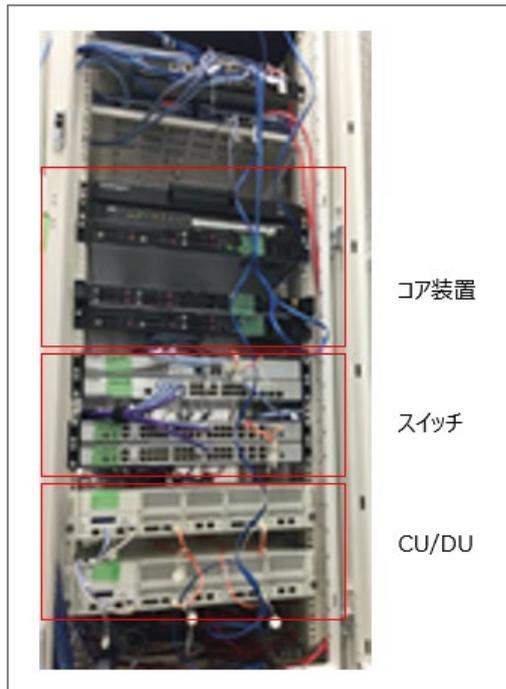


図 3.1.5 ローカル 5G センター設備

基地局の設置位置については図 3.1.2 の通りです。本実証の基地局は無指向性のため円形のカバレッジとなっており、実証圃場以外のエリアもカバーする設計となっています。なお、基地局の設置においては干渉検討を行ったうえで設置しました。干渉検討としては、公共業務用固定局、5GHz 帯無線アクセスシステム、キャリア 5G 基地局の 3 種類のシステムに対して行いました。

公共業務用固定局については、岩見沢市にはマクロセル基地局の超過地点が 482 地点数 117 地点あるため、屋外でのマクロセル基地局は設置できません。スモールセル基地局の場合は超過地点数があるものの、482 地点数 6 地点と少なく、許容干渉電力を超過する可能性は低いと考えられます。本実証で使用した機器は空中線電力 30dBm、アンテナ利得 8dBi、EIRP 38dBm/100MHz の機器であり、ローカル 5G 検討委員会で定義しているスモールセル基地局 空中線電力 25dBm、アンテナ利得 23dBi、EIRP 48dBm/100MHz よりも EIRP が 10dB 低いためローカル 5G 検討委員会の調査よりも干渉を与える可能性が低いと考えました。

5GHz 帯無線アクセスシステムについてはローカル 5G 検討会資料「5GHz 帯無線アクセスシステムとの共用検討のまとめ」にて「共に屋外に設置されているローカル 5G 基地局と 5GHz 帯無線アクセスシステムは、隣接帯域において、お互いに近接した条件で運用されない限りは、所要改善量は 0dB 以下になると想定され、共用可能と考えられる。」また、「5GHz 帯無線アクセスシステムの無線局の設置が同一敷地内に確認できた場合には、ローカル 5G 基地局の設置に際して干渉影響が発生しないように離隔距離を確保する等の対策が必要である。」と結論付けられています。本実証で対象となる 5GHz 帯無線アクセスシステムとしては以下の図のとおり最も近いものでも 2.83km の離隔があり同一及び近接の敷地内には設置されていないため、干渉は起きないと考えました。



図 3.1.6 5GHz 帯無線アクセスシステムとの離隔距離



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

図 3.1.7 監視センター設置位置
(※ 監視センター設置位置は 2~6 も同様)

(2) キャリア 5G ネットワーク

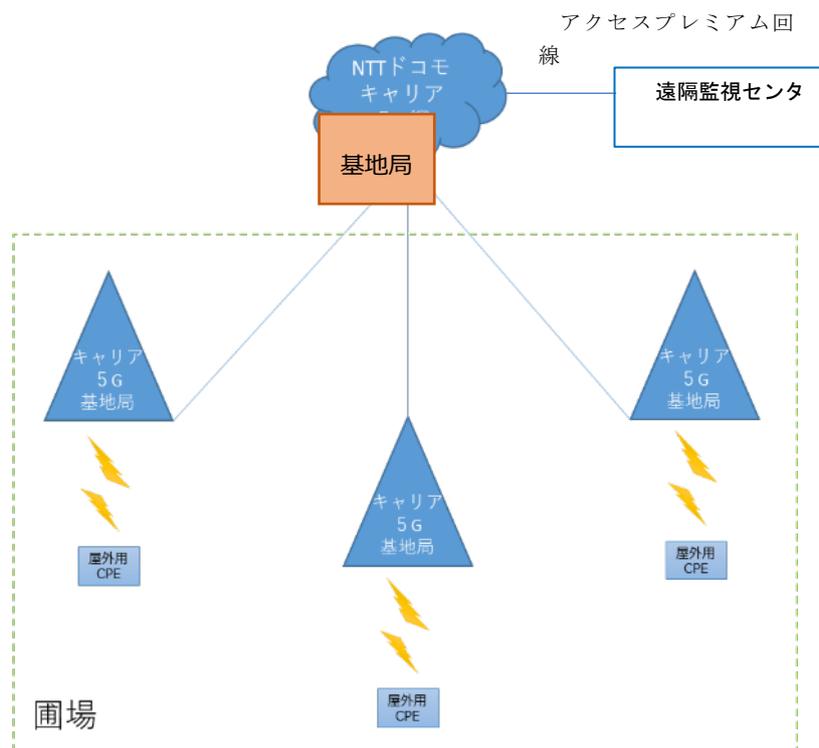


図 3.1.8 キャリア 5G ネットワーク構成概要



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

図 3.1.9 キャリア 5G 基地局設置場所

※ 青色円は半径 500m(参考)



図 3.1.10 キャリア 5G 基地局

(補足：ネットワークサービス「アクセスプレミアム」について)

アクセスプレミアムはユーザーネットワーク（企業 LAN 等）と NTT ドコモのモバイル網を、インターネット経由せずダイレクトに接続し、ユーザー専用のセキュアな閉域接続環境（APN）を提供するサービスです。

キャリア 5G 収容局とお客様拠点を帯域確保型の回線で閉域接続するため、インターネットを経由する通信と比較してセキュアであり、不特定多数のユーザー影響をキャリア 5G 網のみに留めた通信が可能となり、通信品質のバラつき等による運用負荷を抑えたネットワーク構成をとることが出来るため、本実証におけるキャリア 5G 構成において、基地局から遠隔監視センター間のネットワークとして採用しています。

(3) 地域 BWA ネットワーク

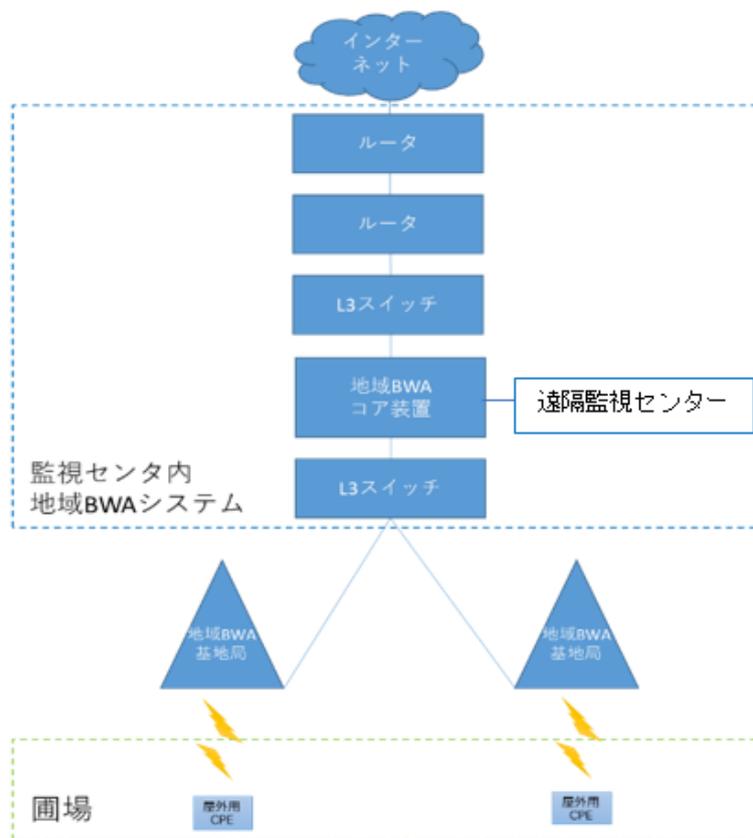


図 3.1.11 地域 BWA ネットワーク構成概要



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

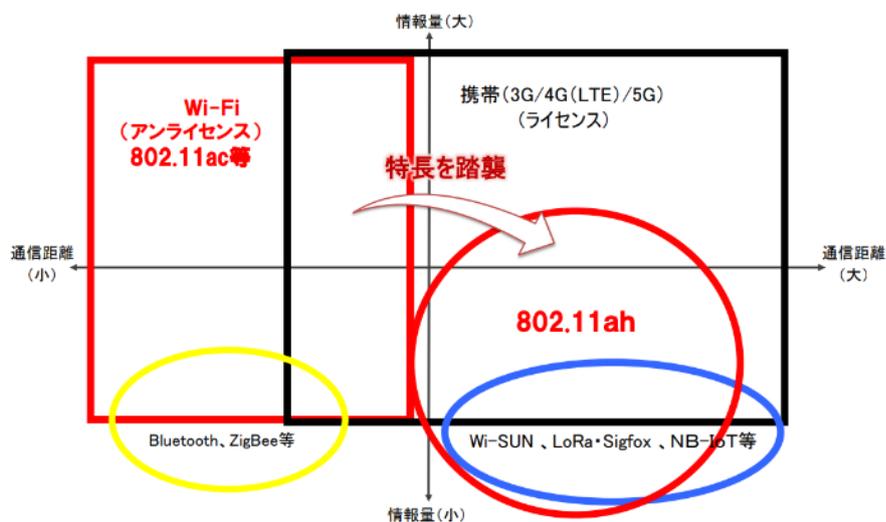
図 3.1.12 地域 BWA 基地局設置場所

※ 青色円は半径 1,000m (参考)

(4) LPWA ネットワーク

本実証における LPWA は、①IEEE 標準規格 802.11ah (11ah)、②LoRaWAN の 2 種類のネットワークについて検証を行いました。

11ah は、920MHz 帯の周波数を利用する通信手段のひとつで、IEEE で 2016 年に規定されています。低消費電力で他の LPWA に比較して広帯域 (数 Mbps) でデータ伝送できる規格として活用が期待されている規格です。



出展：802.11ah 推進協議会ホームページ 802.11ah 説明資料 (PDF) より引用
<https://www.11ahpc.org/pdf/80211ah.pdf>

図 3.1.13 他無線ネットワークと比較した 802.11ah の位置づけ

現在は国内で法制度化されていない無線規格であるため、同規格の国内利用実現に向けた活動を行っている「802.11ah 推進協議会」の協力を受け、岩見沢地区における実験試験局免許を取得し実証を行っています。

11ah 免許申請概要

- ・ 免許人の氏名 : 802.11ah 推進協議会
- ・ 無線局の種別 : 実験試験局
- ・ 免許年月日 : 2019 年 5 月 20 日※

※ 2019 年に交付済みの実験試験局免許について、本実証のエリアとして岩見沢市生産者付近、および赤川排水機場付近を追加申請し、2020 年 10 月、および 12 月に追加登録を完了。

LoRaWAN は、920MHz 帯を使用する特定小電力無線規格であり、免許を要しない無線局として構築、実証を行っています。

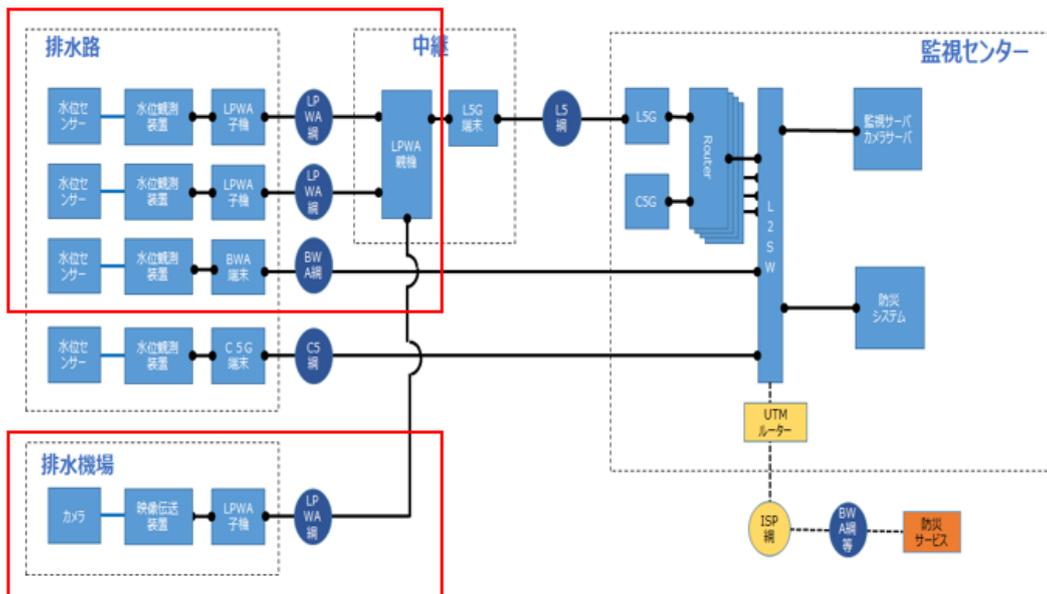


図 3.1.14 LPWA ネットワーク構成概要



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

図 3.1.15 LPWA 基地局設置場所

※ 青色円は半径 1,000m、緑色円は半径 2,000m (参考)



图 3.1.16 LPWA 基地局

(5) 遠隔監視制御センターネットワーク・サーバー&外部クラウドネットワーク

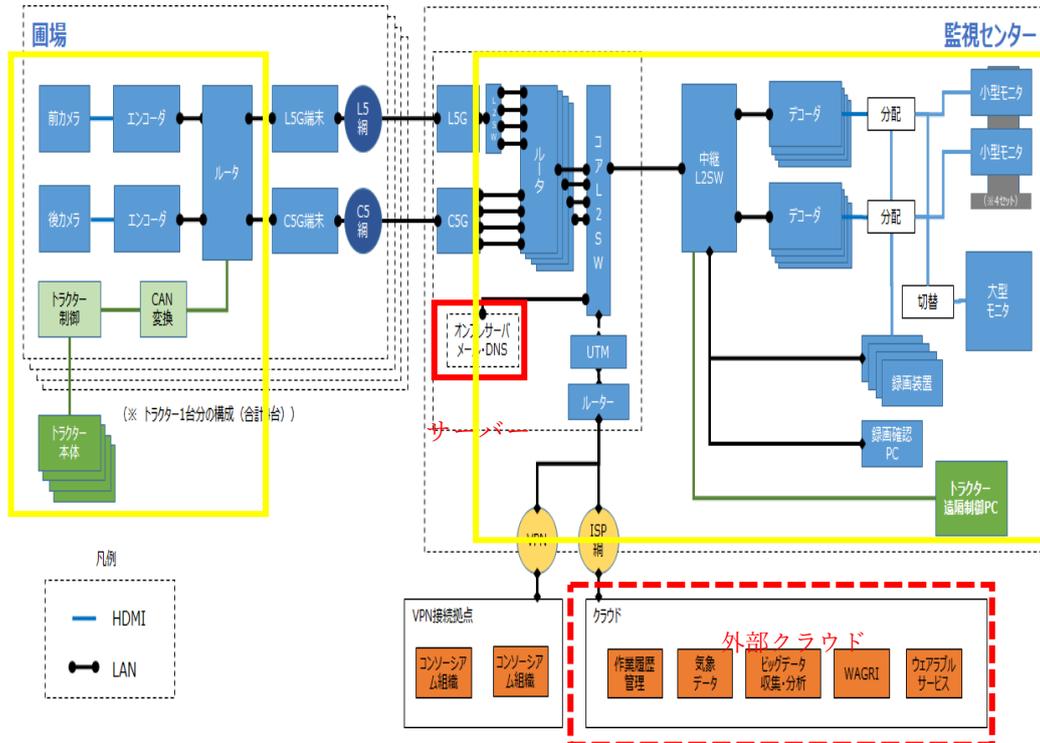


図 3.1.17 遠隔監視・サーバー・外部クラウド構成概要

- 黄枠 : 55.遠隔監視制御センターネットワーク
- 赤枠 : 6.サーバーネットワーク (D.ビッグデータ収集 (一部連携))
- 赤破線 : 6.外部クラウドネットワーク (C.ウェアラブル、D.ビッグデータ収集 (連携))
- 青塗・緑塗 : A.自動走行トラクター遠隔監視制御システム (D.ビッグデータ収集 (一部連携))

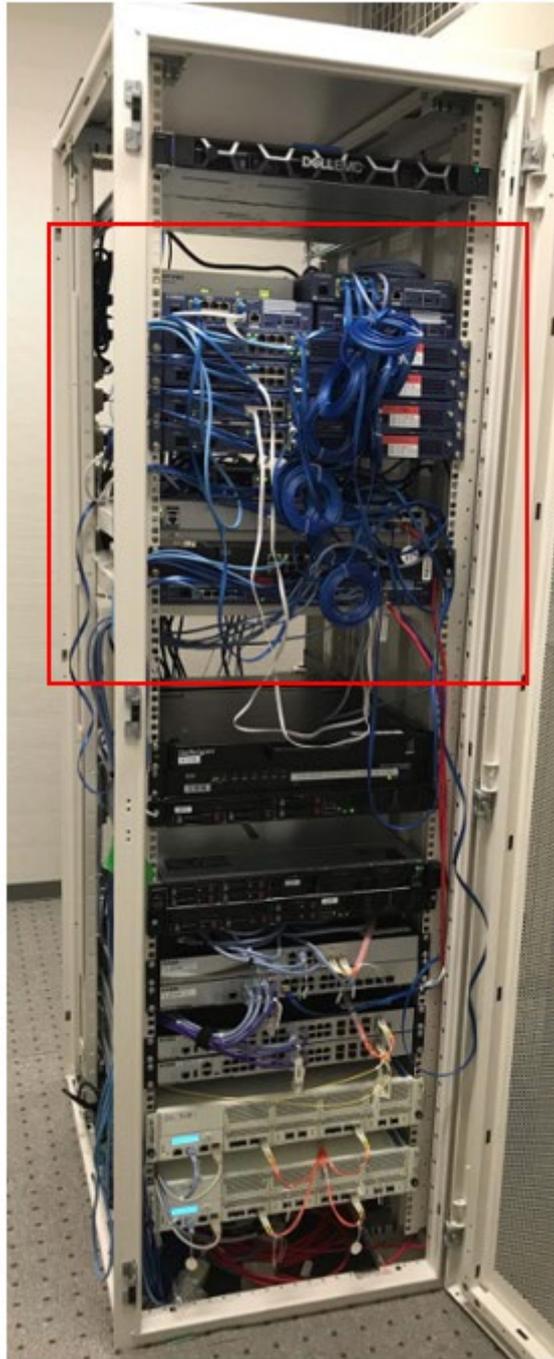


図 3.1.18 監視センター内機器（ネットワーク機器・サーバー）



図 3.1.19 監視センター内機器 (デコーダー・録画装置)



図 3.1.20 監視センター内機器 (大型モニター)

3.2 システム機能・要件・性能

3.2.1 ネットワークシステム機能・要件・性能

各ネットワークシステム機能・要件・性能について下記に記します。システムを構成するコンポーネントについては、ローカル 5G 上り帯域で数百 Mbps スループットでの 4k 映像伝送の性能要件を考慮し、効率的な実証が可能となる機器を選定しました。

なお、「2. キャリア 5G ネットワーク」「地域 BWA ネットワーク」については、商用サービス利用のため詳細説明は省略いたします。

①ローカル 5G ネットワーク

表 3.2.1 ローカル 5G ネットワークシステム機能・要件・性能

システム機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3GPP (Version Release15) に準拠し、4.7GHz (サブ 6) 帯のスタンドアローン (SA) 構成に対応した各コンポーネント機能 (コアネットワーク装置、集約基地局 (CU)、リモート局 (DU)、基地局 (RU)、陸上移動局 (UE)) を有する ・ 5G コアネットワークファンクションの下記機能を実装 			
	5G コアネットワークファンクション	機能	実装	
	AUSF	Authentication Server Function	ユーザー認証サーバー	○
	UDM	Unified Data Management	ユーザー情報管理	○
	AMF	Access and Mobility Management Function	ユーザー認証・セキュリティ、端末位置情報管理	○
	SMF	Session Management Function	セッション管理	○
	PCF	Policy Control Function	ポリシー制御	○
	UPF	User Plane Function	ユーザーデータパケット転送	○
要件	<ul style="list-style-type: none"> ・ UE・コア装置の両側から任意 IP アドレスネットワークを提供可能 ・ 基地局は TDD パターンの変更、基地局単位での ON/OFF が可能 ・ 各コンポーネント間は、1000BaseT または 10G BASE-R (SFP+) で接続可能 ・ RU は 2 台設置 (アンテナ位置は地上 10m 以上) 			
	無線局種別	RU (基地局)	UE (陸上移動局)	
	無線局数	2	10	
	中心周波数 (帯域幅)	4850MHz (99.98MHz)	4850MHz (99.98MHz)	
	変調方式	OFDM	OFDM	
	送信出力 [W (dBm)]	1 素子当り : 250mW (24dBm) 総送信出力 : 1000mW (30dBm)	総送信出力 : 200mW (23dBm)	

	空中線利得	8dBi	3dBi
	屋外型 CPE は 10 台 ・ サプライチェーンリスクに対応するため、本構成においては日本(国産)、米国、台湾のサプライヤー製品を利用する		
性能	<ul style="list-style-type: none"> ・ UE～UE 間：10ms のネットワーク遅延が 10msec 以下 ・ RU (基地局) ～UE (陸上移動局) で最大 500m 程度の通信距離 ・ 基地局～UE 間のスループットは TDD パターンをパターン 2 (準同期) とした場合、計算上の理論値として、DL:約 930Mbps、UL:約 185Mbps と想定 		

調達ベンダー：パナソニックシステムソリューションズジャパン(株)

分類	機器名	数量	設置形態	設置場所	機能	調達先
ローカル5G基地局	コア装置	2	固定	監視センター	C-plane/U-plane	パナソニックシステムソリューションズ ジャパン(株)
	L2SW	1	固定	監視センター	L5G機器間通信用のL2SW	パナソニックシステムソリューションズ ジャパン(株)
	L2SW	1	固定	監視センター	L5G機器間通信用のL2SW	パナソニックシステムソリューションズ ジャパン(株)
	CU/DU	2	固定	監視センター	Central Unit Distributed Unit	パナソニックシステムソリューションズ ジャパン(株)
	L3SW	2	固定	監視センター	L5G機器間通信用のL3SW	パナソニックシステムソリューションズ ジャパン(株)
	RU	2	固定	圃場	Radio Unit	パナソニックシステムソリューションズ ジャパン(株)
	GPSアンテナ	1	固定	監視センター	GPSからの信号受信装置	パナソニックシステムソリューションズ ジャパン(株)
	GMC	1	固定	監視センター	GPS信号から時刻を測定し再 配布する装置	パナソニックシステムソリューションズ ジャパン(株)
ローカル5GCPE	屋外型CPE	10	可搬	圃場	ローカル5G基地局局とのデータ通信	パナソニックシステムソリューションズ ジャパン(株)

図 3.2.1 ローカル 5G ネットワークシステム機器一覧

②LPWA ネットワーク

表 3.2.2 LPWA ネットワークシステム機能・要件・性能

システム機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ LPWA アップリンクとして、ローカル 5G ネットワークと連携 ・ センサー等の IoT 端末接続には、IEEE 802.11ah 準拠ネットワーク機器、LoRa 準拠ネットワーク機器を用いる (920MHz 帯) ・ 土壌センサー、水位計、水位監視カメラと接続し、サーバー系ネットワークやクラウドネットワークの IoT サーバーとのデータ通信が可能なこと
要件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 802.11ah は、アクセスポイント 1 台、端末 1 台 (ルーター) ・ LoRa は、アクセスポイント 1 台、端末 4 台 ・ 802.11ah および LoRa 端末は、センサー等と接続するための AI/O、DI/O、RS232C でのインターフェース接続に対応 ・ アンテナ位置は地上 5m 以上に設置 ・ 電源はソーラーパネル (地上 2m 以上に設置) 等により充電可能
性能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 802.11ah は、速度：150kbps～4Mbps と多様なモードを選択可能 ・ 802.11ah は、最大約 1km エリアをカバレッジ、916.5MHz から 927.5MHz の 11MHz の周波数帯 (チャンネルは幅 1MHz) が利用可能で、11 チャンネルの使用が可能 ・ LoRa は、速度：300bps～37.5kbps と多様なモードを選択可能 ・ LoRa は、最大約 3km エリアをカバレッジ、チャンネルは幅 125kHz の 24 チャンネルの使用が可能

調達ベンダー：(株)ビート・クラフト、大井電気(株)

分類	機器名	数量	設置形態	設置場所	機能	調達先
LoRaゲートウェイ	LoRaWANゲートウェイ用アンテナ	2	固定	LPWA基地局柱	LoRa通信アンテナ	大井電気(株)
	LoRaWANゲートウェイ	1	固定	LPWA基地局柱	LoRa子機との通信	大井電気(株)
	LoRaWANゲートウェイ用PoEインジェクタ	1	固定	LPWA基地局柱	LoRaGWへの電源供給	大井電気(株)
LoRa子機	LoRaWAN子機用アンテナ	4	固定	水位計柱 圃場A,C	LoRa通信アンテナ	大井電気(株)
	LoRaWAN子機	4	固定	水位計盤 圃場A,C	LoRaゲートウェイとの通信	大井電気(株)
11ahルーター	11ahアンテナ	6	固定	LPWA基地局柱(1) 水位計柱(2) 中継機柱(2) 排水機場(1)	11ah通信アンテナ	株式会社クラフト
	11ahルーター	6	固定	LPWA基地局柱(1) 水位計柱(2) 中継機柱(2) 排水機場(1)	11ahルーター間通信	株式会社クラフト

図 3.2.2 LPWA ネットワーク機器一覧

③遠隔監視制御センターネットワーク

表 3.2.3 遠隔監視制御センターネットワークシステム機能・要件・性能

システム機能	<ul style="list-style-type: none"> トラクター搭載ルーター/監視センター設置ルーター間でのネットワーク経路切替機能 監視センター内 LAN 機能
要件	<ul style="list-style-type: none"> トラクター（搭載機器）毎のネットワーク識別が可能なこと 圃場～監視センターまでは、トラクター搭載機器の接続変更や設定により、5G/キャリア 5G/BWA のうち 2 つ以上のネットワークを選択し冗長構成を組めること トラクター搭載ルーター/監視センター設置ルーター間で KeepAlive パケット等により、経路制御ができること トラクター搭載機器（IP アドレスを有する機器）へ遠隔監視センターからログインし設定変更が可能なこと
性能	<ul style="list-style-type: none"> 圃場カメラから監視センターのモニターまで映像伝送遅延が 400msec 以下（全体制動時間（level 3）=1.05s、 <ul style="list-style-type: none"> 映像信号伝送遅延：400ms 人間の制動反応時間：600ms 実制動に要する時間：50ms、 時速 10km の場合：2.9m を目標値に設定しているため トラクター監視制御 PC の制御指示から、トラクター受信まで 1 秒以下

調達ベンダー：(株)NTT ドコモ

分類	機器名	数量	設置形態	設置場所	機能	調達先
センターネットワーク	センタールーター	4	固定	遠隔監視センターラック	ネットワーク間ルーティング	㈱NTTドコモ
	L5G POIルーター	1	固定	遠隔監視センターラック	L5Gネットワーク接続	ダイワボウ情報システム㈱
	C5G POIルーター	1	固定	遠隔監視センターラック	C5Gネットワーク接続	㈱NTTドコモ
	BWA POIルーター	1	固定	遠隔監視センターラック	BWAネットワーク接続	㈱NTTドコモ
	LAN間接続用ルーター	1	固定	遠隔監視センターラック	ネットワーク間ルーティング	㈱NTTドコモ
	POI接続用L2SW	1	固定	遠隔監視センターラック	POIルーター接続	㈱NTTドコモ
	中継L2SW	1	固定	遠隔監視センターラック	LAN間接続	㈱NTTドコモ

図 3.2.3 遠隔監視制御センターネットワークシステム機器一覧

④サーバー・外部クラウドネットワーク

表 3.2.4 サーバー・外部クラウドネットワークシステム機能・要件・性能

システム機能	<ul style="list-style-type: none"> ISP 機能（クラウドサーバー接続） オンプレサーバー機能 UTM 機能 VPN 接続機能
要件	<ul style="list-style-type: none"> インターネット接続サービス（クラウド等）が利用できること オンプレサーバーを設置しセキュリティが確保された状態で利用ができること（排水管理用サーバー、土壤水分サーバーを予定） UTM 機能により外部侵入を検知・防御できること VPN により限られたアクセスだけがサーバーネットワーク等へ接続できること
性能	<ul style="list-style-type: none"> ISP は共用 10Mbps 以上 オンプレサーバーHW、UTM は汎用品相当 VPN はフレッツ VPN プライオ

調達ベンダー：(株)NTT ドコモ、(株)はまなすインフォメーション

分類	機器名	数量	設置形態	設置場所	機能	調達先
外部ネットワークシステム	UTM	1	固定	遠隔監視センターラック	外部ネットワーク接続制御	㈱NTTドコモ

図 3.2.4 外部ネットワーク機器一覧

3.2.2 課題解決システム機能・要件・性能

各課題解決システムの機能・要件・性能は下記となります。

(1) 課題解決システム実証 1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）

システム名称：自動走行トラクター遠隔監視制御システム

使用ネットワーク：ローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA、遠隔監視制御

表 3.2.5 自動走行トラクター遠隔監視制御システム機能・性能・要件

システム機能	<ul style="list-style-type: none"> 自動走行機能（圃場間移動可）（トラクター①） 自動走行機能（圃場内のみ）（トラクター②③、コンバイン） トラクター搭載カメラ映像伝送機能 カメラ映像受信・監視機能 映像録画機能 録画映像確認機能 ロボットトラクター制御機能①（トラクター①） ロボットトラクター制御機能②（トラクター②③、コンバイン） 																	
要件	<ul style="list-style-type: none"> トラクター①は、自動走行（圃場間移動を含む）が可能なこと トラクター②③およびコンバインは、自動走行（圃場内のみ）が可能であり、自動走行アシスト機能相当の検出情報を遠隔で監視できるとともに、遠隔からの「ストップ、ゴー」の制御が可能なこと トラクター搭載カメラは、4k×30fps での HDMI 映像スルーに対応し、金具等で躯体に取り付けられ、安定して利用できること 																	
	<ul style="list-style-type: none"> トラクターと搭載カメラの対応 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">スマート農機</th> <th style="width: 35%;">前</th> <th style="width: 35%;">後</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>トラクター①</td> <td>SONY FDR-AX700</td> <td>Kodak 4KVR360</td> </tr> <tr> <td>トラクター②</td> <td>SONY FDR-AX700</td> <td>Kodak SP360 4K</td> </tr> <tr> <td>トラクター③</td> <td>Kodak 4KVR360</td> <td>Kodak 4KVR360</td> </tr> <tr> <td>コンバイン</td> <td>Kodak 4KVR360</td> <td>Kodak SP360 4K</td> </tr> </tbody> </table>			スマート農機	前	後	トラクター①	SONY FDR-AX700	Kodak 4KVR360	トラクター②	SONY FDR-AX700	Kodak SP360 4K	トラクター③	Kodak 4KVR360	Kodak 4KVR360	コンバイン	Kodak 4KVR360	Kodak SP360 4K
スマート農機	前	後																
トラクター①	SONY FDR-AX700	Kodak 4KVR360																
トラクター②	SONY FDR-AX700	Kodak SP360 4K																
トラクター③	Kodak 4KVR360	Kodak 4KVR360																
コンバイン	Kodak 4KVR360	Kodak SP360 4K																
	<ul style="list-style-type: none"> 各カメラの台数と特徴 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">カメラ</th> <th style="width: 10%;">台数</th> <th style="width: 60%;">特徴</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SONY FDR-AX700</td> <td>2 台</td> <td>低ルクスナイトモード、ハンディカム</td> </tr> <tr> <td>Kodak 4KVR360</td> <td>4 台</td> <td>197° 4K ワイド画面、アクション</td> </tr> <tr> <td>Kodak SP360 4K</td> <td>2 台</td> <td>235° Doom 画面、ナイト、アクション</td> </tr> <tr> <td>AXIS M3058-PLVE</td> <td>1 台</td> <td>360° Doom 画面、ネットワークカメラ 公道走行時の交差点での左右確認の補助利用を想定</td> </tr> </tbody> </table>			カメラ	台数	特徴	SONY FDR-AX700	2 台	低ルクスナイトモード、ハンディカム	Kodak 4KVR360	4 台	197° 4K ワイド画面、アクション	Kodak SP360 4K	2 台	235° Doom 画面、ナイト、アクション	AXIS M3058-PLVE	1 台	360° Doom 画面、ネットワークカメラ 公道走行時の交差点での左右確認の補助利用を想定
カメラ	台数	特徴																
SONY FDR-AX700	2 台	低ルクスナイトモード、ハンディカム																
Kodak 4KVR360	4 台	197° 4K ワイド画面、アクション																
Kodak SP360 4K	2 台	235° Doom 画面、ナイト、アクション																
AXIS M3058-PLVE	1 台	360° Doom 画面、ネットワークカメラ 公道走行時の交差点での左右確認の補助利用を想定																
	<ul style="list-style-type: none"> 公道を走行する場合は、180度～360度の広い範囲を確認可能であり、遠隔監視による交差点の左右確認が可能なこと。 後側カメラは、後ろからの障害物の接近を確認できること。 トラクターの後側カメラは、後部に取り付けた作業機が安全に動作していること、および走行後の圃場状態が確認できること 夜間走行時は、（トラクターのヘッドライト有が前提）2ルクス以下に対応したナイトモードや暗視機能を有すること。トラクターに搭載したエンコーダーと監視センターに設置するデコーダーは 4k×30fps、H265 に対応することで帯域を効率的に活用できること 																	

	<ul style="list-style-type: none"> 監視センターでは、伝送されたカメラ映像を 40 インチ程度の 4k モニターおよび 75 インチ程度の 4k 大型モニター（映像の切替可）に表示し、監視者が容易に映像を確認できること 映像は一定期間（10 日以上）録画保存され、日付を選択するなどして映像再生確認やバックアップ保管が可能なこと トラクター監視制御 PC では、トラクター走行状態や走行ルートなど自動走行アシスト機能相当の検出情報を監視でき、必要に応じて「ストップ、ゴー」の遠隔制御が可能なこと ネットワーク切替わり試験（キャリア 5G/ローカル 5G/地域 BWA）が実施可能なこと。
性能	<ul style="list-style-type: none"> 夜間時のカメラ解像度は FHD×30 f p s 以上 エンコーダー／デコーダーは 4k×30 f p s 以上 録画装置は、FHD×30fps（30 日程度保存、上書き記録） ローカル 5G 利用時のカメラ映像伝送遅延（カメラ～モニターまでを映像伝送測定器で計測）は 400msec トラクターに搭載する機器は、できるだけコンパクトに収容でき、ポータブル電源容量で 5 時間以上利用できること トラクター監視制御 PC の制御指示から、トラクター受信まで 1 秒以下

調達ベンダー：(株)クボタ、(株)日立ソリューションズ、(株)NTT ドコモ

分類	機器名	数量	設置形態	設置場所	機能	調達先
トラクター搭載機器	カメラ	2	固定	トラクター	トラクター前面監視用	㈱NTTドコモ
	カメラ	4	固定	トラクター	トラクター前・後部監視用	㈱NTTドコモ
	カメラ	2	固定	トラクター	トラクター後部監視用	㈱NTTドコモ
	360°カメラ	1	固定	トラクター	左右確認補助用	㈱NTTドコモ
	PoEインジェクター	1	固定	トラクター	360°カメラ電源供給	㈱NTTドコモ
	エンコーダ	8	固定	トラクター	カメラ画像エンコード	㈱NTTドコモ
	ルーター	4	固定	トラクター	トラクターIP通信	㈱NTTドコモ
遠隔監視センター機器	中継L2SW	1	固定	遠隔監視センター	LAN間接続	㈱NTTドコモ
	デコーダー	8	固定	遠隔監視センター	カメラ画像デコード	㈱NTTドコモ
	HDMI分配器	8	固定	遠隔監視センター	カメラ画像をモニターレコーダーに分配	㈱NTTドコモ
	43型ディスプレイ	8	固定	遠隔監視センター	カメラ画像用モニター	㈱NTTドコモ
	43型ディスプレイスタンド	8	固定	遠隔監視センター	カメラ画像モニター設置	㈱NTTドコモ
	75型ディスプレイ	1	固定	遠隔監視センター	メインディスプレイ	㈱NTTドコモ
	75型ディスプレイスタンド	1	固定	遠隔監視センター	メインディスプレイ用スタンド	㈱NTTドコモ
	HDMI分配器切替器	1	固定	遠隔監視センター	メインディスプレイ表示内容切替	㈱NTTドコモ
	デジタル入力レコーダー	8	固定	遠隔監視センター	カメラ画像記録	㈱NTTドコモ
	映像確認用PC	1	固定	遠隔監視センター	映像確認編集	㈱NTTドコモ

図 3.2.5 自動走行トラクター遠隔監視制御システム機器一覧

(2) 課題解決システム実証 2：農業領域（ビッグデータ収集）

システム名称：ビッグデータ収集分析システム

使用ネットワーク：ローカル 5G、LPWA、サーバー系、クラウド

表 3.2.6 ビッグデータ収集分析システム機能・要件・性能

システム機能	<ul style="list-style-type: none"> カメラ映像データ、営農データ（作業計画、作業実績等）、気象データ、土壌水分データの収集機能 土壌水分、地温、PF 値測定機能 ビッグデータ保管機能 最適スケジュール作成機能 												
要件	<ul style="list-style-type: none"> 定期的（予め定めた間隔）に各サーバーやクラウドから必要なデータを収集 カメラ映像データは、表 3.2.5 で撮影したデータを使用。 土壌水分センサーの台数と特徴 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>センサー</th> <th>規格</th> <th>台数</th> <th>特徴</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>土壌水分計</td> <td>WD-3-WT-5Y</td> <td>9 台</td> <td>土壌水分率、温度 を計測可能</td> </tr> <tr> <td>テンシオメータ</td> <td>HD-001</td> <td>9 台</td> <td>圧力レンジ 0～100KP、出力 1～2V、電源 12V、PF 値を計測可能</td> </tr> </tbody> </table> オンラインストレージにデータを保管し、ネットワーク経由で接続可能 アクセス認証セキュリティ、不正侵入検知セキュリティ等の対策が実施 農家が策定する作業スケジュールに対し、積算気温などに基づく生育情報、気象条件、土壌水分条件等を加味し、スマート農機を活用したスケジュール最適化プランを策定できること 最適スケジュールとした場合の各農家の経済効果予測ができること <ul style="list-style-type: none"> 自動走行トラクター導入による作業時間削減効果（慣行作業比較：70%） スケジュール最適化と機械共用による農家生産コスト低減（15%） スケジュール最適化は 1 週間先の策定ができること <ul style="list-style-type: none"> 各農家個別の 1 週間後の作業スケジュールを元データとし、自動走行トラクター作業委託を活用した場合の最適化を図り、単位面積あたりの作業費低減を想定 <div style="text-align: center;"> <p>調整前</p> <p>調整後</p> <p>作業スケジュール調整イメージ</p> </div>	センサー	規格	台数	特徴	土壌水分計	WD-3-WT-5Y	9 台	土壌水分率、温度 を計測可能	テンシオメータ	HD-001	9 台	圧力レンジ 0～100KP、出力 1～2V、電源 12V、PF 値を計測可能
センサー	規格	台数	特徴										
土壌水分計	WD-3-WT-5Y	9 台	土壌水分率、温度 を計測可能										
テンシオメータ	HD-001	9 台	圧力レンジ 0～100KP、出力 1～2V、電源 12V、PF 値を計測可能										

性能	<ul style="list-style-type: none"> カメラの性能は、上表 3.2.5 と同等 土壌水分計は土壌水分率、温度を計測可能 テンシオメータは圧力レンジ 0～100KP、出力 1～2V、電源 12V で PF 値を計測可能 データは 2 年以上保管可能
----	---

調達ベンダー：大井電気(株)、(株)スマートリンク北海道、(株)NTT コミュニケーションズ、Amazon Web Services

分類	機器名	数量	設置形態	設置場所	機能	調達先
LoRa子機	LoRaWAN子機用アンテナ	3	固定	圃場	土壌水分データ伝送用	大井電気(株)
	LoRaWAN子機	3	固定	圃場	土壌水分データ伝送用	大井電気(株)
土壌水分センサー	土壌水分センサー	3	固定	圃場	土壌水分データ取得	(株)スマートリンク北海道

図 3.2.6 ビッグデータ収集分析システム機器一覧

(3) 課題解決システム実証 3：生活領域（排水路監視等）

システム名称：排水路監視システム

使用ネットワーク：ローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA、LPWA

表 3.2.7 排水路監視システム機能・性能・要件

システム機能	<ul style="list-style-type: none"> 水位計測機能 高感度監視カメラ機能 監視サーバー機能
要件	<ul style="list-style-type: none"> 水位センサー：投げ込み圧力式（圧力補正用キャプラリーチューブ付属）、水深 6m、1 分毎送信 カメラ映像：HD×30fps、屋外高感度、防水機能 監視サーバーは広域の状態表示・トレンド表示機能を有する 監視サーバーは、設定された水位を超えた場合において防災システムへ連動し、警報メールを発報する機能
性能	<ul style="list-style-type: none"> 総合精度は 0.5%（水の屈折や 0m-6m スパンの誤差を加味した精度） 測定範囲は設置場所に合わせて、水深 6m スパン程度 水位センサーのデータは、通信端末装置で 1 分毎にサーバーへ送信

調達ベンダー：(株)クボタ、(株)ビート・クラフト、大井電気(株)

分類	機器名	数量	設置形態	設置場所	機能	調達先
LoRaゲートウェイ	LoRaWANゲートウェイ用アンテナ	2	固定	LPWA基地局	LoRa通信アンテナ	大井電気(株)
	LoRaWANゲートウェイ	1	固定	LPWA基地局	LoRa子機との通信	大井電気(株)
	LoRaWANゲートウェイ用PoEインジェクタ	1	固定	LPWA基地局	LoRaGWへの電源供給	大井電気(株)
LoRa子機	LoRaWAN子機用アンテナ	1	固定	水位計	LoRa通信アンテナ	大井電気(株)
	LoRaWAN子機	1	固定	水位計	LoRaゲートウェイとの通信	大井電気(株)
11ahルーター	11ahアンテナ	6	固定	LPWA基地局(1) 水位計(2) 中継機(2) 排水機場(1)	11ah通信アンテナ	㈱ビート・クラフト
	11ahルーター	6	固定	LPWA基地局(1) 水位計(2) 中継機(2) 排水機場(1)	11ahルーター間通信	㈱ビート・クラフト
ローカル5GCPE	屋外型CPE	1	固定	LPWA基地局	ローカル5G基地局局とのデータ通信	パナソニックシステムソリューションズジャパン(株)
キャリア5G子機	キャリア5Gルーター	1	固定	LPWA基地局	キャリア5G基地局とのデータ通信	㈱NTTドコモ
BWA子機	BWAルーター	1	固定	水位計	BWA機器局とのデータ通信	㈱はまなすインフォメーション
水位センサー機器	データ通信端末	3	固定	水位計	水位計データ送信	㈱クボタ
	水位センサー	4	固定	水位計	水位データ取得	㈱クボタ
排水機場監視カメラ	カメラ	1	固定	排水機場	排水機場監視画像撮影	㈱クボタ
サーバー	監視サーバ/カメラサーバ	1	固定	遠隔監視センター	水位データ、カメラ映像配信・保存サーバー	㈱クボタ

図 3.2.7 排水路監視システム機器一覧

(4) 課題解決システム実証 4：生活領域（健康管理等）

システム名称：生活領域ウェアラブルシステム

使用ネットワーク：ローカル5G

表 3.2.8 生活領域ウェアラブルシステム機能・要件・性能

システム機能	<ul style="list-style-type: none"> 農作業者に装着するウェアラブル機器で、生体情報（生体電流、心拍、呼吸、温度、湿度）を計測し、ローカル5G等を介してヘルスケアクラウドへデータを保存
要件	<ul style="list-style-type: none"> 生体電流、心拍、呼吸、温度、湿度が取得・保存できること 本人へはスマートフォンのアプリからアラートを通知 端末上のアラートはリアルタイム通知、Web管理画面は5秒に1回更新で、ヘルスケアクラウドにある最新データを表示
性能	<ul style="list-style-type: none"> データ取得は、トランスミッター（ウェアラブル機器）～スマートフォン（モバイルアプリ）間RRIを検出都度、送信 スマートフォン（モバイルアプリ）～ヘルスケアクラウド間で受け取ったRRIを元に以下計算をし、計算結果とアラート情報を送信 <ul style="list-style-type: none"> ➤ RRI：都度送信

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 心拍： 都度計算 ➤ 体調、眠気、転倒：1分に1回、 ➤ ストレス：10分に1回 ➤ 暑熱リスク：3分に1回計算 • データ保存期間は、アップロードされるまで最大7日間分、端末に保存。7日を超える場合には古い方からデータを削除 • ヘルスケアクラウド：6か月（予定）保存 • 取得データの誤差は、医療用のホルター心電計と比較して、98.7%シンクロ率（静止時）※ <p>※シンクロ率：R波の検出率をホルター心電計と比較し、ホルター心電計の検出率を100%とした場合の指標</p>
--	---

調達ベンダー：(株)はまなすインフォメーション

分類	機器名	数量	設置形態	設置場所	機能	調達先
ローカル5GCPE	屋外型CPE	1	可搬	協力者宅内等	ローカル5G基地局局とのデータ通信	パナソニックシステムソリューションズジャパン(株)
キャリア5Gルーター	キャリア5Gルーター	1	可搬	協力者宅内等	キャリア5G基地局とのデータ通信	(株)NTTドコモ
BWA端末	屋外用CPE	1	可搬	協力者宅内等	BWA機器局とのデータ通信	(株)はまなすインフォメーション
ウェアラブル機器	スマートウェア	5	可搬	協力者宅内等	生体情報取得	(株)はまなすインフォメーション
	トランスミッター	5	可搬	協力者宅内等	生体情報取得伝送	(株)はまなすインフォメーション
スマートフォン	スマートフォン端末	5	可搬	協力者宅内等	ウェアラブル端末情報送信	(株)はまなすインフォメーション

図 3.2.8 生活領域ウェアラブルシステム機器一覧

3.3 実証環境の運用

3.3.1 説明会

本実証に関する協力者に対し、次の説明会を実施しました。

(1) 1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）、2：農業領域（ビッグデータ収集）

対象者：参画生産者、いわみざわ地域 ICT 農業利活用研究会役員等生産者

内 容：技術機能、検証手法、スケジュール等説明

特 記：成果普及に向け、視察者（関係機関、経済団体等）へ説明

開催日：令和2年10月14日

次第、参加者、資料等： 以下参照

全体アジェンダ	
1.	全体挨拶（実証代表、PO）
2.	実証事業の位置づけ
3.	コンソーシアム
3-1.	設立
3-2.	体制
3-3.	構成員
3-4.	役割
4.	実証
4-1.	背景・課題・実証項目
4-2.	実証概要
5.	今後のスケジュール

図 3.3.1 次第

非公開情報を含むため該当の図を削除

図 3.3.2 座席表



図 3.3.3 資料 (抜粋)

(2) アー3：生活領域（排水路監視等）

対象者：岩見沢市、関係機関
 内 容：検証内容、評価手法等説明
 開催日：令和3年2月18日
 次第、参加者、資料等： 以下参照

岩見沢市排水路監視システム説明会兼機能検証

日時：令和3年2月18日（木）13:30～14:45
場所：新産業支援センター3階

次第

1. 開会	13:30
2. 排水路監視システム概要	13:30～13:40
3. システム操作・仕様説明	13:40～14:00
4. 質疑応答	14:00～14:15
5. 機能検証（アラートメール発報）	14:15～14:30
6. 意見交換・アンケート	14:30～14:45
7. 閉会	14:45

【配布資料】

- ・ 次第（本資料）
- ・ 出席者
- ・ 座席表
- ・ システム構成概要資料
- ・ 岩見沢市排水路監視システム簡易取扱説明書
- ・ 機能検証の流れ
- ・ アンケート

図 3.3.4 次第

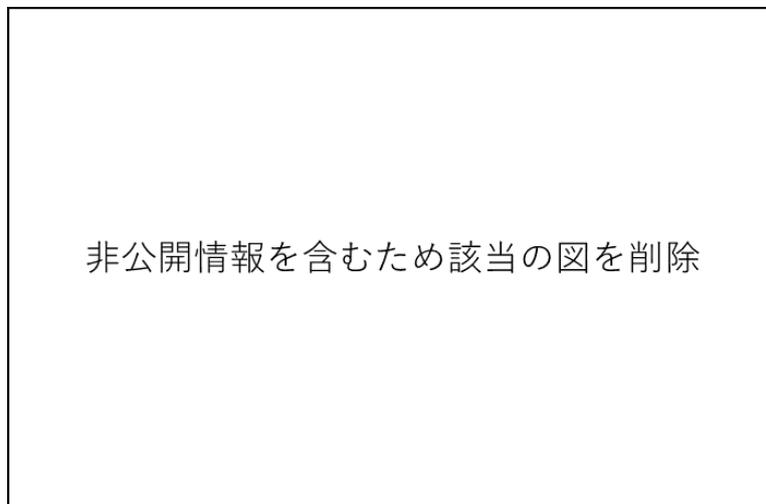


図 3.3.5 座席表

実証事業の概要

総務省 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」

「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」

ローカル5G技術実証

課題解決システム実証

- 1 農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）
- 2 農業領域（ビッグデータ収集）
- 3 生活領域（排水路監視等）
- 4 生活領域（健康管理等）

【実証内容】

- ・ ローカル5G、キャリア5G、地域BWA、LPWA等、複数の無線通信ネットワークを使用した排水路監視システム構築面の検証
- ・ 遠隔からの水位監視機能、水位の閾値によるアラートメール機能、遠隔画像監視機能についての機能・効果・運用面の検証

1

図 3.3.6 資料（抜粋）

(3) アー4：生活領域（健康管理等）

対象者：協力者（一般市民）

内 容：機能、検証手法等説明（参照のための環境確認を含む）、個人情報保存期間及び実証における個人情報利用等についての協力者合意

開催日：令和3年2月12日

参加者、資料等： 以下参照

説明会内容：実証内容、ウェアラブル機器の使用方法

表 3.3.1 協力者一覧

1	赤川地区在住	60代以上
2	赤川地区在住	60代以上
3	赤川地区在住	60代以上
4	岩見沢市在住	60代以上
5	札幌市在住	40代

ウェアラブル機器を用いた健康管理機能検証へのご協力依頼について

1. 本検証の背景

昨今、農業人口の減少に伴い、大規模な圃場において単身で作業する機会が増加しており、熱中症対策、単独作業中の体調変化をはじめ、**農作業時における生産者の健康管理に関する課題、高齢化に対する年間を通じた防災、健康サポート等の見守りの必要性**が顕在化しています。

岩見沢市においては、全国の自治体で初めて認定を受けた健康経営都市宣言の実践、岩見沢市健康増進計画等の取り組みを通し、「セルフヘルスケア」の取り組みをすすめています。

その一環として「生産者の安全・安心かつ快適な生活・作業環境構築」に向け、総務省の実証事業※を活用したローカル5G等の無線通信システムを用いた**健康管理システム（ウェアラブル機器）の検証**をおこなうことから、住民の皆様にご協力をお願いするものです。

※令和2年度採択 総務省実証事業

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係る農業分野におけるローカル5G等の技術的条件等に関する調査検討の請負（自動トラクター等の農機の遠隔監視制御による自動運転の実現）～生活領域（健康管理等）



Copyright 岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアム

2

図 3.3.7 説明資料（抜粋）

3.3.2 連絡体制

連絡体制については、ヘルプデスク窓口を設置して農業生産者等からの問合せに対応するとともに、不具合が発生した場合に備えた対応体制を構築いたしました。期間中間合せ等はありませんでした。

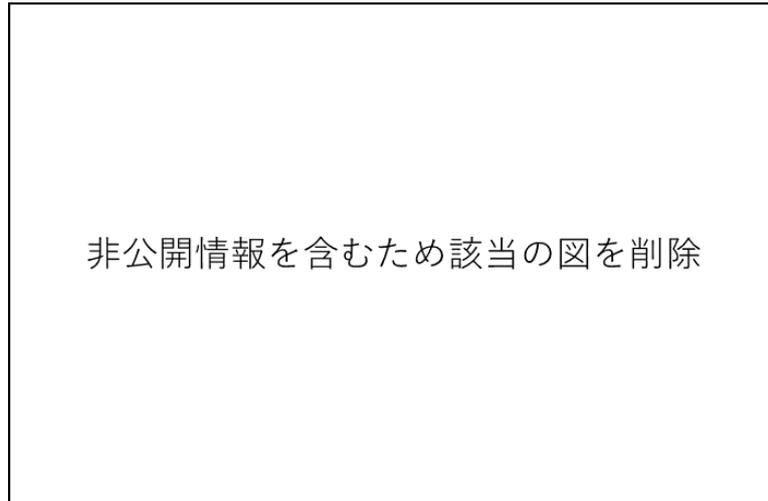


図 3.3.8 運用連絡体制図

3.4 関連事業

スマート農業実証プロジェクト（ローカル 5G） ローカル 5G 活用型スマート農業モデル
実証 課題番号 5GA01（2020.7.9～）

4. 課題解決システムの実証

4.1 前提条件

2章で述べた通り、課題解決システムの実証地域である岩見沢市は、行政面積の約41.2%が農地である国内有数の農業地帯ですが、人口減少に伴って農業就業人口が著しく減少しており、農地の集約に伴い1戸あたりの平均耕作面積は年々増加傾向にあります。

今後も農業従事者の減少が続く状況で、地域の生産規模の維持・拡大を図っていくためには、スマート農機の更なる自動化、スマート農機の共同利用（シェアリング）、農業収益の向上等が求められています。

このような状況を背景に、将来にわたる持続的な農業の発展を目指し、岩見沢市では、米・小麦・大豆等の生産性向上につながる、農作業の効率化・省力化として、ICTの活用・スマート農業の推進に取り組んでいます。

特に農業分野のICT活用については、200名を超える生産者にて組成する研究会（いわみざわ地域ICT農業利活用研究会）の設置をはじめ、北海道大学や農業関係団体、関連企業、自治体等による産学官連携体制のもと、社会実装に向けた取り組みを進めています。

本実証の方向性について、いわみざわ地域ICT利活用研究会等の関係者へヒアリングした結果、今後更に進む農業従事者減少、各農家が大規模に営農する状況を見据えて、運用コストを抑えつつ収量を上げる仕組みとして、農機の機能、導入コスト、運用面のサポートが必要であるため、高コストな自動走行トラクターを地域として効率的に運用する仕組みとして、トラクターの自動走行技術の向上、遠隔制御によるトラクター運用稼働の削減、農機の共同利用、および作業スケジュールの最適化検討の重要性は非常に高いとのコメントをいただいております。本実証が地域課題解決に沿っていることを確認しました。

実証の対象圃場は2.4章で述べた、圃場が点在する分散錯圃制で営農している岩見沢市北村地域の生産者に協力をいただき、実証年度において大豆を作付けした圃場で実証を実施しました。

対象生産者は、作物をすべて直播にするなど省力化を進め、水稻を輪作に組み込む「空知型輪作」を実践、スマート農業も積極的に推進しており、2012年より自動走行トラクターを導入・運用しています。

生産者からは、岩見沢地域の主力作物は依然として米であるにもかかわらず、年々離農が進み、水稻面積が減っていることが課題であり、各農家の収入を維持・拡大するためには、水稻を含む輪作をいかに効率よく実施するかにかかっており、稼働時間を有効に使うためにも、自動走行トラクターを活用した省力化は必須と思われるとのコメントをいただいております。

本実証に係る岩見沢市の既存ネットワーク環境としては、自営光ファイバ網、地域BWA網の2つがあります。

自営光ファイバ網は、1997年度に整備を開始しており、総延長距離207km（2020年3月時点）で、市内小中学校、医療福祉施設、主要公共施設等105施設を結ぶネットワークとして、インターネット接続等のサービス提供や、地域BWA網の基地局間通信等に利用され

ています。

地域 BWA 網は、スマートフォンやタブレットなどモバイル系端末の普及による利用シーン拡大を見込み、2019 年度に岩見沢市が開始したもので、基地局 3 局、陸上移動局最大 600 局の規模で 2.5GHz 帯無線サービスを提供しており、対象エリアは北村地区の一部となっています。

地域をカバーするネットワークとして、既存の自営光ファイバ網、地域 BWA 網に加え、無線区間の更なるブロードバンド化、もしくは狭帯域で広範囲の接続が必要となる状況を想定し、本実証では、5G ネットワークの普及・展開の構成として、上記の既存ネットワークや、LPWA ネットワークと相互に接続したシステム構成を実証しました。

なお、本実証は、令和 2 年度農水省スマート農業実証プロジェクトとの連携事業として実施しており、課題の解決に向け双方の事業で課題解決システムの実証をしております。

本実証事業、農水省事業との検証項目、費用項目の区分を下表に示します。

表 4.1.1 総務省事業と農水省事業における検証項目・費目概要整理表

課題解決システム	実施事業	検証項目 (概要)	予算支出項目 (概要)
1 農業領域 (自動走行 トラクタ 一遠隔監 視制御)	総務省	<p>ア 検証・評価分析：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・圃場内の単体・複数台走行試験 ・農業用道路及び一般道を走行するなど、圃場間移動 ・同一、複数圃場内の複数同時遠隔監視制御（協調作業） <p>イ 効果検証：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スマート農機の遠隔監視・制御利用による作業改善効果 ・利用者間の作業状況及び生育状況を鑑みた共同利用・シェアリング導入促進の効果 ・遠隔自動走行による農作業の安全性、非常停止等の操作の有効性 ・車載機器の耐久性 ・カバーエリア、必要スループット要件の妥当性 ・映像監視の有効性確認 ・5G エリアとそれ以外での作業効率の比較分析 ・業務委託モデル、費用対効果に関する評価・検証 ・複数の無線通信システムの組み合わせによる機能性と経済性の関係 <p>ウ 機能検証：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・撮影機能、圧縮機能、映像伝送機能 ・ルーティング制御機能、ネットワーク切り替え機能、遠隔制御機能 <p>エ 運用検証：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ローカル 5G、LPWA システムの運用 ・保守運用体制の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔監視制御システム構築（カメラ、映像伝送機器、遠隔監視用モニタ） ・除雪費用 ・交通誘導員費用

		<ul style="list-style-type: none"> ・ロボットトラクター等の運用 ・遠隔監視サービスの運用体制（現地対応者、遠隔対応者） 	
	農水省	<p>①スマート農機の遠隔監視制御に関する技術実証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スマート農機（ロボットトラクター、自動運転アシストコンバイン等）の5G技術等を用いた遠隔監視制御機能の実現、安全確保として映像伝送遅延の実証 ・労働時間、人件費削減効果等のシミュレーション 	<ul style="list-style-type: none"> ・トラクター、コンバイン、アタッチメント部材（スマート農機）購入、改造 ・Ntrip受信装置、遠隔監視制御専用端末購入 ・トラクター・コンバイン用定期メンテナンス、消耗品一式 ・遠隔制御システムライセンス料（GeoMation、Ntrip利用・受信） ・車両運搬費（スマート農機）
2 農業領域 (ビッグデータ収集)	総務省	<p>ア 検証・評価分析：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ローカル5G・地域BWA・LPWA等複数の無線通信システム、各種センサー、高精細カメラ等を用いたデータ収集環境の構築 ・定期的なデータ収集、運用（1か月に一度を想定） ・生育・気象・土壌等の生育データ等に基づく農業の最適な作業実施時期や作業スケジュール等の提示（作業スケジュール調整表の完成） ・農機の稼働状況に応じた、実証地域を含む周辺地域内のシェアリングや農機の作業指示 <p>イ 効果検証：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・データ収集タイミング、データ保管条件、最適スケジュール計算の妥当性 ・スケジュール策定手法の評価、スケジュール調整の妥当性 ・費用対効果に関する評価・検証 <p>ウ 機能検証：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・土壌環境データ取得機能、センサーデータ伝送機能 ・映像伝送機能、トラクター走行経路記録機能 ・気象データ記録機能、作業記録機能 <p>エ 運用検証：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・データ収集システムの運用 ・スケジュール最適化調整の評価 ・ヒアリング等による課題の収集分析 	<ul style="list-style-type: none"> ・LPWA通信システム構築

	農水省	②スマート農機の地域実装を促進するための環境形成 ・生産者の作業状況及び生育状況を基とした作業スケジュールの個別最適化のもと、遠隔監視制御機能を用いた新たな作業受発注体制確立やスマート農機のシェアリング・共同利用促進をシミュレーション ・生産費削減及び労働時間削減効果を計測	・水分計、IoTアダプタ、データ収集NW装置（センサー類）購入 ・ビッグデータ収集・分析サーバー構築、利用料 ・生産原価データ活用サービス、KSAS 利用ライセンス料
1・2 共通	総務省	・情報伝送、遠隔監視ネットワーク設備	・ローカル 5G 基地局等無線通信システム設計・構築（NW 機器、電柱等） ・ローカル 5G 実証・評価分析（開発、免許申請、性能実証、機能実証） ・遠隔監視回線利用料
	農水省	・実証環境の整備、アウトリーチ活動	・遠隔監視ルーム賃貸、データセンター利用料 ・現地視察会開催費用 ・損害保険費

4.2 実証目標

本実証は、2 章に述べた岩見沢市についての地域課題をモデルケースとした、産業分野、生活分野における課題解決に向けた情報システムの構築・運用を実施し、効果の検証、または構築・運用上の課題把握を目標としています。

(1) 農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）

農業従事者の減少、高齢化による耕作面積・生産量低下に対して、農業従事者の減少傾向下においても生産規模の維持、拡大を可能とする、より効率的な営農作業の実現に向けた実証を行いました。

点在する圃場構成における、より効率的な営農作業の実現として、遠隔監視下での無人状態での自動走行による農機（自動走行トラクター等）の圃場間移動や、複数台農機の同時作業、遠隔監視による複数台農機の安全管理の実現を目標としました。

(2) 農業領域（ビッグデータ収集）

作物の生育状況やトラクター稼働情報を活用した農作業スケジュールの最適化による、自動走行トラクター等の共同利用体制の構築に向けた実証として、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を目標としました。

(3) 生活領域（排水路監視）

市内複数の水域に伴う水害リスクへの対策として、水位の異常発見、初動対応の迅速化や、水路監視に伴うリスクの低減化に向けた実証として、複数の無線通信を使用したシステム構築、運用面の評価、水位異常発見から防災関係者等への情報伝達時間の測定による、災害リスク低減の評価を目標としました。

(4) 生活領域（健康管理等）

人口減少と高齢化の進行が顕著であり、住民の更なる高齢化・単独世帯化が想定される状況を踏まえた、高齢者の熱中症発生・重症化リスク増加への対策として、ウェアラブル機器による生体情報の把握と家族等の遠隔への通知を実現し、サービスの連続運用性、健康リスク低減を評価することを目標としました。

4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

4.3.1 アー1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）

4.3.1.1 実施概要

ローカル 5G（L5G）、キャリア 5G（C5G）、地域 BWA（BWA）ネットワークを用いた、遠隔監視制御によるロボット農機（自動走行トラクター等）の自動走行、公道走行（圃場間移動）、複数台の自動走行農機の同時遠隔制御による協調作業の検証を実施しました。

4.3.1.2 評価・検証

(1) トラクター搭載時の安定走行試験

・評価内容

- トラクターにカメラや、運転席脇のラック上にネットワーク機器等を設置し、圃場等を走行した際にネットワークエラーがなく安定して走行が可能かを確認
- 有人⇄無人に切り替える際に、運転者の安全が確保できるかを確認

・評価方法

- 課題実証の走行実績の中でネットワークエラーが発生しないことを確認
- 有人運転者に安全面で支障がないかを確認

・評価結果

- 機器設置不安定によるネットワークエラー：なし
- 有人運転者の安全面での問題点：なし

◆ トラクター搭載の状況（仮搭載時）



ポータブル電源



ネットワーク機器等

図 4.3.1 トラクター搭載状況①



耐震ベルト等による固定



前方カメラ

図 4.3.2 トラクター搭載状況②

◆ コンバイン搭載の様子（仮搭載時）



ポータブル電源



ネットワーク機器等

図 4.3.3 コンバイン搭載状況①



前方カメラ



ケーブル配線ルート

図 4.3.4 コンバイン搭載状況②

(2) 単体走行試験<ロボットコンバインによる大豆収穫実証（10 月上、キャリア 5G）>

・評価内容

- ロボットコンバインの遠隔監視制御による収穫作業の実施

- 遠隔映像監視による安全走行の確認
- 遠隔映像監視による作業機部の正常動作の確認
- 遠隔制御監視（CAN/IP 変換）によるコンバイン走行等エラーの監視
- 遠隔による開始・停止・再開制御の確認
- 遠隔による収穫・再開制御の確認
- ロボットコンバインの作業機高さを適切に合わせて、作物の収穫量や収穫品質に支障がないことの確認
- 遠隔映像監視による作業機部の正常動作の確認
- 圃場 A でのキャリア 5G 通信品質の安定性確認
- ・ 評価方法
 - 収穫作業走行中にネットワークエラー等が発生しないことの評価
 - 遠隔監視に用いる映像品質の評価
 - 遠隔からの作業開始・停止・再開・収穫の制御ができることの評価
- ・ 評価結果
 - ネットワークエラー：なし
 - 映像品質の評価：良（作業機の高速回転部でブロックノイズ）
 - 遠隔制御：有効（問題なし）

◆ 走行ルート及び各種設定

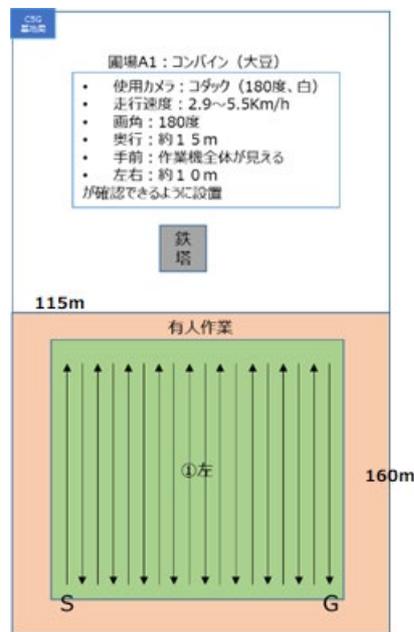


図 4.3.5 ロボットコンバイン走行ルート及び各種設定

- ◆ 遠隔監視センターの環境
複数台を同時監視制御できるように機器を設置



図 4.3.6 遠隔監視センター室内

◆ 遠隔監視制御システム

同時監視制御システムにてロボット農機（コンバイン）の走行状態を確認。
遠隔からの開始/停止、排出/一時停止/再開をテストし、正常動作を確認。

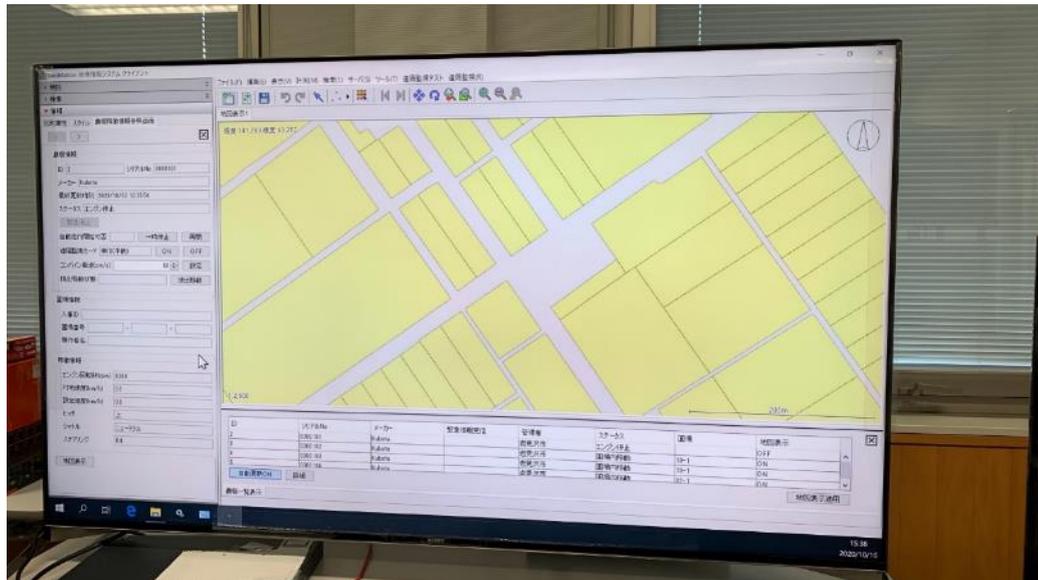


図 4.3.7 監視制御システム画面

- ◆ 遠隔監視カメラ映像（録画データ）
前後カメラにて、走行安全性・作業状況を確認。



図 4.3.8 前カメライメージ



図 4.3.9 後カメライメージ

カメラ設定を 4K×30fps で試験しましたが、今回の圃場 A では、キャリア 5G は上り帯域 16Mbps 以下でないと安定動作できないことから、カメラ設定を FHD としエンコーダーにて 1 台あたり帯域 2M 制限で設定。フレームレートは 30fps に設定しましたが、ロータリー部などの動きのある場所ではモザイクノイズが入る状況でした。

(3) 遅延試験・動画品質試験<映像遅延および品質評価試験（1 月末～2 月上）>

・評価内容

- 映像伝送に関わるシステム全体での遅延をローカル 5G・キャリア 5G・BWA で測定し比較

- カメラ/エンコーダー設定パラメーターを変えて、映像負荷を増やした場合の映像品質や遅延の影響を測定評価
- ・評価方法
 - トラクター側「カメラ→エンコーダー→NW 機器」→NW→「NW 機器→デコーダー→モニター」までの、映像伝送遅延について、GNSS 時計タイムスタンプを用いた遅延測定機により測定
 - 映像品質は、映像アナライザを用いて映像業界の専門家による品質主観評価を実施
- ・評価結果
 - LAN 環境映像伝送遅延 : 145msec (システム構成機器の遅延量、4K)
 - ローカル 5G 映像伝送遅延 : 160~200msec (4K)
 - キャリア 5G 映像伝送遅延 : 190~230msec (4K)
 - 映像品質の評価 : キャリア 5G > ローカル 5G

◆ 事前検証内容
 <遅延・スループットの測定>



図 4.3.10 試験構成概要

①PING 試験

表 4.3.1 Ping 試験結果

試験NW	PING片側遅延 [ms]
L5G	17
C5G	42
BWA	27

②スループット試験

表 4.3.2 スループット試験結果

試験NW	スループット[Mbps]
L5G	22.6
C5G	37.6
BWA	3.5

<LAN 試験>



図 4.3.11 LAN 試験構成概要

③映像遅延測定

表 4.3.3 映像遅延測定結果

解像度	エンコーダ処理遅延[msec]
4K	145.0
FHD	87.9

◆ 検証構成と内容

- ・ フィールド（圃場）側に、カメラ 1～4 台、端末 1～2 台（1 端末あたり前後カメラ 2 台を想定）を準備。
- ・ カメラ 1 台目に遅延測定機を接続し映像内にタイムスタンプを埋め込み、エンコーダーで圧縮した上でネットワークルーター等を経由しローカル 5G 等端末から送信
- ・ 新産業センター側では、受信した映像ストリームをデコードし、カメラ 1 台目は測定機でタイムスタンプを測定（送信側測定器とは全球測位衛星システム(GNSS)で時計を一致させている）。
- ・ カメラ 2～4 台目は負荷用映像ストリームとして、段階的に負荷を増やし、遅延や映像品質の影響を評価する。
- ・ ネットワーク自動切替えによるローカル 5G 移行が失敗する場合もあり、ルーターで、ローカル 5G 経路で疎通確認パケットの送受信が連続 3 回失敗した時、キャリア 5G 経路に切り変える構成とした。

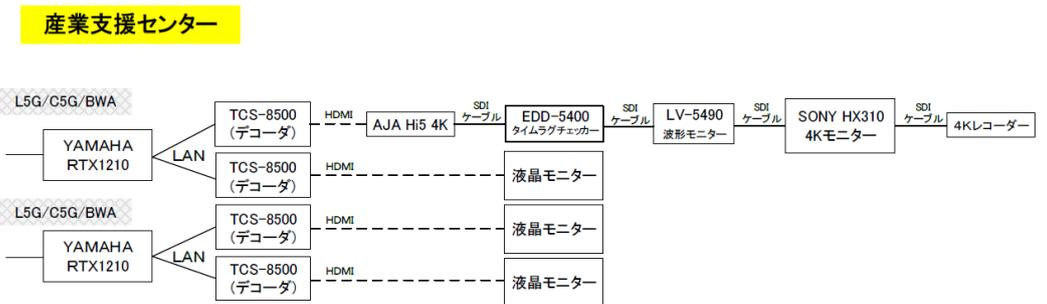
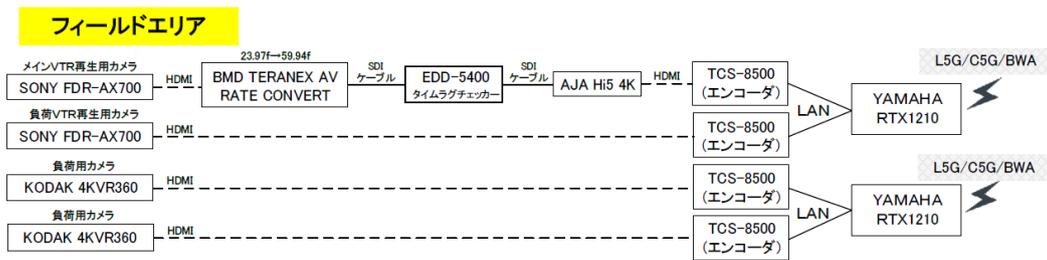


図 4.3.12 検証ネットワーク構成概要

◆ 映像品質評価の考え方

<使用機材>

- 波形モニター LEADER 電子 LV-5490
- 監視モニター SONY BVM-HX310(12G-SDI、HDMI4K 対応)
- コンバーター AJA Hi5 4K / BMD Teranex MINI×2
- カメラ 4台使用(FDR-AX700 2台 KODAK 4KVR360 2台)
- エンコーダー 4K/FHD 59.94fps 品質/帯域重視 UDP

<評価ポイント>

- 測定器への入力メディア伝送のエラーの監視



図 4.3.13 測定器伝送エラー確認画面例

- 伝送前の映像とデコードした信号の波形モニター (WFM) 比較

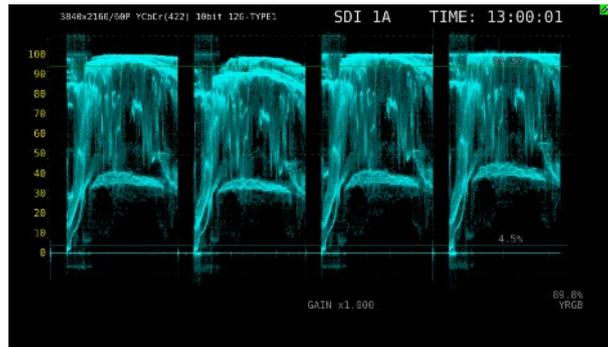


図 4.3.14 測定器波形モニター画面例

●目視による評価

表 4.3.4 目視評価基準

評点	評定内容
5	劣化が認められない
4	劣化が認められるが気にならない
3	劣化が認められ、わずかに気になる
2	劣化が認められ、気になる
1	劣化が認められ、非常に気になる

●映像劣化種別

表 4.3.5 映像劣化種別

歪の種類	劣化の見え方
解像度低下	輪郭のぼけ、精細度の低下
ブロックノイズ	幾何学パターンのひずみ
偽輪郭(リングング)	輝度、色の変化する部分に生じるブレた輪郭
映像の滑らかさ	滑らかさが失われ、ぎくしゃくして見える
フリッカー	輝度レベルが変動、ちらつき
動きぼけ	動いている領域がぼけて見える
エッジ乱れ	エッジ部分がザラザラし、ちらつく
映像破綻	画面の一部、全体の原形を留めないひずみ

◆ 検証結果（遅延測定&品質評価）

[L5G・4K]試験結果

表 4.3.6 映像測定結果

No	NW	Cam	En/Dc	Stream	A-1 (画)	A-2 (画)	B-1 (画)	B-2 (画)	遅延評価	映像品質	遅延平均 (ms)	遅延中央 (ms)	遅延最大 (ms)	品質評価 (5段階)	RGB一画面/映像処理量	レート平均値
1	L5G	4K	VBR	1	無 (X)					映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	180.1	179.7	199.2	2	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	2Mbps
2				2	無 (X)	無 (O)	-	-		色域の広さ、解像度の両方で不安定。	192.0	190.2	220.5	2.2	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	2Mbps/2Mbps
3				4	無 (X)	無 (O)	無 (X)	無 (X)		色域の広さ、解像度の両方で不安定。	205.2	195.0	213.2	2.2.2.2	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	2Mbps/2Mbps
4	L5G	4K	CBR(1)	1	16	-	-	-		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	305.7	190.5	170.5	5	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	17Mbps
5				2	16	11				映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	1236.4	1250.1	2423.4	3.3	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	14Mbps/10Mbps
6				4	16	11	11	11		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	1193.3	1189.6	1834.4	1.5.5.5	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	17Mbps/11Mbps/11Mbps
7	L5G	4K	CBR(2)	1	12	-	-	-		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	107.0	103.0	170.0	5	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	12Mbps
8				2	12	12	-	-		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	834.7	734.3	1630.5	3.3	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	11Mbps/11Mbps
9				4	12	12	12	12		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	918.2	887.6	1793.7	1.1.3.3	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	12Mbps/2Mbps/11Mbps
10	L5G	4K	CBR(3)	1	6	-	-	-		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	184.2	184.5	113.5	4	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	6Mbps
11				2	6	6	-	-		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	192.7	188.9	150.9	4.4	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	6Mbps/6Mbps
12				4	4	4	4	4		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	1163.8	1372.0	2398.3	2.2.2.2	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	4Mbps/4Mbps

●考察

- ① エンコーダーの VBR（品質重視）設定は、低遅延での伝送が可能ではあるが、Stream1 本でも映像品質が安定しない。（ロボトラ走行時の設定には不向き）
- ② エンコーダーの CBR（帯域重視）設定は、VBR と比較して映像品質の安定性は高い。また、帯域に余力のある段階では低遅延での伝送が可能。帯域飽和では1秒以上の遅延発生（ロボトラ1台・カメラ2台の場合は、帯域（スループット試験値）の半分程度に割り振ると全体として安定しやすいと思われる。）
- ③ CBR で4K画質を4~6Mに制限して送信した場合（トラクター2台を想定）、帯域余力ありでは映像品質はやや劣るが低遅延で安定。帯域飽和した際の品質劣化は4本均等に発生

[L5G・FHD]試験結果

表 4.3.7 映像測定結果

No	NW	Cam	En/Dc	Stream	A-1 (画)	A-2 (画)	B-1 (画)	B-2 (画)	遅延評価	映像品質	遅延平均 (ms)	遅延中央 (ms)	遅延最大 (ms)	品質評価 (5段階)	RGB一画面/映像処理量	レート平均値
13	L5G	FHD	VBR	1	無 (16)	-	-	-		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	175.0	159.8	329.5	2	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	2Mbps
14				2	無 (O)	無 (O)	-	-		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	214.2	166.3	372.0	2.2	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	2Mbps/2Mbps
15				4	無 (O)	無 (O)	無 (O)	無 (O)		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	219.0	167.4	509.8	2.2.2.2	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	2Mbps/4Mbps
16	L5G	FHD	CBR	1	6	-	-	-		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	175.7	167.6	309.8	5	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	6Mbps
17				2	6	6	-	-		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	203.0	168.8	1036.0	5.5	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	6Mbps/6Mbps
18				4	4	4	4	4		映像品質は1秒以上遅延発生し、映像品質が不安定である。	262.7	181.8	583.0	5.5.5.5	色域の広さ、解像度の両方で不安定。	4Mbps/4Mbps

(4) 緊急停止試験（障害物検知制御）＜疑似圃場（C）（12 末&2 月、L5G/C5G）＞

- ・ 評価内容
 - 映像監視から緊急停止制御を実施する際にシステム全体で発生する遅延を測定
- ・ 評価方法
 - 有人と遠隔制御の停止距離の差から、遠隔監視+制御の遅延を測定
 - ローカル 5G、キャリア 5G で時速 3,5,7km/h を各 3 回測定し比較
- ・ 評価結果
 - ローカル 5G 遅延 : 約 980msec
 - キャリア 5G 遅延 : 約 970msec

◆ 走行ルート

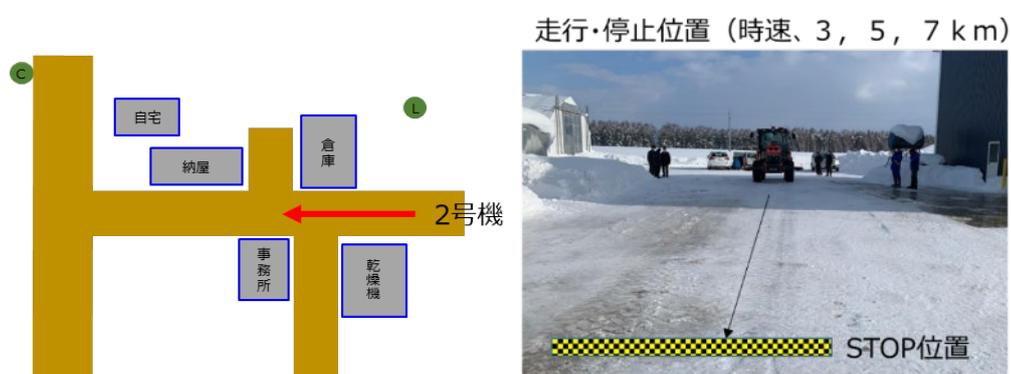


図 4.3.15 疑似圃場走行ルートイメージ



図 4.3.16 有人停止・遠隔停止状況

◆ 実証結果の概要

表 4.3.10 遠隔停止実証結果

<キャリア 5G>

時速	3 k m						
回数	1	2	3	平均			
遠隔	120	120	113	117.7			
有人	33	33	-	33.0		遅延	
			差	84.7	c m	1.02	秒
時速	5 k m						
回数	1	2	3	平均			
遠隔	223	215	226	221.3			
有人	78	98	-	88.0		遅延	
			差	133.3	c m	0.96	秒
時速	7 k m						
回数	1	2	3	平均			
遠隔	310	328	348	328.7			
有人	157	142	-	149.5		遅延	
			差	179.2	c m	0.92	秒

遠隔停止テストでは、
C5G「映像伝送+制御通信」遅延で
0.97秒の遅延が発生している状況
(※アイスバーンのため滑りが発生)

<ローカル 5G>

3km/h	1回目	2回目	3回目	平均	83.3 cm/s
有人	28	48	48	41.3	
遠隔	125	124	134	127.7	
			差	86.3	1.04 秒
5km/h	1回目	2回目	3回目	平均	138.9 cm/s
有人	53	41	65	53.0	
遠隔	165	191	190	182.0	
			差	129.0	0.93 秒
7km/h	1回目	2回目	3回目	平均	194.4 cm/s
有人	64	67	120	83.7	
遠隔	284	275	265	274.7	
			差	191.0	0.98 秒
平均 0.98 秒					

●考察

PING 遅延測定では、L5G=17msec、C5G=42msecであることから、NW 遅延の影響は少なく、道路状況や遠隔操作者による誤差と考えられます。

L5G での遠隔停止遅延は平均 0.98 秒。C5G での遠隔停止遅延は平均 0.97 秒でほぼ同等であり、緊急停止にかかるカメラ監視・遠隔制御による遅延はどちらを利用した場合でもシステム全体で+1 秒以内でした。

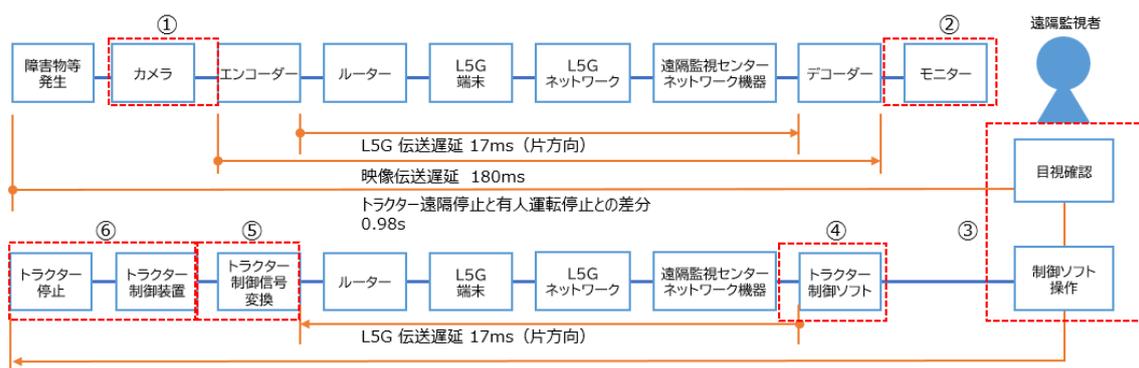


図 4.3.17 遠隔監視によるトラクター停止制御の遅延時間

有人運転による停止時間との差分 0.98s について、トラクターカメラの映像伝送、制御ソフトからの停止信号伝送時間を除くと、0.78s となります。0.78s の遅延区間としては下記の要素があります。

- ① カメラ内での映像処理からエンコーダまでの映像信号伝送
- ② デコーダーからモニターまでの映像信号伝送
- ③ モニターを目視して障害物を認識してから、制御ソフト上の停止ボタンをクリックするまでの時間
- ④ トラクター制御ソフト内処理からネットワークへの制御データ送信
- ⑤ トラクター制御ソフト変換からトラクター制御装置によるトラクター停止処理
- ⑥ トラクター制御装置からのブレーキ制御によるトラクター停止

上記について、①、②、④、⑤については、いずれも数 ms 程度の遅延時間であること、⑥については、有人制御時のブレーキ動作による停止動作と同等であることから、影響は少ないと考えられ、差分の要因となっている部分は③のモニターで異常を検知してから制御ソフトの操作を実施するまでの時間であると想定されます。③の遅延時間については、遠隔監視要員が複数のモニターを同時に監視し、異常を検知、制御ソフトを操作する構成であることを想定すると、短縮することは困難であると考えますが、トラクターの圃場内速度である、時速 3km から時速 7km 程度を想定した場合、停止距離の差は約 0.8m から 1.9m であることから、トラクター遠隔制御の安全性については問題がなく、実現性が高いことを確認しました。

(5) ネットワーク切り替え試験<疑似圃場 (C) 走行 (12 末)>

・評価内容

- ローカル 5G⇔キャリア 5G に切替わる際のロボットトラクターの遠隔制御に関する影響を確認する

・評価方法

- ローカル 5G とキャリア 5G の NW 冗長 NW 構成を設定
- ローカル 5G 優先で Keepalive 通信が 3 回失敗した場合にキャリア 5G に切替わる設定により YAMAHA ルータ間で NW 切替えを制御
- ローカル 5G の電波エリアとエリア外への走行時に、NW 切替わり・切戻し時の挙動を確認

・評価結果

- L5G→C5G : 一旦通信断するが、数秒で遠隔再開で再走行可能
- C5G→L5G : 切替わらない場合あり、一旦停止すると 60 秒で遠隔再開可能
- エリアによっては、通信不安定で NW 切替わらず、制御も不能になるデッドゾーンが発生する可能性がある

◆ 走行ルート

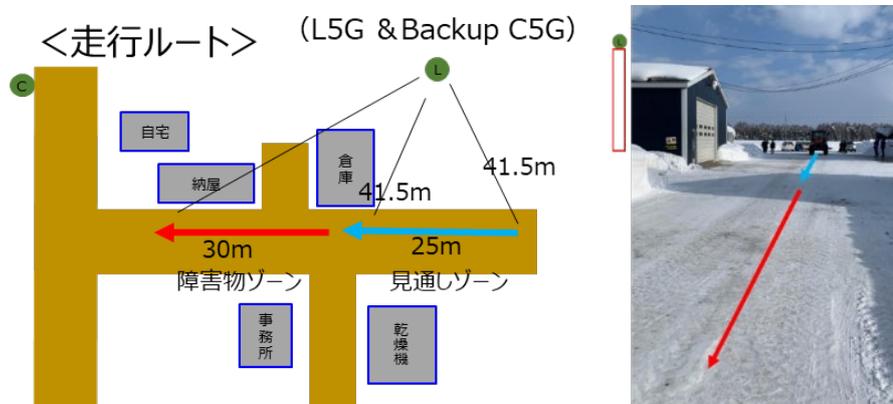


図 4.3.18 ローカル 5G 映像伝送走行ルートイメージ

◆ ローカル 5G 端末の設置パターン



図 4.3.19 ローカル 5G 端末設置状況
(iperf スループット試験では、「外だし」で上り最大 5.5Mbps を測定)

◆ 映像伝送の設定パターンと R T T 遅延測定結果（見越しゾーン、外だし）

- ① 2 Mbps（前カメラのみ、4k×30fps、2Mbps 制限）
- ② 4 Mbps（前後カメラ、4k×30fps、2Mbps 制限）
- ③ ②の 2 回目（②遅延による映像品質劣化ありのため）
- ④ 6 Mbps（前後カメラ、4k×30fps、2Mbps 制限）

表 4.3.11 映像伝送試験結果表

	①2M	②4M	③4M(2)	④6M
平均RTT (msec)	18.2	23.8	21.5	50.4
中間値	16.6	22.8	20.0	48.0
最小	10.2	13.0	10.8	16.9
最大	30.9	118.3	69.1	101.6

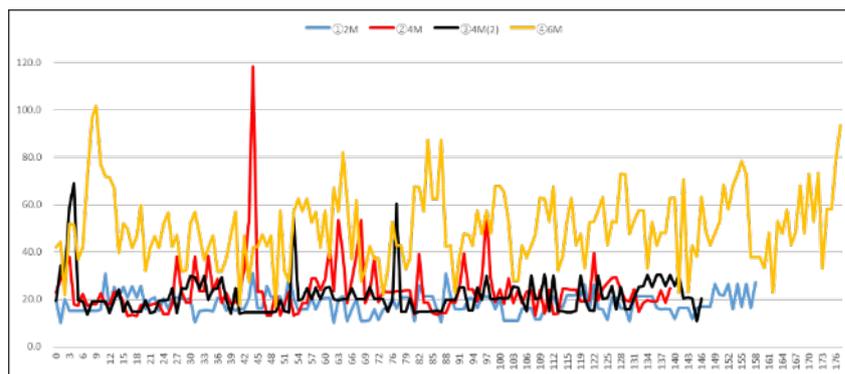


図 4.3.20 映像伝送試験結果グラフ

- ① の結果
映像品質：問題なし
遠隔制御：問題なし（監視・制御）
- ② の結果
映像品質：概ね問題なし（遅延発生時、一瞬ノイズ発生）

遠隔制御：問題なし（監視・制御）

③ の結果

映像品質：問題なし

遠隔制御：問題なし（監視・制御）

④ の結果

映像品質：映像途切れ

遠隔制御：問題なし（監視・制御）

◆ 映像伝送の設定パターンと映像結果（見通しゾーン、車載）

① 2Mbps（前カメラのみ、4k×30fps、2Mbps 制限）

① の結果

映像品質：映像途切れ

遠隔制御：問題なし（監視・制御）

◆ 映像伝送の設定パターンと映像結果（障害物ゾーン、車載）

走行ルート



図 4.3.21 映像伝送試験走行ルート

① 2Mbps（前カメラのみ、4k×30fps、2Mbps 制限）

また、車載ヤマハルータにて、ローカル 5G 通信が途切れた場合（Ping 連続 3 回失敗）に自動でキャリア 5G にネットワーク切替するよう設定

① の結果

映像品質：映像断（黒画面、静止画状態）

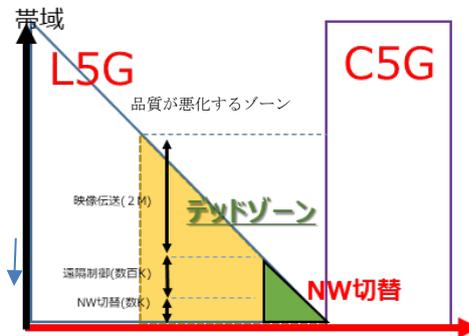
遠隔制御：25～28m 地点で通信断



**GeoMation通信
が切れると、左のエ
ラー表示となり、
走行停止する。**

図 4.3.22 エラー表示画面

また、ネットワーク自動切替えによるローカル 5G 移行が失敗する場合もあり
ルーターで、ローカル 5G 通信で Ping が連続 3 回失敗した時、キャリア 5G に経路
を切り替えるよう設定したが、GeoMation 制御信号は途切れるが、Ping は 2/3 回し
か失敗せずキャリア 5G に切替わらないデッドゾーンが発生した。(25-28m地点)



障害物ゾーンの走行 (0-30m)

図 4.3.23 ネットワーク切り替えの帯域と走行距離の関連イメージ

<疑似圃場 (C) 走行 2 回目 (2 月、ローカル⇄キャリア相互) >

(1) L5G→C5G

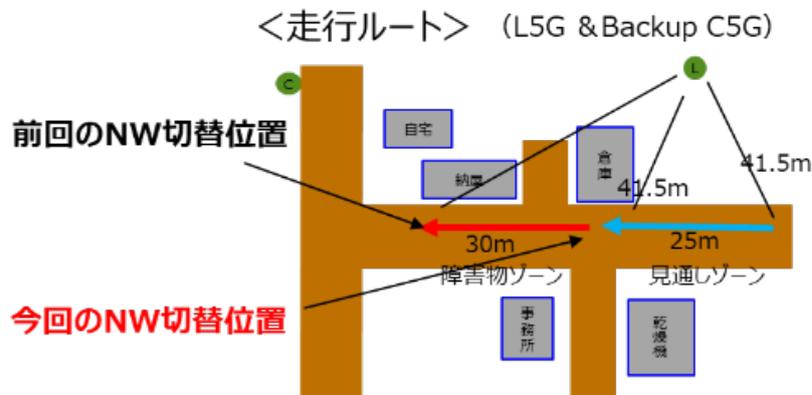


図 4.3.24 走行ルートイメージ

回	RTT(msec)
1	24.5
2	37.9
3	24.5
4	24.5
5	39.5
6	29.3
7	39.9
8	39.5
9	39.4
10	39.4
11	16.9
12	38.4
13	26.4
14	16.9
15	26.4
16	18.4
17	18.8
18	20.9
19	22.9
20	17.7
21	11.9
22	18.3
23	18.4
24	20.8
25	18.3
26	18.3
27	16.2
28	16.8

図 4.3.25 L5G の RTT 遅延の変化

<NW 切替わり時の動作>

- L5G 遅延は切替直前まで大きく変化せず、L5G 映像・制御がほぼ同時に切れてトラクターは通信断エラーで走行停止し、約 1 秒後に C5G で映像再開し、その後は安定走行が継続（今回はデッドゾーンは発生せず）

(2) C5G → L5G

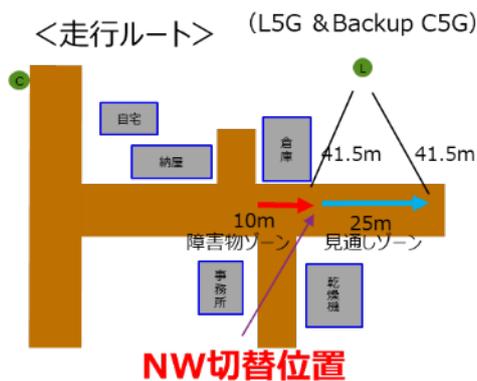


図 4.3.26 走行ルートイメージ

<NW 切替わり時の動作>

- 切替位置を過ぎても C5G のままで走行継続（3 回中 3 回）

- そのため、切替わり位置で「一旦停止」を実施。この場合、L5G切替わりとから遠隔制御再開に約60秒かかった。
- L5G切替わり後の遠隔走行は、映像伝送・遠隔制御ともに正常動作

(6) 複数同時遠隔監視制御<ロボットトラクター(2台)による協調耕起作業実証(10末、キャリア5G)>

・評価内容

- 複数台同時走行(協調作業)での遠隔監視の安全性を確認する

・評価方法

- 複数圃場にトラクター2台を遠隔制御で走行させる
- 各ロボットトラクターの4K映像遠隔監視が安定して実施できることを確認
- 各ロボットトラクターの開始・停止・再開等の制御が可能であることを確認

・評価結果

- 遠隔監視による複数台同時走行(協調作業)の安全性を確認

◆ 複数台同時走行ルート(2種類の作業機)

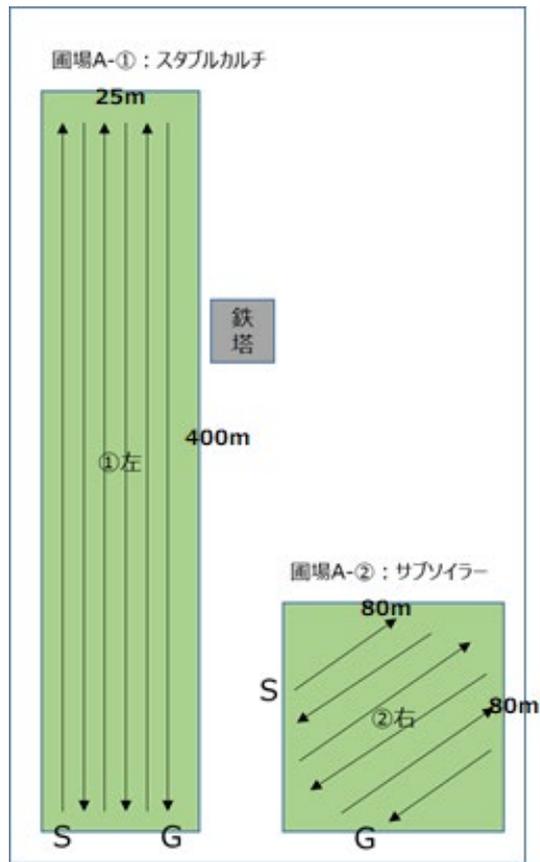


図 4.3.27 複数台走行ルートイメージ

◆ 複数台同時走行の様子



図 4.3.28 複数台同時走行状況

◆ 遠隔監視センターの環境



図 4.3.29 遠隔監視センター監視状況

モニターを壁設置に変更

◆ 耕起(スタブルカルチ)作業の走行ルート

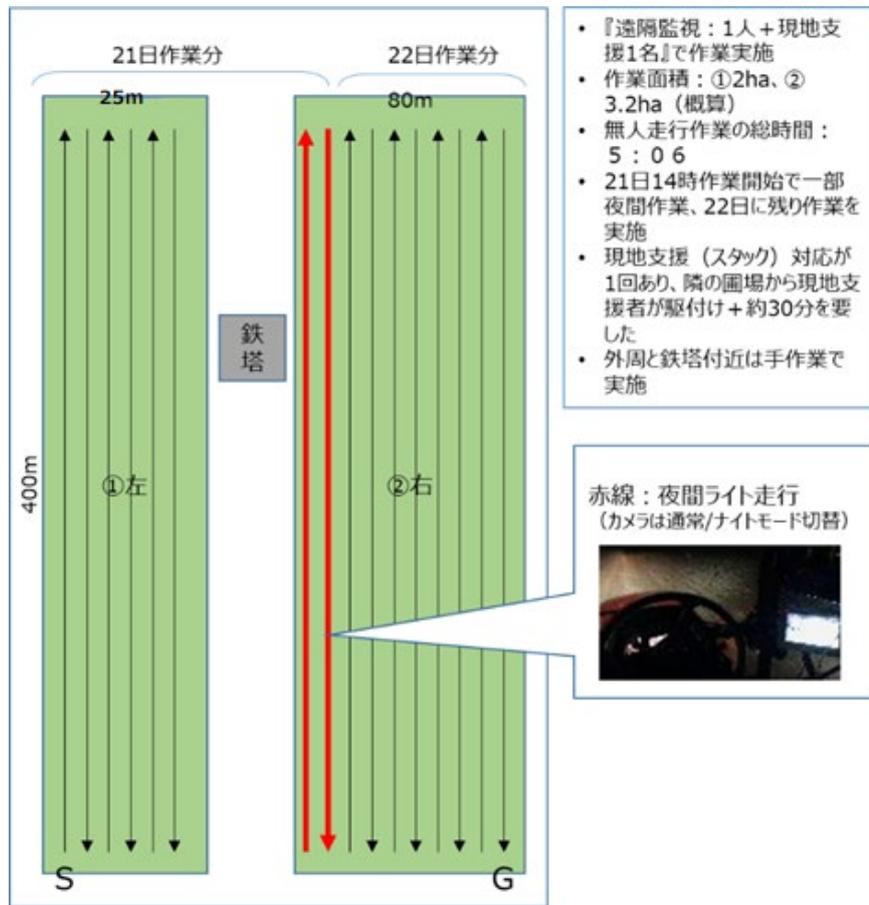


図 4.3.30 耕起(スタブルカルチ)作業の走行ルートイメージ

(7) 夜間走行試験

- ・ 評価内容
 - スタブルカルチ作業での夜間の遠隔監視制御の安全性を確認する
- ・ 評価方法
 - スタブルカルチ作業を行うロボットトラクターのフロントカメラを通常/ナイトモードに切り替えて、遠隔監視における視野の違いを確認する
 - 薄暮から夜間帯まで、走行灯の有無による見え方の違いを確認
- ・ 評価結果
 - 薄暮では、走行灯の有無の影響はあるものの、通常/ナイトモードどちらでも 20m 手前まで遠隔監視は可能だが、画角の横側の視野が確認し難い状況。
 - 夜間は、通常モードでは約 2m 手前までしか確認できないが、ナイトモードで走行灯があれば約 20m 手前までは人の存在を確認することができる。
 - 後カメラをナイトモードにした場合の確認試験を行わなかったが、夜間の通常モードで監視していたため作業機への異物混入が監視できないことがあった。作業機の挙動を確認するためにも夜間作業時は後ろカメラも作業灯+ナイトモードでの遠隔監視が必要と考えられる。

遠隔監視による複数台同時走行（協調）

◆ 耕起(スタブルカルチ)作業での夜間走行



図 4.3.31 夜間走行時監視画面

前) 作業灯が明るく、通常カメラでも監視可能

後) 作業灯が暗く、通常カメラだと監視困難（作業灯の向き調整の問題）



図 4.3.32 カメラナイトモード・通常モード比較

(前のみ) 通常モードに比べて広範囲まで監視可能

耕起(スタブルカルチ)作業時に作物の絡まりによるスタック発生



図 4.3.33 スタック時の状況

- 今回は夜間の後カメラが（通常モード）のためカメラでは異常を検知できず。
- トラクターの「エンジン高負荷」のエラーにより停止した。
- 後カメラをナイトモードで監視することで作業機の異常を早期に検出することが可能と予測される。

(8) 圃場間移動試験<複数圃場・複数台(3台)での公道走行実証(12月、ローカル5G/キャリア5G)、2月、ローカル5Gでの公道走行>

・評価内容

- ローカル5G・キャリア5G遠隔監視制御での公道走行の安全性を確認する

・評価方法

- キャリア5G遠隔監視制御での公道走行(すれ違い走行・飛び出し検知停止、同時に別圃場でL5G/C5G走行(疑似公道))
- ローカル5G遠隔監視制御での公道単体走行(2月)

・評価結果

- 3台同時のL5G/C5G組合せによる遠隔監視制御時の、公道走行の安定動作を確認(12月)
- ローカル5G単独での公道走行の安定性を確認(2月)

◆ 走行ルート(12月)

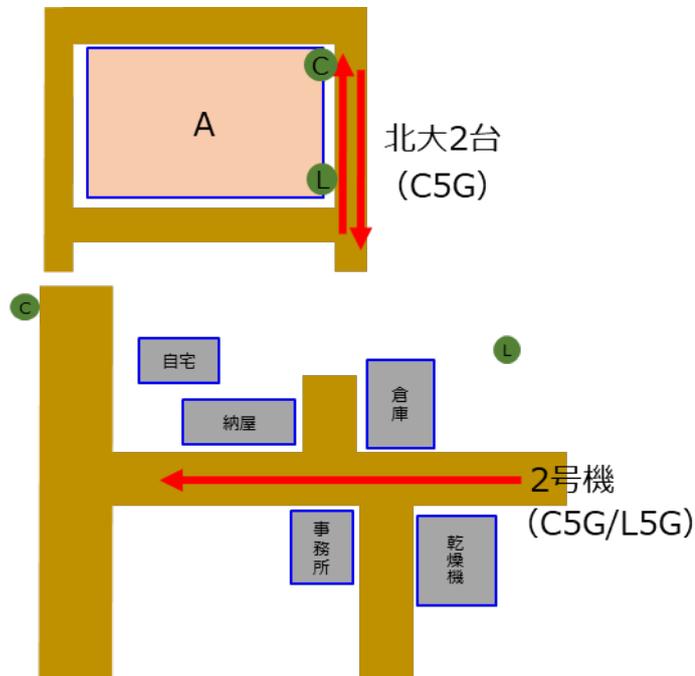


図 4.3.34 走行ルートイメージ

◆ 遠隔監視センター

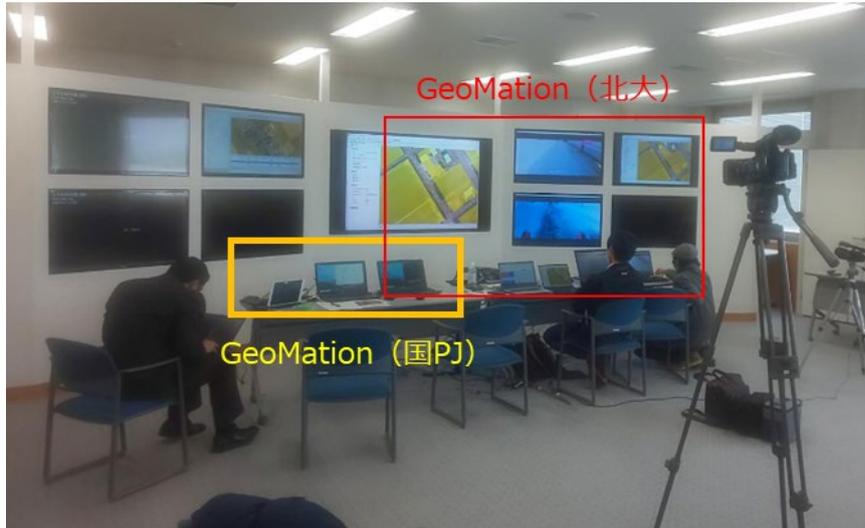


図 4.3.35 遠隔監視センターシステム配置

公道走行の様子

(A 圃場付近での公道すれ違い走行)



(同時に、C 圃場付近で疑似農道走行、ローカル 5G)



図 4.3.36 公道走行状況

◆ 走行ルート（2月）

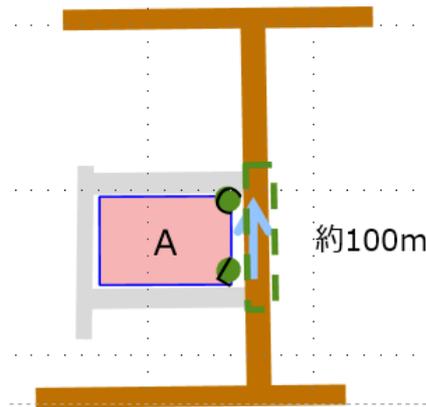


図 4.3.37 走行ルートイメージ

<L5G端末設置位置>



図 4.3.38 L5G 端末設置位置

◆L5Gでの走行を実施

回	1回目	2回目	3回目	4回目
結果	○	○	○	途中終了 (荒天)

- ◆L5Gの電波状況が悪く、走行途中（開始位置から約50m）で一旦停止し、C5Gへの切替わりが発生（4/4回）
- ◆電波状況悪化は、積雪による壁の影響と想定される
- ◆道幅が狭いこと・天候の影響等の影響により走行中にトラクターの前方センサーの警告音が継続発生するため、3回目からは前方センサーOFFで走行

図 4.3.39 実施結果

公道走行の様子

1回目（見通し良好）



図 4.3.40 公道走行 1 回目状況

3回目（見通し悪化）



図 4.3.41 公道走行 3 回目状況

4回目（ホワイトアウト）



図 4.3.42 公道走行 4 回目状況

4.3.2 アー2：農業領域（ビッグデータ収集）

4.3.2.1 実施概要

自動走行トラクターの走行履歴（経路情報等）、農作業履歴、気象データ、土壌センサー、の IoT データ等を、ローカル 5G・キャリア 5G・LPWA・地域 BWA 等の複数無線通信システムを利用して収集しました。

土壌センサーについては、実際の圃場に設置してデータ収集するのではなく、試験的にデータを測定しサーバーに収集できるかを実施しました。

農作業履歴、気象データ、土壌センサーの IoT データ等をサーバーに収集し、各種データを連携させ分析することで、農家にあった最適な農作業計画を作成しました。農作業履歴、気象データについては各種データ提供サービスからデータを収集し、土壌水分等のデータについてはセンサーによる測定データを収集し、クラウド上に保存する構成としました。

自動走行トラクター等の前後に搭載する 4k カメラの高精細映像をローカル 5G 等の低遅延ネットワークで遠隔監視センターに伝送しました。この高精細映像をビッグデータとして分析することで、自動運転ロボットトラクタを使ったスケジュール最適化に活用することが考えられます。例えば、防除や追肥等、作物がある程度生育した状態で圃場内にトラクターが入る工程において、カメラから取得した作物の画像データを分析し、圃場内の作物の生育状態にむらがないかを確認することで、どの圃場のどの部分により重点的にロボットトラクターを稼働させるべきか判断できます。

【トラクター搭載カメラを用いた解析について】

本実証で当初予定していた、トラクター搭載カメラの高精細画像を使用した解析システムの構築については、カメラ映像を用いた生育解析を行うことを想定していましたが、コンソーシアムメンバーにて協議を重ねた結果、解析システムの構築に当たっては、トラクター搭載カメラの映像で十分な生育解析を行うことができるかについて事前検証を行うことが必要であるとの結論に至りました。

一方で今年度実証期間において、カメラでの映像撮影を開始できた時期が、作物の生育時期ではなかったため（冬期間）、当該検証を実施できませんでした。このため、本実証では 5G ネットワークを活用した映像データの伝送・収集ができることの確認、データ収集のシステム構築の検証を行うこととし、上記内容の検証については、連携事業である、令和 2 年度農水省スマート農業実証プロジェクトにおいて、改めて生育時期にトラクター搭載カメラを用いて画像を収集し、解析の実現性、ユースケースについての検討を実施いたします。

<データ連携>

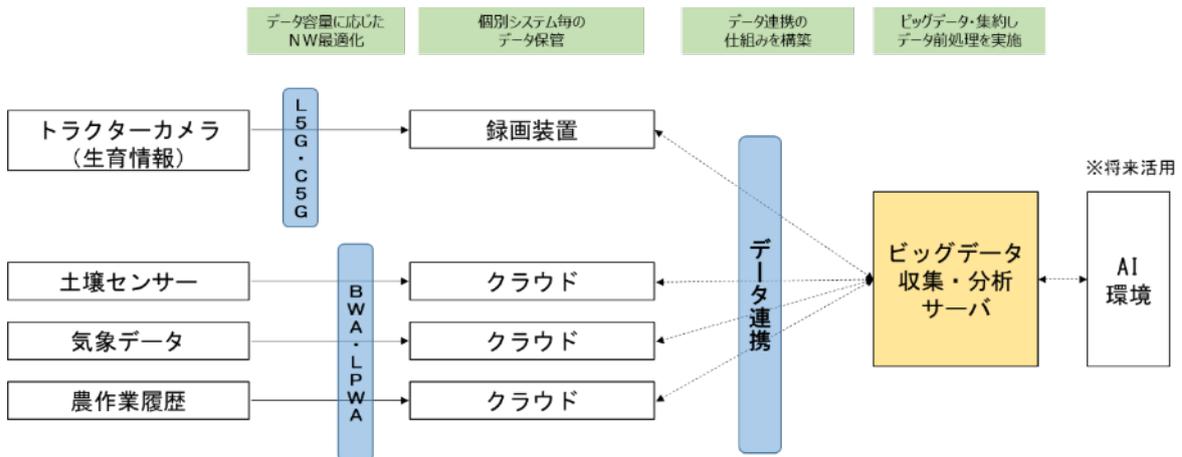


図 4.3.43 データ連携概要図

・生育・気象・土壌等の生育データ等に基づく農業の最適な作業実施時期や作業スケジュールおよび農機シェアリング作業の提示。下記①～⑤の手法を想定)

- ① 積算気温から作物ごとの生育ステージを推定
- ② 生育ステージごとに必要となる作業項目、作業期間を設定 (作業実施時期の策定)
- ③ 作業期間内において土壌水分、気象データから、作業可能期間を設定
- ④ 複数農家・圃場・作物について③までを実施し「調整前スケジュール」を机上策定 (作業スケジュールの策定)
- ⑤ 遠隔監視センター人員・スマート農機の設備予約状況を確認し、最も作業集約ができる作業可能日時を机上算出

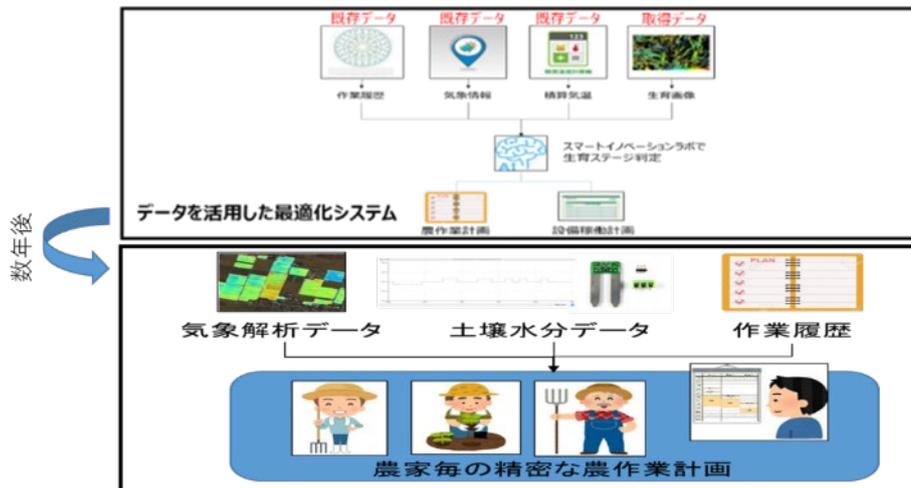


図 4.3.44 スマート農機シェアリングイメージ

4.3.2.2 評価・検証

- (1) ローカル 5G・地域 BWA・LPWA 等複数の無線通信システム、各種センサー、高精

細カメラ等を用いたデータ収集環境の構築

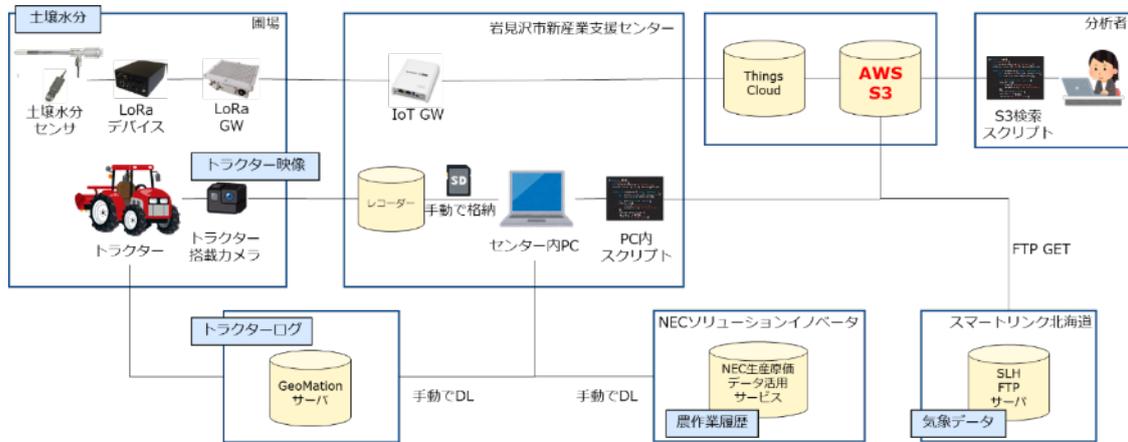


図 4.3.45 データ収集環境構成図

① トラクターカメラ

各ロボット農機に搭載されているカメラにより撮影された映像が、ローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA のいずれかの通信網を用いて新産業支援センター内のレコーダーに保存されます。

映像データはロボット農機のエンジンが点いている間レコーダーに録画されます。ロボット農機のエンジンが切れる、もしくは手動でカメラの電源を切ることで、映像の録画が中断され 1 つの映像データとして保存されます。

録画された映像データは、SD カードを用いてレコーダーから新産業支援センター内に設置した PC の特定のディレクトリに格納します。PC の特定ディレクトリに格納されたデータは PC 内のスクリプトにより、一日に一回決まった時刻に AWS 上の S3 に保存されます。

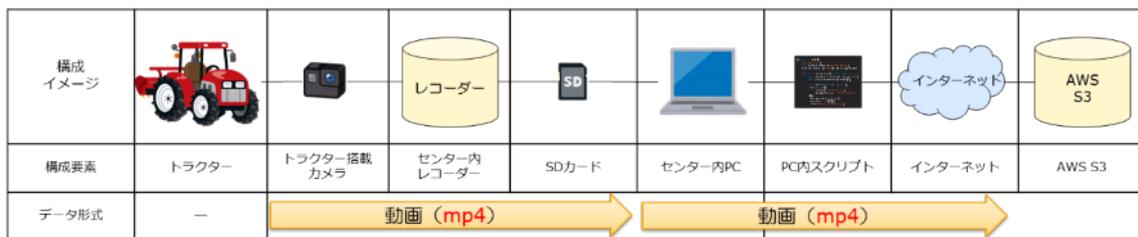


図 4.3.46 トラクターカメラの流通イメージ

② トラクター走行履歴

各ロボット農機のエンジンが点くと、トラクターの走行制御や稼働・センサー情報を交換する CAN (Controller Area Network) 通信情報を IP に変換しローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA のいずれかの通信網を用いて、新産業支援センター内にある GeoMation を内蔵した PC にトラクター走行制御や稼働・センサー情報を送信します。

GeoMation のログを当該 PC の特定ディレクトリに格納します。PC の特定ディレクトリに格納されたデータは PC 内のスクリプトにより、一日に一回決まった時刻に AWS

上の S3 に保存されます。

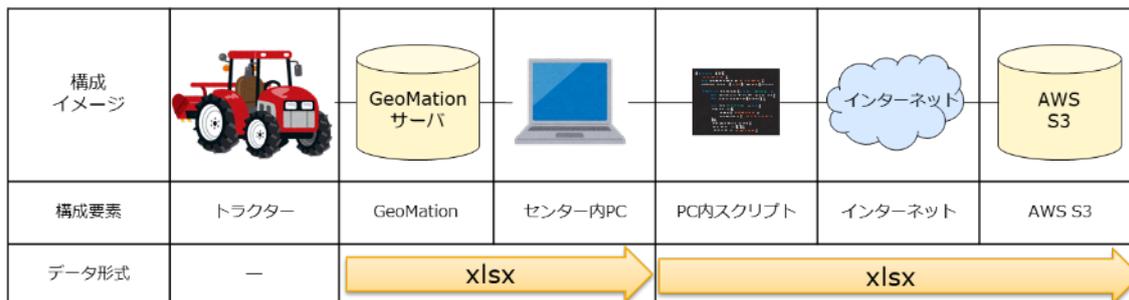


図 4.3.47 トラクター走行履歴流通イメージ

③ 土壌センサー

土壌センサーとして、含水率と温度を計測できる土壌水分センサー (WD-3-WT-5Y)、土壌の水分張力を示す PF 値を計測できるテンシオメータ (HD-001) を選定しました。

季節と生産者の都合上、実際の圃場にセンサーを設置することが不可能であったため、各種センサーに濡れたタオルを巻くことで、LoRaGW まで LPWA 通信によりテストデータが送信されることを確認しました。

また、LoRaGW から新産業支援センター内サーバーまでテストデータが送信されていることを確認しました。(IoT プラットフォームである OpenBlocks IoT vx2 に専用のアプリケーションを導入することで、センサーにより取得されたアナログデータを含水率、温度、PF 値に変換し自動で AWS の S3 上に保存します。)

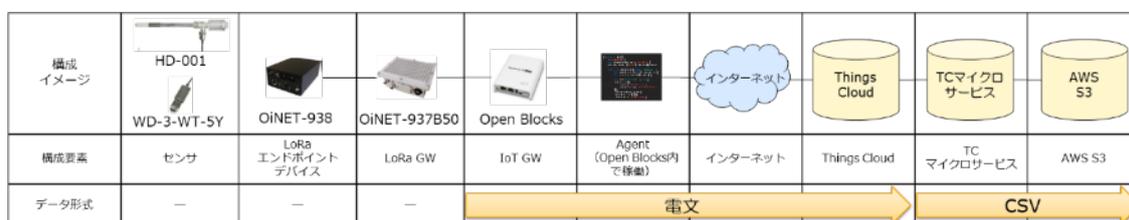


図 4.3.48 土壌センサーデータ流通イメージ

④ 気象データ

AWS の Lamda に用意したプログラムにより、スマートリンク北海道の用意する気象システムの FTP サーバーに毎日定時にアクセスし下記データを取得し AWS の S3 上に保存します。

収集データ

- ・ 気温メッシュデータ
- ・ 水温メッシュデータ
- ・ 水稻生育予測データ
- ・ 水稻いもち病予察データ
- ・ 小麦生育予測データ
- ・ 小麦穂発芽予察データ

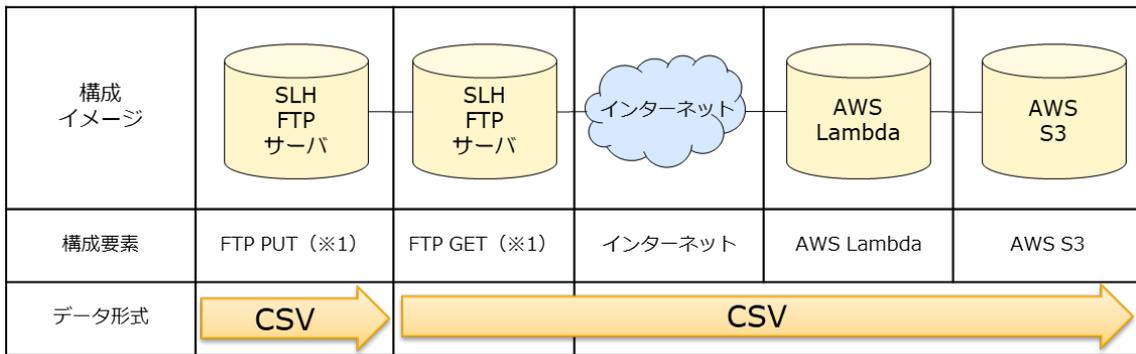


図 4.3.49 気象データ流通イメージ

⑤ 農作業履歴

新産業支援センター内 PC より NEC 生産原価データ活用サービスに手動でアクセスし、農作業データをダウンロードします。その後、AWS の S3 に手動でアップロードします。

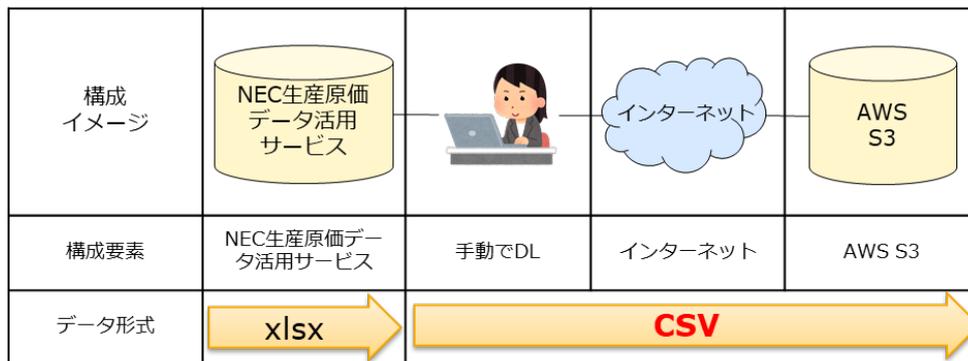


図 4.3.50 農作業履歴データ流通イメージ

⑥ AWS データ集約

データ収集環境を AWS に構築しました。各種データ類は S3 上に保存されます。

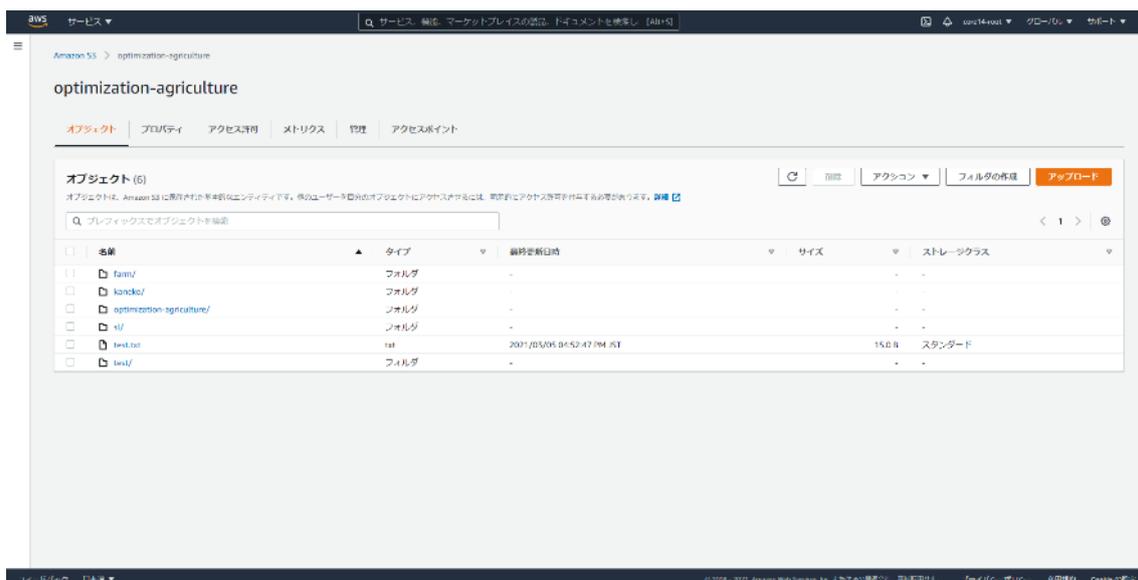


図 4.3.51 AWS データ収集画面

(2) 生育・気象・土壌等の生育データ等に基づく農業の最適な作業実施時期や作業スケジュール等の提示（作業スケジュール調整表の完成）

① 気象データ

各農家・圃場毎の『作物・品種』『基準日』に対して、積算気温を記録しました。積算気温から作物、圃場毎の作業適期を割り出しました。また、天気が雨天であり降水量が閾値を超えた場合には作業不可としてスケジュールに反映しました。分析結果については、4.5.2 章に記します。

② 作業履歴

各農家が記録したデータより、ロボットトラクターに代替可能な作業工程を全てロボットトラクターにした場合の無人作業率と総作業時間効率化の関係について分析しました。分析結果については、4.4.2 章ならびに 4.5.2 章に記述します。

(3) 農機の稼働状況に応じた実証地域を含む周辺地域内のシェアリングや農機の作業指示

① 農機利用計画

農家の農機利用について、毎年 3 月 4 月ごろの作付け計画時に、農作業履歴システムにデータを投入していただきます。これを基に、どの農家がどの時期にどの圃場でどの農機を使用するかを把握します。2020 年度に投入いただいたデータを見ると、播種日の記録の有無、作業記録の有無、作業機の表記の有無、作業機の表記方法の違い等、農家毎にデータの投入項目、方法にばらつきがありました。特に、どの農機を使用するかを把握するためには、投入いただくデータの校正ならびにデータ投入方法の確立と農家のご協力が必要です。

② 農機貸出業務委託（業務委託モデル）

遠隔監視制御できるロボット農機を農家にシェアし、の遠隔監視制御された農作業を農家が委託会社に業務委託するモデルを検討しました。検討結果については、6.3章に記述します。

4.3.3 アー3：生活領域（排水路監視等）

4.3.3.1 実施概要

排水路の監視については、通常時から排水機場の内水位データを取得していますが、集中豪雨時の緊急対応では指標となる水位データの信頼性が求められるため、パトロールによる目視確認を行っています。また、冬季においては融雪時の出水と水路閉塞による冠水被害の対策として、水路を目視で監視しつつ、水位上昇時には水路の雪割を実施しています。

緊急対応や冬季の対応については、各水路や排水機場への移動に伴う作業員の水路転落リスクや、降雨、積雪による移動障害による、発見・確認時間遅延等の各種リスクや課題を抱えています。

生活領域（排水路監視等）実証では、ローカル 5G、地域 BWA、LPWA 等複数の無線通信システム、および水位センサー、監視サーバー、カメラサーバー等を用いた排水路監視システムを構築し、排水路における水位データの収集と解析、排水機場における遠隔監視を検証しました。

豪雨時や融雪期による溢水を想定して、関連する組織（農業・河川・道路・防災等）の情報共有と迅速かつ的確な防災行動として、住民への注意喚起や避難指示等に関する検証を行いました。

本章は、排水路監視システムの構築における評価・検証として、システム構成、機器仕様、ネットワーク構成について記述します。

4.3.3.2 評価・検証

(1) システム構成概要

排水路監視システムは、水位計 4 か所、排水機場 1 か所を監視対象とした、水路の現在・過去水位データの参照、水位閾値でのアラート発報、排水機場の現在・過去映像の参照を、遠隔から行うことが可能なシステムです。

各水位計には水位センサー、排水機場にはネットワークカメラが設置されており、各拠点で自動的に取得される水位データ、および監視カメラ映像は、センター拠点の水位監視兼カメラサーバーに送信され、サーバー内に蓄積されます。

遠隔監視センター、排水機場および水位計の各拠点間を結ぶネットワークは、ローカル 5G、LPWA (802.11ah (11ah)、LoRaWAN)、地域 BWA を使用しています。

排水機場、水位計①、水位計③は 11ah、水位計②は LoRaWAN を使用し、中継となる LPWA 基地局柱へ接続します。LPWA 基地局柱から遠隔監視センター間はローカル 5G で接続しています。

排水機場については、LPWA 基地局柱への距離が離れているため、2 か所の中継機を使用しています。

水位計④については地域 BWA によって遠隔監視センターへ直接接続しています。

水位データ、監視画像データの遠隔からの参照や、水位が閾値を超えた場合の電子メールでのアラート送信は、遠隔監視センターから接続するインターネット回線、およびプロバイダーのメールサーバーを利用する構成となっています。

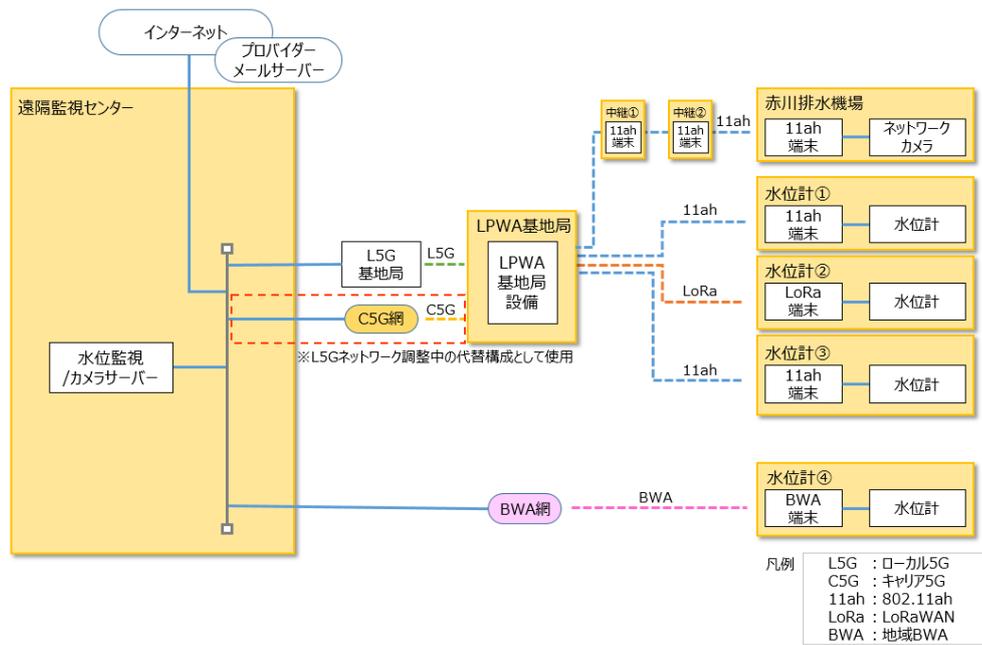


図 4.3.52 排水路監視システム構成概要図

(2) 各拠点位置



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

図 4.3.53 各拠点位置

(3) 機器仕様

排水路監視システムの機器および仕様は下記の通りです。

表 4.3.12 排水路監視システム機器仕様一覧

No.	機器名称	外観	型番	メーカー名	インターフェース構成	動作環境条件	防塵防水性能	寸法(mm)	重量	電源	最大消費電力	備考
1	LoRaWAN ゲートウェイ用 アンテナ		SL-9300C	日本アンテナ	同軸×1	-	-	-	0.6kg	-	-	ポール取付金具使用
2	LoRaWAN ゲートウェイ		OINET-937B	大井電気	Ethernet (IEEE802.3/802.3u, 10/100BASE×1) 4G/LTE (Cat.4) LoRa LTE-GPS	温度 -20~50℃ 湿度 5~95% (結露、氷結ないこと)	IP65	W 250.0 D 115.0 H 190.0	3.0kg	PoE+ (IEEE802.3at/Alternative B)	25W	本体壁面取付金具付属
3	LoRaWAN ゲートウェイ用 PoEインジェクタ		PD-9001GO-ET	立花エレテック	Ethernet (IEEE802.3/802.3u, 10/100/1000BASE×2)	温度 -40~65℃ 湿度 ~95% (結露ないこと)	IP67	W 140.0 D 60.0 H 170.0	1.4kg	AC100V	40W	ポール取付金具使用
4	LoRaWAN 子機用 アンテナ		MEGWX-1551SACX	マップエレクトロニクス	同軸×1	温度 -40~85℃	-	φ 12.9 H 204.0	0.03kg	-	-	900~940MHz
5	LoRaWAN 子機		OINET-938	大井電気	アナログ入力×4 シリアルポート×1	温度 -20~60℃ 湿度 20~90% (結露、氷結ないこと)	-	W 104.0 D 145.0 H 30.0	0.5kg	USB DCコネクタ	5W	
6	11ahアンテナ		G0900DEN	SaemON Technology SME	同軸×1	-	-	W 13.0 D 13.0 H 195.0	0.017kg (アンテナのみ)	-	-	
7	11ahルーター		BC-11AH-E	ビートグラフ	USB2.0 Standard A コネクター ×4 Ethernet (IEEE802.3i/802.3u (10/100BASE-TX) ×1 HDMI x1 (出力) microSDx1 3.5mmジャック (audio/video) Camera interface (CSI) Display interface (DSI) 40Pin GPIO	温度 -20~70℃ 湿度 10~90% (結露ないこと)	-	W 95.0 D 60.0 H 30.0	0.075kg	DC5V (ACアダプタ)	15W	3方向に配線スペース必要 ※別シート「11ahルーター」参照
8	BWAルーター		CTL-201JC	キヤセイトライ テック	100/1000BASE-TX ×2 MicroUSB ×1 MicroSIM ×1 SMA ×2(LTE/3G) SMA ×2(Wi-Fi)	温度 -20~60℃ 湿度 10~90% (結露ないこと)	-	W 175.0 D 125.6 H 28.8	0.6kg	DC5V~24V (ACアダプタ)	7.5W	
9	ローカル5G ルーター		XC-WN930J	Panasonic	Ethernet (100/1000/2.5G/5G) ×1 シリアル ×1 USB3.0 ×1	温度 -10~50℃ 湿度 5~95% (結露ないこと)	IP66	W 206.0 D 65.5 H 246.0	1.6kg	PoE+/DC12V	25.5W	ポール/壁面取付金具 付属
10	ローカル5G ルーター用PoEイ ンジェクター		PD-9001-10GC/AC-JP	立花エレテック	10/100/1000 Mbps & 10 Gbps	温度：-10~40℃ 湿度：~95% (結露ないこと)	-	W 55.8 H 34.3 D 167.0	0.23g	AC 100~ 240V	35W	

11	キヤリア5Gルーター		SH-52A	NTTドコモ	Ethernet (100/1000/2.5G/5G) × 1 USB TypeC × 1	-	-	W 157 D 16.0 H 84.0	0.3kg	内蔵バッテリー	-	-
12	L2スイッチ		AT-GS910/5	アライドテレス	Ethernet (10/100/1000BASE) × 5	温度 0~50℃ 湿度 ~80% (結露ないこと)	-	W 160 D 105 H 35	1.1kg	AC100V	3.1W	-
13	水鏡監視・カメラ監視サーバ		PowerEdge R340	DELL	Ethernet (10/100/1000BASE) × 2 USB2.0 × 1 USB3.0 × 2 RGB × 1	温度 10~35℃ 湿度 10~80% (結露ないこと)	-	W 434.0 D 596.0 H 42.8	13.6kg	AC100V	160W	-
14	データ通信端末		MJ-1000V3	クボタ	デジタル入力×20 アナログ入力×4 デジタル制御出力×4 シリアル通信ポート×1	温度 0~50℃ 湿度 30~85% (結露ないこと)	-	W 268.0 D 84.5 H 168.0	2.4kg	AC85-265V	30W	-
15	プロトコル変換機		FutureNet FA-210	センチュリーシステムズ	シリアルポート×1 Ethernet(10/100BASE)×1	温度 -20~60℃ 湿度 10~90% (結露ないこと)	-	W 89.5 D 62.0 H 28.0	0.2kg	AC100-240V	2W	-
16	カメラ		WV-S1511LNJ	パナソニック	Ethernet(10/100BASE)×1 モニター出力 ×1 アラーム入出力 ×3 オーディオ入力 ×1 オーディオ出力 ×1	温度 -30~60℃ 湿度 10~95% (結露ないこと)	IP66	W 89.5 D 62.0 H 28.0	1.6kg	PoE(IEEE802.3af) DC12V	9.4W	-
17	投光器		LEDS-13905NN-LJ9	東芝ライテック	-	-	-	W 338.0 D 90.0 H 320.0	5.7kg	AC100-242V	111W	-
18	水位センサー		PS3607	ifm efector	アナログ出力 ×1	温度 -10~50℃	IP68	φ 37.0 H 100.0	2.3kg	-	-	圧力式、測定範囲：0~0.06MPa

(4) 各拠点接続構成概要

各水位計は、商用電源の接続が困難である河川部に設置されるため、ソーラーパネルとバッテリーにより電力供給を行う構成としています。

水位計①、③および④の水位センサーのデータは、通信端末によって定期的に送信されますが、802.11ah 端末、地域 BWA 端末はインターフェースが Ethernet であるため、センサーデータをプロトコル変換して接続しています。水位計②の LoRa 端末については、水位センサーを直接接続できるインターフェースを持っており、データの定期送信機能を持っているため、センサーと直接接続しています。

排水機場は施設内のカメラ盤、および屋外の投光器へ商用電源の供給が可能であるため、AC100V 電源を使用しています。監視カメラは、PoE 対応のネットワークカメラを採用しているため、カメラ盤内の PoE スイッチから電源供給しています。

電源水位計、排水機場の各拠点における機器接続構成概要を下記に示します。

水位計①・水位計③（802.11ah拠点）の接続構成

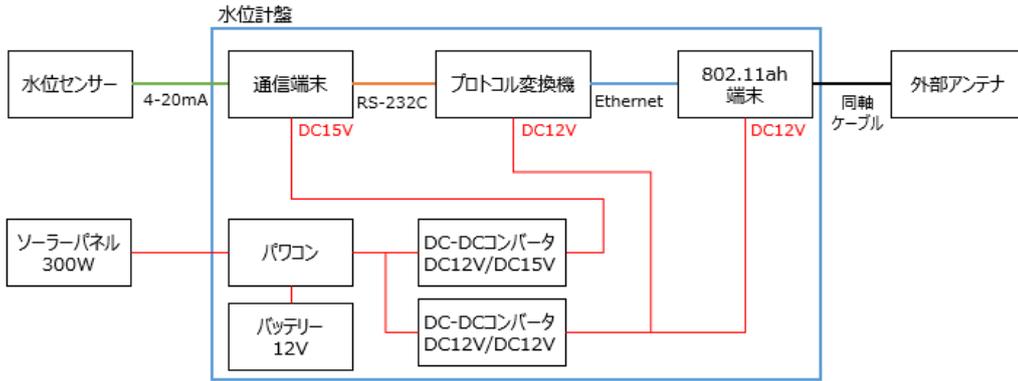


図 4.3.54 水位計①・水位計③接続構成概要図

水位計②（LoRaWAN拠点）の接続構成

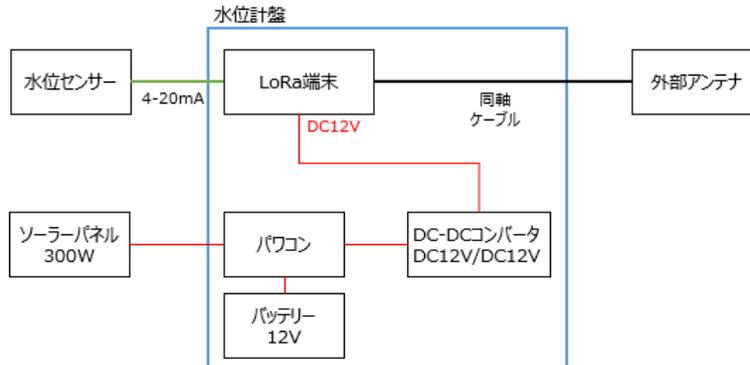


図 4.3.55 水位計②接続構成概要図

水位計④（地域BWA拠点）の接続構成

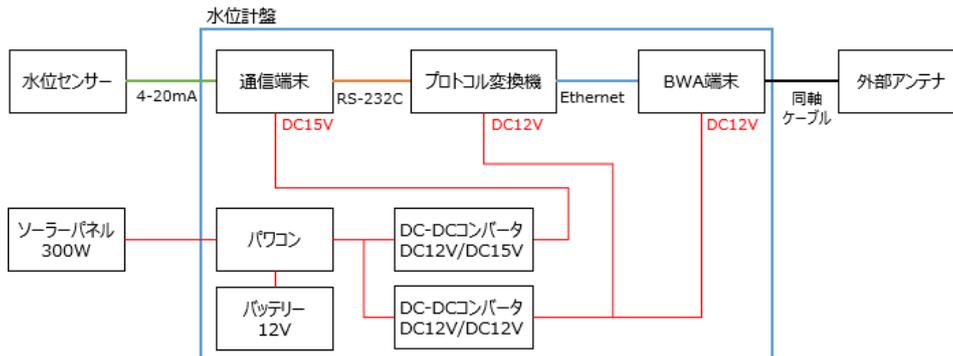


図 4.3.56 水位計④接続構成概要図

排水機場（802.11ah拠点）の接続構成

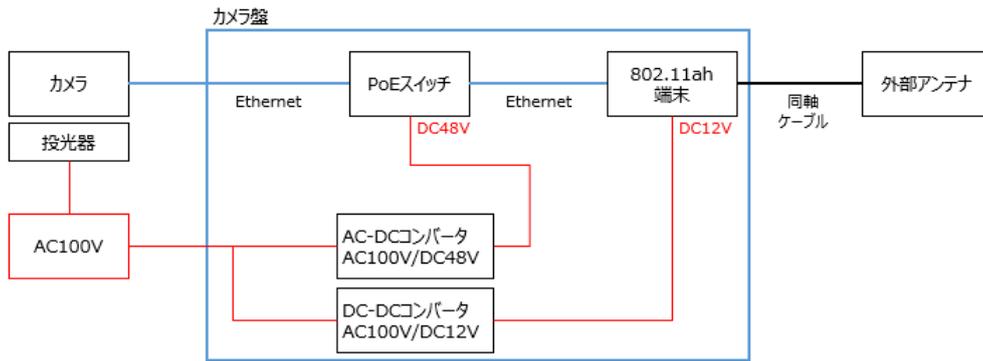


図 4.3.57 排水機場接続構成概要図

(5) 水位計・中継機盤装柱図

排水路監視システムにおける水位計、および中継機は新規に建柱し機器を設置しました。水位計・中継機盤の装柱図を下記に示します。

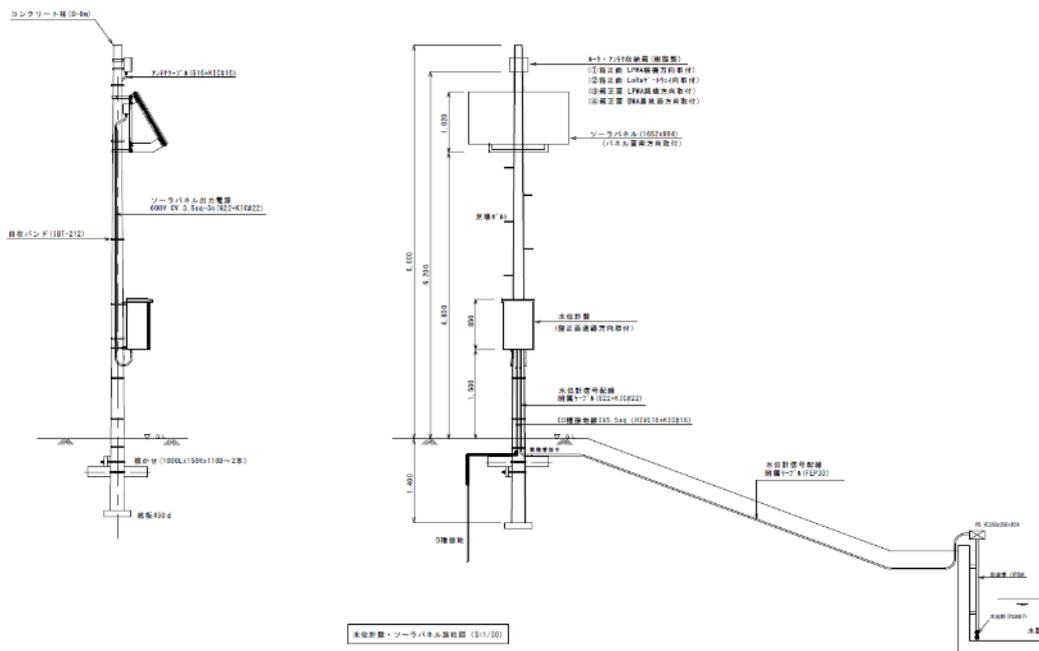


図 4.3.58 水位計装柱図

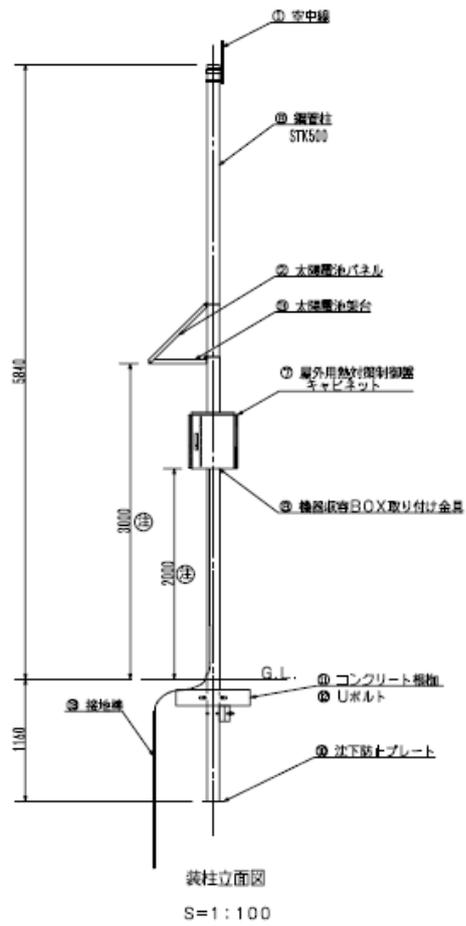


図 4.3.59 中継機盤装柱図

(6) 各拠点機器設置状況

LPWA 基地局



図 4.3.60 LPWA 基地局

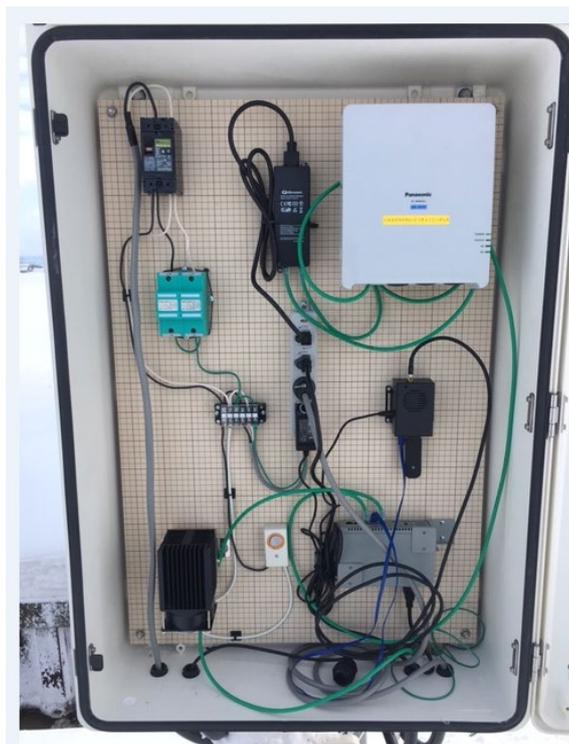


図 4.3.61 LPWA 基地局盤内

水位計①



図 4.3.62 水位計①



図 4.3.63 水位計① 盤内

水位計②



図 4.3.64 水位計②



図 4.3.65 水位計② 盤内

水位計③



図 4.3.66 水位計③



図 4.3.67 水位計③ 盤内

水位計④



図 4.3.68 水位計④



図 4.3.69 水位計④盤内

中継機①



図 4.3.70 中継機①



図 4.3.71 中継機① 盤内

中継機②



図 4.3.72 中継機②



図 4.3.73 中継機② 盤内

排水機場



図 4.3.74 排水機場 アンテナ



図 4.3.75 排水機場 11ah 子機

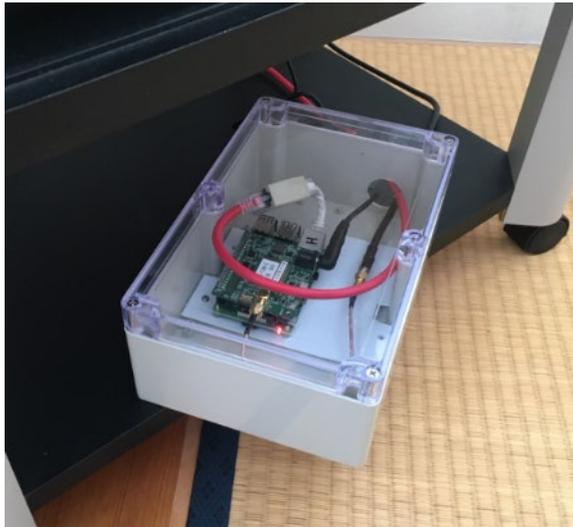


図 4.3.76 排水機場 11ah 子機



図 4.3.77 排水機場 カメラ盤



図 4.3.78 排水機場 カメラ盤内



図 4.3.79 排水機場 カメラ

水位監視兼カメラサーバー



図 4.3.80 水位監視兼カメラサーバー

(7) 無線区間電波試験

a) 802.11ah 区間

水位計①、水位計③、排水機場と LPWA 基地局を結ぶ LPWA (802.11ah) について、親機、中継機、子機間の電波強度を測定しました。

測定条件

基地局アンテナ高さ：約 6m

水位計アンテナ高さ：約 5m

中継機アンテナ高さ：約 5m

排水機場アンテナ高さ：約 18m

表 4.3.13 LPWA(11ah)子機～親機間電波試験

実施日 2020/12/15-/16 天候 雪/曇り

区間	平均受信電波強度
水位計①～基地局	-75dBm
水位計③～基地局	-70dBm
中継機①～基地局	-80dBm
中継機②～中継機①	-88dBm
排水機場～中継機②	-67dBm

b) LoRaWAN 区間

水位計②と LPWA 基地局を結ぶ LPWA (LoRaWAN) について、親機、子機間の電波強度を測定しました。参考として、圃場 A、圃場 C、LPWA 基地局柱付近についても測定を実施しました。

測定条件

アンテナ高さ

基地局アンテナ高さ：約 6m

水位計アンテナ高さ：約 5m

基地局付近アンテナ高さ：約 2m (手持ち)

LoRa 拡散率

DR0 (SF12)

表 4.3.14 LPWA(LoRa)子機～親機間電波試験

実施日 2020/12/14 天候 雪

区間	平均受信電波強度
水位計②～基地局	-98dBm
(参考) 圃場 C～基地局	-78dBm
(参考) 圃場 A～基地局	-70dBm
(参考) 基地局付近	-58dBm

(8) 拠点間疎通試験

水位計、排水機場の各拠点とセンター拠点間の疎通試験を実施した結果を下記に示します。なお、水位計②の LoRa 端末は IP による試験が不可であるため、センサーデータ受信確認による疎通確認のみ実施しています。

測定条件

- ・水位計、排水機場、センター拠点側に PC 端末 (OS:Windows10) を接続
- ・拠点側 PC のコマンドプロンプトより ping コマンドによる試験を実施
- ・送信データサイズ 32byte
- ・送信パケット数 100

図 4.3.81 各拠点疎通試験結果

拠点名	送受信パケット数			往復遅延時間 (ms)			天候
	送信数	受信	損失	最小	最大	平均	
水位計①	100	97	3	63	238	81	曇り/雪
水位計③	100	100	0	64	1220	104	曇り/雪
水位計④	100	100	0	33	281	72	曇り/雪
排水機場	100	100	0	150	451	214	曇り/雪

(9) 拠点間帯域試験

水位計、排水機場の各拠点とセンター拠点間の帯域試験を実施した結果を下記に示します。なお、水位計②の LoRa 端末は IP による試験が不可であるため、帯域試験は実施していません。

測定条件

- ・水位計、排水機場、センター拠点側に PC 端末 (OS:Windows10) を接続
- ・帯域測定ソフト iperf を使用
- ・拠点側 PC を iperf クライアント、センター拠点側を iperf サーバーとして起動
- ・測定間隔 1 秒
- ・測定回数 100 回
- ・受信帯域の平均値を測定
- ・クライアントから送信 (上り)、サーバーから送信 (下り) の 2 方向について測定

表 4.3.15 各拠点帯域測定結果

拠点名	上り帯域			下り帯域			天候
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	
(参考)PC 直結時	952Mbps	922Mbps	948Mbps	950Mbps	909Mbps	947Mbps	—
水位計①	1.06Mbps	0kbps	648kbps	978kbps	79kbps	699kbps	曇り/雪
水位計③	2.12Mbps	0kbps	977kbps	943kbps	0kbps	637kbps	曇り/雪
水位計④	8.48Mbps	7.23Mbps	7.94Mbps	27.1Mbps	9.45Mbps	17.9Mbps	曇り/雪
排水機場	579kbps	127kbps	241kbps	456kbps	105kbps	189kbps	曇り/雪

4.3.4 アー4：生活領域（健康管理等）

4.3.4.1 実施概要

農業人口の減少に伴い、大規模な圃場において単身で作業する機会が増加しており、熱中症対策、単独作業中の体調変化をはじめ、農作業時における生産者の健康管理に関する課題、高齢化に対する年間を通じた防災、健康サポート等の見守りの必要性が顕在化しています。

本検証では、生産者の安全・安心かつ快適な生活・作業環境構築に向け、ローカル 5G 等の無線通信システムを用いた健康管理機能について検証しました。

具体的には、作業や生活活動時に心拍数等の生体情報をセンシングするウェアラブル機器（スマートウェア、トランスミッター）を装着し、ローカル 5G 等を経由し常時生体情報をモニタリングしました。

センシング情報の変異によりリスク可能性（体調の変化、暑熱リスク、転倒）が確認された際、本人及び家族へ通知する機能の検証を行いました。

センシング情報の変異によりリスク可能性が確認された際、本人及び家族へ通知する機能の検証を行いました。

活用できるユースケースを農作業時の熱中症等リスクと将来的に想定しますが、本検証の実施時期にあわせた冬季特有の除雪作業時の転倒リスク、暖房による室内での熱中症等に着眼した検証を行いました。



図 4.3.82 実証構成概要

4.3.4.2 評価・検証

(1) 健康管理システム構成概要

生産者の生活・作業環境をユースケースとして想定し、それぞれに対応した複数ネットワーク（ローカル 5G/キャリア 5G/LTE/BWA）における検証環境により実施しました。



図 4.3.83 健康管理システムのユースケースと全体像

今回使用した健康管理システム（ミツフジ製 hamon®）では、スマートウェアで収集した生体情報を携帯するスマートフォンアプリで解析し、定期的に本人へのアラート通知を行います。また、クラウドへも送信することで本人以外への通知を行います。



図 4.3.84 アラート通知イメージ

(2) 健康管理システム ネットワーク概要

ユースケースに対応するため、屋外ではスマート農機の遠隔監視制御ネットワーク、またはスマートフォン機能を活用、ご自宅では各協力者の環境を利用します。この構成により生活圏内をすべてカバーでき、クラウドサービスと連携可能としています。

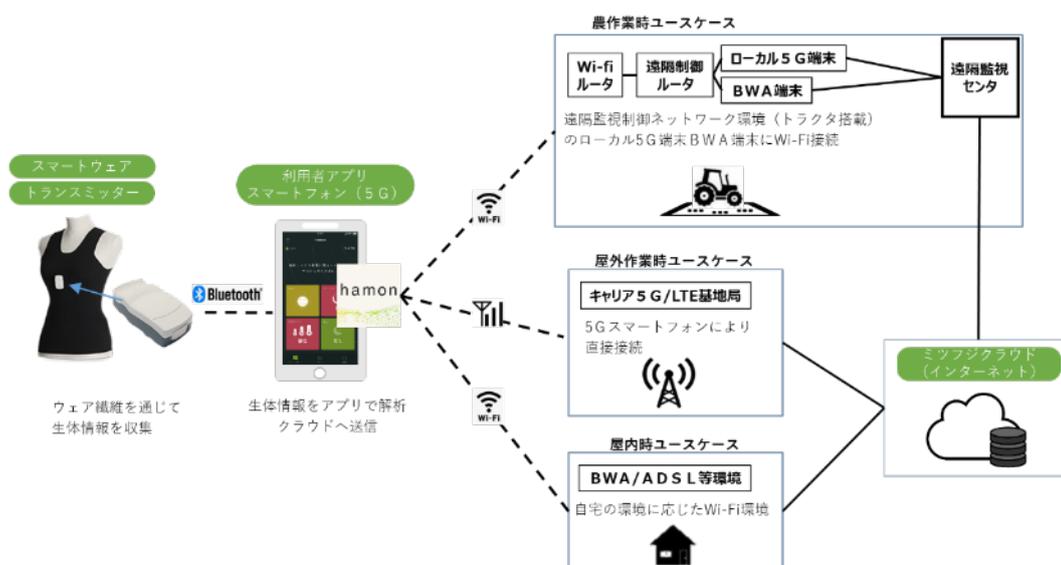


図 4.3.85 健康管理システムのネットワーク構成

(3) 検証実施対象者.

検証対象者は実証地区（赤川地区）の農業従事者・高齢者を中心に選定し、一定期間の装着、アンケート回答にご協力いただきました。

協力対象者：4名 60代以上、1名 40代

実施期間：令和3年2月13日～2月24日（12日間）

説明会：令和3年2月12日 14時～15時 北村環境改善センター

※新型コロナウイルス感染対策のうえ実施

(4) 検証内容

① 複数ネットワーク（5G/ローカル5G/BWA）にまたがる運用

ウェアラブル機器を着用しアラートを発生させ、システム仕様の通りのデータ及びアラート情報がクラウドに送信されるかを確認しました。なお、ネットワークによるデータ送信の即時性と正確性に主眼を置くことから、なお、アラート種別による人為的な発生が困難なものは他アラート通知の確認ができていれば可としています。

◆検証評価ポイント

- ・携帯するスマートフォンでのアラート通知間隔の確認
- ・クラウド画面にて、遅滞なくスマートフォンと同じアラート情報が参照できることの確認

◆アラート通知等の確認方法

- RRI/心拍 : スマートフォン画面の波形、心拍数の変動表示確認
転倒 : トランスミッターを横向きにしてアラート発生を確認
体調、眠気、ストレス : 人為的なアラート発生が困難なため発生時のみの確認
暑熱リスク : 基準体温を高めに設定してアラート発生を確認

◆検証結果

スマートフォンアプリによるアラート通知後に遅滞なくクラウド画面のアラート表示がされていたことを確認しました。アラート種別によっては人為的に発生できなかったものがありますが、スマートフォンアプリ機能としての確認として十分と考えます。

【検証項目①】 RRI/心拍: 都度計算されてクラウドに送信されているか

- ・クラウド画面に、スマートフォンアプリ通知後の同時反映を確認
(L5G/C5G/BWA)

【検証項目②】 体調、眠気、転倒: 1分に1回計算しクラウドに送信されているか

- ・クラウド画面に、スマートフォンアプリ通知後の同時反映を確認
(L5G/BWA)

【検証項目③】 ストレス: 10分に1回計算し、クラウドに送信されているか

- ・クラウド画面に、スマートフォンアプリ通知後の同時反映を確認
(L5G/C5G)

【検証項目④】 暑熱リスク: 3分に1回計算し、クラウドに送信されているか

- ・クラウド画面に、スマートフォンアプリ通知後の同時反映を確認
- ・3分ごとの繰り返し通知を確認
(L5G/C5G)

・RRI/心拍数の都度計算確認（スマートフォンアプリ画面）



図 4.3.86 心拍数計算画面

・クラウド画面での通知参照画面（都度確認を実施、引用画像は終了時のもの）

ローカル 5G 2021/02/11 10:55～11:40

hamon		通知履歴	更新する	test005	ログアウト
メインメニュー		test005	高い暑熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 11時32分46秒	
ダッシュボード		test005	高い暑熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 11時29分46秒	
通知履歴		test005	ストレスの大きな上昇を検知しました。	2021年02月11日 11時26分45秒	
通知マップ		test005	高い暑熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 11時20分46秒	
バイタル相談申請		test005	高い暑熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 11時17分46秒	
バイタル相談承認		test005	ストレスの上昇を検知しました。	2021年02月11日 11時16分45秒	
パスワード設定		test005	転回しました。	2021年02月11日 11時16分21秒	
		test005	高い暑熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 11時14分46秒	
		test005	高い暑熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 11時11分46秒	
		test005	高い暑熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 11時08分46秒	
		test005	高い暑熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 11時05分46秒	
		test005	高い暑熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 11時02分46秒	
		test005	高い暑熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 10時59分46秒	

図 4.3.87 通知参照画面（ローカル 5G）

キャリア 5G 2021/02/11 16:00~16:40

hamon		通知履歴	更新する	test005	ログアウト
メインメニュー		test005	ストレスの上昇を検知しました。	2021年02月11日 16時35分11秒	
ダッシュボード		test005	高い懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時37分17秒	
通知履歴		test005	高い懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時39分17秒	
通知マップ		test005	高い懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時26分12秒	
バイタル測定申請		test005	高い懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時23分12秒	
バイタル結果承認		test005	高い懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時20分12秒	
パスワード設定		test005	高い懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時17分12秒	
		test005	高い懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時14分12秒	
		test005	懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時11分12秒	
		test005	懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時08分12秒	
		test005	懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時05分12秒	
		test005	ストレスの上昇を検知しました。	2021年02月11日 16時05分11秒	
		test005	懸熱リスクを検知しました。	2021年02月11日 16時02分12秒	

図 4.3.88 通知参照画面 (キャリア 5G)

BWA 2021/02/09 14:24~14:45

hamon		通知履歴	更新する	test005	ログアウト
メインメニュー		test005	転倒しました。	2021年02月09日 14時29分12秒	
ダッシュボード		test005	転倒しました。	2021年02月09日 14時28分04秒	

図 4.3.89 通知参照画面 (BWA)

- ・クラウド画面での生体情報参照画面（都度確認を実施、引用画像は終了時のもの）

ローカル 5G（青枠）、キャリア 5G（赤枠）、その他は LTE 接続

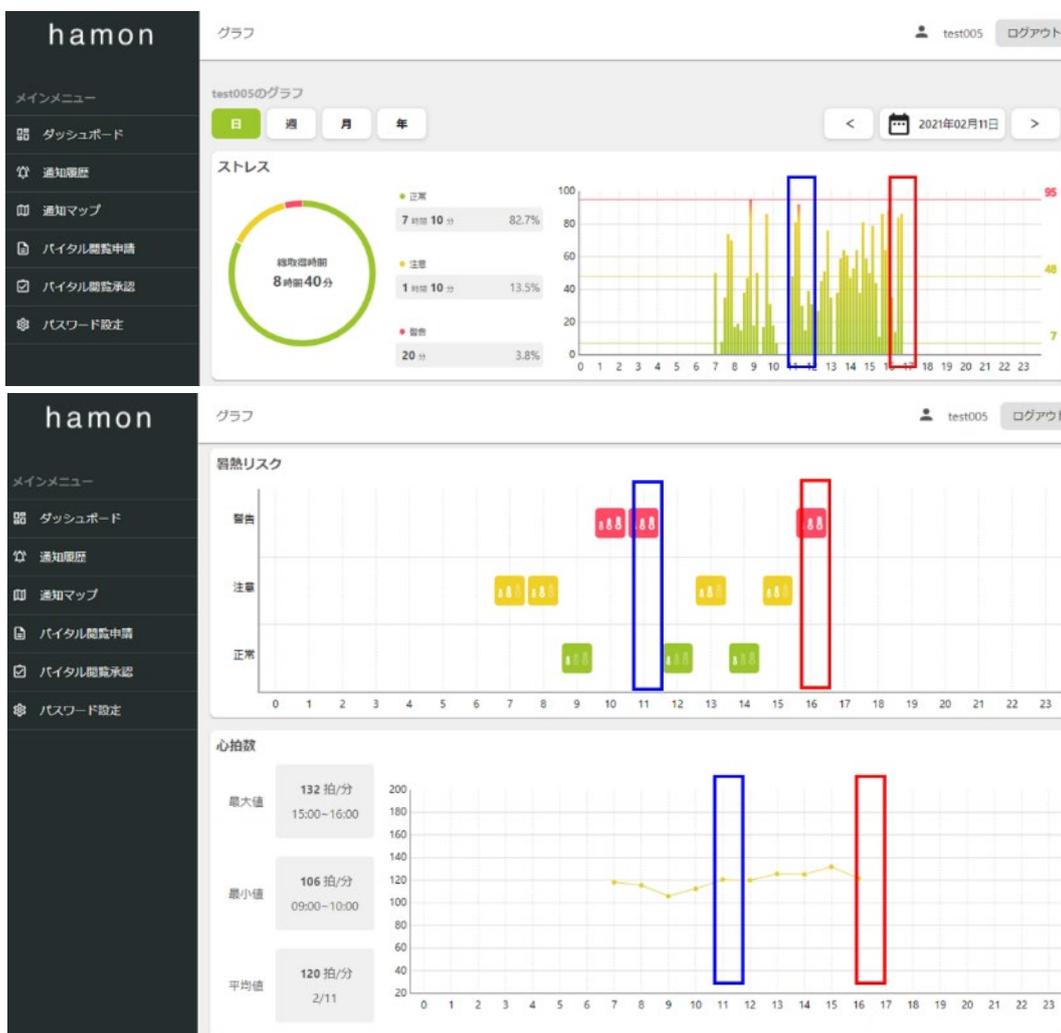


図 4.3.90 生体情報参照画面（ローカル 5G、キャリア 5G）

BWA（緑枠）、その他はLTE 接続

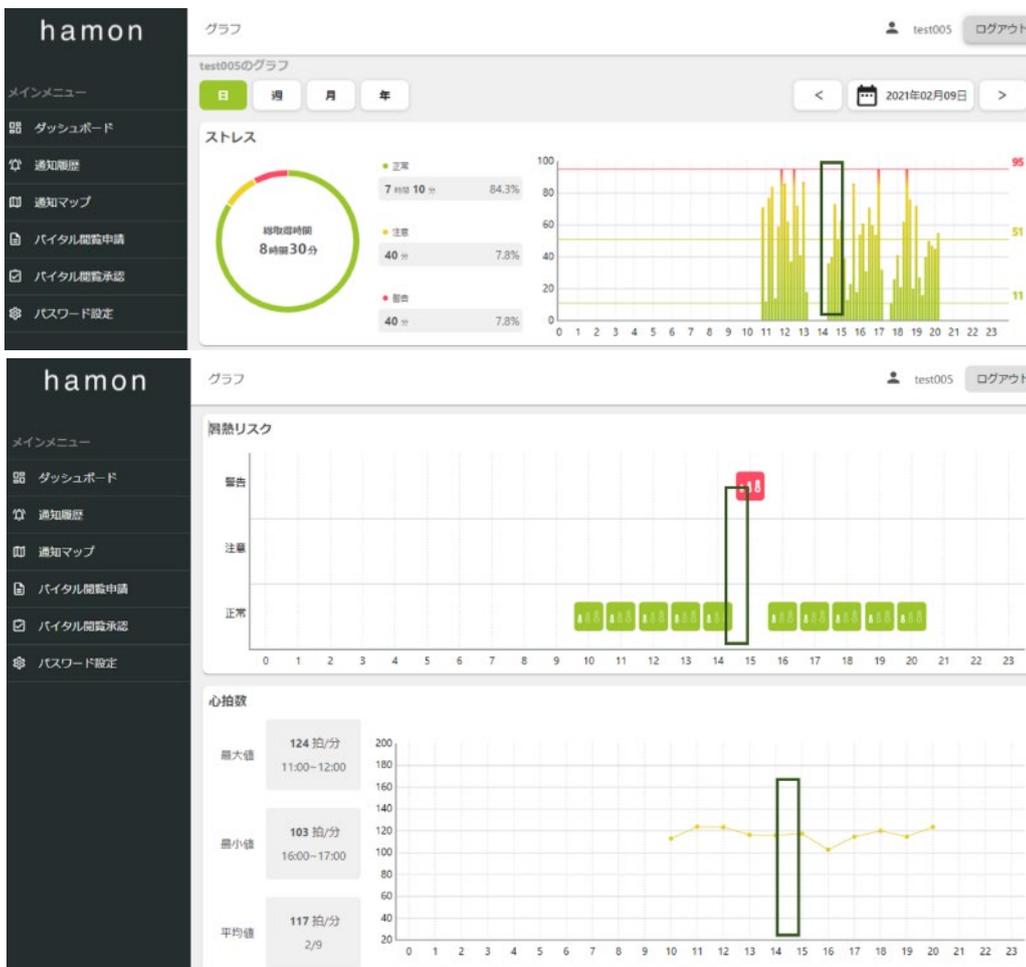


図 4.3.91 生体情報参照画面 (BWA)

4.4 課題解決システムに関する効果検証

4.4.1 イー1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）

(1) スマート農機の遠隔監視・制御利用による作業改善効果

① 有人→無人による効果

本実証で用いた自動運転トラクターは外周 1 周分、アシストコンバインは外周 3 週分は有人での作業が必要となります。圃場形状・サイズによる差異はあるが、机上検討ではトラクターで 85%、コンバインで 70%が遠隔監視制御による無人走行が可能になり、農作業者の稼働時間削減効果があると考えられます。

② 一人の遠隔監視者が複数トラクターを操作することによる効果

トラクターの無人自動走行率を 85%とし、ロボトラ台数を 4 台で、農家の 1 年間の対象農作業（耕起・砕土・心土破碎・整地・代かき・中耕・鎮圧）を実施した場合、机上検討では有人作業＋無人監視制御の総作業稼働が約 41%（59%削減）となることから、遠隔監視による効果が期待できると考えられます。

(2) 利用者間の作業状況及び生育状況を鑑みた共同利用・シェアリング導入促進の効果

上記の作業効果を実現するには、複数農家でのスマート農機の共同利用やシェアリングによるスケジュール最適化の調整が重要となります。スケジュール調整には各農家・圃場の作物毎の積算気温等による生育情報や気象・土壌水分等を考慮した作業適期を把握し、ロボトラによる作業を集約・集中することが重要となると考えられます。今回の実証では通年の農作業期での圃場検証が困難であったことから、岩見沢市の営農データをもとに机上検討でのシミュレーションを実施しました。（下記に机上検討時のサンプルを示す。）机上検討においては、作業適期のスケジュール調整・調整期間中の 4 台を前提としたロボトラ集中作業の実現可能性が高いことが分かりました。

※ スケジュール最適化については、農水省実証（2年目）にて検証を継続します。

(3) 遠隔自動走行による農作業の安全性

本実証において、実際の作業機を付けて遠隔制御によるロボットトラクター・コンバインの自動走行を複数回実施しましたが、暴走・転倒・ルート逸脱等の事故は発生しませんでした。またロボットトラクターには、安全性を確保するためのセンサー・レーザーが搭載されており、人や障害物が近づくと警告音が出て自動停止する機能を有していることから、安全性は十分に確保されていたものと考えます。

(4) 非常停止等の操作の有効性確認

遠隔監視制御による非常停止の実証を行い、有人と比較して 1 秒未満の遅延で対応できることが分かりました。作業機付きのトラクターは通常時速 10km（秒速約 2.8m）以下で作業することから、2.8m に近づく前に監視・制御が可能であればよく、カメラ画角が 20m 周辺まで見渡せる状況であれば、十分に非常停止操作が有効であると考えられます。

(5) 車載機器の耐久性

車載機器の振動による故障は発生しませんでした。一方、直射日光等による温度上昇が原因と考えられる機器不具合が数回発生したことから、直射日光を受けず、かつ機器に蓄積された熱を放出できるような搭載方法が必要と考えられます。

(6) L5G カバーエリアの妥当性

L5G 構築時期が冬季間であったことから、実際の農作業時期における評価は実施できていません。机上検討としては、L5G アンテナは 360 度の無指向性であることから、田の字形 4 圃場の中央にアンテナを設置し 4 圃場と圃場間の農道をカバーすることが妥当であると考えられますが、農家の圃場は形状が様々であり、かつ飛び地であることも多く、実態に合わせてケースバイケースのエリア設計が必要と考えられます。

(7) 必要スループット要件の妥当性

遠隔監視制御に必要なスループットとしては、4K×30fps の動画転送の場合で 10-25Mbps を想定していましたが、人間がロボトラの安全走行を確保する目的においては、FHD×30fps の品質（スループットで 5Mbps 前後）でも十分に確認が可能でした。ただし、今後の AI 画像認識技術の活用（生育把握、物体検出等）を考慮した場合、高精細画像を高品質に映像伝送することが必要となるため、アップリンクスループットとして数百 Mbps 以上のスループットが期待されます。

(8) 映像監視の有効性確認

本実証では最大 4 台のロボトラを同時監視することを想定し監視制御センターを構築しました。今回の実証においては、最大 3 台の同時監視制御を実施し有効性を確認しました。人間の視野と注意力には限界があることから、実用に向けてはAIによる判断支援等を活用することが期待されます。

(9) 5G エリアとそれ以外での作業効率の比較分析

- ・ 5G エリア : 2-3 台同時走行可能
- ・ 他エリア : 1 台のみ走行可能(4K 前提)
- ・ 他エリアで複数台の安全走行が実現可能な設定方法

5G エリアではスループット数十 Mbps である一方、他エリア (LTE/BWA エリア) ではスループットは数 Mbps 程度となることから、他エリアでの 4K 品質での複数台同時走行はネットワーク不安定となることが考慮されます。しかし、FHD 品質でも遠隔監視制御によるロボトラ安全走行が可能であることから、カメラ 2Mbps×前後 2 台×ロボトラ 2=8Mbps の安定スループットが確保できるネットワーク環境であれば、他エリアでも 2 台同時走行の実現性は考えられます。仮にスループット悪化が発生した場合は、まずカメラ映像の悪化状態となり、更にスループットがゼロに近い状態になった時に監視センターとの制御通信が行われなくなり、トラクターが自動停止します。監視センターでは、カメラ映像がブラックアウトした場合、一旦遠隔で自動停止を行い、現地確認を実施してから再開する運用になることから、ネットワーク不安定な環境では、作業効率は悪化することになると想定されます。

(10) スマート農機の使用率 (圃場毎) と L5G 導入の経済性分析 (採算ラインを分析)

遠隔監視制御によるロボットトラクターは、遠隔監視センターによる集約作業が前提となることから、農家個々が購入するケースは考えにくく、業務委託によるレンタル提供が想定されます。仮に業務委託がロボトラ 4 台で 8 農家の慣行作業を代行 (使用率 200%) すると想定した場合、8 農家の慣行稼働費×41% (59%削減) の経済効果となります。L5G は地域自治体等による導入が想定され、農業生産者の所得向上による経済効果が期待値となります。地域のブロードバンド導入費用と比較して L5G 導入の経済性が確保可能であるかどうかの評価ポイントと考えられます。

(11) 業務委託モデルの検証

- ・ 個人所有/貸し借りモデル
- ・ 農業法人所有/貸し借りモデル
- ・ 業務委託事業者による作業委託モデル

遠隔監視制御によるロボットトラクターの活用では、農家個人ではなく農業法人や業務委託等での共同利用を前提としたロボットトラクター購入が想定されます。業務委託

の場合、慣行作業での委託と比較し、遠隔監視制御での委託が有効となるには、スケジュール最適化によりできるだけ同時作業に集約することが経済効果を発揮すると考えられます。

4.4.2 イー2：農業領域（ビッグデータ収集）

(1) データ収集タイミングの妥当性

リアルタイム性の要否について、本実証におけるスケジュール最適化については1週間単位での生産者のスケジュールを最適化できれば良く、また作物の生育予察についてはリアルタイムでの評価は必要ではないため、気象データについては一日に一回のデータ取得が十分であると評価しました。

(2) データ保管条件の妥当性

構築されたデータ収集のためのAWS環境において、データ保管の内容、量について検討しました。保存されている各種データの内、映像データの容量が他データと比較してはるかに大きく、AWSのランニングコストが増えていきます。今後のビジネスモデル展開を考慮すると、データ収集環境にかかるランニングコストを大きく変化させないために、映像データを1年に1度削除することが望ましいと判断しました。

(3) 最適スケジュール計算の妥当性

最適化したスケジュールは、各農家が投入してくれた工程マスタを基に作成されるため、各農家に対して翌週の作業についての最適化結果を提示することが望ましいと判断しました。

(4) スケジュール策定手法の評価

季節上の都合から農作業が無かったため、最適化したスケジュール案を農家に提示することはありませんでした。実際にスケジュール案を農家に提示する際には、翌週のスケジュール最適案を提示することで、農家の作業調整を行いたいと検討しています。

最適なスケジュール調整について本実証では、土壌水分データを使用せず農作業履歴、気象データのみを使用しました。降水量から農作業の可否を判断しましたが、実際には降水がない場合であっても前日の降水量によっては土壌の含水率が高く、土壌がぬかるんで作業不可能となる日があります。今後、土壌水分データを収集、使用することで本実証において最適化したスケジュールは、より精度を高めることが出来ると考えられます。

(5) スケジュール調整の妥当性

農家が投入した作業計画は、各農家で投入項目のばらつきがあるため、一定の品質を保ったスケジュール調整ができません。スケジュール調整の妥当性確保のためには、すべての農家が共通して投入する項目を指定する必要があります。そのためには、投入項目の

選定、マニュアルの確立、農家への協力要請が必要となります。

(6) 気象考慮の妥当性

気象データのうち、気温（積算気温）、降水量から作物ごとの作業適期を割り出すことができます。本実証においては、水稻、小麦については生育予察データを収集しており、今後当該作物についてはこの予察データを使用することも可能です。しかし、他作物について気象を考慮する場合は、積算気温と該当する作物の生育ステージの情報を新たに入手する必要があります。

(7) 各農家の農作業への自動走行トラクター貸出の妥当性

本実証における協力農家 3 軒のうち、自動走行トラクターを保有している農家は 2 軒ですが、自動走行トラクターの導入割合は農家全体ではさらに低い割合となっています。自動走行トラクターの遠隔監視制御が可能になることで、導入の障壁と考えられる、比較的高額な導入コストと、操作方法の習得について、地域全体としてトラクターを所有し貸し出すことで、比較的安価な費用で利用し、操作については遠隔から一括で実施する等が考えられるため、自動走行トラクターの貸出は有効であると考えられます。

(8) 収量への影響/効果の把握

本実証では、スケジュールの最適化により作業時間効率化を図りました。作業時間を効率化することにより生じた時間を別圃場における作業時間に割り当てることが出来ます。作業時間の効率化については、農作業の全体作業面積に対する無人化できる作業面積の割合、監視員一人当たりが遠隔監視制御できる割合、圃場間移動にかかる時間、慣行作業をロボトラ作業に移行できる比率によって変化します。圃場間移動を 5 分、慣行作業のロボトラ作業への移行比率を 100%とした場合の作業効率化結果を以下の表に記します。データを利用した対象農家は、農作業履歴を投入いただいた濱本農場、倉田農場、新田農場、道下農場です。最も効率良くロボトラを使用し、監視員一人あたり 8 台のロボトラを監視できた場合、作業時間は 30.5%まで削減されます。これにより、削減できた分の時間を農家が他作業に充てることができるため、圃場面積そのものを増やすことができ、収量増につながります。

表 4.4.1 各条件における作業可能時間最適化率

番号	無人作業可能面積/ 全体作業面積	一人当たりの遠隔監視制御可能台数	作業時間最適化率
1	70%	4台	52.4%
2	85%	4台	41.1%
3	70%	8台	43.6%
4	85%	8台	30.5%

(9) 費用対効果に関する評価・検証

スケジュール調整には、各種データの分析、スケジュールの最適化、農家とのスケジュール調整を行う必要があります。本実証では、各種データの分析、スケジュールの最適化において 5 人日の稼働が発生し、農家とのスケジュール調整については季節上の都合により実行できませんでした。スケジュール調整において 5 人以上の稼働がかかることから、スケジュール調整について現時点での費用対効果は悪いと言えます。改善するためには、各種データを用いたスケジュール最適化の自動化、農家とのリレーション構築によるスケジュール調整の円滑化が課題です。

4.4.3 イー3：生活領域（排水路監視等）

4.3.3 章で述べた排水路監視システムを運用し、排水路の水位上昇リスクを警告する閾値を超えた際に、関係者が認知するまでの時間を計測し、現在の水位監視との差異から、想定される水害リスクの低減効果を評価しました。

検証作業は、岩見沢市に対して実施した、排水路監視システム操作説明会兼機能検証の場において実施しました。

(1) 検証作業の流れ

① 試験対象水路の設定

- ・ 任意の水路として、水位計①を選定

② 試験メール送信条件の設定

- ・ メール送信先として、任意の 3 名を選択、全員が確認するまで、通報動作を繰り返す、「全応答」設定を有効化。

③ 水位閾値超過状態発生

- ・ 時間計測を開始すると共に、試験対象水路の上限閾値設定値を変更し、水位超過状態への遷移を確認。

④ アラートメール発報

- ・ サーバーから自動的にアラートメール送信。

⑤ アラートメール受信・確認処理（全員）

- ・ 通報対象者の携帯端末へのメール着信を確認。
- ・ 受信メールを開いて、メール記載の受信確認リンクをクリックして確認を登録

⑥ 水位状態・監視映像確認（説明者）

実際の水位超過時を想定し、水位監視サーバーへログイン、各種情報を確認する作業を実施し、作業終了後時間計測を終了。

- ・ ログイン操作
- ・ 水位現在値確認
- ・ トレンドグラフ確認
- ・ 排水機場現在監視映像、過去監視映像を確認

⑦ 通報状態確認

各通報対象者への通報状態を確認。

- ・ 通報ログ画面を開く
- ・ 送信日時、状態、受信確認状態を確認

(2) 測定結果

測定日：2021/2/18

イベント	時刻	経過時間	備考
水位超過状態発生	14:30:02	-	
アラートメール発報	14:31:01	59 秒	
メール確認・登録	14:32:21	2 分 19 秒	最終確認者の登録時間
水位・監視画像確認	14:34:06	4 分 4 秒	全体水位トレンド、排水機場画像確認

(3) 評価

現状のパトロールが 1 回 2 時間程度で 10 回の巡回を行っている状況と比較すると、水位の計測が 1 分毎で、超過発生から、アラートメール発報、確認までの時間が 2 分程度、水位・画像の確認を含めても 4 分程度で実施できるという結果については、現状の確認間隔における急激な増水リスク低減に非常に有効であると考えられます。

また、特定の水路の水位異常発見から、他水路や排水機場の水位トレンド、過去画像検索等を実施することで、広範囲の水害リスク想定を行えることは、初動対応の迅速化に有効であると考えられます。

アラート発報については、多数の発報対象者に迅速に通知できるだけでなく、通報対象者の確認応答時間が記録されるため、情報伝達の証跡管理として使用することができ、異常発生時の対応振り返りに有効であると考えられます。

4.4.4 イー4：生活領域（健康管理等）

生活領域（健康管理機能等）の社会実装による農村地域への移住定住促進に資する生活環境向上への効果を協力者からのアンケートにより測定しました。

なお活用できるユースケースを農作業時の熱中症等リスクと将来的に想定しますが、本検証の実施時期にあわせた冬季特有の除雪作業時の転倒リスク、暖房による室内での熱中症等も含めたアンケートとしています。

(1) 検証作業の流れ

①協力者の選定

実証地区（赤川地区）の農業従事者・高齢者を中心に5名を選定、令和3年2月12日に説明会を開催しました。快く全員に了承いただき、同意書記載およびウェアラブル機器引き渡しをおこないました。

日時	: 令和3年2月12日 14時～15時30分
場所	: 北村環境改善センター 視聴覚室
参加者	: 協力者5名
説明者	: 東日本電信電話株式会社、株式会社はまなすインフォメーション
内容	: 実証内容、ウェアラブル機器の使用方法
資料	: 実証内容説明資料、ウェアラブル機器のマニュアル、機器実物



図 4.4.1 説明会会場（北村環境改善センター）（令和3年2月12日）

協力者様には、説明会後から毎日、日中帯のウェアラブル機器の装着を依頼し、2週間後のアンケート回答を依頼、令和3年2月26日に回収を行いました。

表 4.4.2 協力者一覧

1	赤川地区在住	60代以上
2	赤川地区在住	60代以上
3	赤川地区在住	60代以上
4	岩見沢市在住	60代以上
5	札幌市在住	40代

(2) 評価

想定ユースケース（農作業、除雪作業時）における、ローカル 5G 等を活用したリアルタイムモニタリングは、アンケートの結果から健康状態可視化・見守りへの有効性が高く評価されました。特に単独作業が多い農村地域作業におけるアラート通知は初動対応の迅速化に繋がることから高評価であり、地域の生活環境向上の貢献につながると考えられます。

さらに効果を上げるためには、利用者にあわせた機器選定や、設定・操作サポート体制が重要となると考えられます。

◆アンケート状況

- ローカル 5G 等を活用したリアルタイムモニタリングの有効性、および熱中症、体調変化、転倒による重症リスク把握
リアルタイムモニタリングの有効性は評価されました（効果あり：3/5 名）。
有効性を感じない理由として、スマートフォン等の操作に困難を感じた、多くのアラート発生のため注意点がはっきりしない、との意見がありました。

多くのアラート発生が発生した原因については、協力者ごとに設定を変更する箇所（体温）の手順が不慣れなことに起因するものが多いと考えられ、利用者にあわせた機器選定、またはサポート体制が重要となると考えられます。

表 4.4.3 アンケート結果

リアルタイムな体調把握、アラート通知は役に立つと思いませんか。	
役立つ	2
普通	1
あまり役立たない	1
ほとんど役立たない	1

- 外出時（各種作業等含む）転倒時間が長い場合異常状態を感知できるのが良い
- 単独作業時などに異常状態を感知できる。
- 今の時期はほとんど外での作業があまりなく、一日中の装着ができない。
- 朝から夕方まで装着したが、即暑熱、ストレスが警告状態となった。この状態が毎日続くも身体的に何をすべきかわからない。
- 家で、特に何もしていない普通の時にアラートが発生する。
- 除雪中、車運転中、事務作業中にアラートが多い。（2名）
- 脱着時や洗濯が面倒。

- 熱中症等の異変の本人及び家族へ通知する機能の評価
アラートを通知する機能は高評価となりました（4/5 名）。

表 4.4.4 アンケート結果

アラート（暑熱リスク、体調、ストレス、眠気、転倒）の通知が、ご家族等にも通知されることは良いと思いますか。	
良い	2
普通	2
やや悪い	1※
悪い	0
わからない	1

※暑熱アラートが頻出することから、部分的に「やや悪い」評価で重複

・ 応急、予防、市民への展開、活用寄与度の評価

自身および家族の見守りと応急処置や救急対応開始までの時間短縮には効果あり（4/5名）、特に作業中の活用評価が高いことから、想定ユースケースにおけるローカル 5G 等の活用は効果的と評価されました。

また、子供見守りについては、スマートフォン等の操作に困難を感じたこと、アラートが頻出したことから低評価となったと考えられます。

表 4.4.5 アンケート結果

今後、どのような用途で活用できると感じますか。	
単独での農作業時、除雪時の見守り（本人、家族等）	4
応急処置や救急対応開始までの時間短縮	3
遠隔地にいる家族、遠隔医療等による高齢者の見守り	3
保育施設向け子供の見守りサービス	0
親向け子供の見守り サービス	0
在宅勤務などリモートワーカーの体調管理	0
その他	0

- ・ 暑熱アラートは、もっと現実に近い温度に対応できればいいと思う。体調、ストレス、眠気、体調は本人が良い悪いを決定的にわからない。
- ・ 転倒アラートは寝ているときが多くアラートがあるので、本当に倒れた時のため必要と思うので、情報は絞って良いと思う（「位置」「転倒」「心拍数」程度）
- ・ トランスミッタは、独自に転送装置を有し、下着の上からかけられ、すべてのアプリが簡単な操作にしないと、高齢者向けにあまり普及しないのではないかと思います。
- ・ 高機能で耐久性がある分、装着、アプリの慣れが必要。特定の業務管理には向いているが高齢者や子供の見守りにはワンタッチタイプで機能を絞った方が現実的と感じる。

4.5 課題解決システムに関する機能検証

4.5.1 ウー1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）

- 撮影機能等

各種実証において、目視で障害物等が確認できるかどうか、画角を設定し、4K と FHD で比較し、監視センターでの作業目視や録画できる内容、範囲に差異があるかを確認しました。ローカル 5G・キャリア 5G・BWA/LTE ネットワーク環境による差異はありませんでした。また、カメラの画質・フレームレート等の設定はエンコーダー/デコーダーの設定と一致させるの方が映像品質として安定することを確認しました。

- 圧縮機能

エンコーダー/デコーダーの設定により、伝送用に撮影データを圧縮する機能です。H.265 による圧縮方式や帯域制限等（CBR）の設定を実施し、設定による処理遅延を測定し、エンコーダーは CBR 設定の方が VBR 設定より安定することを確認しました。

- 映像伝送機能

各種実証で複数ネットワーク（ローカル 5G/キャリア 5G/BWA/LTE）環境での映像伝送機能を確認しました。ローカル 5G、キャリア 5G、LTE/地域 BWA のスループットによる違いはありますが、カメラ・エンコーダ設定等による有効活用を確認するとともに、ローカル 5G、キャリア 5G 利用時の遅延を測定しました。

- ルーティング制御機能

ネットワーク構築により各種ルーティング制御機能を確認しました。各トラクターに個別セグメント、監視制御センター間はトラクターと対抗の個別セグメントと、共通セグメントによる制御を実現しました。トラクターと監視制御センター間のルーティング経路は冗長化とし、ネットワーク切り替え試験により有効性を確認しました。

- ネットワーク切り替え機能

ネットワーク切り替え実証により機能を確認しました。キャリア 5G への切り替え時、キャリア 5G 端末の特性上、キャリア 5G で通信できない状態では自動的に LTE で切り替わり（および復活時の切戻し）が可能となることを確認しました。

- 遠隔制御機能

各種実証にて、監視センターからスマート農機へ緊急停止信号及び再始動の制御信号の送信による開始・停止・再開を確認しました。

- トラクター走行経路記録機能

トラクターの走行ルート記録機能やログ出力機能を確認しました。ログ出力は GUI による出力だけでなく、時間指定出力 SQL バッチによるビッグデータ収集ツールを構築しました。

4.5.2 ウー2：農業領域（ビッグデータ収集）

□土壌環境データ取得機能

土壌水分センサー、テンシオメータに濡れたタオルを付着させることで、アナログデータを取得していることを確認しました。このアナログデータを変換することで含水度、温度、PF値が得られます。

□気象データ記録機能

スケジュール最適化のため、気温と降水量を使用しました。農家による作物の播種日を基準日とし、日平均気温から作物、圃場毎に有効積算気温を記録しました。積算気温によって、作物、圃場毎の作業適期を割り出しスケジュールに反映させました。また、雨天時には農作業ができないことから、9:00-17:00までの降水量の合計値に閾値（農家の作業実績から判断し3mmと設定）を設け、作業可能日、不可能日を割り出しました。本実証では、作業実績データのある濱本農場、倉田農場、新田農場、道下農場について、作業最適スケジュールを分析しました。以下に一例として、濱本農場における気象データを基にした作物ごとの作業最適スケジュールを示します。

播種日、基準日などから起算した積算気温を基に、作物ごと（小麦、水稻、大豆）の収穫日や生育スケジュールを分析しました。下図スケジュールの各色はロボットで作業可能な工程と期間を示しています。また、下図スケジュールでは各日9:00-17:00の合計降水量が3mmを超える場合には作業が不可能であるというスケジュールを示しております。

10	耕起
12	砕土
18	収穫
21	心土破碎
24	整地
27	代かき
44	落水溝掘り

図 4.5.1 凡例 ロボット農機を使用可能な作業工程
(数字は各工程・色と関連付けるための引数)

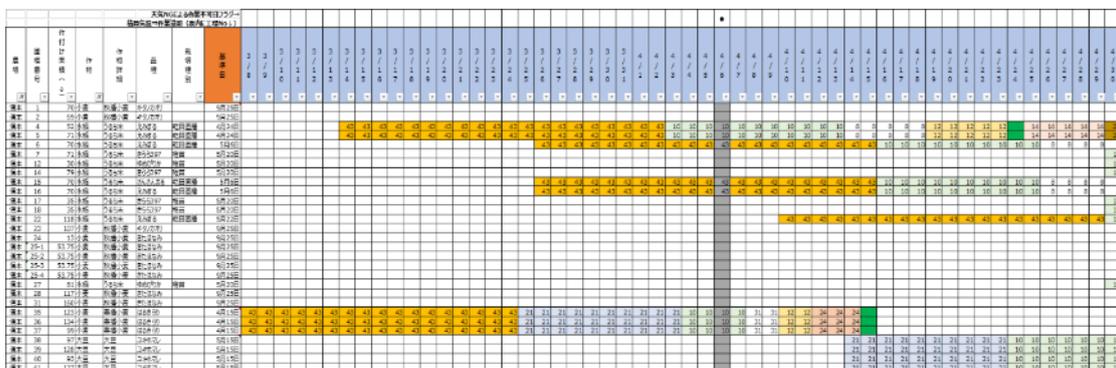


図 4.5.2 生産者農場における作物ごとの作業最適スケジュール (2020/3/8~4/30)

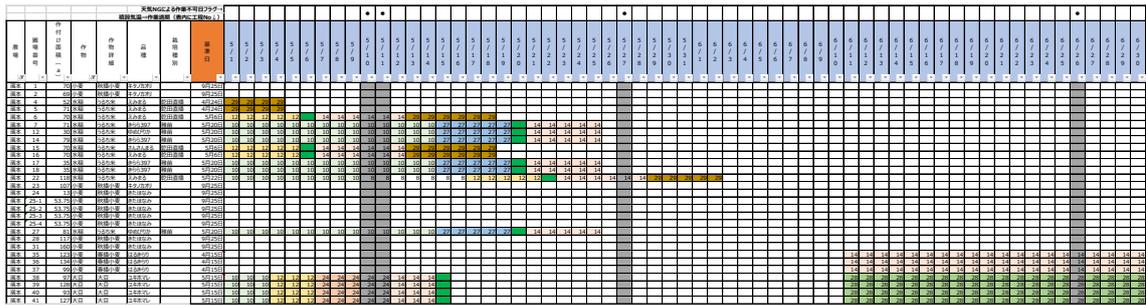


図 4.5.3 生産者農場における作物ごとの作業最適スケジュール (2020/5/1~6/30)

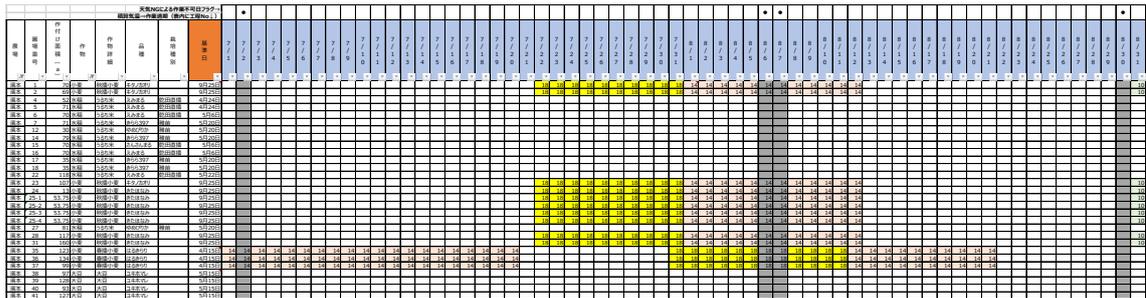


図 4.5.4 生産者農場における作物ごとの作業最適スケジュール (2020/7/1~8/31)



図 4.5.5 生産者農場における作物ごとの作業最適スケジュール (2020/9/1~10/31)

□作業記録機能

農家が記録した農作業の記録から、作物、作業工程毎にグループ化し、ロボットトラクターを用いた場合の総作業時間効率化について分析しました。ロボット農機を用いた場合にも、有人作業が一定の割合で発生します。本実証では、有人作業が必要となる面積が全体作業面積の 30%であった場合、15%であった場合（ロボット農機を用いて無人作業可能な面積が全体作業面積の 70%、85%の場合）を検証しました。さらに、遠隔監視センターにおいて、監視員一人が遠隔監視制御可能なロボット農機台数を 4 台、8 台と設定し分析しました。有人作業面積の割合、監視可能台数、圃場間移動にかかる時間（下図では 5 分で固定）、慣行作業をロボトラ作業に移行できる比率（下図では 100%で固定）を変えることで、様々な条件に合わせて作業時間の効率化を分析することが出来ます。また、下図は、ロボトラに作業を任せられる圃場数が多いほど作業時間を短縮できることを示しています。下図では圃場間移動にかかる時間を一律 5 分（0.08 時間）としています。これを増やすと、作業時間の削減率は減少します。つまり、ロボトラ作業の対象とする圃場数が多く、対象とする圃場間の距離が短いほど、作業時間の効率化が可能です。

- ・ 気象データ：ログ種類_日付_地点 ID
- ・ 農作業履歴データ：ログ種類_日付_時間_農場 ID_圃場 ID
- ・ 土壌データ：ログ種類_日付_時間_農場 ID_圃場 ID

表 4.5.1 各種データの命名規則テーブル

名称	最大長	入力値		備考
ログ種類	3	土壌	SOI	Soil
		映像	VID	Video
		トラクターログ	TRA	Tractor
		天気	WEA	Weather
		作業	FAR	Farmwork
		乾燥機	DRY	Dryer
日付	8	YYYYMMDD		
時間	9	HHMMSSmmm		未使用の場合は999999000
農場	4	ID		
圃場	4	ID		
地点	2	ID		
作業機	4	ID		
作業工程	3	ID		
カメラ	1	前方	0	
		後方	1	
テーブル情報	3	コマンド情報	COM	COMMANDINFO
		緊急情報	EME	EMERGENCYINFO
		稼働情報	WOR	WORKINFO
		位置情報	POS	POSITIONINFO
		農機マスタ	MAC	MACHINEMASTER
		人事マスタ	HUM	HUMANMASTER
		メーカーマスタ	MAK	MAKERMASTER
		作業エリア	WOR	WORKINGAREA
		圃場マスタ	FIE	FIELDMASTER
		乾燥機	3	ID

4.5.3 ウー3：生活領域（排水路監視等）

排水路監視システムの各機能について検証した結果を下記に示します。

排水路監視システムは、㈱クボタ製の監視ソフトウェア「KSIS（KUBOTA Smart Infrastructure System）」にて構築しています。

(1) 水位情報取得機能

① 全体画面

地区全体の各水路の現在水位値を表示します。



図 4.5.10 地区全体画面

② 水位計詳細画面

水位、バッテリー電圧の計測値、警報、注意報、電圧低下の状態を表示します。



図 4.5.11 水位詳細画面

③ 水位トレンド表示

水位値、バッテリー電圧の推移をグラフ表示します。グラフは水位計単位、および地区全体を表示することが可能です。

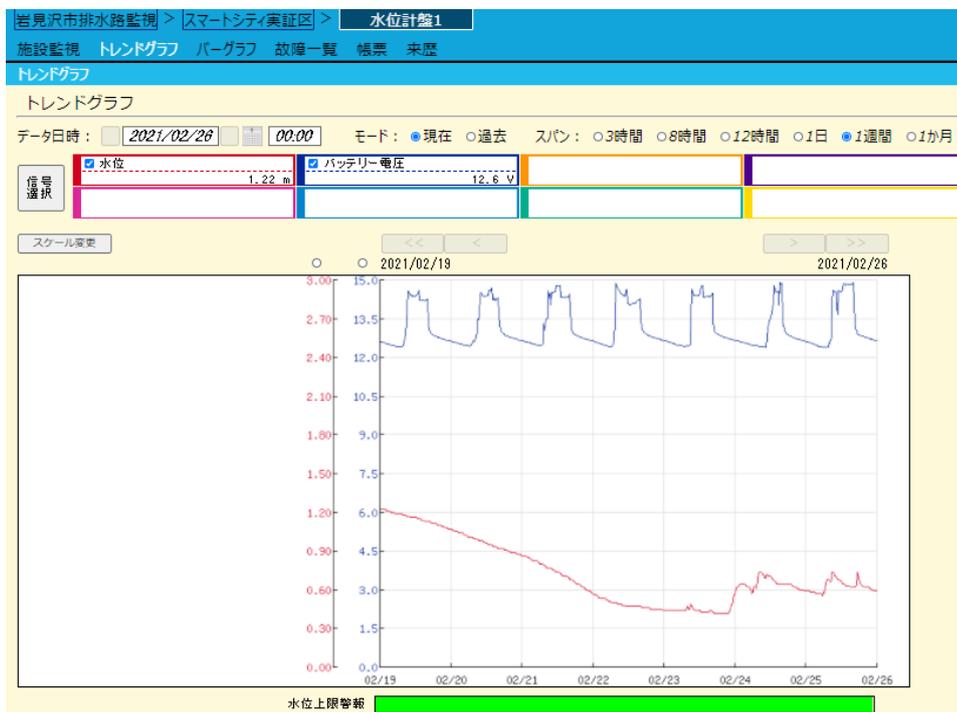


図 4.5.12 トレンドグラフ (水位計)



図 4.5.13 トレンドグラフ (全体)

④ バーグラフ表示

水位計単位で、水位、バッテリー電圧の現在値と 30 分前測定値と比較した、上昇、下降、変化なしの状況表示、アラート状態へ遷移する上限・下限閾値を表示します。



図 4.5.14 バーグラフ

⑤ 帳票表示機能

日報

データ日付: 2021/02/25 施設選択: 水位計盤1

時刻	水位 [m]
00:00~01:00	0.59
01:00~02:00	0.58
02:00~03:00	0.58
03:00~04:00	0.57
04:00~05:00	0.57
05:00~06:00	0.56
06:00~07:00	0.61
07:00~08:00	0.68
08:00~09:00	0.69
09:00~10:00	0.73
10:00~11:00	0.69
11:00~12:00	0.67
12:00~13:00	0.65
13:00~14:00	0.63
14:00~15:00	0.63
15:00~16:00	0.62
16:00~17:00	0.62
17:00~18:00	0.71
18:00~19:00	0.65
19:00~20:00	0.62
20:00~21:00	0.62
21:00~22:00	0.61
22:00~23:00	0.60
23:00~24:00	0.59
合計	-
最大	0.73
最小	0.56
平均	0.63

図 4.5.15 日報画面

月報

データ日付: < 2021/02

▼ 施設名: 水位計盤1 帳票名: 月報

日付	水位 [m]
1	0.43
2	0.45
3	0.52
4	0.51
5	0.54
6	0.52
7	0.48
8	0.50
9	0.54
10	0.56
11	0.56
12	0.55
13	0.53
14	0.48
15	0.48
16	0.31
17	1.25
18	1.27
19	1.15
20	0.96
21	0.73
22	0.49
23	0.44
24	0.65
25	0.63
26	0.56
合計	-
最大	1.27
最小	0.43
平均	0.64

図 4.5.16 月報画面

年報

データ日付: < 2021

▼ 施設名: 水位計盤1 帳票名: 年報

月	水位 [m]
1	-
2	0.64
合計	-
最大	0.64
最小	0.64
平均	0.64

図 4.5.17 年報画面

⑥ CSV ダウンロード機能

水位データを CSV 形式でダウンロードすることが可能です。

(2) カメラ画像撮影・表示、過去画像蓄積機能

① 最新画像・直近過去画像表示

最新画像、1分前から4分前画像、5分前から12分前画像を表示することが可能です。



図 4.5.18 監視画像表示画面

開始	2021年02月22日
	09時00分
終了	2021年02月22日
	17時59分
表示間隔	30分
表示枚数	30枚
<input type="button" value="検索"/> <input type="button" value="リセット"/>	
該当数	18枚
表示画像	1 - 18
	2021/02/22 09:00:43 <input type="button" value="開始に設定"/>
	2021/02/22 09:30:43 <input type="button" value="開始に設定"/>
	2021/02/22 10:00:43 <input type="button" value="開始に設定"/>
	2021/02/22

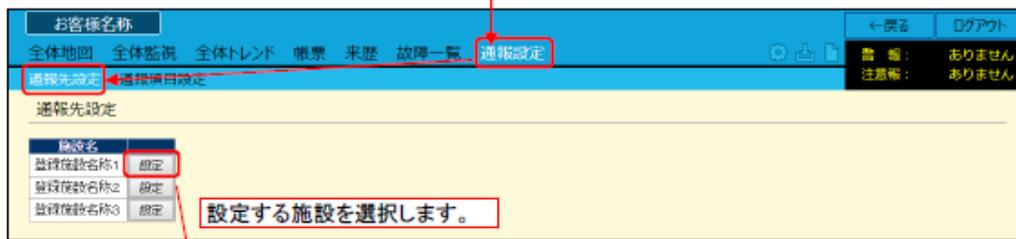
図 4.5.19 過去画像検索画面

(3) 水位監視・アラート通知機能

水位センサーの情報を収集し、あらかじめ設定しておいた閾値を超えた場合に防災システムと連携しアラート通知を行います。

岩見沢市排水路管理		←戻る	ログアウト
全体地図	全体監視	トレンドグラフ	帳票
バスワード管理	上下限設定	休日・夜間設定	故障一覧
上下限設定		情報: ありません 注意報: ありません	
地区	スマートシティ実証区		
施設	水位計機1		
信号名称	アーム		
水位	下限	上限	
	0.03	6.03	
<input type="button" value="更新"/>			

図 4.5.20 水位アラート閾値設定画面



通報先設定画面例



図 4.5.21 メール通報先、通報条件設定画面

表 4.5.2 通報先設定

機能説明	内容																				
①共通設定	<table border="1" data-bbox="531 309 1043 566"> <thead> <tr> <th colspan="3">【共通設定】</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">通報再送回数</td> <td>発生時</td> <td>1回</td> </tr> <tr> <td>回復時</td> <td>1回</td> </tr> <tr> <td colspan="2">通報再送間隔</td> <td>1分</td> </tr> <tr> <td colspan="2">通報グループ1</td> <td>全応答 ▼</td> </tr> <tr> <td colspan="2">通報グループ1の優先度</td> <td>通報グループ2と同じ ▼</td> </tr> <tr> <td colspan="2">通報グループ2</td> <td>全応答 ▼</td> </tr> </tbody> </table> <p>通報の共通設定を行います。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 通報再送回数：メール通報時、受信確認が無い場合の再送回数を設定します。 2) 通報再送間隔：受信確認が無い場合に、再送する回数を設定します。 3) 通報グループ1：通報設定で通報グループ1に設定した通報先の動作を設定します。 <ul style="list-style-type: none"> ・全応答 全ての通報先で受信確認が行われた時点で通報動作完了とする。受信確認が行われていない通報先には、再送されます。 ・応答エンド 1つの通報先で受信確認が行われた時点で通報動作完了とする。 4) 通報グループ1の優先度：通報先グループとの優先度を設定します。 <ul style="list-style-type: none"> ・通報グループ2と同じ 通報グループ2と同時に通報動作を開始します。 ・通報グループ2より高い 通報グループ1に通報動作を行い、通報グループ1で受信確認が行われなかった場合、通報グループ2に対して通報動作を行います。 ※通報グループ1で1カ所でも受信確認が行われた場合には、通報グループ2へは通報動作を行いません 5) 通報グループ2：通報設定で通報グループ2に設定した通報先の動作を設定します。 <ul style="list-style-type: none"> ・全応答 全ての通報先で受信確認が行われた時点で通報動作完了とします。受信確認が行われていない通報先には、再送されます。 ・応答エンド 1つの通報先で受信確認が行われた時点で通報動作完了とします。 	【共通設定】			通報再送回数	発生時	1回	回復時	1回	通報再送間隔		1分	通報グループ1		全応答 ▼	通報グループ1の優先度		通報グループ2と同じ ▼	通報グループ2		全応答 ▼
【共通設定】																					
通報再送回数	発生時	1回																			
	回復時	1回																			
通報再送間隔		1分																			
通報グループ1		全応答 ▼																			
通報グループ1の優先度		通報グループ2と同じ ▼																			
通報グループ2		全応答 ▼																			
②メール通報先変更	<table border="1" data-bbox="531 1395 1043 1686"> <thead> <tr> <th colspan="2">通報先変更</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>通報先名称</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>メールアドレス</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>使用/未使用</td> <td><input type="radio"/> 使用 <input checked="" type="radio"/> 未使用</td> </tr> <tr> <td>平日・昼</td> <td><input checked="" type="radio"/> 通報する <input type="radio"/> 通報しない</td> </tr> <tr> <td>夜間・休日</td> <td><input checked="" type="radio"/> 通報する <input type="radio"/> 通報しない</td> </tr> <tr> <td>対応通知メール</td> <td>送信しない ▼</td> </tr> <tr> <td>通報グループ</td> <td>1 ▼</td> </tr> </tbody> </table> <ol style="list-style-type: none"> 1) 通報先名称：通報先の名称を入力します。 2) メールアドレス：通報先のメールアドレスを入力します。 3) 使用/未使用：通報させない場合には未使用に設定します。 4) 平日・昼：「システム管理」で設定する「休日・夜間設定」以外の時間帯に通報する/しないを設定します。 5) 夜間・休日：「システム管理」で設定する「休日・夜間設定」の時間帯に通報する/しないを設定します。 	通報先変更		通報先名称	<input type="text"/>	メールアドレス	<input type="text"/>	使用/未使用	<input type="radio"/> 使用 <input checked="" type="radio"/> 未使用	平日・昼	<input checked="" type="radio"/> 通報する <input type="radio"/> 通報しない	夜間・休日	<input checked="" type="radio"/> 通報する <input type="radio"/> 通報しない	対応通知メール	送信しない ▼	通報グループ	1 ▼				
通報先変更																					
通報先名称	<input type="text"/>																				
メールアドレス	<input type="text"/>																				
使用/未使用	<input type="radio"/> 使用 <input checked="" type="radio"/> 未使用																				
平日・昼	<input checked="" type="radio"/> 通報する <input type="radio"/> 通報しない																				
夜間・休日	<input checked="" type="radio"/> 通報する <input type="radio"/> 通報しない																				
対応通知メール	送信しない ▼																				
通報グループ	1 ▼																				

(4) センサーデータ伝送ネットワーク・映像伝送ネットワーク

各センサーの水位データは、1分毎にサーバーへ伝送されますが、その1データあたりのデータサイズは100Byte未満の非常に小さなデータであり、必要帯域は0.02kbps程度と非常に低い値となります。

監視画像についても、640×480サイズのJPEGデータを1分毎に送信しており、1枚の画像データサイズは、約50KByteであり、必要帯域は7kbps程度となります。

本実証のネットワークにおける帯域は4.3.3章で実施した各拠点の帯域試験より、最も帯域の低い排水機場においても約200kbpsの通信帯域を確保していますので、水位データ、監視画像データの送信において問題ないネットワークシステムであると考えられます。

(5) 各機能検証結果

複数の無線ネットワークを使用したシステム構成において、水位情報取得機能、水位監視・アラート通知機能、カメラ画像撮影・表示、過去画像蓄積機能について問題なく機能することを確認しました。排水機場の監視カメラ映像について、昼間、夜間共に晴天時は明瞭な映像が確認できましたが、降雪時には、投光器による反射の影響で視認性が悪化することと、カメラレンズへの着雪時には、時間帯に寄らず全く撮影できなくなる状況も確認できたため、運用、普及展開時の課題点として4.6.3章に記述しています。



図 4.5.22 排水機場カメラ映像（昼間 晴天時）



図 4.5.23 排水機場カメラ映像（昼間 降雪時）



図 4.5.24 排水機場カメラ映像（夜間 晴天時）



図 4.5.25 排水機場カメラ映像（夜間 降雪時）



図 4.5.26 排水機場カメラ映像（カメラ着雪時）

4.5.4 ウー4：生活領域（健康管理等）

複数ネットワーク（キャリア 5G/ローカル 5G/地域 BWA）で構成された環境下におけるデータ送受信および通知の正確性を確認しました。

検証結果の画面証跡は「課題解決システムに関する検証及び評価・分析 4.3.4 アー4」項と同一となるため、そちらの記載を参照ください。

【機能検証項目①】 生体情報取得機能

- ・ RRI（心拍変動時系列データ）を取得。体調変化を分析できる十分なデータを取得できることを検証。

（結果）

- ・ L5G/C5G/BWA のネットワークにて、各種アラート通知を発生させるデータを取得できていることを、スマートフォンアプリ画面、クラウド画面ログにて確認。

【機能検証項目②】 センサーデータ伝送機能

（結果）

- ・ L5G/C5G/BWA のネットワークにて、生体情報が伝送されていることを、スマートフォンアプリ画面、クラウド画面ログにて確認。

【機能検証項目③】 生体情報モニタリング機能

- ・ センサー情報を取得し、体調の変化を記録。データ取得頻度が体調の分析に最適な頻度かどうか検証。

（結果）

- ・ L5G/C5G/BWA のネットワークにて、データ収集が十分行えており、システム仕様どおりの間隔で各種アラート通知がされていることを、スマートフォンアプリ画面、クラウド画面ログにて確認。

【機能検証項目④】 体調予測機能

- ・ モニタリング中のデータから異常な数値を検知した場合に熱中症等の可能性を予測。体調変化の事前予測を検証。

（結果）

- ・ L5G/C5G/BWA のネットワークにて、データ収集が十分行えており、システム仕様どおりの間隔で各種アラート通知がされていることを、スマートフォンアプリ画面、クラウド画面にて確認。

体調不良を検知したアラートが重篤な体調不良の状態からどの程度事前に予防できたのかについては、今回の協力者アンケートでは重症の発生はありませんでした。重症以外でのアラート発生原因については、下記と想定されます。

- ・ 転倒アラート
発生条件：立位から 30 秒以上の姿勢変化

想定原因：通常生活における使用では、昼寝をする、ソファで横になるでもアラートでの発生

- ・ 暑熱アラート

発生条件：アプリ設定（基礎体温）と収集生体情報から、閾値によるアラート発生

想定原因：協力者ごとで実施する、アプリ体温設定の変更手順が不完全のため、設定更新がうまくされていなかったことによる発生

表 4.5.3 アンケート結果

アラート（暑熱リスク、体調、ストレス、眠気、転倒）が通知された際、その際の状況で思い当たることがございましたか。（自覚症状とアラートは必ずしも一致するとは限らないため、ご質問です）
・ 特になし（全員） ・ その他コメント 体温36.5°C設定でも暑熱アラートが頻繁に出る（この方の体温は36°C前半） 何の動きもない、その状況は不明 体調の悪さは何も感じていない。 転倒アラートが頻繁に出るときは、テレビ観戦や昼寝時間帯横になって昼寝をした

【機能検証項目⑤】アラート通知機能

- ・ 熱中症等の可能性を予測した場合に本人や家族に通知する。体調予測から速やかにアラート通知を行えているかどうか検証を行う。

（結果）

- ・ L5G/C5G/BWA のネットワークにて、データ収集が十分行えており、システム仕様どおりの間隔で各種アラート通知がされていることを、スマートフォンアプリ画面、クラウド画面ログにて確認。

4.6 課題解決システムに関する運用検証

4.6.1 エー1：農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）

- ローカル 5G システムの運用【一部実施済み】
 - コア装置等の所内設置機器点検
 - RU 等の所外設置機器点検
 - ⇒ ローカル 5G システム構築中のため一部のみ実施済み。ソフトウェア更新作業、再起動等の運用作業は実施済み
- 保守運用体制の確認【一部実施済み】
 - ネットワーク故障時の受付/切り分け/復旧作業の流れ
 - ⇒ ローカル 5G システム構築中のため一部のみ実施済み。構築中に電源ケーブル故障対応等の運用作業は実施済み。
- ロボットトラクター等の運用【実施済み】
 - 走行記録
 - 保管、運送、移動、メンテナンス、給油
 - 稼働・コスト実績の把握
 - ⇒ 各種実証作業の際に運送・移動・保管の手配を実施済み。実証を通じて慣行トラクターと大きな差異が無いことを確認
 - ⇒ GeoMation（監視制御アプリ）からの走行記録を出力、録画装置からの走行映像をビッグデータ収集する仕組みを構築。
- 遠隔監視サービスの運用体制（現地対応者）（遠隔対応者）【一部実施済み】
 - 遠隔対応者・現地対応者の作業
 - トラクター操作の教育
 - 同時監視可能なトラクター台数の確認
 - 監視制御 PC 等の操作習熟（トラクター操作までは不要）
 - 監視体制（体制、夜間対応）
 - 監視と現地との連携内容・稼働量把握
 - 安全対策
 - 人材確保（トラクター操作経験者、ICT スキル者）
 - ⇒ ロボットトラクター等の講習会にて運用者の育成を実施し現地作業のマニュアルを作成・共有。遠隔監視システムについてもマニュアルを整備しナレッジ共有化を実施。
 - ⇒ 1名で4台程度の監視は可能であるが、監視体制としては、人間の疲労や休憩時間も考慮し、2名8台の共同監視制御の規模感が現実的と考える（夜間も同様）。今後は、AI 画像認識等による監視支援を活用することで、作業者の負担は大きく軽減可能と考えられる。
 - ⇒ 現地対応者は、①外周部分の走行（マップ作成兼ねる）、②自動運転の設定、③自分自身の別圃場への移動、④ロボトラの圃場間移動、⑤エラー等が発生した場合の現地確認が作業内容となることを確認。
 - ⇒ 遠隔対応者はロボットトラクターが公道走行する時のみ、大型特殊免許を有する人材であることが道路交通法として求められる状況である。今回の実証では、交差点横断や信号横断など乗用車と同等の自動運転までは実施できていない。

4.6.2 エー2：農業領域（ビッグデータ収集）

(1) データ収集システムの運用

- 気象システムの運用
 - ◇ 今回利用した気象データは、岩見沢市に特化した気象データです。他地域への展開には、他地域に特化した同様の気象データが必要です。また、他地域の気象データの仕様が、今回利用したデータの仕様と一致する必要があることが課題です。
- 営農システムの運用
 - ◇ 日本全国的に展開されているサービスであるため、他地域においても本実証と同様の利用方法を適用することが出来ます。しかし、現在のデータ収集の運用方法では手動によるダウンロード、アップロードが必要であるため、人為的なミスが発生する可能性があります。完全自動化できるような仕組みを検討することが課題です。
- 土壌水分システムの運用
 - ◇ 土壌水分センサー、テンシオメーターの設置、撤去については生産者の協力が必要不可欠であります。また設置時期、箇所について協議の必要があることが課題です。
- 映像記録装置の運用
 - ◇ 映像収集媒体として汎用カメラを利用しているため、インターフェース部の防水、防塵、暑さ寒さ対策が課題です。また、エンジン点火後に手動でカメラ電源を入れており、この作業を自動化することが課題です。映像記録装置として汎用のレコーダーを利用しており、レコーダーへは自動で録画され、レコーダーより手動でPCにデータを格納しております。レコーダーからPCへのデータ格納を自動化することが課題です。
- ビッグデータ収集サーバーの運用
 - ◇ ビッグデータ収集サーバーとしてAWSのS3上に各種データを收容しています。将来的にスケジュール最適化を自動で行うために、收容した各種データ同士を紐づけられるようにデータベース化することが課題です。

(2) スケジュール最適化調整の評価

- 各農家のスケジュール収集
 - ◇ 各農家の作付け計画を毎年3月、4月に記録・投入いただくことにより本実証のスケジュールの最適化が行えます。各農家による農作業履歴システムへの計画の投入の協力が必要であり、また、リアルタイム性を求める場合には、農作業終了後に毎回記録を投入していただく必要があります。各農家にシステムへの投入の協力をいただけるようリレーションの構築が課題です。

- 最適スケジュールの提示
 - ◇ 最適スケジュールの提示にあたって、本実証で用いたものはプログラムされたものではなく、自動的に作成されたものではありません。最適化スケジュールを利用する農家が増えるほどに、農作業スケジュールの最適化に稼働が発生するため、自動化することが課題です。農作業スケジュール最適化の自動化にあたっては、データ収集サーバーのデータベース化もあわせて行われる必要があります。

- スケジュール調整依頼・確認
 - 季節上の都合から、最適化されたスケジュールを農家に提示し実際に農作業の調整を依頼することは出来ませんでした。想定される課題としては、農家毎に農作業への習熟度、農作業への拘りが異なることからスケジュール調整を承諾していただけるかが定まっていないため、地域の農家全体を巻き込んだ農作業効率化を行うためには、農家への協力要請が課題です。

4.6.3 エー3：生活領域（排水路監視等）

排水路監視システムの運用面について、現状の水路監視業務との比較、機能面の満足度について評価・考察を行った結果を下記に示します。

(1) 現状の水路監視業務

現状の水路監視業務について、岩見沢市からヒアリングした内容を下記に示します。

- ・ 現在のパトロール業務の概要としては、1日2時間10回、夜中は委託業者で行っている。
- ・ 水路に積もった雪は、雪解け時期になるとトンネル状になり、崩落による排水路詰まりのリスクが高くなるため、雪割りという作業を実施している。
- ・ 雪割作業は、パワーショベル等の建機を使用するが、積雪が解けすぎていると作業効率が悪化するため、なるべく硬いうちに作業できるよう配慮して実施している。



図 4.6.1 降雪水路の確認

- ・ 現在の緊急時連絡先は、岩見沢市農政部、総務部防災対策室、総務部市民連携室、建設部土木課、消防本部、岩見沢公共施設維持管理事業協同組合、北海土地改良区岩見沢事業所、建設事業者等。

(2) 現状の業務との比較

岩見沢市にヒアリングした、現状業務と比較した排水路監視システムへのコメントを下記に示します。

- ・ パトロール自体の効率化はそれほど大きくないと思われるが、夜間のパトロール回数を削減する等の部分的な効率化は考えられる。
- ・ 現在の緊急時連絡は、段階を分けて実施しているが、排水路監視システムのアラート機能でも、グループを分けた発報が可能であり、発報日時と確認応答の履歴が記録されることはメリットと思われる。
- ・ 現状は、排水機場の水位情報と、パトロールによる確認で水路の状態を確認していたが、

パトロール監視では、測定間隔が長いことと、降雪、直近の排水路監視システムでは、同じ水路の上流と下流の水位差を可視化して、遠隔からグラフで常に確認できることが大きなポイントで、2か所の水位差のトレンドを確認することで、排水路詰まり等の溢水リスクを早期に発見することができる。

- ・ 同じ水路に加えて、異なる水路のトレンドもあわせて確認することで、他水路への影響や、全体的な水位上昇の予測が可能になる。
- ・ 雪割の実施について、現状は降雪量や気温の推移等を見ながら想定で実施時期を決めているが、水路の水位トレンドが確認できることで、より効率的な雪割時期の推定ができると思われる。

(3) 機能への満足度（アンケート）

排水路監視システムの各機能について、岩見沢市へアンケートを実施し、満足度、および期待されるメリットについて確認を行った結果を下記に示します。

① 水位監視機能

表 4.6.1 水位監視機能アンケート結果
回答者数 6名 択一式（良い・とても良い）の評価率：100%

選択肢	回答数
とても良い	5
良い	1
普通	0
やや悪い	0
非常に悪い	0

自由回答コメント

- ・ 水位計の監視拠点を増やした場合の全体トレンドグラフの視認性の向上が課題と思われる。

② 画像監視機能

表 4.6.2 画像監視機能アンケート結果
回答者数 6名 択一式（良い・とても良い）の評価率：100%

選択肢	回答数
とても良い	5
良い	1
普通	0
やや悪い	0
非常に悪い	0

③ アラートメール機能

表 4.6.3 アラートメール機能アンケート結果
回答者数 6名 択一式 (良い・とても良い) の評価率：100%

選択肢	回答数
とても良い	4
良い	2
普通	0
やや悪い	0
非常に悪い	0

④ システム導入メリット

表 4.6.4 システム導入メリットアンケート結果
回答者数 6名 複数回答可

選択肢	回答数
水位上昇リスクの早期発見	6
避難指示・初動対応の迅速化	5
巡回パトロールのリスク低減	4
巡回パトロールの効率化	4
情報伝達の迅速化	5
情報伝達の確認証跡管理	3
その他	0

他自由回答コメント

- ・全体監視画面で地図の縮尺を変えられるようにできないか。
- ・スマートフォンに適した構成の画面も用意してほしい。

(4) 運用における課題

排水路監視システムの運用面の課題としては、まず監視拠点の電源面が挙げられます。本実証では冬期間より運用開始していますが、ソーラーパネルへの積雪により電圧低下が発生し、監視の停止が複数回発生しました。冬季以外の荒天時にも同様の事象が考えられるため、商用電源が用意できない拠点については、より大容量のバッテリーを搭載する必要があると考えられます。

また、排水機場のカメラ設備については、降雪時に夜間のライト反射による視認性低下や、カメラレンズ部分への着雪による監視不可状況も発生していたため、ヒーター、ワイパー付きハウジングへ格納する等の対策検討が必要になると考えられます。

システム構成物品の維持管理としては、ソーラーパネル、バッテリー等の定期更新部分の更新対応や、水位センサー値の定期的な更正、センサー部分の定期的な更新、カメラ画角の定期的な確認が必要になると考えられます。

設定内容の維持管理としては、発報先の定期的な更新と、各水位の上限・下限アラート閾値の見直し、防災訓練等でのアラート機能の動作確認が必要と考えられます。

保存データの維持管理としては、今回のシステムではトレンドグラフ 20 年分、カメラ画

像 10 年分の保存が可能な仕様となっていますが、監視拠点の増加等に伴って総保存期間の確認、定期的な保存データの移動、バックアップが必要と考えられます。

(5) 今後の運用への在り方への考察

水位トレンド比較による溢水時期等の予測について、現状は水位データのみで実施していますが、日照度や気温、風速等の気象条件の推移も確認することで、更に高度な推測ができると考えられます。また、トレンドによる推測は、経験を積んだ担当者が実施する想定ですが、今後、測定値の推移と水路詰まり、溢水等の実際に発生したイベントを記録し、関係性を蓄積することで、AI による判断支援等も可能になると考えられます。

4.6.4 エー4：生活領域（健康管理等）

装着性自体の評価は、生活活動に支障が発生する意見が約半数ありました。その理由は、スマートフォン使用および接続機器設定に起因する理由で困難を感じることに集中しています。

屋外、特に範囲が広い圃場環境を想定して利用できる市販のウェアラブル・見守りシステムはほぼスマートフォン連携が前提であることから、現状では本検証と同様の課題は存在すると考えられます。広く住民利用を拡大し効果を創出していくためには、運用における設定のサポート、フォローが重要課題となります。

管理面でも、持続的な地域の見守りをするために該当サービスの管理機能のみを使用するか、特定の地域システムと連携させるのかにより大きく変化することから、運用サポートとあわせてランニング費用を検討する必要があります。

表 4.6.5 市販のウェアラブル健康管理システム（公開情報のみ）

	A社	B社	C社	D社
機器	リストバンド +スマートフォン	リストバンド +専用通信装置	リストバンド	ウェア +スマートフォン
基本機能	運動量、転倒	脈拍、活動量	心拍、皮膚温度、転倒	心拍、暑熱、転倒、体調、ストレス
独自機能	自動救急通報機能	業務システム連携用API	-	利用者同士のアラート通知可能
その他	別サービス利用前提	-	LoRaWAN前提	-

◆アンケート状況

- ・ 装着性の評価（ウェアラブル機器（スマートウェア、トランスミッター）の農作業、生活活動等への支障有無）

装着性自体の評価は、ウェアラブル機器の装着・操作において、生活活動に支障が発生する意見が半数程度あり（3/5名）、自身の携帯電話とスマートフォンの複数台携帯やスマートウェア自体の着心地が主な理由でした。

表 4.6.6 アンケート結果（通常）

【通常的生活活動時】	
スマートウェア、トランスミッター、スマートフォンの装着状態は、生活稼働に支障を感じましたか。	
全く感じない	0
あまり感じない	2
どちらでもない	0
少し感じる	1
かなり感じる	2

表 4.6.7 アンケート結果（作業時）

【農作業、除雪等の作業時】	
スマートウェア、トランスミッター、スマートフォンの装着状態は、生活稼働に支障を感じましたか。	
全く感じない	0
あまり感じない	2
どちらでもない	0
少し感じる	2
かなり感じる	1

- ・現在、夜間の仕事で警報を受けるためガラケーで対応しているが、さらにスマホを持つことは作業等支障となることが多い
- ・スマートウェアは一日装着は無理（苦しい、金具周辺のかゆみと肌荒れ）。現在アップルウォッチを使用し健康管理をしているが、腕に着ける様な方法は考えられないか？
- ・身体を締め付けられる
- ・特に違和感なし（2名）

ウェアラブル機器自体の評価では、スマートフォンおよび接続機器の設定や機能操作に困難を感じる意見がありました（3/5名）。

表 4.6.8 アンケート結果（ウェアラブル機器）

トランスミッター、スマートフォンの日々の装着、充電等の使い勝手はいかがでしたか。	
良い	0
普通	2
やや悪い	0
非常に悪い	3
わからない	0

- ・トランスミッターは独自に転送装置があるとスマホを持たなくてよい。
- ・機器に疎いものにとって困難がある。装着時に設定が解除され機能せず、他のものが何とか設定することを3回繰り返した。電池が持たない。
- ・トランスミッターのランプ点灯が確認しにくい。

表 4.6.9 アンケート結果（アプリ使い勝手）

スマートフォンのアプリ機能（アラート通知、状態表示、グラフ、通知履歴）の使い勝手はいかがでしたか。	
良い	1
普通	2
やや悪い	0
非常に悪い	0
わからない	2

- ・スマホを持つ場合は、若い人なら良いかもしれないが、高齢者は他のアプリは必要ないと思うとともに操作できない人が多いと思う。アプリ機能の使い勝手はよく理解できない。
- ・自分では普通の状態での警告であり、そのことよっての通知であることからどの様に理解すべきかわからない。
- ・アラート通知が出すぎるきらいがあり、その調整がなかなか難しい。装着ユーザ側での調整は難しく感じる。

表 4.6.10 アンケート結果（着心地等）

スマートウェアの着ごち、洗濯等についてはいかがでしたか。	
良い	0
普通	3
やや悪い	2
非常に悪い	0
わからない	0

- ・ウェアの着心地はビニールを装着しているようで、身体の温度上下が多く着るものに苦慮する。洗濯は面倒であるが特に苦痛ではない。大きさMを着ているが長すぎる。
- ・着心地は良くない

4.7 まとめ

課題解決システムの実証目標、実証結果について下記に示します。

4.7.1 農業領域（自動走行トラクター遠隔監視制御）

(1) 実証目標

- ・ 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) 実証結果

① 全体

- ・ 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

② 作業改善効果

- ・ 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

③ 遠隔制御による安全性・有効性確認

- ・ 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

④ 撮影機能

- ・ 夜間走行時のカメラナイトモードの有効性を確認

⑤ 伝送遅延時間

- ・ 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

⑥ 同時複数台の遠隔監視制御

- ・ 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

⑦ 自動走行トラクターの運用

- ・ 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

4.7.2 農業領域（ビッグデータ収集）

(1) 実証目標

- ・ 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

(2) 実証結果

① 全体

- ・ 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

② スケジュール最適化

- ・ 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

③ 土壌環境データ取得、伝送

- ・ 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

④ データ収集

- ・ 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

⑤ 運用面での課題

- ・ 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

4.7.3 生活領域（排水路監視）

(1) 実証目標

- ・ 水路監視に伴う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

(2) 実証結果

① 全体

- ・ 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

② 初動対応の迅速化

- ・ 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

③ 遠隔からの広域水位状況把握

- ・ 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

④ 水路監視機能

- ・ 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

⑤ 運用面での課題

- ・ 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

4.7.4 生活領域（健康管理等）

(1) 実証目標

- ・ 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と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

(2) 実証結果

① 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

② 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

③ 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

④ 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

5. ローカル 5G 技術実証

5.1 前提条件

本章ではローカル 5G に関する技術的課題について検証した内容を報告します。

課題解決システムの実装及び実証地域以外の地域での利用においても有益な成果が得られるように、現地での性能測定では複数のトラクターを同一圃場内で運用した場合を想定して測定しました。また、圃場の近くには倉庫や家屋等の建物が設置されていることもあると想定し家屋による遮蔽の影響も測定しました。

キャリア 5G との干渉による影響については、2020 年 12 月のローカル 5G ガイドラインの改定により、TDD パターン同期及び準同期では干渉調整を省略可能となりました。ただし、本実証の課題解決システムである農機の自動運転は全ての圃場をくまなくローカル 5G でカバーできるとは限らず、場合によってはキャリア 5G や LTE、地域 BWA 等を組み合わせることも考えられます。その場合にはローカル 5G とキャリア 5G の各端末を農機に近接状態で設置する可能性もあるため、本実証での測定データにより影響を正確に測定することが重要であると考えました。

加えて、広大な圃場をカバーするためには指向性が弱い Sub6 帯が向いていると考えます。Sub6 帯で屋外での利用が認められているのは 4.8GHz-4.9GHz に限られています。ローカル 5G システム内でひとつの周波数帯を利用すると、基地局間で干渉を起こす可能性があります。本実証以外の地域でも Sub6 帯で運用しようとする場合は同じ問題が起り得るため、本実証での測定内容は横展開地域への助言・注意喚起として有用だと考えます。

また、本実証のために使用した機器については以下の項目を考慮し選定しました。

ア ITU 及び 3GPP における 5G の標準化に関する検討として Release15 で策定されたスタンドアローン (SA) 構成の仕様を満たした製品を選定しました。

イ 本実証フィールドでの実証にあたって、既存の無線システムとして公共業務用固定局及び 5GHz 帯無線アクセスシステムに対して影響を与えないか、免許申請時に干渉検討を行いました。3.1 ネットワーク構成 に記載の通り、スモールセルのローカル 5G 機器を選定することにより既存無線システムへの影響を軽微なものに抑えられると考えました。

ウ 測定器類、測定環境等の準備については、本コンソーシアムにて手配をしました。測定器についてはローカル 5G 周波数帯に対応している機器を選定しました。測定環境としては本実証にご協力いただいている農業従事者の方々やカバーエリアの土地所有者の方々のご協力のもと適切なポイントで測定を行いました。

現地での性能測定については、課題実証における農機の自動運転の実現において求められる性能を目標と設定し、現段階の機器でどの程度達成できたかについて、測定結果を踏まえて考察致します。具体的な目標値については 5-3 にて詳細を記載します。

技術実証における環境は課題実証にて用いた環境と同じものを利用しました。

ユースケースに基づいた性能評価については、課題実証システムにも影響するため、映像伝送システムも利用し測定を行いました。映像伝送システムはトラクター等農機に取り付けた高精細カメラの映像をローカル 5G によって遠隔監視センターまで伝送します。高精細カメラは 4K 対応 30fps で運用した場合、1 台あたり 25Mbps のスループットを必要としま

す。トラクター等農機1台に対して前後2台の高精細カメラを取り付けるため、合計50Mbpsのスループットが必要です。また、遠隔監視センターでは飛び出し等の発生の際には緊急停止の操作を行います。速やかに緊急停止を行うためにはエンコーダー・デコーダーの処理遅延も含めて400msec以内に伝送する必要があります。そのため、ユースケースに基づく性能評価としては、スループット（上り）50Mbps、遅延値400msec以内としました。ただし、5-4 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等及び5-5 その他ローカル5Gに関する技術実証ではキャリア5Gやローカル5G基地局の干渉影響を考察するために課題実証システムを省略しました。測定方法については、各項目にて記載しています。

なお、測定及び考察にあたっては総務省で定められているエリア算出法を参考にしています。

5.1.1 ローカル5Gシステム概要

本実証で使用したローカル5Gシステム概要は以下のとおりです。

表 5.1.1 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
スタンドアローン(SA)/ノンスタンドアローン(NSA)構成	スタンドアローン構成

ネットワーク構成は以下のとおりです。

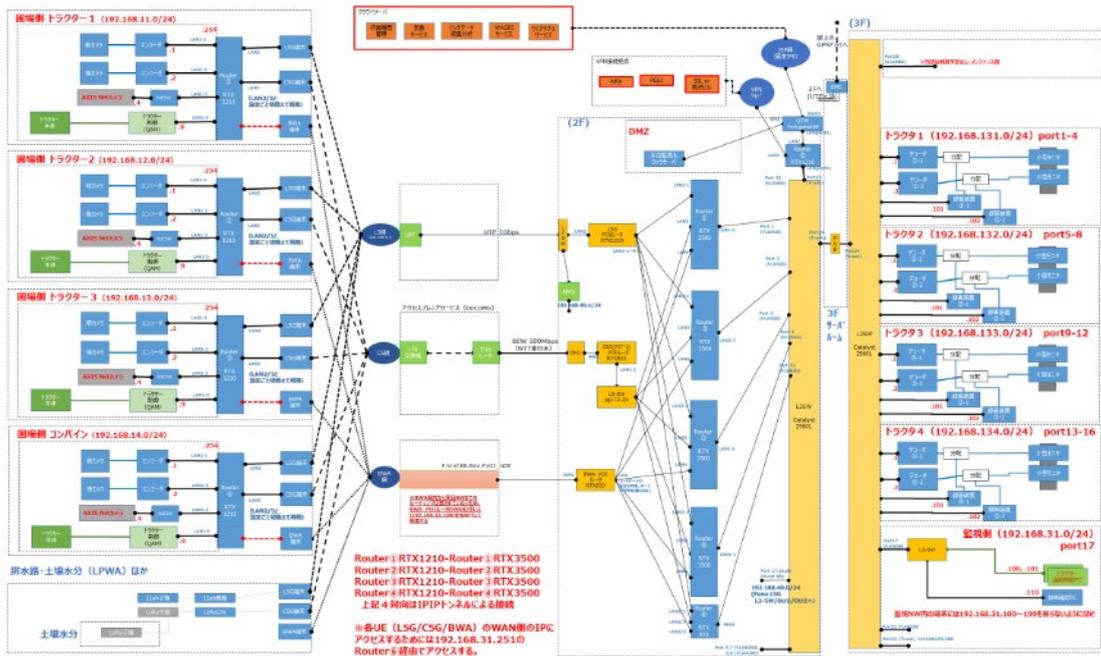


図 5.1.1 ローカル5G ネットワーク構成概要

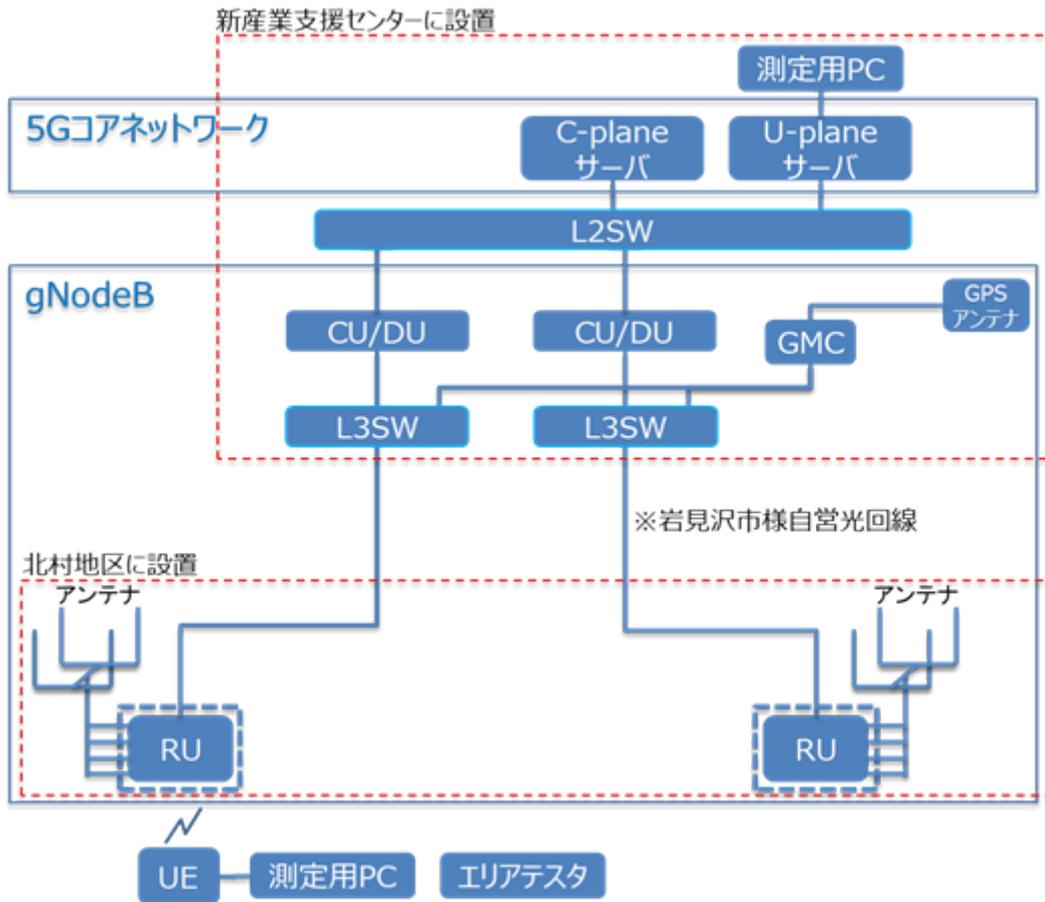


図 5.1.2 ローカル5G ネットワーク構成概要

基地局の設置構成は以下のとおりです。本実証用に 15m のコンクリート柱を建柱しました。圃場 A 側は 2.8m 分、圃場 C 側は 2.7m 分埋めて、コンクリート柱上部に別途ローカル 5G アンテナ取り付け金具を設置し、各基地局のアンテナ高としては地上 15m を確保しました。RU への電源供給のため、商用電源の引き込みも行いました。

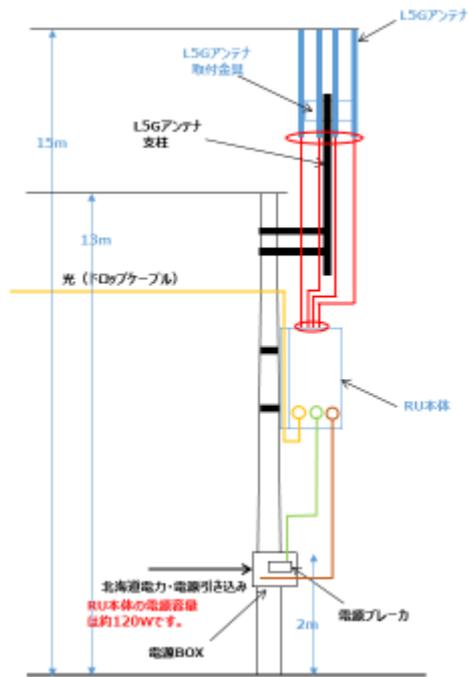


図 5.1.3 ローカル 5G 基地局施工イメージ

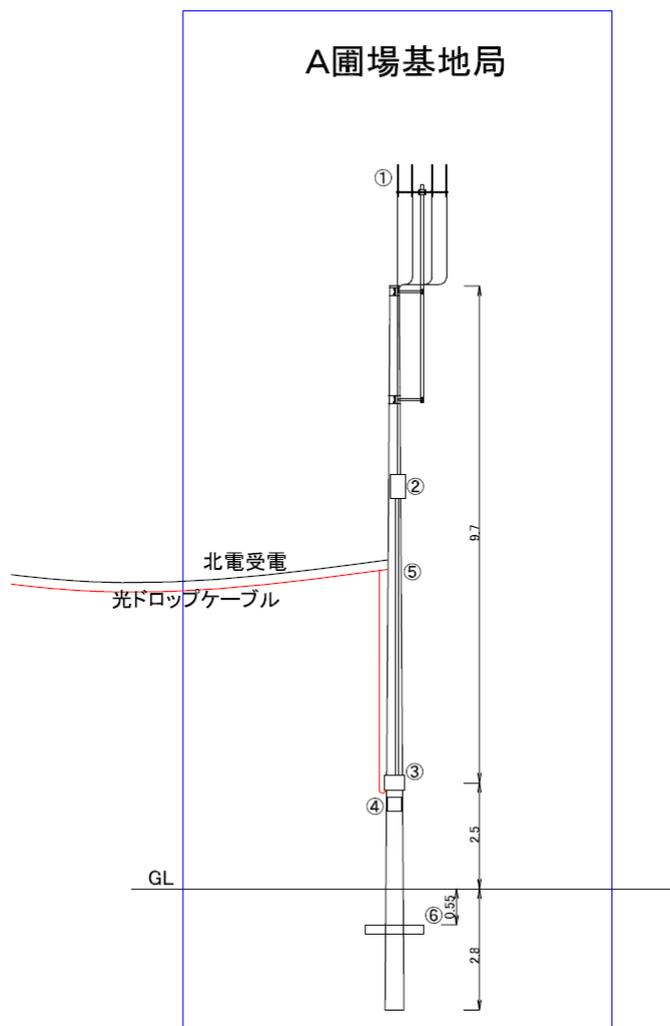


図 5.1.4 圃場 A 基地局施工概要

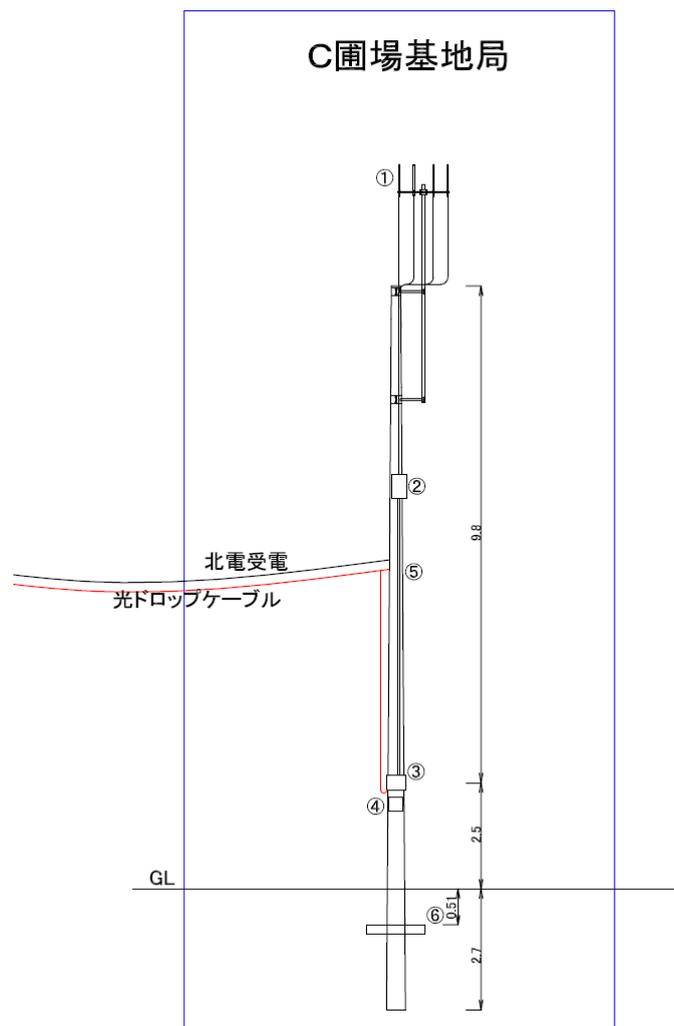


図 5.1.5 圃場 C 基地局施工概要



図 5.1.6 ローカル 5G 基地局設置工事



図 5.1.7 圃場 A ローカル 5G 基地局



図 5.1.8 圃場 C ローカル 5G 基地局

本実証で使用した基地局の諸元表は以下のとおりです。

表 5.1.2 基地局諸元表

項目		仕様	備考
RU	周波数	4.8-4.9GHz	
	空中線電力	4 x 250mW @ antenna port	
	送受信帯域	100MHz	
	レイヤ数	DL : 2レイヤ UL : 1レイヤ	本試験でのレイヤ数
	バックホールインターフェース	10G SFP+	
アンテナ	アンテナ形式	コーリニア型アンテナ	
	アンテナ利得	8dBi	
	垂直面半値角	約8°	
	ビームチルト角	下向き3°	
	指向性	水平 : 無指向 垂直 : 図??参照	

本実証で用いた基地局・アンテナは垂直指向性減衰があり、基地局の至近距離では受信電力が弱くなります。アンテナパターンについては以下の図のとおりです。

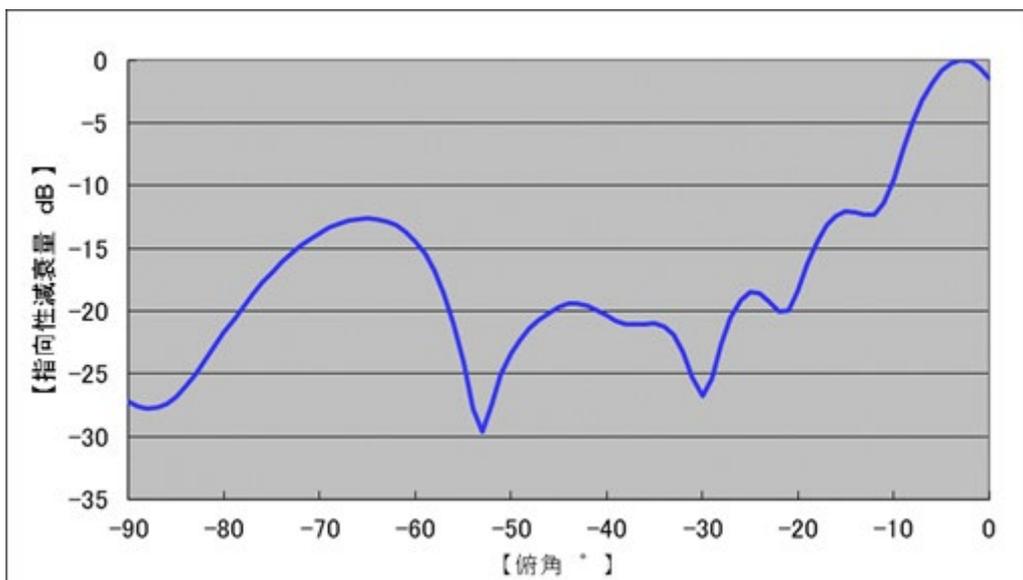


図 5.1.9 基地局アンテナ 垂直指向性

ローカル 5G 端末は以下のとおり、測定ポイントに三脚を建てて高度を確保し測定しました。



図 5.1.10 ローカル 5G 端末

ローカル 5G 端末の諸元表は以下のとおりです。

表 5.1.3 ローカル 5G 端末諸元表

項目		仕様	備考
周波数		4.8-4.9GHz	本試験での周波数
空中線電力		200mW (23dBm) max	
送受信帯域		100MHz	
レイヤ数		DL : 2レイヤ UL : 1レイヤ	本試験でのレイヤ数
外部 インターフェイス	Ethernet	5G/2.5G/1G/100Mbps x1	
	USB	3.0 x1 (Type-C)	
	USIM	nanoSIM	
アンテナ利得		Max:3dBi Typical:0dBi	

また、測定に際しては、電波強度測定器として PCTEL 社の Hbflex を使用しました。仕様は以下のとおりです。

5G Solution & Features



Designed for full performance during in-building walk tests and outdoor drive testing

Multi-Band

- 3GPP FR1 Bands, IBflex and HBflex (10MHz—6GHz)
- 3GPP FR2 Bands, HBflex (24GHz—40GHz)
- All existing 2G, 3G, and 4G bands

Multi-Technology

- 5G NR
- LTE FDD
- TD-LTE
- NB-IoT
- UTMS
- GSM
- CDMA
- EV-DO
- TD-SCDMA
- Wi-Fi
- LAA
- P25

Multi-Application

- Spectrum Clearing
- Interference Management
- Baseline Testing
- Integration Testing
- Optimization Testing
- Operational Troubleshooting

図 5.1.11 ローカル 5G 機器仕様

5G NR Specifications

5G New Radio (NR)		
Measurement Modes		NR TopN Signal : Synchronization channels (P-SS/S-SS) & PBCH
Data Modes		PCI, PSS_RP [dBm], SSS_RP [dBm], PSS_RQ [dB], SSS_RQ [dB], SS_CINR [dB], SSS_CINR [dB], RSPBCH_RP [dBm], RSPBCH_RQ [dB], RSPBCH_CINR [dB], SSB_RP [dBm], SSB_RQ [dB], SSB_CINR [dB], SSB_idx
Sub Carrier Spacing		15/30/120/240 KHz
Max. Number of Channels		24
Measurement Rates:		30/sec (sub-6 GHz), 15/sec (mmWave)
Dynamic Range (CINR):		PSS/SSS CINR: -10 to + 40 dB PBCH DMRS CINR: -8 to + 40 dB
Min. Detection Level:	RP	-135 dBm (SCS @15 KHz)
Relative Accuracy (CINR):	SS/SSS CINR	±2 dB
POWER MEASUREMENTS		
Measurement Rate (Maximum)	5G NR	11,050 ch/sec
Dynamic Range		-120 to -20 dBm @ 30 kHz
Absolute Accuracy		±1 dB (across Basic RF Input Power Range)
Channel Bandwidths		5 kHz to 20 MHz in 2. 5 kHz Increments
Measurement Rate		1,000 MHz/sec @ 5 MHz (Typical)
Absolute Accuracy		±1 dB (across Basic RF Input Power Range)
Measurement Range		>90 dB
Measurement Rate (Single Sweep)		>270 MHz/sec
Accuracy		±1 dB (across Basic RF Input Power Range)

図 5.1.12 ローカル 5G 機器仕様

SeeGull HBflex Specifications

PHYSICAL	
Maximum Power (+9 to +17 VDC)	25W MAX
Size	10.10" D x 6.50" W x 4.40" H (255.3 mm D x 165.1mm W x 111.5mmH)
Weight	7.26 lbs (3.3kg)
Temperature Range	Operating: 0 °C to +50 °C; Storage: - 30 °C to +80°C
Host Data Communications Interface	USB 2.0, High Speed; Bluetooth
Data Storage	SD (32 GB)
Antenna Ports	RF(sub 6GHz, Bluetooth) : SMA Female (50 Ω); GPS: Male (50 Ω) SMB, RF (mmWave): 2.92mm Female
Safety (CE)	IEC 62368-1
EMC	EN 301 489 -1
Shock and Vibration	MIL-STD-810G, SAE J1455
RoHS	Compliant (6/6)
RF CHARACTERISTICS	
Frequency Range	Sub 6Ghz - 10MHz - 6GHz mmWave : N257 (26.5-29.5GHz), N258 (24.25-27.5GHz), N260 (37-40GHz)
Internally Generated Spurious Response	-105 dBm (Typical)
Conducted Local Oscillator	- 55dBm (Typical).
RF Operating Range:	In-Band - 20 dBm Max.
Desensitization:	Adjacent Channel >50 dB (20MHz RBW)
Safe RF Input Range	≤ +0 dBm
Frequency Accuracy	±0.05 ppm (GPS Locked); ± 0.1 ppm (GPS Unlocked)
Intermodulation-free Dynamic Range	2 tone @ -30 dBm, 40 GHz, -50 dBc (Typical),

図 5.1.13 ローカル 5G 機器仕様

測定の際はエリアテスターの外付けアンテナをプラスチック製のポールに取り付け、ローカル 5G 端末と同じ高さで測定を行いました。



図 5.1.14 エリアテスター設置風景

表 5.1.4 エリアテスター諸元表

項目	仕様	備考
測定データ	PSS-RSRP、SSS-RSRP、SSS-RSRQ、PSS-RSRP、SS-CINR、SSS-CINR	本試験での測定データ
サブキャリア間隔 (SCS)	30kHz	本試験での設定
最大チャネル数	24	
ダイナミックレンジ (CINR)	PSS/SSS : -10~40dB	
アンテナ利得	Max:3dBi Typical:0dBi	ケーブル損失含む

また、このエリアテスターで測定ポイントの位置測位も行いました。GPS 精度は以下のとおりです。

水平位置精度 (Horizontal position accuracy) : 2.5 m (SBAS 使用時 : 2.0 m)

方位精度 (Heading accuracy) : 0.5 度

5.2 実証目標

本実証において、技術的課題として以下の3点を設定しました。

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

②キャリア 5G とローカル 5G の干渉による性能低下

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

①に関しては、ローカル 5G の通信特性（通信距離、スループット、遅延）を明らかにし、今回のフィールドで実証したスマート農業の推進に資する利用が可能であることを確認します。また、本実証で用いた周波数（4.8-4.9GHz）は採択を受けた 2020 年 7 月時点で制度化検討中の周波数帯であり、制度化を見据えたうえでの開発であったため、機能については技術的制約及び時間的制約がありました。そのため、今後のさらなる製品開発による機能性の向上は期待の余地があると考えます。

次に、遮蔽物による性能低下に関しては、特に課題実証における他のトラクターが遮蔽物となってしまう事象について、ユースケースに基づき検証を行うものです。スマート農業による効率的な農作業の実現のためには複数農機の作業が求められるところであり、農機が遮蔽物となる場合の注意点に関しても考察としてまとめていきたいと考えます。具体的には本実証で遮蔽物の種類や設置位置毎にどの程度性能が低下するのか測定します。測定結果をもとに、遮蔽物を避けた基地局の設計や運用面でのカバー方法についても考察をまとめます。

②に関しては、2020 年 12 月にまとめられたローカル 5G ガイドライン第 2 版で、TDD パターン同期・準同期の場合に限り、事前の干渉調整を省略可能となりました。このガイドラインの改定のとおり、同期・準同期運用ではキャリア 5G、ローカル 5G 相互への影響は軽微なものであると考えられます。ただし、本実証においてはキャリア 5G とローカル 5G のカバレッジが隣接している環境であり、双方の端末と基地局の位置によっては影響が強く表れることが予想されました。また、課題実証における農機の自動運転の社会実装のためにはローカル 5G 以外の無線ネットワークが整備されている環境が望ましく、その他の無線ネットワークの中でも最も干渉影響が懸念されたキャリア 5G との干渉影響を測定することで、社会実装に向けた無線環境整備に関する考察をまとめます。

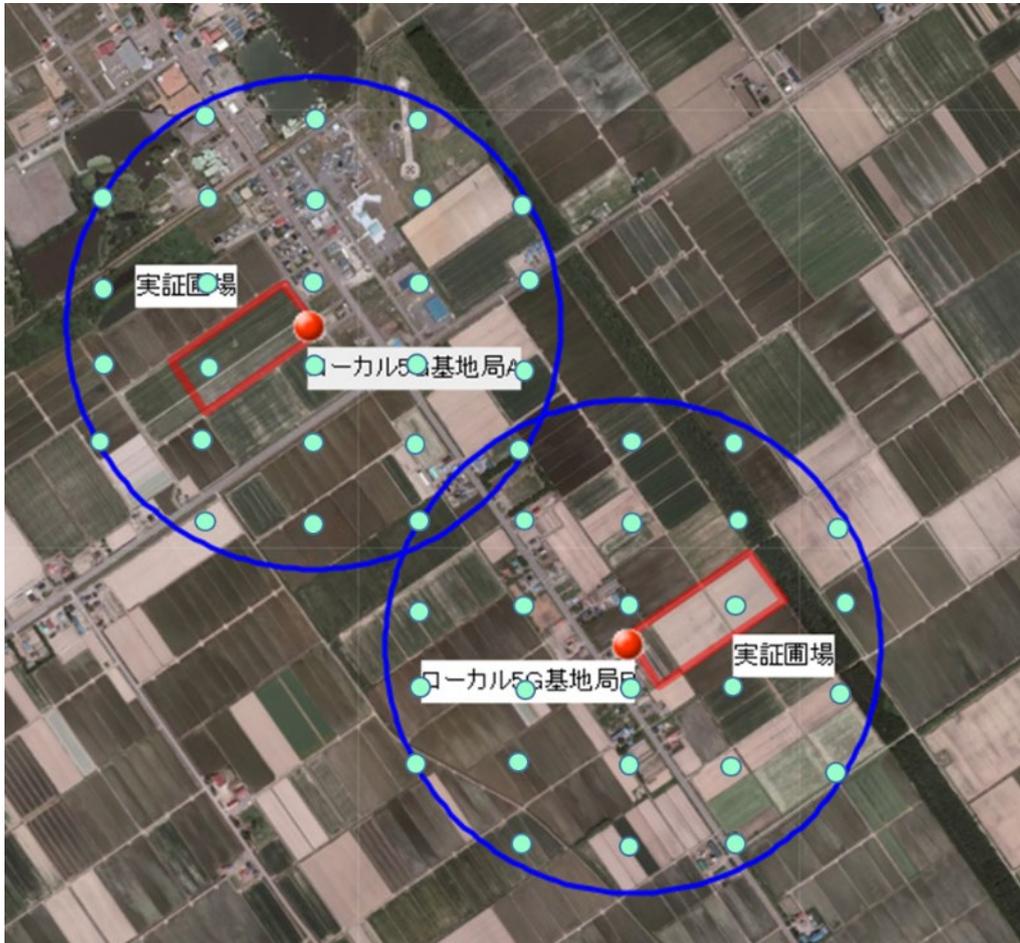
さらに、ローカル 5G を準同期で運用した場合のスループットの向上についても考察を行いました。Sub6 帯の屋外利用は 4.8-4.9GHz 帯の 100MHz 幅に限られるため、上り下り合計のスループット値の上限は 1Gbps 程度と考えられます。本実証の測定結果により、準同期運用ではユースケースの実現に不十分となった場合には、非同期運用の必要性についても考察します。

③に関しては、使用する周波数を複数持っているキャリア 5G と異なり、同一システムで同一周波数帯を使用するローカル 5G 独自の課題であると考えます。ローカル 5G ガイドライン第 2 版でも、Sub6 帯で屋外利用が可能な周波数は 4.8-4.9GHz に限られることとなったため、本課題については今後横展開する地域でも発生すると考えられます。干渉エリアの電波性能を測定し、運用面でのカバー方法及び技術的改善策について考察・提言します。

技術実証ア～ウの具体的な実施内容は以下のとおりです。なお、具体的な測定方法については事項以降にて記載いたします。

ア. ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価

基地局から半径 500m 以内にある 20 箇所程度の測定地点におけるローカル 5G の受信電力の強度、伝送スループットや伝送遅延時間の測定を行いました。



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

図 5.2.1 ローカル 5G 測定地点イメージ

測定用 PC およびエリアテスターを利用し、各測定箇所まで移動し測定しました。

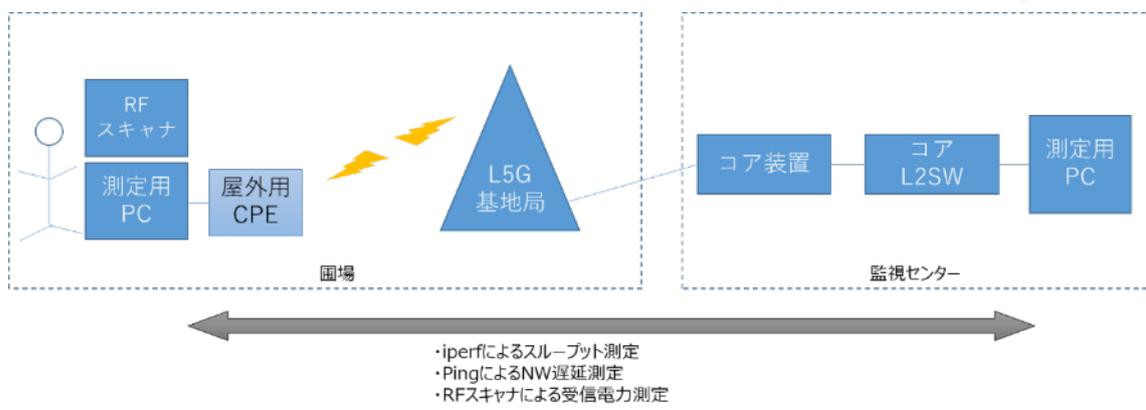


図 5.2.2 測定方法イメージ

ローカル 5G エリア内の各遮蔽物による影響測定は以下のとおり行いました。下記 3 パ

ターンの測定ではローカル 5G 端末を測定トラクターの上部に設置した場合と、トラクター内部に設置した場合でも測定を行い比較しました。

表 5.2.1 試験構成パターン

パターン	概要	試験構成イメージ
1	遮蔽物なし	
2	遮蔽物あり 見通し内に他トラクター	
3	遮蔽物あり 家屋、防風林等	



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

図 5.2.3 試験位置イメージ

イ. ローカル 5G のエリア構築やシステム構成の検証等

キャリア 5G 基地局とローカル 5G 基地局が同期、準同期の場合それぞれにおいて、キャリア 5G 端末、ローカル 5G 端末の位置を変えることで受信電波強度の変更しつつ、相反す

る方向の通信（キャリア 5G で下り通信、ローカル 5G で上り通信）を発生させた場合の各端末側での受信電力、伝送スループット、伝送遅延時間の測定結果をもとに考察します。

測定ポイントは現地において必要な条件かつ実行可能な複数の箇所で行いました。

同期、準同期ともにローカル 5G システムは 1RU のみ送信した状態（片方は停波）で実施しました。

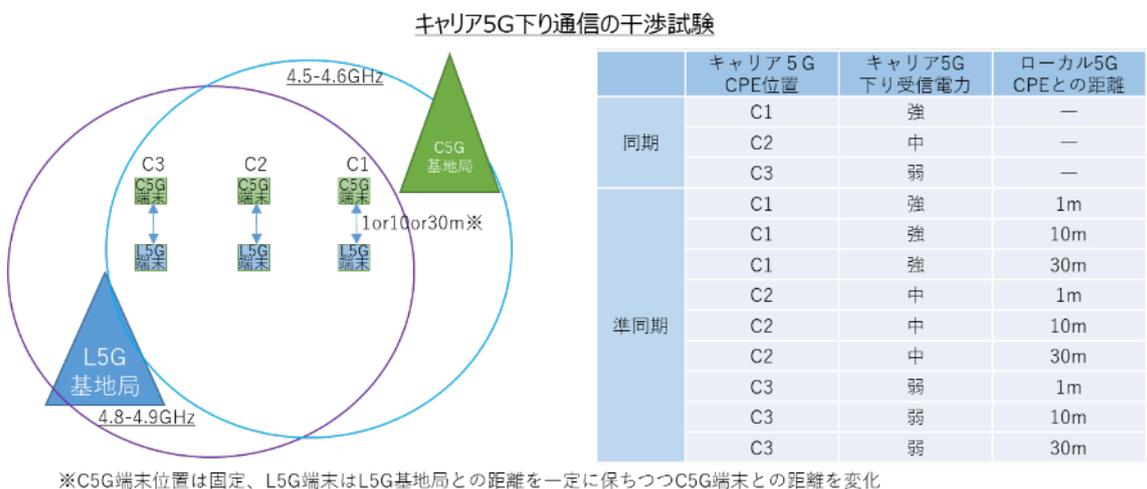


図 5.2.4 キャリア 5G 被干渉試験イメージ

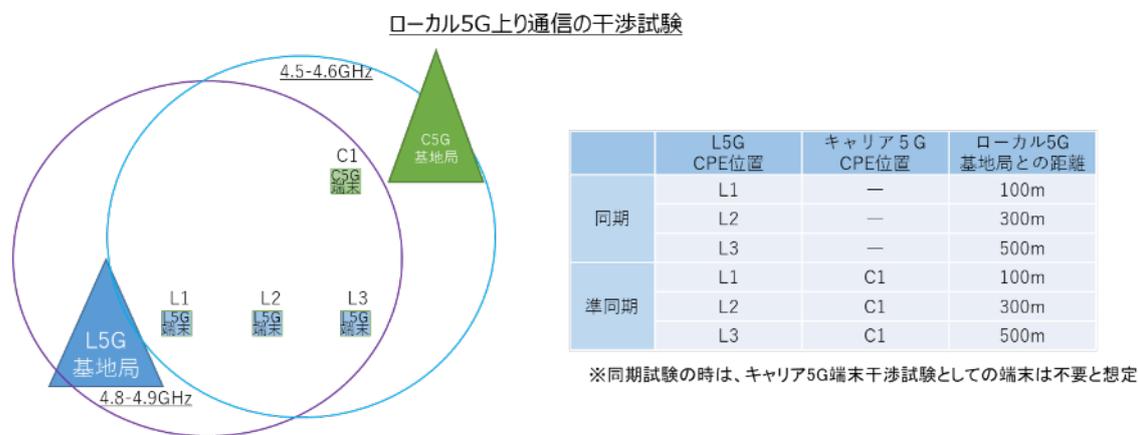


図 5.2.5 ローカル 5G 被干渉試験イメージ

ウ. その他ローカル 5G に関する技術実証

2局のローカル 5G 基地局のカバーエリアが重なる地点で以下のとおり測定を行いました。



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

図 5.2.6 ローカル 5G エリア重複地点イメージ

干渉による影響を確認するために、基準値を測定します。基準値の測定の際には片方の基地局を停波させました。

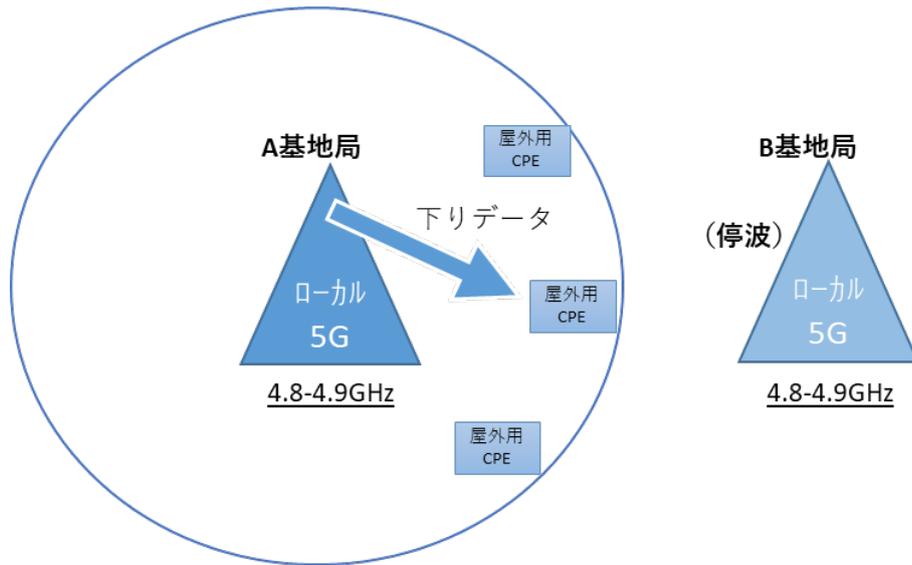


図 5.2.7 干渉影響確認方法イメージ

2 局の基地局が送波している状態では以下 2 パターンで測定を行いました。

A 基地局と B 基地局からの受信電力の強度が同程度 (DU 比 0dB 程度) 地点で B 基地局が送信している場合の測定

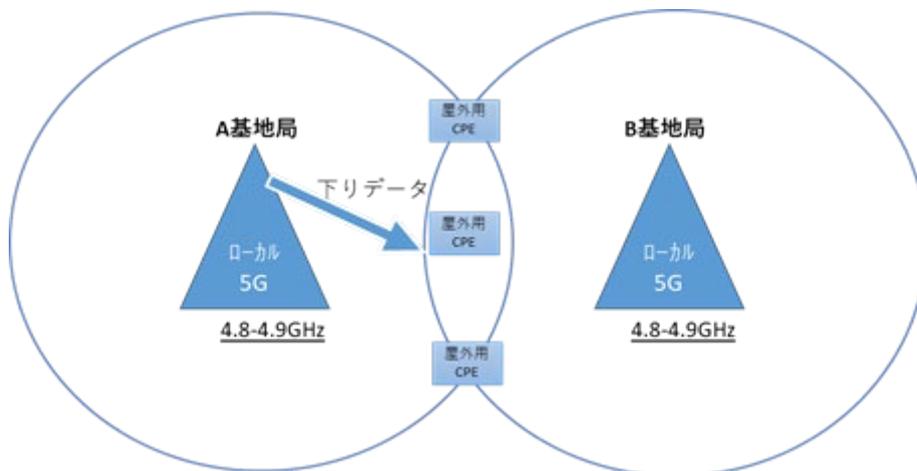


図 5.2.8 受信電力同程度時の測定イメージ

A 基地局からと B 基地局からの受信電力が DU 比 10dB 程度となる地点で B 基地局が送信している場合の測定

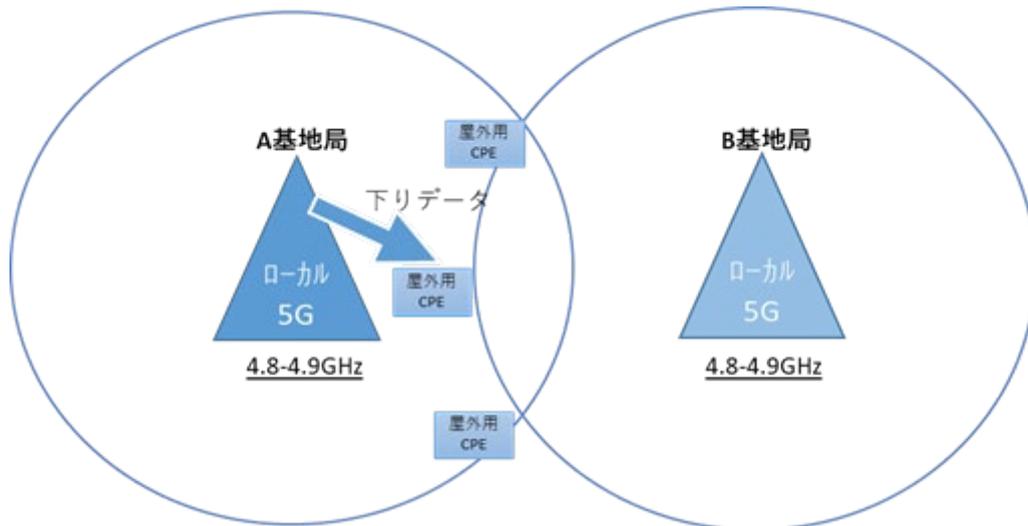


図 5.2.9 受信電力差 10dB 程度時の測定イメージ

5.3 ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価等

5.3.1 ローカル 5G の性能評価について

本項では本実証で使用したローカル 5G 機器の性能評価結果についてご報告いたします。

本実証の課題解決実証のトラクター等農機の自動運転を主要ユースケースと定め、ローカル 5G の性能目標として以下のとおり設定しました。

表 5.3.1 目標性能

	目標値
カバレッジ	半径500m
スループット	上り50Mbps
遅延値	400msec (映像伝送システムの処理遅延を含む)

カバーエリアについては、屋外で点在する圃場をカバーするため、本実証選定機器の理論上最大カバレッジを目標値と設定しました。

伝送スループットについては、自動運転農機に搭載した高精細カメラ (4K、30fps) が 1 台当たり約 25Mbps 必要となります。農機の前方に設置したカメラは走行ルートを監視するために利用し、後方に設置したカメラは農機の作業状況を記録し、ビッグデータ解析に利用します。そのため 1 台の農機につき 2 台の高精細カメラで映像伝送を行うため、上り通信で 50Mbps 以上のスループットを目標値としました。

伝送遅延については農機の自動運転の研究をしていらっしゃる北海道大学野口教授のこれまでの研究から、遠隔監視の作業者が障害物を検知し、緊急停止のボタンを押す動作を起こすまでに 400msec に収めるべきという知見をいただき、設定しました。400msec の遅延の中には無線区間以外の有線ネットワークや映像伝送のエンコードに関わる処理遅延も含まれます。そのため、測定区間を細かく区切り、遅延の要因となっている箇所の特定も併せて行いました。

計測方法は以下のとおりです。また、受信電力、伝送スループット、伝送遅延時間の測定方法については次項以降の測定でも同様とします。

(1) エリアテスターによる受信電力の測定

技術実証全体調整事業者 ARIB 様のご指導の下、以下のとおりデータを取得しました。

- ・受信電力 (SS-RSRP 値) [dB] 1 か所につき、
0.2 秒周期×連続した 150 サンプルを測定しました。
- ・電波損失計算に必要なデータとして送信電力 (基地局の空中線電力)、送信アンテナ利得、基地局の給電線損失、受信アンテナ利得も ARIB 様に提供予定です。ただし、送信アンテナ利得、基地局の給電線損失、

- 受信アンテナ利得については免許申請で提出している Peak 値で提供致しました。
- ・測定値の GPS 測定も行います。GPS 測定はエリアテスターの機能を利用しました。GPS 測定の位置情報から測定点の基地局アンテナ間 3 次元距離とアンテナ高 /LOS を算出しました。
 - ・測定時の天候および開始前後のアンテナの着雪状態を記録しました。
 - ・天候による影響を鑑み、晴天と降雪の 2 パターンを測定しました。

(2) 測定用 PC 上の iperf コマンドによる伝送スループットの測定

- ・1 か所につき、20 サンプルを測定しました。

(3) 測定用 PC 上の ping コマンドによる伝送遅延時間の測定

- ・1 か所につき、20 サンプルを測定しました。

なお、遅延値は課題実証システムに起因しているとも考えられるため、システム毎に測定し、遅延の分布を分析します。具体的にはローカル 5G 等無線ネットワークの遅延 (α)、ネットワーク機器遅延 (β) を測定します。システム全体の遅延値としてはエンコーダー、デコーダーの映像処理遅延を含む E n d - E n d 映像伝送遅延 (γ) を測定しました。

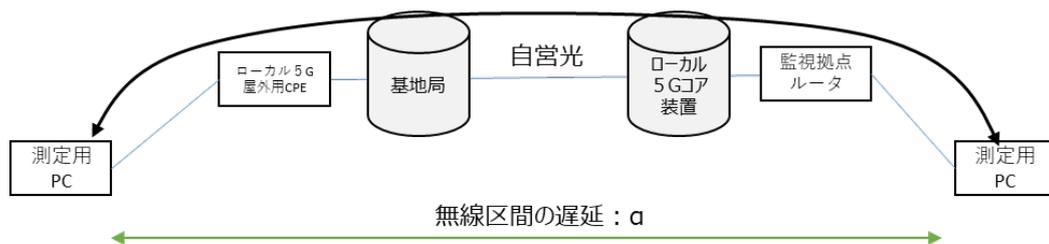


図 5.3.1 無線伝送遅延測定イメージ

ローカル 5G 等無線ネットワークの遅延については、各無線ネットワークの端末下部に PC を接続し、Ping によって測定を行いました。

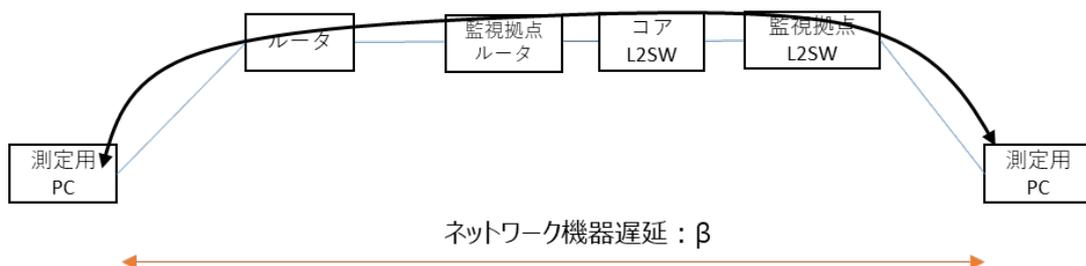


図 5.3.2 ネットワーク機器遅延測定イメージ

ネットワーク機器遅延値については、測定環境として直結のネットワークを構築し、それぞれの下部に PC を接続して Ping によって測定を行い、ルーターや L2 スイッチでのプロトコル制御による遅延値を検証しました。

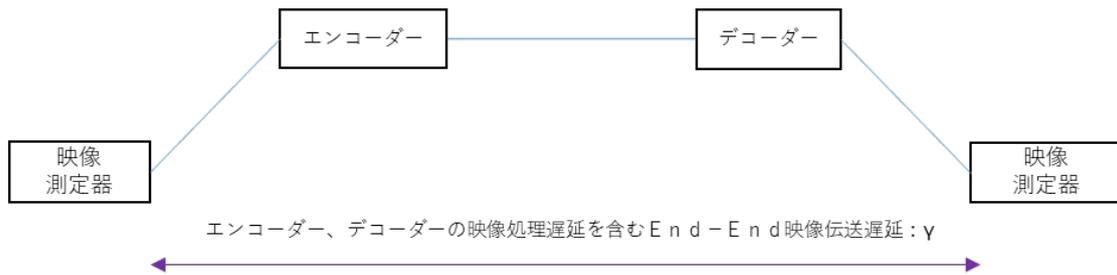


図 5.3.3 エンドーエンド間遅延測定イメージ

エンコーダー、デコーダーの映像処理遅延を含むE n d - E n d映像伝送遅延については、GPS 時刻同期させた 2 台の映像測定器によって測定しました。

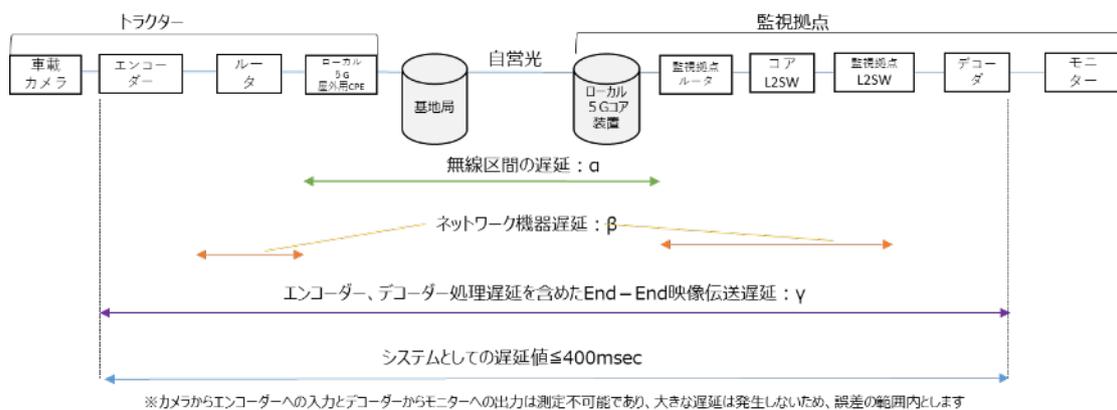


図 5.3.4 映像処理遅延を含む遅延測定イメージ

各システムの遅延値の合計が 400msec となることを目標とし、その中で無線区間遅延がどの程度発生しているか、基準値とも比較の上考察を行いました。

なお、測定結果の評価に際しては、本実証ローカル 5G 機器を開発したパナソニックシステムソリューションジャパン株式会社のラボ環境での測定結果を基準値としました。ラボ環境では有線接続の上で各測定を行いました。

5.3.2 性能測定（直線上測定）

ローカル 5G の基本的特性を明らかにするため、各基地局から 100~500m を 100m 間隔で 5 箇所の測定を実施しました。下り RSRP 値の測定は基地局からの SSB の電波をエリアテスターで受信し測定を実施しました。なお、上り RSSI 値については、本エリアテスターの RSRP 値と端末の出力値をもとに計算にて算出しました。

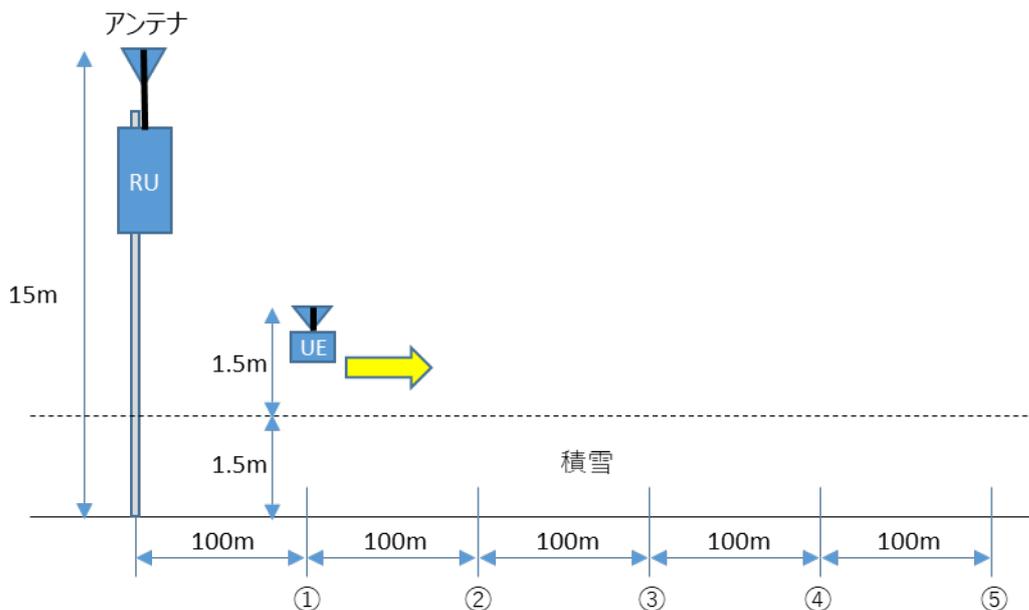


図 5.3.5 直線上測定イメージ

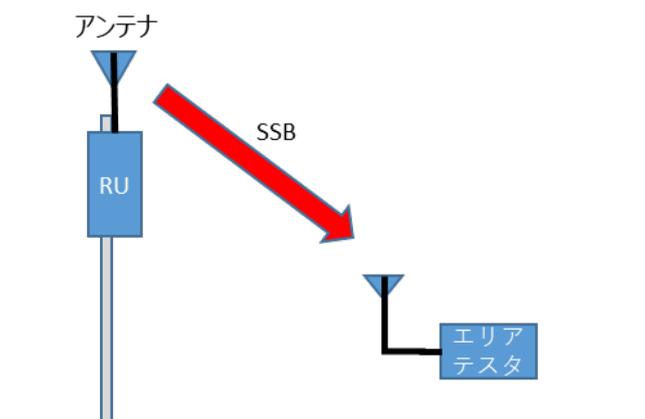


図 5.3.6 下り RSRP 測定

測定時の各パラメーターは以下のとおりです。測定時、実証フィールドは約 1.5m の積雪がありました。エリアテスター及びローカル 5G 端末のアンテナは約 1.5m 長のポールに取り付けて測定を行いました。そのため、現地の環境として、基地局アンテナは雪面から 13.5m、エリアテスター及びローカル 5G 端末は雪面から 1.5m の高さで測定しました。

表 5.3.2 ローカル 5G 機器設定パラメーター

	項目		値	単位	備考
gNB (Tx)	SS電力	Pt	-5.11	dBm	
	アンテナ利得	Gt	8	dBi	
	給電線損失	Lf	2	dB	
エリアテスト (RX)	アンテナ利得	Gr	0	dBi	
	人体吸収損失		8	dB	
	項目	値	単位	備考	
gNB	アンテナ高	15.0	m		
エリアテスト	アンテナ高	3.0	m	積雪1.5m、雪上面からの高さ1.5m	

実証フィールドは 2020 年末から記録的大雪で、圃場 A には約 1.5m の積雪がありました。



図 5.3.7 圃場 A の積雪状況（圃場南側から撮影）



図 5.3.8 圃場 A 手前から見た基地局の様子



図 5.3.9 圃場から見た基地局



図 5.3.10 圃場 C 側基地局



図 5.3.11 圃場 C 全景

測定に際しては、ローカル 5G 端末はプラスチック製のポールに装着し、雪面に立てて測定を行いました。エリアテスターアンテナも同様にプラスチック製のポールに取り付け、端末と同じ高さで測定しました。ローカル 5G 端末及びエリアテスターにはパソコンを接続し、端末の状況確認や操作を行いました。測定ポイント間の移動の際はプラスチック製のボックスに入れて背負って運搬しました。

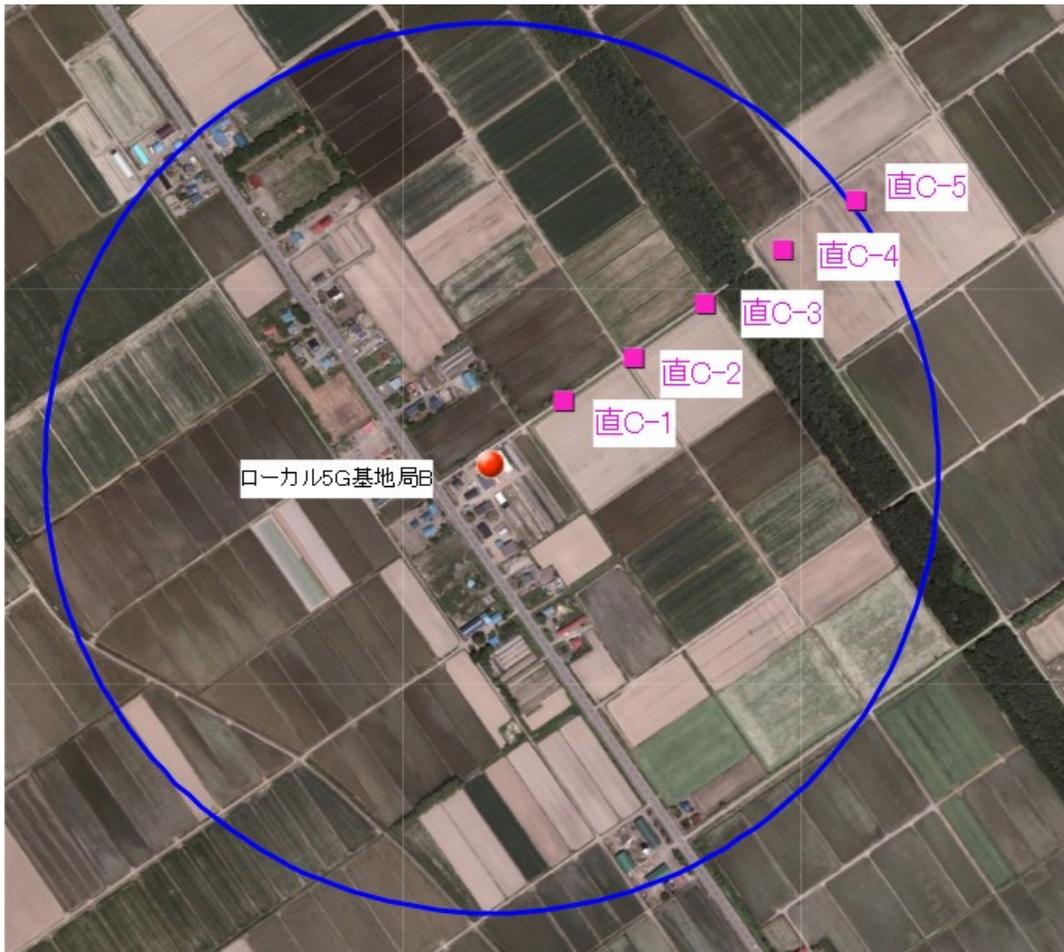


図 5.3.12 エリアテスターと外部アンテナ

測定ポイントは以下のとおりです。



国土地理院（URL：<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成
図 5.3.13 圃場 A 側基地局直線上測定ポイント



国土地理院 (URL : <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成
図 5.3.14 直線測定 測定箇所 (B 基地局)

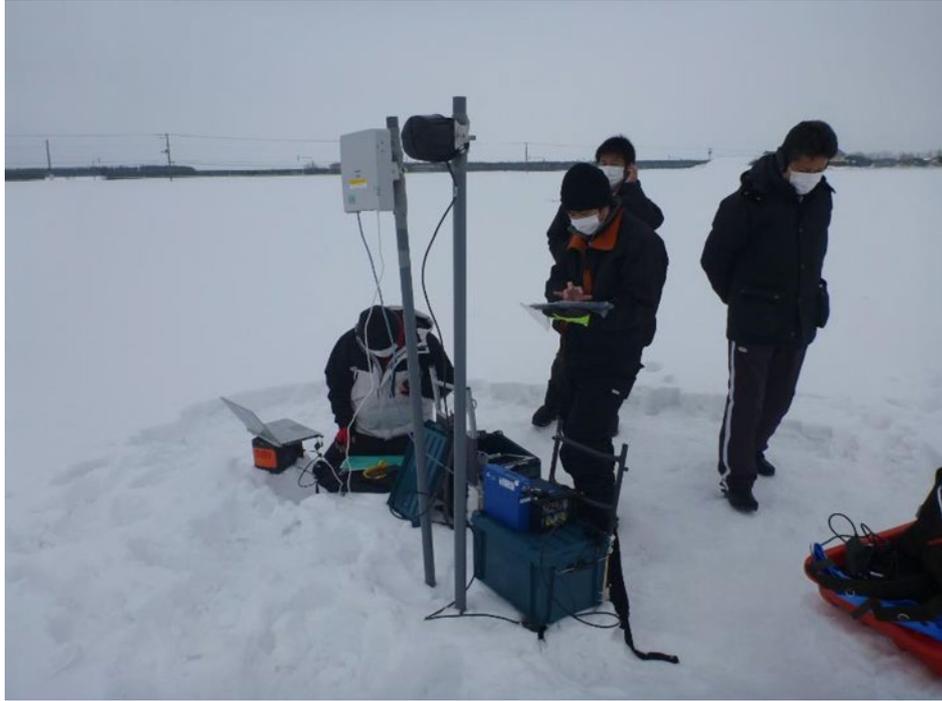


図 5.3.15 直線測定 測定風景 (A 基地局)

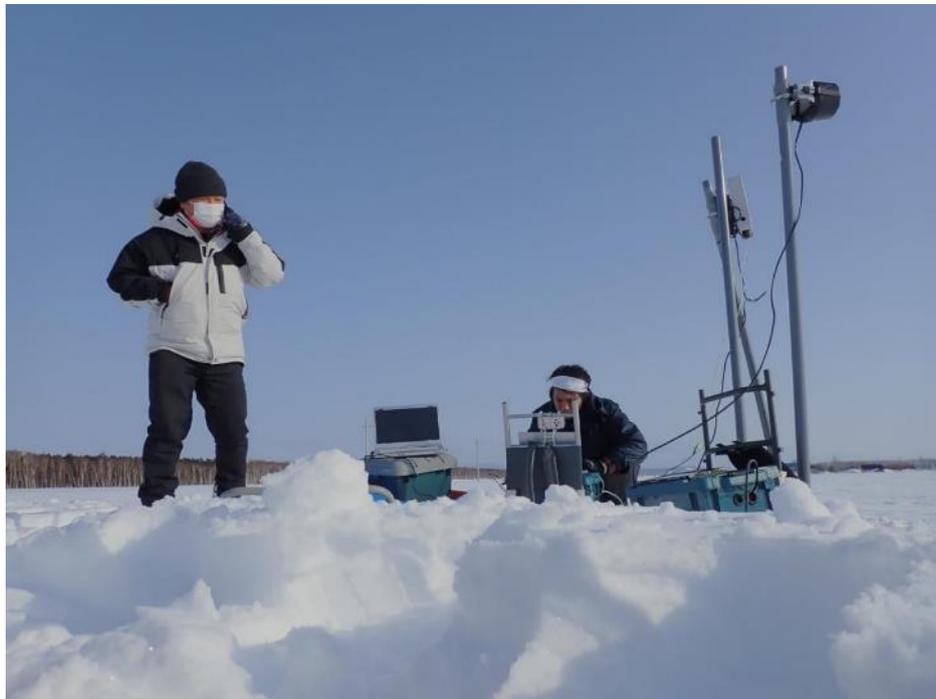


図 5.3.16 直線測定 測定風景 (B 基地局)

測定した RSRP 値は以下のとおりです。

(1) 測定結果

測定結果は以下のとおりです。

表 5.3.3 圃場 A 直線上測定 RSRP

位置	下りRSRP 【dBm】	上りRSSI 【dBm】
100m	-89.0	-59.9
200m	-92.5	-63.4
300m	-94.3	-65.2
400m	-97.0	-67.9
500m	-100.1	-71.0

表 5.3.4 B 基地局 下り RSRP、上り RSSI

位置	下りRSRP 【dBm】	上りRSSI 【dBm】
100m	-86.5	-57.4
200m	-92.3	-63.2
300m	-95.3	-66.2
400m	-122.1	-93.0
500m	-125.5	-96.4

表 5.3.5 A 基地局 スループット、伝送遅延時間

位置	TDDパターン1		TDDパターン2		伝送遅延時間 【ms】
	スループット【Mbps】		スループット【Mbps】		
	上り	下り	上り	下り	
100m	19.4	118.9	42.2	80.5	38.1
200m	12.0	101.1	30.8	83.3	38.1
300m	8.9	94.4	19.9	52.7	35.3
400m	6.9	72.4	14.9	51.6	34.9
500m	6.2	53.3	14.9	41.1	33.9

表 5.3.6 B 基地局 スループット、伝送遅延時間

位置	TDDパターン1		TDDパターン2		伝送遅延時間 【ms】
	スループット【Mbps】		スループット【Mbps】		
	上り	下り	上り	下り	
100m	18.5	137.3	36.2	84.6	37.0
200m	9.5	93.5	19.8	53.8	33.2
300m	6.4	60.3	13.8	37.4	33.0
400m	0.0	0.0	0.0	0.0	—
500m	0.0	0.0	0.0	0.0	—

(2) 考察

フィールドでの測定結果と自由空間伝搬損失で計算した距離と RSRP 値の関係を記した図を以下に示します。

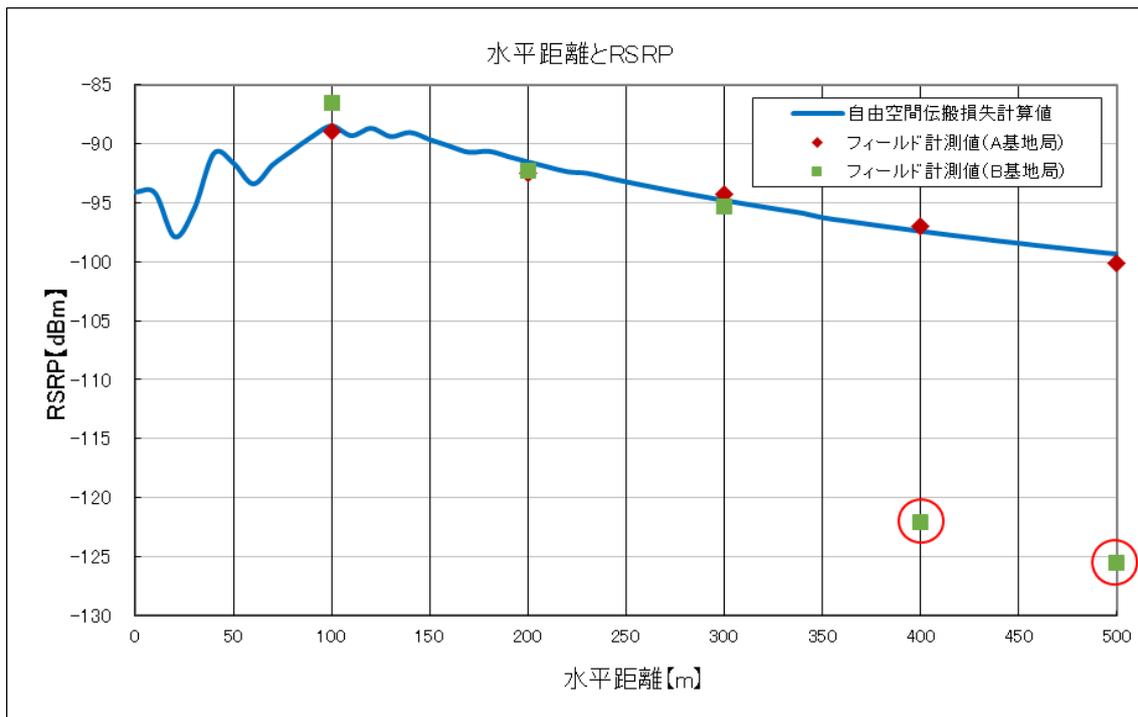


図 5.3.17 距離と RSRP

※自由空間伝搬損失計算は、RUアンテナの垂直指向性を考慮した計算値

図中の赤丸のポイント 2 か所は、防風林が遮蔽物となっていて B 基地局とは見通し外のため、この影響による減衰が考えられます。400m 地点は自由空間で計算した場合 97.4dBm に対し実測値では-122.1dBm、500m 地点は自由空間で計算した場合-99.4dBm に対し実測値では-125.5dBm であったことから防風林の影響で 25 dB程度減衰したと考えられます。その他の箇所は、見通しの空間であったため自由空間伝搬損失で計算した値とほぼ相関がみられました。

なお自由空間伝搬損失で計算した値より RSRP が高くなった地点については、マルチパスにより、電波の強度が強まったことが考えられます。

有線にて測定したスループットと RSRP 値は以下のとおりでした。

表 5.3.7 スループットとRSRP（有線測定）

下りRSRP 【dBm】	TDDパターン1		TDDパターン2	
	スループット【Mbps】		スループット【Mbps】	
	上り	下り	上り	下り
-70	59	233	115	130
-71	59	233	115	130
-72	59	233	115	130
-73	59	233	115	130
-74	59	233	115	130
-75	59	233	115	130
-76	50	219	108	124
-77	50	219	108	124
-78	50	219	108	124
-79	50	219	108	124
-80	50	219	108	124
-81	50	219	108	124
-82	47	219	105	124
-83	47	219	92	124
-84	47	219	92	124
-85	47	219	92	124
-86	43	191	89	117
-87	43	191	89	117
-88	43	191	89	117
-89	41	191	89	117
-90	41	191	86	118
-91	36	191	62	118
-92	27	191	57	118
-93	27	191	57	118
-94	27	191	57	118
-95	24	191	42	115
-96	12.6	181	26	100
-97	12.0	178	23	100
-98	11.2	178	23	100
-99	9.0	178	20	100
-100	9.0	173	20	100
-101	7.8	153	18.5	88
-102	7.8	135	17.0	79
-103	7.1	135	15.0	79
-104	7.1	135	14.0	79
-105	7.1	135	14.0	79
-106	7.0	109	13.8	68
-107	4.1	109	8.2	68
-108	0	109	1.5	63
-109	0	106	0	63
-110	0	90	0	52
-111	0	70	0	42
-112	0	62	0	35
-113	0	54	0	31
-114	0	45	0	24
-115	0	34	0	20
-116	0	29	0	16.3
-117	0	10.3	0	6.3
-118	0	0	0	0
-119	0	0	0	0
-120	0	0	0	0

フィールドでの測定結果とラボで有線にて測定したスループットとRSRP値の関係を記

した図を以下に示します。

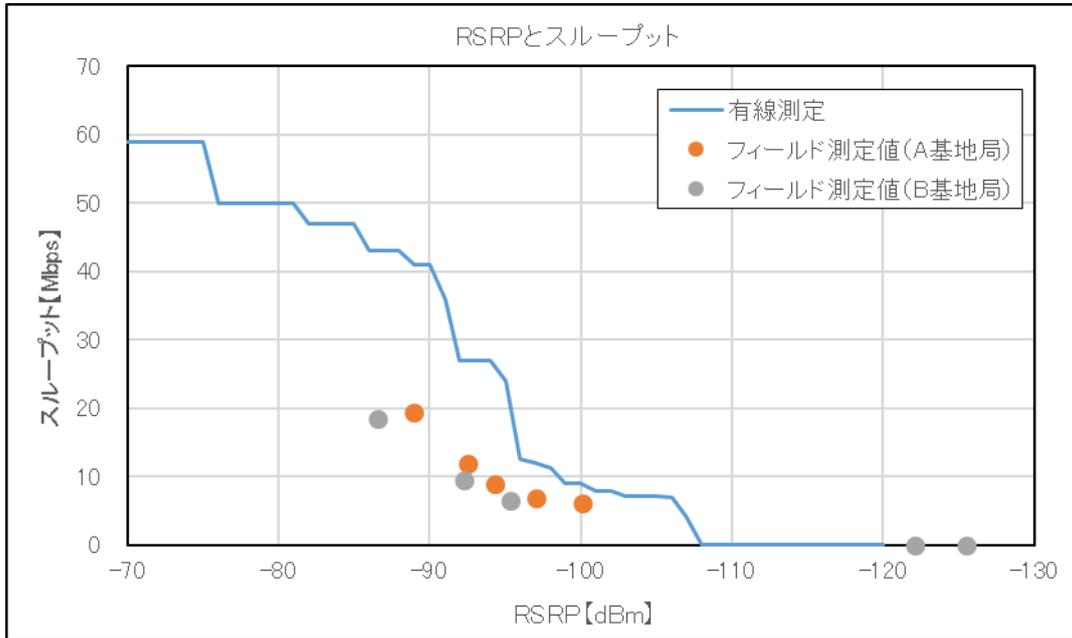


図 5.3.18 スループットと RSRP (TDD パターン1 上り)

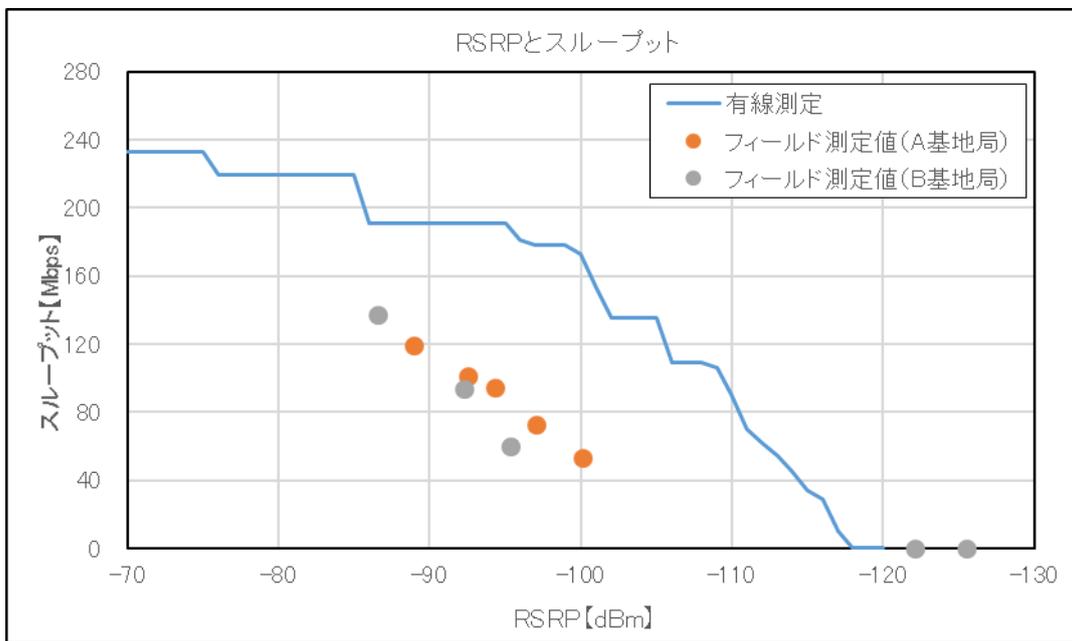


図 5.3.19 スループットと RSRP (TDD パターン1 下り)

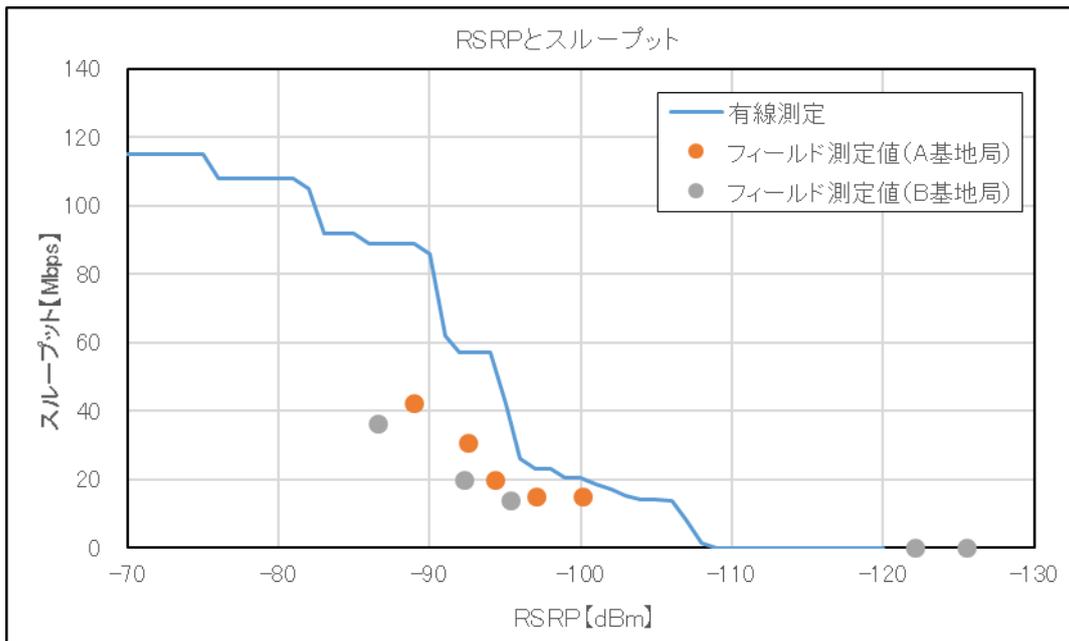


図 5.3.20 スループットと RSRP (TDD パターン 2 上り)

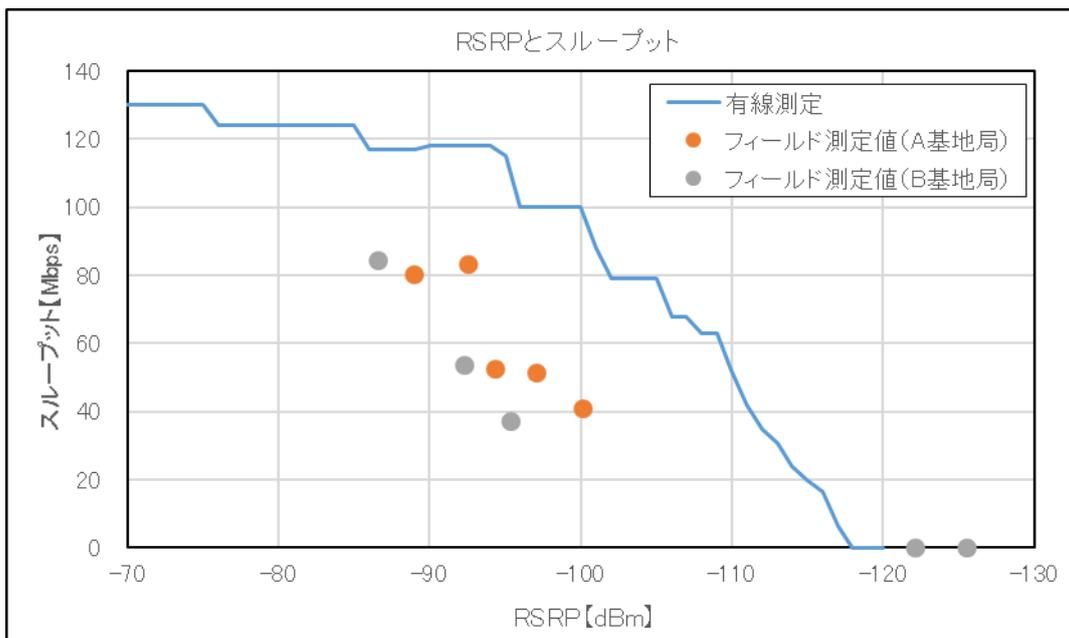


図 5.3.21 スループットと RSRP (TDD パターン 2 下り)

表 5.3.8 遅延時間

伝送遅延時間【ms】	
有線測定	フィールド測定
35.3	35.4

スループットと RSRP に関しては有線測定にて測定したスループットより、フィールド測定でのスループットの方が上り、下りとも全体的に低い値となりました。今回のフィールド検証で使用した基地局は検証機（試作機）でしたが、フィールドでの受信レベル変動により、スループットが下がっていることが考えられます。直線測定では固定設置にて 10 地点の測定を実施しましたが、エリアテストの測定値では最大値と最小値の差（レベル変動）は最も大きい地点で 17.1 dB でした。これらの変動に対して今後伝搬路状況に応じて適応的に RAN パラメータを変更するリンクアダプテーションの機能を実装していくことによりフィールドでのスループット改善ができるものと考えられます。

また無線フレーム中の UL スロットは TDD パターン 1 が 4、TDD パターン 2 が 8、DL スロットは TDD パターン 1 が 14、TDD パターン 2 が 8 ですが、ラボで有線測定での結果から、スループットはこのスロット数に比例して、上りスループットは TDD パターン 2 では TDD パターン 1 と比較しおおよそ 2 倍、下りスループットは TDD パターン 1 では TDD パターン 2 と比較しおおよそ 1.75 倍となることが確認されました。

遅延時間に関してはラボで有線測定にて測定した結果とフィールド測定結果はほぼ相関がみられました。

5.3.3 性能測定（面的測定）

屋外における圃場等比較的開放空間でのローカル 5G のカバーエリア特性を検証するために、各基地局から半径 500m 以内の 20 箇所での測定を実施しました。直線状測定と同様に下り RSRP 値の測定は基地局からの SSB の電波をエリアテスターで受信し測定を実施しました。なお上り RSSI 値については、本エリアテスターの RSRP 値と端末の出力値をもとに計算にて算出しました。

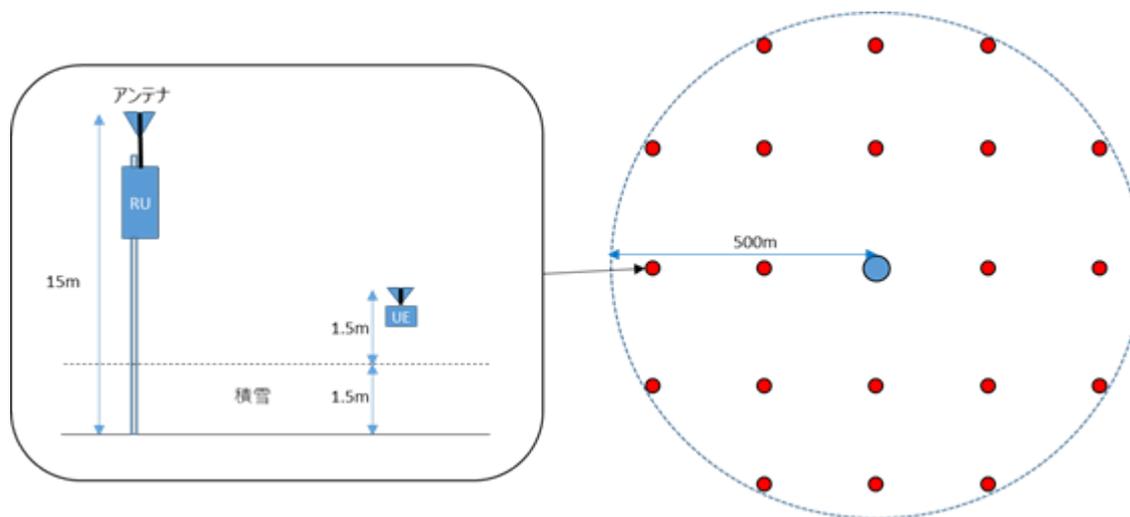


図 5.3.22 面的測定イメージ

測定時のパラメーターは以下のとおりです。なお、面的測定の際は TDD パターン 2 とし、測定時にはもう片方の基地局を停波しました。

表 5.3.9 ローカル 5G 機器設定パラメーター

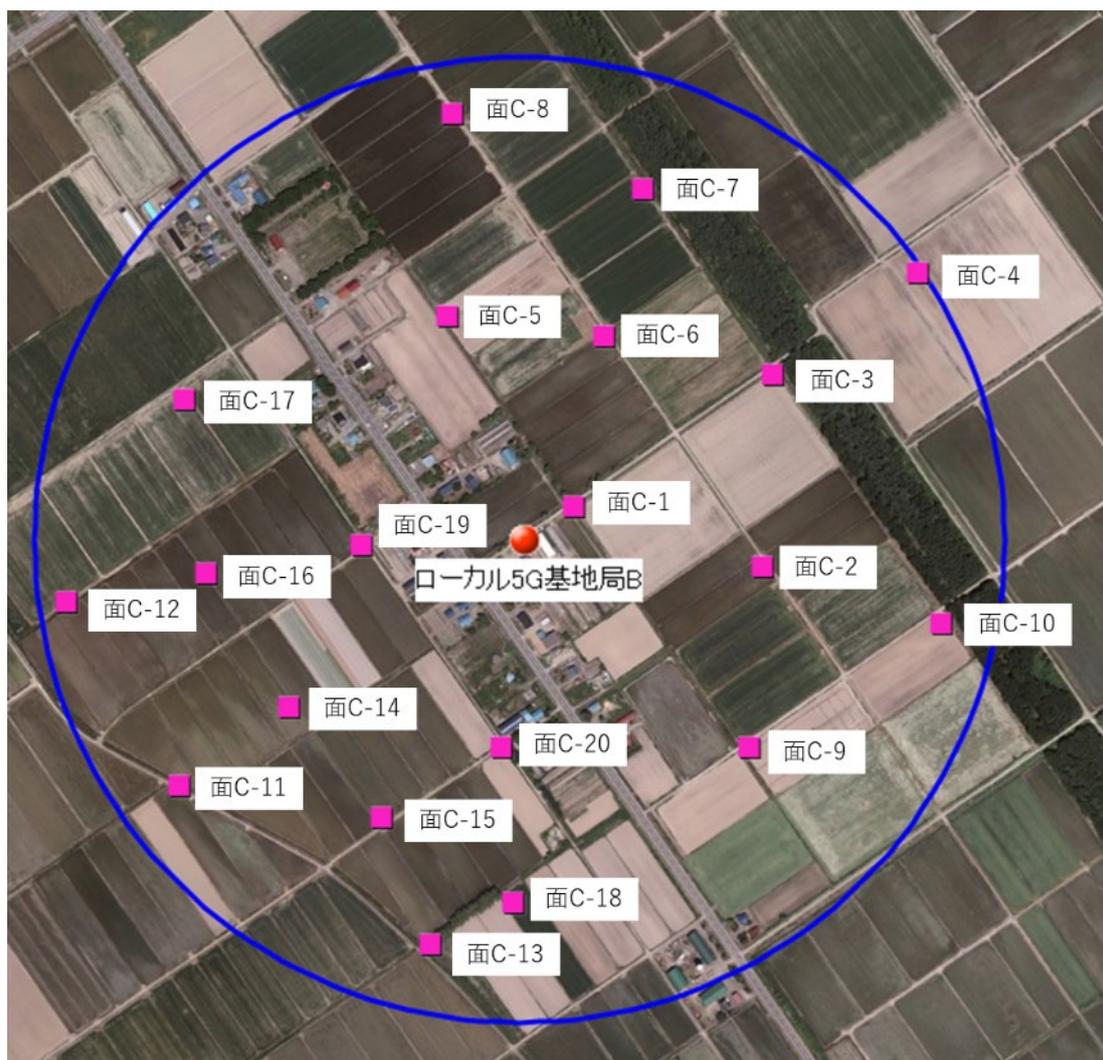
	項目		値	単位	備考
gNB (Tx)	SS電力	Pt	-5.11	dBm	
	アンテナ利得	Gt	8	dBi	
	給電線損失	Lf	2	dB	
エリアテスタ (RX)	アンテナ利得	Gr	0	dBi	
	人体吸収損失		8	dB	

	項目	値	単位	備考
gNB	アンテナ高	15.0	m	
エリアテスタ	アンテナ高	3.0	m	積雪1.5m、雪上面からの高さ1.5m

面的測定のポイントは以下のとおりです。圃場 A 側エリアについては圃場南側に側溝があり、また側溝にかぶさるように積雪があったため南側エリアには立ち入ることができませんでした。また、東側エリアについても除雪により約 4メートルほどの雪の壁ができており入れなかったため、圃場 A 内で 20 か所測定を行いました。



国土地理院（URL：<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成
図 5.3.23 面測定 測定箇所（A 基地局）



国土地理院 (URL : <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成
 図 5.3.24 面測定 測定箇所 (B 基地局)



图 5.3.25 面測定 測定風景 (A 基地局)

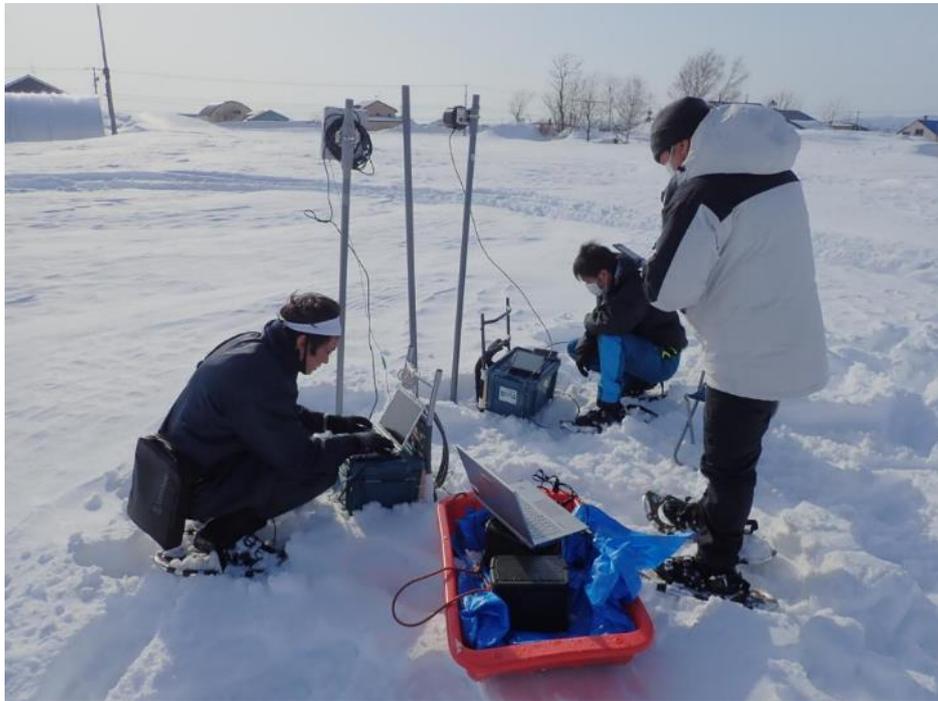


图 5.3.26 面測定 測定風景 (B 基地局)

(1) 測定結果

測定結果は以下のとおりです。

表 5.3.10 A 基地局 下り RSRP、上り RSSI

位置	下り RSRP 【dBm】	上り RSSI 【dBm】
A-1	-92.4	-63.3
A-2	-89.3	-60.2
A-3	-92.0	-62.9
A-4	-93.6	-64.5
A-5	-92.2	-63.1
A-6	-86.3	-57.2
A-7	-90.4	-61.3
A-8	-95.4	-66.3
A-9	-88.9	-59.8
A-10	-90.2	-61.1
A-11	-91.7	-62.6
A-12	-98.4	-69.3
A-13	-94.8	-65.7
A-14	-97.1	-68.0
A-15	-95.2	-66.1
A-16	-99.1	-70.0
A-17	-99.5	-70.4
A-18	-97.3	-68.2
A-19	-108.0	-78.9
A-20	-98.6	-69.5

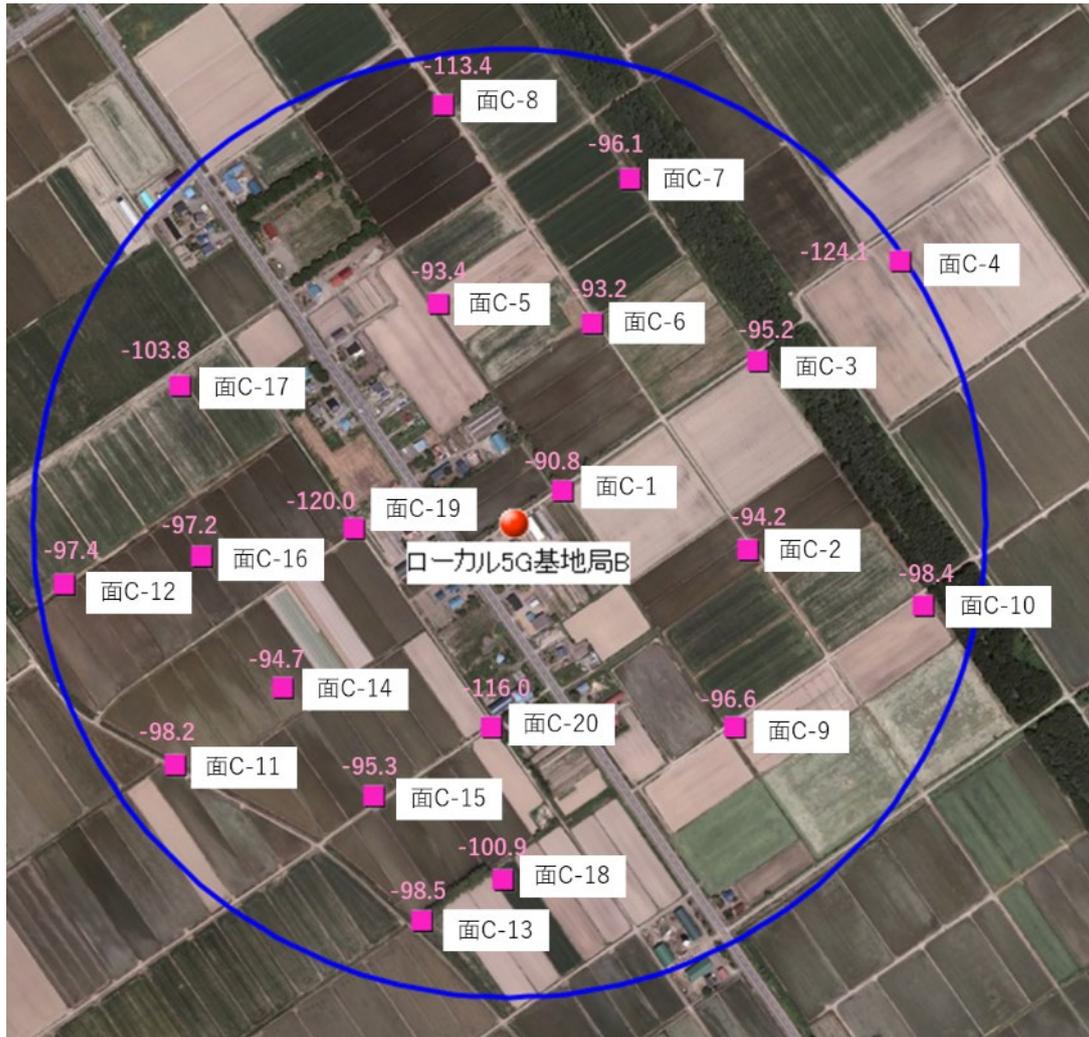
表 5.3.11 B 基地局 下り RSRP、上り RSSI

位置	下り RSRP 【dBm】	上り RSSI 【dBm】
C-1	-90.8	-61.7
C-2	-94.2	-65.1
C-3	-95.2	-66.1
C-4	-124.1	-95.0
C-5	-93.4	-64.3
C-6	-93.2	-64.1
C-7	-96.1	-67.0
C-8	-113.4	-84.3
C-9	-96.6	-67.5
C-10	-98.4	-69.3
C-11	-98.2	-69.1
C-12	-97.4	-68.3
C-13	-98.5	-69.4
C-14	-94.7	-65.6
C-15	-95.8	-66.7
C-16	-97.2	-68.1
C-17	-103.8	-74.7
C-18	-100.9	-71.8
C-19	-120.0	-90.9
C-20	-116.0	-86.9



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

図 5.3.27 A 基地局 下り RSRP (単位 : dBm)



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

図 5.3.28 B 基地局 下り RSRP (単位 : dBm)

表 5.3.12 A 基地局 スループット、伝送遅延時間

位置	スループット【Mbps】		伝送遅延時間【ms】
	上り	下り	
A-1	14.0	64.4	34.5
A-2	29.7	59.0	33.0
A-3	29.9	64.3	32.2
A-4	13.4	68.3	33.5
A-5	31.2	91.7	33.2
A-6	42.2	94.3	35.3
A-7	30.9	51.5	34.2
A-8	13.8	51.8	34.1
A-9	29.0	58.3	32.7
A-10	29.7	60.4	36.7
A-11	14.9	54.7	33.6
A-12	13.8	50.4	33.0
A-13	14.1	53.8	33.1
A-14	14.1	45.9	32.8
A-15	14.3	50.0	33.7
A-16	13.4	32.4	33.2
A-17	14.7	34.2	32.3
A-18	13.2	36.3	33.9
A-19	0.0	25.8	32.8
A-20	13.8	25.6	33.1

表 5.3.13 B 基地局 スループット、伝送遅延時間

位置	スループット【Mbps】		伝送遅延時間【ms】
	上り	下り	
C-1	31.0	115.7	34.6
C-2	14.0	51.4	36.8
C-3	12.5	51.0	33.2
C-4	0.0	0.0	—
C-5	12.3	57.1	36.5
C-6	14.0	91.2	38.8
C-7	2.5	25.7	41.6
C-8	0.0	22.3	34.3
C-9	13.7	36.4	35.4
C-10	6.5	14.0	34.9
C-11	13.3	25.2	37.4
C-12	12.2	24.6	35.2
C-13	15.5	25.3	34.2
C-14	14.1	64.3	33.9
C-15	14.0	55.9	34.1
C-16	13.2	36.6	35.6
C-17	12.1	25.1	36.6
C-18	10.1	22.7	34.2
C-19	0.0	0.0	—
C-20	0.0	21.5	36.2

(2) 考察

フィールドでの測定結果と自由空間伝搬損失で計算した距離と RSRP 値の関係を記した図を以下に示します。

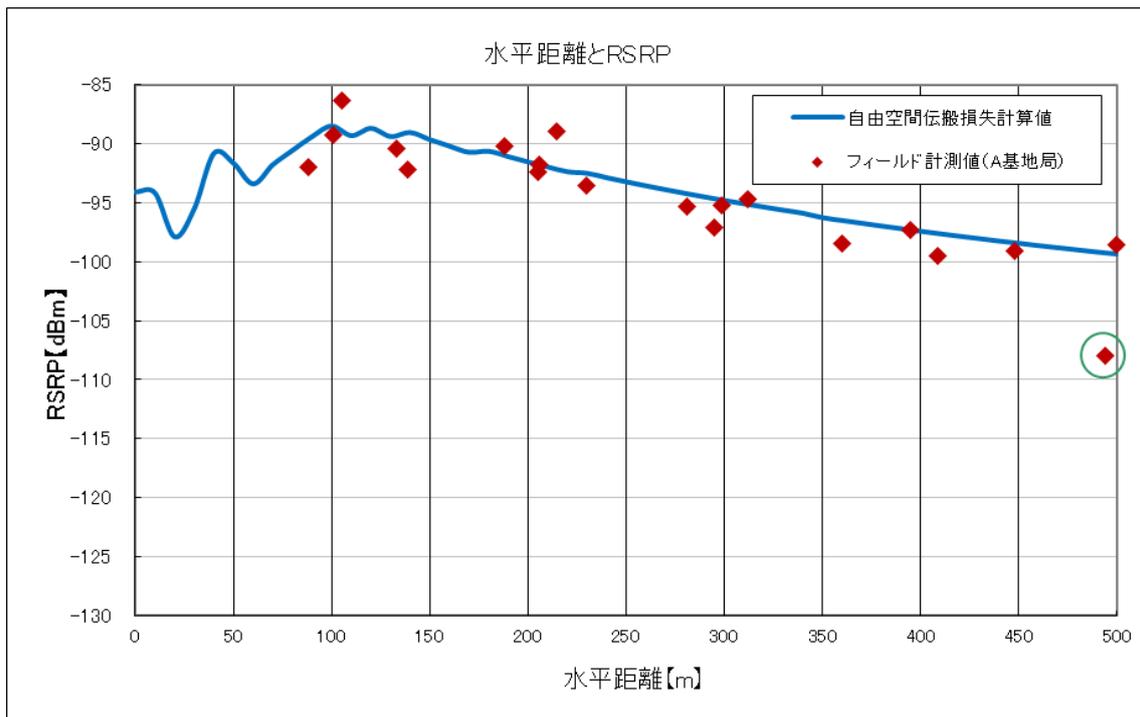


図 5.3.29 距離と RSRP (A 基地局)

※自由空間伝搬損失計算は、RUアンテナの垂直指向性を考慮した計算値



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

図 5.3.30 A 基地局送電線鉄塔影響箇所

A 基地局のフィールドは見通しの空間であったため直線測定の結果と同様に自由空間伝搬損失で計算した値とほぼ相関がみられました。

なお図中の緑丸のポイントも同様に A 基地局からは見通しであったが、10m 程度離れた近接位置に、送電線の鉄塔があったため、この鉄塔からの反射の影響等で、減衰が発生したものと考えられます。

また自由空間伝搬損失で計算した値より RSRP が高くなった地点については、マルチパスにより、電波の強度が強まったことが考えられます。

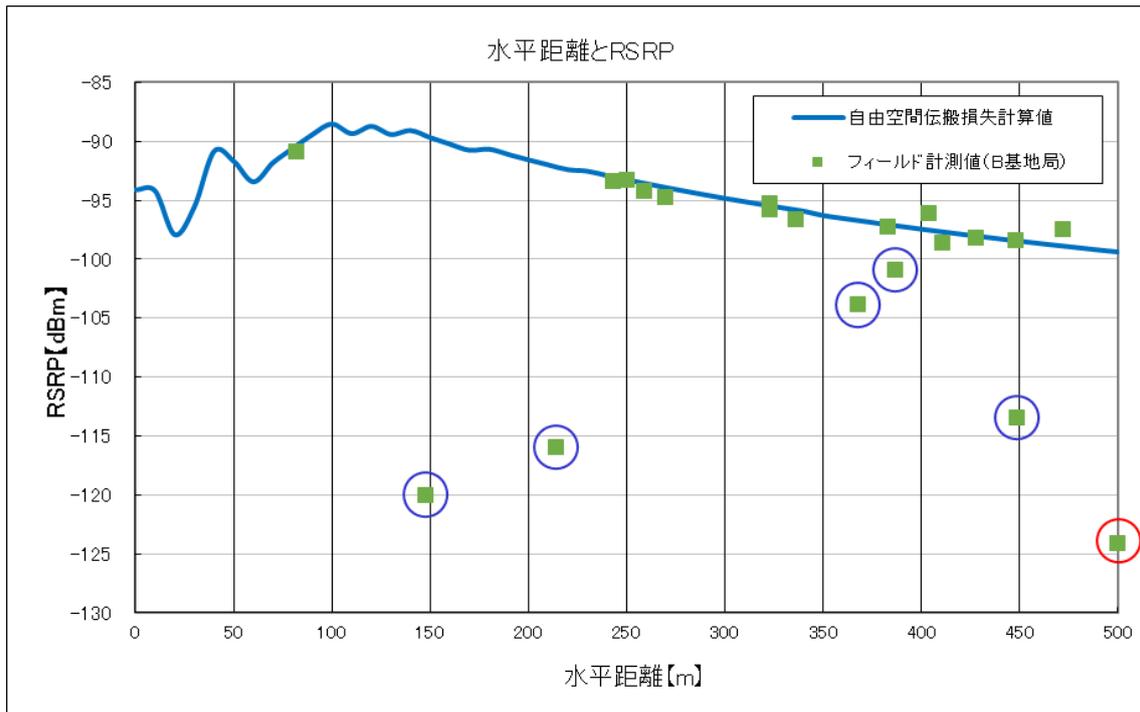


図 5.3.31 距離と RSRP (B 基地局)

※自由空間伝搬損失計算は、RUアンテナの垂直指向性を考慮した計算値



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

図 5.3.32 家屋等影響箇所

図中の赤丸のポイントは、防風林が遮蔽物となっていて B 基地局とは見通し外のため、この影響による減衰が考えられます。図中の青丸のポイント 5 箇所は家屋が遮蔽物となっていて B 基地局との間は見通し外のため、この影響による減衰が考えられます。なお遮蔽物の影響により損失量が 5～30dB 程度とバラツキが生じたのは、遮蔽物の位置関係により回折の状況が変わることにより差が出たものと考えられます。それ以外の箇所は見通しの空間であったため直線測定の結果と同様に自由空間伝搬損失で計算した値とほぼ相関がみられました。

また自由空間伝搬損失で計算した値より RSRP が高くなった地点については、マルチパスにより、電波の強度が強まったことが考えられます。

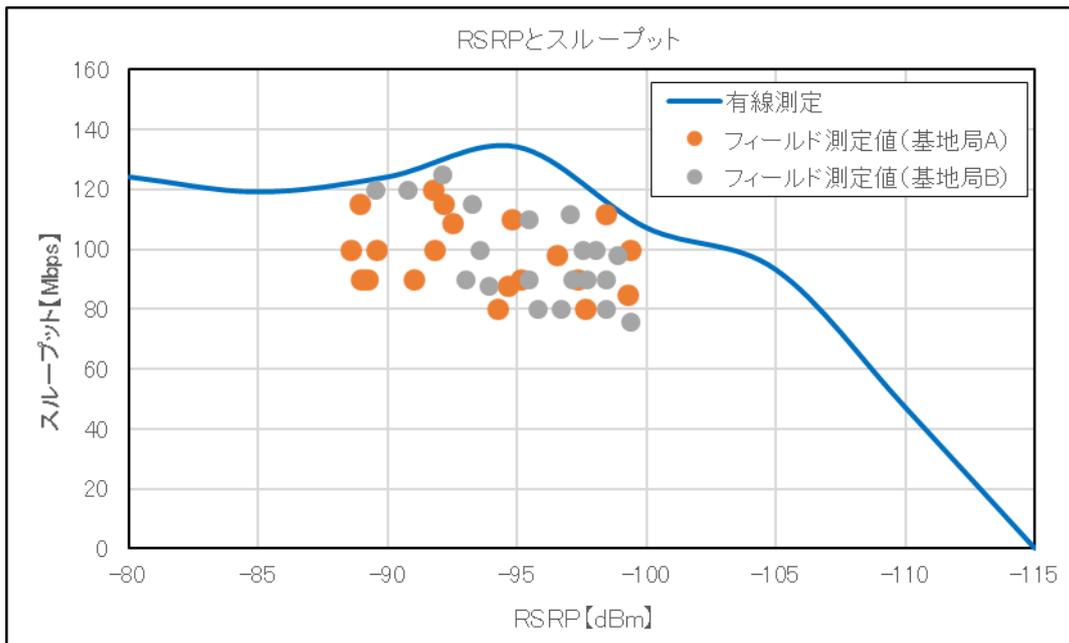


図 5.3.33 スループットと RSRP (TDD パターン 2 下り)

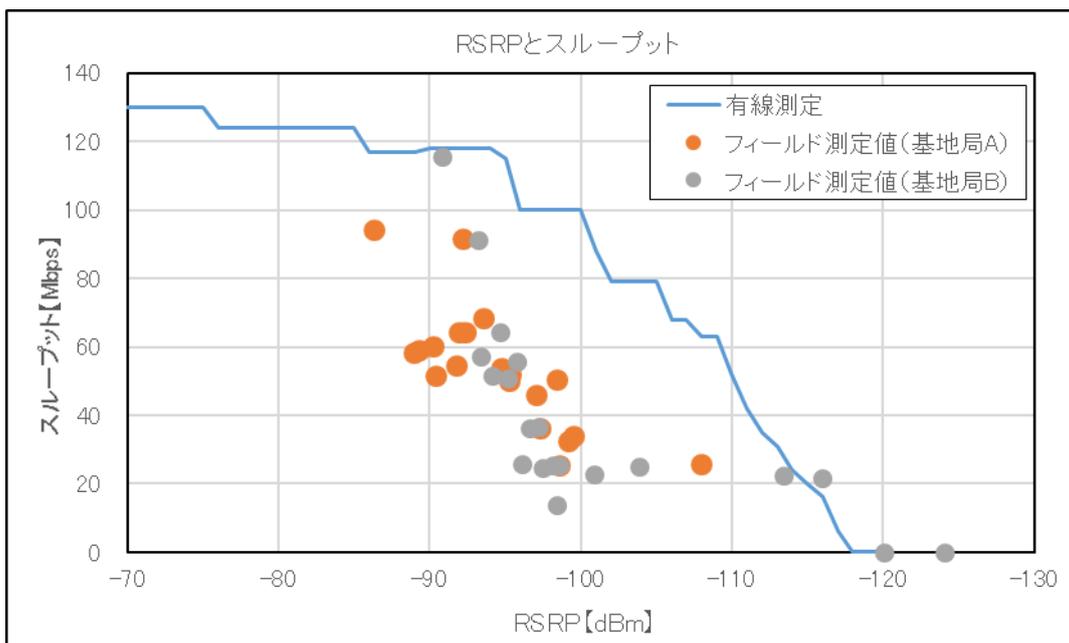
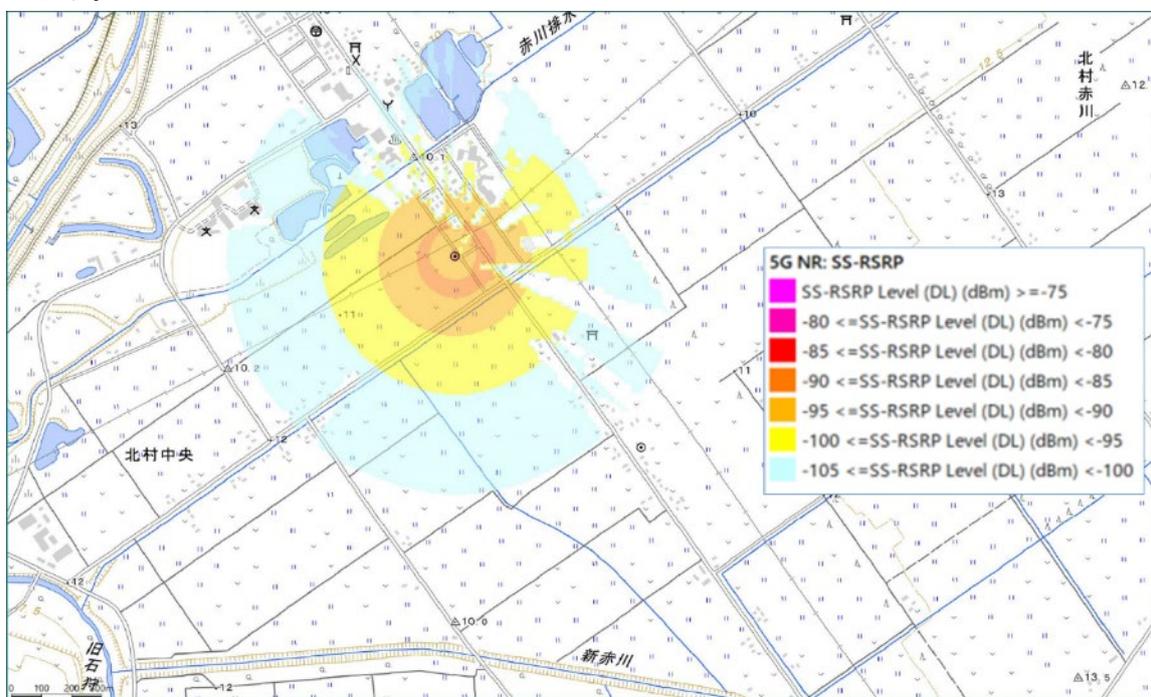


図 5.3.34 スループットと RSRP (TDD パターン 2 上り)

スループットと RSRP に関しては、直線測定と同様に有線測定にて測定したスループットより、フィールド測定でのスループットの方が上り、下りとも全体的に低い値となりました。今回のフィールド検証で使用した基地局は検証機（試作機）でしたが、フィールドでの受信レベル変動により、スループットが下がっていることが考えられます。面測定では固定設置にて 50 地点の測定を実施したが、エリアテストの測定値では最大値と最小値の差（レベル変動）は最も大きい地点で 12.1 dB でした。これらの変動に対して今後伝搬路状況

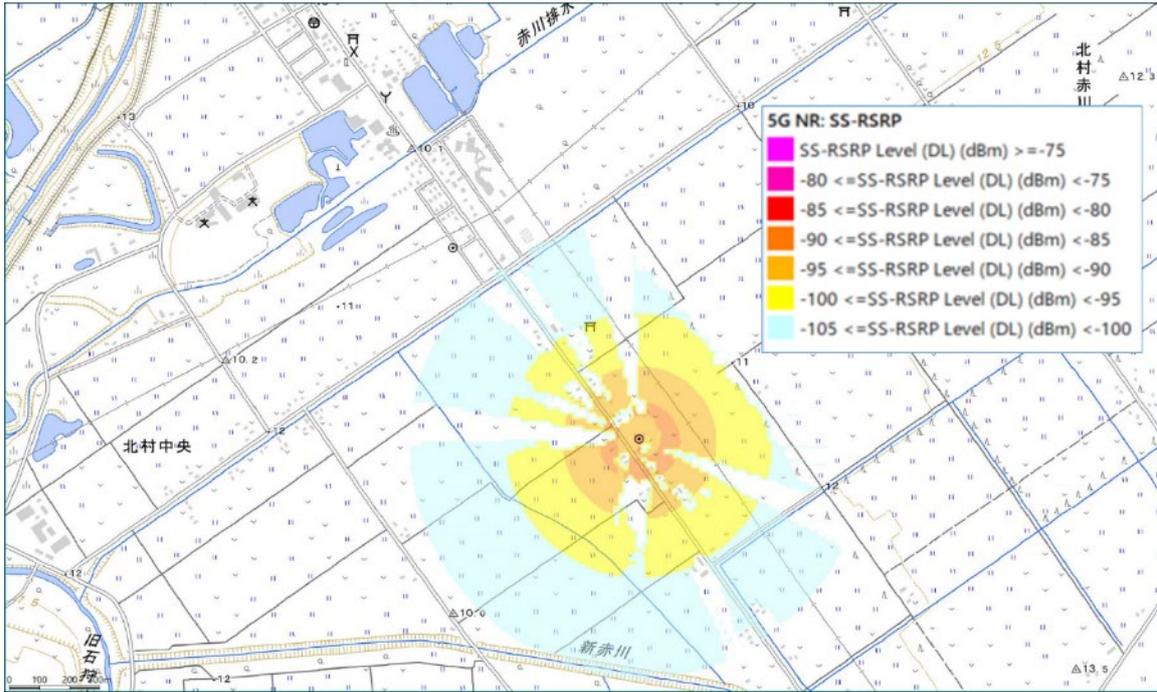
に応じて適応的に RAN パラメータを変更するリンクアダプテーションの機能を実装していくことによりフィールドでのスループット改善ができるものと考えられます。

今回測定した RSRP 値を取り込んだ、エリアシミュレーションでのエリア図を下記に示します。

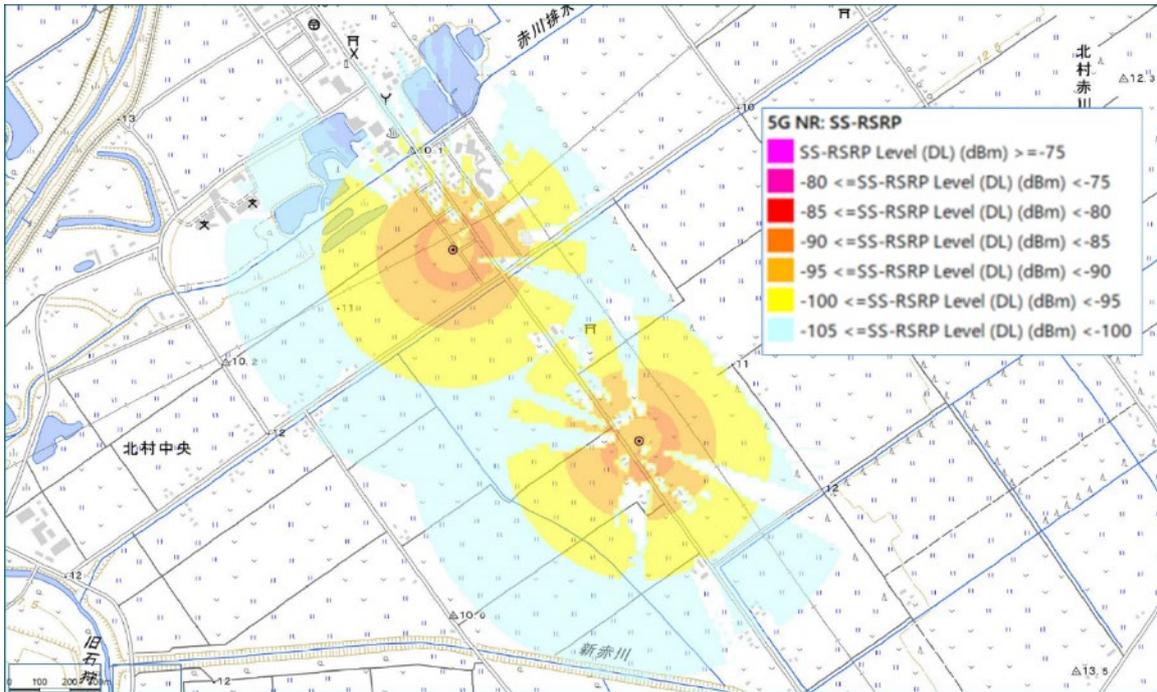


国土地理院 (URL : <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成

図 5.3.35 エリアシミュレーション図 (A 基地局)



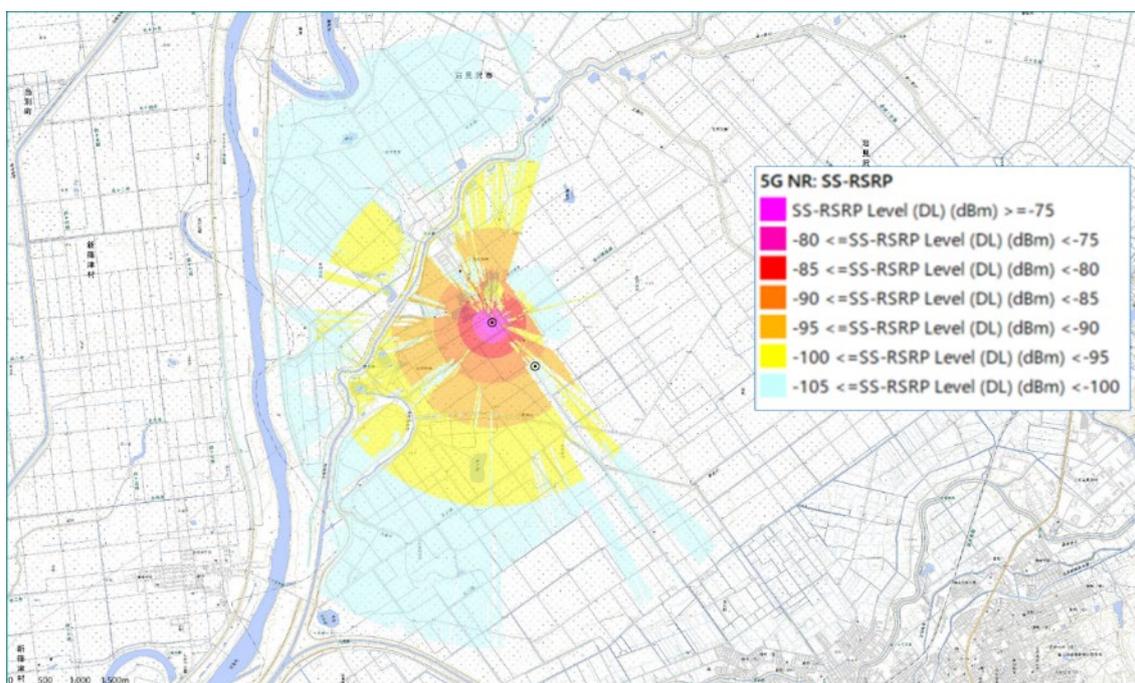
国土地理院 (URL : <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成
 図 5.3.36 エリアシミュレーション図 (B 基地局)



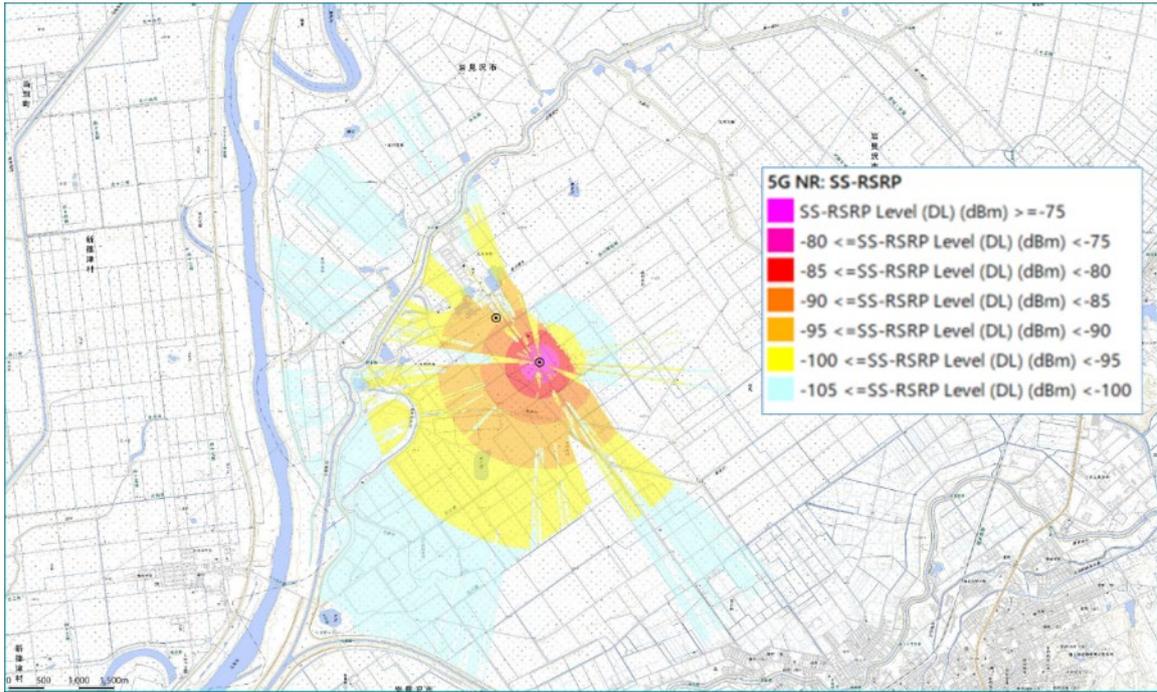
国土地理院 (URL : <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成
 図 5.3.37 エリアシミュレーション図 (A 基地局+B 基地局)

A 基地局、B 基地局とも RSRP-105dBm をカバーエリアとした場合、今回の圃場のような比較的開放のフィールドでは、半径 600~700m 程度がカバーエリアとなることが確認されました。

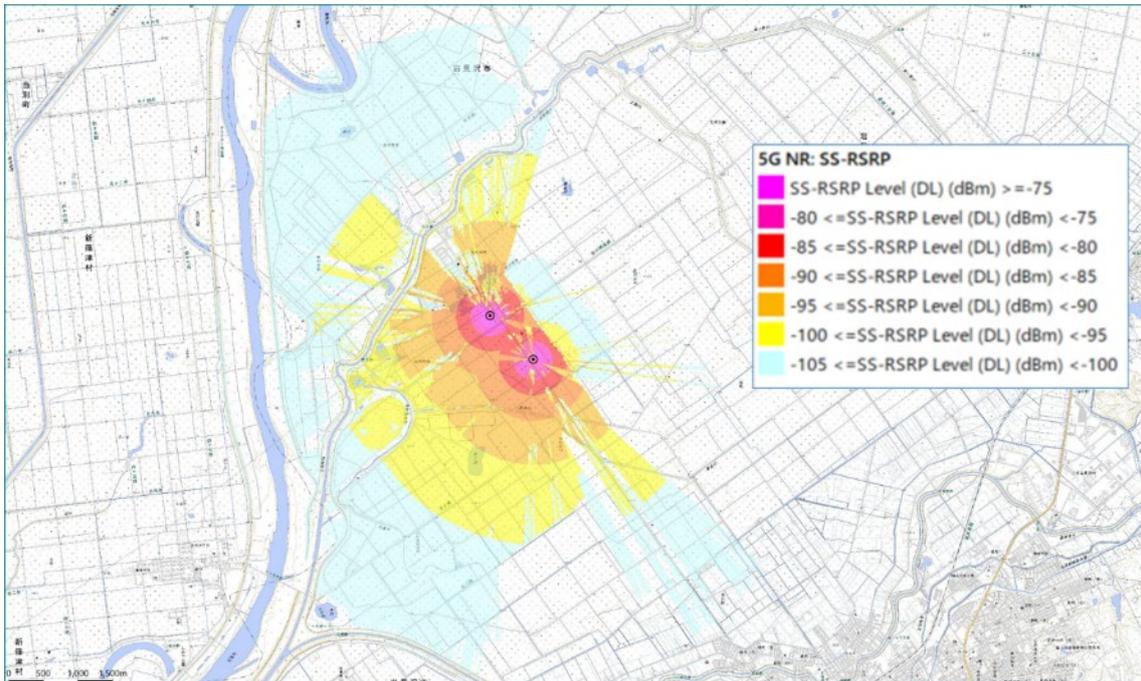
なおローカル 5G の屋外利用 (4.8-4.9GHz) においては、基地局からの送信電力は規定上 EIRP で 68dBm/100MHz (48dBm/MHz) 以下となっています。今回検証したローカル 5G 基地局は空中線電力：30dBm (1W)、空中線利得：8dBi で EIRP は 38dBm/100MHz でした。アンテナ水平面無指向は同じアンテナを使用するとして、空中線電力を上げたもの、例として空中線電力：46dBm (40W)、空中線利得：8dBi で EIRP は 54dBm/100MHz とした場合の A 基地局、B 基地局のエリアシミュレーション図を以下に示します。



国土地理院 (URL : <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成
 図 5.3.38 エリアシミュレーション図_空中線電力 40W 時 (A 基地局)



国土地理院 (URL : <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成
 図 5.3.39 エリアシミュレーション図_空中線電力 40W 時 (B 基地局)



国土地理院 (URL : <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成
 図 5.3.40 エリアシミュレーション図_空中線電力 40W 時 (A 基地局+B 基地局)

空中線電力を 40W に挙げた場合は A 基地局、B 基地局とも RSRP-105dBm をカバーエリアとした場合、今回の圃場のような比較的開放のフィールドでは、半径 2.5~3 km 程度がカバーエリアとなることが本検証で測定した RSRP 値を入れたエリアシミュレーションか

ら想定されました。このエリアであれば、公道・私道及び複数の圃場を広くカバーすることが可能です。

トラクターの自動運転のような利用においては、公道・私道及び複数の圃場（複数の土地所有者）を広くカバーすることが必要となります。現在のローカル 5G 制度では、このような利用は、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います。

今回の課題実証にて検証した一次産業の高度化等、地方創生に資する利用形態については、自治体協定等を結ぶことにより、公道等を含む広いエリアで移動通信が可能となるようなローカル 5G の制度改正が望まれます。

目標と測定結果を比較すると以下の結果となりました。

(3) 性能測定結果まとめ

目標と測定結果を比較すると以下の結果となりました。

表 5.3.14 性能測定結果

	目標値	測定結果	判定
カバレッジ	半径500m	半径600m	達成
スループット	上り50Mbps	上り40Mbps	未達成
遅延値	400msec (映像伝送システムの処理遅延を含む)	200msec (映像伝送システムの処理遅延を含む)	達成

カバーエリアについては面的測定の結果から、遮蔽物や反射するような建造物がない環境では 500m 付近でも 100dB を切る箇所が多く、目標を達成したと言えます。前述のとおり、送信出力を上げることでより広いカバーエリアも期待でき、広大な圃場での利用に適していると考えます。

スループットについては上りスループットが平均値 17.2Mbps、最大値 42.2Mbps となり、目標の 50Mbps を達成することができませんでした。開発ラボにて有線で測定した場合は平均値 68Mbps、最大値 115Mbps となっており、機器としては十分に目標を達成する性能があったはずですが、フィールドでの受信レベルの変動により十分な性能を確認することができなかったと考えられます。

遅延値については課題実証の結果から、システム全体で 160～200msec 程度であることがわかりました。ローカル 5G の遅延値としては約 17msec、LAN のエリアの処理遅延で約 145msec でした。システム全体で 400msec という目標を十分達成することができました。



図 5.3.41 無線区間遅延測定・スループット測定構成

表 5.3.15 無線区間遅延測定結果

試験NW	PING片側遅延 [ms]
L5G	17
C5G	42
BWA	27



図 5.3.42 LAN 区間遅延測定構成

表 5.3.16 LAN 区間遅延測定結果

解像度	エンコーダ処理遅延[msec]
4K	145.0
FHD	87.9

5.3.4 遮蔽物による影響測定について

遮蔽物による影響について、測定方法は以下のとおりです。

(1) 他のトラクターを遮蔽物とみなした測定の実施

複数のトラクターが動作している状況を想定し、測定用トラクターとは異なるトラクターを遮蔽物とみなして測定を行いました。遮蔽用のトラクターは課題実証で用いたトラクターもしくは同等の大きさのトラクターを用いました。



図 5.3.43 遮蔽物トラクター外観および寸法

測定方法は以下のとおりです。

- ・トラクターを遮蔽物とし、基地局と測定用トラクター間で移動させて測定しました。
- ・遮蔽物となるトラクターを以下 3 か所に移動させ測定を行いました。
 - ①遮蔽しない位置に設置した場合
 - ②基地局と測定用トラクターの間でトラクターが近接にある場合
 - ③基地局と測定用トラクターの間でトラクターが少し離れた場所にある場合
- ・いずれも測定用トラクターと遮蔽物トラクターの位置を記録しました。
- ・いずれもローカル 5G 端末を測定用トラクターの上部に設置した場合と、内部に設置した場合の 2 パターンで測定しました。
- ・測定内容としては受信電力、スループット、遅延値としました。

トラクター遮蔽及び家屋遮蔽の測定を行ったポイントは以下のとおりです。



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

図 5.3.44 遮蔽物試験測定ポイント

ローカル 5G 端末をトラクター上部に設置した場合と内部に設置した場合の設置風景は以下のとおりです。



図 5.3.45 ローカル 5G 端末のトラクター上部への設置風景



図 5.3.46 トラクター内部への設置風景

始めに、基準値として遮蔽物がない状態での測定を行いました。基地局からトラクターまでの距離は約 82m でした。

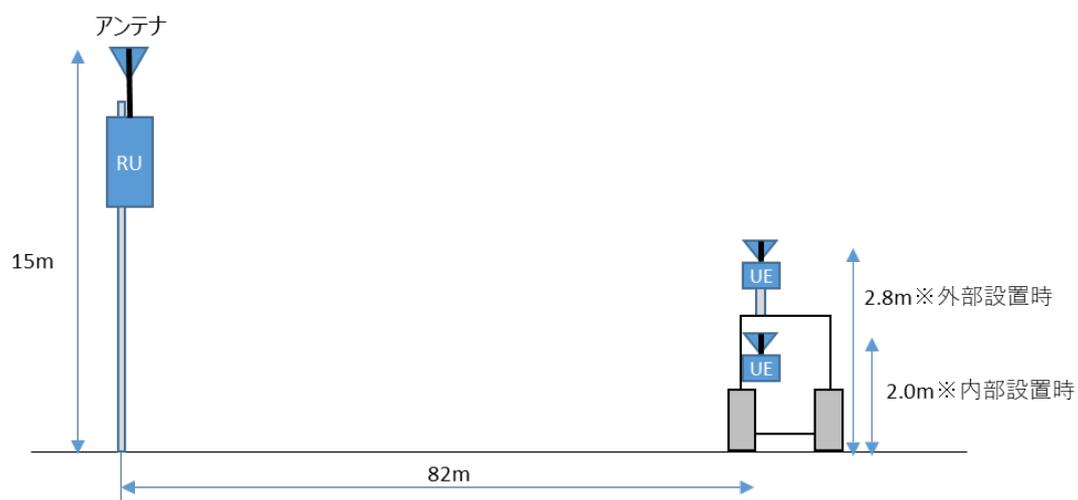


図 5.3.47 遮蔽物がない状態の測定イメージ



図 5.3.48 遮蔽物なしの測定風景

次にトラクターを近接に設置し、測定を行いました。

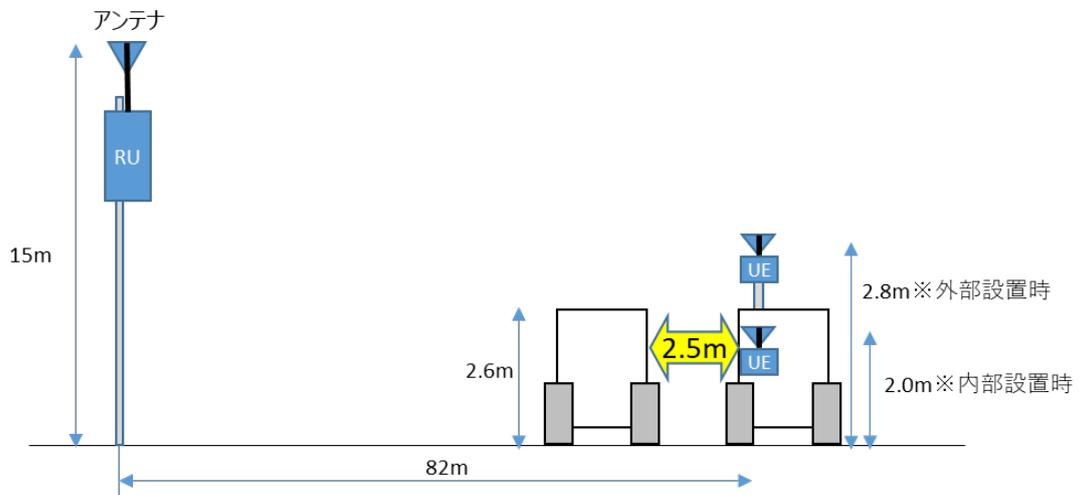


図 5.3.49 トラクターが近接 (2.5m) にある場合



図 5.3.50 遮蔽物のトラクターが近接にある状態 測定風景

最後にトラクターを少し離して設置した場合の測定を行った。

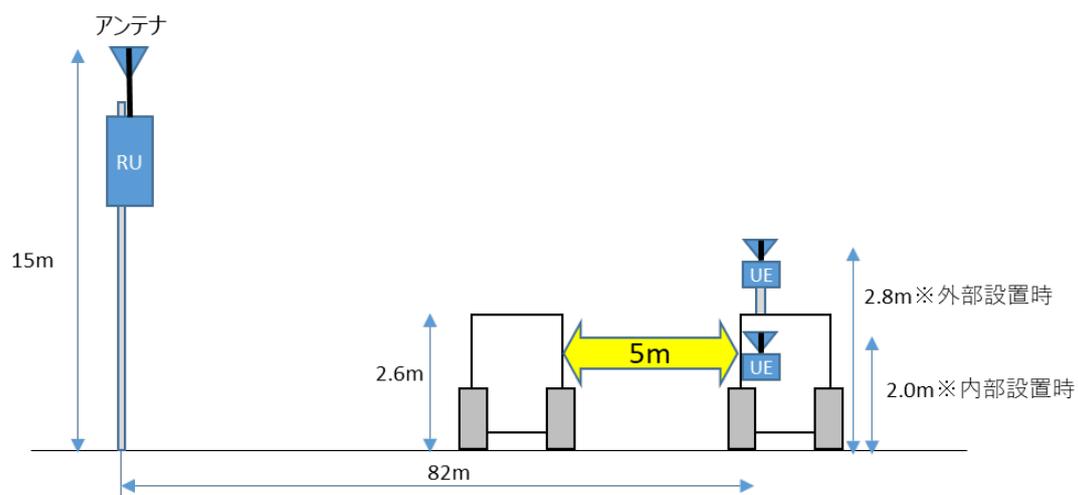


図 5.3.51 トラクターが少し離れた位置 (5m) にある場合



図 5.3.52 トラクターを少し離れて設置した場合の測定風景

(2) 家屋を遮蔽物とみなした測定の実施

圃場 C 側の基地局に隣接する家屋を遮蔽物とみなし、影響を測定します。測定方法は以下のとおりです。

- 家屋を遮蔽物とみなし、トラクターを家屋の影に移動させて測定しました。
- 基地局と測定用トラクターの間に家屋等遮蔽物がない状態での測定と、基地局と測定用トラクターの間に家屋がある状態の 2 パターン測定しました。
- いずれもローカル 5G 端末を測定用トラクターの上部に設置した場合と、内部に設置した場合の 2 パターンで測定しました。
- 測定内容としては受信電力、スループット、遅延値としました。

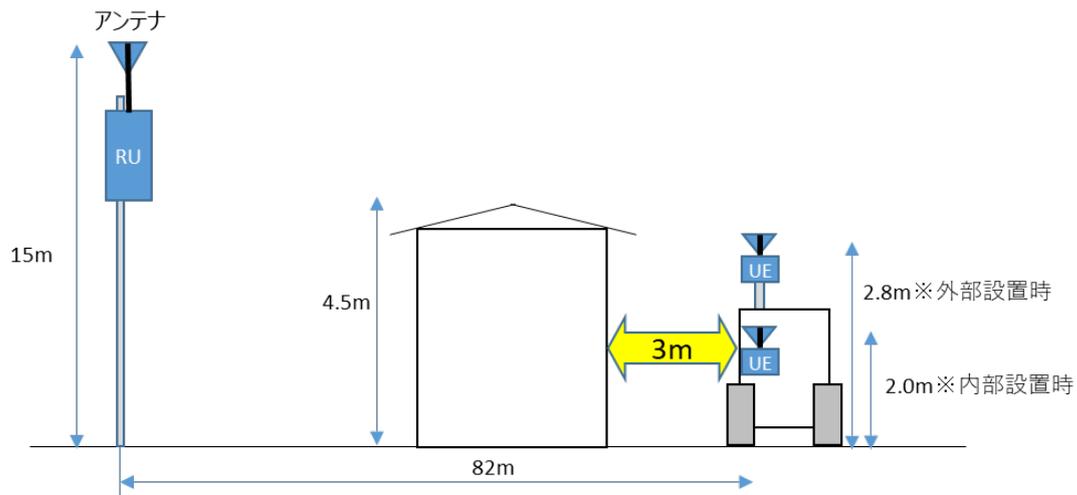


図 5.3.53 遮蔽物の家屋がある場合



図 5.3.54 遮蔽物の家屋ある状態 測定風景

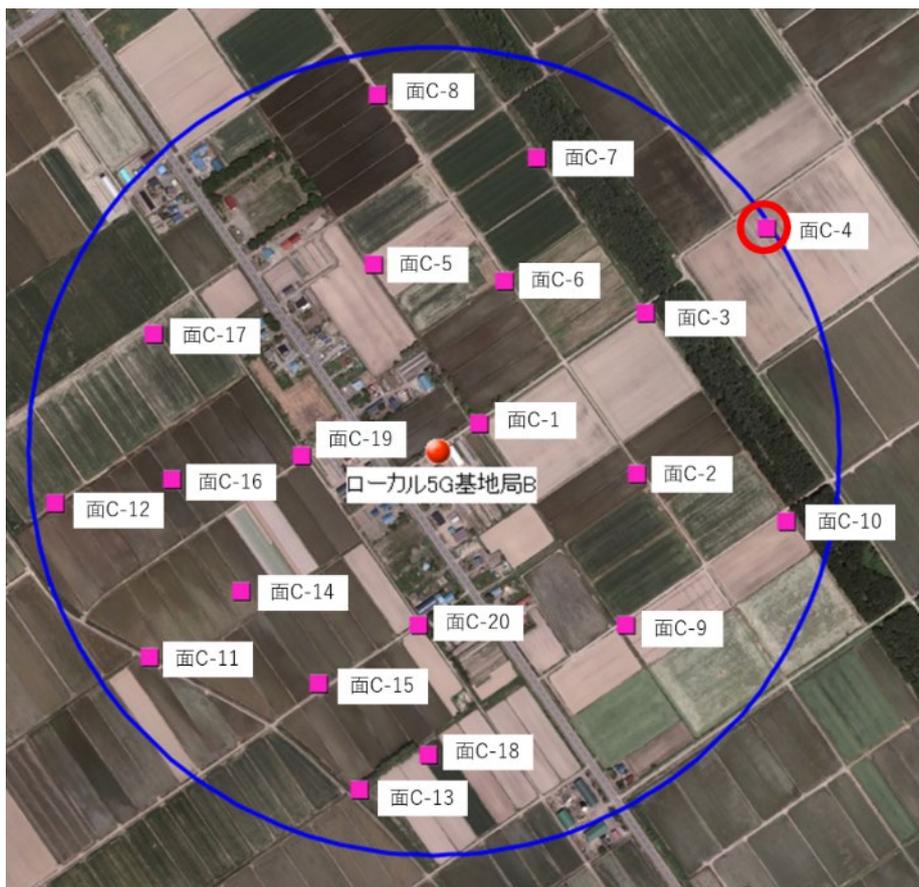
(3) 防風林を遮蔽物と見做した測定の実施

圃場 C 側には防風林があるため、遮蔽物とみなし、影響を測定しました。測定方法は以下のとおりです。なお、防風林の外側までは積雪 1.5m の除雪のされていない圃場でトラクターを移動させなかったため、作業員が移動しての測定としました。

- ・防風林の外側に作業員がローカル 5G 端末を持った状態で測定します。
- ・測定内容としては受信電力、スループット、遅延値とします。



图 5.3.55 防风林



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

図 5.3.56 測定ポイント

(4) 測定結果

測定結果は以下のとおりです。なお、防風林遮蔽については、遮蔽による受信電力の低下が著しく、ローカル 5G 端末と基地局間での疎通ができなかったため、スループット・伝送遅延時間についてはデータがありません。

表 5.3.17 下り RSRP、上り RSRI

移動局設置位置	遮蔽物	下りRSRP 【dBm】	上りRSSI 【dBm】
トラクター 上部	無し	-97.3	-68.2
	トラクター-2.5m	-98.4	-69.3
	トラクター-5m	-98.1	-69.0
	家屋	-100.2	-71.1
トラクター 内部	無し	-99.5	-70.4
	トラクター-2.5m	-106.7	-77.6
	トラクター-5m	-99.2	-70.1
	家屋	-105.8	-76.7

表 5.3.18 スループット、伝送遅延時間

移動局設置位置	遮蔽物	スループット 【Mbps】		伝送遅延時間 【ms】
		上り	下り	
トラクター 上部	無し	29.4	60.6	34.0
	トラクター-2.5m	30.3	42.4	34.0
	トラクター-5m	30.8	46.6	32.4
	家屋	13.4	43.7	33.6
トラクター 内部	無し	20.5	42.3	34.5
	トラクター-2.5m	6.8	38.2	37.1
	トラクター-5m	17.5	44.4	32.8
	家屋	10.0	43.9	32.5

(5) 考察

ローカル 5G 端末をトラクター上部に設置した場合と内部に設置した場合で、遮蔽物が無い状態と、遮蔽物がある状態の比較図を以下に示します。

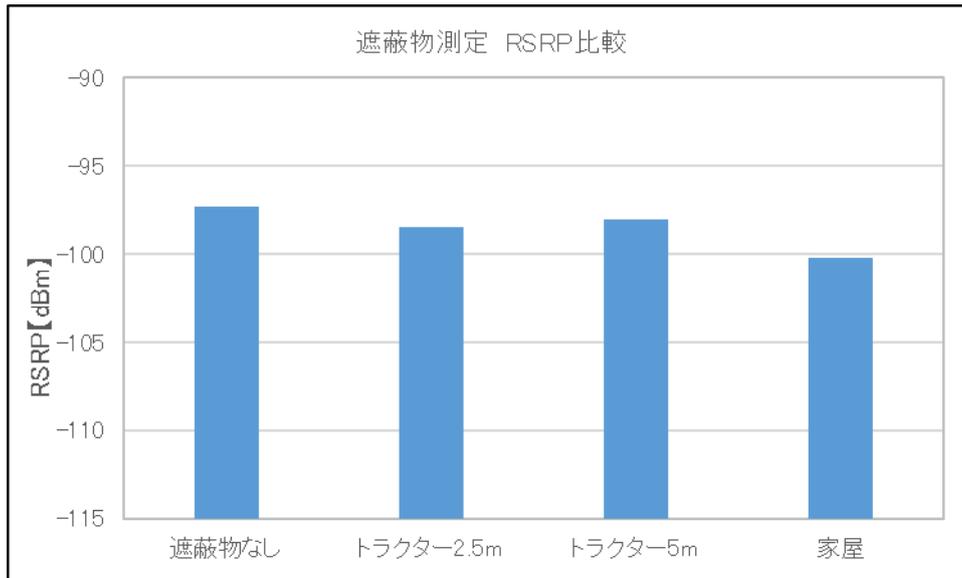


図 5.3.57 遮蔽物測定 RSRP 比較 (ローカル 5G 端末をトラクター上部に設置)

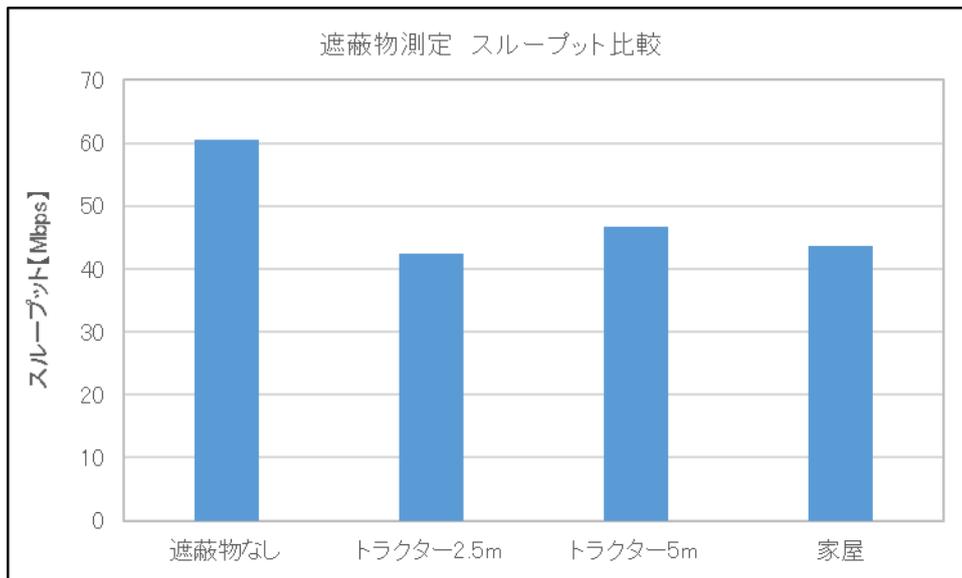


図 5.3.58 遮蔽物測定 下りスループット比較 (ローカル 5G 端末をトラクター上部に設置)

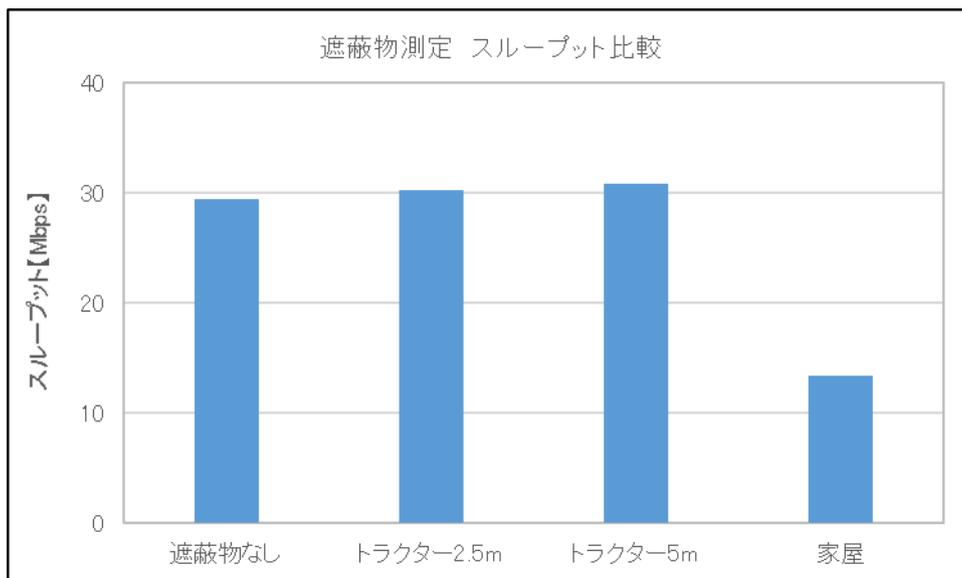


図 5.3.59 遮蔽物測定 上りスループット比較 (ローカル 5G 端末をトラクター上部に設置)

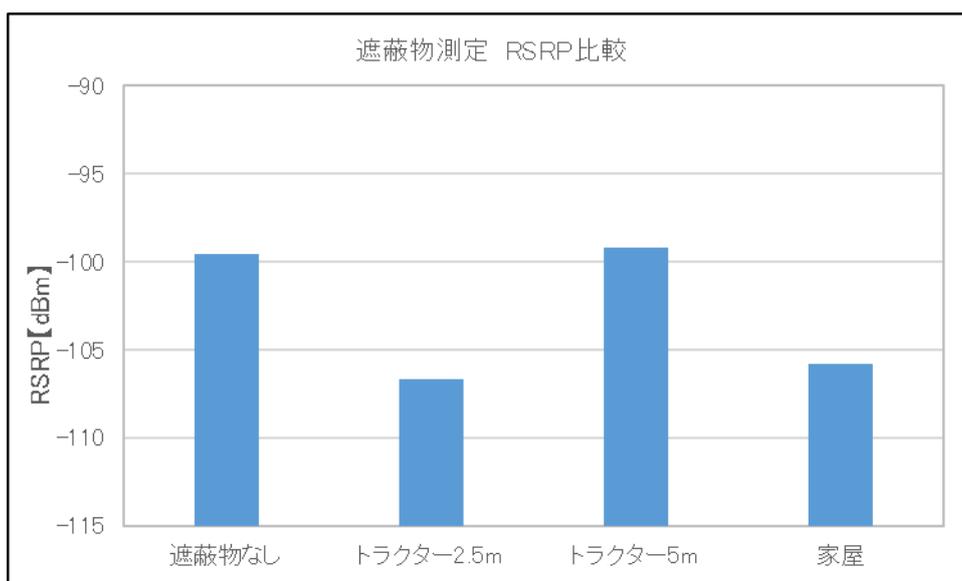


図 5.3.60 遮蔽物測定 RSRP 比較 (ローカル 5G 端末をトラクター内部に設置)

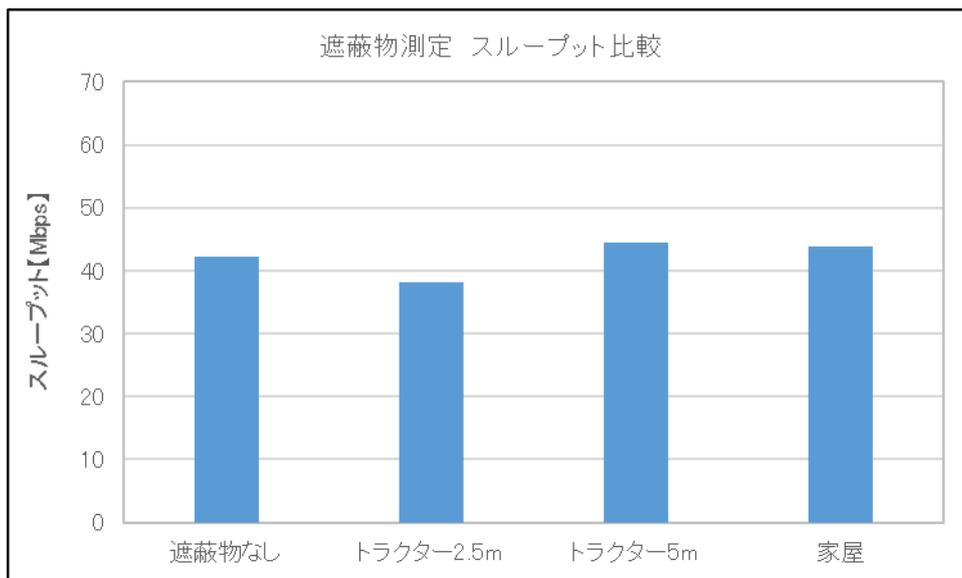


図 5.3.61 遮蔽物測定 下りスループット比較 (ローカル 5G 端末をトラクター内部に設置)

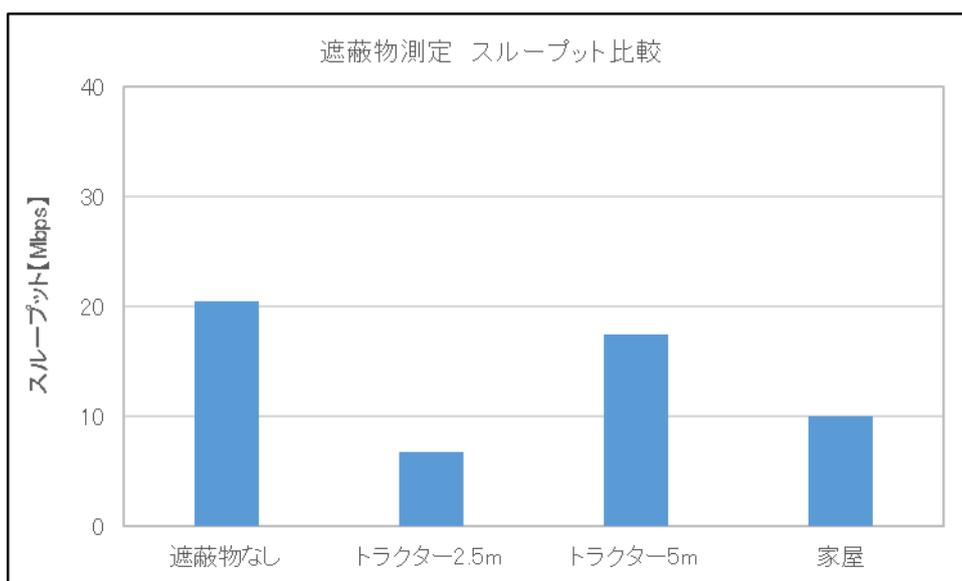


図 5.3.62 遮蔽物測定 上りスループット比較 (ローカル 5G 端末をトラクター内部に設置)

ローカル 5G 端末をトラクター上部に設置した場合、遮蔽物としてトラクターが近接及び少し離れた状態にある場合ともにほぼ影響はありませんでした。上部に設置した場合は、基地局とローカル 5G 端末とは見通し状態が保たれるためと思われます。一方、ローカル 5G 端末をトラクター内部に設置した場合はトラクターが近接に状態にある場合にて RSRP が下がり、下りスループットには大きな差がありませんでしたが、上りスループットは下がる結果となりました。これは、有線測定の結果より下りは RSRP が -100dBm 以下となるとスループットが大きく下がっていく傾向があるが、上りは -94dBm 以下になるとスループットが大きく下がっていく傾向があったためと考えられます。他のトラクターが遮蔽となることを考慮した場合、ローカル 5G 端末のアンテナはトラクター上部に設置することが望まし

いことがわかりました。

また遮蔽物として家屋がある場合には、ローカル 5G 端末を上部に設置した場合及び内部に設置した場合ともに RSRP が下がり、下りスループットには大きな差がありませんでしたが、上りスループットは下がる結果となりました。これは、有線測定の結果より下りは RSRP が-100dBm 以下となるとスループットが大きく下がっていく傾向があるが、上りは-94dBm 以下になるとスループットが大きく下がっていく傾向があったためと考えられます。但し、ローカル 5G 端末を上部に設置した場合の方が、RSRP、スループットとも高いため、遮蔽物として家屋がある場を考慮した場合も、ローカル 5G 端末のアンテナはトラスター上部に設置することが望ましいと言えます。

防風林による遮蔽の影響として、性能測定（面的測定）の結果を比較しました。防風林外側の C-4 のポイントを遮蔽影響ありのポイントとし、基地局からの距離が同程度の C-12 のポイントと比較しました。

表 5.3.19 防風林遮蔽結果

	遮蔽あり	遮蔽なし
測定ポイント	面C-4	面C-12
基地局からの距離	500m	472m
RSRP	-124.05dB	-97.43dB
上りスループット	取得なし	12.2Mbps
遅延値	取得なし	35.2msec

遮蔽物がない C-12 のポイントでは計算値と同程度の RSRP が得られているのに対し、C-4 では計算値よりも約 25dB 低い値となりました。防風林は約 5m に渡って密集して植えられているため、その枝葉によって電波が遮蔽されたためと考えられます。また、C-4 では受信電波が弱く、端末と基地局の接続が困難でスループット、遅延値の測定ができないほどでした防風林は冬季でも完全に葉が落ちるわけではないため、防風林を超えたエリアでの利用は現実的ではないと考えられ、別の基地局でカバーすることを推奨します。

5.3.5 類似調査との比較検討

測定結果については過去の総務省実証の類似の調査と比較しました。比較した調査は以下の3件です。

- ・ 2018年度実証 屋外において平均4.8Gbpsの超高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討
- ・ 2018年度実証 都市又はルーラルにおいて端末からの上り平均300Mbpsを超える超高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討
- ・ 2019年度実証 高速移動時において平均1Gbpsを超える高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討

いずれもSub6帯を100MHz幅で利用した実証であるため、本実証の性能測定結果と比較をします。具体的な比較内容は以下のとおりです。

「屋外において平均4.8Gbpsの超高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討」における「人口密集都市からルーラルまでの環境における5G(4.5GHz帯)の伝送性能評価及びパラメーターの検討」では4.75GHzの周波数を100MHz幅で使用し、TDD UL:DL比率を1:9や5:5に変更してのスループット、遅延値の測定を行っています。UL:DL=5:5に設定した場合の上りのスループットとして92.20~99.67Mbpsの結果を得ています。

「都市又はルーラルにおいて端末からの上り平均300Mbpsを超える超高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討」における「都市又はルーラル環境における4.5GHz帯等を用いた端末からの超高速通信に関する5Gの性能評価」でも4.5GHzを使用し、さらにTDD UL:DL比率を4:6、23:1、1:23と変更しています。UL:DL=4:6の場合、上りスループット最大値が98.92Mbps、中央値が87.52Mbpsで、UL:DL=23:1の場合、上りスループット最大値が239.2Mbps、中央値が179Mbpsという結果を得ています。

「高速移動時において平均1Gbpsを超える高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討」における「都市又はルーラル環境におけるユーザー端末が移動体中にある時の4.5GHz帯等を用いた高速通信に関する5Gの性能評価」でもTDD UL:DL比率を5:5の設定で上りのスループットとして71~102Mbpsの結果を得ています。

本実証の面的測定で両方の基地局から測定した上りのスループットの平均値は17.2Mbpsで、最大値は42.2Mbpsでした。有線測定では最大値として115Mbpsの結果も得られているため、本実証機器も「人口密集都市からルーラルまでの環境における5G(4.5GHz帯)の伝送性能評価及びパラメーターの検討」と「高速移動時において平均1Gbpsを超える高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討」における「都市又はルーラル環境におけるユーザー端末が移動体中にある時の4.5GHz帯等を用いた高速通信に関する5Gの性能評価」の検証機器と同等の性能であったと考えられます。本実証機器はフィールドではスループットが十分に得られませんでした。原因としては機器が試作機のため受信レベルの変動等に対し適応的にRANパラメータを変更するリンクアダプテーション機能等が実装されていなかったことが考えられます。

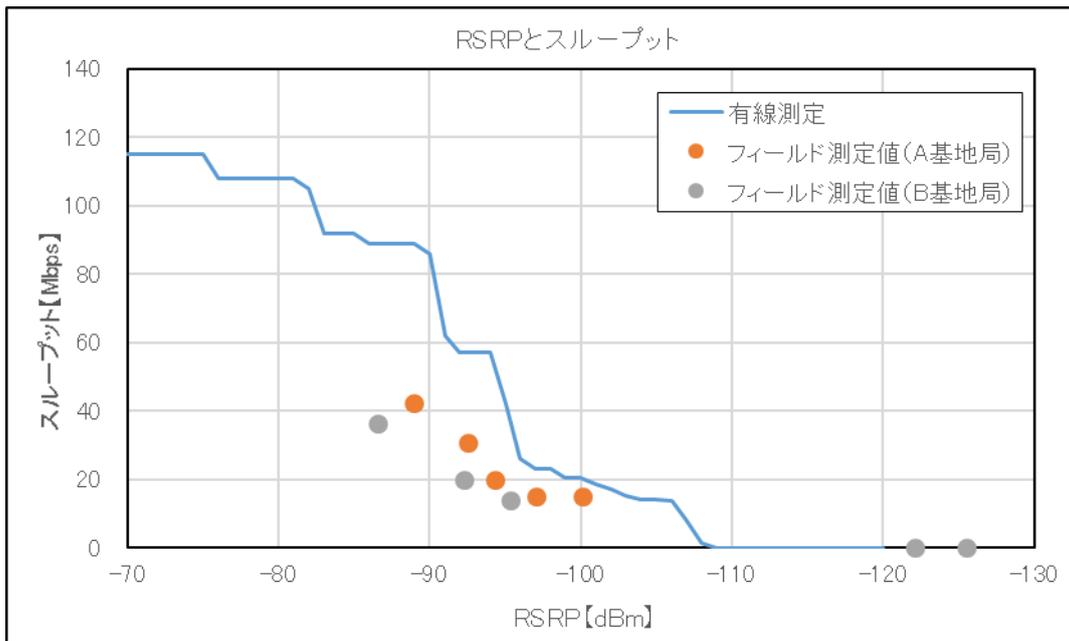


図 5.3.63 スループットと RSRP (TDD パターン 2 上り)

また、今回はトラクターにカメラを2台取り付け付けた場合を想定し、上りスループットの目標値を 50Mbps としましたが、複数台のトラクターを遠隔監視する場合はさらに上りスループットを向上させる必要があります。「都市又はルーラルにおいて端末からの上り平均 300Mbps を超える超高速通信を可能とする第 5 世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討」では UL:DL 比率を 4:6 にした場合と 23:1 にした場合とで上りのスループットが最大値で約 2.4 倍、中央値で約 2 倍に向上しています。本実証では準同期での性能測定を行いました。今後より多くのトラクターを同時運用するにあたっては、全国 MNO 及び近隣の他のローカル 5G の免許人との間で混信その他の妨害を与えないことについて合意が得られた場合は、非同期として UL スロットを増やし、上りスループットの改善を図ること、又合意が得られず本実証と同様に準同期とする場合は、画像のフレームレートやビットレート下げてトラクター1 台当たりの上り伝送データを少なくする等の対策をする必要があると考えます。

5.3.6 更なる技術的課題及び制度上の課題

性能測定結果及び考察より、本項における技術的課題を整理します。

(1) 遮蔽物の影響低下に向けた基地局、ローカル 5G 端末の設置高の検証

本実証の課題解決システムの一つであるトラクター等農機の自動運転は農業の効率化のために社会実装を目指しているものであり、1 つの圃場で複数農機が協調作業を行ったり、複数の圃場で複数農機が作業を行ったりすることが求められます。複数農機の協調作業を行う場合は本項で検証をしたように農機が互いに見通し上に移動し、遮蔽物となる状況が頻繁に起こり得ると考えられます。農機の自動運転というユースケースの特性上、遮蔽物による無線性能の低下は重大事故の原因になる可能性もありえます。

ローカル 5G 端末をトラクター上部に設置した場合、遮蔽物としてトラクターが近接及び少し離れた状態にある場合ともにほぼ影響はありませんでした。上部に設置した場合は、基地局とローカル 5G 端末とは見通し状態が保たれるためと思われれます。一方、ローカル 5G 端末をトラクター内部に設置した場合はトラクターが近接に状態にある場合において RSRP が下がり、上りスループットは下がる結果となりました。他のトラクターが遮蔽となることを考慮した場合、ローカル 5G 端末のアンテナはトラクター上部に設置することが望ましいと考えます。横展開していく際は、本実証のようにアンテナ一体型の端末の場合は、防水加工のされた製品であることを確認の上、トラクター上部に設置することを推奨します。アンテナと無線機が分離している端末の場合は、アンテナをトラクター上部に取り付け、無線機部分は内部に設置することが可能です。

ただし、遮蔽物として家屋がある場合には、ローカル 5G 端末を上部に設置した場合でも RSRP も上りスループットも下がる結果となりました。今回の測定は家屋とトラクターの距離が 3m と比較的近接状態であったと言えますが、トラクターが圃場間を移動しているときには同様の近接状態が発生することもあり得ます。家屋遮蔽に対する解決策として、圃場間の移動にはキャリア 5G や地域 BWA などの別の無線システムを利用することも選択肢の一つとして考えられますが、ローカル 5G 基地局のアンテナを高くし、端末との見通しを確保しやすくすることも考えられます。合わせて、ローカル 5G 端末の設置位置も高くすることで、より見通しを確保しやすくなることも考えられますが、道路交通法では一般道路での車両の高さ制限は 3.8m と定められています。また、ローカル 5G 端末の高さを取るためにはトラクター上部に 1m 程度の支柱を取り付けるなどの造作が必要となりますが、トラクターの作業中の振動等に対する強度、安定性の確保にも課題があります。そのため、家屋等の遮蔽に対する技術的課題としては基地局及びローカル 5G 端末の設置高を調整し、最適な高さを検討することが必要となります。

また、防風林については遮蔽影響が多いため、防風林を境界とし、別の基地局を設置することを推奨します。

(2) 他者土地における移動通信の制限について

ローカル 5G ガイドラインでは、他者土地におけるローカル 5G の利用について「他者の建物又は土地等での利用（当該建物又は土地の所有者等からシステム構築を依頼されている場合を除く。）については、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）の利用のみに限定する」と定められています。本実証のユースケースの実現のためには圃場

間の移動の公道でもローカル 5G を利用した遠隔監視を行うことがあり得ます。性能測定の面的測定では目標値を上回る半径 600m のカバレッジも確認できており、公道も含めた広範囲のカバーが期待できます。そのため、他者土地における移動通信の制限に条件を付けて移動通信を許可するよう制度の見直しを求めます。

5.4 ローカル 5G のエリア構築やシステム構成の検証等

本項ではキャリア 5G とローカル 5G の干渉影響について検証した内容をご報告いたします。

課題実証ではキャリア 5G、ローカル 5G、LPWA と複数の無線ネットワークを利用して様々な検証を行いました。その中でも特にキャリア 5G とローカル 5G は利用するエリアもほぼ同じであったため、基地局を隣接して設置することとなりました。ローカル 5G の免許申請を行う段階でキャリア 5G のサービス提供者である NTT ドコモと干渉調整を行ったうえで本検証を行いました。

本実証では TDD の UL 比率を向上させた準同期での検証を行います。同期 (TDD パターン 1)、準同期 (TDD パターン 2) のフレーム構成図を以下に示します。

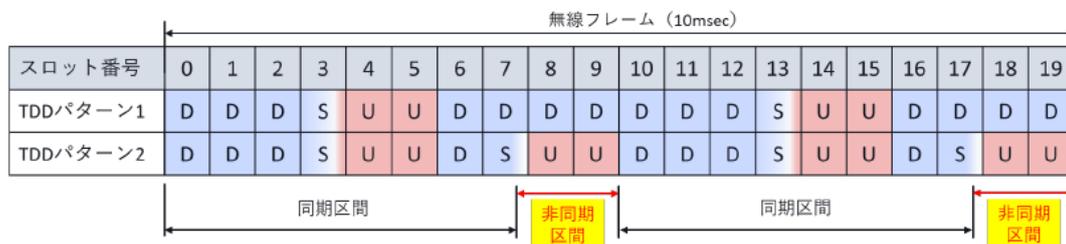


図 5.4.1 TDD パターン

ローカル 5G を TDD パターン 1 で動作させた場合は、キャリア 5G と同期運用となることから、基地局間干渉・ローカル 5G 端末間干渉は生じないため、キャリア 5G 被干渉、ローカル 5G 被干渉ともにこの状態を干渉が無い状態として測定を実施しました。

ローカル 5G を TDD パターン 2 で動作させた場合は、スロット番号 8,9 及び 18,19 でキャリア 5G は DL スロット、ローカル 5G は UL スロットとなることから、キャリア 5G 被干渉では下り通信への影響、ローカル 5G 被干渉では上り通信への影響を検証しました。

検証にあたっての測定項目はキャリア 5G の下りのスループット及び遅延値、ローカル 5G の上りのスループット及び遅延値としました。干渉による性能の低下を測定することが目的であるため、一般的なネットワークの性能評価指標であるスループットと遅延値のデータを測定しました。

測定エリアは圃場 A 側で、キャリア 5G 基地局、ローカル 5G 基地局の位置関係は以下のとおりです。基地局間は約 100m の隔離距離があります。



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

図 5.4.2 圃場 A におけるキャリア 5G 基地局とローカル 5G 基地局位置

『非公開情報を含むため一部文章を削除』

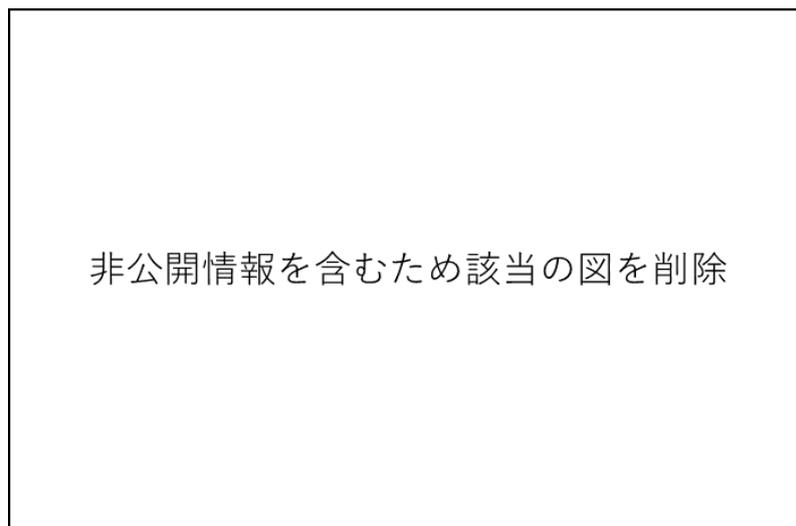


図 5.4.3 キャリア 5G 基地局、ローカル 5G 基地局位置関係

『非公開情報を含むため一部文章を削除』

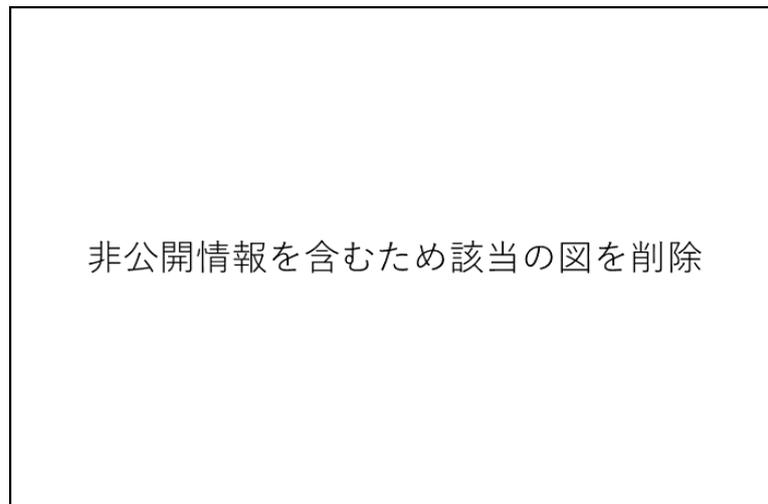


図 5.4.4 キャリア 5G アンテナ送信方向

5.4.1 キャリア 5G 被干渉影響測定

測定位置については 10 か所程度とし、計測方法は以下のとおりとしました。

- ・ キャリア 5G 強電界位置にキャリア 5G 端末を設置し、ローカル 5G を TDD パターン 1 で運用した場合
- ・ キャリア 5G 強電界位置にキャリア 5G 端末を設置し、ローカル 5G を TDD パターン 2 で運用し、ローカル 5G 端末をキャリア 5G 端末から 1m/10m/30m の位置に設置した場合
- ・ キャリア 5G 中電界位置にキャリア 5G 端末を設置し、ローカル 5G を TDD パターン 1 で運用した場合
- ・ キャリア 5G 中電界位置にキャリア 5G 端末を設置し、ローカル 5G を TDD パターン 2 で運用し、ローカル 5G 端末をキャリア 5G 端末から 1m/10m/30m の位置に設置した場合
- ・ キャリア 5G 弱電界位置にキャリア 5G 端末を設置し、ローカル 5G を TDD パターン 1 で運用した場合
- ・ キャリア 5G 弱電界位置にキャリア 5G 端末を設置し、ローカル 5G を TDD パターン 2 で運用し、ローカル 5G 端末をキャリア 5G 端末から 1m/10m/30m の位置に設置した場合
- ・ キャリア 5G のスループットの測定にはキャリア 5G 対応スマートフォン型端末のアプリにて測定を行いました。
- ・ キャリア 5G の伝送遅延値の測定にはキャリア 5G 対応モバイルルーター型端末を用い、測定用 PC を接続して Ping にて測定を行いました。対抗拠点は遠隔監視センター内の ONU 下部に測定用 PC を設置しました。
- ・ キャリア 5G の受信電力はスマートフォン型端末のサービスモードで測定しました。キャリア 5G 受信電力 (RSRP) は-90dB を強、100dB を中、110dB を弱としました。受信電力強のポイントを C1,C2、中のポイントを C3,C4、弱のポイントを C5,C6 とし、各強度 2 ポイントで測定を行いました。



図 5.4.1 アプリケーションでのキャリア 5G スループット測定画面イメージ

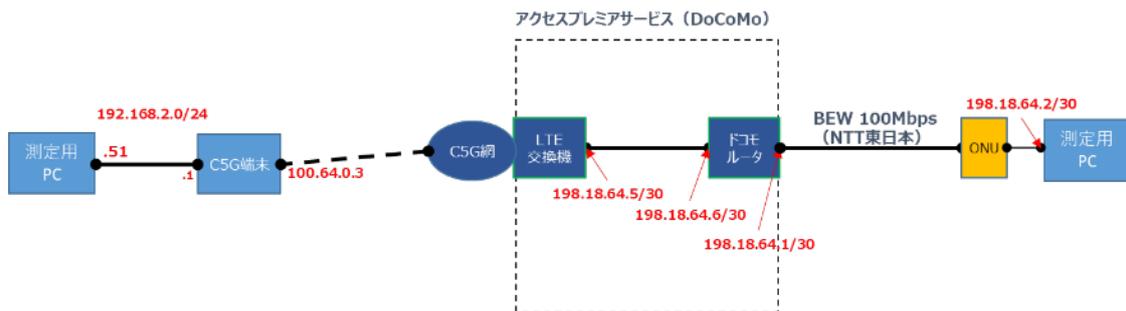


図 5.4.2 キャリア 5G の遅延値測定経路

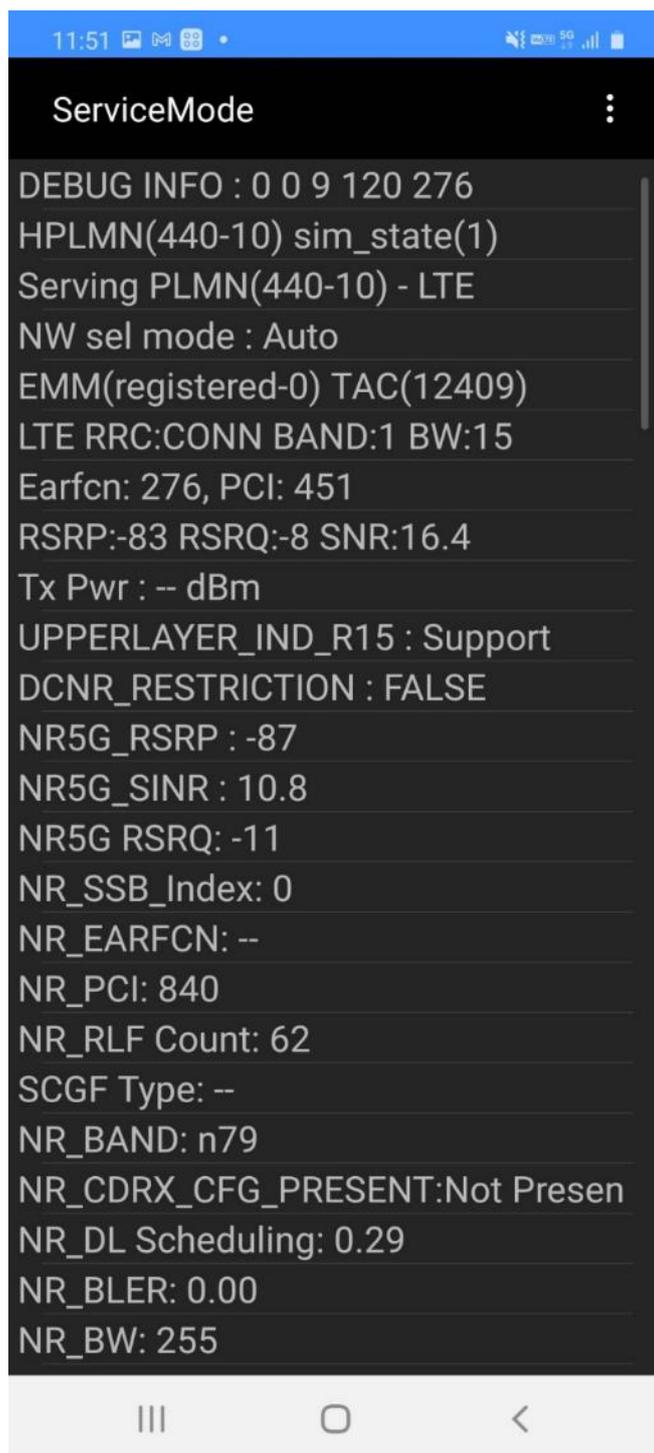


図 5.4.3 キャリア 5G RSRP 確認画面イメージ

キャリア 5G 被干渉測定として、キャリア 5G とローカル 5G が同期運用となる TDD パターン 1 にローカル 5G を設定し、キャリア 5G の下り受信の測定を行いました。これを干渉が無い状態とします。次にキャリア 5G とローカル 5G が準同期運用となる TDD パターン 2 にローカル 5G を設定し、キャリア 5G 下り受信の測定を行い、干渉が無い状態（同期運用）と比較検証を実施しました。

最初にキャリア 5G 端末を RSRP 強度高の C1,C2、RSRP 強度中の C3,C4、RSRP 強度低の C5,C6 の各地点に設置し、それぞれの下りスループットを測定しました。この測定値を干渉が無い状態とします。

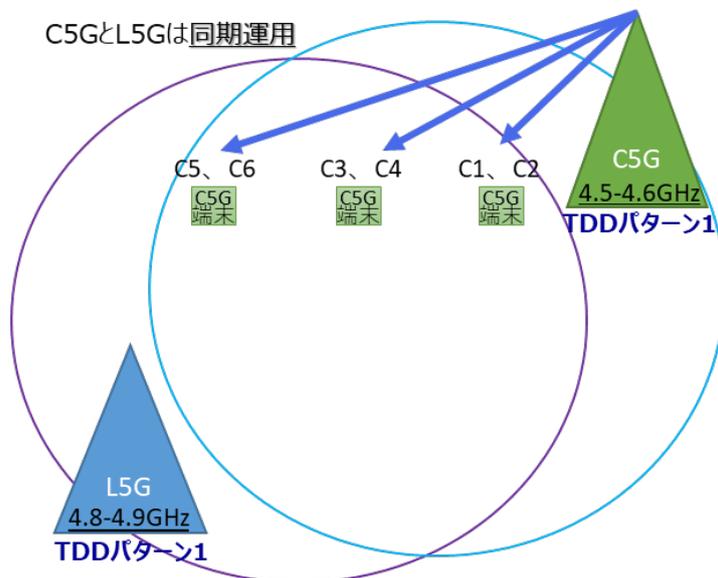


図 5.4.4 TDD パターン 1、ローカル 5G 端末無しでの測定イメージ

次に準同期の検証方法を示します。ローカル 5G を TDD パターン 2 で運用し、キャリア 5G の下りスループットを測定しました。同期運用時と同じく、キャリア 5G 端末を RSRP 強度高の C1,C2、RSRP 強度中の C3,C4、RSRP 強度低の C5,C6 の各地点に設置し、その上でローカル 5G 端末をキャリア 5G 端末に 1m、10m 及び 30m と近づけて、それぞれキャリア 5G の下りスループットを測定しました。本測定値と干渉が無い状態の測定値との比較検証を実施しました。

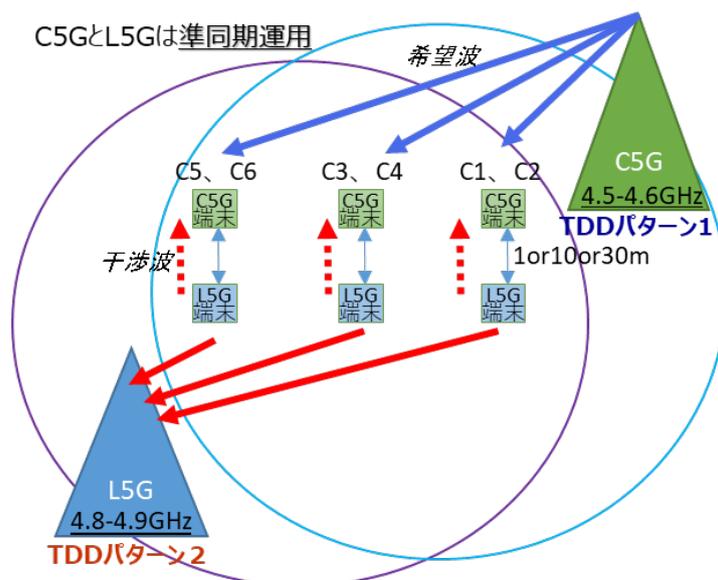


図 5.4.5 TDD パターン 1、ローカル 5G 設置での測定イメージ

測定したパターンを整理すると以下のとおりです。

表 5.4.1 キャリア 5G 被干渉測定 測定組合せ

L5G TDDパターン	キャリア 5G 移動局位置	キャリア5G 下り受信電力	ローカル5G 移動局との距離
TDDパターン1 同期	C1	強	—
	C2		
	C3	中	
	C4		
	C5	弱	
	C6		
TDDパターン2 準同期	C1	強	1m
	C1		10m
	C1		30m
	C2		1m
	C2		10m
	C2		30m
	C3	中	1m
	C3		10m
	C3		30m
	C4		1m
	C4		10m
	C4		30m
	C5	弱	1m
	C5		10m
	C5		30m
	C6		1m
	C6		10m
	C6		30m



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

図 5.4.6 キャリア 5G 端末測定ポイント



図 5.4.7 キャリア 5G 被干渉 同期運用時 測定風景 (いずれもキャリア 5G 端末)



図 5.4.8 キャリア 5G 被干渉 準同期運用時 (1m 離隔) 測定風景



図 5.4.9 キャリア 5G 被干渉 準同期運用時 (10m 離隔) 測定風景



図 5.4.10 キャリア 5G 被干渉 準同期運用時 (30m 離隔) 測定風景

(1) 測定結果

測定結果は以下のとおりです。

表 5.4.2 下り RSRP、下りスループット (キャリア 5G)

位置	下りスループット【Mbps】			
	L5G同期	L5G準同期		
		1m離隔	10m離隔	30m離隔
C-1	591.9	506.5	452.0	555.7
C-2	569.3	617.0	611.0	636.0
C-3	367.8	313.4	347.4	366.6
C-4	405.4	352.3	390.7	387.0
C-5	213.7	214.9	206.6	196.2
C-6	200.0	222.5	223.9	217.8

表 5.4.3 下り RSRP (キャリア 5G)

位置	下り RSRP 【dBm】			
	L5G同期	L5G準同期		
		1m 隔離	10m 隔離	30m 隔離
C-1	-88.4	-91	-89.7	-77.3
C-2	-88.1	-91.5	-91.1	-89.9
C-3	-100.7	-101.1	-99.9	-99.2
C-4	-100	-103.3	-100.8	-101
C-5	-110	-111.4	-109.5	-110.1
C-6	-110.5	-109.5	-108.5	-110.5

表 5.4.4 伝送遅延時間 (キャリア 5G)

位置	伝送遅延時間 【ms】			
	L5G同期	L5G準同期		
		1m 離隔	10m 離隔	30m 離隔
C-1	66.5	60.9	63.3	73.4
C-2	62.6	61.7	63.9	72.8
C-3	66.6	74.4	71.0	74.6
C-4	67.3	72.8	68.0	73.6
C-5	80.8	82.7	80.8	76.3
C-6	77.9	84.3	80.3	79.7

(2) 考察

ローカル 5G を同期、準同期とした場合のキャリア 5G 下りスループットの比較図を以下に示します。

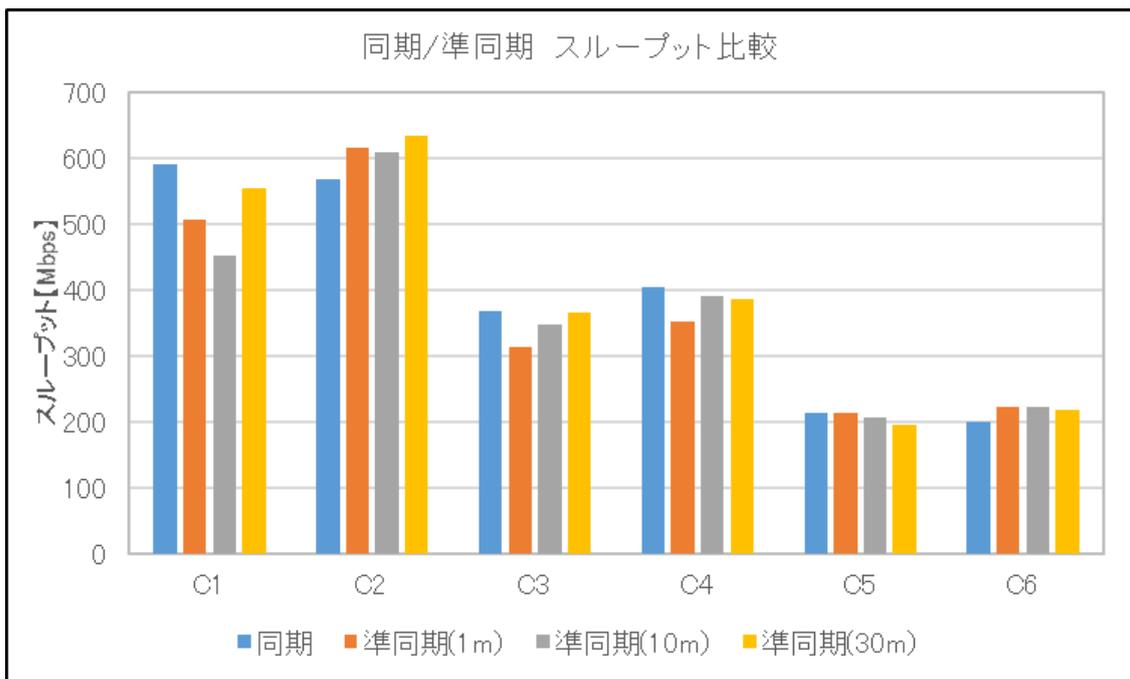


図 5.4.11 同期と準同期下りスループット比較 (キャリア 5G)

RSRP 強度高の C1,C2、RSRP 強度中の C3,C4、RSRP 強度低の C5,C6 のいずれの地点でも、同期運用と比較し準同期運用にてローカル 5G の端末を 1m、10m、30m と近づけた場合も、スループットに大きな影響は見られませんでした。

ローカル 5G (4.8-4.9GHz) を準同期運用にて屋外利用することに関して、「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)」及び「ローカル 5G 導入に関するガイドライン (令和元年 12 月 (令和 2 年 12 月最終改定))」では、「ローカル 5G に準同期運用を導入することでキャリア 5G (全国 MNO) との事前の運用調整や干渉調整を不要とすることが可能」とされていますが、本測定結果からはその内容が実証されたと言えます。

5.4.2 ローカル 5G 被干渉影響測定

測定位置については 10 か所程度とし、測定方法は以下のとおりとします。

- ・ ローカル 5G 端末をローカル 5G 基地局から約 100m 離れた位置に設置し、ローカル 5G を TDD パターン 1 で運用した場合
- ・ ローカル 5G 端末をローカル 5G 基地局から約 100m 離れた位置に設置し、ローカル 5G を TDD パターン 2 で運用した場合
- ・ ローカル 5G 端末をローカル 5G 基地局から約 200m 離れた位置に設置し、ローカル 5G を TDD パターン 1 で運用した場合
- ・ ローカル 5G 端末をローカル 5G 基地局から約 200m 離れた位置に設置し、ローカル 5G を TDD パターン 2 で運用した場合
- ・ ローカル 5G 端末をローカル 5G 基地局から約 300m 離れた位置に設置し、ローカル 5G を TDD パターン 1 で運用した場合
- ・ ローカル 5G 端末をローカル 5G 基地局から約 300m 離れた位置に設置し、ローカル 5G を TDD パターン 2 で運用した場合
- ・ 測定項目はスループット、遅延値とし、測定方法は 5.3.1 ローカル 5G の性能評価にて記載した通りとします。

まず、ローカル 5G を TDD パターン 1 で運用し、ローカル 5G 端末を基地局からの距離 100m の L1,L2、基地局からの距離 300m の L3,L4、基地局からの距離 500m の L5,L6 の各地点に設置し、それぞれローカル 5G の上りスループットを測定しました。この測定値を干渉が無い状態としました。

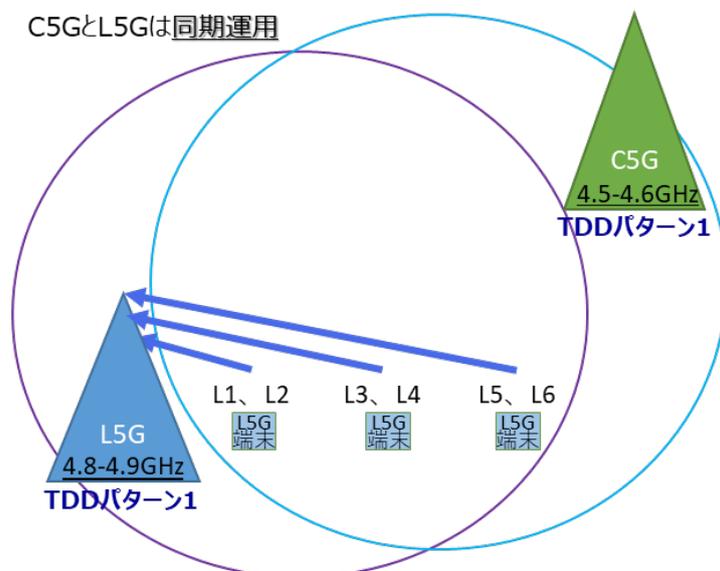


図 5.4.12 TDD パターン 1 での上り通信干渉試験イメージ

次に、ローカル 5G を TDD パターン 2 で運用し、ローカル 5G 端末を基地局からの距離 100m の L1,L2、基地局からの距離 300m の L3,L4、基地局からの距離 500m の L5,L6

の各地点に設置し、それぞれローカル 5G の上りスループットを測定しました。

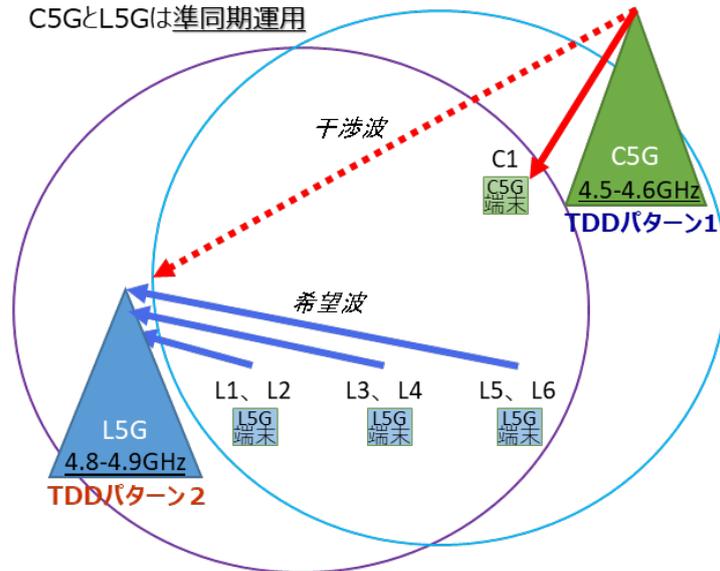
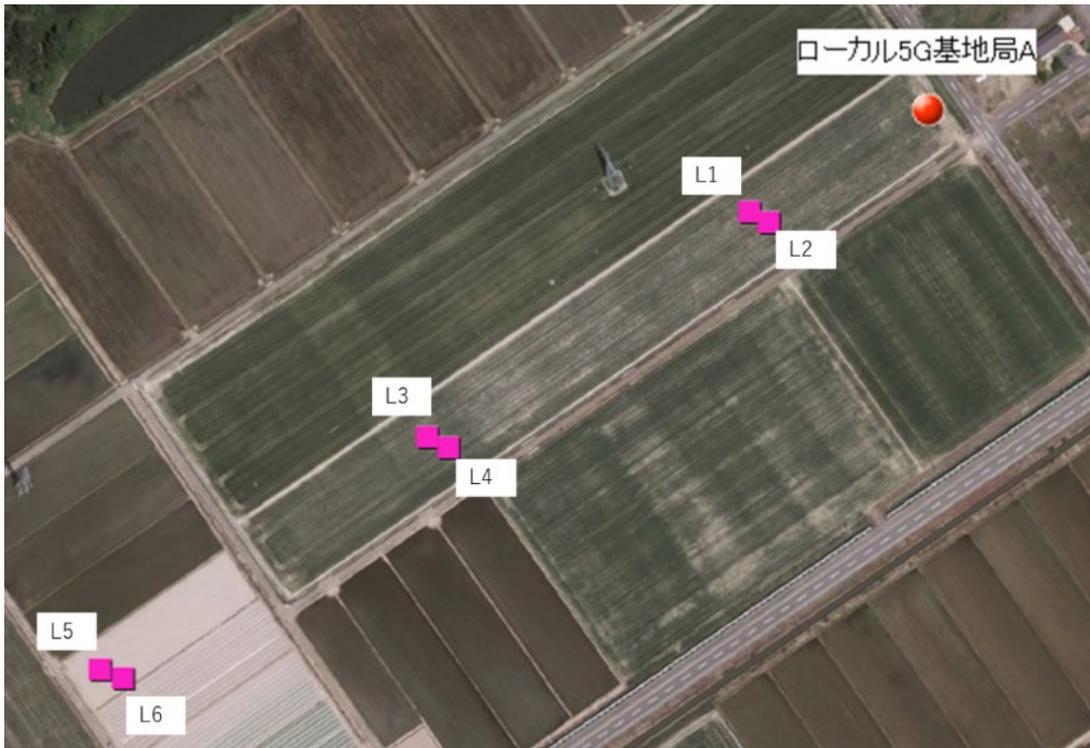


図 5.4.13 TDD パターン 2 での上り通信干渉試験イメージ

測定パターンを整理すると以下のとおりとなります。

表 5.4.5 ローカル 5G 被干渉影響測定パターン

L5G TDDパターン	ローカル 5G 移動局位置	キャリア5G 下り送信	ローカル5G 基地局との距離
TDDパターン1 同期	L1	—	100m
	L2		
	L3		300m
	L4		
	L5		
	L6		
TDDパターン2 準同期	L1	有	100m
	L2		
	L3		300m
	L4		
	L5		
	L6		



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

図 5.4.14 ローカル 5G 被干渉 測定箇所



図 5.4.15 ローカル被干渉 (100m 地点) 測定風景



図 5.4.16 ローカル被干渉測定（キャリア 5G 下りローカル 5G 端末受信） 測定風景

(1) 測定結果

測定結果は以下のとおりです。

表 5.4.6 上り RSSI、上りスループット、伝送遅延時間(ローカル 5G)

位置	上りRSSI 【dBm】	上りスループット【Mbps】		伝送遅延時間 【ms】
		L5G同期	L5G準同期	
L-1	-60.1	14.4	30.7	36.7
L-2	-55.6	14.0	30.8	35.6
L-3	-66.6	10.2	20.5	35.1
L-4	-67.9	10.1	20.5	35.2
L-5	-70.8	6.1	12.8	34.8
L-6	-68.7	6.8	13.0	35.1

(2) 考察

ローカル 5G を同期、準同期とした場合のローカル 5G 上りスループットの比較図を以下に示します。

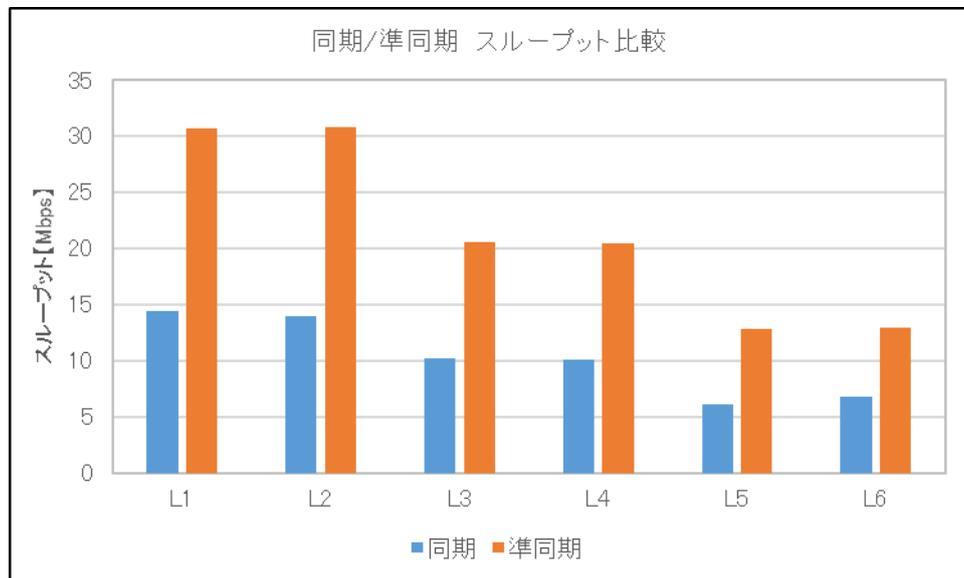


図 5.4.17 同期と準同期上りスループット比較 (ローカル 5G)

同期運用時 (TDD パターン 1) の UL スロットは 1 無線フレーム中 4 スロットであるのに対し、準同期運用時 (TDD パターン 2) の UL スロットは 1 無線フレーム中 8 スロットとなるため、干渉等の影響が無い場合の準同期運用時 (TDD パターン 2) の上りスループットは同期運用時 (TDD パターン 1) と比較し、理論上 2 倍となります。

今回のフィールドではローカル 5G 基地局とキャリア 5G 基地局の離隔は約 50m と近接に設置されています。この条件において準同期運用時 (TDD パターン 2) の上りスループットはローカル 5G の端末を基地局からの距離 100m の L1,L2、基地局からの距離 300m の L3,L4、基地局からの距離 500m の L5,L6 の各地点において、いずれも同期運用時 (TDD パターン 1) と比較し、おおよそ 2 倍となりました。

以上のことからローカル 5G (4.8-4.9GHz) を準同期運用にて屋外利用する場合のキャリア 5G との共用に関してはローカル 5G 被干渉を考慮した場合も共用可能である事が本測定結果から実証されたと考えます。

さらに、ローカル 5G ガイドライン第 2 版では準同期方式の免許申請については、全国 MNO 事前の干渉調整を省略することができるとされています。ガイドライン第一版では、ローカル 5G の利用エリアに全国 MNO のサービスが提供されている場合には干渉調整を行うもの、とされていました。全国 MNO との干渉調整を行う場合、各キャリアが設けている干渉調整窓口に連絡し、干渉調整に必要な情報 (中心周波数やアンテナ利得等) を提示します。全国 MNO にて干渉影響を計算し、問題がなければ合意書を取り交わします。干渉調整は免許申請を行うまでに実施しておく必要があります。ガイドライン第二版では TDD パターン同期/準同期運用の場合は一連の干渉調整が省略可とされているため、この規定に則り、準同期運用を推奨します。

5.4.3 更なる技術課題

Sub6 の屋外利用可能な周波数帯は 4.8-4.9GHz に限られているため、上り下りを合計したスループットには上限があります。本実証ではトラクター1 台に高精細カメラ 2 台を取り付けた場合を想定して目標スループットを算出しましたが、今後は複数台のトラクターを遠隔監視することも十分考えられます。そのため、上りのスループットの更なる改善のために UL スロットの比率を上げた非同期運用での検証も必要であると考えます。本ユースケースはローカル 5G 以外の無線ネットワークと組み合わせて運用することも視野に入れているため、UL の比率をどの程度にすれば全国 MNO 等他の無線ネットワークと干渉を起こさずに運用が可能か検証する必要があると考えます。

5.5 その他ローカル 5G に関する技術実証

本項ではローカル 5G システムで同一周波数帯を送信する基地局間の干渉影響について検証した内容をご報告します。

本実証では屋外での利用かつ、点在する圃場をカバーするために Sub6 帯の 4.8-4.9GHz を選定しました。本実証では 2 局の基地局を設置し、一部のエリアでは 2 局のカバーエリアが重複しています。ローカル 5G で尚且つ Sub6 帯を屋外利用の場合、4.8-4.9GHz しか選択肢がないため、基地局毎に異なる周波数帯を割り当てることは困難です。端末が複数の基地局の電波が届く位置にいる場合には、通信をしている基地局以外の基地局の電波は干渉波となることが考えられます。よってその影響度の評価を行い、どの程度影響を受けるのか測定しました。

5.5.1 ローカル 5G 基地局間干渉影響測定

計測方法は以下のとおりです。

- ・測定は以下の 3 パターンで各パターン 3 か所ずつ測定を行います。
- ・DU 比 0dB で片方の基地局を停波している状態
- ・DU 比 0dB で両方の基地局が送波している状態
- ・DU 比 10dB で両方の基地局が送波している状態
- ・測定内容としては受信電力、スループット、遅延値とします。測定方法は 5.3.1 ローカル 5G の性能評価にて記載した通りとします。
- ・ローカル 5G は TDD パターン 2 (準同期) で運用します。

ローカル 5G 端末を B 基地局からの電波の強度 (RSRP) と A 基地局からの電波の強度 (RSRP) がほぼ同一 (DU 比 0dB 程度) の地点となる 3 箇所 (L1、L2、L3 地点) に設置し、A 基地局の基地局を停波して B 基地局からの下り受信性能を測定しました。この測定値を干渉が無い状態とします。

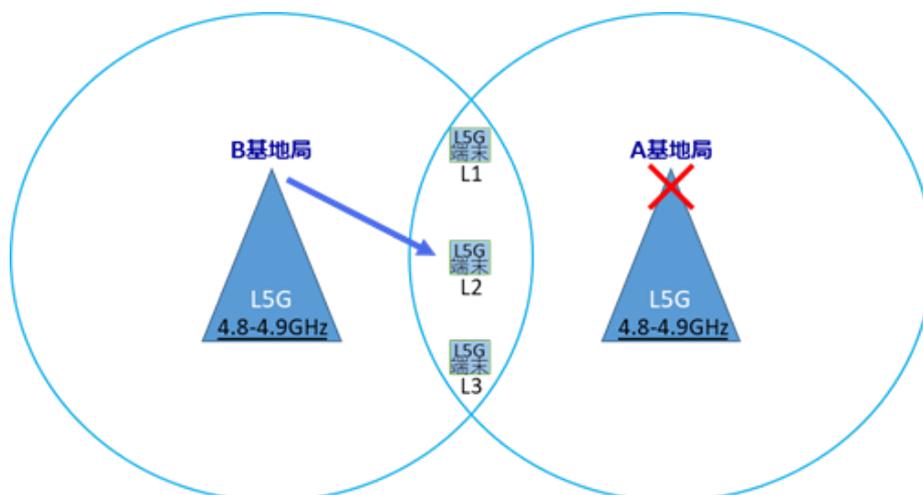


図 5.5.1 DU 比 0dB 地点で A 基地局を停波している状態

次に A 基地局と L7 地点に設置したローカル 5G 端末とが通信している状態で、同じく 3 箇所 (L1、L2、L3 地点) で、B 基地局からの下り受信性能を測定しました。本測定値と干渉が無い状態の測定値との比較検証を実施しました。

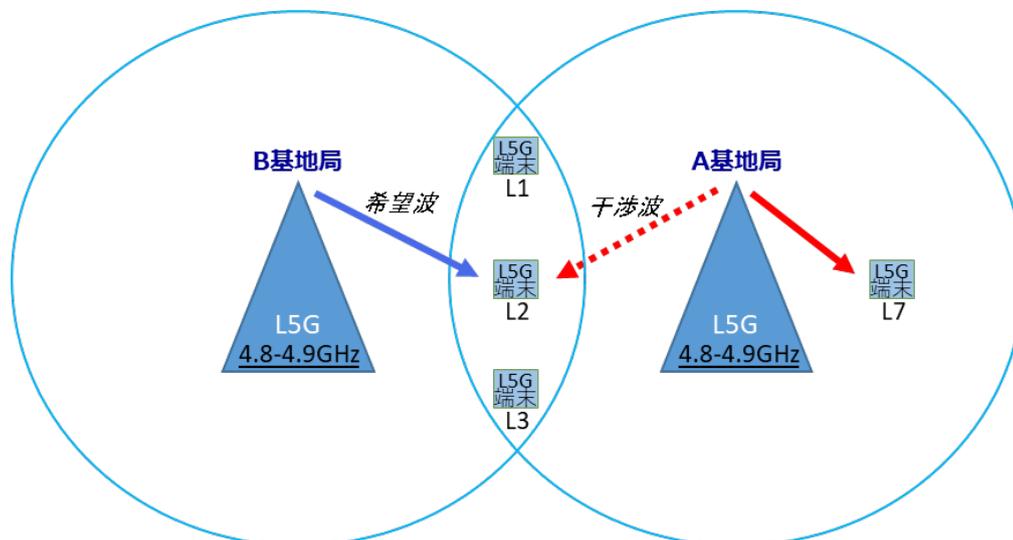


図 5.5.2 DU 比 0dB で両方の基地局が送波している状態

続いて、DU 比 10dB 程度地点での測定方法を以下に示します。

ローカル 5G 端末を B 基地局からの電波の強度 (RSRP) と A 基地局からの電波の強度 (RSRP) との差が 10dB 程度 (DU 比 10dB 程度) の地点となる 3 箇所 (L4、L5、L6 地点) に設置し、A 基地局の基地局を停波して B 基地局からの下り受信性能を測定しました。この測定値を干渉が無い状態とします

。

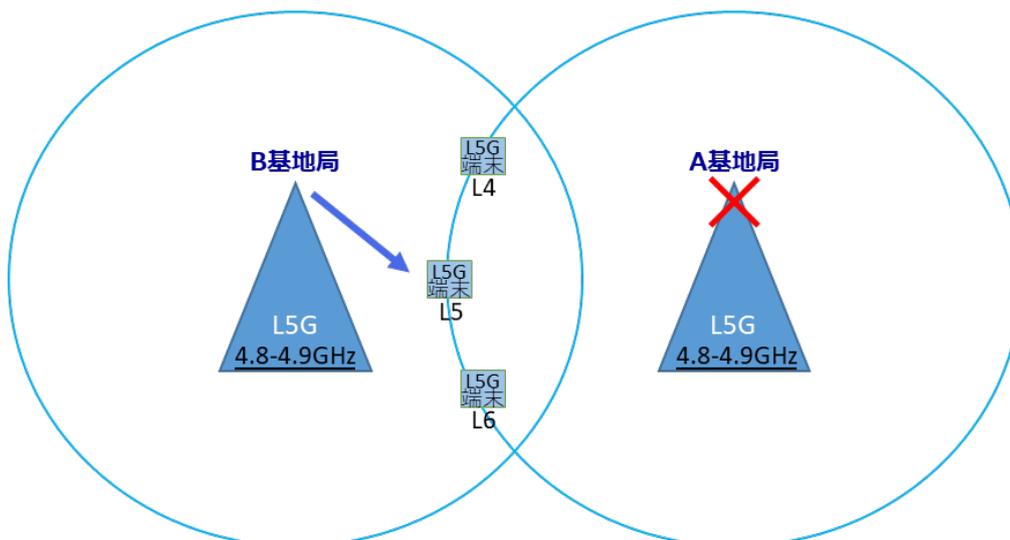


図 5.5.3 DU 比 10dB で両方の基地局が送波している状態

次に A 基地局と L7 地点に設置したローカル 5G 端末とが通信している状態で、同じく

3箇所（L4、L5、L6 地点）にて、B 基地局からの下り受信性能を測定しました。本測定値と干渉が無い状態の測定値との比較検証を実施しました。

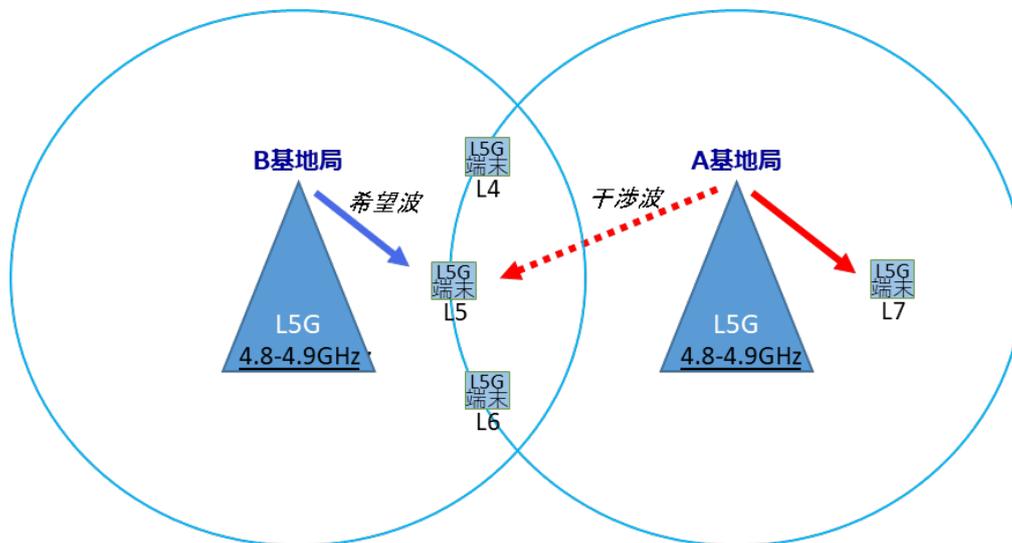


図 5.5.4 DU 比 10dB で両方の基地局が送波している状態

以上の測定パターンを整理すると以下のとおりです。

表 5.5.1 ローカル 5G 基地局間干渉測定パターン

L5G 下り RSRP DU 比	ローカル 5G 移動局位置	A 基地局送信 (L7 位置移動局との通信)
0dB 程度	L1	—
	L2	
	L3	
10dB 程度	L1	有
	L2	
	L3	
10dB 程度	L4	—
	L5	
	L6	
10dB 程度	L4	有
	L5	
	L6	

L1～L6 の測定ポイントは以下のとおりです。



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

図 5.5.5 ローカル 5G 間干渉 測定箇所

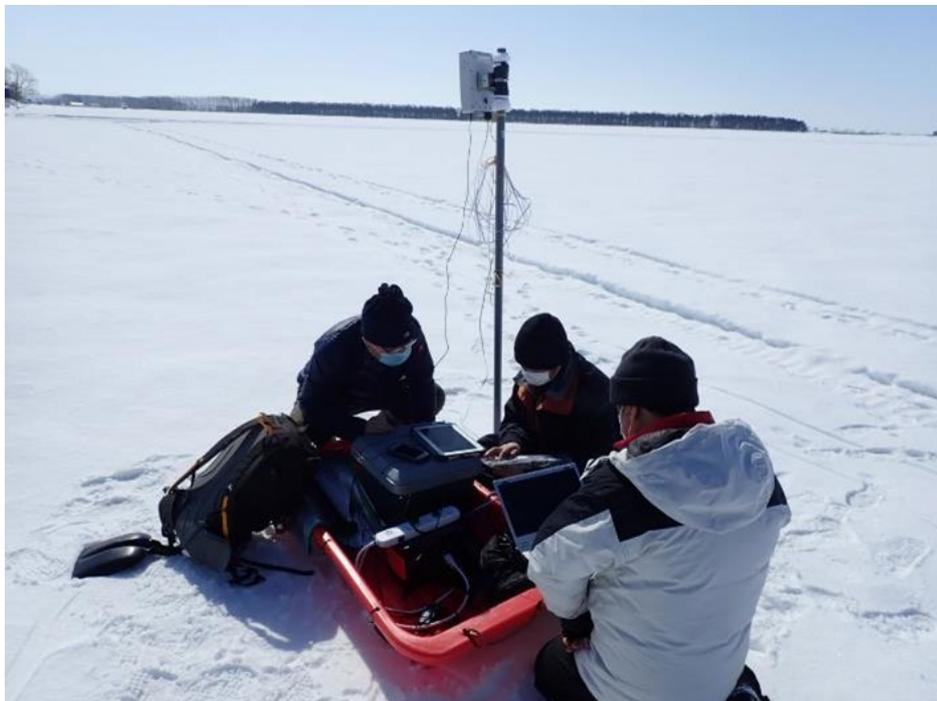


図 5.5.6 ローカル 5G 間干渉 DU 比 0 dB程度地点 測定風景



図 5.5.7 ローカル 5G 間干渉 DU 比 10 dB程度地点 測定風景

(1) 測定結果

測定結果は以下のとおりです。

表 5.5.2 下り RSRP

DU比	位置	下りRSRP【dBm】	
		B基地局	A基地局
0dB程度	L-1	-100.4	-100.5
	L-2	-100.8	-100.5
	L-3	-100.5	-100.7
10dB程度	L-4	-100.4	-110.0
	L-5	-99.5	-110.6
	L-6	-100.5	-110.4

表 5.5.3 下りスループット、伝送遅延時間

DU比	位置	下りスループット【Mbps】		伝送遅延時間【ms】
		A基地局停波	A基地局送信	
0dB程度	L-1	45.3	40.6	34.6
	L-2	41.8	45.5	35.0
	L-3	43.9	43.3	36.8
10dB程度	L-4	55.2	49.7	35.3
	L-5	42.2	54.2	36.1
	L-6	52.5	45.2	34.8

(2) 考察

ローカル 5G 間干渉にて DU 比 0dB 程度と DU 比 10dB 程度にて干渉波が無い状態と有る状態の下りスループットの比較図を以下に示します。

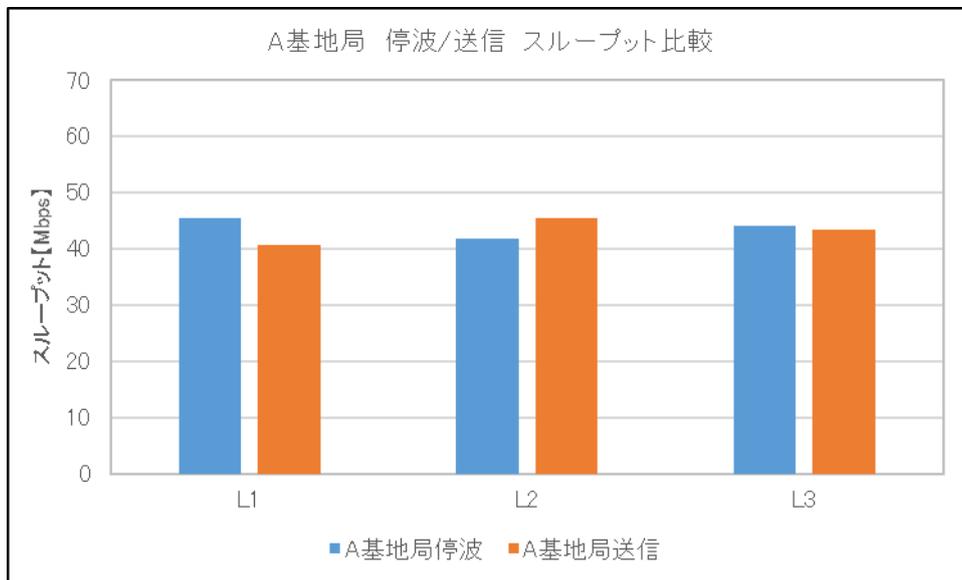


図 5.5.8 下りスループット DU 比 0dB 程度地点

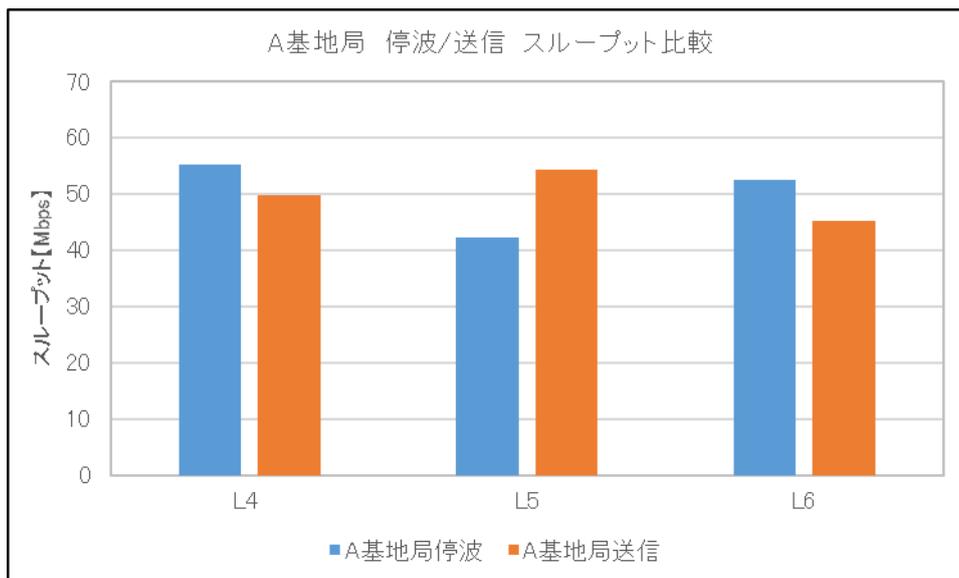


図 5.5.9 下りスループット DU 比 10dB 程度地点

上記の結果から、DU 比 0 dB、DU 比 10dB 程度とも大きなスループットの変動は見られませんでした。

ただし、ローカル 5G 端末を固定設置する場合は、DU 比を可能な限り大きくとる方が安定した通信が確保できると考えられます。ローカル 5G 端末の空中線利得は「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。」という規定となっています。今回の検証で使用したローカル 5G 端末の空中線利得は 3dBi でほぼ無指向のものでしたが、実運用においてローカル 5G 端末を固定設置にて運用する場合は、上記規定範囲内で指向性のあるローカル 5G 端末を用いて所望の基地局に指向性を合わせることにより、所望の基地局と他の基地局との DU 比を一定程度確保することは可能と考えられます。

5.5.2 更なる技術課題

本実証のユースケースのようにローカル 5G 端末が移動するような運用の場合では、DU 比が 0dB 程度となっても大きなスループットの変動がないため、大きな影響はないと考えます。農機の移動中に DU 比がマイナスの値となった場合にはハンドオーバー機能により、通信する基地局を切り替えることで、運用可能となると考えます。

課題解決システムの横展開地域においてもローカル 5G 基地局を複数設置する場合には、本実証と同様にカバレッジの重複が発生するように設置し速やかにハンドオーバーできるようなエリア設計を行うことを推奨します。ただし、本実証機器はハンドオーバー未対応の機器であったため、ハンドオーバー対応機器にて改めて検証する必要があると考えます。

5.6 まとめ

各検証から、更なる技術的課題と制度上の課題について以下のとおり考えます。

(1) 家屋等の遮蔽に対する最適なアンテナ高の検討

5.3.4 項では遮蔽物による影響を測定しました。ローカル 5G 端末をトラクター上部に取り付けることによりトラクター遮蔽の影響は避けられましたが、家屋遮蔽に対してはスループットが半減する結果となりました。アンテナ設置高を上げることにより影響を軽減させられると考えられますが、一般的なコンクリート柱では 17m が最長なため、2m 高くすることで十分影響を軽減できるのかどうか検証が必要と考えます。また、ローカル 5G 端末の設置高を高くすることでも改善が図れる可能性があります。3.8m の車両高さ制限の範囲内かつ農機の走行・作業にも耐えられる安定した設置方法についても検討する必要があります。

さらに、本実証では家屋とトラクターの隔離距離を 3m としましたが、実際の運用で考えられる隔離距離を再確認し、実運用上問題がないか検証が必要と考えます。

(2) 他者土地における移動通信の制限について

5.3 章ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価等における RSRP 値の測定結果から、半径 600m 近くのカバーエリアが確認され、広大かつ圃場をカバーすることに適していることがわかりました。ただし、現状ローカル 5G の電波法関係審査基準では「他社土地利用では「固定通信の利用のみに限定」とされていることから、制度上今回のような利用は難しいという制度上の課題があります。例えば地域 BWA のように地域の福祉や、地方創生に資する利用については、自治体の範囲で利用を認める等制度改正が望まれます。

(3) 非同期運用での上りスループットの改善期待値及び他無線ネットワークとの共用検討

性能評価では上りスループットが目標を達成することができず、TDD パターン 2 の準同期運用の場合でも平均値 17.2Mbps、最大値 42.2Mbps という結果でした。機器の性能により有線での測定結果よりかなり低い結果となっているものの、有線での測定でも平均値 68Mbps、最大値 115Mbps という結果でした。本実証のスループットの目標値は 1 台のトラクターに高精細カメラを 2 台取り付けて遠隔監視した場合を想定して設定しました。今後ユースケースの社会実装に向けてはより多くのトラクターを同時運用することも考えられるため、さらに上りスループットを向上させる必要があります。本実証では TDD パターン 2 の準同期運用での測定を行いました。より UL スロット比率を上げた非同期運用での検証も必要だと考えます。また、合わせて非同期運用における他無線ネットワークとの共用検討の条件に付いても検証するべきだと考えます。

(4) ローカル 5G 基地局重複カバレッジにおける指向性端末の設置方法及びハンドオーバーの検証

また、5.5 節ローカル 5G 基地局間干渉の検証では、DU 比 0 dB、DU 比 10dB 程度とも大きなスループットの変動は見られませんでした。ただし、ローカル 5G 端末を固定設置する場合は、DU 比を可能な限り大きくとる方が安定した通信が確保できると考えられます。

ローカル 5G 端末の空中線利得は「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。」という規定となっています。今回の検証で使用したローカル 5G 端末は 3dBi でほぼ無指向のものでしたが、実運用においてローカル 5G 端末を固定設置にて運用する場合は、上記規定範囲内で指向性のあるローカル 5G 端末を用いて所望の基地局に指向性を合わせることにより、所望の基地局と他の基地局との DU 比を一定程度確保することは可能と考えるため、指向性のある機器を用いて有効性を検証する必要があると考えます。

ローカル 5G 端末が移動するような運用の場合には、本実証の結果のとおり、DU 比が 0dB 程度となっても大きなスループットの変動がないため、DU 比がマイナスの値となった場合にハンドオーバー機能により、通信する基地局を切り替えることで運用可能となると考えられます。本実証機器はハンドオーバー未対応だったため、ハンドオーバー対応機器で問題なく運用が可能であることを確認する必要があると考えます。

6. 実装及び横展開に関する検討

6.1 前提条件

(1) 1：スマート農業（自動走行トラクター等の遠隔監視制御）

① 実装について

実装についての条件等の考察点を下記に示します。

- ・ 無人での自動走行トラクター等は、安全基準を満たすため、センサー、知能・制御系及び駆動系を組み合わせたシステム（ロボット技術）を組み込んで製造される必要があります。
- ・ 本実証では安全性確保ガイドライン策定の重要要素の一つである遠隔監視制御の実証を行ったが、他の安全基準項目や法制度がクリアになっていると仮定して考察しました。
- ・ コンバイン（自動運転アシスト機能付き）は、現在は無人での作業は禁止されているため、安全基準項目や法制度がクリアになっていると仮定して考察しました。
- ・ 試算で用いる金額等は、本実証の購入金額、開発費を基に試算しました。

② 横展開について

横展開についての条件等の考察点を下記に示します。

- ・ 本実証と同様に水稲、畑作を栽培する平地で、1 圃場の面積が 0.5ha～1ha 以上の多い地域を想定しました。
- ・ 環境の違う地域については、下記の想定課題を解決できた後に実装を目指すものと考えます。
 - i) 中山間地：現在は測位情報の精度が不足、傾斜地で真っ直ぐトラクターを走らせるのが難しい。また、5G 等の電波が傾斜や林で届かない可能性があり、遠隔監視制御が難しい。
 - ii) 圃場面積：現在は圃場の外周部分（枕地）を有人作業し自動作業MAPを作成後、内側を無人でトラクターに作業をさせる。面積が小さい圃場は効率が悪く自動走行には不向きである。基盤整備（区画整理や暗渠排水）を行った圃場が適している。
 - iii) 周辺環境：宅地、幹線道路等交通量の多い道路に面している圃場は、自動での圃場間移動は安全性や渋滞を招くなど不向きである。圃場間移動は有人で行うなど運用でカバーする必要がある。

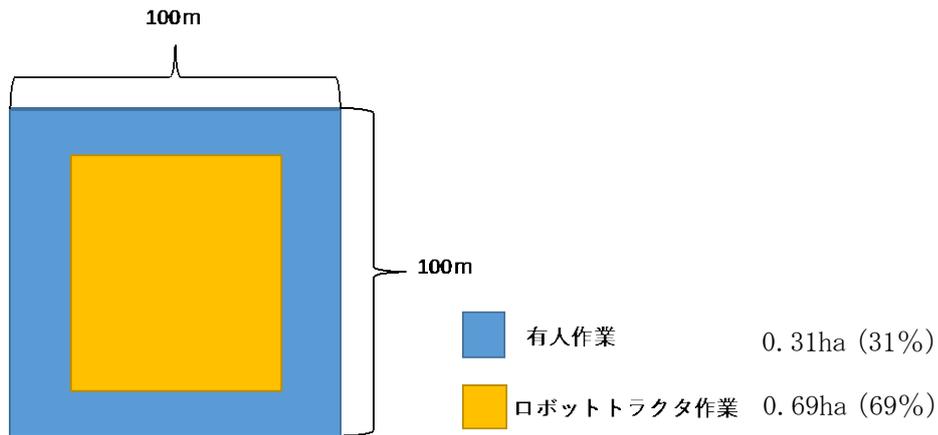


図 6.1.1 作業イメージ図 (1ha)

(2) 2 : スマート農業 (ビッグデータ)

① 実装について

実装についての条件等の考察点を下記に示します。

- ・ 地域を細分化した気象データ、既存農機の作業履歴などデータ取得が整備されていると仮定して考察しました。
- ・ 種まきから収穫までのサイクルを何回か検証し、最適化スケジュールのロジックの有効性が確認できた場合に実装しました。
- ・ 1回目のサイクルは農林水産省事業2年目で検証を実施しました。
- ・ 対象作物は自動走行コンバインが収穫できる穀物類（水稻、小麦、なたね、大豆）を対象としました。

② 横展開について

横展開についての条件等の考察点を下記に示します。

- ・ 最適化スケジュールのロジックの有効性を確認したあとで横展開を検討しました。
- ・ 地域を細分化した気象データ、農機の作業履歴などビッグデータの取得方法についても併せて横展開を図ることを想定しました。

(3) 3 : 生活領域 (排水路監視)

① 実装について

実装についての条件等の考察点を下記に示します。

- ・ 監視サーバーは本実証で構築したシステム（㈱クボタ製品 Ksys）を実運用で使用し、水位観測拠点の拡大に対応することを想定しました。
- ・ 本実証で構築したシステムの保守費用について、令和3年度㈱クボタとNTT東日本㈱が実施することを想定し、令和4年度以降は岩見沢市予算で別途保守体制を検討することを想定しています。なお、令和3年度の保守内容はベ

ストエフォートとする事を想定しています。

- ・ 水位観測拠点は本実証で 1 拠点 200 万円程度の費用が必要だったため、省電
力化によるソーラーパネルの削減等によるコスト削減を検討を想定していま
す。
- ・ 水位データの伝送について、1 分毎に水位データを送信する際の帯域は、
10kbps 未満でも動作可能であり、水位の監視映像については、画像サイズ 640
×480 の jpeg ファイルを 1 分に 1 枚伝送する場合帯域は 50kbps 未満で動作
可能であることが実証で確認できたため、ネットワーク区間はローカル 5G、
キャリア 5G、LPWA、地域 BWA 等複数のネットワークの選択肢の中からコス
ト見合いで拡大を図っていく事を想定しています。

② 横展開について

横展開についての条件等の考察点を下記に示します。

- ・ 機器等は市販品を組み合わせしており、また、ネットワークに依存するシステム
でないため、地域のネットワーク環境に合わせた展開が可能であると考えま
す。

(4) 4：生活領域（健康管理）

③ 実装について

実装についての条件等の考察点を下記に示します。

- ・ クラウドサービスとウェアラブル端末は実績のあるシステム（ミツフジ㈱製
品ウェアラブル IoT ソリューション）を利用しており、協力者から有効性や
装着性を確認できたら、農作業を行う高齢者等中心に拡大を検討する実装に
ついての前提条件を下記に示します。
- ・ ウェアラブルの購入費用についても有効性が確認できた時点で別途検討する。
- ・ 数十 kbps 程度のデータ通信が可能なネットワークがあれば動作は可能なこと
からローカル 5G、キャリア 5G、地域 BWA、LTE 等選択肢の中からコストや
装着性見合いで追加する。

④ 横展開について

横展開についての条件等の考察点を下記に示します。

- ・ 機器等は市販品を組み合わせしており、また、ネットワークに依存するシステム
でないため、地域のネットワーク環境に合わせた展開が可能。

6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定

6.2.1 実証終了後の継続利用

6.2.1.1 地域課題

行政面積（48,102ha）の約 41.2%が農地であるなど国内有数の農業地帯である岩見沢市は、全国の基礎自治体と同様に人口減少や少子高齢化が急速に進行している。特に、農業就業人口の減少が著しく、平成 17 年から平成 27 年の 10 年間で 41.5%減少し（農林業センサース）、1 戸あたりの平均耕作面積も 20ha を超える状況にあり、基幹産業の持続性確保に向け、労働力確保及び営農作業の効率化による生産性・収益性向上が喫緊の課題となっています。

このような状況下で、地域特性である ICT 環境を用いた取組みとして、平成 25 年に農業分野における ICT 利活用を目的に、いわみざわ地域 ICT 農業利活用研究会が発足（現在は 200 名を超える生産者が参加）。同年に岩見沢市は生産者からの声を反映し、位置情報配信サービス、農業気象配信サービスを次々と開始し、スマート農業の普及を推し進めており本実証への期待は大きい。将来は Society5.0 に対応した地域社会スマート・アグリシティを目指しています。

6.2.1.2 課題解決システムの継続的利用

(1) 1：スマート農業（自動走行トラクター等の遠隔監視制御）

ローカル 5G システムと自動走行遠隔監視制御システムは、農林水産省「ローカル 5G 活用型スマート農業モデル実証」の 2 年目実証で継続的に利用する。具体的には 1 年目でシュミレーションした作業時間の削減率、生産コストの削減費用が実作業でクリアできるかの検証を行いました。

ローカル 5G 実験局免許は、令和 2 年 5 月 31 日で期限切れになることから令和 3 年 3 月 31 日まで更新します。

資産の所有は、ローカル 5G システムは実証用開発機器であるため、所有権は引続きパナソニック・システムソリューションズジャパン(株)が所有します。

ローカル 5G システムに関連する資材（電柱、市販機器）、遠隔監視制御システムは岩見沢市へ譲渡します。

保守については、岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアム内で対応します。

(2) 2：スマート農業（ビッグデータ）

農林水産省「ローカル 5G 活用型スマート農業モデル実証」で、スマート農機シェアリングの最適化スケジュール作成に必要なビッグデータ収集を目的に、ローカル 5G システム、LPWA システムを継続して利用します。

LPWA システムは岩見沢市へ譲渡する。令和 3 年度は NTT 東日本(株)が保守を実施し、

令和4年度以降は岩見沢市予算でベンダーが保守を行います。

(3) 3：生活領域（排水路監視）

岩見沢市が防災用として運用します。

排水路監視システムと LPWA システム（802.11ah は試作機のため除外）は岩見沢市へ譲渡します。令和3年度は㈱クボタと NTT 東日本㈱が保守を実施し、令和4年度以降は岩見沢市予算でベンダーが保守を行います。

(4) 4：生活領域（健康管理）

岩見沢市が健康管理用として運用します。

健康管理ウェアラブル機器は岩見沢市に譲渡します。健康管理ウェアラブル機器の保守は行いません。ミツフジ㈱のクラウドサーバー利用料は岩見沢市予算で対応します。

6.2.2 事業モデル

6.2.2.1 事業内容

(1) スマート農業（1：自動走行、2：ビッグデータ）

事業モデルは、スマート農機、ネットワーク基盤、遠隔監視等必要な機材を含めた作業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利用するモデルにより、生産者の農機購入などのコスト削減、耕作面積拡大による収入増、農業の継続性向上を図ることを想定します。

農業生産者の課題	解決方法
働き手が不足	⇒ スマート農機、作業委託
高齢化、事業継続	⇒ スマート農機、作業委託
耕作面積が広い	⇒ スマート農機

スマート農業普及課題	解決方法
スマート農機が高い	⇒ シェアリング、作業委託
通信環境が不足	⇒ インフラ整備（国事業）
1 圃場の面積が小さい	⇒ 農地区画整備（国事業）

令和3年度は農林水産省「ローカル5G活用型スマート農業モデル実証」で、スマート農機の遠隔監視制御等による労働時間削減の効果検証、作業委託サービス利用による農機購入費用等生産コスト削減の効果検証を行い、農家の経営分析及び事業主体の経営など事業モデルが成立するかの検証を行います。

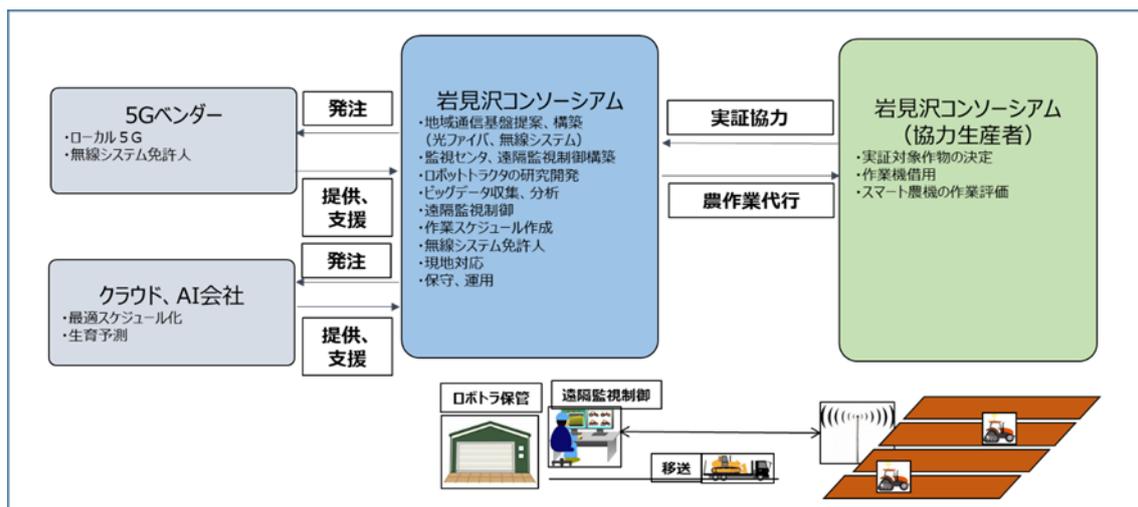


図 6.2.1 令和3年度農林水産省「ローカル5G活用型スマート農業モデル実証」体制

【経営分析の流れ】農林水産省事業

□スマート農機の作業時間計測

- ・従来の作業時間とスマート農機利用による作業時間比較により労働時間削減効果を算出

□人件費変化

- ・主たる農業者が他の者に作業を変更した場合の人件費変化を算出

□農家経営データ

- ・スマート農機の作業の作業請負化の確認などのために取得

□事業主体の経営分析

- ・生産者のコスト削減や労働力削減効果を検証し、委託サービス料を算出（シュミレーションでは13,000円/10a・年と想定）する。ネットワーク基盤、遠隔監視制御システム、スマート農機、保守費用、人件費など必要経費を算出し、委託サービス料からどの程度の面積を受託したら経営が成り立つかを検証する。下記に外部委託費推計例を記載する。

表 6.2.1 生産費試算例

	項目	慣行	委託後	備考
収入 (A)	販売収入	31,507		単位収量 (643kg/10a)、販売単価 (49円/kg)
	助成金	109,374		水田活用直接交付金、畑作物直接交付金
経費 (B)		85,138	80,197	
	内 収穫委託費	17,941	0	17,941円/10a
	内 外部委託	0	13000	・スマート農機作業一式（ロボットトラクタ適用および収穫） ・13,000円/10a
労働費 (C)		13,633	9,530	・実農家自給9,000円 ・慣行作業19.54hrの内5.88hrの作業時間が削減される ・ $13.66 \times 9,000 \times 10 / 129$ (10a換算) = 9,530
経費 (B) + 労働費 (C)		98,771	89,727	
純利益推計値 (A-B-C)		42,110	51,153	
生産費		9,216	8,373	(経費 (B) + 労働費 (C) / (収穫量kg/a) × 60kg)

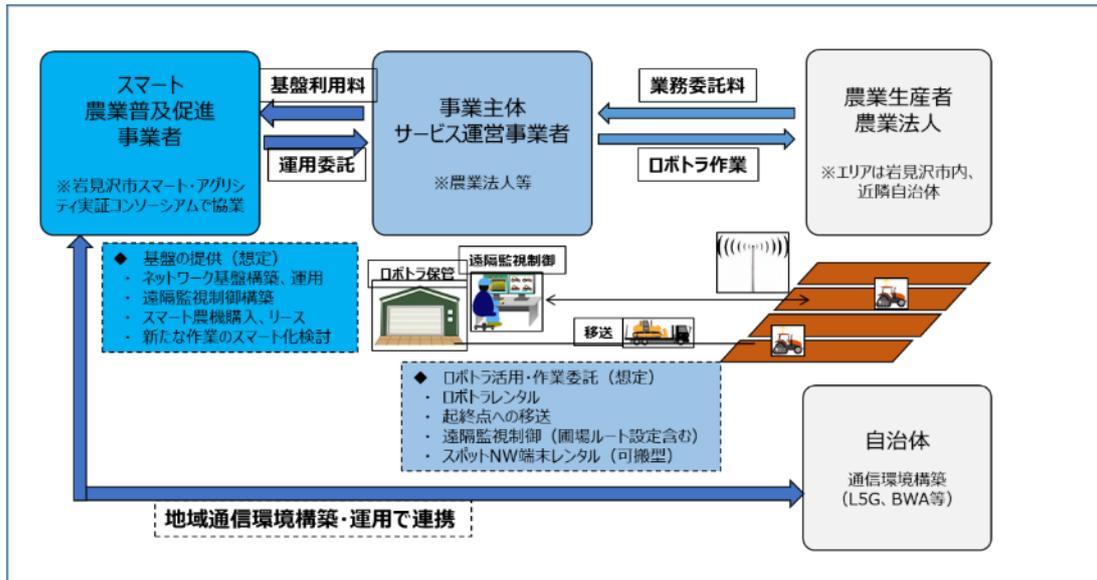


図 6.2.2 本実証で想定している持続可能な事業モデル (案)

□ステークホルダーの役割

事業主体 サービス運営事業者

- ・生産者、農業法人へ農作業委託サービスの提供
- ・スマート農機の運用（設定、移送、現地対応、大型特殊免許）
- ・ネットワーク基盤の運用（機器管理、無線局免許）
- ・遠隔監視センターの運用（作業スケジュール、遠隔監視、大型特殊免許）
- ・事業者としては既に農作業を受託している農業法人やN T Tグループ出資会社などを想定

スマート農業普及促進事業者

- ・ネットワーク基盤、スマート農機、遠隔監視センターの基盤構築、保守
- ・事業主体（サービス運営事業者）に対して通信や遠隔監視制御運転に関する技術支援
- ・新たな農作業のスマート化検討
- ・自治体、国などと通信インフラ整備、優遇税制などの連携
- ・事業者としては岩見沢スマート・アグリシティ実証コンソーシアムメンバーが協業して検討を行う

農業生産者、農業法人

- ・サービス運営事業者へ農作業委託サービスの依頼
- ・作物種別、作業内容、作業面積検討
- ・岩見沢市、近隣自治体のエリアの農業生産者、農業法人を想定

自治体、国

- ・スマート農業普及促進の支援
- ・通信インフラの定住促進活用による構築費等負担
- ・税制優遇措置の支援等
- ・岩見沢市、近隣自治体を想定

(2) 生活領域（3：排水路監視、4：健康管理）

排水路監視・健康管理は、地域基盤の利活用として有効であり、その他、教育・防犯等のソリューションを追加していくことで、農村地域の定住促進として期待できると考えます。

また、排水路監視については、市内の他の排水路や用水路への拡大も岩見沢市と検討を進めていく予定です。

6.2.2.2 経済性、運用、管理等に係る仕組みや方法

(1) 経済性、運用

ローカル 5G などのネットワーク基盤の拡大について、仮に岩見沢市の農地面積約 20,000ha をカバーするには通常数億円～数十億円規模の投資が必要になると想定されます。

岩見沢市では全ての学校、医療機関、公共施設に自営光ファイバ網を敷設し、デジタルデバイド解消として、地域 BWA による ICT 環境も整備していることから、整備されたネットワーク環境を有効に活用し、コストを抑制することが可能と想定されます。

資産や人員を効率的に運用するために、最適な作業スケジュールを作成し、作業の効率を上げて、スマート農機台数を減らし、人員を最小限化することが重要と考えます。

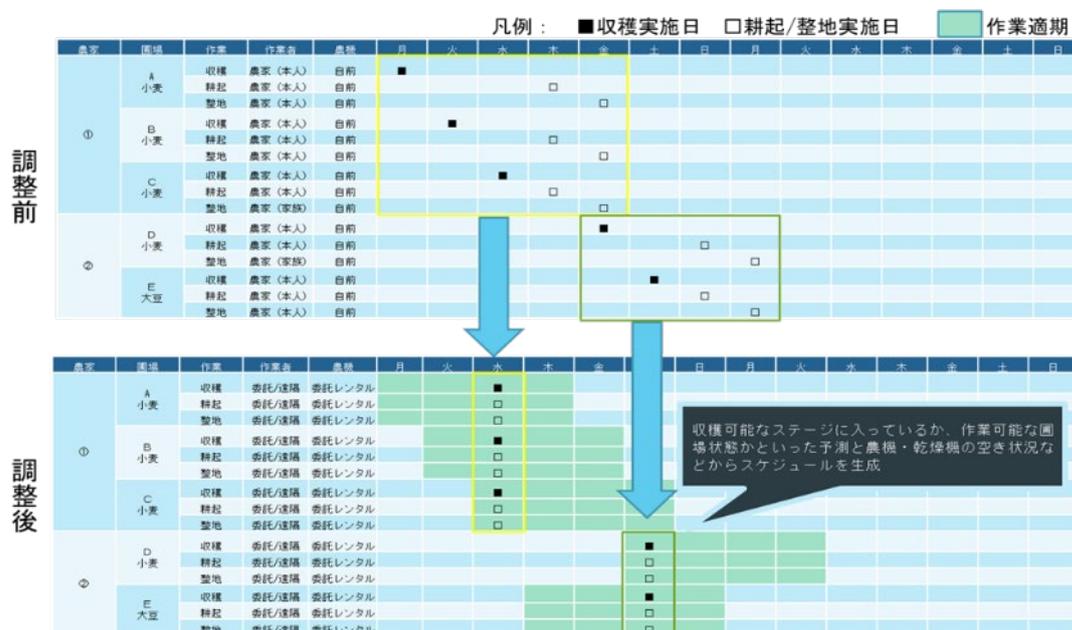


図 6.2.3 作業スケジュールの最適化案

また、農作業閑散期には除雪作業や河川の草刈り作業など、遠隔監視センター、遠隔監視設備を利用するなど、年間を通して効率的利用にチャレンジする必要があると考えます。

6.2.3 実装計画

スマートの農機の遠隔監視制御を利用したビジネスモデルに関する目標としては、安全性確保ガイドライン等が整備された前提で、2022年度ビジネス試行、2023年度からサービス開始を目指します。

排水路監視、健康管理については2021年度より実際に運用し、拡張性や改良点など新たな知見を得ることとします。

表 6.2.3 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 AI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

6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討

6.3.1 普及モデル

6.3.1.1 想定ターゲット

(1) スマート農業（1 自動走行、2 ビッグデータ）

生産者からのヒアリングに基づく課題感としては以下の項目が挙げられます。

- ・収入を上げるために耕作面積を拡大したいが家族で対応できる広さに限界がある。
- ・農業は長時間働きづめで重労働のため何年続けられるか将来に不安を持っている。

このような課題を解決する方法として、自動で作業をしてくれるスマート農機に対する期待は大きく、大規模生産者の中にはすぐに導入したいとの意見も多く頂きました。

しかし、本実証で行った自動走行を実現するスマート農業は、スマート農機、ローカル 5G 通信環境、遠隔監視制御（センター）、最適作業スケジュールを実現する 4 つの環境が必要であり、大規模生産者であっても単独で導入することは難しいと考えられます。

- ① スマート農機 生産者単独で導入は可
- ② ローカル 5G 通信環境 自治体、JA 等農業団体等の協力が必要
- ③ 遠隔監視制御（センター）自治体、JA 等農業団体等の協力が必要
- ④ 最適作業スケジュール 生産者単独で導入は可

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）を考えている自治体や、JA 等の農業団体が存在する地域をターゲットとすることが想定されます。

(2) 生活領域（3 排水路監視、4 健康管理）

ここ数年で気温の上昇、大雨の頻度の増加、局所的なゲリラ豪雨、熱中症リスクの増加など気候変動の影響が全国各地で起きており、被害が年々増加し市町村にとって深刻な問題となっています。

- i) 平成 16 年～平成 25 年の 10 年間で全国 98%以上の市町村で水害、土砂災害が発生（水害統計より）
- ii) 時間雨量 50mm を超える短期間強雨の発生件数が約 30 年前の約 1.3 倍（気象庁資料より）
- iii) 水害による被害総額は 10 年間で 2 倍（国土交通省資料より）
- iv) 平成 21 年～平成 30 年の 10 年間の夏の平均気温が前の 10 年間と比較して 0.67 度高い（気象庁資料より）
- v) 平成 21 年～平成 30 年の 10 年間の熱中症が原因の死者数が 9,055 人、前の 10 年間と比較すると 3,954 人で 2 倍（厚生労働省資料より）
- vi) 熱中症の死亡例では農作業中が多く、特に 70 歳代以上で全体の 86%が発生（農林水産省資料より）

- 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ことが想定されます。

6.3.1.2 標準モデル

(1) 農業領域（1 自動走行、2 ビッグデータ）

標準モデルに必要な要素と条件、費用等の考察点を下記に示します。

① スマート農機

- ・各農機メーカーから安全性確保ガイドラインに基づいて販売されるスマート農機（トラクタ、コンバイン）を購入。
- ・測位衛星＋測位補強信号により無人で走行できる機能、危険を感知して停止する機能等すでに市販されているスマート農機に、新たに遠隔監視制御機能として 4k カメラ、映像送信機器（コーデック）、ローカル 5G ルーター、駆動系の遠隔制御機能の搭載。
- ・購入価格は、現在市販されている自動走行可能なスマート農機に 100 万円程度上乗せと想定。
 - ・トラクター 100 馬力クラス 定価で約 1,600 万円
 - ・コンバイン 130 馬力クラス 定価で約 2,150 万円

【留意事項】

- ・公道を走行するため小型特殊自動車のナンバー取得が必要
- ・公道を走行させるため大型特殊免許等が必要。なお、遠隔監視センターで監視者がモニターで自動走行を行う場合は監視者も大型特殊免許等が必要。

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、ローカル 5G 端末）をメーカーから購入。
- ・ローカル 5G 端末（5G ルーター、5G 端末）は、現状ではキャリア 5G 等で使用している端末は利用できず、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。
- ・購入価格は、令和 2 年 12 月 18 日より新たな周波数の 4.6GHz～4.9GHz 帯及び 28.3GHz～29.1GHz の免許申請がスタートした。現在、基準適合証明を受けたローカル 5G 無線システムは見当たらないので購入価格は不明であるが、実証開発機器等から 5G コア装置数千万円、基地局 1 基が数百万円と推測される。このため、農業生産者が投資するのは難しく、自治体、JA 等農業協同組合等の費用負担が必須であり、特に自治体では定住環境の促進と一体とした整備を訴求する。

【留意事項】

- ・ローカル 5G 無線システムの無線免許が必要
- ・無線従事者として第三級陸上特殊無線技士が必要
- ・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）

- ・監視センターのスペースを準備し、モニター、映像受信機器、スイッチ等ネットワーク機器、GeoMation をメーカーから購入。
- ・GeoMation は㈱日立ソリューションズ社の製品で、地図上にマッピングしたスマート農機から位置情報や稼働情報を受信。スマート農機へ停止、再スタートの信号を送信する機能を持っている。
- ・モニター、映像受信機器、スイッチ等ネットワーク機器は市販製品でメーカーは問わない。
- ・購入価格は、以下を参考のこと。

表 6.3.1 購入参考価格

機材	仕様等	価格
モニター	トラクターカメラ用、43 型ディスプレイ、スタンド、前後 2 セット	170,000 円
モニター	俯瞰マップ用、75 型ディスプレイ、スタンド	460,000 円
映像録画用	デジタル入力用デコーダー	430,000 円
コーデック	トラクターと監視センター対向で、カメラ毎に必要	1,320,000 円
ケーブル等	HDMI ケーブル、分配器等	40,000 円
ネットワーク機器	L2 スイッチ、ルーター（ハイエンドクラス）	350,000 円
監視ルーム	インターネット環境、空調設備（機器冷却等）、19 インチラック、什器	—

④ 最適作業スケジュール

- ・細分化された気象データの取得方法を検討する。実証では岩見沢市が既に整備した地区ごとに細分化された観測データを活用。気象庁や民間気象業務支援センター等の気象データも使えるが観測範囲が市町村単位のため誤差が生じる。
- ・スマート農機の稼働情報の取得方法を検討する。実証ではトラクター、コンバインの情報は GeoMation で取得している。乾燥機は個別のシステムで取得する。

農業領域の標準モデルは以上の 4 つの環境を基本と想定しますが、地域状況や事業主体の規模により、柔軟にカスタマイズすることが可能であると考えます。

(2) 生活領域 (3 排水路監視、4 健康管理)

標準モデルに必要な要素と条件、費用等の考察点を下記に示します。

① 排水路監視

- ・ 監視サーバー、水位観測装置、映像伝送装置は㈱クボタ社の製品を購入。水位計、カメラ、LPWA (LoRa) は市販品を活用しているがシステムの連携を行うため、1社にまとめて発注するのが望ましい。
- ・ 観測地点はソーラーパネルによる電力供給を想定。ネットワーク機器は消費電力が少ない LPWA が理想。
- ・ 水位観測装置は、データ量が 100kbps 以下と少ないため、LPWA (LoRa) を選択。
- ・ カメラ伝送装置は、データ量が 300kbps 程度なので、LPWA (11ah) を選択。
- ・ 購入価格は、以下を参考のこと。

表 6.3.2 購入参考価格

機材	仕様等	価格
監視サーバー	コンピュータ本体、UPS、ソフト (KSIS)	6,600,000 円
水位観測装置	材質：鋼板製 主要部品：太陽電池 200W クラス、チャージコントローラ、バッテリー、通信端末装置、水位変換器、水位計 (投込圧力式 精度 0.5% ケーブル 10m) 設置工事・試験込み	1 箇所 2,002,000 円
カメラ伝送装置	材質：鋼板製、主要部品太陽電池 200W クラス、チャージコントローラ、バッテリー、高感度カメラ (フル HD、H.265 コーデック、屋外モデル)、設置工事・試験込み	1 箇所 1,540,000 円
LPWA (11ah)	916.5MHz~927.5MHz 周波数帯を使用、電波到達範囲：数百 m~1km	※今後商品化予定
LPWA (LoRa)	920MHz 周波数帯、電波到達範囲：数百 m~1km 以上	1 対向 650,000 円

【留意事項】

- ・ 本実証では㈱クボタ社 KSIS の個別サーバーを監視センター内に構築したが、㈱クボタ社によるクラウド提供も可能である。
- ・ LPWA (11ah) は、802.11ah 推進協議会で令和 3 年度中には標準化が行われ、

各メーカーが商品化を実施する予定である。

② 健康管理

- ・ ミツフジ㈱の精度の高い生体情報を取得可能なウェアラブル製品と大量の生体情報データの収集、蓄積、データ解析が可能な㈱TRIART クラウド環境を利用する。
- ・ 購入価格は、以下を参考のこと。

表 6.3.3 購入参考価格

機材	仕様等	価格
トランスミッター	サイズ：57 mm×33 mm×12 mm、重量：25 g、防水：IPX57	1 個 円
hamon タンクトップ	ナイロン：85%、ウレタン：15% 銀メッキ導線繊維、電極部分は AGposs を使用	10 着 100,000 円
ミツフジクラウド	インターネット接続	1ID (年) 15,000 円
スマートフォンアプリ	Homon アプリ動作環境 IOS13、AndroidOS8、AndroidOS9	- ※クラウド契約

●生活領域の標準モデルは、ローカル 5G 等通信環境を有効に活用することを目的としており、共同利用型プラットフォームもメニューとして利用できることを基本とする。

6.3.1.3 体制、事業スキームのモデル

① 体制、事業スキーム

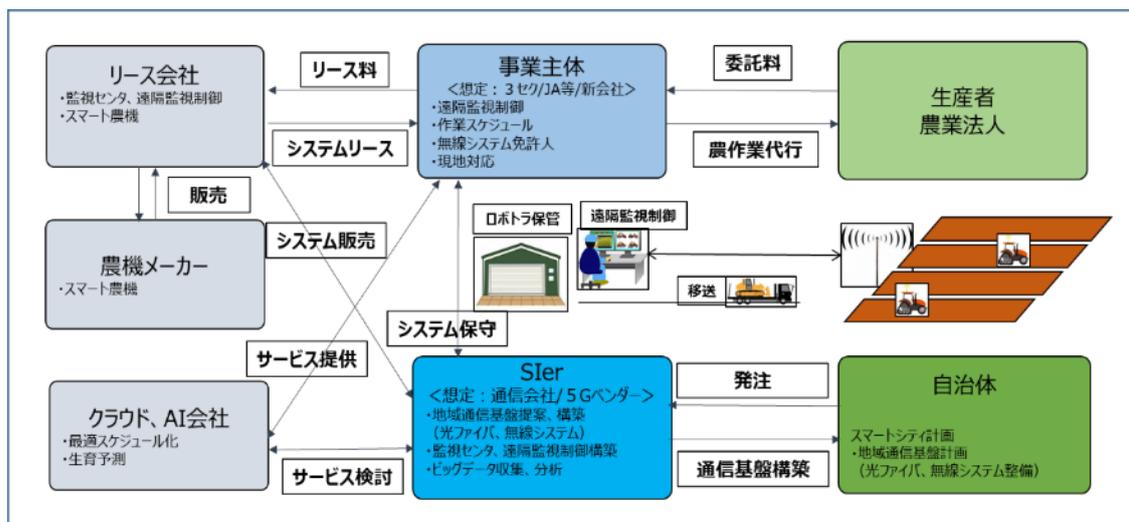


図 6.3.1 本実証で想定している体制

□役割

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
- ・自治体へ地域通信基盤提案、構築（光ファイバ、無線システム等）
- ・ビッグデータ収集、分析による最適な作業スケジュール構築
- ・新たな農作業のスマート化検討
- ・他分野への遠隔監視センターの活用検討

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
- ・スマート農機の運用（設定、移送、現地対応、大型特殊免許）
- ・遠隔監視センターの運営（作業スケジュール作成、遠隔監視制御）

生産者、農業法人

- ・事業主体へ農作業委託サービスの依頼
- ・委託内容の検討（作物種別、作業内容、作業面積）

自治体

- ・地域通信基盤計画の検討
- ・補助事業申請の検討
- ・スマート農業普及促進の支援

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
- ・遠隔監視制御の動作確認

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
- ・事業主体へデータ提供

6.3.1.4 課題と対応策

① 通信環境、監視センターの運営

通信環境、監視センターを運営するサービス運営事業者はトラクター、コンバインの作業委託だけでは、運営が厳しいと想定されます。今後乾燥機や田植え機の作業委託等へも拡大検討が必要と考えます。

更に通信環境、監視センターの活用として、閑散期における冬期間の除雪車作業、夏場の草刈作業などへの対応も検討が必要と考えます。

② 排水路監視の運営

本実証では排水路の水位監視を行いました。監視サーバーのリソースについてはまだ余裕があるため、次年度以降は用水路監視や田んぼダム等の監視検討が可能と考えられます。

(1) 【推進対応方策】

① 安全性ガイドライン

「圃場内や圃場周辺からの監視下での無人状態での自動走行」における「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」は農林水産省から平成 29 年 3 月 31 日付けで策定（平成 30 年 3 月 27 日一部改正、令和 2 年 3 月 27 日一部改正）されており、製造者等、販売者等、導入主体等、使用者等がそれぞれ安全性確保のために取り組むべき指針が示されています。

「遠隔監視下での無人状態での自動走行」についても同様に、自動走行に関する安全性確保ガイドラインの指針が示された後、各農機メーカーが開発し実装を行っていくと想定されることから、販売までには数年かかると思われます。

特に公道における自動走行については技術的に可能であっても、道路交通法の改正等制度上の障壁が存在しています。

社会実装を早期に実現するためには、最初に圃場内に限定した遠隔監視下での無人状態での自動走行の実現を目指し、公道を跨ぐ圃場間移動等については当初は有人で行うなど段階的に拡大させていくことが必要と考えます。

関係者の主な役割・順守すべき事項

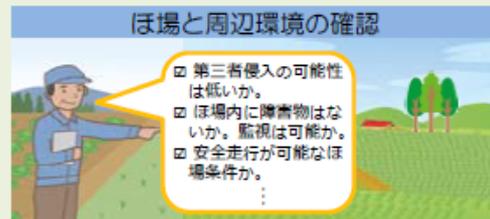
【製造者等（例：メーカー）】

- リスクアセスメントと保護方策（停止装置等）によって、ロボット農機のリスクを低減すること
- リスクが低減しない場合には、使用上の条件を見直すか、製品化を取りやめること
- 販売者等と連携し、導入主体や使用者に対して、ロボット農機の安全使用の訓練を行うこと



【導入主体（例：農業法人）】

- 使用を想定しているほ場や周辺環境を確認し、危険性を把握して対策を講じること
- ロボット農機を適切に管理し、安全に使用されていることを随時確認すること



【使用者（例：農業法人の従業員）】

※個人の農業経営者がロボット農機を導入・使用する場合は、「導入主体」と「使用者」の両方の役割が求められます。

- ロボット農機の安全使用の訓練を受講し、ロボット農機を適切に使用すること
- 第三者の接近や、ロボット農機のほ場外への飛び出し等の可能性が生じた場合にはロボット農機を直ちに停止させること
- 使用者自身が搭乗する農機の事故防止のため、シートベルトの着用等を徹底すること



出典：農林水産省資料

図 6.3.2 農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン



出典：農林水産省資料

図 6.3.3 機会の安全性確保の自動化レベル

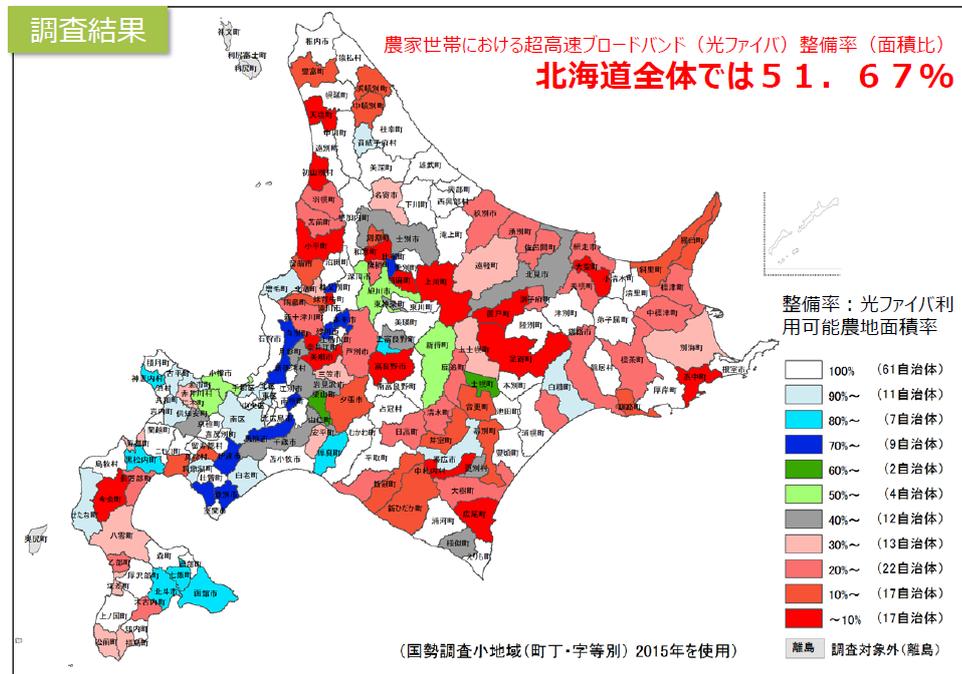
② 通信環境の整備

スマート農機との通信や農地を面的にカバーするために、5G、4G、LPWA、WIFI等の無線システムが適しているのは間違いないが、どの無線システムも基地局とセンサー装置間は光ファイバで接続する必要があります。

北海道の農家世帯における光ファイバ整備率は52%程度であり、基地局を設置する場所にはほぼ光ファイバがないため、無線システムと一緒に整備をしなければなりません。

光ファイバ敷設には電柱や地中埋設などコストが膨大となるが、一度整備すると無線システムが6Gなどに更改しても光ファイバは利用可能なことから、農村地域における通信環境整備計画を自治体と一緒に検討することが重要と考えます。

総務省の高度無線環境整備推進事業や携帯電話等エリア整備事業などで敷設する光ファイバの活用検討や農林水産省の農地基盤整備事業や用水路整備事業等での光ファイバ先行敷設など多方面から検討することが望ましいと考えます。



資料：北海道 ICT/IoT 懇談会報告書 (R1.3.13) より引用

図 6.3.4 農家世帯におけるブロードバンド整備率

③ スマート農業のリスク評価及び対応策の検討（保険含む）

スマート農業は、事業自体の新規性ゆえに多くのリスクが潜んでいると考えられる。スマート農業を成功させるためには、事業において想定されるリスクを事前に評価した上で、事業の失敗につながる可能性のあるリスクを特定し、リスク低減策（保険含む）を講じておくことが必須であると考えます。

そこで、無人化農機を利用するスマート農業全体を対象として、そのリスクの全体像を整理し、各リスクの特性を評価した上で対応優先度の高い「重要リスク」を特定し、重要リスクに対する対策を検討することが重要であると考えます。

- (a) リスク視点での事業概要の整理
- (b) リスク全体像の確認及び重要リスク特定
- (c) 事業の成功に向けたリスク対策の方向性検討

以下に、各項目の実施内容を以下に示します。

(a) リスク観点での事業概要の整理

リスク分析を行うに先立ち、本事業の特徴（地域特性、事業特性、）をケースごとに整理します。

収集する情報：

- ✓ 事業全体像、目的、検証すべき重要事項など
- ✓ 事業場所、時期
- ✓ 事業目的及び内容
- ✓ 事業関係者（行政、規制当局、サポート企業など）
- ✓ 使用予定の設備・機器の概要及び仕様（自動化農機具、システム等）

表 6.3.4 導入サービス・諸条件一覧（例）

サービス提供場所 サービス諸条件	単一農地エリア (特定農地内のみ自動稼働)	複数農地エリア (複数の農地をまたいで自動稼働)	広域エリア (公道を含むエリア全体で稼働)
サービス内容	農機具自動稼働サービス	農機具自動稼働サービス	農機具自動稼働サービス
サービス利用者	限定（機器利用者）	限定（機器利用者）	限定（機器利用者）
周囲者（地上）	限定（単一農地内作業員）	限定（複数農地内作業員）	無制約（近隣住民、通行者含む）
サービス管理	自社管理	自社管理	自社管理
運用管理	自社管理/ユーザー（農家?）	自社管理/ユーザー（農家?）	自社管理/外部委託
自然環境	屋外・農地	屋外・農地	屋外・農地・公道
（初期）リスク対応	自社/ユーザー/外部委託	自社/ユーザー/外部委託	自社/ユーザー/外部委託
...

(b) リスク全体像の確認及び重要リスク特定（リスク評価の実施）

●一次リスク評価の実施：

事業概要・コンセプトを基に広くリスクを抽出し、事業全体のリスク状況を一覧として整理。すします

表 6.3.5 リスク一覧表イメージ

リスクカテゴリー	リスク一覧表イメージ		リスク属性					
	自然災害	事業・事故等のリスク						
災害・事故等のリスク	自然災害	台風・高潮 水災・洪水 雹害・風災 地震・津波・噴火 落雷 雷害 天候不良・異常気象	経営に関するリスク					
	事故	火災・爆発 停電 交通事故 航空機事故・列車事故 船舶事故 設備事故 労災事故 運搬中の事故 盗難		製品・生産・物流 製品開発の失敗 瑕疵 製造物責任（PL） リコール・欠陥製品 生産拠点の稼働停止 生産技術革新による自社生産技術の陳腐化 物流拠点の稼働停止 社内不正（借債・贈賄・収賄） セクシャルハラスメント 役員・社員による不正・不法行為 役員のスキャンダル				
		IT			有害物質・危険物質の漏洩・バイオペット ネットワークシステム（通信を含む）の故障 コンピュータウイルスの感染 コンピュータシステムの故障 サイバーテロ、ハッキングによるデータの改竄・搾取 コンピュータ・データの消滅・逸失	コンプライアンス 不正な利益供与 独占禁止法違反 インサイダー ブライソ		
					経営		経営層の職務不能 グループ会社の不祥事 乱暴経営 新規事業・設備投資の失敗 企業買収・合併・吸収の失敗 知的財産権に関する紛争 模倣品（コピー商品）の氾濫	労務 雇員離職 従業員からの借債請求 株主代表訴訟 過剰債務 雇員離職 従業員の過労死・過労による自傷 外国人不法就労 海外従業員の雇用調整 海外駐在員・海外出張者の事故 国内出張者の安全対策の失敗 差別（国籍・宗教・年齢・性） 労働争議・ストライキ
							知的財産権	
					環境			競争・クーテター・内乱・暴動 法律・制度の急激な変化 国際社会の圧力（外圧） 貿易制限・通商問題 景気変動・経済危機 為替・金利・株価・地価変動 原料・資材・原油の高騰 市場ニーズの変化
		社会				テロ・破壊活動・襲撃・占拠 インターネットにおける批判・中傷 マスコミにおける批判・中傷 ボイコット・不買運動 暴力団・総会屋等による脅迫 感染症の蔓延 風評 人口減少・少子化・労働力不足 技術革新による業界構造の変化	財務 格付けの下落 株価の急激な変動 宣伝・広告の失敗 競合・顧客のグローバル化への対応失敗 顧客対応の失敗 社内機密情報の漏洩 顧客・取引先情報の漏洩 個人情報情報の漏洩 取引先（顧客）の被災・事故 取引金融機関の被災・事故・倒産 設備業者の被災・事故・倒産 地域社会との関係悪化 マスコミ対応の失敗	

●リスク評価の実施：

事業運用前にリスク評価を実施します。

- ・ 事業内容の確認
- ・ 事前リスク評価（実証実験特有のリスクの抽出；机上検討）
- ・ リスク簡易分析
- ・ 対応すべき事項の整理、提示

表 6.3.6 実証実験向けリスク評価結果例

ID	製品使用状況 (場面)	〇〇〇状況	〇〇〇での危険事象シナリオ ／危険行為シナリオ	損害例	該当施設・設備	危害の 大きさ	発生 頻度	対策の方向性 (ハート[H]：機器本体/走行ルート 等への対策、ソフト[S]：運用ルール等での対策)
1	準備時（搬入、動作確認等）	-	●●管理者が●●に装飾（装具、アクセサリ、シール等）を施す	●●のセンサーやカメラが覆われる等によって、機器が正常な動作をせずに運用者と衝突する	〇〇〇全域	中程度	起りそうにない	[S] ●●への装飾禁止を規定し、教育・運用する
2			※同上	●●の駆動部に物が絡まり機器がコース逸脱し、機器が周回者と衝突する	〇〇〇全域	重大	起りそうにない	[S] ●●への装飾禁止を規定し、教育・運用する
3		-	想定ルートとは異なる自動走行プログラム（運用ルートマップ）をセットする	想定したルートとは異なるルートを走行した機器が建物（施設）と衝突する	〇〇〇全域	中程度	まず起り得ない	[H]動作確認テストを対象エリアで実施し、正しいルートを設定する

●実証実験への立ち合い、評価及び事業リスクの抽出：

実証実験現地を訪問し、実験の状況をリスク観点から観察し、事業実施に向けて想定されるリスクを抽出する。また、抽出したリスクの評価を行い事業に係る重要リスクを特定する。

- ・ 実証実験現地への訪問、実験内容の確認
- ・ 実証実験から得られたリスク事項の整理と、事業実施に係るリスクの抽出など。

表 6.3.7 リスクマトリクス例

		リスクの大きさ（危害の程度）				
		0	I	II	III	IV
		無傷	軽微	中程度	重大	致命的
発生頻度	5 頻発する	C	B3	A1	A2	A3
	4 しばしば発生する	C	17,19,20,22 B2	85 B3	A1	A2
	3 時々発生する	C	11,18,23,41,60 B1	4,8,9,16,21,24,25,32,39,45,46,50,64,78,84,91,93 B2	80 B3	A1
	2 起りそうにない	C	5,26,27,29,30,37,38,40,54 C	1,6,10,12,14,28,31,33,34,35,36,42,43,48,49,55,56,58,59,61,62,65,68,69,71,73,74,76,77,79,81,82,83,87,90,92 B1	2,7,13,15,51,53,66,67,72,75,86 B2	B3
	1 まず起り得ない	C	C	3,44,47,52,63,70 C	57,88,89 B1	B2
	0 考えられない	C	C	C	C	C

(c) 事業の成功に向けたリスク対策の方向性検討

前項までの検討結果をもとに、スマート農業を岩見沢市で成功させるために考慮すべき重要リスクへの対応策を検討する。併せて、スマート農業に求められるリスク対応についても検討、提示します。

評価の対象とするリスクは主にハザード系リスク（災害、事故、故障等）を主としますが、必要に応じて事業のスキーム、経済性等に関するリスクに関しても対象とします。

表 6.3.8 想定リスクの影響範囲・対策の方向性等

サービス提供時に想定されるリスク分類	サービス提供時に想定されるリスク概要	リスクの影響範囲				人/設備	提供作業	対策の方向性	補足/事例
		貴社	パートナー	利用者	...				
ハザードリスク 自然災害	風水害が発生	✓	✓	✓	✓	✓	✓	風速による運用制限を規定する	●●ガイドラインでは...を規定している
ハザードリスク 自然災害	落雷が発生		✓	✓		✓	✓	雷による運用制限を規定する	雷による影響の確認が必要
ハザードリスク 事故・故障	製品が発煙・発火		✓	✓	✓	✓	✓	...	製品RAを実施
ハザードリスク 事故・故障	人と衝突	✓	✓	✓	✓	✓	✓	...	●年●月×日 ■■において事故発生【URL】
ハザードリスク 情報システム	通信障害が発生	✓		✓	✓	✓	✓	...	総務省の●●ガイドラインを参照
オペレーショナルリスク 製品・サービス	利用者の個人情報漏洩	✓		✓			✓	...	個人情報保護法に基づき●●へ報告
オペレーショナルリスク 製品・サービス	設定ミス（異なる作業を実施）	✓	✓		✓		✓
オペレーショナルリスク 労務人事	利用者への差別（利用拒否）	✓	✓			✓	✓	コンプライアンス教育を実施する	自社の倫理規定を参照
...

表 6.3.9 想定リスクのエリア・対策の方向性等

サービス提供時に想定されるリスク分類	サービス提供時に想定されるリスク概要	リスクのエリア			対策の方向性	補足/事例
		単一農地エリア (特定農地内のみ自動稼働)	複数農地エリア (複数の農地をまたいで自動稼働)	広域エリア (公道を含むエリア全体で稼働)		
ハザードリスク 自然災害	風水害が発生	・ 利用環境 ・ 製品機能（防水性）	・ 利用環境 ・ 製品機能（防水性）	・ 利用環境 ・ 製品機能（防水性）	風速による運用制限を規定する	●●ガイドラインでは...を規定している
ハザードリスク 自然災害	落雷が発生	・ 天気予報の確認	・ 天気予報の確認	・ 天気予報の確認	雷による運用制限を規定する	雷による影響の確認が必要
ハザードリスク 事故・故障	製品が発煙・発火	・ 利用環境 ・ 動力源、整備状況	・ 利用環境 ・ 動力源、整備状況	・ 利用環境 ・ 動力源、整備状況	...	製品RAを実施
ハザードリスク 事故・故障	障害物と衝突	・ 運用ルールの徹底 ・ 運用環境の適切な設定	・ 運用ルールの徹底 ・ 運用環境の適切な設定	・ 運用ルールの徹底 ・ 運用環境の適切な設定	...	●年●月×日 青森県実験で事故発生【URL】
ハザードリスク 情報システム	通信障害が発生	・ システムのバックアップ体制 ・ 通信障害発生時の対応ルール	・ システムのバックアップ体制 ・ 通信障害発生時の対応ルール	・ システムのバックアップ体制 ・ 通信障害発生時の対応ルール	...	総務省の●●ガイドラインを参照
オペレーショナルリスク 製品・サービス	利用者の個人情報漏洩	・ 個人情報の取扱い有無	・ 個人情報の取扱い有無	・ 個人情報の取扱い有無 ・ 個人情報の管理方法	...	個人情報保護法に基づき●●へ報告
オペレーショナルリスク 製品・サービス	作業ミス（利用者誤登録）	・ 運用マニュアル ・ 誤作業時の対応ルール	・ 運用マニュアル ・ 誤作業時の対応ルール	・ 運用マニュアル ・ 誤作業時の対応ルール
オペレーショナルリスク 労務人事	利用者への差別（利用拒否）	・ 運用マニュアル ・ 利用条件	・ 運用マニュアル ・ 利用条件	・ 運用マニュアル ・ 利用条件	コンプライアンス教育を実施する	自社の倫理規定を参照
...

■	リスク大
■	リスク中
■	リスク小
■	リスク無

(d) 保険によるリスクヘッジの検討

リスク評価の結果、保険機能を活用してリスクヘッジを行うことが適切と考えられる一般的な例は以下の通りです。

- ・ サイバーリスク保険
システムへのサイバー攻撃があった際の関係者への賠償責任費用、フォレンジック調査費用、再発防止費用等を補償する保険。
- ・ 動産総合保険

農機具等の動産に発生した破損を補償する保険。

- ・ 賠償責任保険
実証実験中に実験関係者以外の第三者の財物を破損させる、又は第三者を負傷させる事態が発生した場合等の法律上の賠償責任を補償する保険。
- ・ 新たな専用保険の開発
例えば、ネットワークが遮断された際の、復旧費用（ネットワーク再構築費用や復旧時のテスト費用等）を補償する保険等を、実証実験の結果をもとに、東京海上日動と一緒に開発することも必要と考えられる。

(2) 【横展開計画】

① スマート農業（1 自動走行、2 ビッグデータ）

NTT 東日本では令和 2 年度に北海道内 171 市町村に対して地方創生の取組みヒアリングを実施し、その結果からスマート農業に興味がある 27 市町村を把握しました。

本実証を踏まえて、令和 3 年度に北海道内 27 市町村の自治体、JA を優先して横展開の推進を図っていきます。具体的には通信環境の整備、遠隔監視センター等の設置、農業生産者へ講演等を通じた普及活動を実施していくとともに、農業法人等へ委託事業（サービス運営事業者）の働きかけを行います。

令和 4 年度には北海道内 27 市町村以外及び北海道道外へ拡大を推進します。



図 6.3.5 自治体ヒアリング結果

(参考) 横展開ツール

NTT東日本

スマート農業で、豊かな働き方を実現!

ローカル5G × 農業

日本の農業は今、就業人口の減少による人手不足や、従事する方の高齢化など、さまざまな課題に直面しています。NTT東日本では、特定エリアで利用できる5Gネットワーク「ローカル5G」をはじめとしたICTによるスマート農業のご提供により、効率的な農業の実現をお手伝いいたします。

遠隔地から、データに基づく効率的な農作業を実現します

お客様の農地

ローカル5G基地局

遠隔監視センター

映像等の確認 遠隔制御

これまでの課題

農機を運転できる熟練者が不足

トラクターなどの自動運転で効率化

これまでの課題

従事者の健康被害を防止したい

農機の自動運転で安全性を確保

これまでの課題

作物の状態の調査に人手がかかる

環境データに基づく生育予測で精度UP

ローカル5Gとは

- 特定のエリア(農地、工場内など)での利用を目的とした、プライベートな5G(第5世代移動通信システム)のこと。
- Wi-Fiに比べてカバーできるエリアが広く、大規模通信、超低遅延が特長です。
- 広大な敷地に多数の基地局が点在するようなケースにおいて、農機やロボットを遠隔制御・監視するための通信インフラとして選んでいます。

図 6.3.6 スマート農業パンフレット (表)

【ローカル5G×農業】の主な活用例

トラクターなど農機の自動運転

- 高精細カメラを搭載した農機を、遠隔地から制御・監視できます。
- GPS等の情報を元に作成した走行マップに沿って自動走行するので、新規就業者でも対応可能です。
- 複数の農機を利用すれば、点在する田畑での同時作業も可能です。また、監視カメラを搭載することで、夜間作業にも対応できます。



後方監視カメラによる映像例 監視カメラによる夜間の映像例
※別途、遠隔監視下での無人自動走行に対応した農機が必要です。
※現在、安全性確保がガイドライン等の策定に向けて技術検証中です。

農機の自動散布

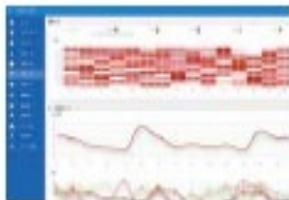
- 噴霧器を搭載した車両型ロボットが、農薬散布を自動で実施します。
- GPSを併用し、事前に設定したルートに沿って自動走行します。
- 作業者が農薬を吸入・接触するリスクを減らすことで、健康被害対策として有効です。



※現在は試験検証中です

環境データによる生育診断

- 自動走行するロボットが、各種環境データを収集することで、設置型センサーよりも詳細な生育診断が可能です。
- 環境データの微細な変動性を解析することで、どこにどのような施肥をするかなどの対策を行います。
- センサーで取得する分光分析、湿度、温度、CO2などのデータに加え、気象データなどの外部データを組み合わせて分析できます。



生育診断の画面例

色彩情報による収穫適期判断

- 自動走行するロボットが撮影した画像・映像から、作物の色彩情報に基づいて収穫適期を判断します。
- 収穫に適した果実や野菜のみを収穫できるので、品質向上につながります。
- どこにいくつの作物があるかの情報は、GIS(地図)上でヒートマップ(可視化グラフ)の形で確認できます。



色彩情報に基づく収穫適期判断のイメージ

NTT東日本の強み

- 通信事業者としていち早くローカル5Gの免許申請を行い、実証実験や共創スペース(ローカル5Gオープンラボ)の開設など経験豊富。
- 子会社として株式会社NTTアグリテクノロジーを立ち上げ、スマート農業のソリューション開発・提供に注力。
- マルチベンダー対応により、お客さまのご要望に応じたスマート農業のソリューションを柔軟かつスピーディーに実現。

【活用事例】農産農研株式会社さま

ローカル5G×農業用ロボットで農作物の収穫予定数を確認

- テクノロジーで農業の未来を豊かにする「ビジョン」を掲げる農産農研株式会社(以下、農産農研さま)では、AIを活用した農業用ロボットによる農機のデータ化に取り組みしています。
- 農産農研さまは、自動走行する農業用ロボット「FARBOT」(ファーボット)で農作物の情報を収集する連携手段として、ローカル5Gを採用しました。Wi-Fiよりもカバーエリアが広く、距離が近い農地での利用に適していること、加えて高湿度を伴った高熱帯気候により農作物の収穫を把握できる点が決め手となりました。
- 本格導入に先立ち、2020年7月にはNTT東日本と共同で実証実験を実施。遠隔地から「イチゴの色をもちに、収穫に適したものを判断する」実験を行い、スマート農業におけるローカル5Gの有効性が確認されました。

実証事例のネットワーク図



※農産農研、FARBOTは農産農研株式会社の商標または登録商標です。

図 6.3.7 スマート農業パンフレット (裏)

② 生活領域（3 排水路監視、4 健康管理）

令和 3 年度に北海道内の自治体に対して、気候変動、雪解け等による冠水、洪水等に対する初動体制の充実、住民への早期避難指示などを訴求し、排水路監視の推進を図っていきます。

健康管理は、令和 3 年度に北海道内の自治体や農業団体に対して、長時間屋外で作業する高齢者を中心に、熱中症や急な体調変化のリスクを訴求し、ウェアラブル機器着用の推進を図っていきます。

6.4 まとめ

スマート農業の具現化（社会実装）、事業モデルの早期実現は、農業就業人口の減少など農業の持続性における課題解決の有効な手段であると考えます。

更に働き方改革とは無縁であった農業生産者の労働改善が見込まれることの意義が大きく、重労働で労働時間が長く収入が低いというイメージから未来技術を活用することにより、就農する若者が増えることも期待されます。

事業モデル成功のポイントとしては、①農業生産者が支払う作業委託サービス料が現在の生産コストと比較し同等程度にできるのか、労働時間減少により耕作面積拡大による収益増が可能になるのか②事業主体（サービス提供事業者）は、作業受託面積がどの程度だとの経営が成り立つのかが重要であり、農林水産省事業「スマート農業実証プロジェクト（ローカル 5G）」2年目で実作業をもとに検証を行います。

もうひとつ重要な事項として、広大な農地へネットワーク基盤を構築する費用であると考えます。従来型工法を見直すなど、出来る限り整備コストの縮減を図るとともに、整備したネットワーク基盤を、農業を含めた生産・生活など多用途に活用し、整備・運用コストを農業生産者だけでなく、行政や他の分野等で分担する体制をつくる必要があります。

7. まとめ

日本の総人口は平成 22 年をピークに下がり続けているが、65 歳以上の構成比率は平成 22 年に 23%、10 年後の令和 2 年には約 30%と人口減少、少子高齢化の問題は毎年深刻度を増しています。

製造業等では生産コストを下げ安定的な収益を確保するため、早い時期から機械によるオートメーション化が進んでいます。

一方農業は家族経営が主体であり、農機の作業効率向上や大型化などは行われているものの、農機操作は農業生産者が直に行わなくてはならず、労働時間の減少には至っていません。

地域農業はもちろん、日本農業全体の産業競争力向上と持続性を確立するためには、ロボット技術や 5G 等の未来技術を用いた「スマート農業」の導入、普及を加速させることが不可欠であり、ローカル 5G など高度情報通信環境を用いたスマート農機の自動走行（レベル 3）やビッグデータ、AI の活用などの具現化（社会実装）は必須と考える。

本実証では、社会実装に向けたローカル 5G 利用における有効性や課題を確認できました。

- 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

また、農業を強くする取り組みは、地域経済の活性化及び地域コミュニティの持続性確保への貢献も期待され、岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアムでは、Society5.0 社会の早期実現を目指した、次世代まちづくりの基盤となるスマートシティへの取り組みを継続しています。

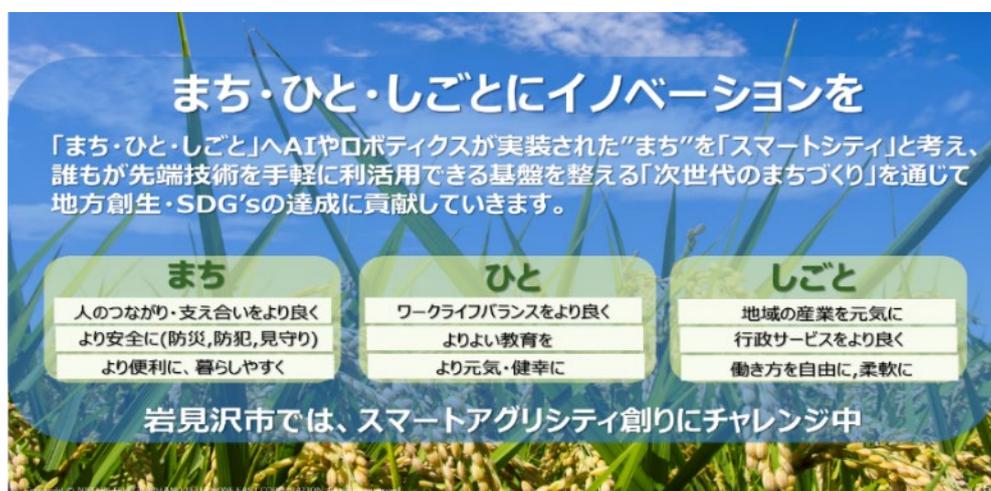


図 6.4.1 岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアム活動概要

8. 参考資料

8.1 活動実績

表 8.1.1 活動実績一覧

日付	活動名	対象	内容	参加者数
7月15日	視察対応	北海道経済連合会	施策説明、現地視察	4名
7月15日	視察対応	北海道経済連合会	施策説明、現地視察	4名
7月21日	講演・視察対応	スマート農業セミナー（タナベ経営主催）	施策説明、現地視察	18名
7月21日	講演・視察対応	北海道（情報政策課）	施策説明、現地視察	4名
7月22日	視察対応	放送局、出版社、作家	施策説明、現地視察	8名
7月24日	講演対応	インド・Conference on “Automation and robotics in agriculture”	技術発表	250名
7月27日	視察対応	道内4自治体、CATV事業者	施策説明、現地視察	17名
7月28日	視察対応	農水省（農村振興局）	施策説明、現地視察	8名
7月28日	視察対応	農水省（技術会議）	施策説明、現地視察	6名
7月30日	視察対応	北海道（農政部）	現地視察	7名
8月6日	施策説明	北海道（Society5.0推進計画策定委員会）	施策説明	15名
8月20日	施策説明	土地改良計画地方懇談会	施策説明	Web
8月27日	施策説明	農業農村工学会	施策説明	Web
8月28日	視察対応	農水省（農産企画課）	施策説明、現地視察	5名

9月1日	視察対応	北海道開発局	施策説明、現地視察	3名
9月7日	講演・視察 対応	ドイツ大使視 察	技術説明、現地視察	5名
9月9日	施策説明	北海道経済連 合会	施策説明	2名
9月9日	視察対応	新潟県土地連 等	施策説明、現地視察	12名
9月9日	施策説明	財務省（北海 道財務局長）	施策説明	3名
9月10日	施策説明	新規事業・新 規市場創出研 究会	施策説明	Web
9月24日	施策説明	農水省（ネッ トワーク検討 会議）	施策説明	20名
9月30日	取材対応	日本経済新聞	施策説明、現地視察	1名
10月12日	取材対応	事業構想大学 院大学	施策説明	Web
10月12日	取材対応	公明新聞	施策説明、現地視察	1名
10月14日	講演対応	第10回農業 Week	技術発表	450名
10月15日	講演対応	5Gセミナー （北陸総合通 信局主催）	施策説明	100名
10月19日	講演対応	北海道中小企 業家同友会講 演会	技術発表	50名
10月19日	講演対応	SMBC日興証券 セミナー	技術発表	30名
10月26日	視察対応	北海道商工会 議所連合会	施策説明、現地視察	40名
10月27日	施策説明	新潟大学（理 事）	施策説明	3名
10月29日	視察対応	北海道経済連 合会	施策説明、現地視察	43名
10月30日	講演対応	高度情報化ス マ農 web セミ ナー	技術発表	70名
10月30日	視察対応	北海道内農業 高校関係者	施策説明、現地視察	5名
11月4日	視察対応	日本電信電話 ユーザー協会	施策説明、現地視察	50名
11月6日 11月10日	講演対応 施策説明	北海道自動運 転セミナー	施策説明 施策説明	100名 30名

		地域情報化アドバイザー会議（北海道総合通信局）		
11月11日	講演対応	韓国・Asian Leadership Conference	技術発表	400名
11月13日	視察対応	稲津久衆議院議員	施策説明、現地視察	6名
11月19日	講演対応	網走市民大学講座	技術発表	30名
11月20日	講演対応	北海道空知総合振興局 セミナー	技術発表	100名
11月20日	講演対応	スマート農業セミナー（空知総合振興局主催）	施策説明	100名
11月24日	講演・視察対応	オランダ大使視察	技術説明、現地視察	5名
11月25日	講演対応	秋田県未来物流講演会	技術発表	100名
11月26日	施策説明	釧路農協連	施策説明	3名
11月27日	講演対応	セミナー（MWE2020）	施策説明	300名
11月30日	施策説明	学生によるヒアリング（北海道大学）	施策説明	1名
12月7日	取材対応	日本農業新聞	施策説明	1名
12月15日	施策説明	国土交通省（北海道局参事官室）	施策説明、連携協議	6名
12月18日	講演対応	山口県産業技術センター講演会	技術発表	80名
12月23日	取材対応	北海道新聞	施策説明	1名
1月22日	施策説明	農水省（課長補佐級勉強会）	施策説明	Web
2月4日	施策説明	ローカル5Gセミナー（新規事業研究会主催）	施策発表	Web

8.2 報道実績

表 8.2.1 報道実績一覧

日付	媒体	概要
08月28日	週刊ポスト（8月26日号）	岩見沢スマート農業・5G利用説明
09月13日	北海道放送	岩見沢スマート農業・5G利用説明
10月01日	アグリジャーナル	岩見沢スマート農業・5G利用説明
10月21日	ワックル（10月号）	岩見沢スマート農業・5G利用説明
11月17日	NHK おはよう日本	岩見沢スマート農業・5G利用説明 ※11月16日 NTTグループ報道発表による取材
11月21日	NHK・おはよう北海道	岩見沢スマート農業・5G利用説明 ※11月16日 NTTグループ報道発表による取材
11月24日	北海道新聞朝刊	岩見沢スマート農業・5G利用説明 ※11月16日 NTTグループ報道発表による取材
01月22日	北海道新聞朝刊	岩見沢スマート農業・ローカル5G利用説明 ※1月21日 NTT 東日本報道発表による取材
02月16日	北海道新聞空知版	岩見沢スマート農業・ローカル5G利用説明 ※1月21日 NTT 東日本報道発表による取材