令和４年度　課題解決型ローカル５Ｇ等の実現に向けた開発実証

【開発実証事業】

広大な放牧地におけるローカル５Ｇを活用した除雪や草地管理等の効率化・省力化の実現

成果報告書

令和５年３月

シャープ株式会社

牧草地におけるオールシーズン業務効率化コンソーシアム

目次

1. 実証概要 1

1.1 背景・目的 1
1.2 実証の概要 1

2. 実証環境の構築 2

2.1 対象周波数帯 2
2.2 実施環境 2
2.3 ネットワーク・システム構成 3
2.4 システム機能・性能・要件 23
2.5 その他 24
2.5.1 実証システムの拡張性等 24
2.5.2 実証システムの安全性確保のための対策 24

3. ローカル５Ｇの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証） 26

3.1 実証概要 26
3.2 実証環境 27
3.2.1 エリア設計手法と本実証環境における送信局諸元 28
3.3 実施事項 44
3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化 44
3.3.2 エリア構築の柔軟性向上 98
3.3.3 準同期 TDD の追加パターンの開発 195

4. ローカル５Ｇ活用モデルに関する検討（課題実証） 196

4.1 実証概要 196
4.1.1 背景となる課題 196
4.1.2 本実証におけるローカル５Ｇ活用モデル 197
4.1.3 実証内容の新規性・妥当性 204
4.1.4 実証目標 205
4.2 実証環境 207
4.3 実施事項 210
4.3.1 ローカル５Ｇ活用モデルの有効性等に関する検証 210
4.3.2 ローカル５Ｇ活用モデルの実装性に関する検証 285
4.3.3 ローカル５Ｇ活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討 312
4.3.4 ローカル５Ｇ活用モデルの実装・普及展開 322

5. 普及啓発活動の実施 334
5.1 映像制作 334
5.2 実証視察会の実施 335
5.3 その他普及啓発活動 336
6. 実施体制 337
6.1 実施体制の全体像 337
6.2 実施体制内の役割 338
7. スケジュール 340

1. 実証概要

1.1 背景・目的

北海道日高地方を代表する軽種馬産業は、景気によって市場動向が大きく左右される不安定な産業であり、また、牧場設備の老朽化や従業員の高齢化もあり生産基盤である草地の改良が停滞し、雑草の侵食等による収量や品質の低下が見受けられる。これは軽種馬のみならず酪農、肉用牛等の生産牧場においても同様であり、北海道及び全国の放牧地において、一次産業の安定的な生産基盤の整備に向けた対策が求められている。軽種馬用放牧地は軽種馬の運動範囲が広いために広大な敷地面積が必要であり、そして相手が生き物であることから、作業に従事する従業員の長時間労働、突発的な業務への対応等に対する労働環境の改善や新たな技術導入による効率化が求められている。また冬季には降雪量が増えると放牧地が使用できなくなるため、軽種馬の体調維持のためにも牧柵の内周等の除雪作業が必要となるなど、一年を通じて牧場の労働環境は過酷であり、安心・安全に働ける環境を構築することが必要とされている。

このような状況下において、日高地区の通信インフラはここ数年の総務省の支援スキームと自治体による積極的なブロードバンドインフラ整備が推進されたことで、各住居レベルまでは光ファイバが整備されたものの、軽種馬育成で実際に作業を行う放牧地や厩舎等では将来的にもインフラ整備が想定されていないのが現状である。

そのためルーラル地域においてアドホックに５Ｇ通信環境を構築することにより 1 年を通じて労働環境を改善し、経営効率を向上させるための課題解決と技術実証によるローカル５Ｇ開発実証を経て、北海道内外への横展開に向けた具体的な検討作業を推進していく。その場合、最大の課題であるコスト低減策にフォーカスし、検討・実証を実施した。

1.2 実証の概要

サラブレッド生産育成牧場である有限会社ビッグレッドファームは 1982 年に設立され、北海道新冠町、新ひだか町、茨城県鉾田市に拠点を置く総敷地面積 515ha、約 450 頭を保有する日高でも有数の牧場である。

そのなかでも主力となる牧場が新冠町明和にあり、270ha という広大な放牧地等をローカル５Ｇシステムでエリア構築すべく１つの基地局と分散アンテナシステム： Distributed Antenna System（以下、DAS という）を使用して“電波伝搬モデルの　精緻化”及び“エリア構築の柔軟性向上”を実施した。また基地局を車に搭載し、同じ番地内にある他施設のアンテナにも基地局を接続することで効率よいシステムの構築を図った。実証環境構築によって得られたエリアにおいて、ロボットトラクタによる除雪や草地刈り等の作業効率を高め、より安心で安全な労働環境を目指すための取組を実施した。

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

2020 年 12 月、ローカル５Ｇでは 28GHz 帯が拡張され、新たに 4.7GHz 帯が追加された。

28GHz 帯は直進性が高く、遮蔽物を回り込む性質が弱いため、建物や遮蔽物により不感エリアができやすいと言われているが、一方で広い帯域幅を確保できることから高速大容量通信を行うことが期待できる。

4.7GHz 帯は 28GHz 帯と比較してローカル５Ｇとして割り当てられた帯域幅が狭く、最大通信速度では劣るが、遮蔽物の回り込み特性に優れている。さらに基地局および端末装置の開発において Stand Alone（以下、「SA」という。）方式への対応が先行しており、アンカーバンド（LTE）の免許が不要となることからネットワーク導入障壁が低くなることが期待される。

本実証では、広大な牧場（屋外）に容易に設置するという観点から、「SA」が利用可能となる、4.7GHz 帯を利用することとする。具体的には、現行制度で屋外利用が認められている 4.8～4.9GHz までの 100MHz を選択し（図 2-1）、実証を行うものとする。

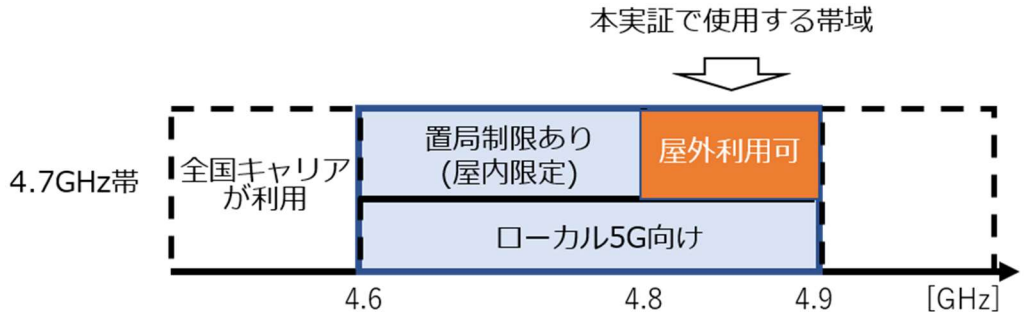


図 2-1 対象周波数帯

2.2 実施環境

今回の実証場所としては、軽種馬牧場となる「ビッグレッドファーム明和」（北海道新冠郡新冠町字明和 120-4）とし、屋外かつ、反射物がほぼ存在しない広大な土地等とする。本土地は軽種馬育成に利用されていることから、地形としても若干の斜面、起伏はあるものの、ほぼ「平地」となっている。



出所:地理院地図を加工して作成

図 2-2 ビッグレッドファーム明和

今回の課題実証においては、「エリア構築の柔軟性」という目標が掲げられている。エリア構築の大きな課題の１つとして広大なエリアを如何にカバーするかという点がある。広大な土地という観点でいうと、例えば、１つの町が形成できるような大きな牧場や農地、離散的に存在する自己土地という場合も存在する。特に北海道という土地はそういった意味での課題を多く有している土地であると言える。

今回の課題実証においては、上記課題を解決するため、制御装置を可搬可能とするローカル５Ｇシステム(以下、可搬型ローカル５Ｇシステムという)を提案しているが、その可搬性およびその効果を実証するためには、複数個所の実験環境を提供できる広大な土地が必要となった。

併せて、エリア構築の課題として、遮蔽によるスポット的な電波遮断、通信断への対応が考えられる。特に自動運転・安全管理などに利用する映像伝送においては、映像瞬断は極力避けたい課題である。しかしながら広大な平地等になると 4.7GHz 帯を選択したメリットである「反射」の効果が得られず、移動体の向き等によって受信が途絶える可能性がある。

本課題に対応するため、今回は DAS を提案するが、このような効果の確認を行うためには広大な平地(屋外)が必要となる。上記を鑑み、今回は北海度の軽種馬牧場ビッグレッドファーム明和を実証実験場所として選択した。

2.3 ネットワーク・システム構成

図 2-3 に今回の実証試験で使用したシステム構成全体を示す。本実証試験では、複数のエリア（①、②）をカバーするという課題解決の実現性の確認を１つの目的としているため、２か所をエリア化している。本実証試験における DAS における子局アンテナの配置イメージをそれぞれ図

2-4 に示す。後述のとおり、各エリアには DAS の子局（Remote Unit:以下 RU という)、および付加されるアンテナのみが設置されるものである。

本実証試験では、ローカル５Ｇアンテナユニット（Remote Radio Unit：以下 RRU という)、５Ｇコア装置（以下 5GC という)、セントラルユニット（Central Unit ：以下 CU という）およびディストリビューテッドユニット（Distributed Unit ：以下 DU という）を含むベースバンドユニット（Baseband Unit ：以下 BBU という）を含むローカル５Ｇシステム、および併せて DAS 親局（Master Unit:以下 MU という）をカバーエリア近傍に、温度管理、風雨を避ける目的から、移動車両内に設置した。RU、および RU 用アンテナのみをエリアに配置し、移動車両内機器を共用させることで、複数エリア設置時の設置コストの削減を狙ったものである。今回移動車両としては、リフター付き車両を利用し、ネットワークシステムラックの設置等を容易にした。

上記を踏まえ、今回の実証で利用する主要機器一覧を表 2-1 にまとめる。

今回の実証試験では、業務区域沿いに RU を設置し、試験対象エリア内のカバレッジを確保することを想定する。単純にエリアカバーのみを想定すると、無指向性アンテナ（オムニアンテナ）を利用し、アンテナを放牧地（エリア①）内中央に配置することが最も簡便な手法と考えられる。しかしながら、今回の課題解決に資するアプリケーションでは、通信対象は移動体であり、リアルタイム映像伝送を目的としていることから、一方向からの電波だけでカバーしようとした場合、例えば、「間に別の移動体が入る」「移動体の向きが変わり、自分自身で遮蔽される」といったことから映像が途切れるなど、障害が生じることが想定される。この課題を解決することを目的とし、今回のエリア構築においては 4 つの RU より 4 方向からの電波によりカバーすることとした。一般的なセルラーシステムを想定した場合、4 つの RRU の 4 方向からの信号は「別基地局(別セル)からの信号」となり、それぞれが干渉として影響するため、セル切り替え（ハンドオーバー）時に通信品質が劣化する可能性があり、置局設置コスト増になるといった問題が懸念されるが、本システムでは DAS における複数 RU による構成としたため、すべてのアンテナ信号は同一セルの信号であることから、「セル切り替えによる通信品質の劣化」がなく安定した通信の実現が実現できる。

上述のように「低コストでの広大なエリア化」、「瞬断のない通信の実現」のために DAS を導入し、合わせて、複数エリアの共用という観点で、可搬型ローカル５Ｇシステムを採用するものとする。

図 2-4 からわかるように、RU のそれぞれのカバーエリアは、意図的にオーバーラップさせている。これは前述のとおり、当該実証環境において、移動体の向きが変わった場合においては異なるアンテナからの電波を受信できるよう、意図的に別方向から放射、エリアを確保しつつ、他者土地への干渉削減を実現している。

本実証実験ではアプリケーションまでオンプレミス（移動車両内）にて完結させるため、ローカル５Ｇネットワークから、課題解決に活用するアプリケーションサーバに直接接続する構成とし、インターネットへの接続は想定していない。本サーバにおいて、ロボットトラクタからの映像をデコード、モニタに表示させるとともに、映像解析についても実施するよう構成する。

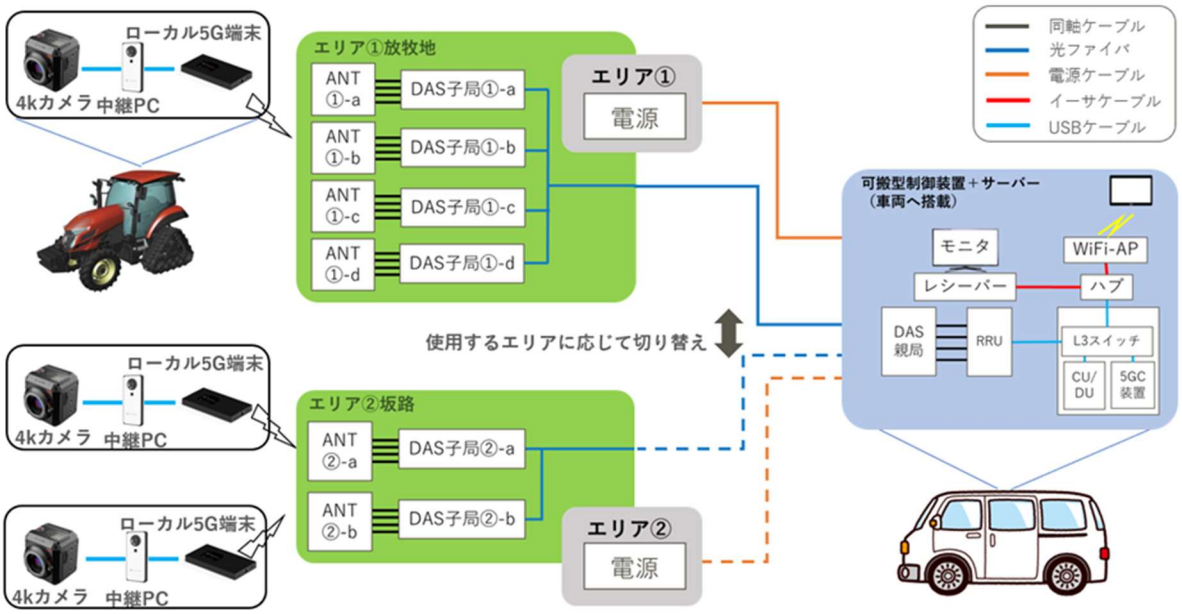


図 2-3 実証試験全体構成イメージ

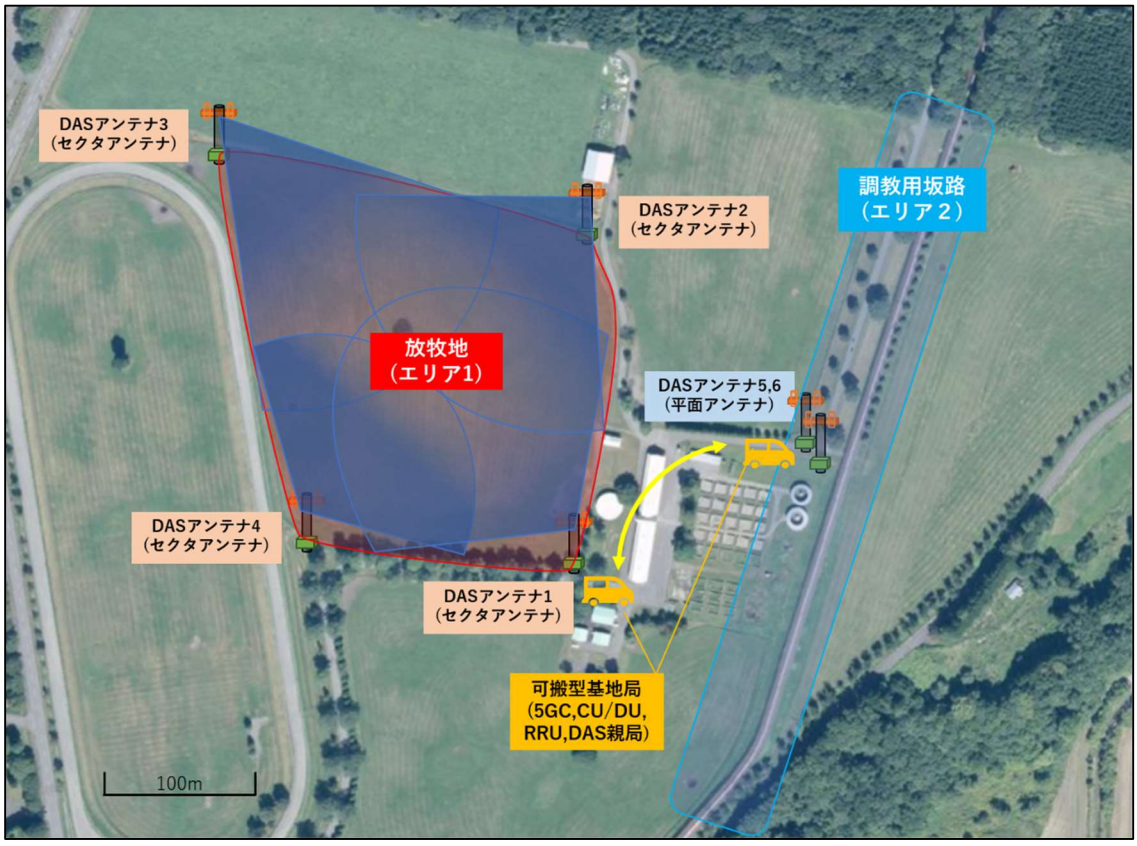


図 2-4 アンテナ配置イメージ

出所：地理院地図を加工して作成



図 2-5 可搬型制御装置搭載用車両

表 2-1 所要システム機材一覧

所要機材	所要数	役割
5GC	1	ローカル５Ｇ端末接続管理
BBU 装置	1	ローカル５Ｇ CU/DU 内蔵
RRU	1	ローカル５Ｇアンテナユニット
L3 スイッチ	1	ローカル５Ｇ関連スイッチ
MU	1	DAS 用
RU	6	DAS 用子局
DAS 用セクタアンテナ	4	エリア①用 DAS アンテナ
DAS 用平面アンテナ	2	エリア②用 DAS アンテナ
ローカル５Ｇ端末	3	ローカル５Ｇ端末
レシーバーサーバ	1	4K 映像解析、デコード
4K モニタ	1	4K 表示用
Wi-Fi AP	1	タブレット接続用
タブレット	1	ロボットトラクタ制御用
4K カメラ	3	ロボットトラクタ搭載用 および坂路での調教確認用
全天球カメラ	1	ロボットトラクタ周辺撮影用
中継 PC	2	カメラからの出力フォーマット調整
ロボットトラクタ	1	除雪、草刈り用農機具
ドローン（※）	1	走行経路生成に牧草地撮影用

※代表機関が本実証以前から所有する機材を使用

以下各構成装置について仕様をまとめる。

表 2-2、表 2-3 にローカル５Ｇネットワークシステムに含まれる BBU（CU／DU 一体型）、RRU で

構成される基地局無線部の特性を示す（図 2-6、図 2-7 にそれぞれの外観図を示す)。本実証試験で使用する基地局装置は、基本的には、3GPP Release 15 に準拠しており、第 4 世代移動通信システムとの共用を前提としたアンカー周波数を必要としない、いわゆる SA 構成である。SA 構成では、５Ｇシステムとは別の 4G のためのコアネットワーク（Enhanced Packet Core:以下 EPC という)を準備する必要がなく、ネットワーク構成の柔軟性やコストの観点で、Non-Standalone(以下 NSA という)構成より有用であるため、NSA 構成より SA 構成のネットワーク構成を選定するのが有用と考えた。

なお、本基地局構成では、無線フレーム構成として、同期 TDD(準同期 TDD)の場合でも、理論的には最大でおよそ 73(147)Mbps(1 ストリーム伝送時)を達成することが可能である。特に、本実証試験では、既に制度化された準同期 TDD 方式に加えて、図 2-8 に示す新たな準同期方式（準同期 TDD②、③）についても対応する。これにより、上りリンクの最大スループットは準同期 TDD②(③)で、理論上、およそ 183(220)Mbps(1 ストリーム伝送時)までの引き上げが期待できる。今回の実証では準同期 TDD③を採用して実証を行った。

また今回のシステム構成では、RRU からの出力 RF 信号は有線により DAS　MU に接続されるため、EIRP 等は規定していない。

表 2-2 BBU(CU/DU)の特性概要(シャープ製)

項目	諸元
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone)
チャネル帯域幅	100MHz
MIMO 対応	下り 4x4 / 上り 2x2
TDD 設定	同期 TDD (DDDSUUDDDD) 準同期 TDD (DDDSUUDSUU) 準同期 TDD② (DDSUUUDSUU) 準同期 TDD③ (DSUUUUDSUU) D:Downlink slot, U:Uplink slot, S:Special slot
RAN 方式	１RRU/1BBU 将来的に upgrade により 2RRU/1BBU に対応可能
接続ユーザー数	128 ユーザー （将来的に 256 (/2RRU) まで upgrade 可能)

ハンドオーバー	将来的に gNodeB 間／RRU 間サポート （Intra-frequency HO） *Inter-frequency HO については非サポート
優先制御	5QI 2, 9 に対応
インターフェース	バックホール：NG インターフェース フロントホール：O-RAN 標準規格(option 7.2)
外形寸法	約 446(W) x 711(D)x 87(H) mm
重量	約 30kg



図 2-6 BBU 外観図

表 2-3 アンテナユニット(RRU)の特性概要(シャープ製)

項目	諸元
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone)
対応バンド	n79 (4.8-4.9GHz)
使用周波数	4.84986GHz
帯域幅	100MHz
MIMO 対応	下り 4x4 / 上り 2x2
変調方式	下り 256QAM / 上り 256QAM
最大空中線電力	24dBm/port
TDD 設定	同期 (DDDSUUDDDD) 準同期 (DDDSUUDSUU) 準同期② (DDSUUUDSUU) 準同期③ (DSUUUUDSUU) D:Downlink slot, U:Uplink slot, S:Special slot
フロントホール	O-RAN 標準規格(option 7.2)
時刻同期方法	PTP (IEEE1588v2)
外形寸法	260(W)x242(D)x76.5(H) mm
重量	約 4.0kg

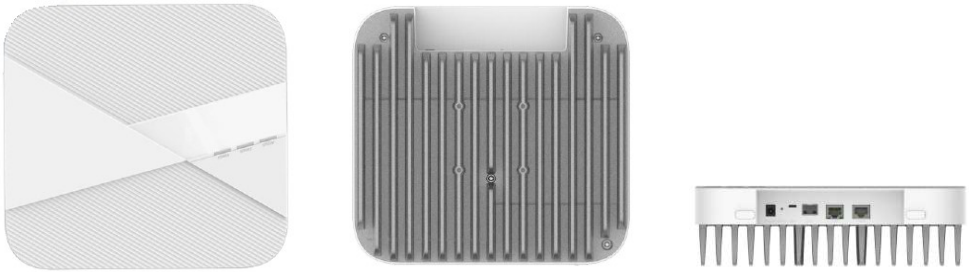


図 2-7 RRU 外観図

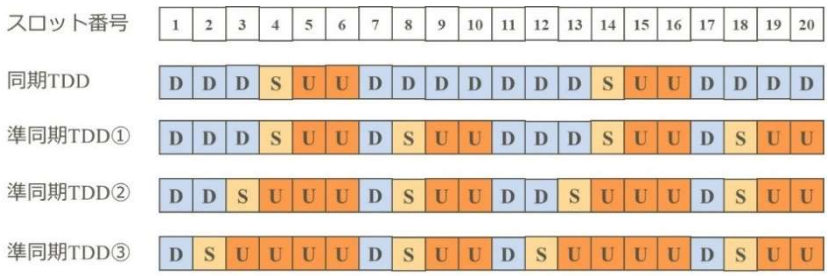


図 2-8 対応するフレーム構成について
(D:Downlink slot, U:Uplink slot, S:Special slot)

表 2-4 に本実証試験で使用する 5GC の性能を示す。(図 2-9 に外観図を示す。) 本実証試験では、接続端末数も少なく、合わせて分散アンテナを使用することにより RRU 数も非常に少ないことから、コスト優位性を考慮し、最低限の容量に対応するグレード採用を想定した。今後、ハードウェアを変更することなく、ライセンス契約内容を変更するだけで所望の最大接続 RRU 数にアップグレードも可能となっている。このように用途およびその拡張に応じてアップグレードが柔軟に対応できることから本機種を選定している。

表 2-4 5GC 諸元(シャープ製)

項目	諸元
対応仕様	3GPP Release 15
NF (Network Function)	AMF/SMF/AUSF/UDM/UPF
インターフェース	N1, N2, N3, N4, N6
接続ユーザー数	最大 5,000
接続 BBU 数	最大 4
スループット	最大 6Gbps
ハンドオーバー	将来的に BBU 間 HO サポート予定
優先制御	5QI 2, 9 に対応
外形寸法	約 254(W)x226(D)x43(H) mm
重量	約 3.4kg



図 2-9 5GC 外観図

表 2-5 に、今回の実証試験で使用するローカル５Ｇ端末の諸元を示す。(図 2-10 図 2-10 に外観図を示す。) 本実証試験ではバッテリ駆動可能な端末装置を前提とする。これは、実装するソリューションにおいては、無線関連装置の可搬性を前提とするためである。

表 2-5 ローカル5G端末の概要(シャープ製)

項目	諸元
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone) / NSA (Non-standalone)
対応周波数帯	n79 (4.6 - 4.9GHz) :NSA, SA n257 (28.2 - 29.1GHz) :NSA
チャネル帯域幅	100MHz
MIMO 対応	n79:下り 4×4 / 上り 1×1 n257:下り 2×2 / 上り 2×2
変調方式	n79 : 下り 256QAM / 上り 256QAM n257: 下り 64QAM / 上り 64QAM
通信速度	下り最大約 3Gbps / 上り最大約 600Mbps
最大空中線電力	23dBm
TDD 設定(n79)	同期/ 準同期/ 準同期②、③
入出力端子	2.5G BASE-T ×1 / USB Type-C ×1
外形寸法	約 157mm(W) × 16mm(D) × 84mm(H)
重量	約 270g



図 2-10 ローカル5G端末の外観図

以下今回の実証試験で採用する、DAS の MU、RU の概要をそれぞれ以下に示す(表 2-6、表 2-7)。

外観図を(図 2-11、図 2-12 に示す)。DAS システムでは、下り信号（ダウンリンク信号）についてはまず、MU にて、ローカル５Ｇネットワークシステムの RRU のアンテナ端子より有線で入力されるアナログ無線信号を光信号に変換し、子局側（RU）へ光伝送する機能を有する。RU は MU より伝送された光信号をアナログ電気信号に再変換し、別途用意する外付けアンテナ機器より放射する。

上り信号（アップリンク信号）については、上記フローと逆の動作となり、外付けアンテナ機器より受信された信号を RU にて光信号へ変換し、MU 側へ伝送する。MU では、光信号を再度アナログ無線信号へ変換し、ローカル５Ｇネットワークシステムの RRU アンテナ端子へ有線にて出力する。

併せて、本 DAS は増幅器を有し、ローカル５Ｇネットワークシステムから見た場合、DAS 全体が「増幅器を有する外付けアンテナ」として見ることができる。DAS の利得については上り信号／下り信号それぞれ独立に設定できる機能を有する。

今回外付けアンテナとして、広いエリアを確保する放牧地についてはセクタアンテナの採用を想定している。表 2-8 にアンテナの概要、図 2-13 に外観図、図 2-14、図 2-15 に指向性パターンを示す。また、坂路近傍の外付けアンテナとしては、下述のとおり、比較的狭ビームアンテナとするため、平面アンテナの採用を想定している。以下表 2-9 にアンテナの概要、図 2-16 に外観図、図 2-17 に指向性パターンを示す。

表 2-6 DAS における MU の概要(東芝インフラシステムズ製)

項目	諸元
対応周波数帯	n79（4800-4900）
チャネル帯域幅	100MHz
MIMO 対応	4×4（上り下り共）
システムゲイン （RU と合わせて）	30dB （内部アッテネータとして 0～15dB（1dB ステップ）で設定可能）
TDD 設定	同期 TDD（DDDSUUDDDD） 準同期 TDD（DDDSUUDSUU） 準同期 TDD②(DDSUUUDSUU) 準同期 TDD③(DSUUUUDSUU) D:Downlink slot, U:Uplink slot, S:Special slot
外形寸法	約 157(W) x 84(D)x 16(H) mm
重量	約 10.0kg 以下



図 2-11　DAS における MU の外観図

表 2-7　DAS における RU の概要(東芝インフラシステムズ製)

項目	諸元
対応周波数帯	n79（4800-4900）
チャネル帯域幅	100MHz
MIMO 対応	4×4（上り下り共）
変調方式	下り 256QAM / 上り 256QAM
最大空中線電力	30dBm/port（下りリンク）
システムゲイン （MU と合わせて）	30dB （内部アッテネータとして 0～15dB（1dB ステップ）で設定可能）
TDD 設定	同期対応（DDDSUUDDDD） 準同期対応（DDDSUUDSUU） 準同期 2(DDSUUUDSUU) 準同期 3(DSUUUUDSUU) D:Downlink slot, U:Uplink slot, S:Special slot
外形寸法	約 305mm(W) x 385mm(D) x 105mm(H)
重量	約 12.5kg 以下



図 2-12　DAS における RU の外観図

表 2-8　DAS におけるセクタアンテナの概要(日本電業工作製)

項目	諸元
使用周波数範囲	3400～5000MHz
VSWR	1.5 以下
利得	4.5GHz 帯：約 16.0dBi
水平面内ビーム幅	約 70°
外形寸法	φ26mm x 447mm
重量	約 2kg



図 2-13　DAS におけるセクタアンテナの外観図

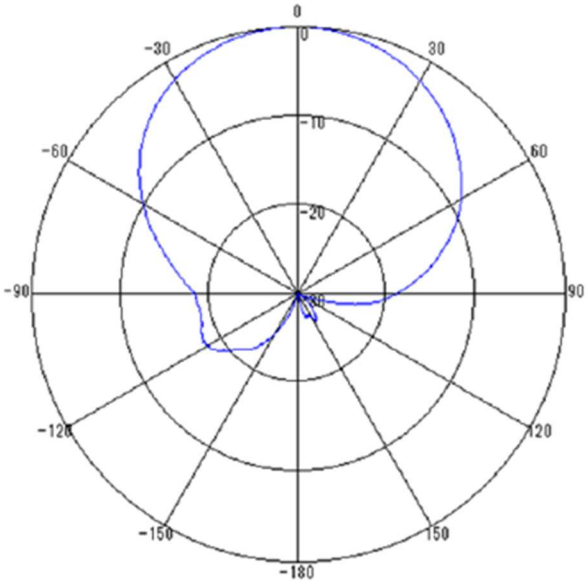


図 2-14　セクタアンテナ指向性パターン(水平面内指向性)

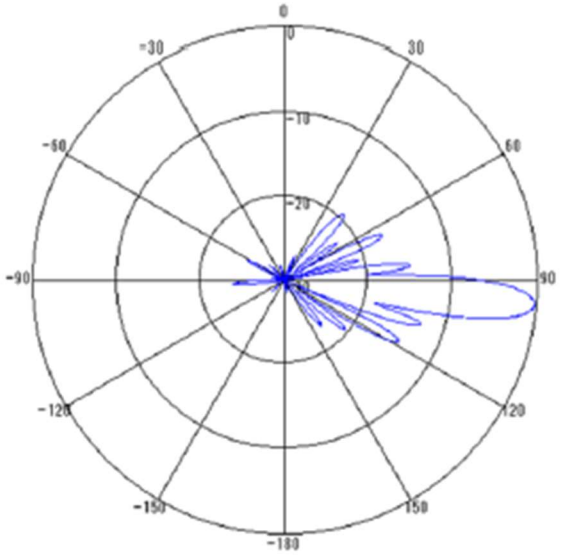


図 2-15 セクタアンテナ指向性パターン(垂直面内指向性)

表 2-9 DAS における平面アンテナの概要(日本電業工作製)

項目	諸元
使用周波数範囲	4500～5000MHz
VSWR	2.0 以下
利得	4.5GHz 帯：13.5dBi
水平面内ビーム幅	30° ±5°
外形寸法	約 150mm(W) x 150mm(D) x 56mm(H) (突起物除く)
重量	約６００g (アンテナ本体)



図 2-16 DAS における平面アンテナの外観図

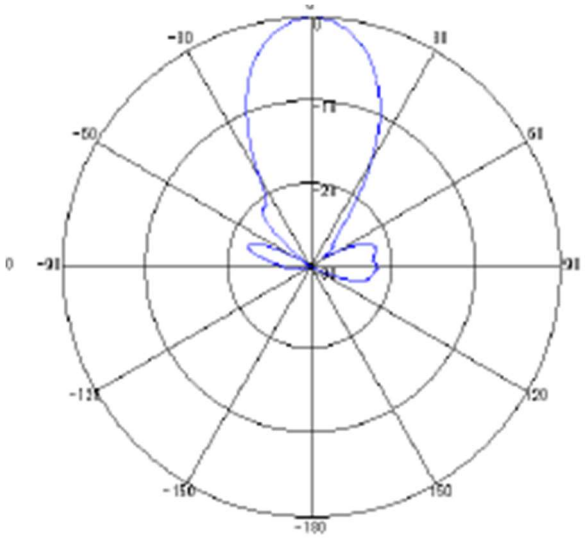


図 2-17 平面アンテナ指向性パターン(水平及び垂直面内指向性)

本実証で使用したシステムでのレベルダイヤを以下図 2-18 に示す。

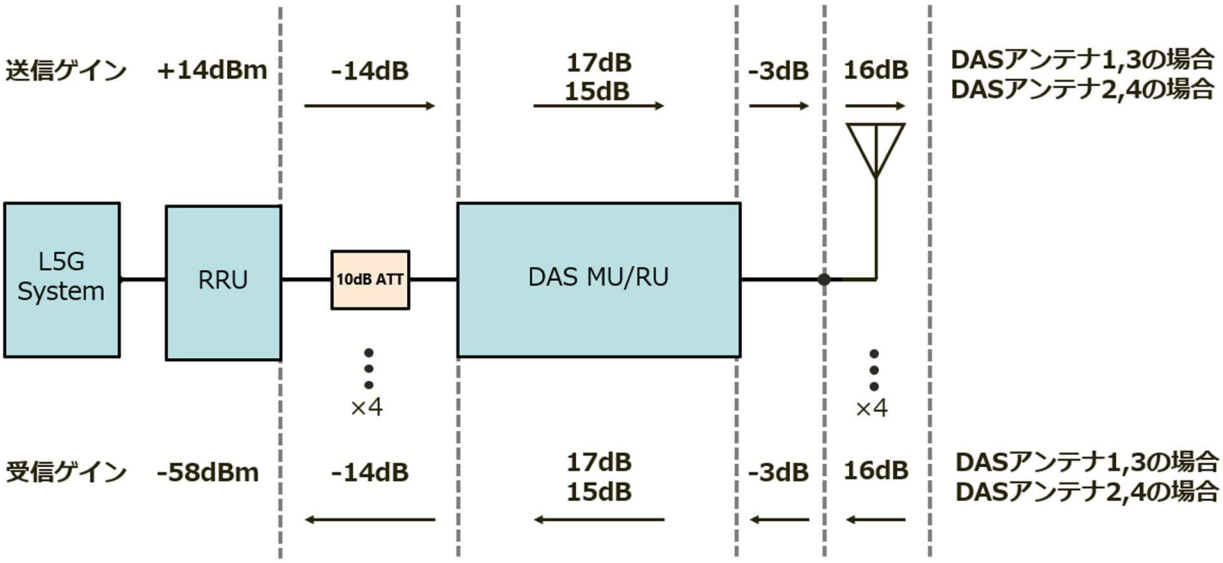


図 2-18 システムレベルダイヤ

また、映像伝送などアプリケーション実装に活用する機材について以下に概要をまとめる。

・4K カメラ

今回の実証試験で求められるのは、4K 高精細に加え伝送時のビットレートを調整でき、かつ小型であることであり、これまでも実績のある Z-CAM 製の E2 を使用した。なお、ロボットトラクタ周辺の安全性確認のため、上記 4K カメラには魚眼レンズを搭載しなるべく死角がない状態の映像を撮影する。以下にカメラの概要を示す。

表 2-10 4K カメラの概要(Z-CAM 製)

項目	諸元
解像度等	3840×2160　@60fps 対応
映像符号化方式	H.265, H.264
符号化情報速度	最大 300Mbps
外形寸法	91.2mm(W)×99.25mm(D)×95.6mm(H) （バッテリ、レンズ含まず）
重量	約 930kg（バッテリ、レンズ含まず）
入出力端子	USB3.0, Ethernet, Wi-Fi, HDMI2.1
動作環境	温度：0℃～40℃



図 2-19 4K カメラの外観

・全天球カメラ

トラクタの 360° 全周囲を捉えることができる全天球カメラ(THETA Z1)を用いた 4K 高精細映像の伝送による安全性確認の実証実験も実施した。以下にカメラの概要を示す。

表 2-11 全天球カメラの概要(RICOH 製)

項目	諸元
解像度等	3840×1920　@29.97fps
映像符号化方式	H.264
符号化情報速度	最大 120Mbps
外形寸法	48mm(W)×132.5mm(D)×29.7mm(H)
重量	約 182kg
入出力端子	USB3.0, Wi-Fi, Bluetooth
動作環境	温度：0℃～40℃、湿度：90%以下



図 2-20 全天球カメラの外観

・中継 PC

4K カメラから出力される通信プロトコルは STR とした。ロボットトラクタに搭載するのに小型でバッテリ駆動が必要となるため、dynabook 製の実績ある DynaEdge DE200/U 使用をした。以下に概要を示す。

表 2-12 中継 PC の概要(dynabook 製)

項目	諸元
CPU	Intel Core i7-1160G7
メモリ	16GB
ストレージ	SSD 512GB
入出力	USB3.0 (Type-A,-C)、Wi-Fi6、Ethernet (アダプタ)
重量	約 340g (バッテリ込み)
外形寸法	約 197.0mm(W)×85.0mm(D)×20.0mm(H)
動作環境	温度: 5～35℃、湿度: 20～80%



図 2-21 中継 PC の外観

・レシーバーサーバ

遠隔地に受信する際、リアルタイム伝送される 4K 映像を出力する機能に加え、AI による画像処理をオンプレミスサーバで実施する必要があるため、それらが実現できる PC としてアストロデザイン製の AW-8803 を使用した。サーバの概要は以下のとおりである。

表 2-13 レシーバーサーバの概要(アストロデザイン製)

項目	諸元
CPU	AMD Ryzen9 5950
メモリ	DDR4 16GB×2
ストレージ	SSD 1TB
GPU	NVIDIA RTX3070
入出力	USB3.2Gen2、Wi-Fi6、Ethernet、HDMI、12GSDI×4
電源	1000W
重量	約 13 kg
外形寸法	約 430mm(W)×425mm(D)×170mm(H)
動作環境	温度: 5～35℃



図 2-22 サーバ PC の外観

・4K モニタ

実験時、同時に複数の人間が視聴することを想定し、43 型の 4K モニタとしてシャープ製の 4T-C43EN2 を使用した。

表 2-14 4K モニタの概要(シャープ製)

項目	諸元
画面サイズ	43V 型
画素数（水平 x 垂直）	3,840×2,160
入出力	HDMI、LAN、音声入出力
重量	約 11.0kg
外形寸法	約 957mm(W)×83mm(D) ×574mm(H)
動作環境	温度: 0～40℃



図 2-23 4K モニタの外観

・ロボットトラクタ（制御用タブレット含む）

ロボットトラクタとしてヤンマー製の YT5113A を使用した。タブレットにより自動走行ルートの入力や、リモコンによる遠隔からの走行開始および停止等を制御することができる。

表 2-15 ロボットトラクタの概要(ヤンマー製)

項目	諸元
駆動方式	４輪駆動
機体寸法	4285mm(W)×2020mm(D)×2850mm(H)
最低地上高	450mm
機体重量	約 3900kg
エンジン	水冷４サイクル４気筒直噴ディーゼル
走行速度	0.15～34.0 km/h、後進：0.15～26.0 km/h
最小旋回半径	3.9m
遠隔操作制御	10.1 インチタブレット、リモコン
装備品	アンテナユニット、自動操舵装置、安全装置
オプション	フロントローダー



図 2-24 ロボットトラクタと制御用タブレットの外観

・ドローン（制御用タブレット含む）

上空からの撮影測量ドローンとしてDJI製のPhatom4 Pro V2.0を使用した。ロボットトラクタの自動走行経路生成の解析に利用する空中写真（オルソ画像）を得るため、手動もしくは自動航行により複数枚の写真撮影を実施した。

なお、代表機関が本実証以前から所有する機材を使用している。

表 2-16 ドローンの概要(DJI製)

項目	諸元
本体重量	約1.4kg
対角寸法	350mm
最大飛行時間	約30分
衛星測位システム	GPS/GLONASS
カメラ	1インチ,有効画素数:20M
走行速度	視野角:84°,8.8mm/24mm,f/28～f/11
最大静止画サイズ	4864x3648(4:3),5472x3648(3:2)
動画撮影サイズ	4K:3840x2160 30p @100Mbps (H.264, H2.65)
地上画素寸法(GSD)	約10～15cm/pixel（高度30～70m）対空標識使用
動作環境	温度: 0～40℃



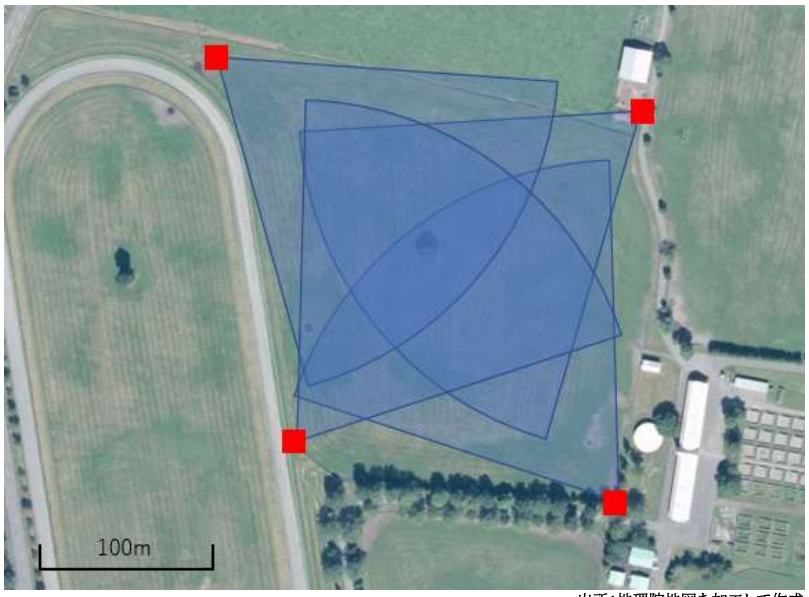
図 2-25 ドローンと操縦用コントローラの外観

エリア構築について以下にまとめる。

今回のエリアは広大な放牧地（エリア①）と調教用坂路（エリア②）の2か所(同じ番地内)の構築を検討している。今回の実証でのシステム構築コンセプトとしては、複数のエリアを構築し制御装置部分を可搬型として車両に搭載し、移動させるということにある。

エリア①の図面を図 2-26に示す。今回の実証では本エリアをDASのアンテナ４基でカバーするものとする。さらに本図に示すように意図的に各アンテナのカバーエリアを重ねるように展開している。この配置がDASの効果となることが期待される。今回ロボットトラクタの移動体に端末を設置するが、反射が期待できない大きく開けた環境であることから、移動体の向きにより、

基地局アンテナが陰となり無線回線が大きく劣化することが生じることが容易に想定される。今回のアンテナ配置において、DAS アンテナカバーエリアを重ねていることで、あるアンテナからの電波の受信が途絶えた場合でも、別アンテナから受信できる可能性が高い。結論として、あたかもマルチパスが受信されたように瞬断なく安定した通信が維持されることが期待される。本実証においてはそのような点についても確認をするものである。



出所：地理院地図を加工して作成

図 2-26 エリア①アンテナ配置案

図 2-27 にエリア②（坂路）におけるアンテナ配置案を示す。ここでは坂路横に５Ｇ端末が配置されること、かつ撮影映像の調整から５Ｇ端末の位置が坂路に沿って変更される可能性を鑑み、狭ビーム用 DAS アンテナを選定し、坂路に沿った細長い５Ｇエリアを構築する。



図 2-27 エリア②のアンテナ配置案　出所：地理院地図を加工して作成

繰り返しとなるが、今回の実証実験では、

・広大かつ反射の少ない環境でのエリア構築

・複数個所に渡って５Ｇ制御装置等を移動する（可搬）

を課題としている。本課題が生じやすい実験環境として、今回選定した牧場環境は非常にエリアが広大であり、反射も少なく面展開するには施設全体が広すぎるため困難であるといった前提条件をすべて含んだ環境下であることから、本実験環境が非常に適していると判断した。

表 2-17 ローカル5Gシステム(基地局)の概要

	基地局装置
製造ベンダ	シャープ株式会社
DL：UL 比率	2:6
周波数帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA
UL 周波数	4.8～4.9GHz
DL 周波数	
UL 帯域幅	100MHz
DL 帯域幅	

UL 中心周波数	4.84986GHz
DL 中心周波数	
UL 変調方式	64QAM
DL 変調方式	
MIMO (DL/UL)	4×4／1×1

上記機器を使用したネットワーク構成図を図 2-28 に示す。

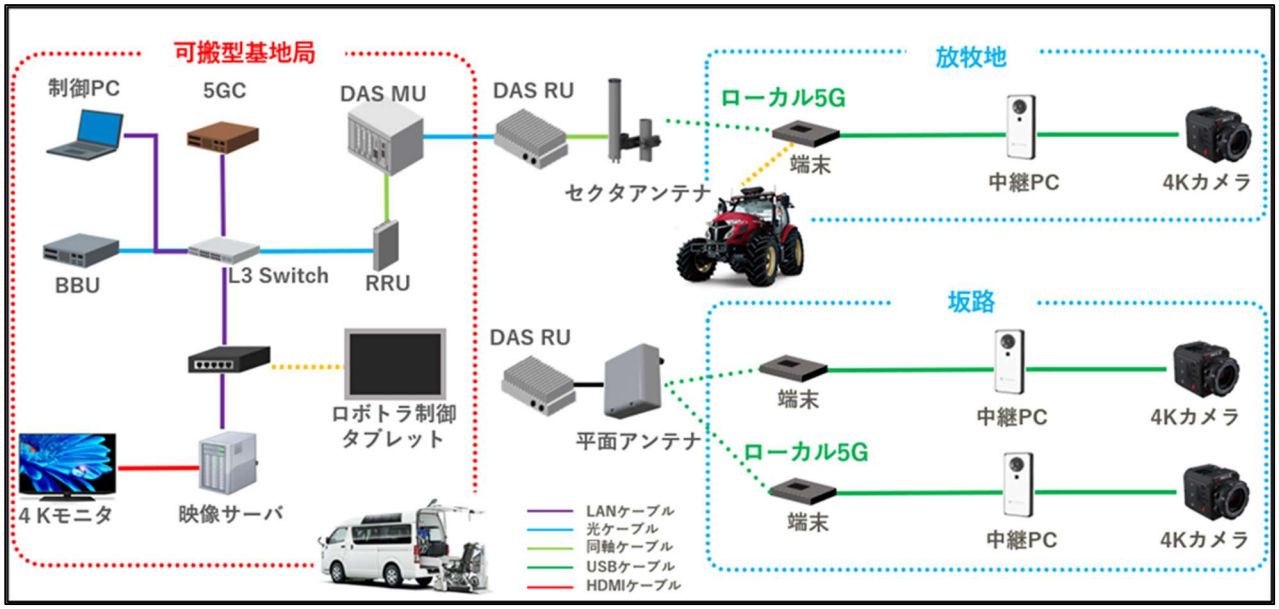


図 2-28 ネットワーク構成図

2.4 システム機能・性能・要件

本実証試験では、ロボットトラクタ（移動体）1 台に搭載された 4K カメラ 1 台の映像、もしくは坂路に設置された 4K カメラ 2 台の映像をリアルタイムで伝送する必要がある。つまり、上りリンクにおいて、4K ストリーミング 2 本を無線で伝送する必要がある。今回使用した映像データの仕様を以下に示す。

表 2-18 今回の実証試験で要求される 4K 映像仕様

項目	諸元
解像度／フレームレート	3840×2160 60p 対応
エンコード方式	H.265
所望ビットレート	Max20Mbps／1 ストリーム

上記を受け、安定して通信させるため、放牧地においては、

20Mbps×2（マージン）=40Mbps

程度の上りリンクスループットを安定的に実現する無線環境を構築する必要があると考える。そのため、ローカル５G、DAS 機器選定として、上述のように準同期②、③に対応した機種を選定した。準同期③に対応することにより、上りスループットの理論的最大値は 220Mbps となり、広範囲エリアにおいて 40Mbps 以上のスループットが実現できる環境が構築できるものと想定している。

また、今回は非常に広大な場所、かつ複数のエリアを同時に利用する必要がないという利用環境として、軽種馬牧場での実証試験を行った。つまり、排他的に一方のみを利用するといった利用シーンを想定しており、この場合、すべてのエリアを光回線で接続するといった大掛かりな設置ではなく、各エリアのみそれぞれで終端させる形で配置しておき、メインとなる５G制御装置部分を移動車両に搭載し、エリア近傍に移動させた形で使用できるように構成した。

本利用を鑑み、まずは、上述の 5GC、BBU、MU、RRU といった可搬型制御機器、およびサーバ機器は車両への搭載できるサイズである必要がある。今回のシステム構成では、5GC、BBU、MU 機器については机下設置用 19 インチラックサイズのものに設置可能となるよう機器選定している。

2.5　その他

2.5.1　実証システムの拡張性等

今回採用している基地局装置、コア装置については、3GPP 規格に準拠したものであり、併せて RRU とのインターフェースについても O-RAN 準拠のものを採用している。ソフトウェアでの実現部分が多く、今後も容易に更なる機能拡張が実現できる構成となっている。

また 3GPP において、実用化が期待される仕様となる Release 15 準拠としている。ただし、今後動作安定した Release が採用されていく場合には、上記ソフトウェアップデートで対応できるような機器を選定している。

2.5.2　実証システムの安全性確保のための対策

（1） 特定高度情報通信技術活用システム

今回採用したシステムは特定高度情報通信技術活用システムとして、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和 2 年法律第 37 号）に基づく開発供給計画認定を受けた実績のない事業者からの提供となっている。

対象となる、基地局装置、コア装置については「ローカル５G導入に関するガイドライン」に留意し、サプライチェーンリスク対策を含むサイバーセキュリティ対策を実施している。「セキュリティ・バイ・デザイン」の考えで開発を行い、脆弱性を含まない安全設計、サイバーセキュリティに関するソフトウェアレビュー、セキュリティに関する脆弱性の評価により安全の確保を

行っている。 なお、本機材については、社内の実験環境で長時間試験、トライアルフィールド in Makuhari での顧客へのデモンストレーションなどで 1 年以上評価を進めているものであり、さらに、双方、令和 3 年度「課題解決型ローカル５Ｇ等の実現に向けた開発実証」において、使用された実績のある機器を利用している。

(2) その他の実証システム

映像伝送で使用する送信 PC は dynabook 製であり、社内のラボ環境、５Ｇを利用した映像伝送試験、並びにローカル５Ｇを利用した超高精細 8K 映像伝送試験で実績があるものを改良して使用した。

3. ローカル５Ｇの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要

今回の実証試験は前述のとおり、広大な土地である牧場での実施、および牧場内 2 か所のエリア構築を行った。さらにエリア構築においては DAS を使用した。技術実証においては、第一に DAS アンテナ 1 局を利用した、“電波伝搬モデルの精緻化”とともに、第二に“エリア構築の柔軟性向上”を実施した。

“電波伝搬モデルの精緻化”において、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）にてエリア算出に関する方法が規定されており、電波伝搬（伝搬ロス）に関する式が規定されている。

本実証では、代表的な DAS アンテナ 1 局のみから送信される状態を作り、電波伝搬特性（具体的には受信レベル（RSRP）測定による伝搬ロス）を測定するとともに上記式の精緻化に向けたパラメータの検討を行った。すなわち、広大なエリアであり、ほぼ反射のない（地面のみ）環境での伝搬モデル精緻化結果をまとめた。

合わせて、複数の DAS アンテナを配置した場合のエリア計算を行う。ここでは、それぞれの DAS アンテナの電波伝搬計算を独立に行い、単純に各ポイントにおいて電力加算される、という前提でエリア計算を行った。この際、先に想定した精緻化後のパラメータを利用した。本実証により、DAS アンテナを利用した際の、上算出方式の活用可能性をまとめた。

合わせて、“エリア構築の柔軟性向上“に向け、DAS によるエリア構築効果についても確認を実施した。ここでは、DAS を使用した場合でも上記算出方法を容易に活用できることを確認するとともに、比較的広大なエリアにおいて DAS アンテナ活用により、エリア構築が容易に実現できていることを実測で確認し、DAS により柔軟にエリア構築が実現できることを確認した。合わせて、実用に向け、遮蔽による電波遮断に対する耐性についても確認を行った。

なお、今回採用したシステムでは、準同期 TDD②、③をサポートしているが、与被干渉対象別システムが構築できないため、”準同期 TDD の追加パターンの開発”は対象外とした。

表 3-1 技術実証概要

項目			該当有無
技術実証の実施環境	周波数	4.7GHz帯	○
		28GHz帯	×
		キャリア５Gの周波数帯	×
	実施環境	屋内	×
		屋外	○
		半屋内	×
	周辺環境	都市部	×
		郊外	×
		開放地	○
		その他	×
テーマ別実証	I.電波伝搬モデルの精緻化	Kの精緻化	○
		Sの精緻化	×
		hrの精緻化	×
		Rの精緻化	×
		DASによるエリア設計簡易化	○
	II.エリア構築の柔軟化	電波不感課題の解消確認	○
		DASによるエリア構築手法	○
		他者土地への漏洩低減	×
	III.準同期TDDの追加パターンの開発	_	×

3.2 実証環境

先に示す通り、本実証試験環境は広大な牧場としている。条件としては、屋外、開放地であり、斜面、くぼみが一部存在するものの、ほぼ平坦な場所であるといえる。

北海道の広大な地形のため、反射はほとんど期待できず、遮蔽等が生じた場合には、通信が遮断されてしまうといった懸念が生じる環境である。

このような「エリアが広大である」、「遮蔽による通信瞬断が生じる」といった課題によりローカル５Ｇ導入が妨げられている事例は複数存在すると想定され、その代表的な例として今回の実証試験実施場所は最適と考えられる。

ただし、実際の実証測定において、一部測定エリアが

・想定以上の積雪

・熊出没の危険性

等から測定不可とした。

以下、本実証におけるシミュレーション・設計についてまとめる。

3.2.1　エリア設計手法と本実証環境における送信局諸元

(1)　エリア設計概要

本実証環境では上述の通り、広大な牧場での通信環境構築となり電波環境としては屋外、開放地であり、反射の影響を受けない環境であることから、エリア内にて遮蔽物による影響を考慮したエリア設計とする必要がある。一方、本実証環境ではローカル５Ｇを効率的に活用するために他者土地への影響も考慮する必要性もある。また、本実証環境のみならず同様な環境においては無線局をはじめ、光、電源などの設置環境に応じた設置制限にも配慮しながら、エリア設計することが重要であった。

このように、様々な要因を考慮した通信環境を構築するために、今後同様な環境での横展開を見据えたうえで１つの手法となるよう、本実証においては以下の手順でエリア設計を実施した。

①無指向性アンテナでのエリア設計

②アンテナの指向性、チルト角によるエリア設計

③DAS 活用によるエリア設計

(2)　エリア設計手順

本実証における業務区域はユースケースとして高精細映像伝送を想定し、UL および DL の目標値をそれぞれ 40Mbps 以上とし、所要受信電力は RSSI-84dBm となるエリア構築を基準とした。

①無指向性アンテナでのエリア設計

一般的にエリア設計を実施するうえで開放地においての電波の広がりを確認するため、業務区域内をカバーできるように送信出力等のパラメータを調整してエリアシミュレーション（KCAMP）を実施した。

図 3-1 では無指向性アンテナを用いて送信出力 20dBm、図 3-2 では送信出力 25dBm でのエリアシミュレーションを実施したところ、業務区域内にて一部エリアがかける結果となった。

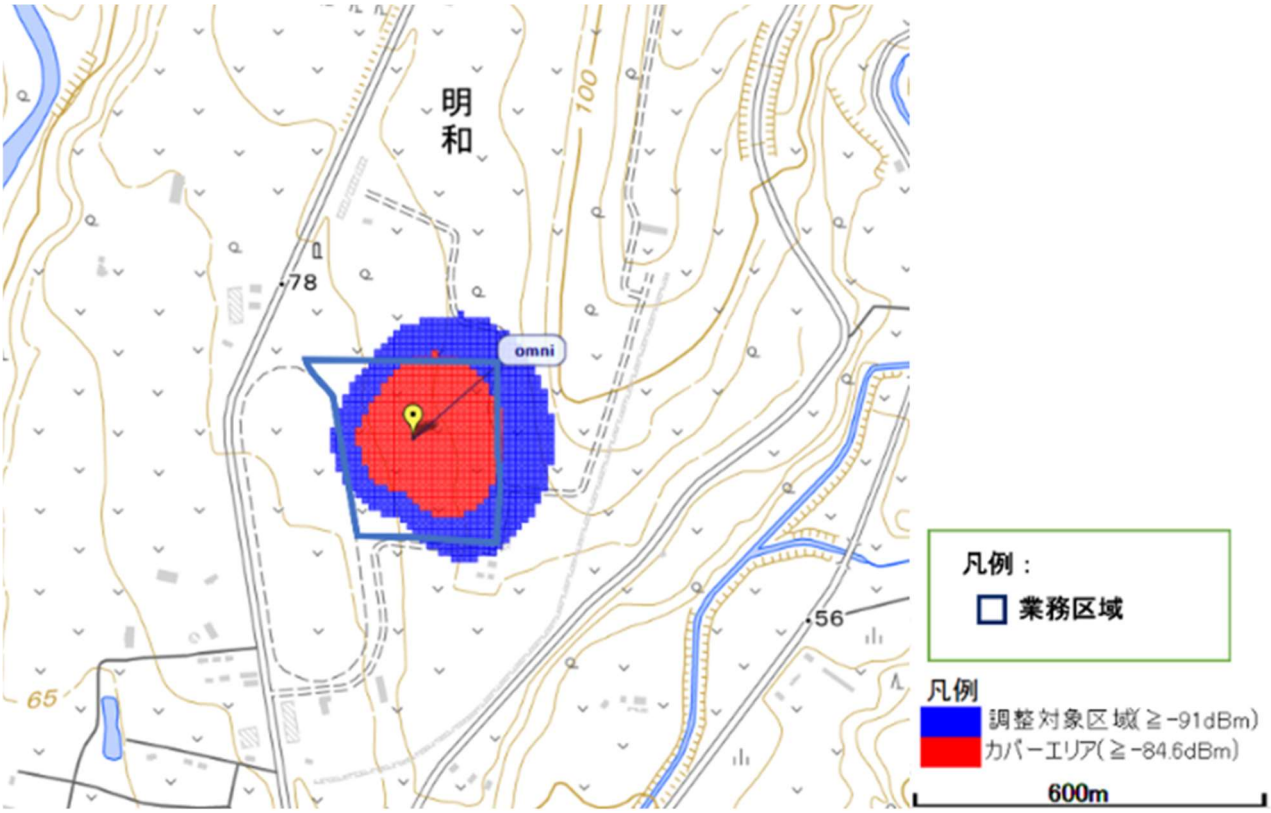


図 3-1 無指向性アンテナにおけるエリア設計(送信出力 20dBm)　出所:地理院地図を加工して作成

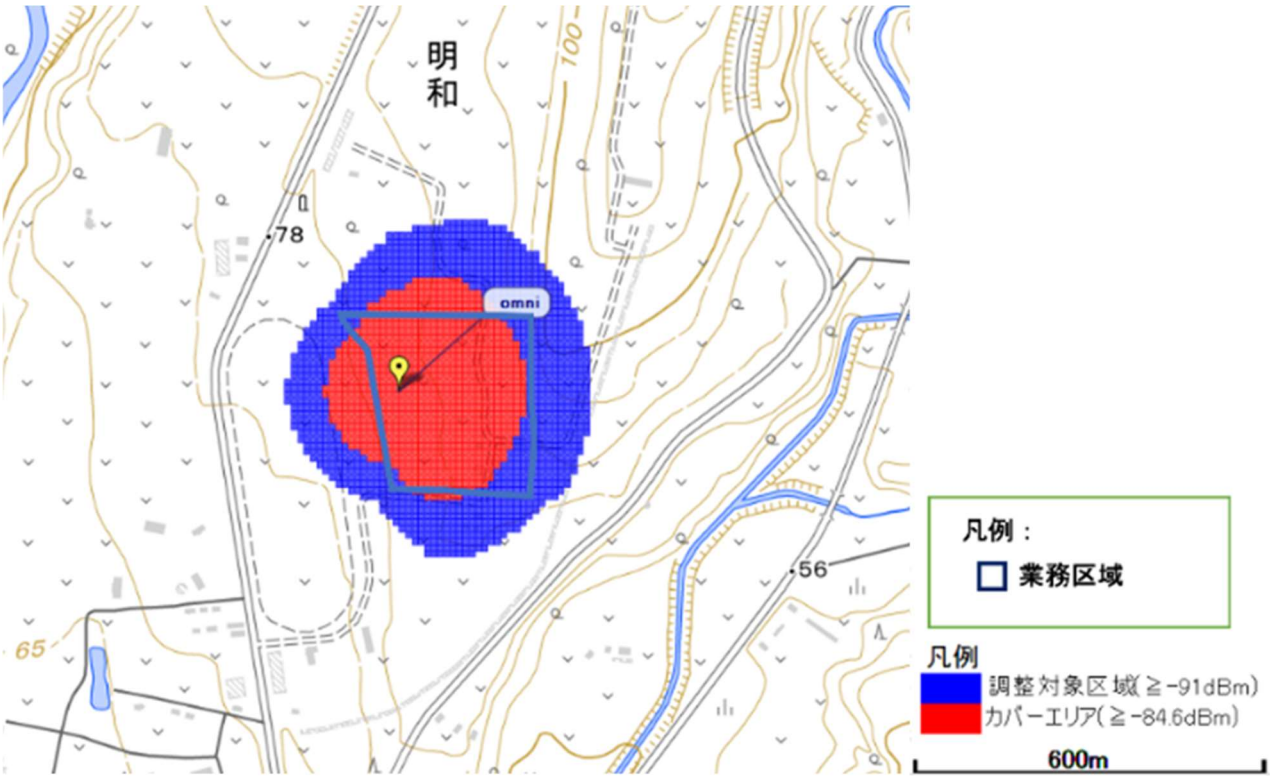


図 3-2 無指向性アンテナにおけるエリア設計(送信出力 25dBm)　出所:地理院地図を加工して作成

図 3-3 では、送信出力を 30dBm にあげエリアシミュレーションを実施した結果、業務区域エリアは大きく広がったものの、無指向性アンテナの特性である同心円方向に広がることから、本実

証のような自己土地が広く広大な土地でエリア構築する際には効果的ではあるが、他の場所では他者土地の影響が大きくなることから、単純に送信出力をあげることによるエリア構築は困難である結果となった。

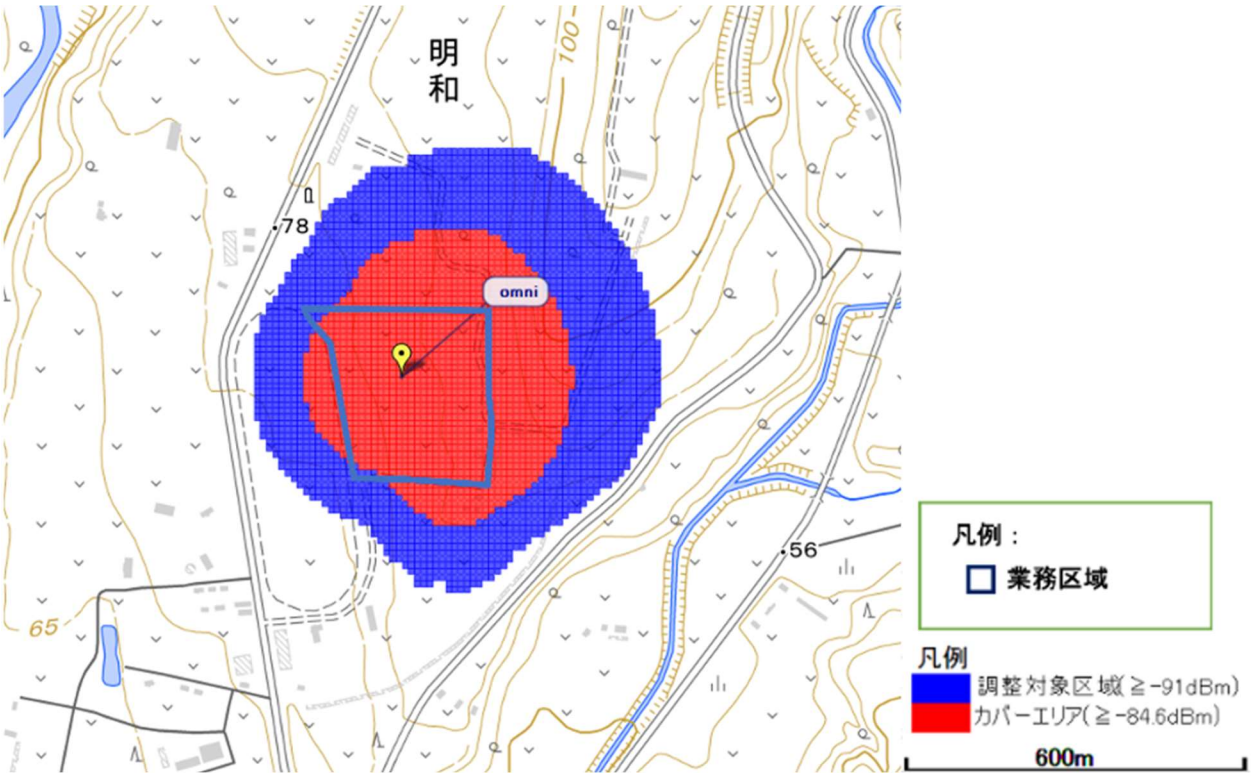


図 3-3 無指向性アンテナにおけるエリア設計(送信出力 30dBm)

出所：地理院地図を加工して作成

上述の通り、無指向性アンテナでエリア設計する場合、業務区域内全体をカバーするためには送信出力で 30dBm は必要な結果となった。

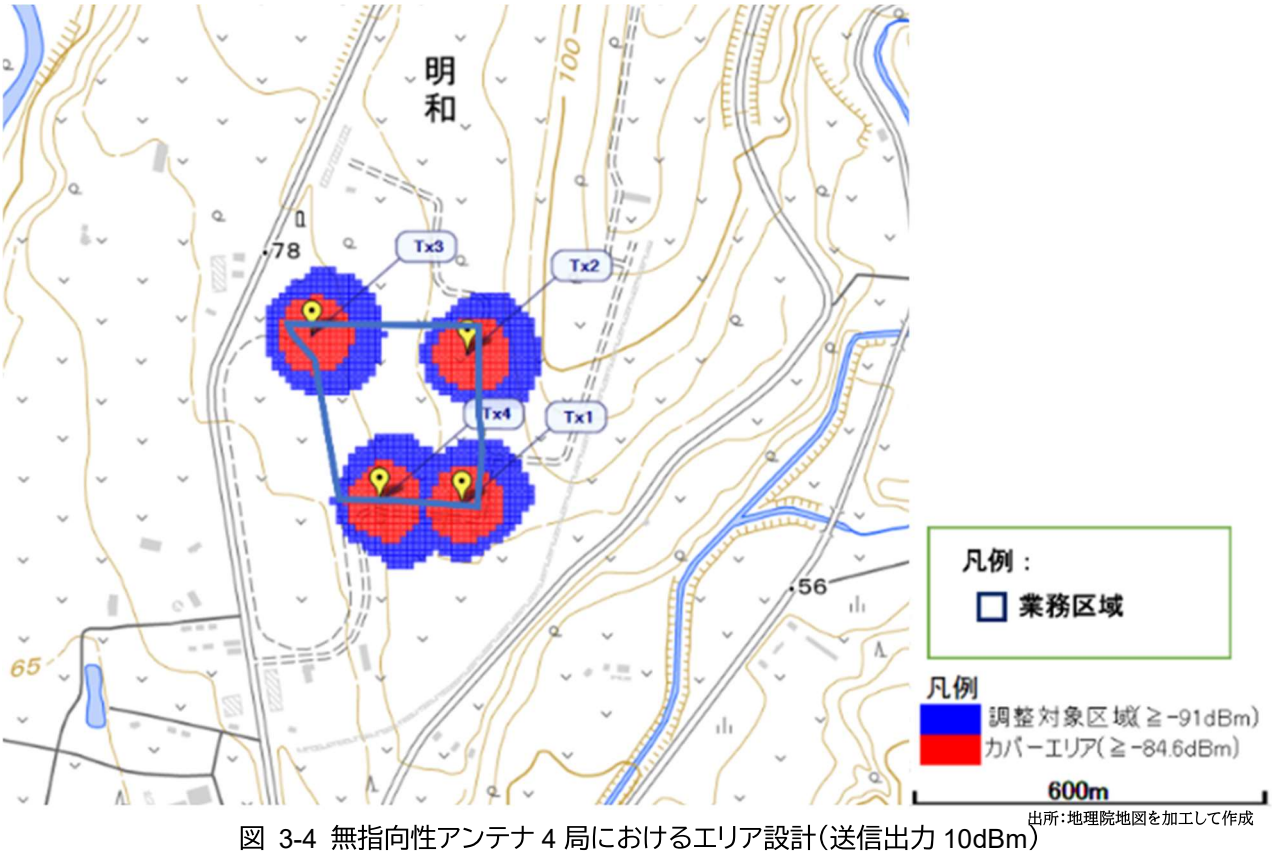
しかしながら、エリアカバーは満たしてはいるが他者土地への影響である干渉調整区域端の広がりも大きく、干渉調整を実施しながらの運用はエリアが縮小する可能性も大きく、効率的な運用ではないこととなる。

なお、参考に無指向性アンテナを複数局配置した場合のエリアシミュレーションを図 3-4 から図 3-6 に示す。

これらにおいても、業務区域中央に配置した場合と同様に送信出力によって業務区域内においてエリアが満たしていないこと、または他者土地への影響が大きくなることにより効率的ではない結果となった。

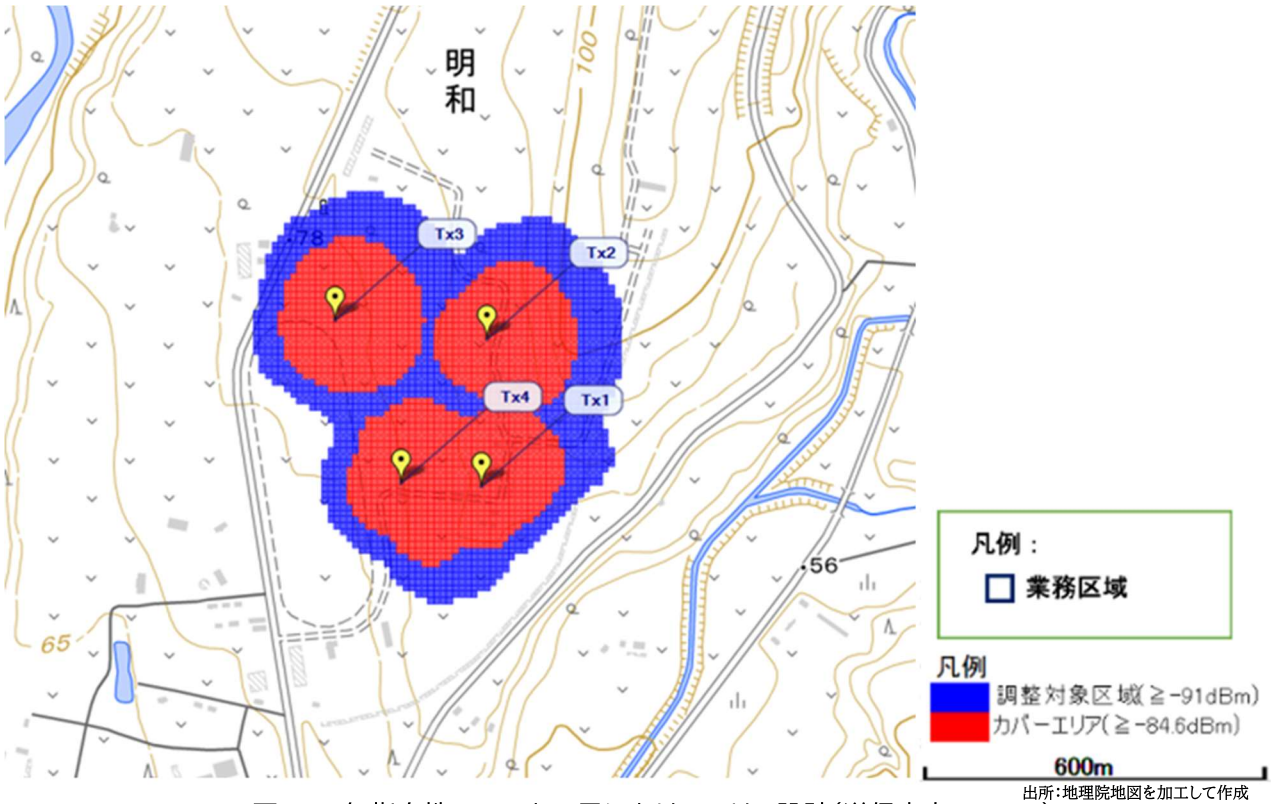
また、電波伝搬として業務区域中央に基地局設置することが効率的ではあるものの、本実証環境のように放牧地であり、障害物を増やすことにより自動ロボットトラクタなど他の業務を実施するうえで非効率となる。

さらに、ユースケースを考慮した際に、電波の反射を期待できる環境でないことから、一方向からのエリアカバーとすることによる瞬断、再接続により利用を大きく阻害されることも懸念されることから無指向性アンテナでのエリア構築は困難であると判断した。



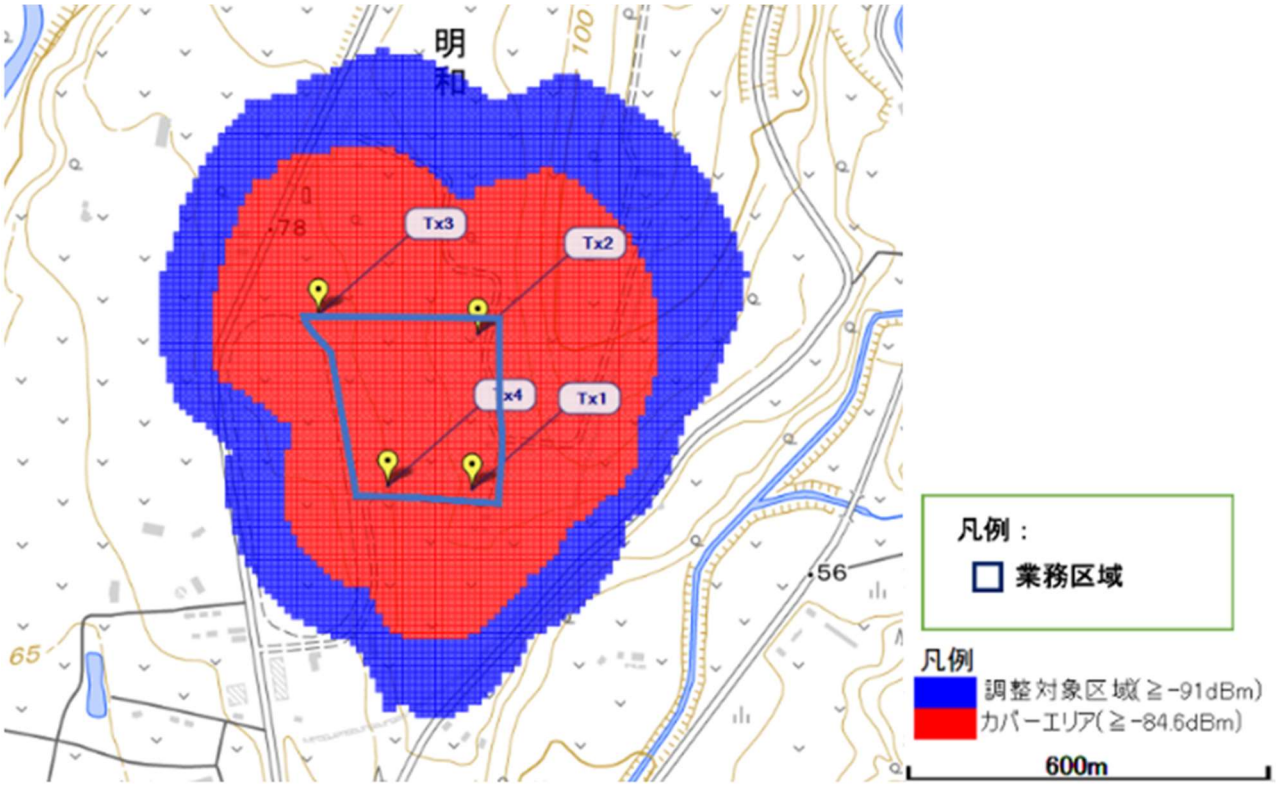
出所：地理院地図を加工して作成

図 3-4 無指向性アンテナ 4 局におけるエリア設計（送信出力 10dBm）



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-5 無指向性アンテナ 4 局におけるエリア設計（送信出力 20dBm）



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-6　無指向性アンテナ 4 局におけるエリア設計（送信出力 10dBm）

②アンテナの指向性、チルト角によるエリア設計

本実証環境では、無指向性アンテナを用いた業務区域内のエリア構築が困難であることから指向性アンテナを用いてエリア設計を実施した。

今回使用した指向性アンテナは図 2-14, 15 に示すアンテナパターンとなり、水平面ビーム幅は約 70 度、垂直面ビーム幅は狭小となっており最大利得角度は-7 度（下向き）を利用した。

アンテナパターンをシミュレーションパラメータに反映し、起伏を考慮したエリアシミュレーションを実施し、無指向性アンテナとのエリア比較、指向方向によるエリア変化を確認した。

図 3-7 は送信出力 30dBm 時のエリアシミュレーションとなる。無指向性アンテナと比較すると、送信点裏方向への影響は非常に小さくなっていることが確認できる。

図 3-8 は指向方向を 0 度とした場合、図 3-9 は指向方向を 45 度とした場合のエリアシミュレーションを実施した。反射物等は全くない環境であるものの、起伏の影響により単純な指向性エリア遷移ではないことが確認できた。

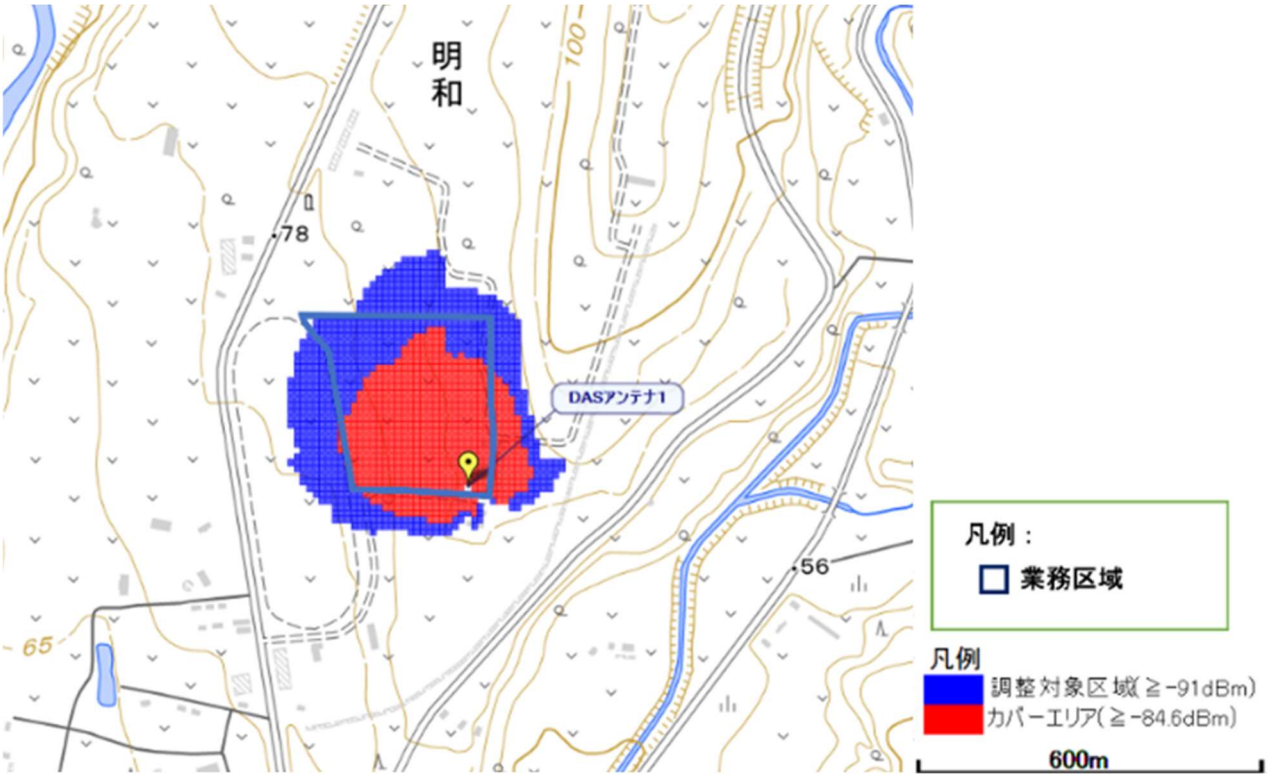


図 3-7　指向性アンテナにおけるエリア設計（送信出力 30dBm）

出所：地理院地図を加工して作成

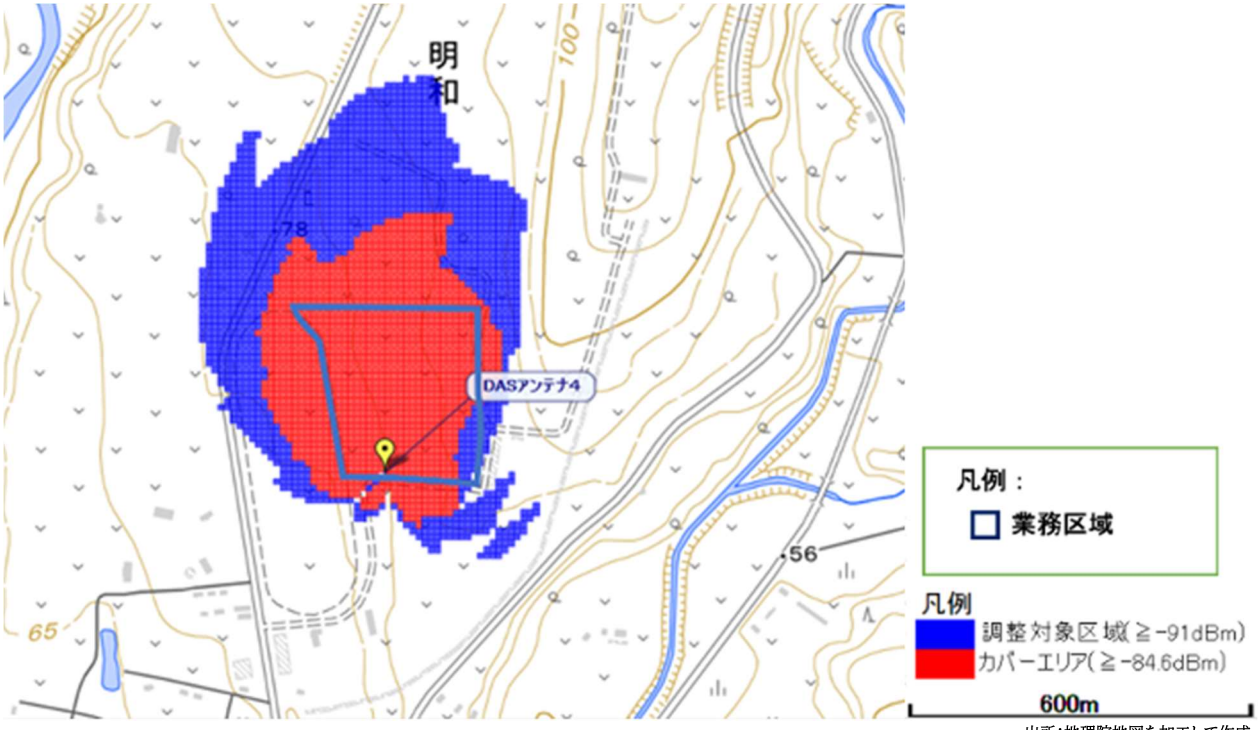
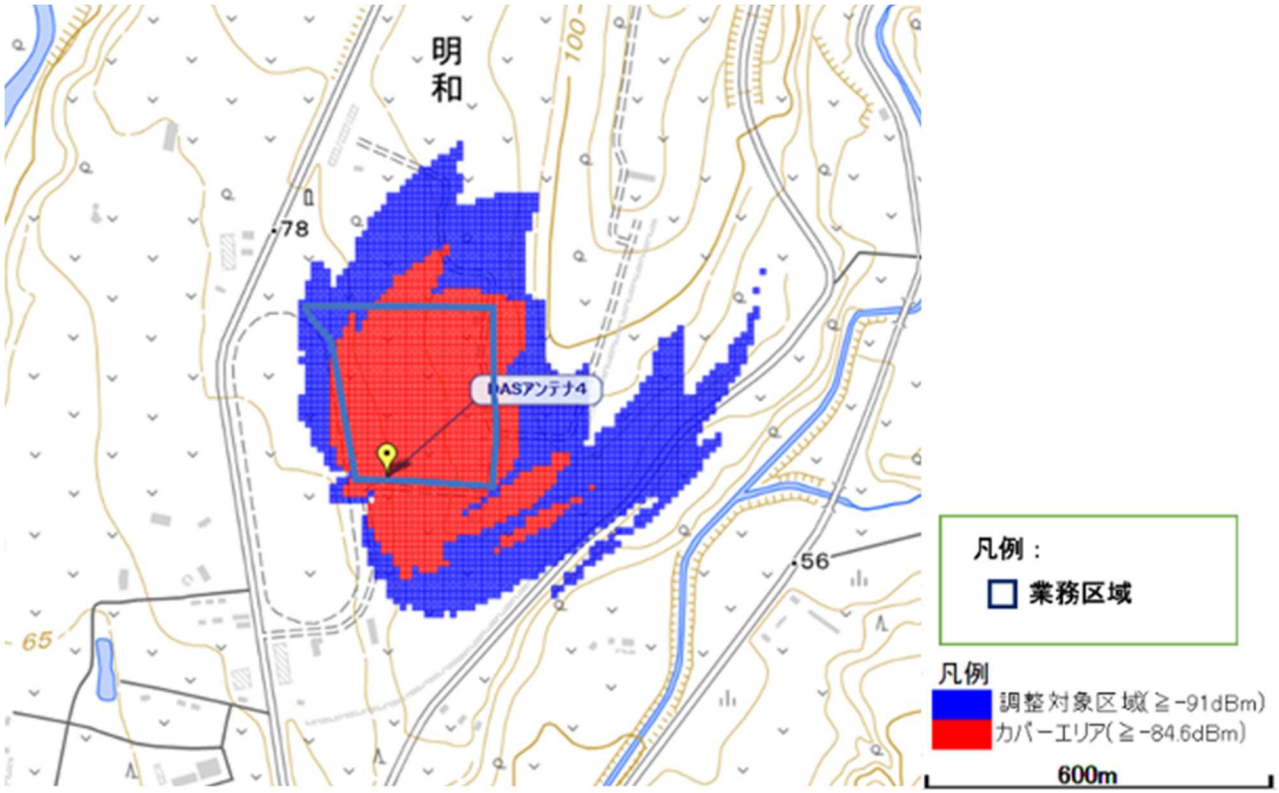


図 3-8 指向性アンテナ指向方向 0°時のエリア確認（送信出力 30dBm）

出所：地理院地図を加工して作成

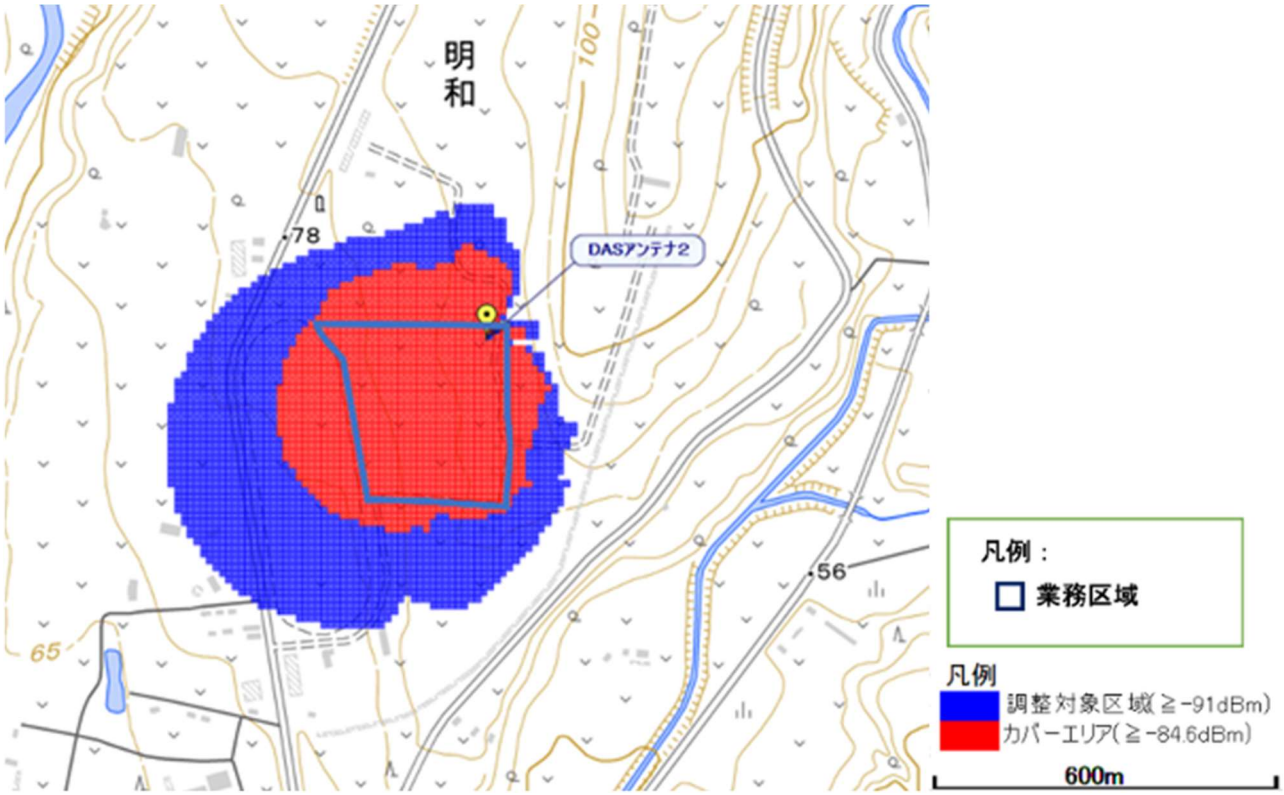


出所：地理院地図を加工して作成

図 3-9 指向性アンテナ指向方向 45°時のエリア確認（送信出力 30dBm）

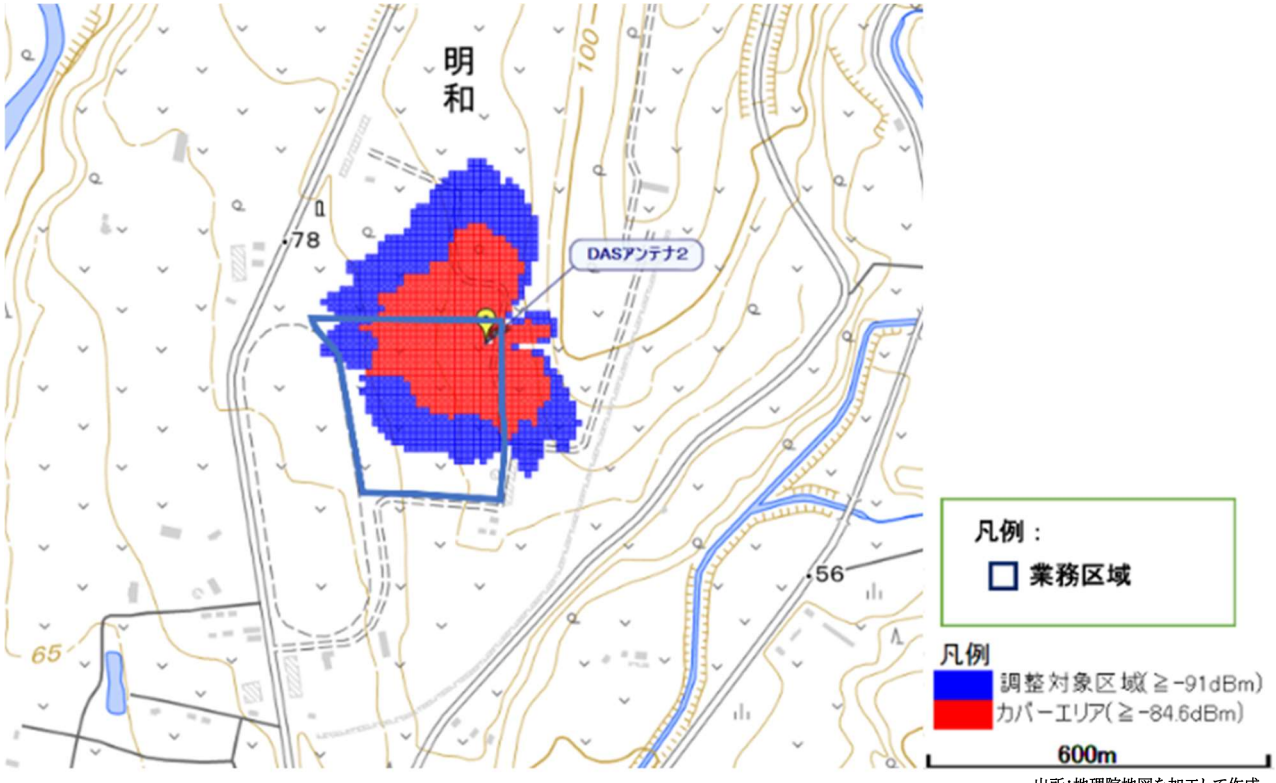
次に、垂直面ビーム影響を確認するために、図 3-10 ではチルト角を 0°、図 3-11 ではチルト角を-5°、図 3-12 ではチルト角を-10°と設定しエリアシミュレーションを実施した。

チルト角を下向きに設定することによりエリアの広がりを抑えることが可能となり、エリア設計するうえで有効な手段であることが確認できるものの、極端に下向きにしてしまうことにより大地反射の影響が大きくなり、エリア設計が単純化しないため留意が必要である。



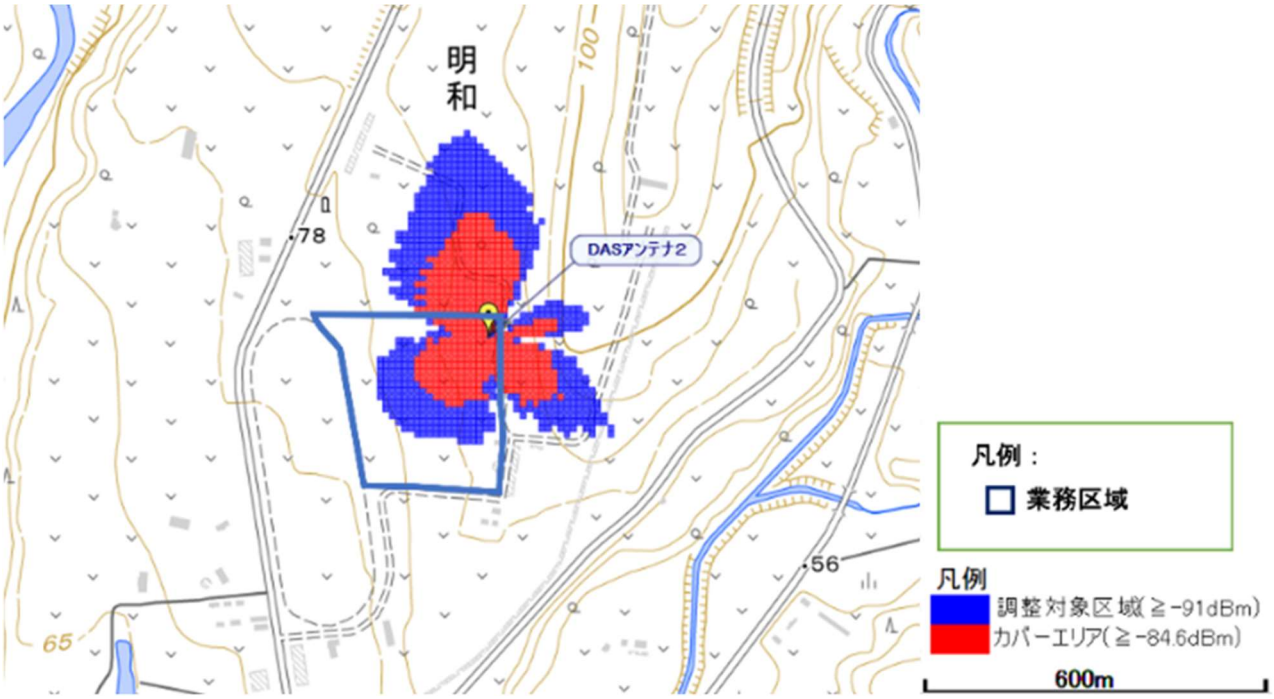
出所：地理院地図を加工して作成

図 3-10 チルト角 0°のエリア確認（送信出力 30dBm）



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-11 チルト角-5°（下向き）時のエリア確認（送信出力 30dBm）



出所:地理院地図を加工して作成

図 3-12 チルト角-10°(下向き)時のエリア確認(送信出力 30dBm)

③DAS 活用によるエリア設計

上記①②の結果より、本実証環境の開放地であり広大な放牧地などにおいては

・他者土地への影響

・反射が望めない環境での遮蔽による不感知エリア回避

・設置制限に柔軟に対応

を満たす必要があることから業務区域を四方から囲え、セル間干渉、ハンドオーバーによる瞬断影響の少ない DAS （Distributed Antenna System：分散アンテナシステム）でのエリア構築を実施することで、エリア設計は簡易化できる。

（3） 本実証環境における無線局諸元

DAS でのエリア設計とし、本実証環境での回線設計を下記に示す。

表 3-2 指向性アンテナ指向方向 0°時のエリア確認(送信出力 30dBm)

項目	単位	DASアンテナ１	DASアンテナ２	DASアンテナ３	DASアンテナ４
通信距離	m	400	300	400	300
①移動局受信感度（RSSI）	dBm	-84	-84	-84	-84
②伝搬損失	dB	113	108	113	108
③基地局アンテナ利得	dBi	16	16	16	16
④移動局アンテナ利得	dBi	1	1	1	1
⑤給電線損失	dB	3	3	3	3
⑥その他損失	dB	8	8	8	8
⑦所要空中線電力	dBm	23	21	23	21
⑧所要空中線電力	mW	181	126	181	126

＊伝搬損失はエリア算定式にて計算

＊DAS アンテナ２，４の所要空中線電力は 18dBm となるが、DAS アンテナは 4 系統で構成されており、1 系統の最小出力制限のため北海道総合通信局様と調整のうえ 21dBm としている。

＊各アンテナ指向方向

DAS アンテナ１ ：320 度

DAS アンテナ２ ：230 度

DAS アンテナ３ ：140 度

DAS アンテナ４ ：40 度

通信距離は業務区域外の四方にアンテナを設置することとし、対角線に位置する距離を通信距離として設定し、エリア端でユースケースである高精細伝送の送受信可能な受信感度とした。

上述エリア設計手順に従い、DAS アンテナごとに指向方向を定め、業務区域内をエリアカバー可能であること、また他者土地への影響を最小限とするよう調整しエリア設計した。

なお、今回の場合送信出力も最低限としたため、構築後調整範囲の余地は残しつつ免許申請時はチルト角については 0° と設定した。

下図に上記回線設計結果を反映した本実証環境におけるエリア設計シミュレーションを示す。

表 3-3 アンテナ設置諸元

名称	送信電力（dBm）	ケーブルロス（dB）	アンテナ利得（dBi）	空中線の位置（緯度）	空中線の位置（経度）	海抜高（m）	地上高（m）	指向方向（度）	機械チルト/電気的チルト（度）
DASアンテナ1	10	3	16	42° 26' 9”	142° 25' 6”	86	4	320	0/7
DASアンテナ2	8	3	16	42° 26' 15”	142° 25' 9”	87	4	230	0/7
DASアンテナ3	10	3	16	42° 26' 17”	142° 24' 58”	79	4	140	0/7
DASアンテナ4	8	3	16	42° 26' 8”	142° 25' 2”	81	4	40	0/7

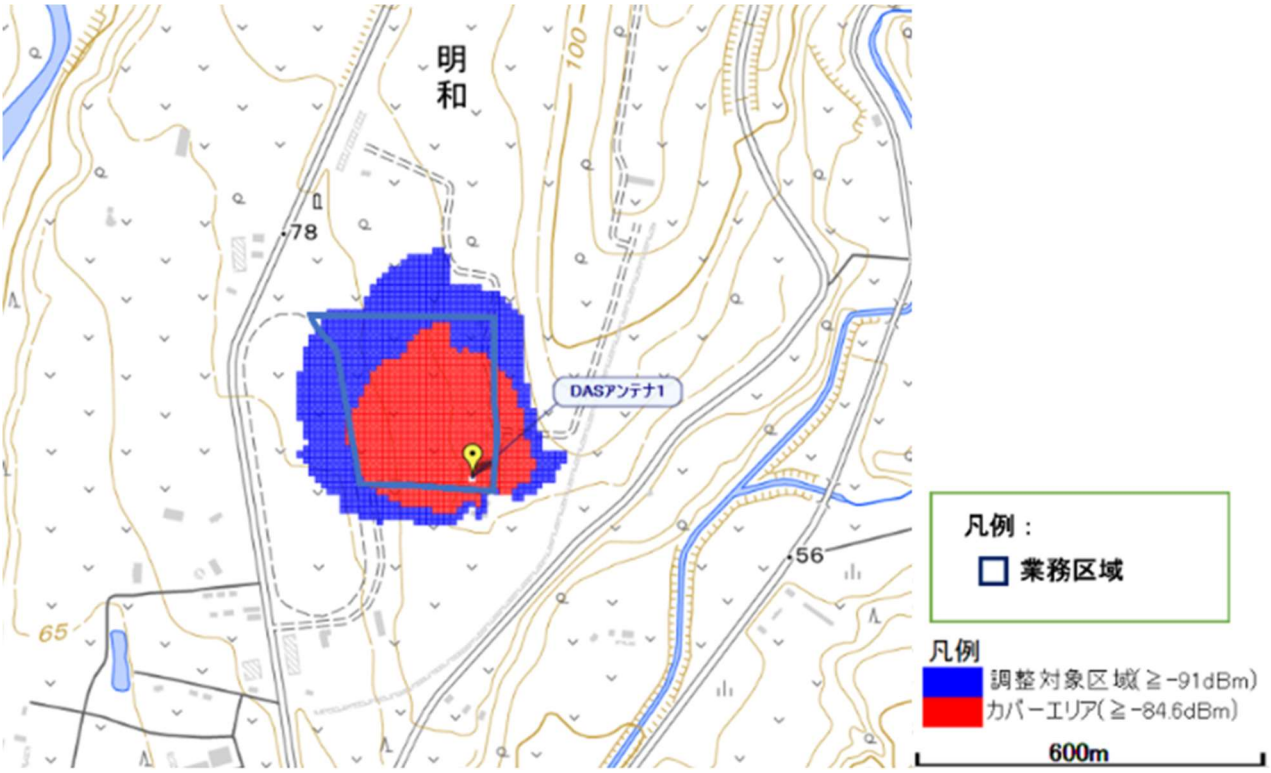


図 3-13 DAS アンテナ1　回線設計に基づくエリアシミュレーション 出所：地理院地図を加工して作成

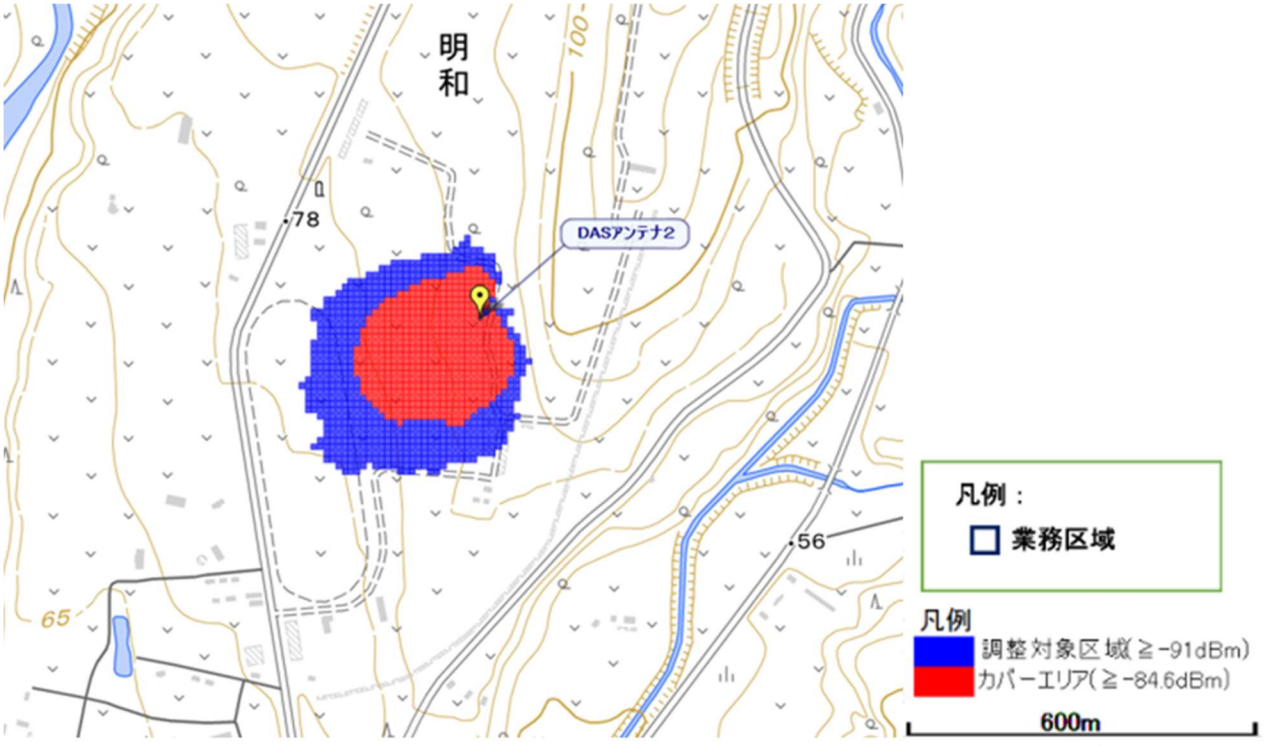


図 3-14 DAS アンテナ2　回線設計に基づくエリアシミュレーション 出所：地理院地図を加工して作成

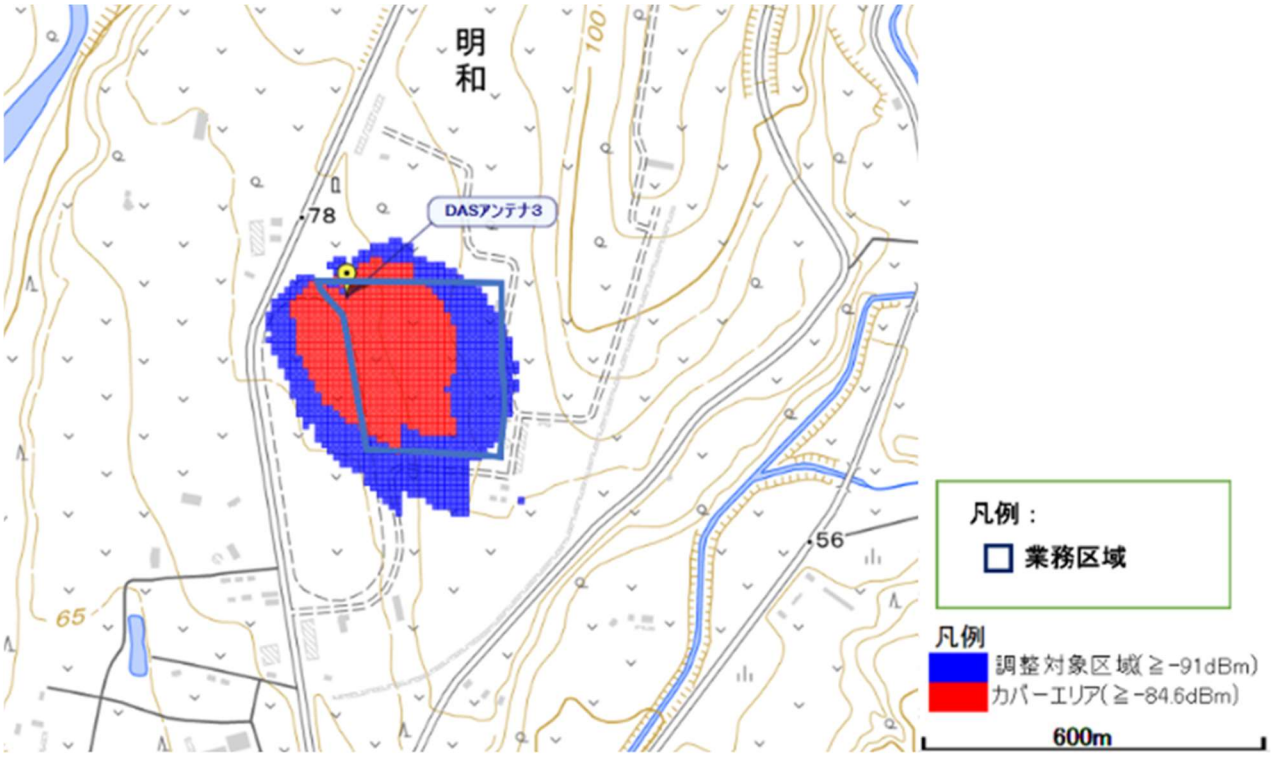


図 3-15 DAS アンテナ3 回線設計に基づくエリアシミュレーション

出所：地理院地図を加工して作成

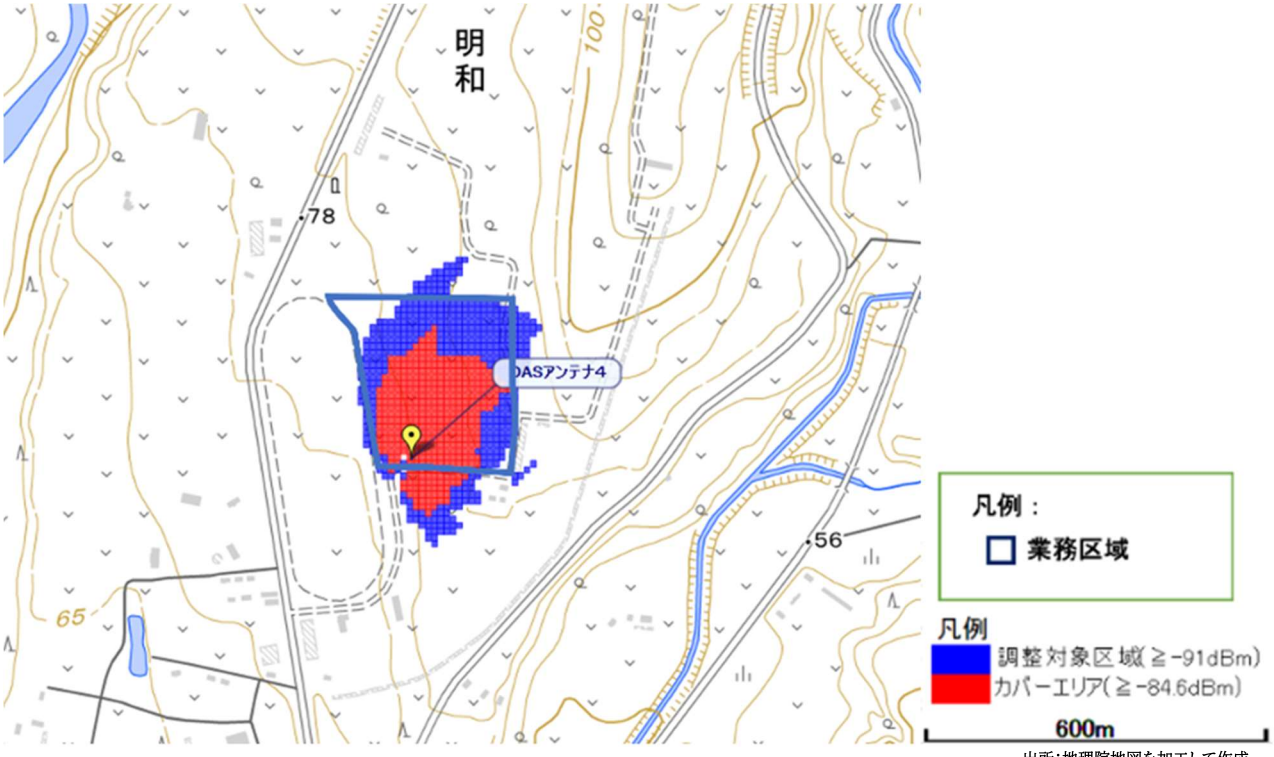
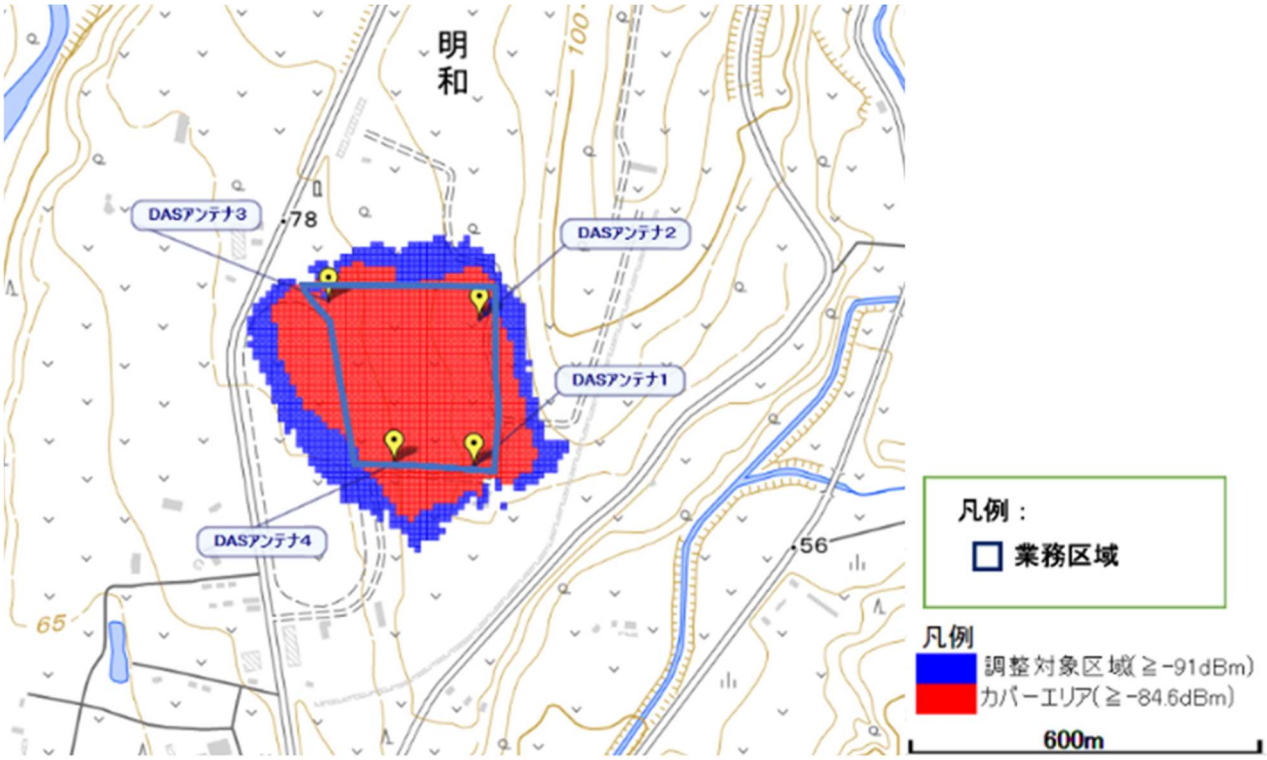


図 3-16 DAS アンテナ4 回線設計に基づくエリアシミュレーション

出所：地理院地図を加工して作成



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-17 DAS アンテナ1～4 回線設計に基づくエリアシミュレーション

＊シミュレーション受信電力値は同受信ポイントにおいて各 DAS アンテナからの受信電力を単純比較し最大受信電力となる値を採用しており、合成電力ではない。

上記シミュレーション結果より、今回設置した DAS アンテナの配置図を図 3-18 に設置後の写真を図 3-19～図 3-24 に示す。



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-18 アンテナ配置図



図 3-19 DAS アンテナ 1



図 3-20 DAS アンテナ 2



図 3-21 DAS アンテナ 3



図 3-22 DAS アンテナ 4



図 3-23 DAS アンテナ(拡大)



図 3-24 DAS 子局

3.3 実施事項

3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化

(1) 実証の目的・目標

1) 背景となる技術的課題と実証目的

現在電波伝搬モデル(伝搬ロス)について、電波法関係審査基準(平成 13 年総務省訓令第 67 号)が規定するエリア算出法(式)を使用するよう指定されている。

① $d_{xy} \leq 0.04\text{km}$ の場合

$$L = L0 = 32.4 + 20\log_{10}(f) + 10\log_{10}\{(d_{xy}{}^2) + (H_b - H_m)^2/10^6\} + R$$

② $0.04km < d_{xy} < 0.1\text{km}$ の場合

$$L = L0\left(d_{xy} = 0.04\right) + \left\{2.51 \times \log_{10}\left(d_{xy}\right) + 3.51\right\} \times \left\{L_H\left(d_{xy} = 0.1\right) - L0\left(d_{xy} = 0.04\right)\right\}$$

③ $d_{xy} \geq 0.1\text{km}$ の場合

$$L = L_H = 46.3 + 33.9\log_{10}(2000) + 10\log_{10}\left(\frac{f}{2000}\right) - 13.82\log_{10}\left(max(30,\ H_b)\right) + \left\{44.9 - 6.55\log_{10}\left(max(30,\ H_b)\right)\right\}\left(\log_{10}\left(d_{xy}\right)\right)^{\alpha} - a(H_m) - b(\ H_b) + R - K - S$$

d_{xy}; 基地局と伝搬損失を算定する地点との距離

f(MHz); 使用する周波数

H_b; 基地局の空中線地上高

H_m; 移動局の空中線地上高（1.5m）

R(dB); 基地局を屋内に設置する場合の建物侵入損(16.2)。

実際の建物侵入損が明確な場合は、明示の上、建物に応じた値を適用する。

α; 遠距離に対して考慮する係数であり、下記による。

$$\alpha = \begin{cases} 1 & d_{xy} \leq 20\text{km} \text{ の場合} \\ 1 + (0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} H_b)\left(\log_{10}\left(\frac{d}{20}\right)\right)^{0.8} & 20km < d_{xy} < 100\text{km} \text{ の場合} \end{cases}$$

$a(H_m)$; 移動局高に対して考慮する補正高であり、下記による。

$$a(H_m) = \begin{cases} 0.057 & ; \text{中小都市の場合} \\ -0.00092 & ; \text{大都市の場合} \end{cases}$$

$b(H_b)$; 基地局高に対して考慮する補正高であり、下記による。

$$b(H_b) = \begin{cases} 0 & ; H_b \geq 30\text{m} \\ 20\log_{10}(H_b/30) & ; H_b < 30\text{m} \end{cases}$$

K; 地形情報データにより参入し難い地形の影響等の補正値であり、

通常は 0 とし、地形水面の反射、小規模の見通し外伝搬の影響等を
特に考慮する必要のある場合に参入する。

S(dB); 市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正値あり、下記による

（１） 市街地；S=0.0

（２） 郊外地；S=12.3

（３） 開放地；S=32.5

本式は、非常に簡便に各受信点における受信電力の指定ができる、ということから大変有益であるが、DAS 等にかかる使用について使用可否が明確ではなかった。今後、エリア拡張、柔軟なエリア設計等に、DAS は非常に有効な技術であるため、エリア算出、調整地域算出に向けて、非常に複雑な検討が必要となると、その利便性を妨げかねない。本実証において、DAS での伝搬特性を評価することで、該算出法が簡易に活用できるか否かを確認することは、今後の DAS 活用に対して非常に有意義であると考える。

今回の測定環境は理想に近い開放地であり、算出方式（開放地）条件に合致するものと想定しており、そのため、本 DAS の評価には最適な場所であるといえる。

2） 実証目標

今回の実証、特に「電波伝搬モデルの精緻化」においては、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定するエリア算出法（式）の妥当性、特にパラメータ“K”の精緻化（後述）を行うとともに、DAS のエリア算出、調整区域算出において上述の算出法が簡易に活用できる、すなわち、各アンテナ単体からの受信電力算出値の合成によって得られることを確認すること、もしも合成値と乖離がある場合にはその要因を検討することを目的とする。

3） 過年度技術実証からの発展性・新規性

今回提案の実証で行う、電波伝搬モデルの精緻化においては、広大なルーラル環境で実施するとともに、DAS において、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定するエリア算出法（式）が簡便に利用できるかどうか、も合わせて確認するものである。過年度の実証試験における技術実証において、DAS における精緻化が行われた事例は見当たらない。

（2） 実証仮説

今回の実証試験において、パラメータ K, S について考える。

着目すべきは、

③ $d_{xy} \geq 0.1\mathrm{km}$ の場合

$$L = L_H = 46.3 + 33.9\log_{10}(2000) + 10\log_{10}\left(\frac{f}{2000}\right) - 13.82\log_{10}\left(max(30,\ H_b)\right) + \left\{44.9 - 6.55\log_{10}\left(max(30,\ H_b)\right)\right\}\left(\log_{10}\left(d_{xy}\right)\right)^{\alpha} - a(H_m) - b(H_b) + R - K - S$$

である。
ここで“S”は以下で定義されているものである。

S(dB)；市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正値であり、下記による。
(1) 市街地(都市の中心部であって、2 階建て以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など)；S＝0.0
(2) 郊外地(樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など陸上移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域)；S＝12.3
(3) 開放地(電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方 300～400m 以内が開けているような畑地・田地・野原など)；S＝32.5

すなわち今回の試験環境条件を鑑みると、視界として 300m 程度開けている放牧地であることから（３）に非常に近いもので想定されるため、上述のとおり、S=32.5 を採用するものとする。

合わせて、パラメータ”K”であるが、本パラメータは以下のように定義されている。

K；地形情報データにより算入し難い地形の影響等の補正値であり、通常は 0 とし、地形水面の反射、小規模の見通し外伝搬の影響等を特に考慮する必要のある場合に算入する。

今回の伝搬路条件においては、広大で平坦な牧草地であり、特別に考慮すべき条件は無いものと考えられる。よってパラメータＫは通常の場合で 0 とすることが妥当である。この値は検証の中で実際に測定を行い、修正していくものとする。

また、本実証実験では DAS を用いた場合の算出方法について検討を行う。DAS を用いた場合の伝搬特性の算出法として、DAS 利用時の端末の受信電力は各アンテナからの受信電力を単純に電力加算（真値加算）のみで得られるものと想定される。これによって、DAS によるエリア設計をより簡易に行うことができ、今後の更なる DAS の活用が期待できる。

(3) 評価・検証項目

本実証では、以下 3 点の検証を行った。

① DAS アンテナ 1 局を用いた場合のカバーエリア及び調整対象区域端の実測結果と、既に定義されているモデル式による算出法によって得られたエリアとの比較・分析
② DAS アンテナ 4 局を用いた場合の伝搬特性（電力加算）評価
③ DAS アンテナ 4 局を用いた場合のエリア及び調整対象区域端の実測結果と、既に定義されているモデル式による算出法によって得られたエリアとの比較・分析

（4） 評価・検証方法

実測定にあたってはエリアテスター Viavi「OneAdvisor 800」を別途用意する。表 3-4 に諸元をまとめる。(図 3-25 に外観図、を示す。)

表 3-4　エリアテスター Viavi「OneAdvisor 800」

項目	諸元
対応仕様	５GNR 3 GPP 仕様 準拠
対応ネットワーク方式	5G SA (Standalone) / NSA (Non-standalone)
対応周波数帯	Sub6 GHz 対応 9 kHz ～ 6 GHz
チャネル帯域幅	100MHz
RSRP/SINR 測定精度	動作時の周囲温度が 20℃～30℃の場合：±1.0dB 上記以外かつ-10℃から 55℃の場合：±2.0dB
GPS 測位精度	GPS 衛星 4 機以上から信号を受信している場合：最大 2～3m
入出力端子	USB 2.0　/マイクロ SD　/LAN
外形寸法	270mm(W) x 170mm(H) x 60mm(D)
重量	約 2.0kg



図 3-25 OneAdvisor 800 外観

測定器の設定について

各種評価におけるデータ取得のために、受信レベルの測定には、「BeamAnalyzer」モードで測定を実施する。

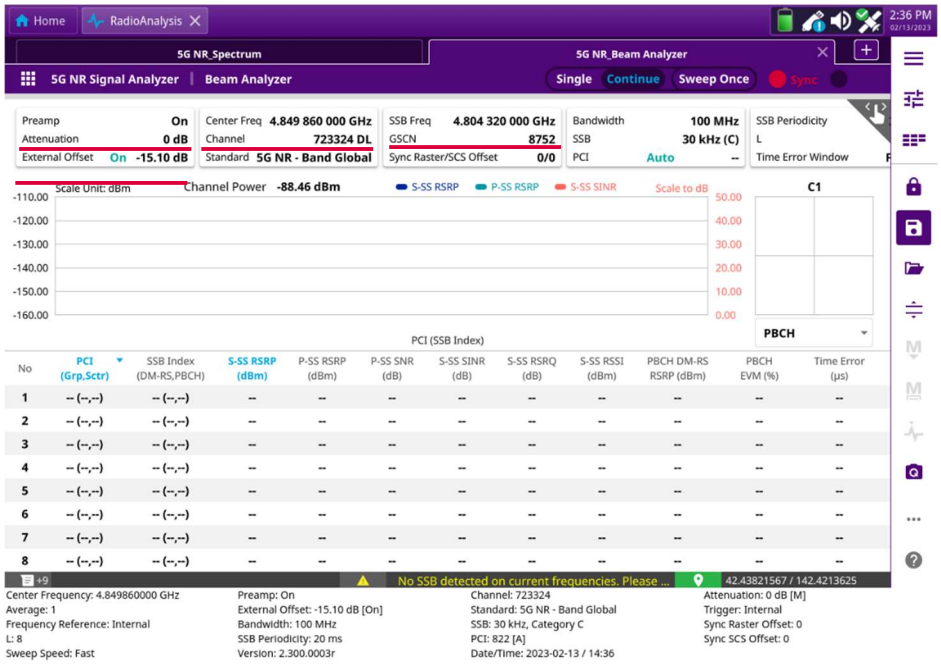


図 3-26　BeamAnalyzer 画面

【詳細設定】

・Preamp：ON

・Preamp1 を選択

・External Offset:：測定器固有のオフセット値を登録し、真値にあわせる機能
　高利得アンテナやアンテナ接続ケーブルのロス設定、外部 LNA の利得を登録する。

・Sweep Speed：Fast（3 分 30 秒で 1000 回のデータを取得）

前節(3)評価・検証項目で示した評価・検証項目それぞれの検証方法について以下に示す。

① DAS アンテナ 1 局時のエリア確認

本実証では、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）において規定されているエリア算出方法に定義されているモデル式による算出法によって得られたカバーエリア、および干渉調整区域と、実測との比較・検証を行う。

そのため、まず事前準備として、放牧地(エリア①)に用いるアンテナの図 2-14、図 2-15 に示した DAS アンテナの指向性パターンを考慮したうえで、上記算出法により DAS アンテナ 4 のみから送信された場合の各エリア（カバーエリア、および調整対象区域）を想定したエリアシミュレーションを実施する。

このエリア設計を元に第 1 ステップとして、シミュレーション結果から得られた、カバーエリア端及び調整対象区域端とされる地点にて受信電力(SS-RSRP)測定を実施した。ここで実際の測定に用いる受信電力（SS-RSRP）としては、カバーエリア端、調整対象区域端とされる-84.6dBm および-91dBm から換算される、-119.7dBm、-126.1dBm を要求仕様として実施した。

測定地点としては DAS アンテナ 4 の指向性方向に対して 22.5° 毎の方向(それぞれ G1 から G8 と呼ぶ)とした。

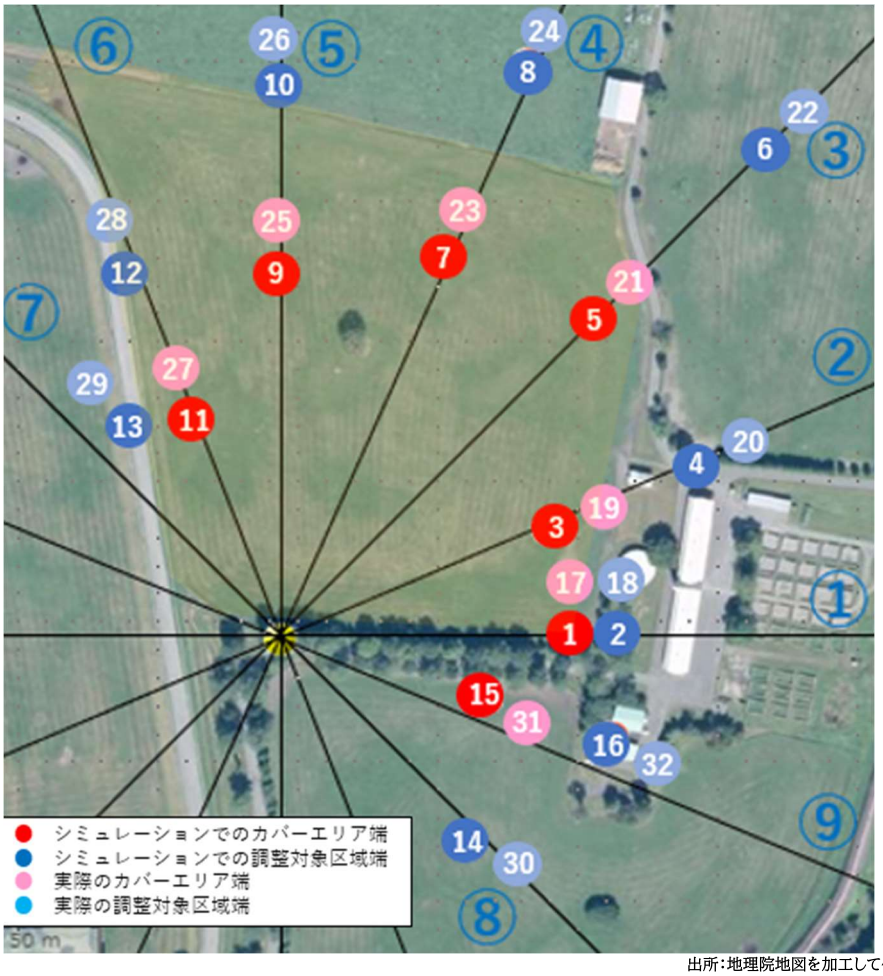
本測定結果が、期待した値と差が生じた場合には、第 2 ステップとして、カバーエリア端および調整対象区域端が実測できる場所を移動しながら探索し、その地点で、再度受信電力(SS－RSRP)の測定を実施する。

各測定ポイントでの測定は、エリアテスターのアンテナを地上から約 1.5m の高さ、アンテナ 4 に対して正対させた形で実施する。測定の際は、エリアテスターのアンテナを 10 波長程度左右に動かしながら測定を行い、各地点で約 1000 サンプルを取得し、定在波の影響等を取り除くものとした。

具体的な測定手順を以下に示す。

i. ①方向の測定点情報（緯度・経度）をもとに、エリア設計におけるカバーエリア端に移動する。
ii. エリアテスターのアンテナを左右に 10 波長程度動かし続ける。約 4 分間(約 40 往復)の測定を実施する。本時間において、ほぼ 1000 サンプルの取得が可能となる。
iii. 次に①方向の測定点情報（緯度・経度）をもとに、エリア設計における調整区域端に移動する。
iv. ⅱと同様に受信電力(SS-RSRP)測定を実施する。
v. 次にエリアテスターを用いて、①方向に前後移動し、実際のカバーエリア端(RSRP：-119.7dBm)を特定する。
vi. その地点の緯度経度と受信電力(SS-RSRP)測定を実施する。
vii. 次にエリアテスターを用いて、アンテナ正対方向に前後移動し、実際の調整対象区域端(RSRP：-126.1dBm)を特定する。
viii. その地点の緯度経度と受信電力(SS-RSRP)測定を実施する。
ix. 同様の作業を①から⑨まで 9 方向行う。

各測定ポイントに関し、想定外の積雪、熊出没リスク等から一部測定不可となったポイントもあり、実際の測定点としては以下となった。図 3-27 に平面的測定ポイント、表 3-5 に測定ポイントの緯度経度情報、表 3-6 に測定点情報をまとめる。



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-27 DAS アンテナ4のみ1アンテナ時の測定ポイント

表 3-5 測定ポイントの緯度経度情報

測定ポイント	緯度（度）	経度（度）
1	42.4358	142.4191
2	42.4358	142.4193
3	42.4363	142.4190
4	42.4365	142.4198
5	42.4372	142.4192
6	42.4379	142.4202
7	42.4374	142.4183
8	42.4383	142.4188
9	42.4374	142.4174
10	42.4382	142.4174
11	42.4367	142.4169
12	42.4374	142.4165
13	42.4367	142.4165
14	42.4349	142.4185
15	42.4356	142.4186
16	42.4354	142.4193
17	42.4359	142.4181
18	42.4358	142.4192
19	42.4364	142.4190
20	42.4366	142.4199
21	42.4373	142.4191
22	42.4381	142.4205
23	42.4375	142.4183
24	42.4383	142.4188
25	42.4374	142.4174
26	42.4384	142.4175
27	42.4367	142.4169
28	42.4374	142.4165
29	42.4368	142.4165
30	42.4349	142.4186
31	42.4356	142.4186
32	42.4349	142.4193

表 3-6　DAS アンテナ4のみ1アンテナ時の各測定ポイント情報

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点 標高 [m]	基地局アンテナ 地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ 地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/mm/dd)	備考
1	121.8	121.8	83.7	4.0	15.0	-2.3	3.0	1.0	0.0	86.8	1.5	1	2023/2/8	①方向のシミュレーションでのカバーエリア端
2	141.8	141.8	83.7	4.0	15.0	-7.8	3.0	1.0	0.0	87.5	1.5	1	2023/2/17	①方向のシミュレーションでの調整対象区域端
3	119.0	119.0	83.7	4.0	15.0	-3.5	3.0	1.0	0.0	87.0	1.5	0	2023/2/8	②方向のシミュレーションでのカバーエリア端
4	195.2	195.1	83.7	4.0	15.0	-3.3	3.0	1.0	0.0	89.6	1.5	1	2023/2/17	②方向のシミュレーションでの調整対象区域端
5	193.1	193.0	83.7	4.0	15.0	3.9	3.0	1.0	0.0	87.9	1.5	0	2023/2/8	③方向のシミュレーションでのカバーエリア端
6	306.1	306.1	83.7	4.0	15.0	3.8	3.0	1.0	0.0	91.4	1.5	0	2023/2/17	③方向のシミュレーションでの調整対象区域端
7	181.9	181.9	83.7	4.0	15.0	2.6	3.0	1.0	0.0	86.2	1.5	0	2023/2/8	④方向のシミュレーションでのカバーエリア端
8	280.1	280.1	83.7	4.0	15.0	2.7	3.0	1.0	0.0	87.6	1.5	0	2023/2/17	④方向のシミュレーションでの調整対象区域端
9	162.4	162.4	83.7	4.0	15.0	2.1	3.0	1.0	0.0	82.4	1.5	0	2023/2/8	⑤方向のシミュレーションでのカバーエリア端
10	251.8	251.8	83.7	4.0	15.0	2.8	3.0	1.0	0.0	82.9	1.5	0	2023/2/17	⑤方向のシミュレーションでの調整対象区域端
11	108.9	108.7	83.7	4.0	15.0	-0.2	3.0	1.0	0.0	80.1	1.5	0	2023/2/8	⑥方向のシミュレーションでのカバーエリア端
12	184.2	184.1	83.7	4.0	15.0	-0.9	3.0	1.0	0.0	80.4	1.5	0	2023/2/17	⑥方向のシミュレーションでの調整対象区域端
13	127.7	127.5	83.7	4.0	15.0	-4.2	3.0	1.0	0.0	79.4	1.5	0	2023/2/17	⑦方向のシミュレーションでの調整対象区域端
14	129.6	129.6	83.7	4.0	15.0	-7.8	3.0	1.0	0.0	84.8	1.5	1	2023/2/17	⑧方向のシミュレーションでの調整対象区域端
15	90.0	90.0	83.7	4.0	15.0	-7.4	3.0	1.0	0.0	85.5	1.5	0	2023/2/8	⑨方向のシミュレーションでのカバーエリア端
16	153.0	153.0	83.7	4.0	15.0	-6.7	3.0	1.0	0.0	87.5	1.5	0	2023/2/17	⑨方向のシミュレーションでの調整対象区域端
17	41.5	41.4	83.7	4.0	15.0	5.9	3.0	1.0	0.0	82.9	1.5	1	2023/2/8	①方向の実際のカバーエリア端
18	131.8	131.8	83.7	4.0	15.0	-8.1	3.0	1.0	0.0	87.2	1.5	1	2023/2/17	①方向の実際の調整対象区域端
19	122.8	122.8	83.7	4.0	15.0	-3.1	3.0	1.0	0.0	87.1	1.5	0	2023/2/8	②方向の実際のカバーエリア端
20	208.2	208.2	83.7	4.0	15.0	-3.2	3.0	1.0	0.0	90.0	1.5	1	2023/2/17	②方向の実際の調整対象区域端
21	194.1	194.0	83.7	4.0	15.0	3.8	3.0	1.0	0.0	87.6	1.5	0	2023/2/8	③方向の実際のカバーエリア端
22	341.5	341.4	83.7	4.0	15.0	-1.9	3.0	1.0	0.0	95.8	1.5	0	2023/2/17	③方向の実際の調整対象区域端
23	191.4	191.4	83.7	4.0	15.0	2.5	3.0	1.0	0.0	86.2	1.5	0	2023/2/8	④方向の実際のバーエリア端
24	280.1	280.1	83.7	4.0	15.0	2.7	3.0	1.0	0.0	87.6	1.5	0	2023/2/17	④方向の実際の調整対象区域端
25	162.4	162.4	83.7	4.0	15.0	2.1	3.0	1.0	0.0	82.4	1.5	0	2023/2/8	⑤方向の実際のバーエリア端
26	281.2	281.2	83.7	4.0	15.0	3.2	3.0	1.0	0.0	83.3	1.5	0	2023/2/17	⑤方向の実際の調整対象区域端
27	108.9	108.7	83.7	4.0	15.0	-0.2	3.0	1.0	0.0	80.1	1.5	0	2023/2/8	⑥方向の実際のカバーエリア端
28	193.0	192.9	83.7	4.0	15.0	-0.2	3.0	1.0	0.0	80.6	1.5	0	2023/2/17	⑥方向の実際の調整対象区域端
29	135.0	134.8	83.7	4.0	15.0	-3.1	3.0	1.0	0.0	79.6	1.5	0	2023/2/17	⑦方向の実際の調整対象区域端
30	135.4	135.4	83.7	4.0	15.0	-11.5	3.0	1.0	0.0	85.2	1.5	1	2023/2/17	⑧方向の実際の整対象区域端
31	90.0	90.0	83.7	4.0	15.0	-7.4	3.0	1.0	0.0	85.5	1.5	0	2023/2/17	⑨方向の実際のカバーエリア端
32	178.1	178.1	83.7	4.0	15.0	-9.9	3.0	1.0	0.0	86.3	1.5	1	2023/2/17	⑨方向の実際の調整対象区域端

以下にシミュレーションから得られた受信電力と各ポイントにおける測定結果の比較を示す。

表 3-7　各測定ポイントにおける受信レベル一覧表

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
1	-131.9	-	-	-	-	-
2	-139.7	-	-	-	-	-
3	-132.8	-119.0	-119.1	1.7	-117.4	-121.0
4	-140.2	-124.3	-124.3	3.7	-119.4	-128.9
5	-132.8	-119.2	-119.3	1.1	-118.0	-120.6
6	-139.9	-122.6	-122.7	2.7	-119.8	-126.1
7	-129.7	-119.6	-119.7	1.6	-118.1	-121.4
8	-139.7	-126.4	-126.3	2.5	-123.2	-129.6
9	-117.5	-118.5	-118.5	2.6	-115.8	-121.0
10	-124.4	-126.3	-126.0	3.1	-121.7	-129.8
11	-110.5	-119.3	-119.4	1.8	-117.4	-121.3
12	-119.6	-122.6	-122.7	3.5	-118.9	-127.0
13	-116.1	-121.9	-121.5	5.0	-115.2	-127.3
14	-129.2	-123.2	-123.5	2.6	-120.4	-127.0
15	-115.8	-119.2	-119.4	2.5	-116.8	-121.8
16	-139.8	-121.2	-121.8	3.9	-117.0	-127.3
17	-95.9	-106.5	-106.7	2.2	-104.2	-109.2
18	-138.9	-125.3	-125.4	2.9	-121.7	-129.0
19	-132.8	-119.2	-119.2	2.0	-116.9	-121.2
20	-141.1	-126.1	-126.3	2.2	-123.7	-129.2
21	-133.0	-119.4	-119.5	1.5	-118.2	-120.8
22	-147.3	-126.6	-126.6	1.7	-124.7	-128.7
23	-130.5	-119.5	-119.7	1.7	-118.0	-121.5
24	-139.7	-125.6	-125.7	2.7	-122.2	-129.1
25	-117.5	-119.5	-119.4	2.4	-117.2	-121.4
26	-126.4	-127.4	-127.2	2.7	-123.8	-130.5
27	-110.5	-119.9	-119.8	2.3	-117.6	-121.9
28	-119.9	-125.2	-125.0	2.8	-121.6	-128.6
29	-116.1	-126.6	-126.5	3.6	-121.7	-130.6
30	-134.8	-124.7	-125.1	3.0	-121.8	-129.1
31	-115.8	-119.7	-119.8	2.2	-117.6	-121.9
32	-142.4	-125.9	-125.8	3.8	-120.5	-130.6

測定点 ID　1, 2 は、送信アンテナからの見通しがなく遮蔽されているため、受信レベルの観測ができなかった。

測定したデータが仮説値と異なる場合、パラメータの精緻化を行い、以後の測定では精緻化したパラメータを仮説値として用いる。

② DAS の伝搬特性評価

次に DAS 用アンテナを 4 局用いた時の伝搬特性を評価する。業務区域で使用するロボットトラクタが稼働する放牧地内に

図 3-28 に示すように約 30m 間隔で計 20 点の測定地点を作成する。

事前準備として各測定地点における各アンテナからの伝搬、すなわち各測定ポイントでの受信電力を、図 2-14、図 2-15 に示した DAS アンテナの指向性パターンを考慮したうえで、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定するエリア算出法（式）を用いて、事前に推定する。

この時、伝搬モデルとしては①で精緻化したものを用い、また、DAS 利用時の受信電力として、各アンテナからの受信電力を単純に電力加算（真値加算）のみで得られる推定値を算出する。

推定値との比較として、次に各測定地点において実際に測定を行う。上記エリアテスターで受信電力(SS-RSRP)を測定する。測定は DAS アンテナ 1 のみを用いた場合、DAS アンテナ 2 のみを用いた場合、DAS アンテナ 3 のみを用いた場合、DAS アンテナ 4 のみを用いた場合と DAS アンテナ 4 局を同時に用いた場合の 5 パターンについて行う。測定方法としては、エリアテスターのアンテナを地上から約 1.5m の高さ、各アンテナに対して正対させた形で配置する（DAS アンテナ 4 局の場合はアンテナ指向性内で、最も距離が近いアンテナに対して正対させた形で配置する)。測定の際は、エリアテスターのアンテナを 10 波長程度左右に動かしながら測定を行い、各地点で約 1000 サンプルを取得し、定在波の影響等を取り除くものとする。

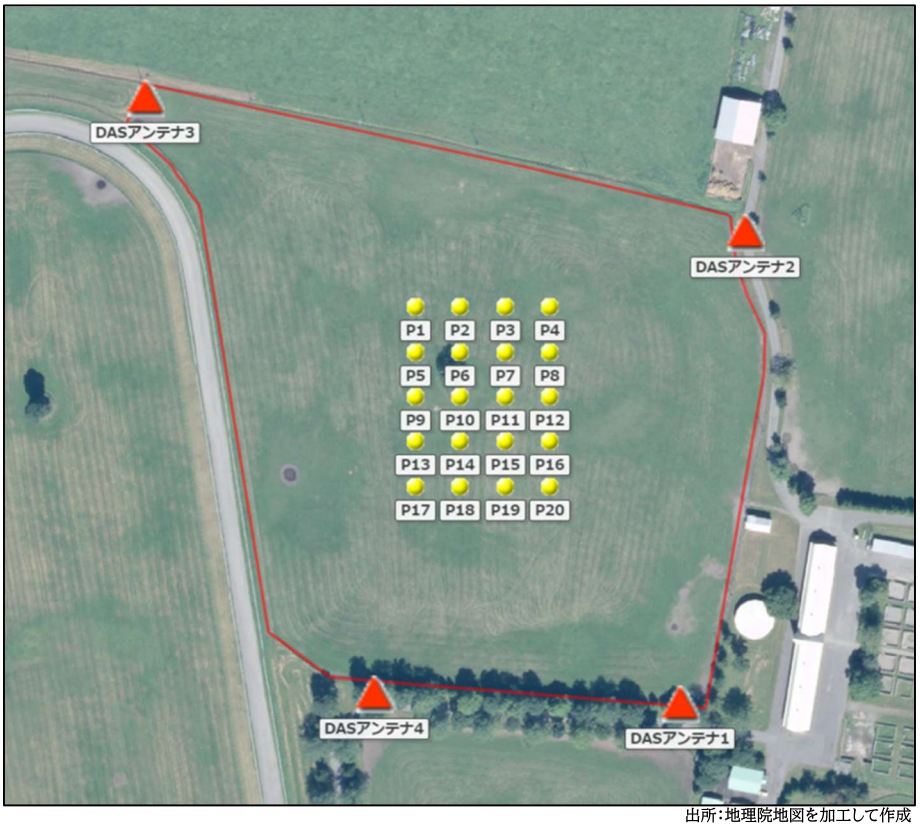
具体的な測定手順を以下に示す。

i. 測定点情報（緯度・経度）をもとに測定ポイントに移動する。
ii. DAS アンテナ 1 のみ ON する
iii. エリアテスターのアンテナを左右に 10 波長程度動かし続ける。約 4 分間(約 40 往復)の測定を実施する。本時間において、ほぼ 1000 サンプルの取得が可能となる。
iv. 測定を終了する。
v. 終了したら、DAS アンテナ 2 のみを ON にした場合、DAS アンテナ 3 のみを ON にした場合、DAS アンテナ 4 のみを ON にした場合と DAS アンテナ 4 局を同時に ON にした場合の 5 パターンについて、それぞれ実施する。
vi. 同様の測定をすべての測定ポイント 20 点で行う。

DAS アンテナ 1 局のみを用いた場合の結果を単純に電力合成（真値合成）した場合と 4 局すべて送信した場合の測定結果とを比較することで、DAS の伝搬モデルの該算出法として、電力加算の正当性を評価する。

実際の測定点としては以下となった。

図 3-28 に平面的測定ポイント、表 3-8 に測定ポイントの緯度経度情報、表 3-9 に測定ポイントと測定点 ID の対応表、表 3-10 に測定点情報をまとめる 。



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-28　DAS アンテナ合成の測定ポイント

表 3-8 測定ポイントの緯度経度情報

測定ポイント	緯度（度）	経度（度）
P1	42.4374	142.4176
P2	42.4374	142.4179
P3	42.4374	142.4181
P4	42.4374	142.4183
P5	42.4372	142.4176
P6	42.4372	142.4179
P7	42.4372	142.4181
P8	42.4372	142.4183
P9	42.4370	142.4176
P10	42.4370	142.4179
P11	42.4370	142.4181
P12	42.4370	142.4183
P13	42.4368	142.4176
P14	42.4368	142.4179
P15	42.4368	142.4181
P16	42.4368	142.4183
P17	42.4366	142.4176
P18	42.4366	142.4179
P19	42.4366	142.4181
P20	42.4366	142.4183

表 3-9 測定ポイントと測定点 ID 対応表

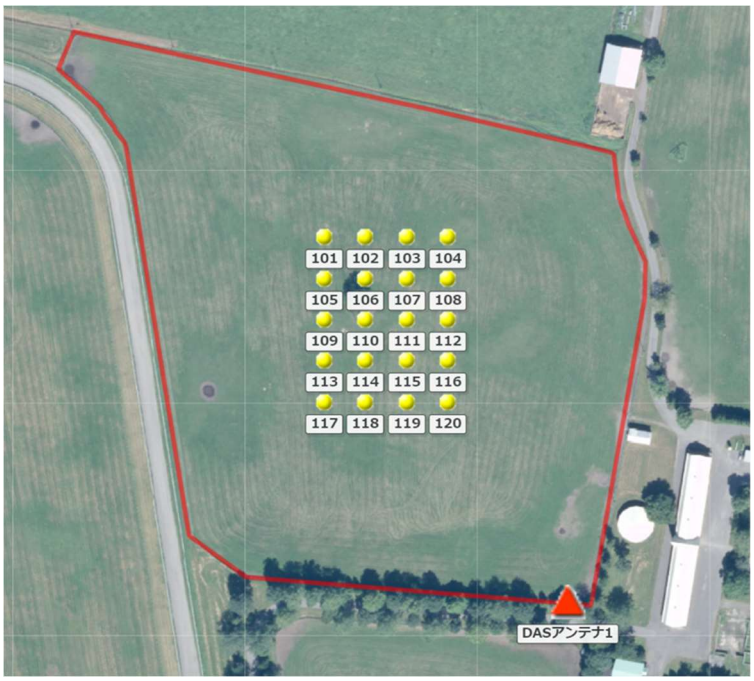
測定ポイント	測定点ID				
	DASアンテナ1のみ	DASアンテナ2のみ	DASアンテナ3のみ	DASアンテナ4のみ	DASアンテナ1～4
P1	101	121	141	161	181
P2	102	122	142	162	182
P3	103	123	143	163	183
P4	104	124	144	164	184
P5	105	125	145	165	185
P6	106	126	146	166	186
P7	107	127	147	167	187
P8	108	128	148	168	188
P9	109	129	149	169	189
P10	110	130	150	170	190
P11	111	131	151	171	191
P12	112	132	152	172	192
P13	113	133	153	173	193
P14	114	134	154	174	194
P15	115	135	155	175	195
P16	116	136	156	176	196
P17	117	137	157	177	197
P18	118	138	158	178	198
P19	119	139	159	179	199
P20	120	140	160	180	200

表 3-10 測定点情報

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点 標高 [m]	基地局アンテナ 地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ 地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	備考
101	208.8	208.6	89.7	4.0	17.0	12.6	3.0	1.0	0.0	83.2	1.5	0	DASアンテナ1
102	197.24	197.1	89.7	4.0	17.0	12.6	3.0	1.0	0.0	84.0	1.5	0	DASアンテナ1
103	187.13	187.0	89.7	4.0	17.0	12.5	3.0	1.0	0.0	84.8	1.5	0	DASアンテナ1
104	178.69	178.6	89.7	4.0	17.0	10.1	3.0	1.0	0.0	85.9	1.5	0	DASアンテナ1
105	193.35	193.1	89.7	4.0	17.0	12.6	3.0	1.0	0.0	82.8	1.5	0	DASアンテナ1
106	180.82	180.6	89.7	4.0	17.0	12.6	3.0	1.0	0.0	83.5	1.5	0	DASアンテナ1
107	169.73	169.5	89.7	4.0	17.0	12.6	3.0	1.0	0.0	84.3	1.5	0	DASアンテナ1
108	160.38	160.2	89.7	4.0	17.0	12.3	3.0	1.0	0.0	85.4	1.5	0	DASアンテナ1
109	178.81	178.5	89.7	4.0	17.0	12.5	3.0	1.0	0.0	82.3	1.5	0	DASアンテナ1
110	165.18	164.9	89.7	4.0	17.0	12.6	3.0	1.0	0.0	83.1	1.5	0	DASアンテナ1
111	152.96	152.7	89.7	4.0	17.0	12.6	3.0	1.0	0.0	83.9	1.5	0	DASアンテナ1
112	142.51	142.3	89.7	4.0	17.0	12.5	3.0	1.0	0.0	85.1	1.5	0	DASアンテナ1
113	165.39	165.1	89.7	4.0	17.0	13.7	3.0	1.0	0.0	82.1	1.5	0	DASアンテナ1
114	150.55	150.3	89.7	4.0	17.0	14.0	3.0	1.0	0.0	82.9	1.5	0	DASアンテナ1
115	137.03	136.8	89.7	4.0	17.0	14.1	3.0	1.0	0.0	83.7	1.5	0	DASアンテナ1
116	125.25	125.0	89.7	4.0	17.0	12.6	3.0	1.0	0.0	85.0	1.5	0	DASアンテナ1
117	153.41	153.1	89.7	4.0	17.0	13.2	3.0	1.0	0.0	81.9	1.5	0	DASアンテナ1
118	137.26	136.9	89.7	4.0	17.0	13.7	3.0	1.0	0.0	82.8	1.5	0	DASアンテナ1
119	122.28	122.0	89.7	4.0	17.0	14.0	3.0	1.0	0.0	83.7	1.5	0	DASアンテナ1
120	108.91	108.7	89.7	4.0	17.0	12.6	3.0	1.0	0.0	85.1	1.5	0	DASアンテナ1
121	153.72	153.3	91.6	4.0	15.0	13.88	3.0	1.0	0.0	83.2	1.5	0	DASアンテナ2
122	136.07	135.7	91.6	4.0	15.0	14.03	3.0	1.0	0.0	84.0	1.5	0	DASアンテナ2
123	119.18	118.8	91.6	4.0	15.0	14.12	3.0	1.0	0.0	84.8	1.5	0	DASアンテナ2
124	103.39	103.1	91.6	4.0	15.0	14.04	3.0	1.0	0.0	85.9	1.5	0	DASアンテナ2
125	163.59	163.2	91.6	4.0	15.0	14.07	3.0	1.0	0.0	82.8	1.5	0	DASアンテナ2
126	147.13	146.8	91.6	4.0	15.0	14.12	3.0	1.0	0.0	83.5	1.5	0	DASアンテナ2
127	131.66	131.3	91.6	4.0	15.0	14.04	3.0	1.0	0.0	84.3	1.5	0	DASアンテナ2
128	117.56	117.2	91.6	4.0	15.0	13.82	3.0	1.0	0.0	85.4	1.5	0	DASアンテナ2
129	175.20	174.8	91.6	4.0	15.0	14.13	3.0	1.0	0.0	82.3	1.5	0	DASアンテナ2
130	159.93	159.5	91.6	4.0	15.0	14.01	3.0	1.0	0.0	83.1	1.5	0	DASアンテナ2
131	145.82	145.5	91.6	4.0	15.0	13.78	3.0	1.0	0.0	83.9	1.5	0	DASアンテナ2
132	133.21	132.9	91.6	4.0	15.0	13.30	3.0	1.0	0.0	85.1	1.5	0	DASアンテナ2
133	188.19	187.8	91.6	4.0	15.0	14.01	3.0	1.0	0.0	82.1	1.5	0	DASアンテナ2
134	174.06	173.7	91.6	4.0	15.0	13.78	3.0	1.0	0.0	82.9	1.5	0	DASアンテナ2
135	161.20	160.9	91.6	4.0	15.0	13.53	3.0	1.0	0.0	83.7	1.5	0	DASアンテナ2
136	149.88	149.6	91.6	4.0	15.0	12.92	3.0	1.0	0.0	85.0	1.5	0	DASアンテナ2
137	202.32	202.0	91.6	4.0	15.0	13.87	3.0	1.0	0.0	81.9	1.5	0	DASアンテナ2
138	189.24	188.9	91.6	4.0	15.0	13.57	3.0	1.0	0.0	82.8	1.5	0	DASアンテナ2
139	177.47	177.2	91.6	4.0	15.0	13.05	3.0	1.0	0.0	83.7	1.5	0	DASアンテナ2
140	167.26	167.0	91.6	4.0	15.0	11.03	3.0	1.0	0.0	85.1	1.5	0	DASアンテナ2
141	146.59	146.6	82.7	4.00	17.0	7.52	3.0	1.0	0.0	83.2	1.5	0	DASアンテナ3
142	161.81	161.8	82.7	4.00	17.0	7.22	3.0	1.0	0.0	84.0	1.5	0	DASアンテナ3
143	177.99	178.0	82.7	4.00	17.0	2.98	3.0	1.0	0.0	84.8	1.5	0	DASアンテナ3
144	194.89	194.9	82.7	4.00	17.0	2.68	3.0	1.0	0.0	85.9	1.5	0	DASアンテナ3
145	160.86	160.8	82.7	4.00	17.0	7.69	3.0	1.0	0.0	82.8	1.5	0	DASアンテナ3
146	174.85	174.8	82.7	4.00	17.0	7.52	3.0	1.0	0.0	83.5	1.5	0	DASアンテナ3
147	189.92	189.9	82.7	4.00	17.0	7.31	3.0	1.0	0.0	84.3	1.5	0	DASアンテナ3
148	205.84	205.8	82.7	4.00	17.0	3.12	3.0	1.0	0.0	85.4	1.5	0	DASアンテナ3
149	176.25	176.2	82.7	4.00	17.0	7.77	3.0	1.0	0.0	82.3	1.5	0	DASアンテナ3
150	189.09	189.1	82.7	4.00	17.0	7.69	3.0	1.0	0.0	83.1	1.5	0	DASアンテナ3
151	203.11	203.1	82.7	4.00	17.0	7.57	3.0	1.0	0.0	83.9	1.5	0	DASアンテナ3

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点 標高 [m]	基地局アンテナ 地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ 地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	備考
152	218.07	218.1	82.7	4.00	17.0	3.44	3.0	1.0	0.0	85.1	1.5	0	DASアンテナ3
153	192.47	192.4	82.7	4.00	17.0	7.74	3.0	1.0	0.0	82.1	1.5	0	DASアンテナ3
154	204.30	204.3	82.7	4.00	17.0	7.78	3.0	1.0	0.0	82.9	1.5	0	DASアンテナ3
155	217.33	217.3	82.7	4.00	17.0	7.66	3.0	1.0	0.0	83.7	1.5	0	DASアンテナ3
156	231.37	231.4	82.7	4.00	17.0	3.68	3.0	1.0	0.0	85.0	1.5	0	DASアンテナ3
157	209.34	209.3	82.7	4.00	17.0	7.70	3.0	1.0	0.0	81.9	1.5	0	DASアンテナ3
158	220.26	220.2	82.7	4.00	17.0	7.77	3.0	1.0	0.0	82.8	1.5	0	DASアンテナ3
159	232.40	232.4	82.7	4.00	17.0	7.74	3.0	1.0	0.0	83.7	1.5	0	DASアンテナ3
160	245.58	245.6	82.7	4.00	17.0	3.77	3.0	1.0	0.0	85.1	1.5	0	DASアンテナ3
161	161.33	161.3	83.7	4.00	15.0	3.55	3.0	1.0	0.0	83.2	1.5	0	DASアンテナ4
162	162.71	162.7	83.7	4.00	15.0	4.94	3.0	1.0	0.0	84.0	1.5	0	DASアンテナ4
163	166.52	166.5	83.7	4.00	15.0	5.74	3.0	1.0	0.0	84.8	1.5	0	DASアンテナ4
164	172.58	172.6	83.7	4.00	15.0	2.68	3.0	1.0	0.0	85.9	1.5	0	DASアンテナ4
165	141.38	141.3	83.7	4.00	15.0	3.74	3.0	1.0	0.0	82.8	1.5	0	DASアンテナ4
166	142.96	142.9	83.7	4.00	15.0	5.12	3.0	1.0	0.0	83.5	1.5	0	DASアンテナ4
167	147.28	147.3	83.7	4.00	15.0	6.05	3.0	1.0	0.0	84.3	1.5	0	DASアンテナ4
168	154.10	154.1	83.7	4.00	15.0	2.81	3.0	1.0	0.0	85.4	1.5	0	DASアンテナ4
169	121.45	121.4	83.7	4.00	15.0	6.56	3.0	1.0	0.0	82.3	1.5	0	DASアンテナ4
170	123.28	123.2	83.7	4.00	15.0	5.26	3.0	1.0	0.0	83.1	1.5	0	DASアンテナ4
171	128.25	128.2	83.7	4.00	15.0	6.39	3.0	1.0	0.0	83.9	1.5	0	DASアンテナ4
172	136.03	136.0	83.7	4.00	15.0	3.29	3.0	1.0	0.0	85.1	1.5	0	DASアンテナ4
173	101.51	101.4	83.7	4.00	15.0	6.56	3.0	1.0	0.0	82.1	1.5	0	DASアンテナ4
174	103.69	103.6	83.7	4.00	15.0	5.51	3.0	1.0	0.0	82.9	1.5	0	DASアンテナ4
175	109.56	109.5	83.7	4.00	15.0	6.64	3.0	1.0	0.0	83.7	1.5	0	DASアンテナ4
176	118.56	118.6	83.7	4.00	15.0	3.58	3.0	1.0	0.0	85.0	1.5	0	DASアンテナ4
177	81.59	81.5	83.7	4.00	15.0	6.56	3.0	1.0	0.0	81.9	1.5	0	DASアンテナ4
178	84.28	84.2	83.7	4.00	15.0	8.69	3.0	1.0	0.0	82.8	1.5	0	DASアンテナ4
179	91.40	91.4	83.7	4.00	15.0	7.18	3.0	1.0	0.0	83.7	1.5	0	DASアンテナ4
180	102.01	102.0	83.7	4.00	15.0	3.77	3.0	1.0	0.0	85.1	1.5	0	DASアンテナ4
181	153.72	153.3	91.6	4.00	15.0	13.88	3.0	1.0	0.0	83.2	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
182	163.59	163.2	91.6	4.00	15.0	14.07	3.0	1.0	0.0	82.8	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
183	178.81	178.5	89.7	4.00	17.0	12.46	3.0	1.0	0.0	82.3	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
184	165.39	165.1	89.7	4.00	17.0	13.68	3.0	1.0	0.0	82.1	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
185	153.41	153.1	89.7	4.00	17.0	13.22	3.0	1.0	0.0	81.9	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
186	137.26	136.9	89.7	4.00	17.0	13.66	3.0	1.0	0.0	82.8	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
187	150.55	150.3	89.7	4.00	17.0	13.95	3.0	1.0	0.0	82.9	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
188	165.18	164.9	89.7	4.00	17.0	12.63	3.0	1.0	0.0	83.1	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
189	147.13	146.8	91.6	4.00	15.0	14.12	3.0	1.0	0.0	83.5	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
190	136.07	135.7	91.6	4.00	15.0	14.03	3.0	1.0	0.0	84.0	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
191	119.18	118.8	91.6	4.00	15.0	14.12	3.0	1.0	0.0	84.8	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
192	131.66	131.3	91.6	4.00	15.0	14.04	3.0	1.0	0.0	84.3	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
193	152.96	152.7	89.7	4.00	17.0	12.60	3.0	1.0	0.0	83.9	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
194	137.03	136.8	89.7	4.00	17.0	14.09	3.0	1.0	0.0	83.7	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
195	122.28	122.0	89.7	4.00	17.0	13.95	3.0	1.0	0.0	83.7	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
196	108.91	108.7	89.7	4.00	17.0	12.64	3.0	1.0	0.0	85.1	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
197	125.25	125.0	89.7	4.00	17.0	12.58	3.0	1.0	0.0	85.0	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
198	133.21	132.9	91.6	4.00	15.0	13.30	3.0	1.0	0.0	85.1	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
199	117.56	117.2	91.6	4.00	15.0	13.82	3.0	1.0	0.0	85.4	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ
200	103.39	103.1	91.6	4.00	15.0	14.04	3.0	1.0	0.0	85.9	1.5	0	DASアンテナ1-4 *4局の中で最も受信電力の高いアンテナ

DAS アンテナ 1 のみ送信の測定ポイントと受信レベルの測定結果について



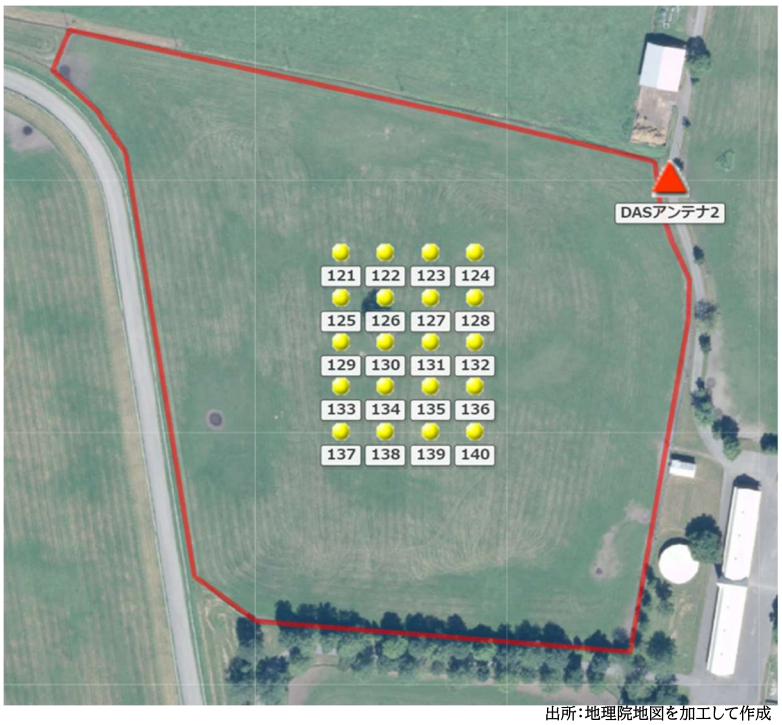
出所:地理院地図を加工して作成

図 3-29　DAS アンテナ合成の測定ポイント(DAS アンテナ 1 のみ)

表 3-11 DAS アンテナ1のみの場合の受信電力

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
101	-101.1	-101.8	-101.7	2.7	-97.20	-104.9
102	-100.7	-97.7	-97.6	2.3	-94.9	-99.9
103	-100.3	-95.9	-95.9	1.7	-93.8	-97.6
104	-102.3	-97.7	-98.0	2.8	-95.2	-101.2
105	-100.5	-97.1	-97.3	1.3	-96.0	-98.6
106	-99.9	-98.6	-98.6	1.3	-96.8	-100.2
107	-99.4	-99.4	-99.9	2.8	-97.2	-104.3
108	-99.2	-97.8	-98.2	2.0	-96.1	-101.0
109	-99.9	-95.0	-95.0	1.5	-92.8	-96.9
110	-99.1	-96.7	-96.8	2.0	-95.3	-98.4
111	-98.4	-104.2	-103.6	3.4	-98.9	-107.5
112	-97.9	-99.2	-99.5	2.8	-96.4	-102.5
113	-98.0	-94.8	-95.0	1.3	-94.0	-96.0
114	-96.9	-95.9	-96.2	1.9	-94.9	-97.7
115	-96.0	-110.3	-110.7	4.3	-105.4	-116.7
116	-96.7	-106.5	-106.6	5.0	-99.8	-112.4
117	-97.8	-94.4	-94.4	1.5	-93.2	-95.5
118	-96.4	-93.9	-93.9	0.7	-93.1	-94.8
119	-95.1	-104.4	-104.9	4.4	-100.4	-110.2
120	-95.4	-103.3	-103.7	4.6	-98.8	-110.2

DAS アンテナ 2 のみ送信の測定ポイントと受信レベルの測定結果について



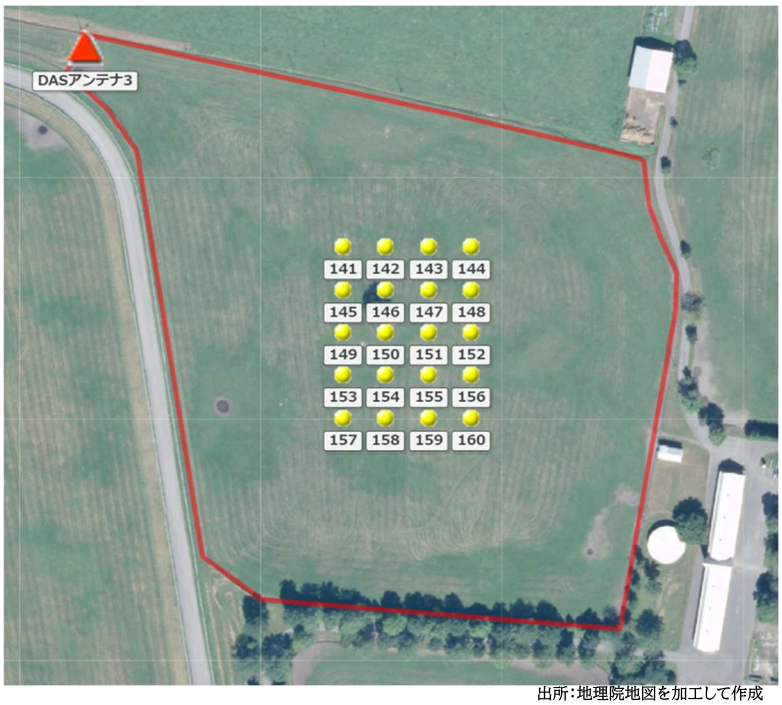
出所：地理院地図を加工して作成

図 3-30　DAS アンテナ合成の測定ポイント（DAS アンテナ 2 のみ）

表 3-12　DAS アンテナ 2 のみの場合の受信電力

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
121	-99.2	-105.9	-106.2	1.8	-104.1	-108.5
122	-98.0	-98.2	-98.6	2.5	-96.5	-100.0
123	-96.7	-97.0	-97.2	1.7	-95.7	-99.0
124	-95.6	-96.0	-96.0	2.9	-93.4	-98.0
125	-99.6	-100.7	-100.9	1.7	-99.3	-102.4
126	-98.6	-103.1	-103.2	3.5	-98.5	-107.7
127	-97.7	-94.3	-94.4	1.7	-92.8	-96.2
128	-96.9	-94.9	-95.3	2.0	-93.1	-97.8
129	-100.1	-100.5	-100.6	1.6	-99.3	-102.1
130	-99.4	-102.8	-103.0	2.6	-100.6	-105.5
131	-98.8	-96.4	-96.6	3.2	-93.9	-99.7
132	-98.5	-98.9	-99.2	2.4	-97.0	-101.5
133	-100.8	-101.5	-102.1	4.7	-96.1	-108.7
134	-100.4	-96.8	-97.0	1.4	-96.0	-98.2
135	-100.0	-99.5	-99.9	2.6	-97.6	-102.5
136	-99.9	-94.9	-94.8	2.5	-93.0	-96.4
137	-101.6	-98.8	-98.9	1.8	-97.7	-100.1
138	-101.3	-96.3	-96.5	0.9	-95.5	-97.9
139	-101.3	-97.0	-97.1	1.8	-95.3	-98.5
140	-102.8	-96.7	-96.9	1.6	-95.1	-98.9

DAS アンテナ 3 のみ送信の測定ポイントと受信レベルの測定結果について



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-31　DAS アンテナ合成の測定ポイント（DAS アンテナ 3 のみ）

表 3-13　DAS アンテナ 3 のみの場合の受信電力

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
141	-105.4	-101.4	-101.5	1.7	-99.9	-103.2
142	-109.4	-104.9	-105.0	1.1	-103.7	-106.5
143	-118.2	-101.0	-101.3	1.9	-99.2	-103.0
144	-125.5	-107.8	-107.9	2.0	-106.3	-110.0
145	-105.7	-111.1	-111.5	3.3	-107.8	-116.3
146	-108.9	-103.2	-103.3	1.3	-102.1	-104.7
147	-112.8	-101.1	-101.9	2.1	-100.2	-105.0
148	-123.6	-102.0	-102.3	2.0	-101.3	-102.9
149	-106.0	-109.7	-109.9	2.3	-107.4	-112.4
150	-108.9	-106.4	-106.6	2.2	-104.0	-109.7
151	-112.3	-101.6	-101.9	1.7	-100.6	-103.5
152	-122.3	-103.7	-104.0	1.9	-102.8	-105.2
153	-106.9	-110.2	-110.7	2.9	-107.5	-114.5
154	-109.5	-116.4	-116.5	2.7	-113.2	-119.9
155	-112.6	-103.4	-103.9	1.4	-102.5	-105.7
156	-122.5	-101.5	-101.3	1.5	-100.0	-102.3
157	-107.9	-104.9	-105.2	1.6	-103.3	-107.3
158	-110.4	-114.0	-114.3	2.1	-111.8	-117.3
159	-113.5	-108.7	-108.8	1.6	-107.3	-110.3
160	-123.8	-102.8	-103.1	1.1	-102.5	-104.1

DAS アンテナ 4 のみ送信の測定ポイントと受信レベルの測定結果について



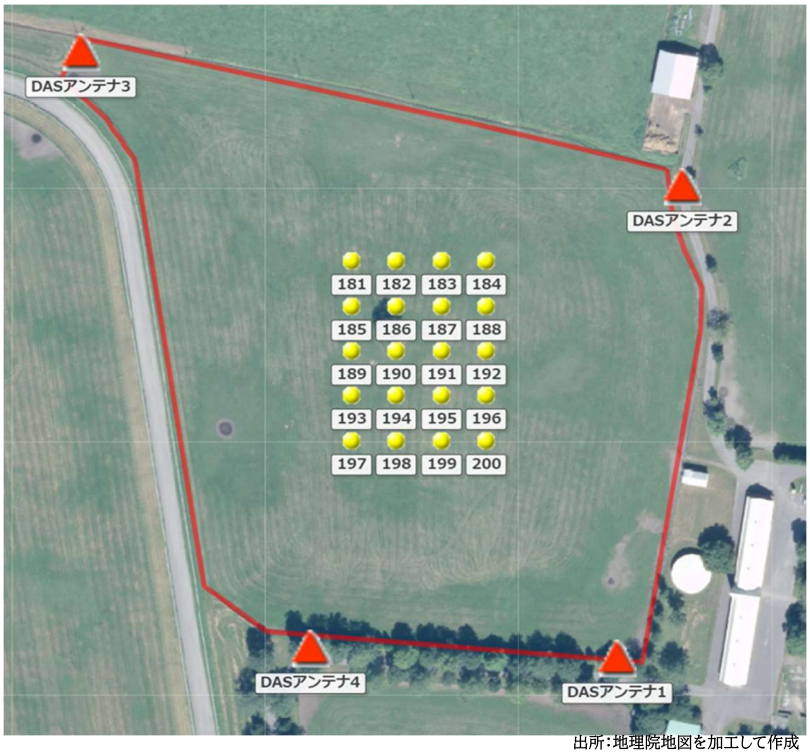
出所：地理院地図を加工して作成

図 3-32　DAS アンテナ合成の測定ポイント（DAS アンテナ 4 のみ）

表 3-14　DAS アンテナ 4 のみの場合の受信電力

測定点ID	算出式による	実測値 [dBm]				
	受信電力 [dBm]	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
161	-110.6	-108.4	-108.5	1.3	-107.0	-110.1
162	-111.1	-111.9	-112.0	2.2	-109.2	-114.8
163	-112.7	-106.8	-107.5	2.3	-105.6	-110.6
164	-120.5	-108.3	-108.3	1.5	-106.4	-110.0
165	-108.6	-104.5	-104.6	1.6	-103.3	-105.8
166	-107.8	-113.5	-113.6	2.4	-111.0	-116.5
167	-109.2	-112.2	-113.3	3.8	-109.6	-119.3
168	-116.5	-102.2	-102.6	1.2	-101.7	-104.8
169	-104.5	-104.0	-104.1	1.4	-102.8	-105.4
170	-105.9	-110.9	-111.3	2.4	-108.8	-114.3
171	-105.7	-99.0	-99.1	1.8	-98.5	-99.4
172	-113.0	-112.5	-112.4	2.3	-109.6	-114.7
173	-102.9	-108.6	-109.2	3.4	-105.3	-114.1
174	-104.1	-100.7	-100.8	0.9	-99.7	-101.9
175	-103.5	-103.1	-103.4	1.6	-102.4	-104.6
176	-110.3	-100.5	-100.7	1.1	-100.0	-101.3
177	-101.0	-104.7	-104.7	1.8	-102.8	-106.6
178	-99.2	-107.7	-107.9	2.5	-105.0	-110.8
179	-101.4	-99.3	-99.3	0.9	-98.1	-100.4
180	-108.2	-102.2	-102.4	1.9	-100.3	-104.2

DAS アンテナ 1-4 送信の測定ポイントと受信レベルの測定結果について



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-33　DAS アンテナ合成の測定ポイント（DAS アンテナ 1～4）

表 3-15 DAS アンテナ 1-4 の場合の受信電力

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm] 中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
181	-96.3	-94.8	-94.9	1.3	-93.7	-96.1
182	-96.2	-93.3	-93.1	2.8	-90.8	-93.8
183	-95.8	-89.8	-90.0	2.3	-88.5	-91.6
184	-95.1	-91.9	-92.0	2.1	-91.4	-92.5
185	-94.8	-91.1	-91.3	2.0	-89.0	-94.1
186	-93.7	-93.5	-93.4	1.8	-90.9	-95.8
187	-94.6	-87.0	-86.9	1.6	-86.1	-87.6
188	-95.6	-94.0	-94.1	0.9	-93.0	-95.3
189	-95.7	-91.9	-92.5	2.7	-90.1	-96.0
190	-95.8	-92.0	-92.1	2.2	-90.0	-93.6
191	-95.1	-91.2	-91.4	1.8	-89.3	-93.6
192	-95.2	-94.6	-94.7	2.1	-92.3	-96.5
193	-95.1	-92.4	-92.9	3.7	-89.5	-96.2
194	-93.9	-91.3	-91.3	2.2	-89.9	-92.5
195	-93.4	-93.8	-94.2	1.9	-92.2	-96.8
196	-94.5	-90.5	-90.8	3.3	-87.4	-94.0
197	-94.9	-90.4	-90.7	1.8	-88.7	-93.1
198	-95.1	-90.1	-90.1	1.7	-88.6	-91.0
199	-94.9	-92.3	-92.6	1.3	-91.2	-94.6
200	-94.7	-92.2	-92.3	1.9	-90.4	-94.4

③　DAS アンテナ４局時のエリア確認

本実証では、DAS アンテナを 4 局用いた場合のカバーエリア及び調整対象区域端について、算出法エリア及び仮説法エリアと、実測値との比較・検証を行う。

そのため事前準備として、図 2-14、図 2-15 に示した DAS アンテナの指向性パターンを考慮したうえで、上記算出法により各エリア（カバーエリア、および調整対象区域）を想定したエリアシミュレーションを実施する。この際、①実証で求めた、精緻化後のパラメータを利用するものとし、各ポイントでの推定受信レベルとしては、②実証と同様に各アンテナからのシミュレーション結果の電力合成値（真値加算）を用いるものとする。

具体的測定としては、まず第 1 ステップとして、上記エリアシミュレーション結果から得られた、カバーエリア及び調整対象区域端とされる地点にて受信電力(SS-RSRP)測定を実施した。

測定地点としてはエリアの中心から 45° 方向毎の 8 方向(それぞれ G1 から G8 と呼ぶ)とした。

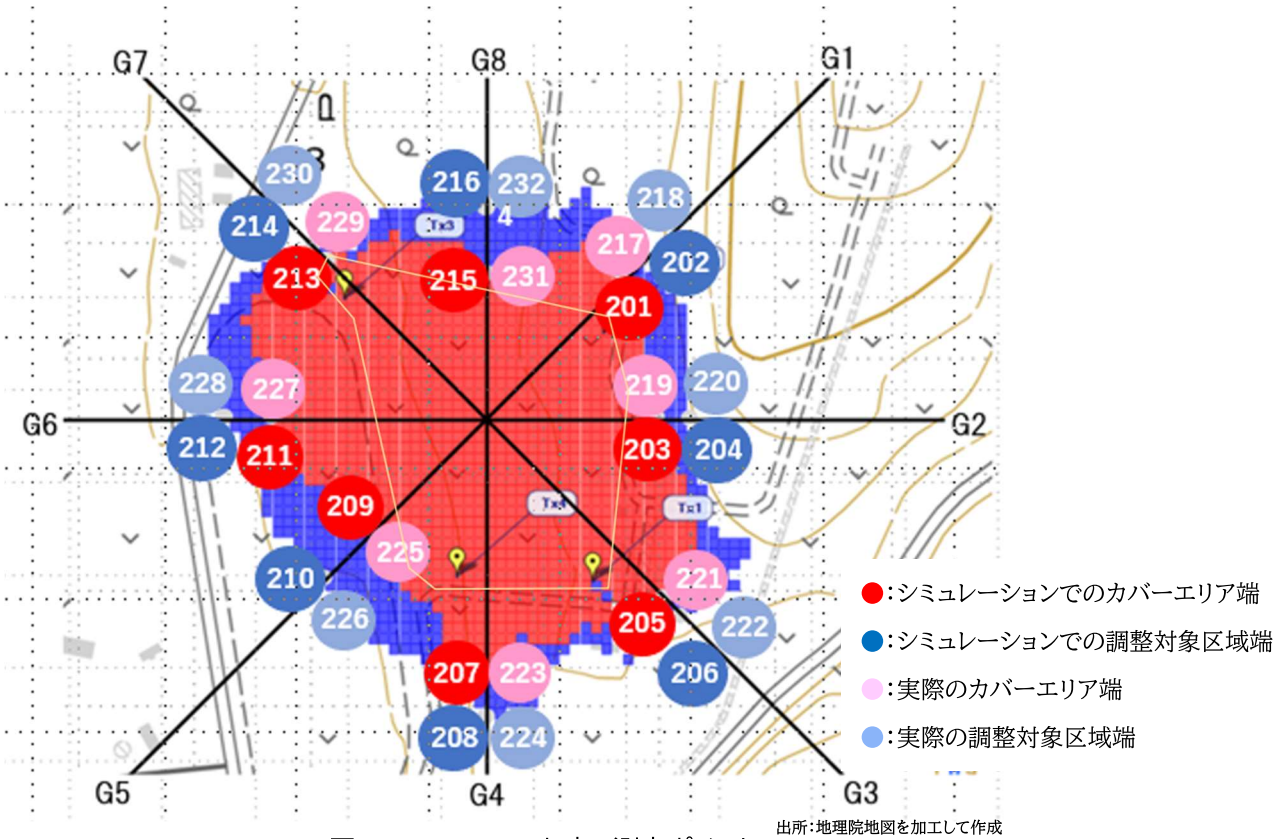
本測定結果が、期待した値と差が生じた場合には、第 2 ステップとして、カバーエリア端-119.7dBm（RSRP)、および調整対象区域端-126.1dBm（RSRP）が実測できる場所を移動しながら探索し、その地点で、再度受信電力（SS-RSRP）の測定を実施する。

各測定ポイントでの測定は、①同様、エリアテスターのアンテナを地上から約 1.5m の高さで、アンテナ指向性内で最も距離が近い DAS アンテナに対して正対させた形で実施する。測定の際は、エリアテスターのアンテナを 10 波長程度左右に動かしながら測定を行い、各地点で約 1000 サンプルを取得し、定在波の影響等を取り除くものとする。

具体的な測定手順を以下に示す。

i. G1 方向の測定点情報（緯度・経度）をもとに、エリア設計におけるカバーエリア端に移動する。
ii. エリアテスターのアンテナを左右に 10 波長程度動かし続ける。約 4 分間(約 40 往復)の測定を実施する。本時間において、ほぼ 1000 サンプルの取得が可能となる。
iii. 次に G1 方向の測定点情報（緯度・経度）をもとに、エリア設計における調整区域端に移動する。
iv. ⅱと同様に受信電力(SS-RSRP)測定を実施する。
v. 次にエリアテスターを用いて、G 方向に前後移動し、実際のカバーエリア端(RSRP:-119.7dBm)を特定する。
vi. その地点の緯度経度と受信電力(SS-RSRP)測定を実施する。
vii. 次にエリアテスターを用いて、アンテナ正対方向に前後移動し、実際の調整対象区域端(RSRP：-126.1dBm)を特定する。
viii. その地点の緯度経度と受信電力(SS-RSRP)測定を実施する。
ix. 同様の作業を G1 から G8 まで 8 方向行う。

各測定ポイントに関し、想定外の積雪、熊出没リスク等から一部測定不可となったポイントもあり、実際の測定点としては以下となった。図 3-34 に平面的測定ポイント、表 3-16 に測定ポイントの緯度経度情報、表 3-17 に測定点情報をまとめる。



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-34 4 アンテナ時の測定ポイント

表 3-16 測定ポイントの緯度経度情報

測定ポイント	緯度（度）	経度（度）
201	42.4379	142.4197
202	42.4382	142.4202
203	42.4365	142.4202
204	42.4365	142.4205
205	42.4357	142.4193
206	42.4357	142.4194
207	42.4352	142.4181
208	42.4348	142.4182
209	42.4357	142.4171
210	42.4354	142.4166
211	42.4365	142.4163
212	42.4365	142.4153
213	42.4384	142.4157
214	42.4385	142.4153
215	42.4384	142.4181
216	42.4390	142.4181
217	42.4375	142.4196
218	42.4383	142.4213
219	42.4365	142.4205
220	42.4365	142.4213
221	42.4355	142.4197
222	42.4353	142.4197
223	42.4330	142.4182
224	42.4330	142.4182
225	42.4349	142.4160
226	42.4352	142.4148
227	42.4365	142.4146
228	42.4360	142.4120
229	42.4388	142.4152
230	42.4401	142.4157
231	42.4386	142.4181
232	測定不可	測定不可

表 3-17 測定点情報

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点 標高 [m]	基地局アンテナ 地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ 地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	備考
201	239.5	239.5	89.7	4.0	17.0	2.6	3.0	0.0	0.0	90.3	1.5	0	G1方向のシミュレーションでのカバーエリア端
202	268.8	268.8	89.7	4.0	17.0	0.6	3.0	0.0	0.0	91.9	1.5	0	G1方向のシミュレーションでの調整対象区域端
203	112.9	112.9	89.7	4.0	17.0	-6.2	3.0	0.0	0.0	90.4	1.5	1	G2方向のシミュレーションでのカバーエリア端
204	188.7	188.7	91.6	4.0	15.0	-8.7	3.0	0.0	0.0	91.2	1.5	0	G2方向のシミュレーションでの調整対象区域端
205	258.0	257.9	91.6	4.0	15.0	4.0	3.0	0.0	0.0	87.8	1.5	1	G3方向のシミュレーションでのカバーエリア端
206	258.3	258.2	91.6	4.0	15.0	3.5	3.0	0.0	0.0	88.1	1.5	0	G3方向のシミュレーションでの調整対象区域端
207	322.9	322.8	91.6	4.0	15.0	9.7	3.0	0.0	0.0	83.0	1.5	0	G4方向のシミュレーションでのカバーエリア端
208	368.3	368.1	91.6	4.0	15.0	7.1	3.0	0.0	0.0	82.7	1.5	0	G4方向のシミュレーションでの調整対象区域端
209	167.9	167.4	89.7	4.0	17.0	7.5	3.0	0.0	0.0	79.1	1.5	0	G5方向のシミュレーションでのカバーエリア端
210	361.1	360.7	91.6	4.0	15.0	12.0	3.0	0.0	0.0	76.3	1.5	0	G5方向のシミュレーションでの調整対象区域端
211	249.1	248.7	89.7	4.0	17.0	11.3	3.0	0.0	0.0	78.6	1.5	0	G6方向のシミュレーションでのカバーエリア端
212	364.2	363.7	91.6	4.0	15.0	12.4	3.0	0.0	0.0	76.3	1.5	0	G6方向のシミュレーションでの調整対象区域端
213	405.0	404.7	89.7	4.0	17.0	12.5	3.0	0.0	0.0	79.1	1.5	0	G7方向のシミュレーションでのカバーエリア端
214	433.5	433.3	89.7	4.0	17.0	10.3	3.0	0.0	0.0	78.5	1.5	0	G7方向のシミュレーションでの調整対象区域端
215	110.4	110.0	91.6	4.0	15.0	4.5	3.0	0.0	0.0	85.2	1.5	0	G8方向のシミュレーションでのカバーエリア端
216	356.1	356.0	89.7	4.0	17.0	9.3	3.0	0.0	0.0	85.0	1.5	0	G8方向のシミュレーションでの調整対象区域端
217	53.7	53.5	91.6	4.0	15.0	-1.0	3.0	0.0	0.0	89.6	1.5	0	G1方向の実際のカバーエリア端
218	406.1	405.6	83.7	4.0	15.0	-12.8	3.0	0.0	0.0	105.7	1.5	0	G1方向の実際の調整対象区域端
219	188.7	188.7	91.6	4.0	15.0	-8.7	3.0	0.0	0.0	91.2	1.5	1	G2方向の実際のカバーエリア端
220	227.2	227.2	91.6	4.0	15.0	-11.7	3.0	0.0	0.0	93.3	1.5	0	G2方向の実際の調整対象区域端
221	279.8	279.8	91.6	4.0	15.0	2.5	3.0	0.0	0.0	87.5	1.5	1	G3方向の実際のカバーエリア端
222	289.8	289.7	91.6	4.0	15.0	2.5	3.0	0.0	0.0	86.9	1.5	1	G3方向の実際の調整対象区域端
223	554.3	554.2	91.6	4.0	15.0	6.2	3.0	0.0	0.0	82.2	1.5	0	G4方向の実際のカバーエリア端
224	564.1	564.0	91.6	4.0	15.0	6.2	3.0	0.0	0.0	82.0	1.5	0	G4方向の実際の調整対象区域端
225	431.2	430.8	91.6	4.0	15.0	12.1	3.0	0.0	0.0	75.1	1.5	0	G5方向の実際のカバーエリア端
226	486.3	485.9	91.6	4.0	15.0	12.6	3.0	0.0	0.0	74.7	1.5	0	G5方向の実際の調整対象区域端
227	419.1	418.7	91.6	4.0	15.0	12.1	3.0	0.0	0.0	75.3	1.5	0	G6方向の実際のカバーエリア端
228	588.0	587.6	89.7	4.0	17.0	6.8	3.0	0.0	0.0	71.5	1.5	0	G6方向の実際の調整対象区域端
229	461.5	461.3	89.7	4.0	17.0	10.4	3.0	0.0	0.0	78.5	1.5	0	G7方向の実際のカバーエリア端
230	541.4	541.3	89.7	4.0	17.0	10.5	3.0	0.0	0.0	81.6	1.5	1	G7方向の実際の整対象区域端
231	317.5	317.4	89.7	4.0	17.0	9.6	3.0	0.0	0.0	85.0	1.5	0	G8方向の実際のカバーエリア端
232		測定不可		4.0			3.0	0.0	0.0	86.3	1.5	0	G8方向の実際の調整対象区域端

表 3-18 各測定ポイントにおける受信レベル一覧表

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
201	-115.5	-111.2	-111.5	3.8	-108.0	-115.9
202	-124.7	-116.3	-117.6	3.7	-114.4	-123.1
203	-114.2	-111.7	-112.5	4.5	-107.7	-118.8
204	-122.3	-117.5	-118.7	4.2	-114.8	-124.2
205	-111.6	-108.1	-108.9	3.3	-105.6	-112.9
206	-113.9	-113.5	-114.1	3.8	-109.7	-119.6
207	-107.2	-104.6	-104.7	1.5	-102.9	-106.4
208	-111.3	-109.0	-110.3	4.6	-106.3	-117.0
209	-101.1	-110.0	-110.1	5.0	-103.9	-116.6
210	-104.1	-110.5	-110.2	3.8	-105.8	-115.1
211	-99.9	-104.9	-105.6	3.9	-102.1	-111.2
212	-104.0	-106.0	-107.3	4.9	-102.4	-114.2
213	-104.7	-114.5	-114.2	5.0	-108.3	-121.1
214	-107.2	-117.2	-117.4	3.4	-113.3	-121.6
215	-103.3	-117.2	-117.3	2.4	-114.7	-119.9
216	-107.5	-117.3	-117.6	5.0	-112.1	-123.4
217	-104.3	-118.8	-118.6	3.1	-114.7	-122.1
218	-151.6	-126.4	-126.4	2.6	-123.1	-129.5
219	-122.3	-119.0	-119.2	2.9	-115.9	-122.0
220	-132.9	-126.6	-127.1	3.0	-124.0	-130.5
221	-115.7	-119.9	-120.2	2.4	-117.5	-123.0
222	-115.9	-129.6	-129.6	2.7	-126.1	-132.7
223	-117.2	-118.4	-118.5	3.2	-114.7	-122.3
224	-118.1	-122.9	-123.6	4.3	-118.7	-130.1
225	-107.0	-120.4	-120.2	2.9	-116.4	-123.4
226	-108.4	-123.0	-123.5	4.0	-118.9	-129.0
227	-106.2	-119.0	-119.0	3.1	-115.5	-122.3
228	-115.4	-124.8	-125.3	3.4	-121.4	-129.8
229	-108.5	-118.5	-118.7	3.2	-115.0	-122.3
230	-110.9	-124.8	-124.7	3.9	-119.7	-129.5
231	-104.9	-118.3	-118.7	2.6	-115.8	-121.8
232		測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可

232（実際の干渉調整区域端）は国有林に到達したため、測定を断念した。

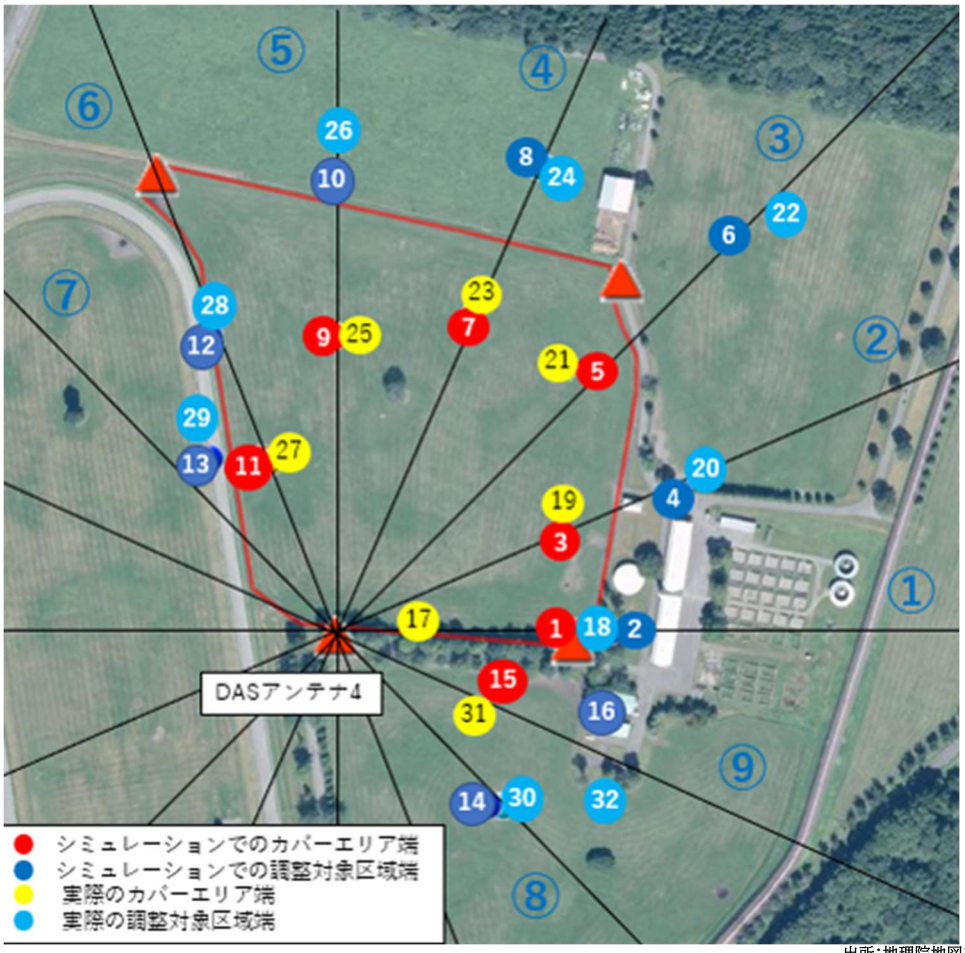
（5） 実証結果及び考察

今回の実証でそれぞれ得られた結果について以下にまとめる。

① DAS アンテナ 1 局時のエリア確認

以下、実際の測定点について図 3-35 に示す。測定点 ID 情報については表 3-5、表 3-6 にまとめたものである。

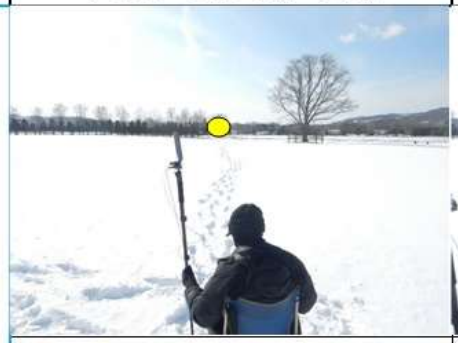
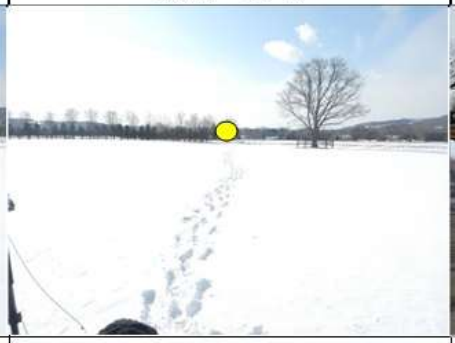
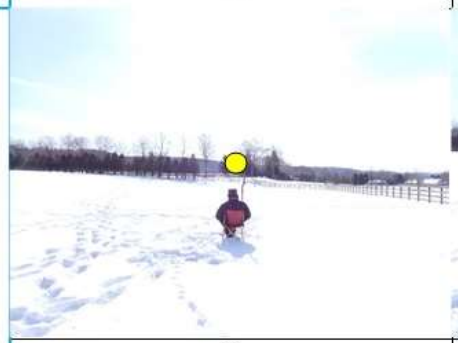
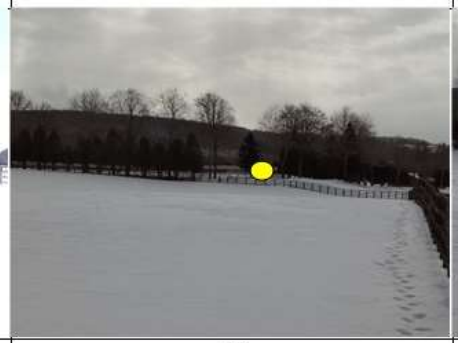
併せて各測定ポイントのイメージ写真を以下、図 3-36 に示す。また、測定を実施した様子を撮影した写真も図 3-37 に示す。以下②、③においても測定実施した様子は共通である。

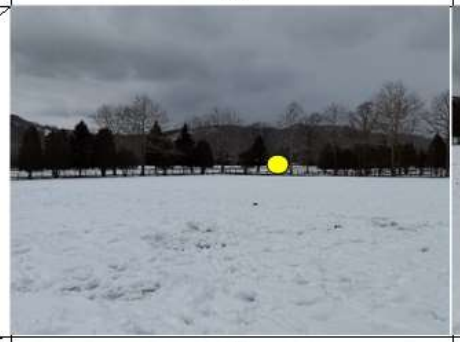


出所：地理院地図を加工して作成

図 3-35 DAS アンテナ4のみの時の測定ポイント

方向	シミュレーション上のエリア端	実測のエリア端	シミュレーション上の干渉調整区域端	実測の干渉調整区域端
①				
	01	17	02	18
②				
	03	19	04	20
③				
	05	21	06	22

方向	シミュレーション上のエリア端	実測のエリア端	シミュレーション上の干渉調整区域端	実測の干渉調整区域端
④				
	07	23	08	24
⑤				
	09	25	10	26
⑥				
	11	27	12	28

方向	シミュレーション上のエリア端	実測のエリア端	シミュレーション上の干渉調整区域端	実測の干渉調整区域端
⑦				
			13	29
⑧				
			14	30
⑨				
	15	31	16	32

方向	シミュレーション上のエリア端	実測のエリア端	シミュレーション上の干渉調整区域端	実測の干渉調整区域端
⑩				
		99		

図 3-36 DAS アンテナ 1 局時の精緻化測定ポイントの様子





図 3-37 測定の様子

表 3-19 測定結果よりパラメータ K の算出

測定点ID	算出式による受信電力【dBm】	中央値	平均値	標準偏差	上位10%	下位10%	実測-算定式中央値	K値補正対象	K値補正dB（中央値）
1	-131.9	-	-	-	-	-		除外　測定不可	
2	-139.7	-	-	-	-	-		除外　測定不可	
3	-132.8	-119.03	-119.12	1.74	-117.36	-121.03	13.8	対象	
4	-140.2	-124.32	-124.26	3.65	-119.4	-128.89	15.9	対象	
5	-132.8	-119.2	-119.26	1.08	-117.99	-120.57	13.6	対象	
6	-139.9	-122.55	-122.74	2.67	-119.81	-126.11	17.4	対象	
7	-129.7	-119.64	-119.71	1.64	-118.05	-121.35	10.0	対象	
8	-139.7	-126.38	-126.33	2.52	-123.21	-129.57	13.3	対象	
9	-117.5	-118.54	-118.46	2.57	-115.78	-121.04	-1.1	対象	
10	-124.4	-126.3	-126	3.11	-121.74	-129.76	-1.9	対象	
11	-110.5	-119.27	-119.36	1.84	-117.44	-121.33	-8.8	対象	
12	-119.6	-122.58	-122.7	3.45	-118.88	-126.96	-3.0	対象	
13	-116.1	-121.92	-121.51	5.01	-115.17	-127.33	-5.8	対象	
14	-129.2	-123.23	-123.49	2.56	-120.36	-127.01	5.9	対象	
15	-115.8	-119.23	-119.37	2.46	-116.75	-121.76	-3.4	除外　100m未満	
16	-139.8	-121.16	-121.75	3.94	-117.01	-127.26	18.6	対象	
17	-95.9	-106.54	-106.7	2.2	-104.15	-109.21	-10.7	除外　100m未満	6.7
18	-138.9	-125.33	-125.36	2.86	-121.71	-128.95	13.6	除外　遮蔽	
19	-132.8	-119.19	-119.19	2.02	-116.94	-121.17	13.6	対象	
20	-141.1	-126.11	-126.27	2.24	-123.67	-129.24	14.9	対象	
21	-133.0	-119.43	-119.54	1.46	-118.23	-120.76	13.5	対象	
22	-147.3	-126.56	-126.64	1.65	-124.71	-128.7	20.7	対象	
23	-130.5	-119.53	-119.71	1.67	-118.02	-121.45	11.0	対象	
24	-139.7	-125.61	-125.66	2.67	-122.21	-129.05	14.1	対象	
25	-117.5	-119.49	-119.35	2.38	-117.17	-121.35	-2.0	対象	
26	-126.4	-127.37	-127.17	2.72	-123.79	-130.53	-1.0	対象	
27	-110.5	-119.93	-119.82	2.3	-117.62	-121.88	-9.4	対象	
28	-119.9	-125.15	-124.99	2.82	-121.59	-128.59	-5.3	対象	
29	-116.1	-126.63	-126.45	3.61	-121.69	-130.61	-10.5	対象	
30	-134.8	-124.72	-125.08	3	-121.84	-129.11	10.1	対象	
31	-115.8	-119.68	-119.81	2.16	-117.62	-121.93	-3.9	除外　100未満	
32	-142.4	-125.94	-125.75	3.8	-120.45	-130.62	16.4	対象	

表 3-20 算出式―実測値、基地局高―測定器高の差分比較

測定ID	算出式受信電力【dBm】	実測中央値【dBm】	算出式ー実測中央値【dB】	基地局標高+アンテナ地上高[m]	測定標高+アンテナ地上高[m]	基地局高ー測定高[m]	備考
1	-131.9	-	-	87.7	88.3	-0.6	除外　測定不可
2	-139.7	-	-	87.7	89.0	-1.3	除外　測定不可
3	-132.8	-119.0	-13.8	87.7	88.5	-0.8	対象
4	-140.2	-124.3	-15.9	87.7	91.1	-3.4	対象
5	-132.8	-119.2	-13.6	87.7	89.4	-1.7	対象
6	-139.9	-122.6	-17.4	87.7	92.9	-5.2	対象
7	-129.7	-119.6	-10.0	87.7	87.7	0.0	対象
8	-139.7	-126.4	-13.3	87.7	89.1	-1.4	対象
9	-117.5	-118.5	1.1	87.7	83.9	3.8	対象
10	-124.4	-126.3	1.9	87.7	84.4	3.3	対象
11	-110.5	-119.3	8.8	87.7	81.6	6.1	対象
12	-119.6	-122.6	3.0	87.7	81.9	5.8	対象
13	-116.1	-121.9	5.8	87.7	80.9	6.8	対象
14	-129.2	-123.2	-5.9	87.7	86.3	1.4	対象
15	-115.8	-119.2	3.4	87.7	87.0	0.7	除外　100m未満
16	-139.8	-121.2	-18.6	87.7	89.0	-1.3	対象
17	-95.9	-106.5	10.7	87.7	84.4	3.3	除外　100m未満
18	-138.9	-125.3	-13.6	87.7	88.7	-1.0	除外　遮蔽
19	-132.8	-119.2	-13.6	87.7	88.6	-0.9	対象
20	-141.1	-126.1	-14.9	87.7	91.5	-3.8	対象
21	-133.0	-119.4	-13.5	87.7	89.1	-1.4	対象
22	-147.3	-126.6	-20.7	87.7	97.3	-9.6	対象
23	-130.5	-119.5	-11.0	87.7	87.7	0.0	対象
24	-139.7	-125.6	-14.1	87.7	89.1	-1.4	対象
25	-117.5	-119.5	2.0	87.7	83.9	3.8	対象
26	-126.4	-127.4	1.0	87.7	84.8	2.9	対象
27	-110.5	-119.9	9.4	87.7	81.6	6.1	対象
28	-119.9	-125.2	5.3	87.7	82.1	5.6	対象
29	-116.1	-126.6	10.5	87.7	81.1	6.6	対象
30	-134.8	-124.7	-10.1	87.7	86.7	1.0	対象
31	-115.8	-119.7	3.9	87.7	87.0	0.7	除外　100未満
32	-142.4	-125.9	-16.4	87.7	87.8	-0.1	対象

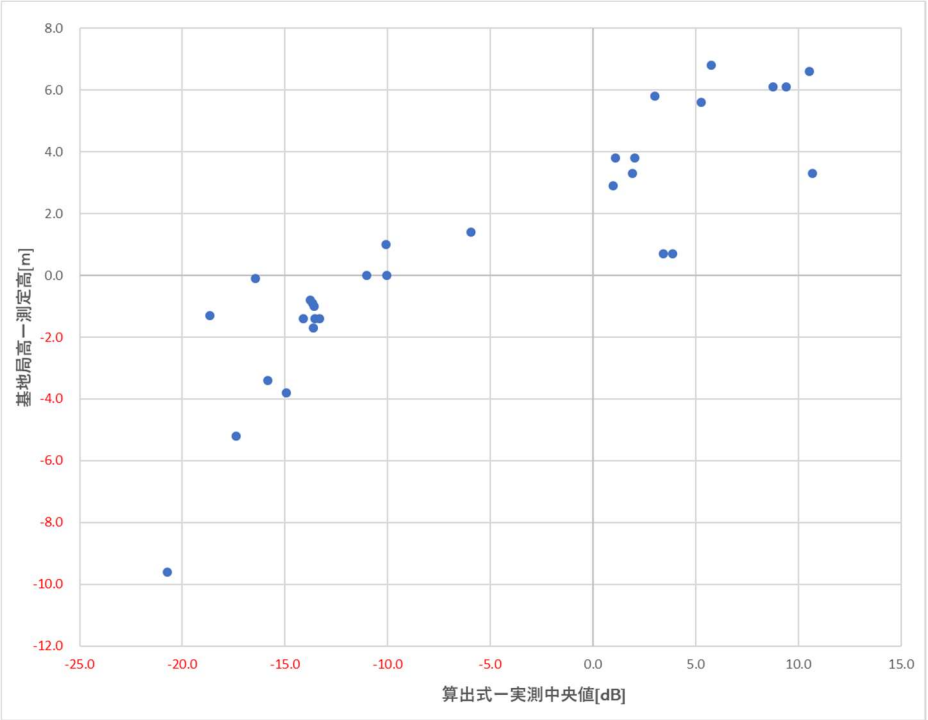


図 3-38 算出式―実測値 vs.基地局高―測定高の特性

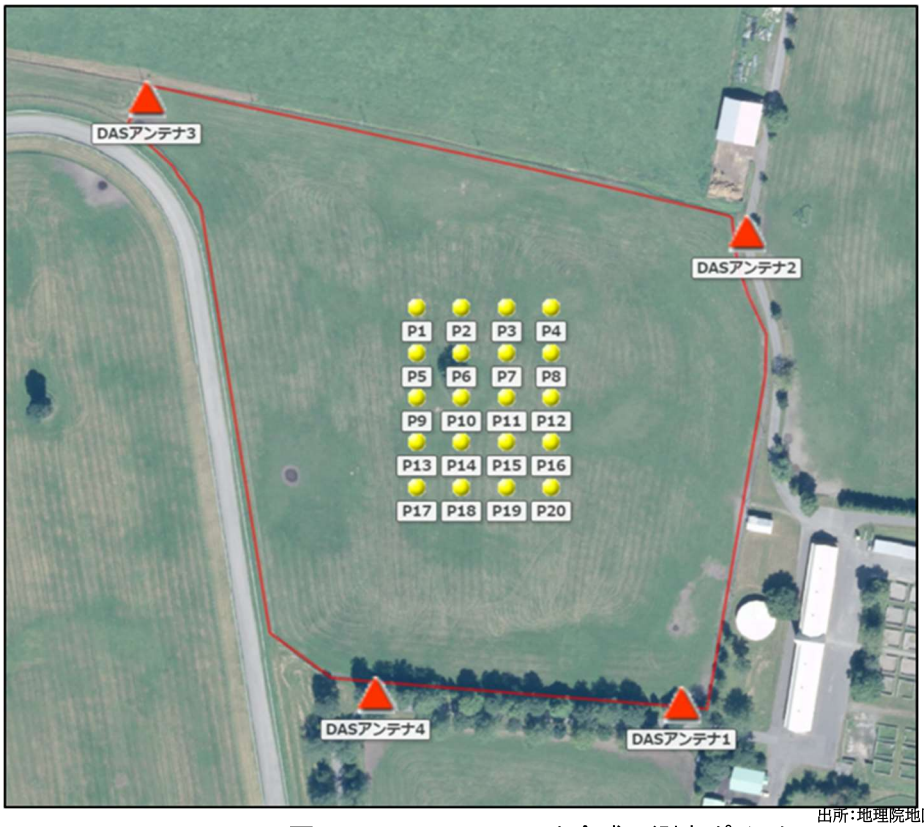
測定結果一覧を表 3-19 にまとめる。

本実証の測定環境は算定式の補正値である S 値(開放地)の理想と近い環境であり開放地の条件と合致する。そのため、地形情報データ等の補正値である K 値を測定することで、本実証環境に起因するパラメータ K の影響を把握するためには最適な環境であるといえる。DAS アンテナ 1 局の場合、本実証環境における K 値補正対象の 26 ポイントの全体平均から求められる”K”は 6.7dB となることがわかる。

本実証環境は高低差が混在しているためエリア全体平均から K 値(6.7dB)を求めたが、図 3-38 の結果を見ると、基地局から見た傾斜が下り方向となる場合は、算出式の受信電力の方が高くなるため、実際のエリアが狭い傾向となっていることがわかる。一方、基地局から見て傾斜が上り方向となる場合は、実測エリアの方が広くなり、高低差と電力差の傾きが急となる傾向が見られる。そのため、基地局から見た傾斜の上り方向と下り方向の地形別に K 値を表 3-20 からそれぞれ求めた。K 値補正対象の内、上り/下り方向の値と基地局との高低差 0mの値を含めるとそれぞれ 14 ポイントあり、これらを平均すると上り方向の K=14.8dB、下り方向は K=-0.8dB となることがわかる。

② DAS の伝搬特性評価

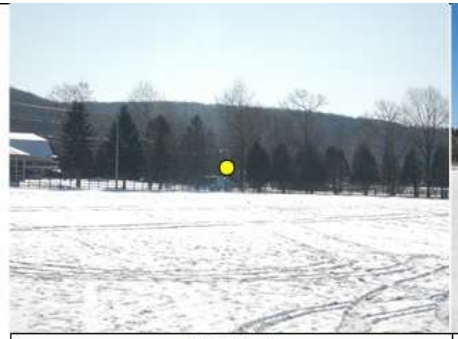
以下、実際の測定点について図 3-39 に示す。(図 3-28 の再掲)。測定点 ID 情報については表 3-9、表 3-10 にまとめたものである 。併せて、各測定ポイントのイメージ写真を以下、図 3-40 に示す。

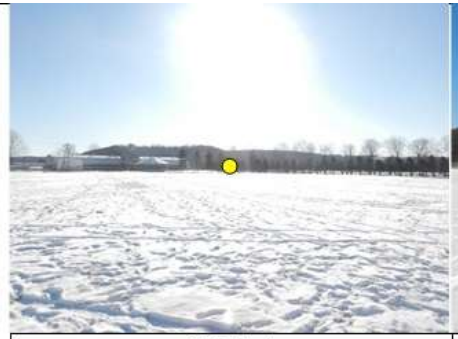
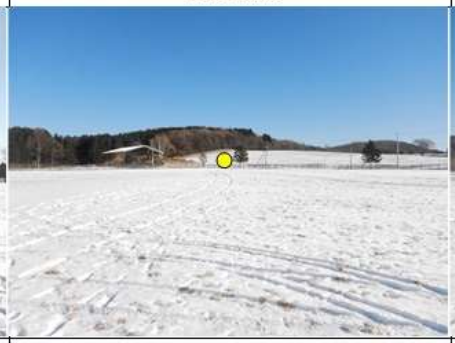
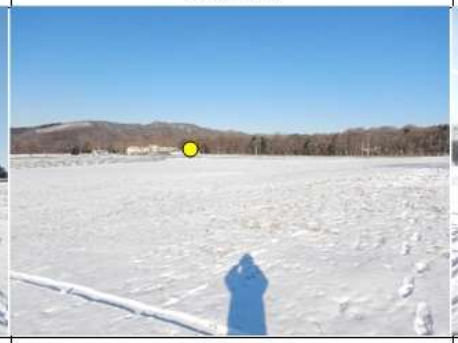


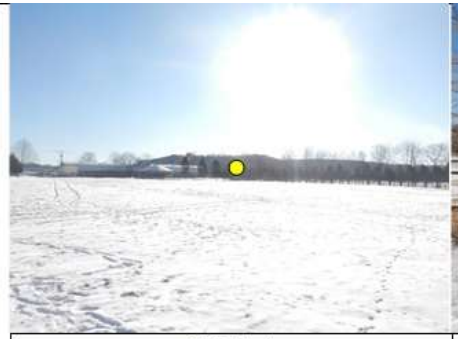
出所:地理院地図を加工して作成

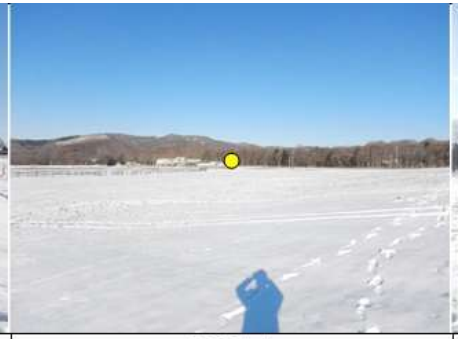
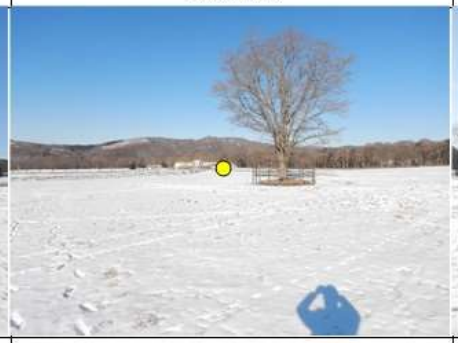
図 3-39　DAS アンテナ合成の測定ポイント

P1				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P2				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P3				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向

P4				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P5				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P6				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向

P7				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P8				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P9				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向

P10				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P11				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P12				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向

P13				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P14				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P15				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向

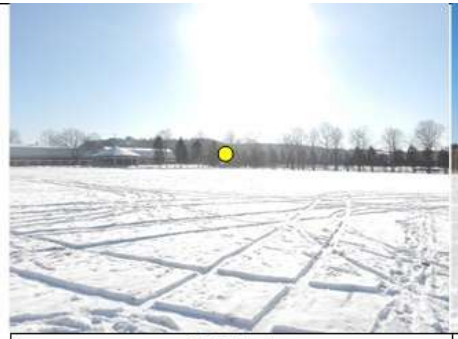
P16				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P17				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
P18				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向



図 3-40 合成特性測定ポイントの様子

同一のポイントにおいて、DAS アンテナ 1 のみ、DAS アンテナ 2 のみ、DAS アンテナ 3 のみ、DAS アンテナ 4 のみ、DAS アンテナ 1-4 全送信の受信電力の比較を表 3-21 に示す。

表 3-21 ポイントおよび DAS アンテナごとの受信電力比較

測定ポイント	測定点ID	算定式による受信電力 [dBm]	中央値	平均値	標準偏差	上位10%	下位10%	実測-算定式	備考
P1	101	-101.1	-101.8	-101.7	2.7	-97.2	-104.9	-0.7	Tx1:ON
	121	-99.2	-105.9	-106.2	1.8	-104.1	-108.5	-6.7	Tx2:ON
	141	-105.4	-101.4	-101.5	1.7	-99.9	-103.2	3.9	Tx3:ON
	161	-110.6	-108.4	-108.5	1.3	-107.0	-110.1	2.2	Tx4:ON
	181	-96.3	-94.8	-94.9	1.3	-93.7	-96.1	1.4	Tx1-Tx4:ON
P2	102	-100.7	-97.7	-97.6	2.3	-94.9	-99.9	3.0	Tx1:ON
	122	-98.0	-98.2	-98.6	2.5	-96.5	-100.0	-0.2	Tx2:ON
	142	-109.4	-104.9	-105.0	1.1	-103.7	-106.5	4.5	Tx3:ON
	162	-111.1	-111.9	-112.0	2.2	-109.2	-114.8	-0.8	Tx4:ON
	182	-96.2	-93.3	-93.1	2.8	-90.8	-93.8	2.9	Tx1-Tx4:ON
P3	103	-100.3	-95.9	-95.9	1.7	-93.8	-97.6	4.4	Tx1:ON
	123	-96.7	-97.0	-97.2	1.7	-95.7	-99.0	-0.3	Tx2:ON
	143	-118.2	-101.0	-101.3	1.9	-99.2	-103.0	17.2	Tx3:ON
	163	-112.7	-106.8	-107.5	2.3	-105.6	-110.6	6.0	Tx4:ON
	183	-95.8	-89.8	-90.0	2.3	-88.5	-91.6	6.1	Tx1-Tx4:ON
P4	104	-102.3	-97.7	-98.0	2.8	-95.2	-101.2	4.6	Tx1:ON
	124	-95.6	-96.0	-96.0	2.9	-93.4	-98.0	-0.4	Tx2:ON
	144	-125.5	-107.8	-107.9	2.0	-106.3	-110.0	17.6	Tx3:ON
	164	-120.5	-108.3	-108.3	1.5	-106.4	-110.0	12.2	Tx4:ON
	184	-95.1	-91.9	-92.0	2.1	-91.4	-92.5	3.1	Tx1-Tx4:ON
P5	105	-100.5	-97.1	-97.3	1.3	-96.0	-98.6	3.4	Tx1:ON
	125	-99.6	-100.7	-100.9	1.7	-99.3	-102.4	-1.1	Tx2:ON
	145	-105.7	-111.1	-111.5	3.3	-107.8	-116.3	-5.4	Tx3:ON
	165	-108.6	-104.5	-104.6	1.6	-103.3	-105.8	4.2	Tx4:ON
	185	-94.8	-91.1	-91.3	2.0	-89.0	-94.1	3.7	Tx1-Tx4:ON
P6	106	-99.9	-98.6	-98.6	1.3	-96.8	-100.2	1.4	Tx1:ON
	126	-98.6	-103.1	-103.2	3.5	-98.5	-107.7	-4.5	Tx2:ON
	146	-108.9	-103.2	-103.3	1.3	-102.1	-104.7	5.7	Tx3:ON
	166	-107.8	-113.5	-113.6	2.4	-111.0	-116.5	-5.7	Tx4:ON
	186	-93.7	-93.5	-93.4	1.8	-90.9	-95.8	0.2	Tx1-Tx4:ON
P7	107	-99.4	-99.4	-99.9	2.8	-97.2	-104.3	0.0	Tx1:ON
	127	-97.7	-94.3	-94.4	1.7	-92.8	-96.2	3.4	Tx2:ON
	147	-112.8	-101.1	-101.9	2.1	-100.2	-105.0	11.7	Tx3:ON
	167	-109.2	-112.2	-113.3	3.8	-109.6	-119.3	-3.0	Tx4:ON
	187	-94.6	-87.0	-86.9	1.6	-86.1	-87.6	7.6	Tx1-Tx4:ON
P8	108	-99.2	-97.8	-98.2	2.0	-96.1	-101.0	1.4	Tx1:ON
	128	-96.9	-94.9	-95.3	2.0	-93.1	-97.8	2.0	Tx2:ON
	148	-123.6	-102.0	-102.3	2.0	-101.3	-102.9	21.5	Tx3:ON
	168	-116.5	-102.2	-102.6	1.2	-101.7	-104.8	14.3	Tx4:ON
	188	-95.6	-94.0	-94.1	0.9	-93.0	-95.3	1.6	Tx1-Tx4:ON
P9	109	-99.9	-95.0	-95.0	1.5	-92.8	-96.9	5.0	Tx1:ON
	129	-100.1	-100.5	-100.6	1.6	-99.3	-102.1	-0.4	Tx2:ON
	149	-106.0	-109.7	-109.9	2.3	-107.4	-112.4	-3.8	Tx3:ON
	169	-104.5	-104.0	-104.1	1.4	-102.8	-105.4	0.5	Tx4:ON
	189	-95.7	-91.9	-92.5	2.7	-90.1	-96.0	3.8	Tx1-Tx4:ON
P10	110	-99.1	-96.7	-96.8	2.0	-95.3	-98.4	2.4	Tx1:ON
	130	-99.4	-102.8	-103.0	2.6	-100.6	-105.5	-3.4	Tx2:ON
	150	-108.9	-106.4	-106.6	2.2	-104.0	-109.7	2.4	Tx3:ON
	170	-105.9	-110.9	-111.3	2.4	-108.8	-114.3	-5.0	Tx4:ON
	190	-95.8	-92.0	-92.1	2.2	-90.0	-93.6	3.8	Tx1-Tx4:ON

測定ポイント	測定点ID	算定式による受信電力 [dBm]	中央値	平均値	標準偏差	上位10%	下位10%	実測-算定式	備考
P11	111	-98.4	-104.2	-103.6	3.4	-98.9	-107.5	-5.7	Tx1:ON
	131	-98.8	-96.4	-96.6	3.2	-93.9	-99.7	2.5	Tx2:ON
	151	-112.3	-101.6	-101.9	1.7	-100.6	-103.5	10.7	Tx3:ON
	171	-105.7	-99.0	-99.1	1.8	-98.5	-99.4	6.8	Tx4:ON
	191	-95.1	-91.2	-91.4	1.8	-89.3	-93.6	3.8	Tx1-Tx4:ON
P12	112	-97.9	-99.2	-99.5	2.8	-96.4	-102.5	-1.3	Tx1:ON
	132	-98.5	-98.9	-99.2	2.4	-97.0	-101.5	-0.3	Tx2:ON
	152	-122.3	-103.7	-104.0	1.9	-102.8	-105.2	18.7	Tx3:ON
	172	-113.0	-112.5	-112.4	2.3	-109.6	-114.7	0.6	Tx4:ON
	192	-95.2	-94.6	-94.7	2.1	-92.3	-96.5	0.6	Tx1-Tx4:ON
P13	113	-98.0	-94.8	-95.0	1.3	-94.0	-96.0	3.2	Tx1:ON
	133	-100.8	-101.5	-102.1	4.7	-96.1	-108.7	-0.7	Tx2:ON
	153	-106.9	-110.2	-110.7	2.9	-107.5	-114.5	-3.3	Tx3:ON
	173	-102.9	-108.6	-109.2	3.4	-105.3	-114.1	-5.7	Tx4:ON
	193	-95.1	-92.4	-92.9	3.7	-89.5	-96.2	2.8	Tx1-Tx4:ON
P14	114	-96.9	-95.9	-96.2	1.9	-94.9	-97.7	1.0	Tx1:ON
	134	-100.4	-96.8	-97.0	1.4	-96.0	-98.2	3.6	Tx2:ON
	154	-109.5	-116.4	-116.5	2.7	-113.2	-119.9	-6.9	Tx3:ON
	174	-104.1	-100.7	-100.8	0.9	-99.7	-101.9	3.4	Tx4:ON
	194	-93.9	-91.3	-91.3	2.2	-89.9	-92.5	2.7	Tx1-Tx4:ON
P15	115	-96.0	-110.3	-110.7	4.3	-105.4	-116.7	-14.3	Tx1:ON
	135	-100.0	-99.5	-99.9	2.6	-97.6	-102.5	0.5	Tx2:ON
	155	-112.6	-103.4	-103.9	1.4	-102.5	-105.7	9.2	Tx3:ON
	175	-103.5	-103.1	-103.4	1.6	-102.4	-104.6	0.4	Tx4:ON
	195	-93.4	-93.8	-94.2	1.9	-92.2	-96.8	-0.4	Tx1-Tx4:ON
P16	116	-96.7	-106.5	-106.6	5.0	-99.8	-112.4	-9.7	Tx1:ON
	136	-99.9	-94.9	-94.8	2.5	-93.0	-96.4	5.1	Tx2:ON
	156	-122.5	-101.5	-101.3	1.5	-100.0	-102.3	21.0	Tx3:ON
	176	-110.3	-100.5	-100.7	1.1	-100.0	-101.3	9.8	Tx4:ON
	196	-94.5	-90.5	-90.8	3.3	-87.4	-94.0	4.1	Tx1-Tx4:ON
P17	117	-97.8	-94.4	-94.4	1.5	-93.2	-95.5	3.5	Tx1:ON
	137	-101.6	-98.8	-98.9	1.8	-97.7	-100.1	2.8	Tx2:ON
	157	-107.9	-104.9	-105.2	1.6	-103.3	-107.3	3.0	Tx3:ON
	177	-101.0	-104.7	-104.7	1.8	-102.8	-106.6	-3.7	Tx4:ON
	197	-94.9	-90.4	-90.7	1.8	-88.7	-93.1	4.5	Tx1-Tx4:ON
P18	118	-96.4	-93.9	-93.9	0.7	-93.1	-94.8	2.6	Tx1:ON
	138	-101.3	-96.3	-96.5	0.9	-95.5	-97.9	5.0	Tx2:ON
	158	-110.4	-114.0	-114.3	2.1	-111.8	-117.3	-3.6	Tx3:ON
	178	-99.2	-107.7	-107.9	2.5	-105.0	-110.8	-8.5	Tx4:ON
	198	-95.1	-90.1	-90.1	1.7	-88.6	-91.0	5.0	Tx1-Tx4:ON
P19	119	-95.1	-104.4	-104.9	4.4	-100.4	-110.2	-9.3	Tx1:ON
	139	-101.3	-97.0	-97.1	1.8	-95.3	-98.5	4.2	Tx2:ON
	159	-113.5	-108.7	-108.8	1.6	-107.3	-110.3	4.9	Tx3:ON
	179	-101.4	-99.3	-99.3	0.9	-98.1	-100.4	2.0	Tx4:ON
	199	-94.9	-92.3	-92.6	1.3	-91.2	-94.6	2.6	Tx1-Tx4:ON
P20	120	-95.4	-103.3	-103.7	4.6	-98.8	-110.2	-7.9	Tx1:ON
	140	-102.8	-96.7	-96.9	1.6	-95.1	-98.9	6.1	Tx2:ON
	160	-123.8	-102.8	-103.1	1.1	-102.5	-104.1	21.0	Tx3:ON
	180	-108.2	-102.2	-102.4	1.9	-100.3	-104.2	5.9	Tx4:ON
	200	-94.7	-92.2	-92.3	1.9	-90.4	-94.4	2.6	Tx1-Tx4:ON

測定結果一覧をまとめる。併せて各測定ポイントにおけるシミュレーション値と比較した結果、

各 DAS アンテナ 1 局の場合、DAS アンテナ 4 局の場合共に、ばらつきがある。

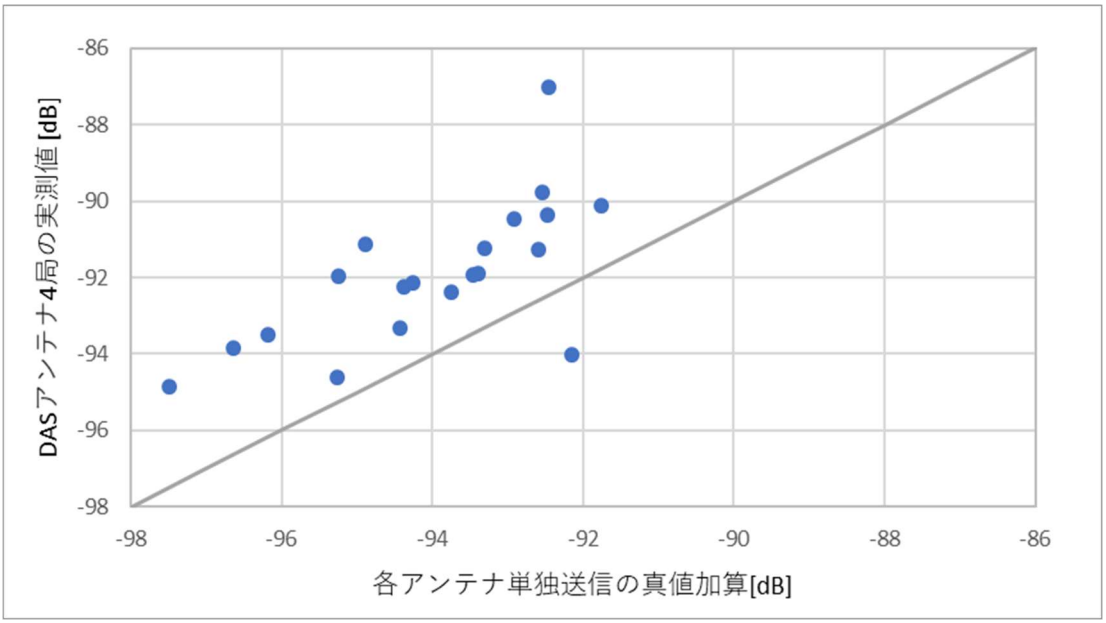


図 3-41 DAS アンテナ 4 局の実測値と DAS アンテナ単独送信の真値加算

図 3-41 に DAS アンテナ 4 局を同時送信した場合の実測値と各 DAS アンテナ１、２、３、４の単独送信の実測値を真値加算した値との関係をまとめる。上記図によると真値加算した値より 4 局での実測値の方が全体的に約 2dB 高い数値が読み取れるが、ほぼ真値加算の値と近似した結果となった。よって、DAS によるエリア算出モデルとして各 DAS アンテナの重なるエリアにおいて真値加算を実施することでエリア内の受信電力を把握することが可能だと言える。

表 3-22 DAS の送信状態と算定式の値と実測値の差について

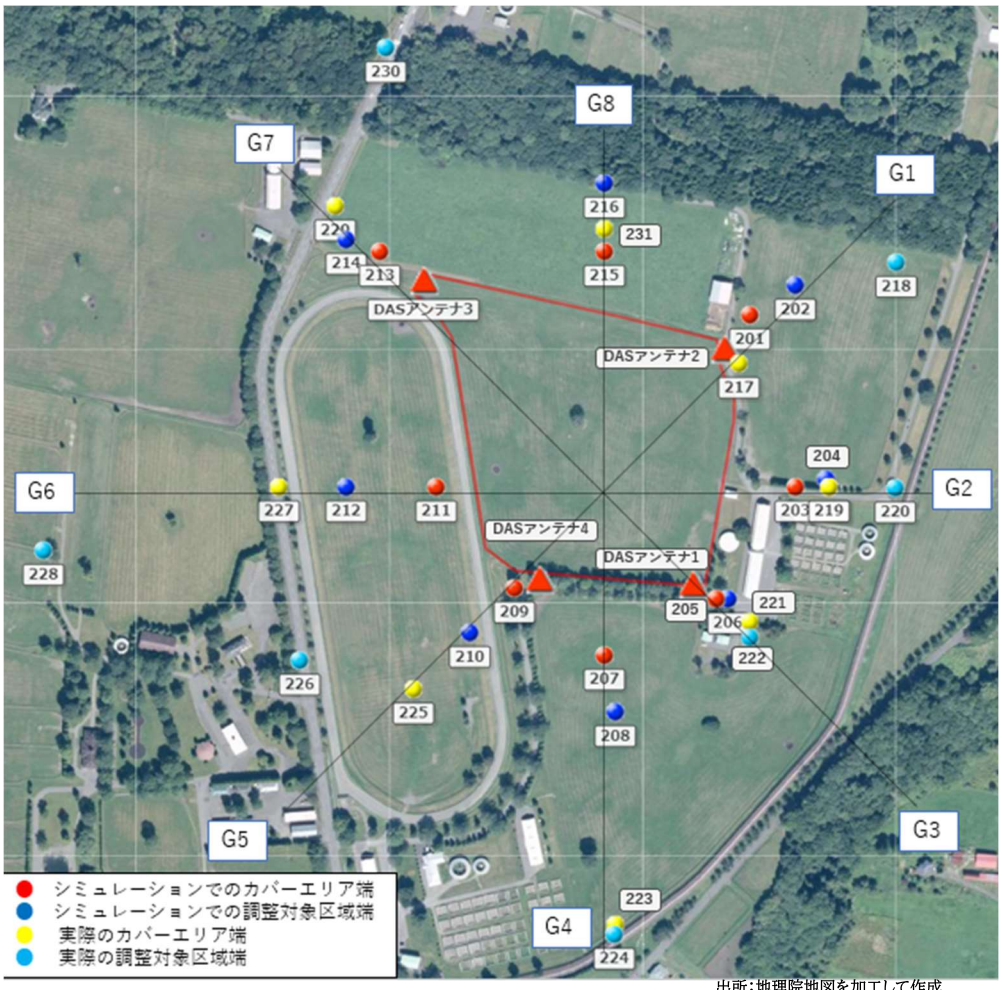
DASアンテナの送信状態と 算出式の実測値の差について	P1-P20
DASアンテナ1単独送信の平均	-0.7
DASアンテナ2単独送信の平均	0.9
DASアンテナ3単独送信の平均	7.5
DASアンテナ4単独送信の平均	1.8
全単独送信の平均	2.4
DASアンテナ４局送信の平均	3.1

各ポイントにおける、算定式から得たシミュレーション値と実測の平均値は、上記の表の結果となった。

上空からの写真は平坦な土地に見えるが、東から西に向けて下がる傾斜があり、送信アンテナに対して受信アンテナが高い測定点が存在する。セクタアンテナの特性として電気チルトが入っているため、大地反射の影響が考えられる。測定した当日は、夜間雪が降り強風が吹いたため地面が雪で平坦になった。各アンテナから送信された電波は、輻射方向の地形や積雪の状態により影響を受けている結果が出た。

③　DAS アンテナ 4 局時のエリア確認

以下、実際の測定点について図 3-42 に示す。測定点 ID 情報については上記表 3-16、表 3-17 にまとめたものである。併せて各測定ポイントのイメージ写真を以下、図 3-43 に示す。



出所:地理院地図を加工して作成

図 3-42　4 アンテナ時の測定ポイント

方向	シミュレーション上のエリア端	実測のエリア端	シミュレーション上の干渉調整区域端	実測の干渉調整区域端
45° G1				
	201	217	202	218
90° G2				
	203	219	204	220
135° G3				
	205	221	206	222

方向	シミュレーション上のエリア端	実測のエリア端	シミュレーション上の干渉調整区域端	実測の干渉調整区域端
180° G4				
	207	223	208	224
225° G5				
	209	225	210	226
270° G6				
	211	227	212	228

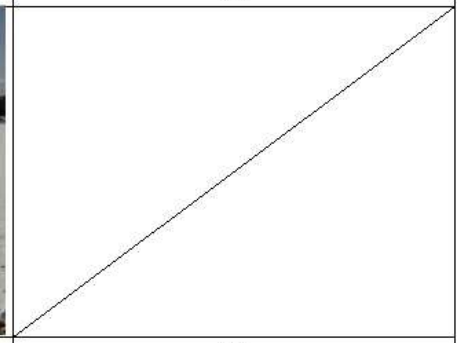
方向	シミュレーション上のエリア端	実測のエリア端	シミュレーション上の干渉調整区域端	実測の干渉調整区域端
315° G7				
	213	229	214	230
0° G8				
	215	231	216	232

図 3-43 DAS アンテナ 4 局時の精緻化測定ポイントの様子

①で算出した K 値＝6.7dB を考慮し、G1～G8 上のポイントを算出式のシミュレーション値と実測値を比較した。

表 3-23 DAS アンテナ 4 局時のカバーエリア端、干渉調整区域端実測結果

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm] 中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	実測値ー算出値
201	-115.5	-111.2	-111.5	3.8	-108.0	-115.9	4.2
202	-124.7	-116.3	-117.6	3.7	-114.4	-123.1	8.3
203	-114.2	-111.7	-112.5	4.5	-107.7	-118.8	2.5
204	-122.3	-117.5	-118.7	4.2	-114.8	-124.2	4.7
205	-111.6	-108.1	-108.9	3.3	-105.6	-112.9	3.5
206	-113.9	-113.5	-114.1	3.8	-109.7	-119.6	0.4
207	-107.2	-104.6	-104.7	1.5	-102.9	-106.4	2.7
208	-111.3	-109.0	-110.3	4.6	-106.3	-117.0	2.3
209	-101.1	-110.0	-110.1	5.0	-103.9	-116.6	-8.9
210	-104.1	-110.5	-110.2	3.8	-105.8	-115.1	-6.4
211	-99.9	-104.9	-105.6	3.9	-102.1	-111.2	-5.0
212	-104.0	-106.0	-107.3	4.9	-102.4	-114.2	-2.0
213	-104.7	-114.5	-114.2	5.0	-108.3	-121.1	-9.8
214	-107.2	-117.2	-117.4	3.4	-113.3	-121.6	-10.0
215	-103.3	-117.2	-117.3	2.4	-114.7	-119.9	-13.9
216	-107.5	-117.3	-117.6	5.0	-112.1	-123.4	-9.8
217	-104.3	-118.8	-118.6	3.1	-114.7	-122.1	-14.5
218	-151.6	-126.4	-126.4	2.6	-123.1	-129.5	25.2
219	-122.3	-119.0	-119.2	2.9	-115.9	-122.0	3.2
220	-132.9	-126.6	-127.1	3.0	-124.0	-130.5	6.3
221	-115.7	-119.9	-120.2	2.4	-117.5	-123.0	-4.3
222	-115.9	-129.6	-129.6	2.7	-126.1	-132.7	-13.6
223	-117.2	-118.4	-118.5	3.2	-114.7	-122.3	-1.2
224	-118.1	-122.9	-123.6	4.3	-118.7	-130.1	-4.8
225	-107.0	-120.4	-120.2	2.9	-116.4	-123.4	-13.4
226	-108.4	-123.0	-123.5	4.0	-118.9	-129.0	-14.5
227	-106.2	-119.0	-119.0	3.1	-115.5	-122.3	-12.8
228	-115.4	-124.8	-125.3	3.4	-121.4	-129.8	-9.4
229	-108.5	-118.5	-118.7	3.2	-115.0	-122.3	-10.0
230	-110.9	-124.8	-124.7	3.9	-119.7	-129.5	-13.9
231	-104.9	-118.3	-118.7	2.6	-115.8	-121.8	-13.4
232		測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	

表 3-24 提案前後(1 局、4 局)による距離比較

方位角*/項目	カバーエリアの閾値を実測した距離		調整対象区域の閾値を実測した距離	
	提案手法実施前	提案手法実施後	提案手法実施前	提案手法実施後
0°	87m	195m	170m	235m
45°	101m	176m	237m	305m
90°	94m	208m	150m	257m
135°	147m	198m	148m	214m
180°	107m	424m	222m	435m
225°	130m	271m	140m	339m
270°	101m	290m	145m	517m
315°	83m	322m	180m	405m
平均	106m	260m	174m	338m
提案手法前後差分	154m		164m	
差分平均	159m			

DAS アンテナ 1 局の場合と、4 局の場合にてカバーエリアおよび調整対象区域の閾値を実測した距離について表 3-24 にまとめた。

K 値＝6.7dB の補正を入れた DAS アンテナ 1～アンテナ 4 全送信にした場合の受信レベルについて、算定式で求めた結果と、実測について比較を行う。

各測定ポイントにおける評価として、以下とした。

・測定点 ID201～216：シミュレーションによる結果から緯度・経度情報を元に測定点を決め、そのポイントにて実測した値と、算定式から得られる計算結果を比較した。

・測定点 ID217～232：実測値によりカバーエリア端と干渉調整区域端の位置を特定し、その場所における測定結果と、算定式から得られる計算結果とを比較した。

以下実測結果によると、

・G1 方向（45 度の方向）：DAS アンテナ 2 のほぼ後ろ方向各アンテナより受信点の標高が高い測定ポイントとなっているが、実測結果は計算値より高い値となっており、実測エリアは若干広くなる傾向がある。

・G2 方向（90 度（東）方向）：道路を挟んで隣接する東側の放牧地であり、DAS アンテナ 2 のみ見通しがあり、他のアンテナは立木や建物に遮られ遮蔽された環境となる。本方向において実測値が計算値とほぼ一致していると言える。

・G3（135 度方向）：DAS アンテナ 1 のほぼ後方向。樹木や建物に遮られ遮蔽された環境となっているが、実測値と計算値はほぼ同等となっている。

・G4（180 度（南）方向）：道路を挟んで隣接する南側の放牧地であり、南に行くほど標高が高くなる環境である。
本方向においても実測値が計算値とほぼ一致している。

・G5（225 度方向）：DAS アンテナ 4 のほぼ後方向。隣接する西側の放牧地で遮蔽物は存在しない方向となるが、遠方につれて標高は下がる環境である。
本方向においては、実測値が計算値よりかなり低くなり、実測エリア端は狭くなっている。

・G6（270 度（西）方向）：隣接する西側の放牧地向きで、放牧地の柵があるのみの遮蔽物がほぼない環境となる。
本方向においても、実測値が計算値より低くなっており、エリア端が狭くなっている。

・G7（315 度方向）：DAS アンテナ 3 のほぼ後方向で、隣接する北側の他者土地を介しての方向となる。
本方向においても、実測値が計算値よりかなり低くなっており、エリア端が狭くなっている。

・G8（0 度（北）方向）：隣接する北側の他者土地方向。
本方向においても、実測値が計算値よりかなり低くなっており、エリア端が狭くなっている。

上述のように 1 局で求めた K（6.7dB を採用）により再計算したものと比較した場合、平均的に見るとさらに-4.7dB の誤差が発生することとなる。方向ごとに見ると右上方向（45 度～135 度方向）は比較的差が小さく、左上から下（180 度～0 度）にかけては差が大きく、特に算出値が大きくなる（実測よりエリアが広くなる）傾向がある。
本件、斜面による影響が大きいものと推察される。DAS アンテナ 1 局での実測において、ばらつきが大きいことがわかる。
本件、第一の要因として、DAS セクタアンテナの指向性特性のモデル化による影響が大きいと考えられる。特にメインローブ以外の部分（横方向、後ろ方向、上方向、下方向など）についてはサイドローブが非常に複雑であり、これを 3D モデル化するのは非常に煩雑である。
本問題を鑑み、特に他者土地と隣接して基地局を配置する場合には、アンテナを簡易モデル化するなど新たな手法の検討が必要と推察される。
また、第 2 の要因として、斜面の影響が考えられる。
今回屋外放牧地ということで比較的平坦な土地での実証となったが、傾斜等は存在し、業務区域を含む 1km 四方程度を見た場合に、30～40m 程度の高低差が含まれている。
このような高低差は算出式においても大きな影響を及ぼす。特に今回のセクタアンテナでは指向性として下方向に向いているため、受信高が相対的に低くなるような場所（受信機が斜面の下

側に配置された場合)、表 3-20 を参照すると、測定点 ID3～8 や ID19～ID24 においてはシミュレーション値と実測値を比較すると実測値の方がエリアが狭い傾向が見られた。逆に受信点が相対的に高くなる場所では、ID9～13、ID25～29 では実測値の方がアンテナより離れた位置で閾値が実測された。この結果より計算値として伝搬ロスが高低差によって増減する傾向がわかる。本件、アンテナ指向性と相まって算出結果に誤差を大きくする要因となっていると想定される。

以下精緻化についてまとめる。

業務区域の中央部において、全 DAS アンテナを全て用いて送信の場合、平均して-91dBm に対して、DAS アンテナ 1 局のみの平均は-102dBm となり、業務区域中央部において平均受信電力が 10dBm 程度改善されることが確認された。エリア端、調整区域端においても DAS アンテナ 1 局と 4 局について比較するとカバーエリアが広がり、距離に換算すると全方向平均で約 160m エリアが広がっていることが確認できた。すなわちエリア内では DAS による効果が得られることが期待され、エリア端においては真値加算も考慮した上でエリア算出することに留意が必要である。

また、DAS によるエリア算出方法として、DAS アンテナ 1 局ごとのシミュレーション結果を重ね合わせた上で、エリアが重なった部分に関しては、各 DAS アンテナの受信電力を真値加算した値をエリア設計で実施することが必要となることが結果として得られた。真値加算の算出方法は以下の通りである。DAS アンテナ 1 局で測定した受信電力 A1(dBm)を電力 P1(mW)に以下式にて変換を実施、他のアンテナからの到達する電波があれば同様に変換を行う。

$P1(mW) = 10^{(\frac{A1}{10})}$　$P2(mW) = 10^{(\frac{A2}{10})}$

：

$$P4(mW) = 10^{(\frac{A4}{10})}$$

変換した電力 P1～P4 を加算して Pall(mW)を求め、dBm へ再度変換を実施

$$Pall(mW) = P1 + P2 + P3 + P4$$

$$Aall(dBm) = 10\log(Pall(mW))$$

次に K 値についてまとめる。K 値を考慮したシミュレーションの値に対して実測値を測定した場所の環境要因でさらに差分がでることも観測された。算出した K 値”6.7dB”は本実証環境のように業務区域を含む 1km 四方程度を見た場合に、30～40m 程度の高低差が平均的に点在するような導入環境において K 値が適用できることが想定される。また、上記環境において基地局から見た斜面の上り方向、下り方向の地形別に分解した K を算出すると、上り方向 K=14.8dB、下り方向 K=-0.8dB となる。しかしながら、地形やアンテナ指向性の影響によりばらつきが生じる可能性があるため K 値以外の要因についても十分検討しなければならないことが今後の課題と言える。

合わせて業務区域内では、複数の方向から DAS の電波がその場所に到達することで死角がなくなり、通信が途絶えることがなくなるであろう結果が得られた。

以降、3.3.2 において、エリア内の特性について実証を行う。

3.3.2　エリア構築の柔軟性向上

（1） 実証の目的・目標

1）　背景となる技術的課題と実証目的

本実証試験環境は広大な牧草地であり、課題実証としてはその中を移動する移動体(ロボットトラクタ)から 4K 高精細映像伝送を実施する必要がある。

この広大な敷地をローカル５Ｇエリア化させる場合、1 局ではエリアを賄うことができず、また、移動中の移動体の向きによっては移動体自体によってローカル５Ｇ端末が不感地帯に入る可能性がある。そのため、広大な敷地をローカル５Ｇエリア化させるためには複数台の５Ｇ基地局を敷設してエリア構築する必要性がある。

しかし、複数の５Ｇ基地局によってエリアを構築した場合でも、基地局間をローカル５Ｇ端末が横断するときに HO（ハンドオーバ）が発生するため、通信が瞬断し、映像伝送のリアルタイム性が失われる可能性がある。また、上記構築エリアにおいてセルが重なるエリアに移動体が在圏した場合、セル間干渉による通信品質劣化で映像伝送が乱れ正常な動作に支障をきたす可能性がある。

本実証では、障害物による電波不感課題の解消効果を確認するために、DAS を導入することで、意図的に 1 局方向の視界を遮断させた条件下における、DAS1 局と DAS 複数局利用した時の受信レベルやスループット等の測定および比較による効果を確認した。上記結果により、DAS 運用による安定したソリューション運用が可能であることの確認を行い、更に、ローカル５Ｇシステムを導入する際にエリア設計が簡素化されることを示した。

2）　実証目標

本実証試験環境は広大な放牧地で、周囲に反射物はほぼない状況のため、1 基地局のみを設置した場合、基地局とローカル５Ｇ端末との間に障害物が存在すると電波が遮断され通信ができない可能性がある。本実証では DAS を活用し、DAS アンテナを複数台設置し、障害物による電波不感課題の解消効果を確認するため、1 アンテナのみ利用した時と複数アンテナを利用した時の受信品質やユースケースを想定した時の動作を確認し、1 アンテナと比較して複数アンテナの受信電力は各アンテナを単純加算するため、最大で 6dB 向上することを想定し、提案手法がどの程度課題解決に対して寄与するか測定を実施して効果を確認することを目標とする。

ユースケースとしてトラクタからの高精細映像伝送を想定し、上りスループットの目標値を 40Mbps 以上、エンコードデコード映像処理を除いたサーバ PC～配信 PC 間の Ping 遅延目標（往復）を 150ms と設定する。

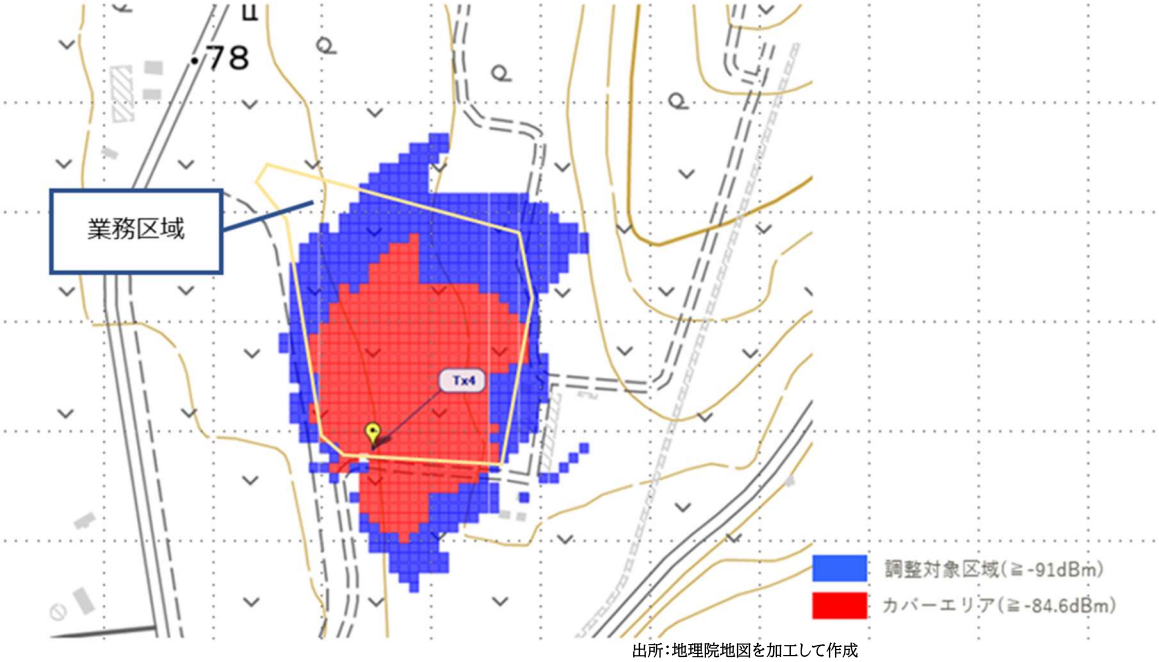
3） 過年度技術実証からの発展性・新規性

技術実証で行う、エリア構築の柔軟性向上においては、広大なルーラル環境で実施するとともに、DAS において、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定するエリア算出法（式）が簡便に利用できるかどうか、も合わせて確認するものである。過年度の実証試験における技術実証において、DAS を活用したエリア構築が行われた事例は見当たらない。

（2） 実証仮説

本提案手法前を 1 基地局によるエリア構築と仮定した場合について(今回の場合、DAS の子局を 1 アンテナとする)、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定するエリア算出法（式）から、エリア描画ツール KCAMP(エリア算出法)を用いてエリア設計を実施した。パラメータとしては送信出力、アンテナパターン（利得、ビーム幅)、アンテナ指向方向、アンテナチルト角、基地局位置（緯度経度)、基地局設置高、給電線損失、その他損失、受信点メッシュ縮尺等を変更してエリア計算を行った。なお、本実証エリアは障害物が少ない故に自己土地外への電波漏洩を小さくすることも重要であると考えられる。”自己土地外への電波漏洩を小さくする“という観点に着目してアンテナチルト角及び送信出力の値を変更して比較を行い、最も適したアンテナチルト角、送信出力を本実証の試験環境として採用した。またシミュレーション結果と実測値との比較を行い自己土地外への電波漏洩および不感地帯についての考察を行った。

以下、エリア計算結果を、そのときのアンテナ設置諸元を表 3-25 に示す。



出所:地理院地図を加工して作成

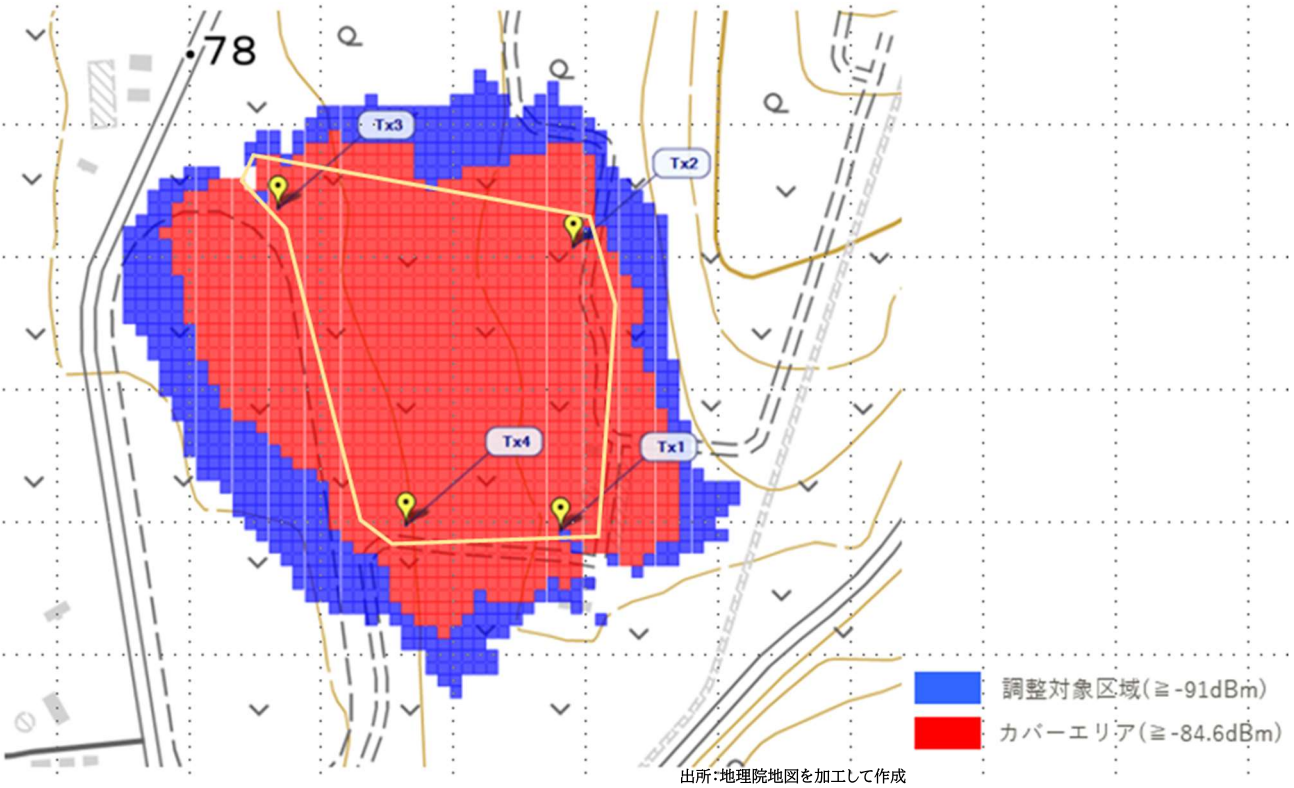
図 3-44 1 アンテナ時の算定式シミュレーション結果

表 3-25 アンテナ設置諸元

名称	送信電力（dBm）	ケーブルロス(dB)	アンテナ利得（dBi）	空中線の位置（緯度）	空中線の位置（経度）	海抜高（m）	地上高（m）	指向方向（度）	機械チルト/電気的チルト（度）
DAS アンテナ 1	10	3	16	42° 26’ 9″	142° 25’ 6″	86	4	320	0/7
DAS アンテナ 2	8	3	16	42° 26’ 15″	142° 25’ 9″	87	4	230	0/7
DAS アンテナ 3	10	3	16	42° 26’ 17″	142° 24’ 58″	79	4	140	0/7
DAS アンテナ 4	8	3	16	42° 26’ 8”	142° 25’ 2″	81	4	40	0/7

この結果より、1 基地局では放牧地全面で通信速度を満足するようにエリア化することはできないことがわかる。つまり、提案手法前の環境下では、ローカル５Ｇ端末が基地局からの離隔距離がある地点では、反射物による影響も少ないことから無線品質が低く、高精細映像伝送を実現することができないことが想定される。また、移動体の向きによっては移動体自体が基地局とローカル５Ｇ端末との間の障害物となり、基地局から近い距離でも電波不感が発生し、高精細映像伝送が不可となる可能性がある。

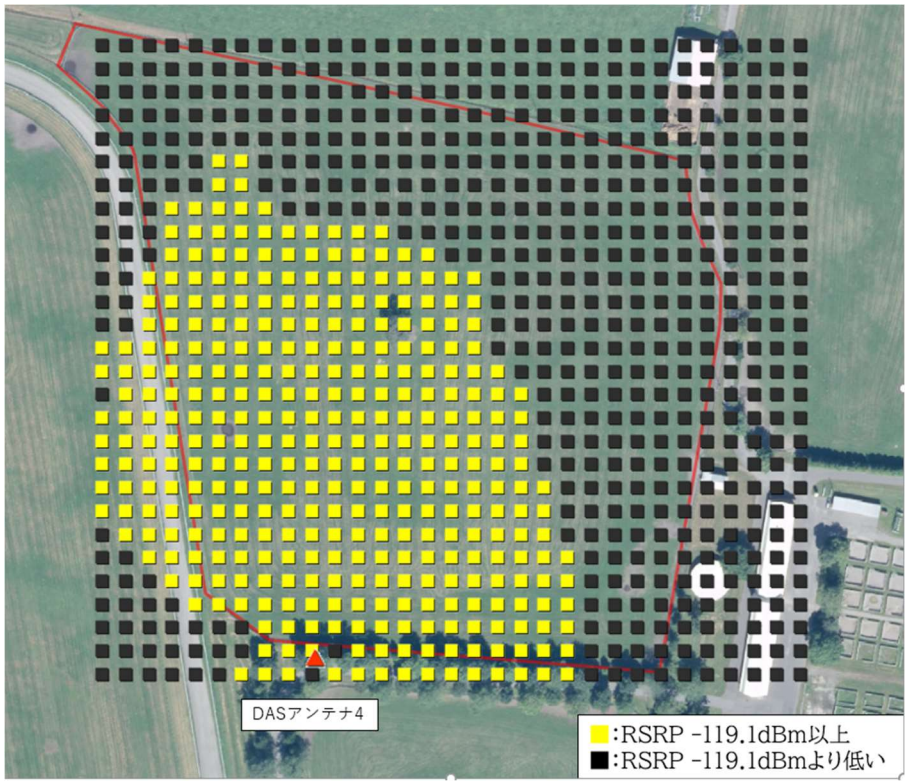
そのため、提案手法(DAS)により DAS アンテナを複数台（4 局）構築する場合について、表 3-25 アンテナ設置諸元に従い、それぞれの DAS アンテナの電波伝搬計算を行い、エリア計算を行った。その時の結果を図 3-45 に示す。（赤：カバーエリア、青：調整対象区域）これにより移動体が基地局とローカル５Ｇ端末との間の障害物となることを防ぎ、放牧地全体でソリューションを運用することが実現可能であることがわかる。



出所:地理院地図を加工して作成

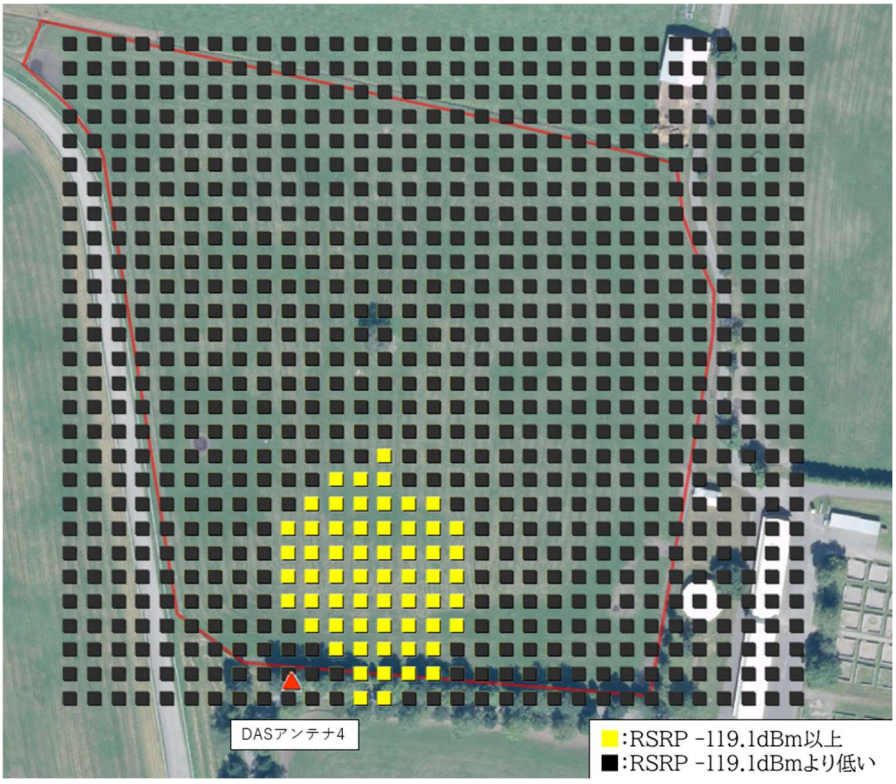
図 3-45 4 アンテナ時の算定式シミュレーション結果

また、障害物（トラクタ）による遮蔽を受けた場合の不感地帯予測として、DAS アンテナを 1 局のみ設置した場合の、遮蔽有無に対するエリアシミュレーション結果を以下に示す(遮蔽による R 値:20.0dB を設定)。本結果より、業務区域のほとんどのエリアにおいて、トラクタによる遮蔽が生じた場合には業務区域外となるほどの通信品質劣化が生じることが想定される。



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-46 DAS アンテナ 1 局設置時（遮蔽物なし）のシミュレーション結果



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-47 DAS アンテナ 1 局設置時（遮蔽物なし）のシミュレーション結果

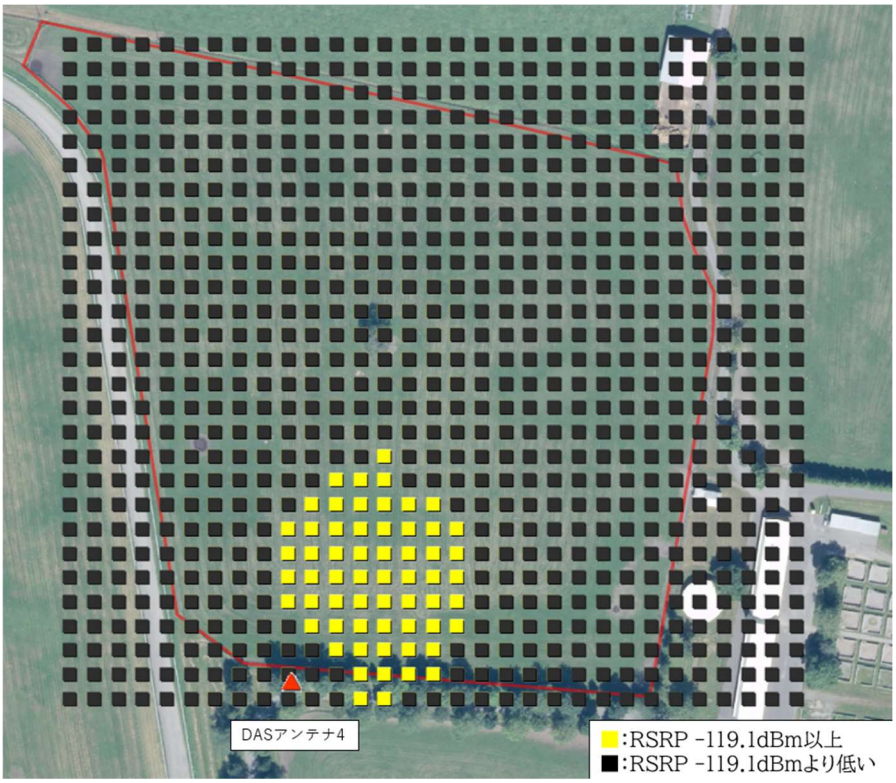


図 3-48 DAS アンテナ 1 局設置時(遮蔽物あり)のシミュレーション結果

同様に DAS アンテナを 4 局設置した場合のシミュレーション結果を以下に示す。

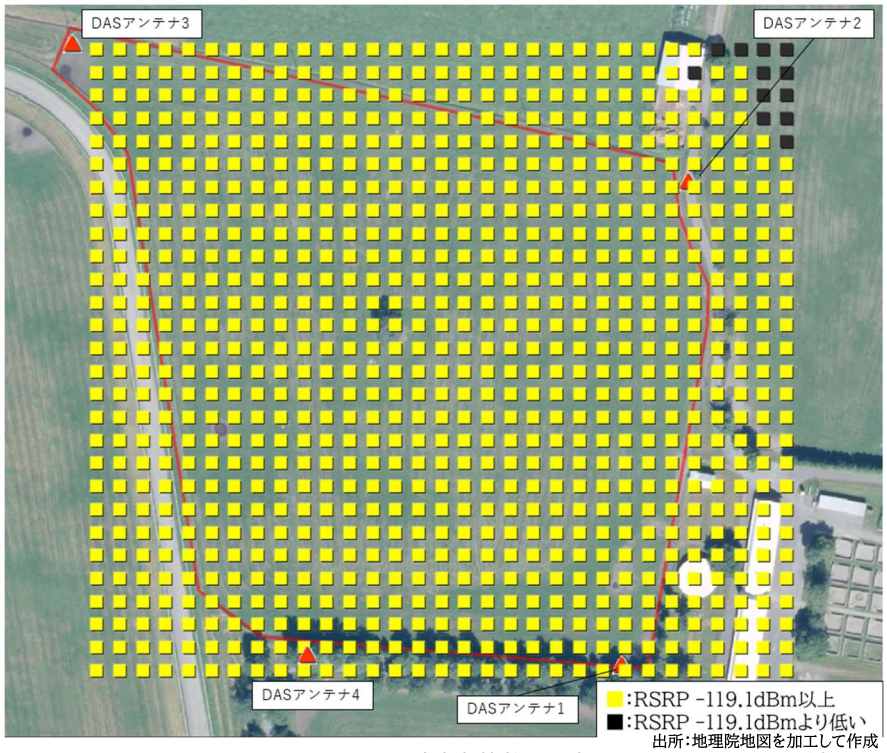
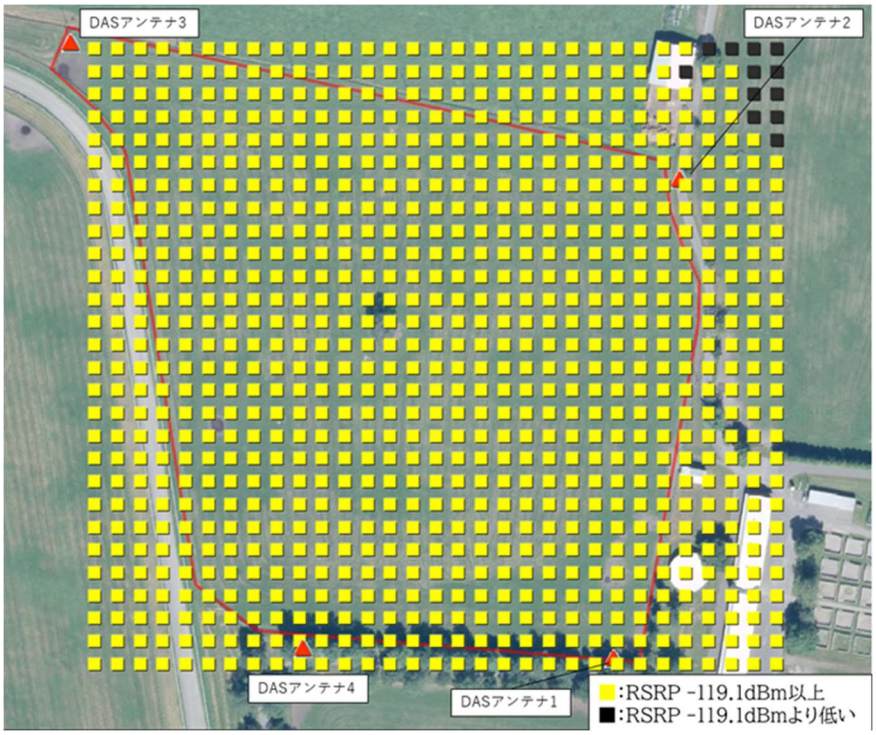


図 3-49 DAS アンテナ 4 局設置時(遮蔽物なし)のシミュレーション結果



出所:地理院地図を加工して作成

図 3-50 DAS アンテナ 1 局設置時(遮蔽物あり)のシミュレーション結果

図 3-51 に示す業務区域内の 30 ポイントについて、シミュレーションによる受信電力値(RSRP)を表 3-26 に示す。それぞれ DAS アンテナ 1 局送信時、DAS アンテナ 4 局送信時、DAS アンテナ 1 局送信時で遮蔽されている時、DAS アンテナ 4 局送信時で DAS アンテナ 4 からの電波が遮蔽されている時の受信電力値となる。グレーアウトされている箇所がカバーエリア (RSRP>-119.1dBm)を満たしていないポイントとなる。

なお、DAS アンテナ 4 局時の受信電力値は電力合成 (真値加算) により求めており、以下の計算式を用いている。

測定点αにおいて、DAS アンテナ 1 で測定した受信電力 A1(dBm)を電力 P1(mW)に以下にて変換を実施、他のアンテナからの到達する電波があれば同様に変換

$$P1(mW) = 10^{(\frac{A1}{10})} \quad P2(mW) = 10^{(\frac{A2}{10})}$$

:

$$P4(mW) = 10^{(\frac{A4}{10})}$$

$$P1(mW) = 10^{(\frac{A1}{10})} \quad P2(mW) = 10^{(\frac{A2}{10})}$$

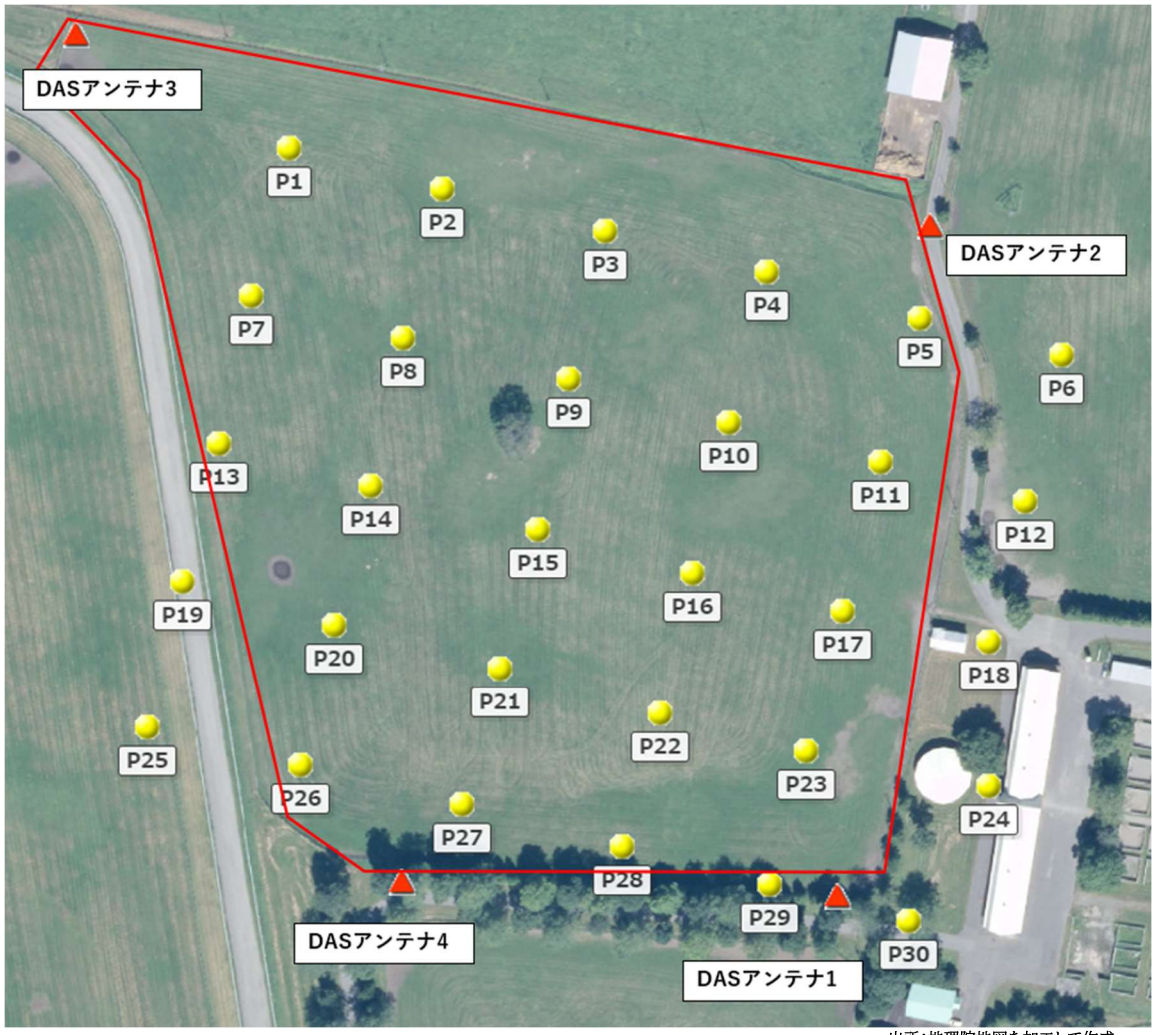
:

$$P4(mW) = 10^{(\frac{A4}{10})}$$

変換した電力 P1～P4 を加算して Pall(mW)を求め、dBm へ再度変換を実施

$$Pall(mW) = P1 + P2 + P3 + P4$$

$$Aall(dBm) = 10\log(Pall(mW))$$



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-51 シミュレーションポイント

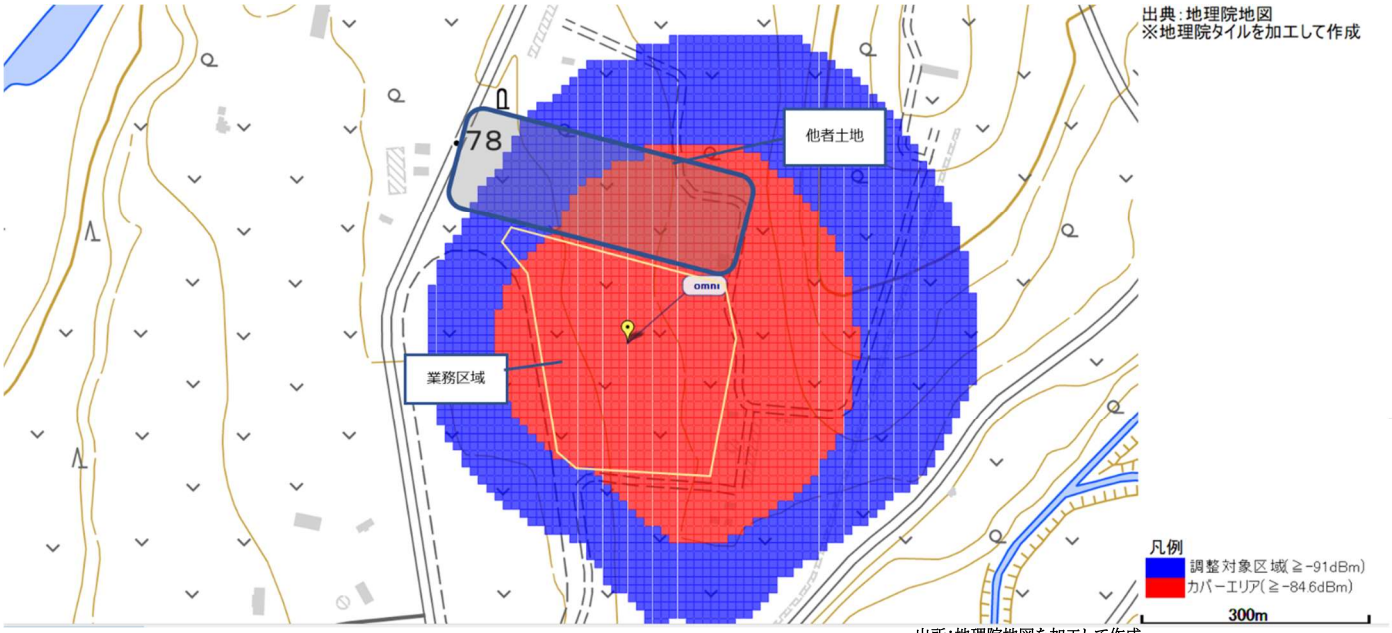
表 3-26 シミュレーションポイントにおける受信電力(RSRP)値

シミュレーションポイント	RSRP平均値（dBm）			
	DASアンテナ4のみ	DASアンテナ1-4	DASアンテナ4のみ（遮蔽あり）	DASアンテナ1-4（遮蔽あり）
P1	-120.1	-92.5	-140.1	-92.5
P2	-121.5	-99.2	-141.5	-99.3
P3	-123.4	-94.9	-143.4	-94.9
P4	-134.2	-91.0	-154.2	-91.0
P5	-134.5	-98.7	-154.5	-98.7
P6	-142.3	-114.3	-162.3	-114.3
P7	-140.5	-113.6	-160.5	-113.6
P8	-131.7	-101.0	-151.7	-101.0
P9	-129.4	-96.0	-149.4	-96.0
P10	-117.5	-95.9	-137.5	-95.9
P11	-117.5	-98.0	-137.5	-98.1
P12	-117.3	-96.8	-137.3	-96.9
P13	-114.4	-98.2	-134.4	-98.3
P14	-111.4	-98.5	-131.4	-98.7
P15	-110.7	-98.0	-130.7	-98.2
P16	-117.6	-94.4	-137.6	-94.4
P17	-134.3	-94.6	-154.3	-94.6
P18	-139.4	-107.8	-159.4	-107.8
P19	-140.6	-105.6	-160.6	-105.6
P20	-133.0	-84.6	-153.0	-84.6
P21	-103.2	-91.8	-123.2	-92.1
P22	-97.2	-93.5	-117.2	-95.9
P23	-106.1	-97.5	-126.1	-98.1
P24	-116.3	-99.6	-136.3	-99.7
P25	-118.2	-101.0	-138.2	-101.1
P26	-111.1	-99.8	-131.1	-100.1
P27	-87.8	-87.4	-107.8	-98.0
P28	-100.5	-93.5	-120.5	-94.4
P29	-111.1	-90.6	-131.1	-90.7
P30	-142.1	-114.3	-162.1	-114.3

上記より、DAS システムの活用により、1 方向に遮蔽物が存在したとしても、他アンテナからのカバーにより業務区域内ほぼ全域においてカバーエリア品質を維持できていることがわかる。今回のソリューションにおいては、移動体（トラクタ）での活用であり、移動／方向転換等により一時的に 1 アンテナ方向に対して遮蔽されるようなことが容易に想定されるが、本 DAS 活用により移動体が基地局とローカル５Ｇ端末との間の障害物となることを防ぎ、放牧地全体でソリューションを運用することが実現可能となることが期待できる。

また、他者土地への電波漏洩についてシミュレーションでの比較検証を行った。本提案手法前の条件として「無指向性オムニアンテナ」を使用した場合を想定する。オムニアンテナを使用す

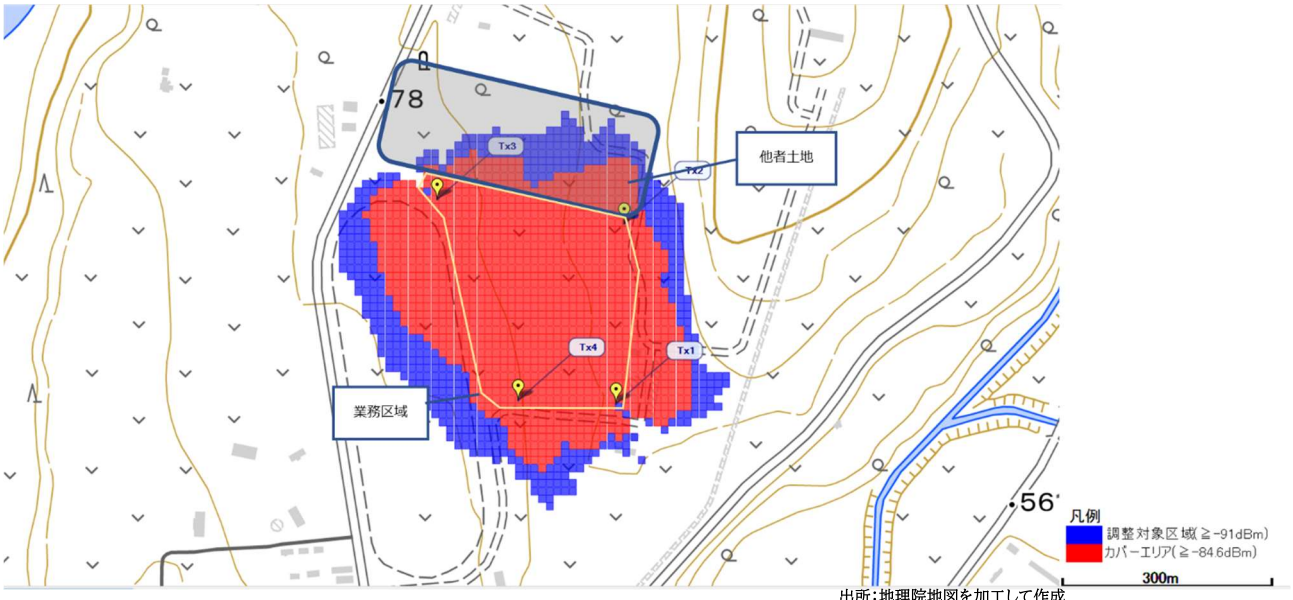
る場合にはエリアの中央に設置するのが一般的であるため、今回も放牧地の中央に設置し、業務区域内をすべてカバーエリアとするために送信電力 30dBm でシミュレーションを行った。エリア設計の結果と他者土地への影響を図 3-52 に示す



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-52 無指向オムニアンテナによるエリア構築

今回の提案手法である DAS4 局でのエリア設計については業務区域の 4 隅に DAS アンテナを設置し、中央に向けて電波を発射するため、他者土地へ電波漏洩が軽減されることが期待される。エリア設計の結果と他者土地への影響を図 3-53 に示す。



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-53 DAS4 局によるエリア構築

上記シミュレーション結果より、無指向オムニアンテナ 1 局ではエリア端が広がり、他者土地

への影響が大きいことがわかる。今回の提案手法である DAS システムによるエリア構築では他者土地への影響を最小限に抑えるエリア設計が可能となることがわかる。

(3) 評価・検証項目

本実証では以下の項目に関して評価・検証を行う。

① DAS を用いた場合のエリア内特性（受信電力（SS-RSRP：以降 RSRP とする)、上り／下りスループット、SINR（SS-SINR：以降 SINR とする)、伝送遅延）の実測により、今回の課題実証に値する特性が得られていることを確認

② 遮蔽等が生じた場合の通信瞬断について、DAS アンテナ有無での差異を確認し、同環境下での DAS の効果を確認する。

③ DAS を利用することで、他者土地への漏洩を抑圧できることを確認する。

上記 3 点を確認することで、このような広大な開放地エリアにおける、DAS によるエリア構築性能、ひいてはエリア設計の柔軟化について評価・検証するものとする。

(4) 評価・検証方法

実測定にあたってはエリアテスター Viavi「OneAdvisor 800」（表 3-1）に加えて、ローカル５Ｇ測定用端末としてスマートフォンタイプの移動局を別途用意する。ローカル５Ｇ測定用端末(測定端末)はアプリレイヤにおける伝送性能 UL/DL の伝送スループット、および伝送遅延測定に使用する。表 3-4 に諸元をまとめる。(図 3-54 に外観図を示す。)

表 3-4 ローカル5G測定用端末仕様

項目	諸元
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone) / NSA (Non-standalone)
対応周波数帯	n79 (4.6 - 4.9GHz) : SA / NSA
チャネル帯域幅	100MHz
MIMO 対応	n79:下り 4×4 / 上り 1×1
変調方式	n79：下り 256QAM / 上り 256QAM
通信速度	下り最大約 1.7Gbps / 上り最大約 293Mbps (SA 時)
最大空中線電力	23dBm

TDD 設定(n79)	同期 TDD (DDDSUUDDDD) 準同期 TDD (DDDSUUDSUU) 準同期 TDD② (DDSUUUDSUU) 準同期 TDD③ (DSUUUUDSUU) D: Downlink slot, U: Uplink slot, S: Special slot
入出力端子	USB Type-C ×1
外形寸法	約 148(H) × 71(W) × 8.9mm(D)
重量	約 178g



図 3-54 ローカル5G測定用端末外観

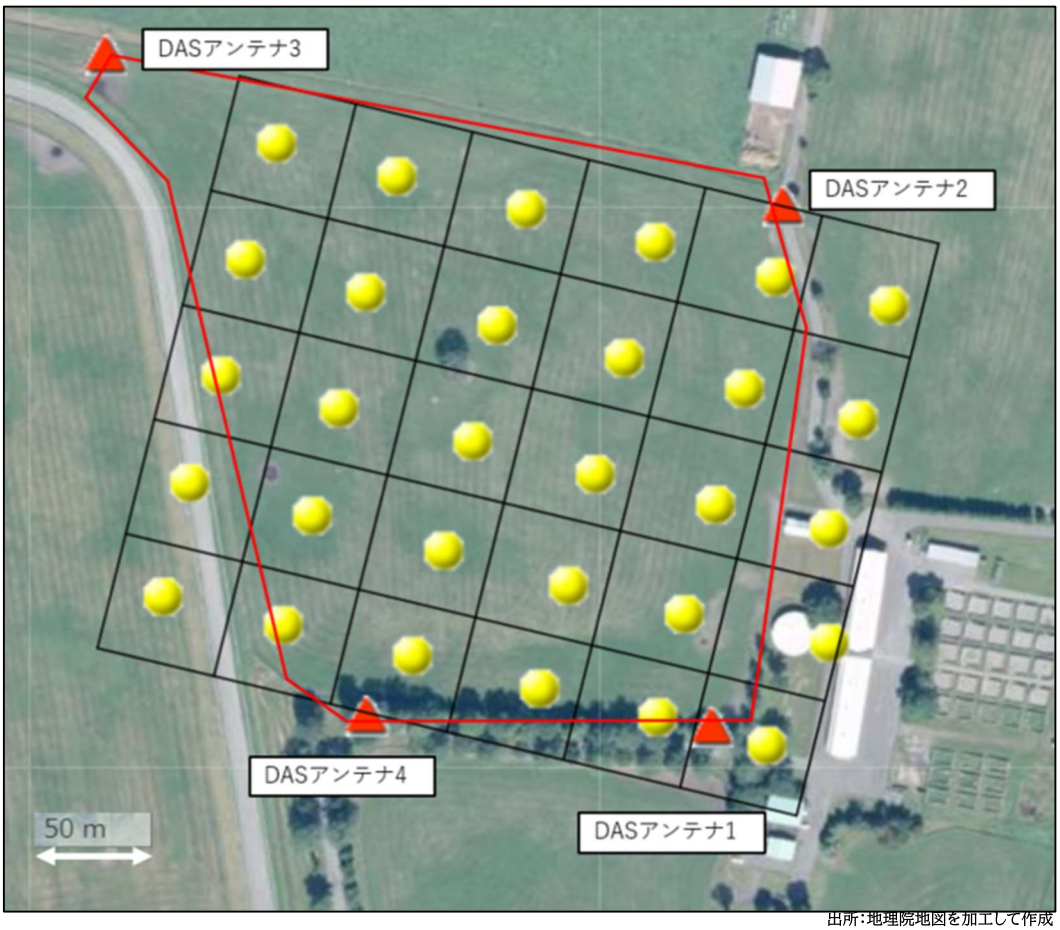
前節(3)評価・検証項目で示した評価・検証項目それぞれの検証方法について以下に示す。

① DAS による効果の確認

ロボットトラクタが稼働する放牧地内を図 3-55 のように 50m メッシュ状に区切り計 30 点の測定ポイントを作成する。この各測定ポイントにおいてエリアテスターで受信電力(RSRP)、通信品質(SINR)、を測定し、ローカル５Ｇ測定用端末でアプリレイヤにおける伝送性能 UL/DL の伝送スループット（TDD のスロット構成は準同期 TDD③によりスループット測定)、伝送遅延（サーバ端末間の伝送遅延を Ping にて測定）を測定した。測定は DAS アンテナ 1 局（アンテナ 4）を用いた場合及び DAS アンテナ 4 局すべてを用いた場合それぞれについて行った。

測定方法としてはエリアテスター、およびローカル５Ｇ測定用端末を地上から約 1.5m の高さ

で、10 波長程度左右に動かしながら測定を行い、定在波の影響等を取り除くものとする。



出所:地理院地図を加工して作成

図 3-55 測定ポイントの設定

② 遮蔽物の影響

DAS アンテナ複数台設置により、障害物による電波不感課題の解消効果を確認するために、基地局と測定端末との間に障害物を配置し、意図的に遮蔽を生じさせる。障害物としてはトラクタを使用する(R 値:20.0dB 想定)。トラクタは DAS アンテナ 4 と測定端末を結ぶ直線上に、トラクタの側面を DAS アンテナ 4 の方向に向けた形で駐車する。測定端末はトラクタの 3λ(0.19m)後ろに位置し、DAS アンテナ 4 からの電波が遮蔽された環境となる。この時の受信電力、通信品質、アプリレイヤにおける伝送性能 UL/DL の伝送スループットを測定する。測定地点は前述①の 30 点の中から選択した約 20 点とする。

測定方法は前述①と同様とし、測定端末を 10 波長程度左右に動かしながら測定を行い、各地点で受信品質については約 1000 サンプルを取得、スループット、遅延については 1 分間取得（約 60 サンプル）するものとする。DAS アンテナ 1 局を用いた場合及び DAS アンテナ 4 局を用いた場合それぞれについて行い、比較結果より端末に遮蔽が生じた場合における DAS の有効性を評価する。

具体的な測定手順（①、②共通）を以下に示す。

i. 測定点情報（緯度・経度）をもとに測定点に移動する

ii. DAS アンテナ 4 のみを ON する。

iii. 測定用端末の機内モードを ON にする。

iv. まず、SINR と RSRP の測定を実施する。
エリアテスターを用いて、アンテナを地上から約 1.5m の高さに配置し、左右に 10 波長程度動かし続けながら約 4 分間(約 40 往復)の測定を実施する。本時間において、ほぼ 1000 サンプルの取得が可能となる。

v. 次に DL スループット測定を実施する。
ローカル５Ｇ測定用端末を地上から約 1.5m の高さに配置し、測定端末の機内モードを OFF にしてアタッチさせる。
測定開始するため、測定端末とレシーバーサーバにおいて、表 3-27 記載のアプリケーションの立ち上げおよび各種設定を実施し、合わせてサーバコマンドを実行して測定待機状態にする。その後、クライアントコマンドを実行してスループット測定を開始する。スループット測定中は測定端末を左右に 10 波長程度動かし続けながら、60 秒分の測定を実施する。

表 3-27 DL(ダウンリンク)スループット測定

項目	ツール名・使用値
iperf ツール(レシーバーサーバ)	iperf (バージョン 3.9)
iperf ツール (測定用端末)	Magic iperf (バージョン 1.0)
iperf サーバ	ローカル５Ｇ測定用端末
iperf クライアント	レシーバーサーバ
サーバコマンド	iperf3 -s
クライアントコマンド	iperf3 -u -c 192.168.33.10 -b 500M -t 60 -p 5201 -l 1470 -O 10

vi. 続いて UL スループットの測定を実施する。表 3-28 記載のレシーバーサーバ側でサーバコマンドを実行して測定待機状態にする。その後、測定端末からクライアントコマンドを実行してスループット測定を開始する。スループット測定中は測定端末を左右に 10 波長程度動かし続けながら、60 秒分の測定を実施する。する。

表 3-28 UL(アップリンク)スループット測定

項目	ツール名・使用値
iperf ツール (レシーバーサーバ)	iperf (バージョン 3.9)

iperf ツール（測定用端末）	Magic iperf（バージョン 1.0）
iperf サーバ	レシーバーサーバ
iperf クライアント	ローカル５Ｇ測定用端末
サーバコマンド	iperf3 -s
クライアントコマンド	iperf3 -u -c 192.168.33.2 -b 500M -t 60 -p 5201 -l 1470 -O 10

vii. 伝送遅延測定を実施する、
本測定では Ping を用いたアプリケーションサーバと測定端末のアプリケーション間の測定を実施する。図 3-56 に測定区間のイメージを示す。レシーバーサーバのコマンドプロンプト画面より、表 3-29 のように Ping コマンドを実行して測定を開始する。Ping 測定中は測定端末を左右に 10 波長程度動かし続けながら、60 秒分の測定を実施する。測定完了後、測定端末の機内モードを ON にしてデタッチする。

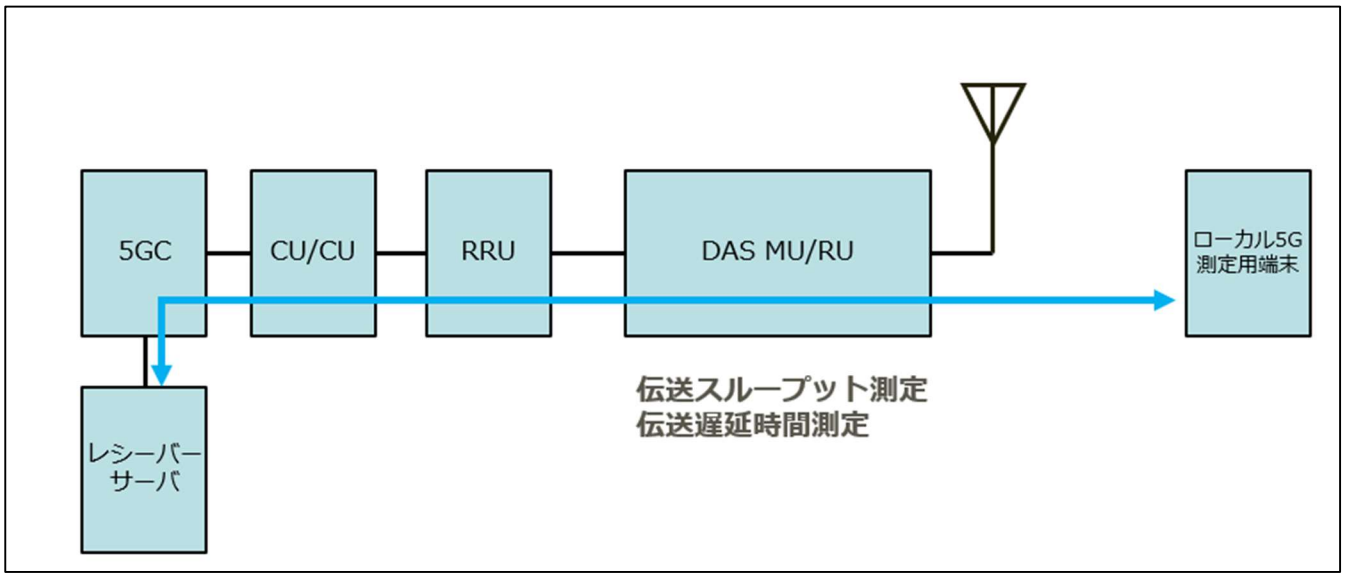


図 3-56 伝送遅延測定対象区間

表 3-29 伝送遅延(Ping)測定

項目	ツール名・使用値
Ping コマンド	ping -w 70 192.168.33.10

viii. 次に DAS アンテナ 4 局時の測定のため、DAS アンテナ 2、3, 4 を ON にして、手順 iii～vii を実施する。

ix. 下記測定点 30 点を上記(手順 i ～ viii)の作業にて実施する。

x. 次に遮蔽物による影響の測定を実施する。

測定点情報（緯度・経度）をもとに測定点Ｐ1 に移動する

xi. 図 3-61 のように測定点と DAS アンテナ 4 を結ぶ直線上にトラクタの側面を DAS アンテナ 4 方向に向けた形で駐車し、遮蔽物とする。

xii. 手順(ii～ix)と同様の手順を実施する。

ただし、遮蔽試験においてはトラクタが設置困難な 7 点を省いた 23 点にて測定実施した。

その時のエリアテスターを用いた SINR と RSRP の測定の様子を図 3-57、トラクタで遮蔽した場合の様子を図 3-58、ローカル5G測定用端末を用いた DL スループット/UL スループット/伝送遅延測定の様子を図 3-59 図に示す。



図 3-57 エリアテスターで SINR/RSRP の測定を行っている様子



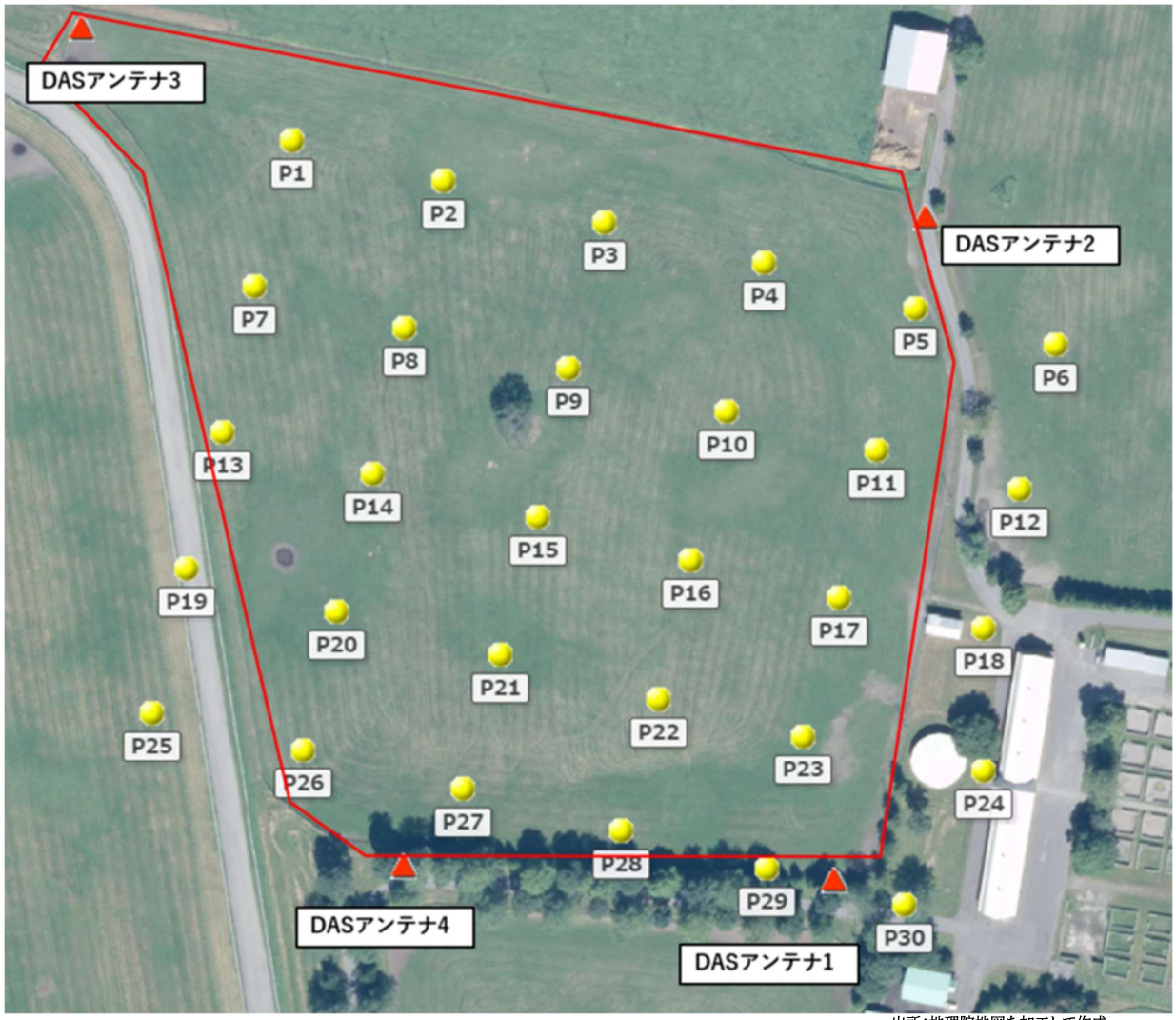
図 3-58 トラクタで遮蔽し、エリアテスターで SINR/RSRP の測定を行っている様子



図 3-59 トラクタで遮蔽し、エリアテスターで SINR/RSRP の測定を行っている様子

実際の測定点としては以下となった。図 3-60 に平面的測定ポイント、図 3-61 に遮蔽時の測定

位置イメージ、表 3-30 に測定ポイントの緯度経度情報、測定ポイントと測定点 ID の変換表、表 3-32 に測定点情報をまとめる。



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-60 業務区域内測定ポイント

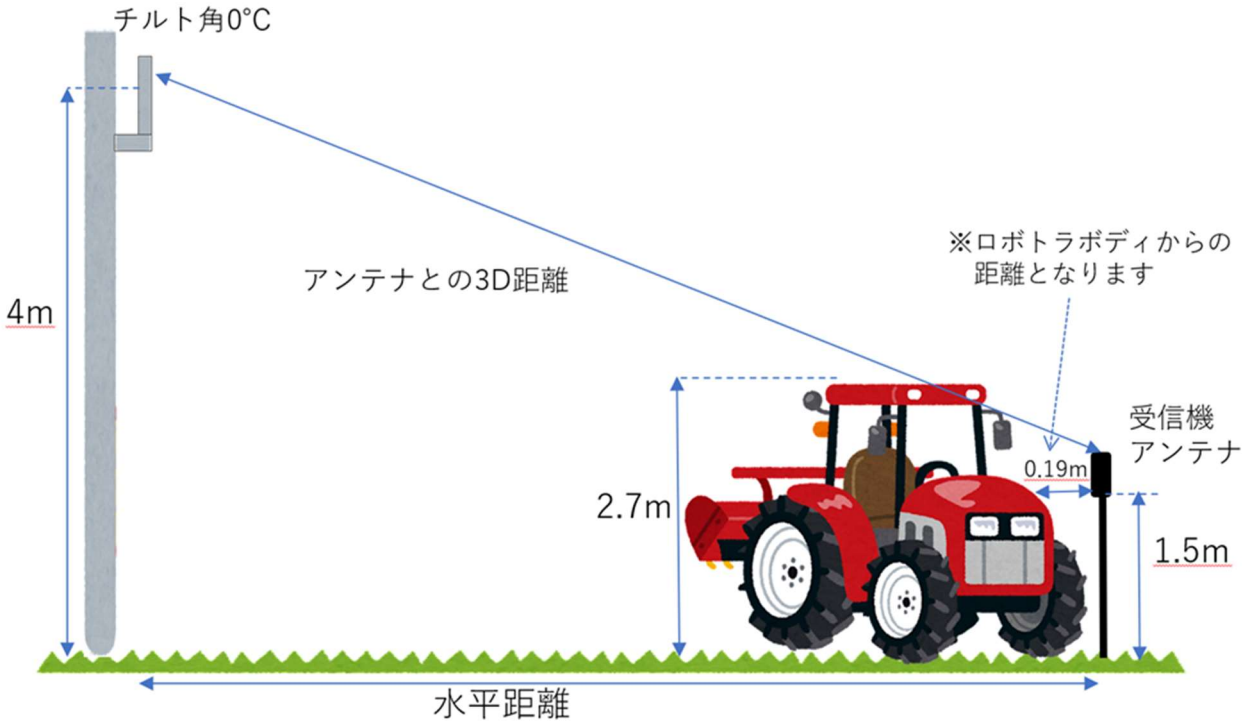


図 3-61 遮蔽影響の測定位置イメージ

表 3-30 測定ポイントの緯度経度

測定ポイント	緯度（度）	経度（度）
P1	42.4379	142.4170
P2	42.4378	142.4175
P3	42.4376	142.4182
P4	42.4375	142.4188
P5	42.4374	142.4194
P6	42.4373	142.4199
P7	42.4375	142.4168
P8	42.4373	142.4174
P9	42.4372	142.4180
P10	42.4371	142.4186
P11	42.4370	142.4192
P12	42.4369	142.4198
P13	42.4370	142.4167
P14	42.4369	142.4173
P15	42.4368	142.4179
P16	42.4367	142.4185
P17	42.4366	142.4191
P18	42.4365	142.4196
P19	42.4367	142.4165
P20	42.4365	142.4171
P21	42.4364	142.4178
P22	42.4363	142.4184
P23	42.4362	142.4189
P24	42.4361	142.4196
P25	42.4362	142.4164
P26	42.4361	142.4170
P27	42.4360	142.4176
P28	42.4359	142.4182
P29	42.4358	142.4188
P30	42.4357	142.4193

表 3-31 測定ポイントと測定点 ID 対応表

測定ポイント	測定点ID			
	DASアンテナ4 遮蔽なし	DASアンテナ4 遮蔽あり	DASアンテナ1～4 遮蔽なし	DASアンテナ1～4 遮蔽あり
P1	1	31	61	91
P2	2	32	62	92
P3	3	33	63	93
P4	4	34	64	94
P5	5	35	65	95
P6	6	36	66	96
P7	7	37	67	97
P8	8	38	68	98
P9	9	39	69	99
P10	10	40	70	100
P11	11	41	71	101
P12	12	42	72	102
P13	13	43	73	103
P14	14	44	74	104
P15	15	45	75	105
P16	16	46	76	106
P17	17	47	77	107
P18	18	48	78	108
P19	19	49	79	109
P20	20	50	80	110
P21	21	51	81	111
P22	22	52	82	112
P23	23	53	83	113
P24	24	54	84	114
P25	25	55	85	115
P26	26	56	86	116
P27	27	57	87	117
P28	28	58	88	118
P29	29	59	89	119
P30	30	60	90	120

表 3-32 エリア内各測定点 ID 情報(DAS アンテナ 4 のみ)

測定点ID	DAS ID	アンテナとの 3D距離 [m]	アンテナとの 水平距離 [m]	DASアンテナ 地点標高 [m]	DASアンテナ 地上高 [m]	DAS送信電力 Pt [dBm]	DAS送信アンテナ 利得 Gt [dBi]	DAS給電線損失 Lf[dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ 地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定点環境
1	4	233.1	233.1	81.0	4.0	21.0	6	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	0	屋外（開放地）
2	4	218.0	218.0	81.0	4.0	21.0	5	3.0	1.0	3.0	82.0	1.5	0	屋外（開放地）
3	4	213.9	213.9	81.0	4.0	21.0	7	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
4	4	223.0	223.0	81.0	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
5	4	240.2	240.2	81.0	4.0	21.0	11	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	0	屋外（開放地）
6	4	264.9	264.8	81.00	4.0	21.0	11	3.0	1.0	3.0	88.0	1.5	0	屋外（開放地）
7	4	190.2	190.1	81.00	4.0	21.0	5	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	0	屋外（開放地）
8	4	171.1	171.0	81.00	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	80.0	1.5	0	屋外（開放地）
9	4	166.3	166.3	81.00	4.0	21.0	7	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
10	4	177.1	177.1	81.00	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
11	4	200.0	199.9	81.00	4.0	21.0	11	3.0	1.0	3.0	86.0	1.5	0	屋外（開放地）
12	4	229.3	229.2	81.00	4.0	21.0	10	3.0	1.0	3.0	88.0	1.5	0	屋外（開放地）
13	4	149.3	149.2	81.00	4.0	21.0	4	3.0	1.0	3.0	78.0	1.5	0	屋外（開放地）
14	4	125.0	124.9	81.00	4.0	21.0	9	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	0	屋外（開放地）
15	4	118.9	118.9	81.00	4.0	21.0	10	3.0	1.0	3.0	82.0	1.5	0	屋外（開放地）
16	4	133.6	133.6	81.00	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
17	4	162.5	162.5	81.00	4.0	21.0	10	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
18	4	198.8	198.8	81.00	4.0	21.0	10	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	0	屋外（開放地）
19	4	117.1	116.9	81.00	4.0	21.0	3	3.0	1.0	3.0	77.0	1.5	0	屋外（開放地）
20	4	84.0	83.8	81.00	4.0	21.0	9	3.0	1.0	3.0	78.0	1.5	0	屋外（開放地）
21	4	74.1	74.0	81.00	4.0	21.0	13	3.0	1.0	3.0	81.0	1.5	0	屋外（開放地）
22	4	96.7	96.7	81.00	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
23	4	133.2	133.2	81.00	4.0	21.0	7	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
24	4	186.3	186.2	81.00	4.0	21.0	9	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	1	屋外（開放地）
25	4	93.7	93.4	81.00	4.0	21.0	0	3.0	1.0	3.0	76.0	1.5	0	屋外（開放地）
26	4	49.4	48.8	81.00	4.0	21.0	3	3.0	1.0	3.0	76.0	1.5	0	屋外（開放地）
27	4	31.2	31.0	81.00	4.0	21.0	16	3.0	1.0	3.0	80.0	1.5	0	屋外（開放地）
28	4	70.2	70.2	81.00	4.0	21.0	5	3.0	1.0	3.0	83.0	1.5	1	屋外（開放地）
29	4	115.4	115.4	81.00	4.0	21.0	6	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	1	屋外（開放地）
30	4	159.3	159.3	81.00	4.0	21.0	5	3.0	1.0	3.0	86.0	1.5	1	屋外（開放地）

表 3-33 エリア内各測定点 ID 情報(DAS アンテナ 4 を遮蔽)

測定点ID	DAS ID	アンテナとの 3D距離 [m]	アンテナとの 水平距離 [m]	DASアンテナ 地点標高 [m]	DASアンテナ 地上高 [m]	DAS送信電力 Pt [dBm]	DAS送信アンテナ 利得 Gt [dBi]	DAS給電線損失 Lf[dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ 地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定点環境
31	4	233.1	233.1	81.0	4.0	21.0	6	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	1	屋外（開放地）
32	4	218.0	218.0	81.0	4.0	21.0	5	3.0	1.0	3.0	82.0	1.5	1	屋外（開放地）
33	4	213.9	213.9	81.0	4.0	21.0	7	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	1	屋外（開放地）
34	4	223.0	223.0	81.0	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	1	屋外（開放地）
35	4	240.2	240.2	81.0	4.0	21.0	11	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	1	屋外（開放地）
36	4	264.9	264.8	81.00	4.0	21.0	11	3.0	1.0	3.0	88.0	1.5	1	屋外（開放地）
37	4	190.2	190.1	81.00	4.0	21.0	5	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	1	屋外（開放地）
38	4	171.1	171.0	81.00	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	80.0	1.5	1	屋外（開放地）
39	4	166.3	166.3	81.00	4.0	21.0	7	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	1	屋外（開放地）
40	4	177.1	177.1	81.00	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	1	屋外（開放地）
41	4	200.0	199.9	81.00	4.0	21.0	11	3.0	1.0	3.0	86.0	1.5	1	屋外（開放地）
42	4	229.3	229.2	81.00	4.0	21.0	10	3.0	1.0	3.0	88.0	1.5	1	屋外（開放地）
43	4	149.3	149.2	81.00	4.0	21.0	4	3.0	1.0	3.0	78.0	1.5	1	屋外（開放地）
44	4	125.0	124.9	81.00	4.0	21.0	9	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	1	屋外（開放地）
45	4	118.9	118.9	81.00	4.0	21.0	10	3.0	1.0	3.0	82.0	1.5	1	屋外（開放地）
46	4	133.6	133.6	81.00	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	1	屋外（開放地）
47	4	162.5	162.5	81.00	4.0	21.0	10	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	1	屋外（開放地）
48	4	198.8	198.8	81.00	4.0	21.0	10	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	1	屋外（開放地）
49	4	117.1	116.9	81.00	4.0	21.0	3	3.0	1.0	3.0	77.0	1.5	1	屋外（開放地）
50	4	84.0	83.8	81.00	4.0	21.0	9	3.0	1.0	3.0	78.0	1.5	1	屋外（開放地）
51	4	74.1	74.0	81.00	4.0	21.0	13	3.0	1.0	3.0	81.0	1.5	1	屋外（開放地）
52	4	96.7	96.7	81.00	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	1	屋外（開放地）
53	4	133.2	133.2	81.00	4.0	21.0	7	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	1	屋外（開放地）
54	4	186.3	186.2	81.00	4.0	21.0	9	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	1	屋外（開放地）
55	4	93.7	93.4	81.00	4.0	21.0	0	3.0	1.0	3.0	76.0	1.5	1	屋外（開放地）
56	4	49.4	48.8	81.00	4.0	21.0	3	3.0	1.0	3.0	76.0	1.5	1	屋外（開放地）
57	4	31.2	31.0	81.00	4.0	21.0	16	3.0	1.0	3.0	80.0	1.5	1	屋外（開放地）
58	4	70.2	70.2	81.00	4.0	21.0	5	3.0	1.0	3.0	83.0	1.5	1	屋外（開放地）
59	4	115.4	115.4	81.00	4.0	21.0	6	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	1	屋外（開放地）
60	4	159.3	159.3	81.00	4.0	21.0	5	3.0	1.0	3.0	86.0	1.5	1	屋外（開放地）

表 3-34　エリア内各測定点 ID 情報(DAS アンテナ 1～4)

測定点ID	DAS ID	アンテナとの 3D距離 [m]	アンテナとの 水平距離 [m]	DASアンテナ 地点標高 [m]	DASアンテナ 地上高 [m]	DAS送信電力 Pt [dBm]	DAS送信アンテナ 利得 Gt [dBi]	DAS給電線損失 Lf[dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ 地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定点環境
61	sum	75.8	75.8	79.00	4.0	23.0	13	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	0	屋外（開放地）
62	sum	124.8	124.8	79.00	4.0	23.0	7	3.0	1.0	3.0	82.0	1.5	0	屋外（開放地）
63	sum	177.2	177.2	79.00	4.0	23.0	9	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
64	sum	53.0	52.8	87.00	4.0	21.0	15	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
65	sum	29.0	28.9	87.00	4.0	21.0	14	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	0	屋外（開放地）
66	sum	325.1	325.0	79.00	4.0	23.0	9	3.0	1.0	3.0	88.0	1.5	0	屋外（開放地）
67	sum	98.3	98.2	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	0	屋外（開放地）
68	sum	139.7	139.7	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	80.0	1.5	0	屋外（開放地）
69	sum	188.4	188.4	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
70	sum	87.8	87.7	87.00	4.0	21.0	16	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
71	sum	75.2	75.2	87.00	4.0	21.0	14	3.0	1.0	3.0	86.0	1.5	0	屋外（開放地）
72	sum	90.7	90.7	87.00	4.0	21.0	5	3.0	1.0	3.0	88.0	1.5	0	屋外（開放地）
73	sum	135.5	135.5	79.00	4.0	23.0	10	3.0	1.0	3.0	78.0	1.5	0	屋外（開放地）
74	sum	168.6	168.6	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	0	屋外（開放地）
75	sum	211.7	211.7	79.00	4.0	23.0	8	3.0	1.0	3.0	82.0	1.5	0	屋外（開放地）
76	sum	131.2	131.0	87.00	4.0	21.0	14	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
77	sum	123.3	123.2	87.00	4.0	21.0	13	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
78	sum	131.1	131.1	87.00	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	0	屋外（開放地）
79	sum	174.3	174.3	79.00	4.0	23.0	9	3.0	1.0	3.0	77.0	1.5	0	屋外（開放地）
80	sum	84.0	83.8	81.00	4.0	21.0	9	3.0	1.0	3.0	78.0	1.5	0	屋外（開放地）
81	sum	238.9	238.9	79.00	4.0	23.0	8	3.0	1.0	3.0	81.0	1.5	0	屋外（開放地）
82	sum	280.3	280.3	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
83	sum	47.3	47.1	86.00	4.0	23.0	15	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
84	sum	370.4	370.3	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	0	屋外（開放地）
85	sum	93.7	93.4	81.00	4.0	21.0	0	3.0	1.0	3.0	76.0	1.5	0	屋外（開放地）
86	sum	49.4	48.8	81.00	4.0	21.0	-1	3.0	1.0	3.0	76.0	1.5	0	屋外（開放地）
87	sum	31.2	31.0	81.00	4.0	21.0	16	3.0	1.0	3.0	80.0	1.5	0	屋外（開放地）
88	sum	69.3	69.1	86.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	83.0	1.5	0	屋外（開放地）
89	sum	21.8	21.5	86.00	4.0	23.0	12	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
90	sum	23.7	23.5	86.00	4.0	23.0	-1	3.0	1.0	3.0	86.0	1.5	0	屋外（開放地）

表 3-35　エリア内各測定点 ID 情報(DAS アンテナ 1～4「DAS アンテナ 4 を遮蔽」)

測定点ID	DAS ID	アンテナとの 3D距離 [m]	アンテナとの 水平距離 [m]	DASアンテナ 地点標高 [m]	DASアンテナ 地上高 [m]	DAS送信電力 Pt [dBm]	DAS送信アンテナ 利得 Gt [dBi]	DAS給電線損失 Lf[dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 [dB]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ 地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定点環境
91	sum	75.8	75.8	79.00	4.0	23.0	13	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	0	屋外（開放地）
92	sum	124.8	124.8	79.00	4.0	23.0	7	3.0	1.0	3.0	82.0	1.5	0	屋外（開放地）
93	sum	177.2	177.2	79.00	4.0	23.0	9	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
94	sum	53.0	52.8	87.00	4.0	21.0	15	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
95	sum	29.0	28.9	87.00	4.0	21.0	14	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	0	屋外（開放地）
96	sum	325.1	325.0	79.00	4.0	23.0	9	3.0	1.0	3.0	88.0	1.5	0	屋外（開放地）
97	sum	98.3	98.2	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	0	屋外（開放地）
98	sum	139.7	139.7	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	80.0	1.5	0	屋外（開放地）
99	sum	188.4	188.4	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
100	sum	87.8	87.7	87.00	4.0	21.0	16	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
101	sum	75.2	75.2	87.00	4.0	21.0	14	3.0	1.0	3.0	86.0	1.5	0	屋外（開放地）
102	sum	90.7	90.7	87.00	4.0	21.0	5	3.0	1.0	3.0	88.0	1.5	0	屋外（開放地）
103	sum	135.5	135.5	79.00	4.0	23.0	10	3.0	1.0	3.0	78.0	1.5	0	屋外（開放地）
104	sum	168.6	168.6	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	79.0	1.5	0	屋外（開放地）
105	sum	211.7	211.7	79.00	4.0	23.0	8	3.0	1.0	3.0	82.0	1.5	0	屋外（開放地）
106	sum	131.2	131.0	87.00	4.0	21.0	14	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
107	sum	123.3	123.2	87.00	4.0	21.0	13	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
108	sum	131.1	131.1	87.00	4.0	21.0	8	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	0	屋外（開放地）
109	sum	174.3	174.3	79.00	4.0	23.0	9	3.0	1.0	3.0	77.0	1.5	0	屋外（開放地）
110	sum	84.0	83.8	81.00	4.0	21.0	9	3.0	1.0	3.0	78.0	1.5	0	屋外（開放地）
111	sum	238.9	238.9	79.00	4.0	23.0	8	3.0	1.0	3.0	81.0	1.5	0	屋外（開放地）
112	sum	280.3	280.3	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
113	sum	47.3	47.1	86.00	4.0	23.0	15	3.0	1.0	3.0	84.0	1.5	0	屋外（開放地）
114	sum	370.4	370.3	79.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	87.0	1.5	0	屋外（開放地）
115	sum	93.7	93.4	81.00	4.0	21.0	0	3.0	1.0	3.0	76.0	1.5	0	屋外（開放地）
116	sum	49.4	48.8	81.00	4.0	21.0	-1	3.0	1.0	3.0	76.0	1.5	0	屋外（開放地）
117	sum	31.2	31.0	81.00	4.0	21.0	16	3.0	1.0	3.0	80.0	1.5	0	屋外（開放地）
118	sum	69.3	69.1	86.00	4.0	23.0	11	3.0	1.0	3.0	83.0	1.5	0	屋外（開放地）
119	sum	21.8	21.5	86.00	4.0	23.0	12	3.0	1.0	3.0	85.0	1.5	0	屋外（開放地）
120	sum	23.7	23.5	86.00	4.0	23.0	-1	3.0	1.0	3.0	86.0	1.5	0	屋外（開放地）

③　他者土地への電波漏洩軽減確認

他者土地への電波漏洩軽減を確認するために、放牧地の北側にある他者土地に 6 点の測定ポイントを設ける。この各測定ポイントにおいてエリアテスターで受信電力(RSRP)の測定を行った。

本測定において DAS アンテナ適用前として想定したオムニアンテナ 1 局での測定については実際にオムニアンテナ設置が困難であったため、シミュレーション値を用いるものとした。

実測としては DAS アンテナ 4 局時のみであり、具体的な測定方法としてはエリアテスターを地上から約 1.5m の高さで、10 波長程度左右に動かしながら測定を行い、定在波の影響等を取り除くものとする。

具体的な測定手順を以下に示す。

i.　測定点情報（緯度・経度）をもとに測定点に移動する。

ii.　エリアテスターのアンテナを左右に 10 波長程度動かし続ける。約 4 分間(約 40 往復)の受信電力（RSRP）の測定を実施する。本時間において、ほぼ 1000 サンプルの取得が可能となる。

iii.　同様の作業を計 6 ポイントで行う。

実際の測定点としては以下となった。図 3-62 に平面的測定ポイント、表 3-36 に測定ポイントの緯度経度情報、表 3-37 に測定点情報をまとめる。



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-62 他者土地電波漏洩確認の測定ポイント

表 3-36 他者土地の緯度経度情報

測定点ID	緯度（度）	経度（度）
200	42.4390	142.4155
201	42.4384	142.4162
202	42.4389	142.4170
203	42.4384	142.4177
204	42.4387	142.4185
205	42.4383	142.4190

表 3-37 他者土地電波漏洩確認の測定ポイント

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点 標高 [m]	基地局アンテナ 地上高 [m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dB]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 Lr[dB]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ 地上高 [m]	LOS DASアンテナ一端末 (0:LOS 1:NLOS)	測定点環境
200	458.95	458.84	86.00	4.00	23.0	11.08	3.00	1.00	0.00	78.70	1.50	0	屋外（開放地）
201	27.40	27.28	79.00	4.00	23.0	-0.18	3.00	1.00	0.00	79.00	1.50	0	屋外（開放地）
202	104.74	104.74	79.00	4.00	23.0	-8.18	3.00	1.00	0.00	81.20	1.50	0	屋外（開放地）
203	133.55	133.53	79.00	4.00	23.0	2.20	3.00	1.00	0.00	83.50	1.50	0	屋外（開放地）
204	140.26	140.23	87.00	4.00	21.0	-1.60	3.00	1.00	0.00	86.40	1.50	0	屋外（開放地）
205	76.80	76.78	87.00	4.00	21.0	-2.47	3.00	1.00	0.00	87.60	1.50	0	屋外（開放地）

（5） 実証結果及び考察

今回の実証における結果を以下まとめる。

① DAS のエリア内特性確認について
想定どおり、エリア内は

・一部くぼみ等凹凸が存在。併せて完全平坦ではなく、傾斜があるような環境

・めだった障害物は中央 1 本の樹木のみ。併せて明確な反射物も存在しない環境

となっていた。

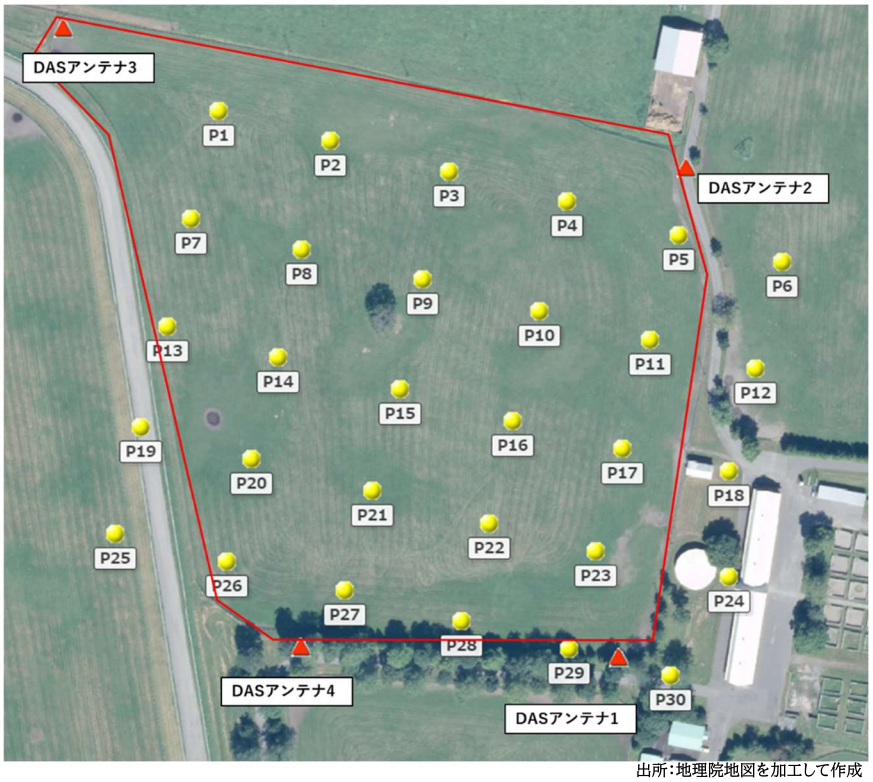
測定ポイントについては、図 3-60 記載のとおり、エリア内 50m メッシュで作成した 30 ポイントとしている。実際測定を行った測定ポイントについて

図 3-63（図 3-60 の再掲）に、測定点 ID について、DAS アンテナ 1 局の場合を以下

図 3-64 に、4 局の場合を図 3-65 に示す。測定点 ID 情報については（4）評価・検証方法の表 3-32 表 3-34 にまとめたものである。

図 3-64 よりわかるように、測定 30 ポイントにおいて、業務区域内は 23 ポイント（7 ポイントは業務区域外）となっている。

併せて各ポイントの様子を図 3-66 に示す。②における実験の様子も同様である。



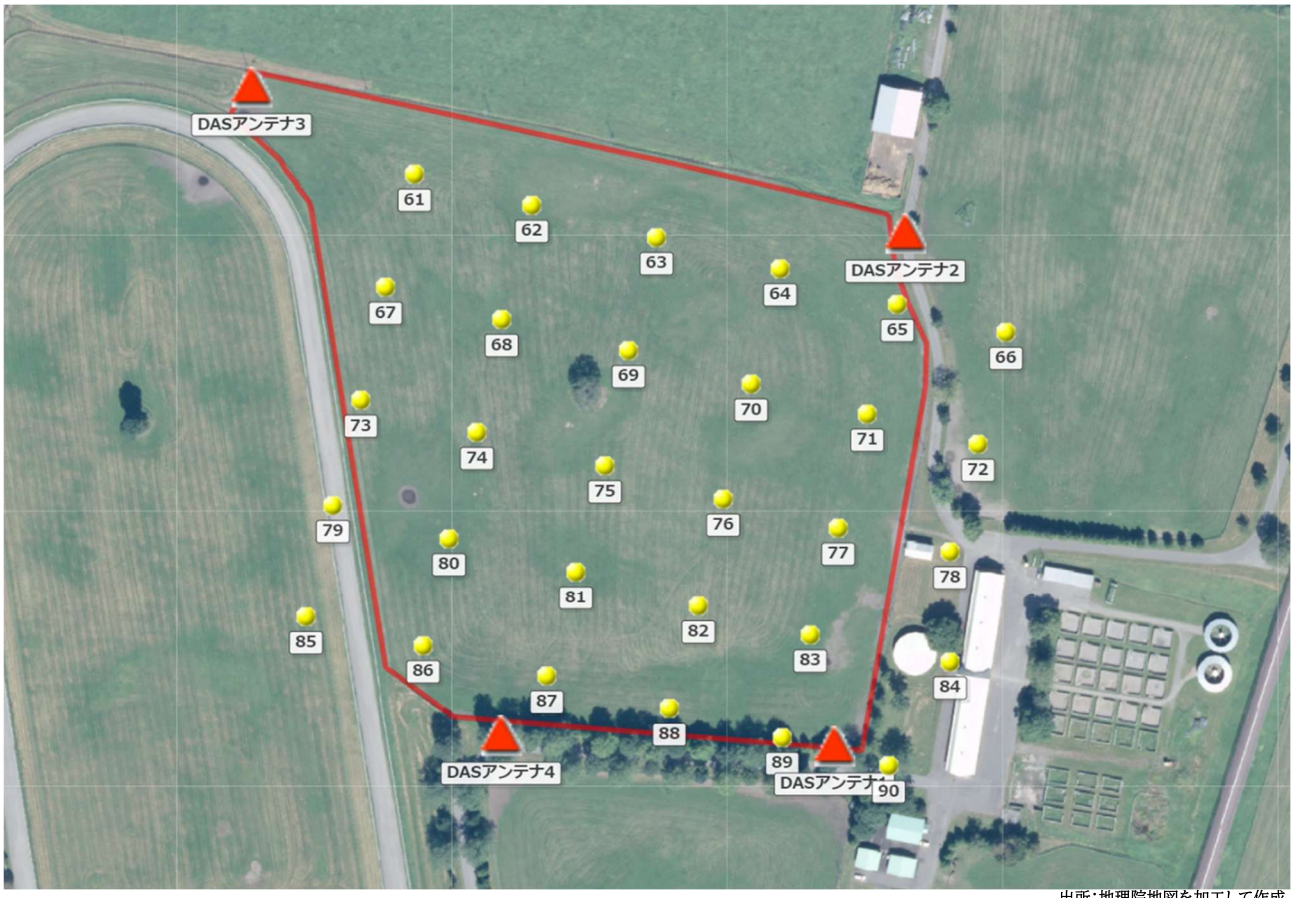
出所：地理院地図を加工して作成

図 3-63 業務区域内測定ポイント（図 3-60 の再掲）



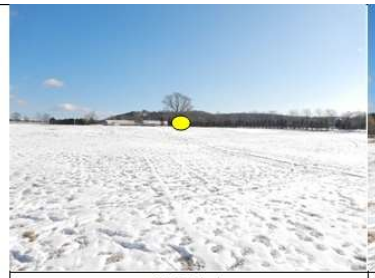
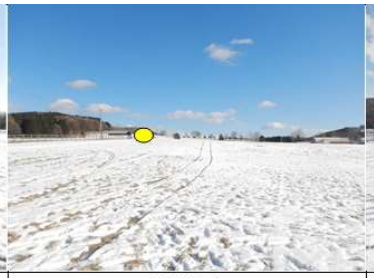
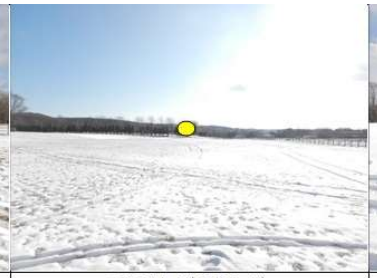
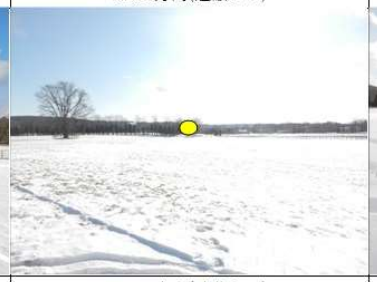
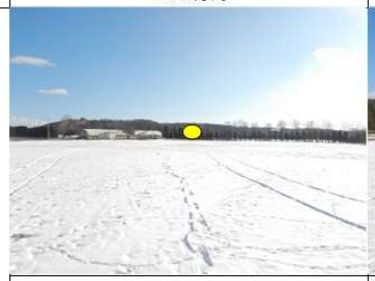
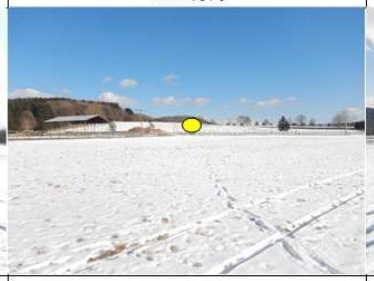
出所：地理院地図を加工して作成

図 3-64 DAS アンテナ 1 局時の測定点 ID



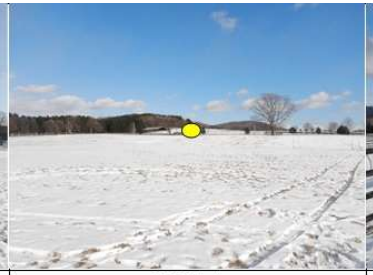
出所：地理院地図を加工して作成

図 3-65 DAS アンテナ 4 局時の測定点 ID

P1					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P2					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P3					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P4					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)

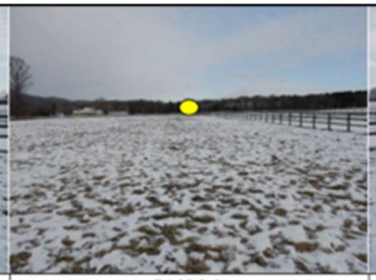

P5
DAS1方向
DAS2方向
DAS3方向
DAS4方向(遮蔽なし)
DAS4方向(遮蔽あり)
P6
DAS1方向
DAS2方向
DAS3方向
DAS4方向(遮蔽なし)
業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
P7
DAS1方向
DAS2方向
DAS3方向
DAS4方向(遮蔽なし)
DAS4方向(遮蔽あり)
P8
DAS1方向
DAS2方向
DAS3方向
DAS4方向(遮蔽なし)
DAS4方向(遮蔽あり)

P9					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P10					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P11					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P12					業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)

P13					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P14					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P15					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P16					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)

P17					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P18					業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P19					業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P20					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)

P21					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P22					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P23					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P24					業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)

P25					業務区域外(隣接の放牧地内)で馬の放牧により トラクターの進入不可
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P26					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P27					
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)
P28					遮蔽物配置制限から測定対象外
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)	DAS4方向(遮蔽あり)

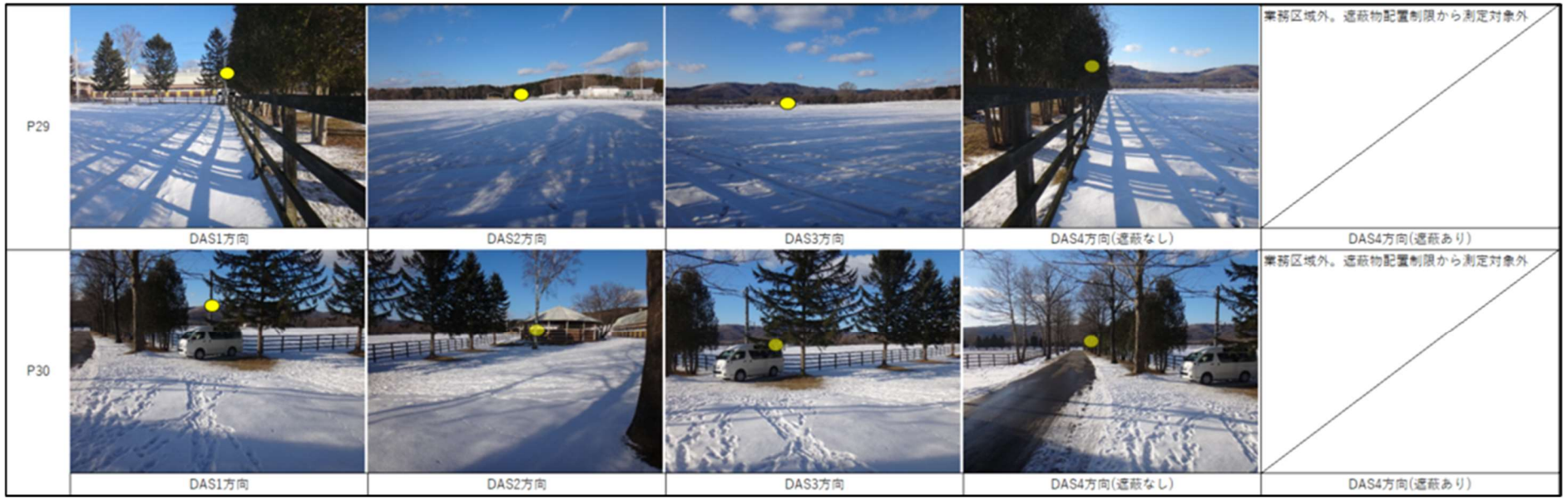


図 3-66 エリア構築柔軟化の測定ポイントの様子

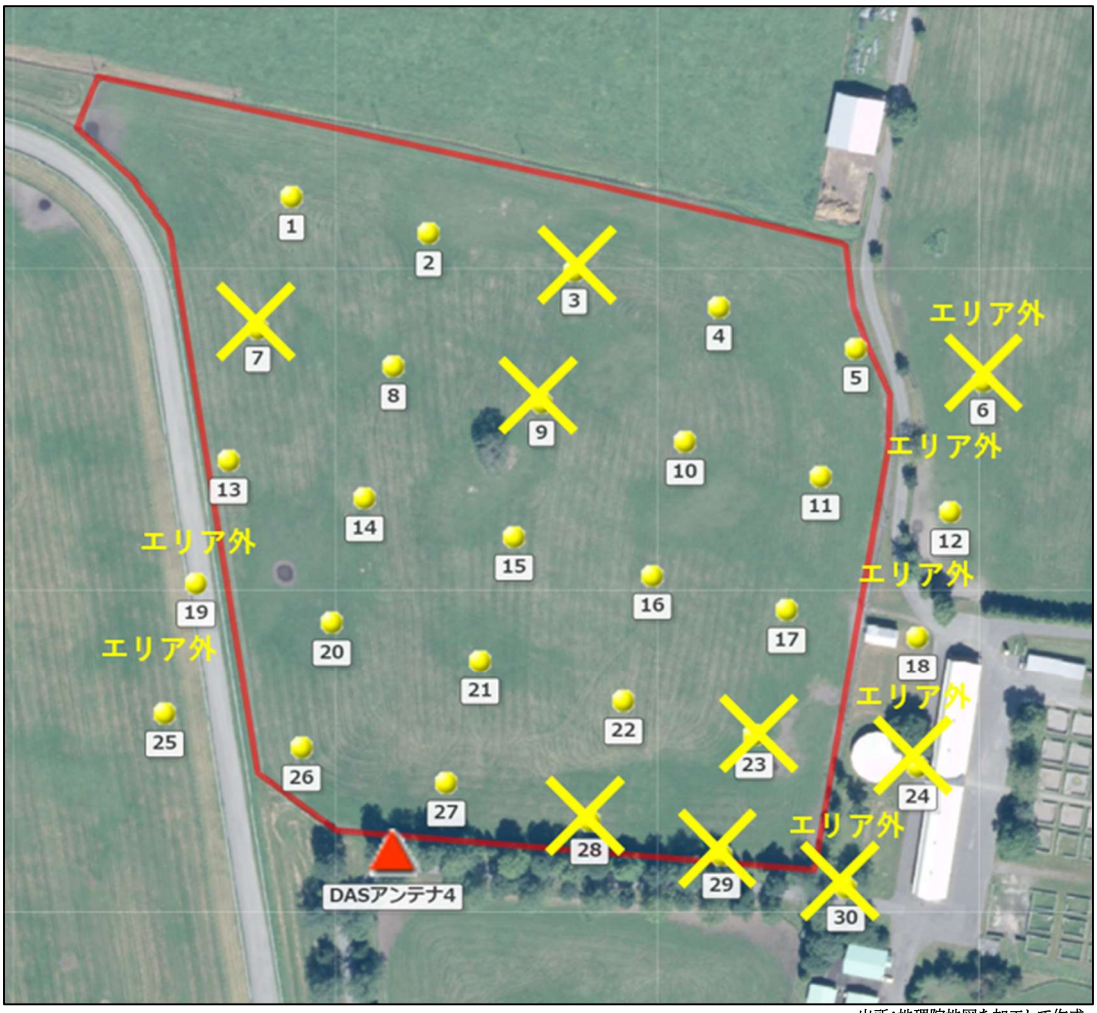
以下各ポイントにおける測定結果としてまず受信電力（RSRP）の測定結果についてまとめる。

まず、図 3-67 より、そもそもエリア設計どおり、DAS アンテナ 1 局では業務区域内をすべてカバーできないこととなっていることがわかる（カバーエリア：RSRP>-119.1dBm)。図 3-67 に示した測定結果を見ると、業務区域内の測定点 ID3、7、9、23、28、29 の 6 点がカバーエリア受信電力である-119.1dBm を満たしておらず、ID28 はアンテナからの離隔距離およそ 70m のエリアとなっている。

これをエリアカバーするよう、4 局からの送信を実施することで、表 3-39、図 3-68 に示すように業務区域全域をカバーエリアとできていることが確認できた。

表 3-38　DAS アンテナ 1 局のみの場合の受信電力(RSRP)

測定点ID	DASID	算出式による	実測値 [dBm]					備考
		受信電力 [dBm]	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
1	4	-113.6	-116.5	-116.8	1.7	-114.8	-119.0	
2	4	-114.8	-111.8	-112.0	0.9	-110.9	-113.3	
3	4	-116.7	-	-	-	-	-	
4	4	-127.5	-109.1	-109.2	1.0	-108.0	-110.7	
5	4	-127.8	-112.5	-112.5	1.0	-111.3	-113.8	
6	4	-135.6	-	-	-	-	-	業務区域外
7	4	-133.8	-119.2	-119.2	1.9	-117.1	-121.2	
8	4	-125.0	-114.0	-114.1	2.1	-111.8	-116.6	
9	4	-122.7	-	-	-	-	-	
10	4	-110.8	-108.0	-108.0	1.2	-107.1	-109.0	
11	4	-111.5	-109.2	-109.1	1.3	-107.3	-110.6	
12	4	-112.5	-117.3	-117.5	1.5	-115.8	-119.6	業務区域外
13	4	-111.8	-106.2	-106.3	1.2	-105.8	-106.9	
14	4	-109.8	-113.9	-114.4	3.1	-111.0	-118.6	
15	4	-109.9	-104.1	-104.1	1.0	-103.2	-104.9	
16	4	-110.9	-111.3	-111.3	1.9	-109.5	-112.9	
17	4	-127.6	-112.9	-113.1	1.9	-110.8	-115.4	
18	4	-132.7	-117.5	-117.6	1.8	-115.3	-120.0	業務区域外
19	4	-133.9	-109.6	-109.6	1.3	-107.9	-111.1	業務区域外
20	4	-126.3	-96.2	-96.1	0.4	-95.6	-96.7	
21	4	-103.2	-95.6	-95.7	1.3	-95.1	-96.7	
22	4	-97.2	-108.6	-108.8	1.3	-107.6	-110.4	
23	4	-106.1	-121.8	-122.3	3.2	-120.1	-124.1	
24	4	-116.3	-	-	-	-	-	業務区域外
25	4	-118.2	-110.0	-110.2	2.1	-108.2	-112.3	業務区域外
26	4	-111.1	-95.8	-95.8	1.2	-95.0	-96.6	
27	4	-87.8	-92.6	-92.7	0.7	-91.9	-93.4	
28	4	-100.5	-	-	-	-	-	
29	4	-111.1	-	-	-	-	-	
30	4	-135.4	-	-	-	-	-	業務区域外

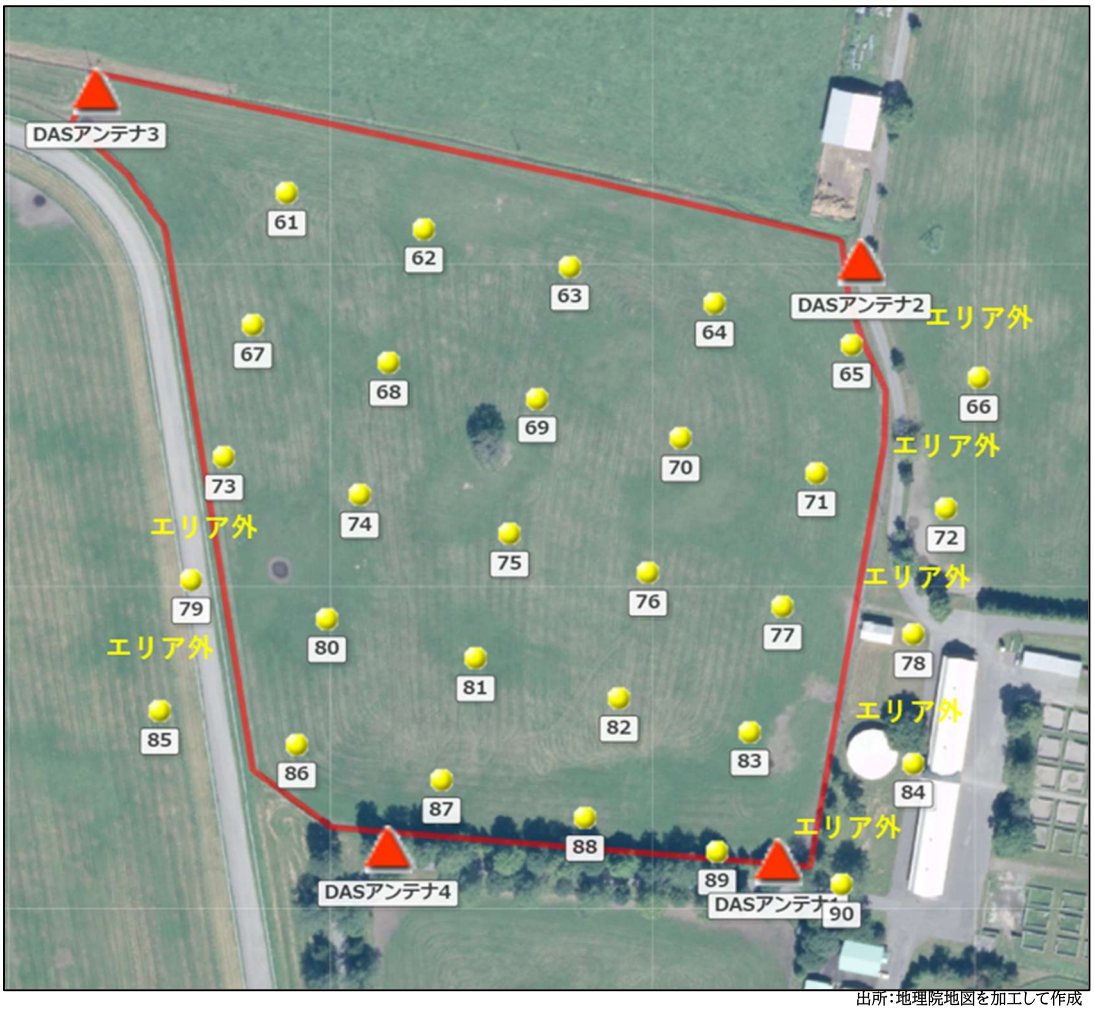


出所：地理院地図を加工して作成

図 3-67　DAS1 局(DAS アンテナ 4)のみによる RSRP 測定結果

表 3-39　DAS アンテナ 4 局の場合の受信電力(RSRP)

測定点ID	DASID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
61	SUM	-92.4	-107.3	-107.6	2.3	-105.3	-110.1	
62	SUM	-97.5	-104.2	-104.3	1.4	-102.9	-105.6	
63	SUM	-94.5	-106.1	-106.7	2.3	-104.8	-108.3	
64	SUM	-90.8	-92.2	-92.2	0.7	-91.2	-93.0	
65	SUM	-98.3	-91.4	-91.5	0.4	-91.1	-92.1	
66	SUM	-112.3	-110.8	-110.9	1.6	-109.3	-112.1	業務区域外
67	SUM	-108.4	-95.7	-96.0	2.1	-95.1	-96.4	
68	SUM	-99.5	-101.8	-101.9	1.0	-100.6	-103.1	
69	SUM	-95.5	-98.4	-98.5	1.8	-96.7	-100.4	
70	SUM	-95.2	-97.6	-97.2	1.3	-95.1	-98.3	
71	SUM	-96.4	-97.5	-97.6	1.5	-96.4	-98.7	
72	SUM	-95.1	-107.4	-108.3	3.9	-106.3	-109.1	業務区域外
73	SUM	-96.7	-99.3	-99.4	1.4	-98.8	-99.9	
74	SUM	-97.2	-99.4	-99.6	1.6	-98.5	-100.3	
75	SUM	-97.0	-100.7	-100.8	2.0	-98.8	-103.1	
76	SUM	-94.3	-98.2	-98.7	2.4	-97.0	-101.2	
77	SUM	-94.5	-99.3	-99.5	1.9	-98.0	-100.8	
78	SUM	-106.9	-106.6	-106.8	1.3	-105.8	-108.0	業務区域外
79	SUM	-105.1	-100.9	-102.2	4.4	-98.3	-107.3	業務区域外
80	SUM	-84.6	-96.1	-96.2	0.4	-95.7	-96.8	
81	SUM	-91.7	-94.0	-94.1	0.4	-93.7	-94.7	
82	SUM	-93.4	-95.6	-95.8	2.1	-94.4	-97.5	
83	SUM	-96.7	-93.6	-93.6	1.3	-92.6	-94.5	
84	SUM	-98.8	-110.7	-111.0	2.8	-108.1	-113.5	業務区域外
85	SUM	-100.4	-101.6	-102.8	4.1	-98.8	-109.2	業務区域外
86	SUM	-99.1	-95.2	-95.2	1.1	-94.8	-95.5	
87	SUM	-87.4	-93.2	-94.7	4.4	-92.3	-102.5	
88	SUM	-93.4	-99.7	-99.9	1.6	-98.7	-100.8	
89	SUM	-90.6	-86.2	-86.0	1.5	-84.3	-87.5	
90	SUM	-111.6	-107.1	-107.7	3.1	-104.8	-110.7	業務区域外



出所:地理院地図を加工して作成

図 3-68　DAS4 局(DAS アンテナ 1～4)による RSRP 測定結果

以下図 3-69 に DAS アンテナ 1 局の場合と、4 局の場合を比較した RSRP 累積分布についてまとめる。カバーエリアの受信電力である-119dBm で閾値を設けた場合、DAS アンテナ 1 局にて業務区域内をカバーできるのは 70%に止まっており、残りの 30%の内 10%はカバーエリアの受信電力を満たすことができず、20%が見通し外や電波の減衰により受信電力を測定することができなかった。それに比べ 4 局の場合は業務区域内のカバー率が 100%に達成しており、全てのポイントにおいてカバーエリアレベルの 10dB 高い値を観測することができた。

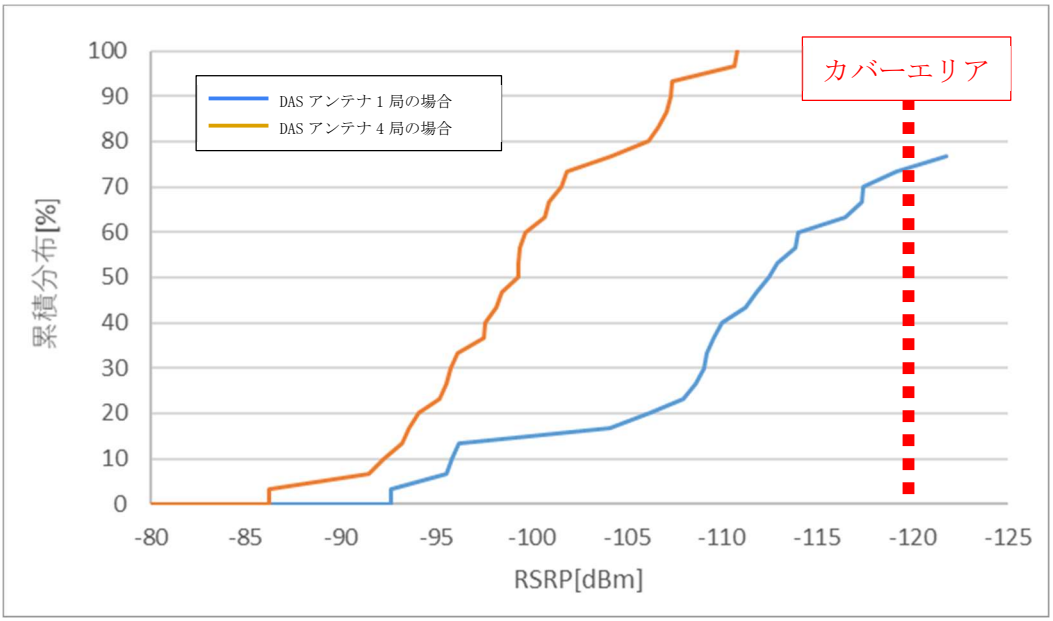
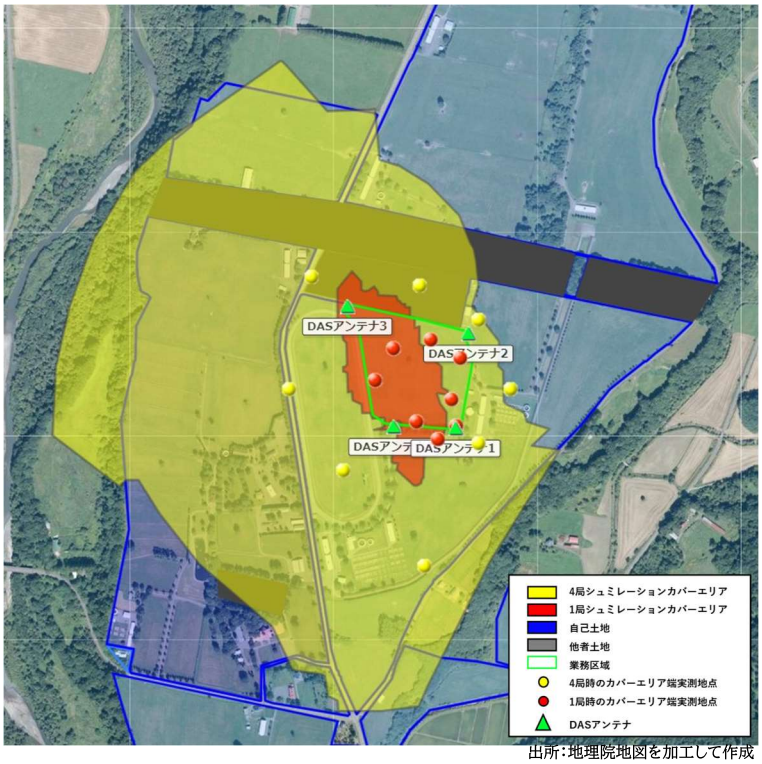


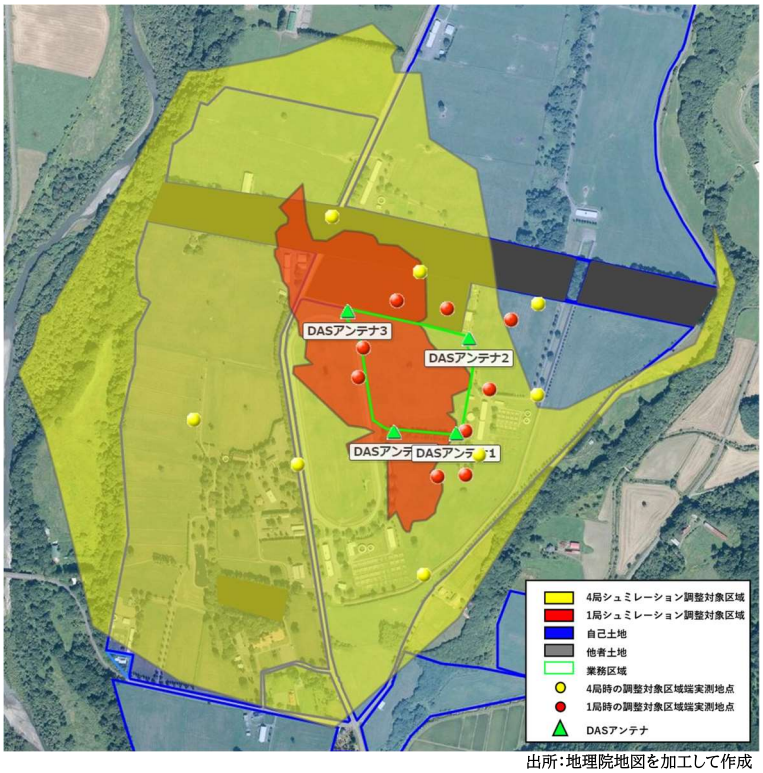
図 3-69 RSRP 累積分布の比較

業務区域内について以上述べてきたが、本 DAS システム利用におけるカバーエリアの改善について以下図 3-70 に、調整区域端の改善について図 3-71 に示す。ここでは算出式における想定エリア、および実測によるカバーエリア端、調整区域を合わせて図示する。



出所:地理院地図を加工して作成

図 3-70 DAS アンテナ 1 局、4 局の各カバーエリアと実測点



出所:地理院地図を加工して作成

図 3-71 DAS アンテナ 1 局、4 局の各調整対象区域と実測点

本図より DAS アンテナ 1 局の場合、業務区域内をカバーしきれていなかったのに対し、アンテナ 4 局を利用することで、エリアを充分カバーできていることがわかる。計算結果において、特に DAS アンテナ 4 は 45 度（右斜め上）の方向に指向を持っているが、その方向は上り斜面となっているため、エリアはさほど広くなっていないが、アンテナ正面横方向（135 度方向、および 315 度方向）にはエリアが広くなっている。ところが実測でみた場合には正面方向にも比較的広くカバーエリアが確保できている。

本結果において 4 局を配置することで、カバーエリアは格段に広がる。特に図中西側については下り斜面になっていることから広がりが大きくなる。以下に各方向でのカバーエリアの広がりをまとめる。4 局により実測においてエリアが大幅に広がっていることが確認できる。

表 3-40 DAS アンテナ活用における改善

方位角*	カバーエリアの閾値を実測した距離		調整対象区域の閾値を実測した距離	
	提案手法実施前	提案手法実施後	提案手法実施前	提案手法実施後
0°	87m	195m	170m	235m
45°	101m	176m	237m	305m
90°	94m	208m	150m	257m
135°	147m	198m	148m	214m
180°	107m	424m	222m	435m

225°	130m	271m	140m	339m
270°	101m	290m	145m	517m
315°	83m	322m	180m	405m

*業務区域の中心から真北を 0° とする

次に上りスループット測定結果をまとめる。今回の課題実証、課題解決型ソリューションにおいて、アプリケーションから上りスループットが 40Mbps 以上を確保すること、との要求仕様があるため、40Mbps 以上実現できることを条件とした。以下表 3-41 に DAS アンテナ 1 局での送信時における上りスループットの実測結果、図 3-72 にスループット中央値分布をまとめる。

図 3-72 より、そもそも通信が確立できないポイント、課題実証／ソリューションとしての要求仕様の 40Mbps 以上を確保できないポイントが 30 ポイント中 22 ポイント（うち業務区域外が 6 ポイント）存在し、要求仕様を満足しているポイントは 8 ポイント（うち業務区域外 1 ポイント）のみであり、結果サービス実施に耐えられないことがわかる。

合わせて、エリアに図示したものを図 3-73 に示す。

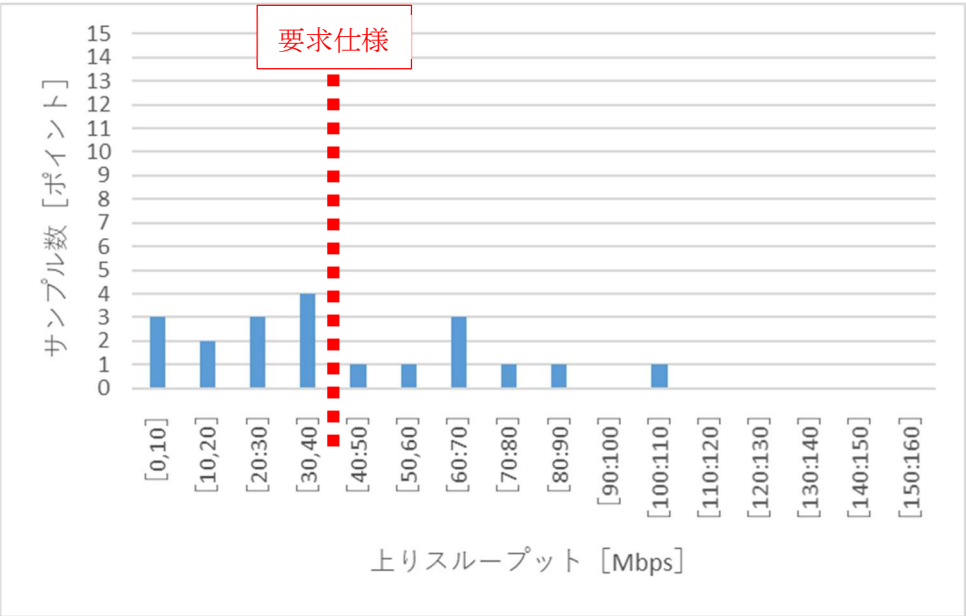
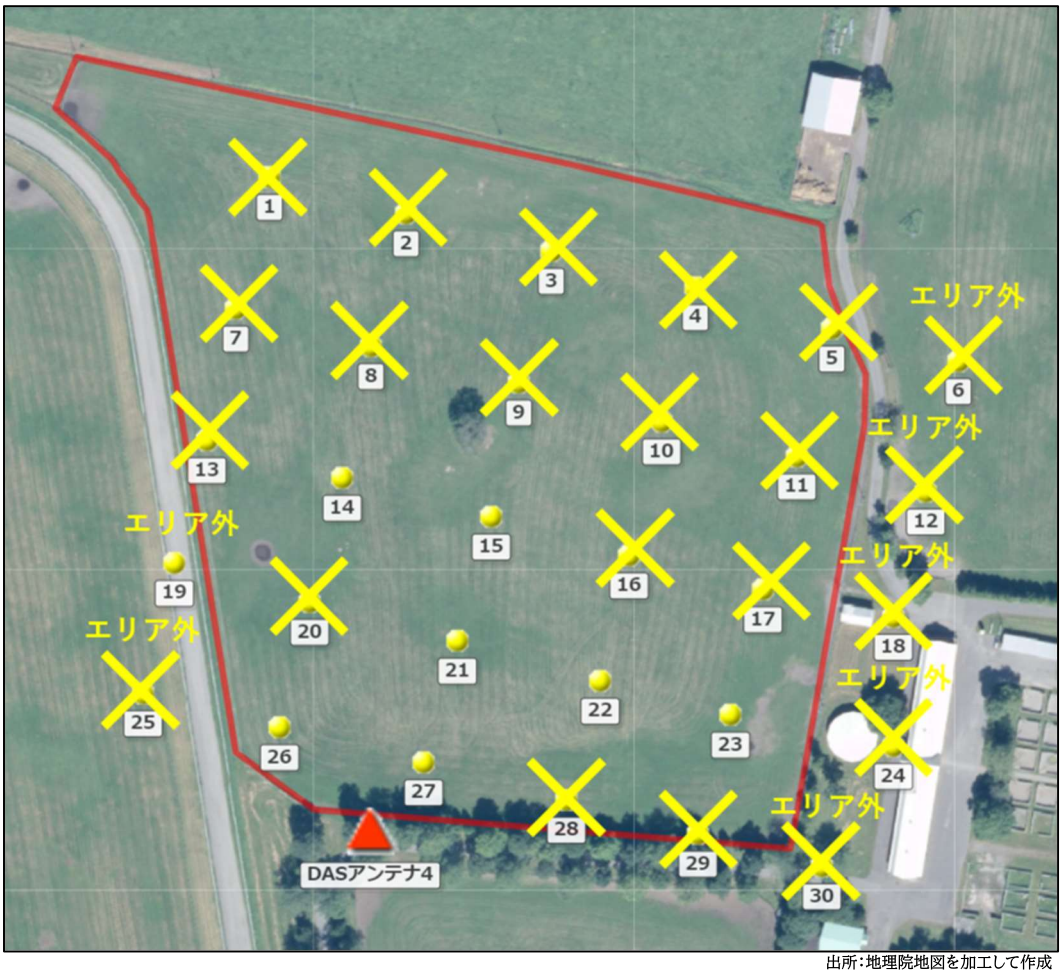


図 3-72 DAS アンテナ 1 局のみの場合の業務区域内スループット分布



出所:地理院地図を加工して作成

図 3-73 DAS1 局(DAS アンテナ 4)のみによる上りスループット測定結果

以下表 3-42 に 4 アンテナ利用時における上りスループットの実測結果、図 3-74 にスループット中央値分布イメージをまとめる。

測定ポイントは 1 アンテナ時の測定ポイントと同じであり、測定点 ID は、1 アンテナ時の測定点 ID に対して、“+60”インクリメントした値としている。

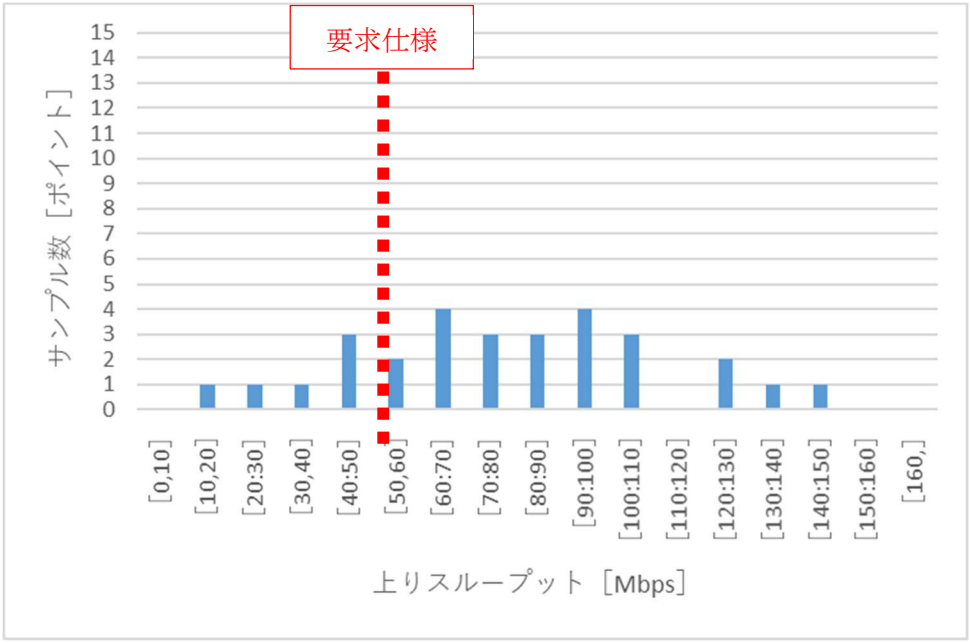
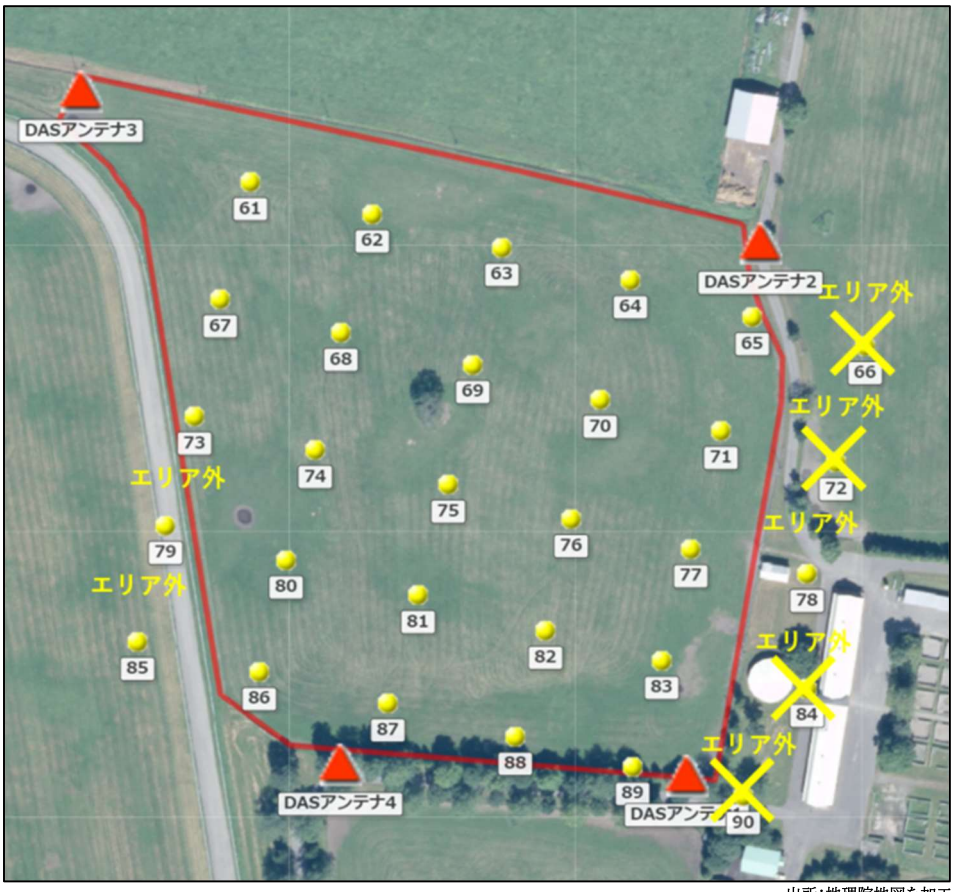


図 3-74 DAS アンテナ 4 局時のスループット分布

図 3-74 より、そもそも通信が確立できないポイント、要求仕様を満足できないポイントが 3 ポイント存在するが、すべてが業務区域外であり、業務区域内においてはすべてのポイント（23 ポイント）において、要求仕様を超える結果が得られていることから、サービスに耐え得るエリア構築が実現できていることが確認できる。

合わせて、エリアに図示したものを図 3-75 に示す。



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-75 DAS4 局(DAS アンテナ 1～4)による上りスループット測定結果

次に、上りスループット測定結果に関し、RSRP に対するスループット特性を以下図 3-76、および図 3-77 にまとめる。

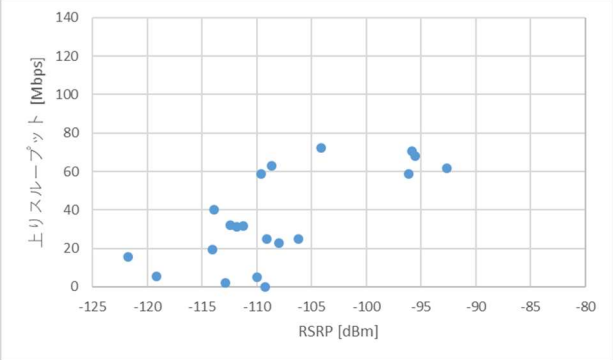


図 3-76 RSRP vs. 上りスループット特性
（DAS アンテナ 1 局のみの場合）

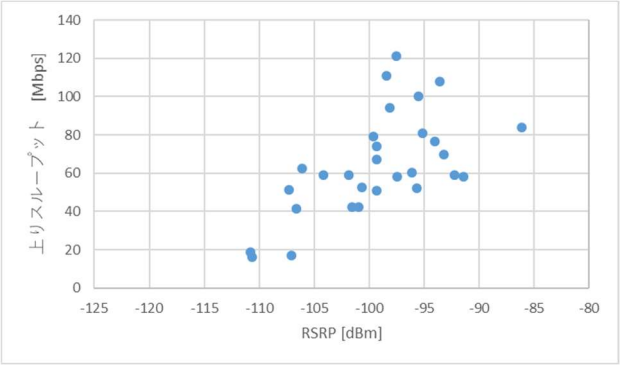


図 3-77 RSRP vs. 上りスループット特性
（DAS アンテナ 4 局の場合）

本結果より、ばらつきはあるものの受信の RSRP に対して、上りスループットも比例した形で実現できていることがわかる。また、4 局とした場合には、受信電力（すなわち受信品質）が改善されたことにより上りスループットが改善していることがわかる。

合わせて測定値から、SINR とスループットの関係をまとめる。以下図 3-78、図 3-79 に受信 SINR 対上りスループット特性グラフを示す。

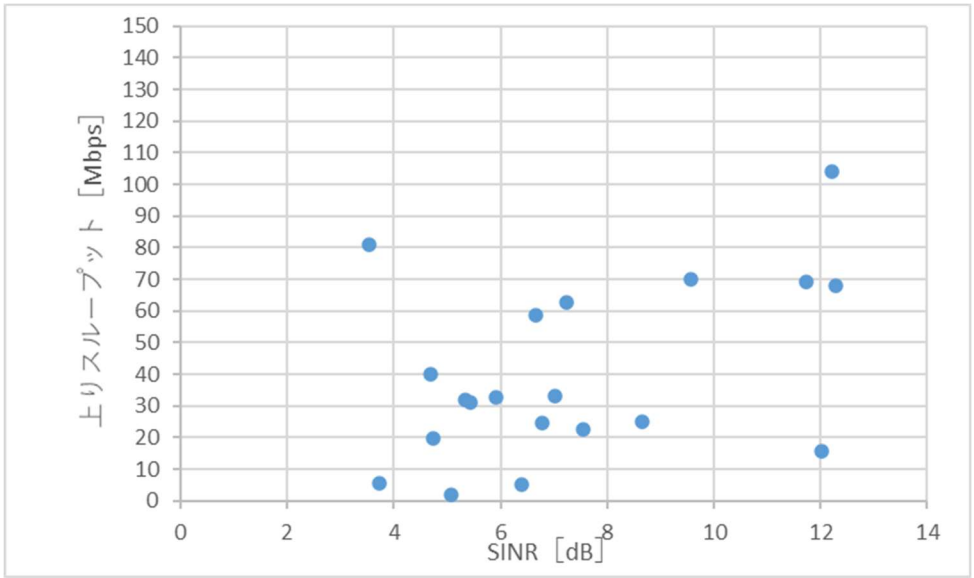


図 3-78 SINR vs. 上りスループット特性(DAS アンテナ 1 局のみの場合)

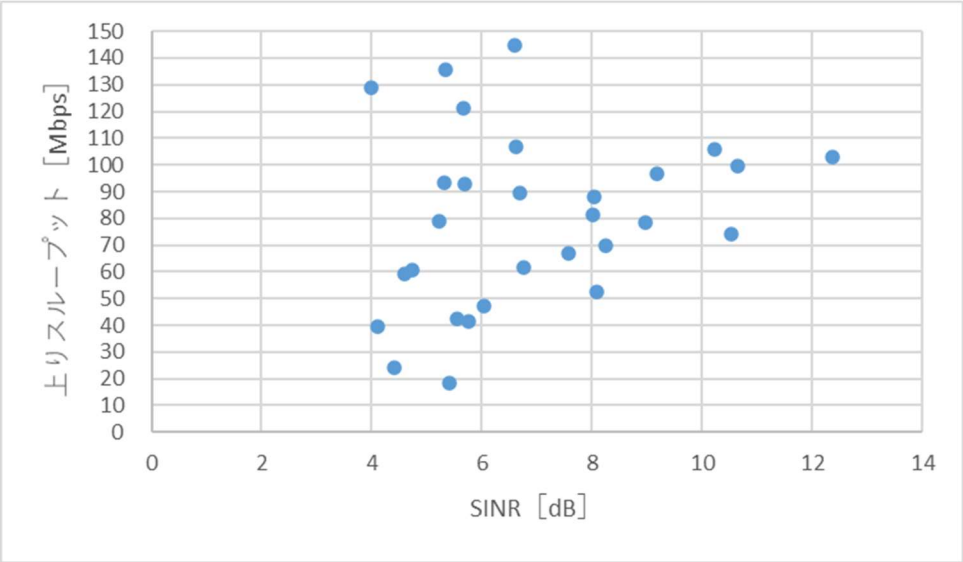


図 3-79　SINR vs. 上りスループット特性（DAS アンテナ 4 局の場合）

本結果より SINR に対し、上りスループットが大きくぶれているが、SINR に対して、比較的比例的にスループットが改善していることがわかる。また、SINR が大きくなっていった際、上りスループットが飽和するような状況も観測されている。

本件、上り送信電力は基地局より送信電力制御がなされ、基地局入力端での受信レベル、すなわち基地局受信品質が一定に保たれるため、結果的に下り受信電力によらず、上りのスループットが一定となったことが想定される。この特徴は下りスループットとは異なる非常に特徴的な点であると考える。

また、スループットの時間変動について考察する。下記図　3-80 に 1 分間の測定サンプルをグラフ化したものを示す。

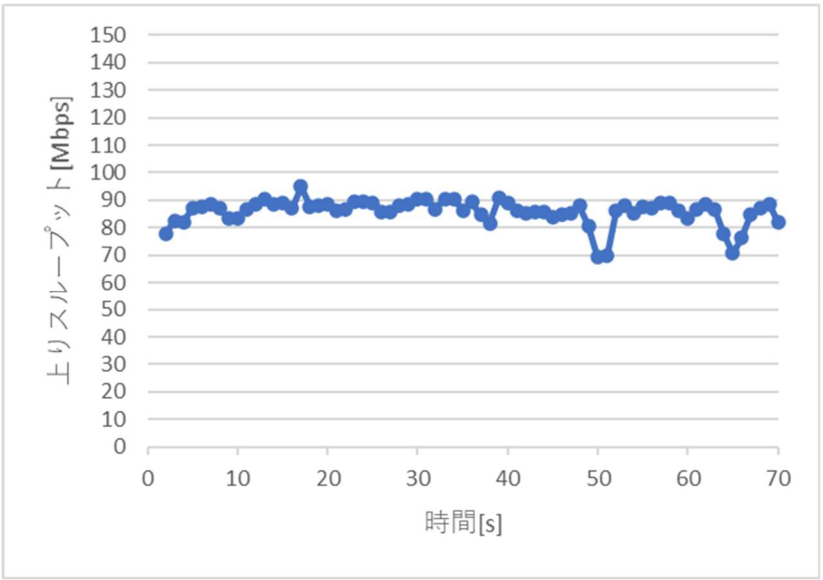


図 3-80 上りスループットの時間変動（横軸約 1 分）

本図よりスループットに揺れが存在することがわかる。このような揺れが存在すると、サンプルの一部で要求仕様を下回ることが生じるなど、結果的にサービス品質が劣化する要因ともなるような問題が生じる可能性がある。本問題に対して、下記いくつかの要因が想定される。

第一に、ローカル５Ｇシステムにおけるパラメータの調整である。今回のように DAS を活用した場合と、通常アンテナを使用していた場合で一部パラメータの変更が必要となる可能性もあり、この部分について最適化ができず、充分な特性が得られなかった可能性がある。本件に関しては、サービス展開に向けて非常に重要なファクタであり、継続調査・検討を進めていく必要がある。

第二にローカル５Ｇネットワークシステムの不安定性である。当社ラボの理想的環境下においてもまだ不安定な動作は確認されており、通信動作中において、瞬間的（数秒まで）にスループットが大幅に劣化する症状がみられている。本件に関しては映像伝送など常時安定した高速通信が求められるような環境下では大きな問題となることが想定されるため、継続システムの安定化に向けて開発を進める。

第三に周囲環境への耐性である。システム、DAS、端末を含め、今回の極寒環境下（外気温-15℃など）において動作が不安定になっていることが想定される。本件に関しても今後の北海道への展開、可搬型の実現に向けて、課題となるので、機材選定から充分考慮していく必要がある。

上記のように本システムをそのまま商用というところには、まだ課題を抱えており、継続開発・検討が必要であると考える。

表 3-41 DAS アンテナ 1 局時の上りスループット実測結果

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					UL伝送スループット 実測値 [Mbps]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
1	0	4	4.0	4.1	0.6	4.8	3.3	–	–	–	–	–	
2	0	4	5.4	5.5	0.6	6.2	4.7	31.1	30.8	2.7	33.6	26.8	
3	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
4	0	4	6.8	6.7	0.7	7.7	5.8	24.8	25.0	1.4	26.8	23.5	
5	0	4	5.3	5.3	0.7	6.2	4.6	32.0	30.4	4.9	35.5	22.8	
6	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	業務区域外
7	0	4	3.7	3.7	0.5	4.4	3.1	5.5	5.4	0.8	5.9	5.0	
8	0	4	4.7	4.8	0.7	5.8	3.9	19.6	16.8	5.8	20.8	9.5	
9	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
10	0	4	7.6	7.5	0.7	8.4	6.6	22.8	22.1	2.9	24.2	20.2	
11	0	4	7.0	7.1	0.9	8.2	6.0	33.3	33.3	2.2	34.9	32.6	
12	0	4	4.0	4.0	0.5	4.6	3.3	–	–	–	–	–	業務区域外
13	0	4	8.7	8.7	0.6	9.4	8.0	25.1	23.6	5.1	28.8	17.5	
14	0	4	4.7	4.8	1.0	6.2	3.6	40.2	38.6	5.0	43.2	30.7	
15	0	4	9.6	9.5	0.6	10.3	8.8	70.0	68.4	5.8	72.2	63.8	
16	0	4	5.9	5.9	0.8	7.0	4.9	32.6	32.7	2.2	34.5	32.0	
17	0	4	5.1	5.1	0.8	6.1	4.0	2.1	2.1	0.3	2.3	2.0	
18	0	4	4.0	4.0	0.6	4.7	3.3	–	–	–	–	–	業務区域外
19	0	4	6.7	6.7	0.9	7.9	5.6	58.6	56.0	7.7	63.7	44.2	業務区域外
20	0	4	12.0	12.0	0.3	12.4	11.6	15.8	14.4	4.5	17.2	8.1	
21	0	4	12.3	12.3	0.4	12.7	11.8	68.0	69.2	13.6	86.2	54.0	
22	0	4	7.2	7.2	0.8	8.1	6.1	62.8	62.3	6.5	69.0	55.9	
23	0	4	3.5	3.6	0.5	4.2	3.0	80.8	79.9	3.9	83.0	75.7	
24	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	業務区域外
25	0	4	6.4	6.4	1.0	7.6	5.1	5.2	8.4	7.5	21.2	1.3	業務区域外
26	0	4	11.7	11.7	0.5	12.2	11.2	69.2	69.5	1.7	71.5	67.7	
27	0	4	12.2	12.2	0.3	12.6	11.9	104.0	102.9	10.0	112.0	92.1	
28	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
29	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
30	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	業務区域外

表 3-42　DAS アンテナ 4 局時の上りスループット実測結果

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり)	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					UL伝送スループット 実測値 [Mbps]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
61	1	all	6.6	6.5	1.1	7.9	5.1	145.0	141.2	12.6	150.0	126.0	
62	1	all	4.6	4.9	0.9	6.3	4.0	59.2	88.6	88.5	3.2	92.2	
63	1	all	5.7	5.8	0.8	6.9	4.9	93.1	91.4	6.9	93.8	90.2	
64	1	all	10.7	10.5	0.9	11.6	9.5	99.6	98.5	3.8	103.0	93.6	
65	1	all	9.2	9.2	0.6	9.8	8.7	96.9	95.7	12.7	109.0	78.4	
66	1	all	5.4	5.4	0.7	6.2	4.6	18.6	18.8	1.2	20.5	17.3	業務区域外
67	1	all	8.1	8.0	0.6	8.7	7.2	52.4	51.6	3.8	55.7	45.8	
68	1	all	6.8	6.8	0.9	7.9	5.7	61.7	62.7	4.9	69.5	57.5	
69	1	all	4.0	4.0	0.7	4.9	3.2	129.0	128.7	5.1	135.0	123.0	
70	1	all	5.4	5.3	0.8	6.3	4.2	135.5	132.9	16.9	156.2	109.9	
71	1	all	7.6	7.5	1.0	8.9	6.2	66.9	64.1	7.6	70.3	51.7	
72	1	all	4.1	4.4	1.6	6.6	2.7	–	–	–	–	–	業務区域外
73	1	all	4.7	4.8	0.8	5.9	4.0	60.8	60.8	1.3	62.3	59.2	
74	1	all	10.5	10.1	2.1	12.5	7.7	74.2	73.7	14.4	91.1	52.8	
75	1	all	6.7	6.7	1.7	8.8	4.7	89.7	85.6	10.4	96.6	69.5	
76	1	all	9.0	9.1	1.3	10.8	7.7	78.5	79.2	4.1	85.6	74.5	
77	1	all	5.7	5.6	0.9	6.7	4.5	121.0	120.3	4.9	126.0	114.0	
78	1	all	5.8	5.8	0.7	6.6	5.0	41.4	40.4	4.7	46.1	33.8	業務区域外
79	1	all	6.0	6.2	2.9	10.4	2.6	47.0	47.1	2.0	49.7	45.4	業務区域外
80	1	all	8.0	7.8	1.0	9.0	6.3	88.2	88.3	1.5	89.5	86.7	
81	1	all	5.3	5.3	0.5	6.0	4.7	93.4	91.4	5.8	96.1	82.4	
82	1	all	10.2	10.2	1.0	11.4	8.8	106.0	106.2	9.9	119.0	92.3	
83	1	all	6.6	6.7	0.7	7.5	6.2	107.0	109.1	20.5	135.0	83.0	
84	1	all	4.4	4.5	0.9	5.7	3.5	24.2	22.7	4.1	27.1	17.1	業務区域外
85	1	all	5.6	5.3	1.2	6.7	3.4	42.5	40.8	3.8	45.2	36.1	業務区域外
86	1	all	8.0	8.0	0.3	8.4	7.7	81.1	81.6	7.3	92.6	73.1	
87	1	all	8.2	8.1	0.8	8.9	7.1	69.8	69.5	4.4	71.3	67.7	
88	1	all	5.2	5.2	0.7	6.2	4.3	79.1	77.5	15.7	93.7	53.4	
89	1	all	12.4	12.4	0.5	12.7	12.0	103.0	108.5	17.3	136.0	92.7	
90	1	all	4.1	4.3	1.1	5.9	3.0	39.6	41.5	6.0	47.9	34.5	業務区域外

次に伝送遅延特性について測定結果をまとめる。測定ポイントについては上記上りスループットと同様である。

以下表 3-43、表 3-44 に DAS アンテナ 1 局、4 局での送信時における伝送遅延実測結果、図 3-81、図 3-82 に伝送遅延の中央値分布イメージをまとめる。

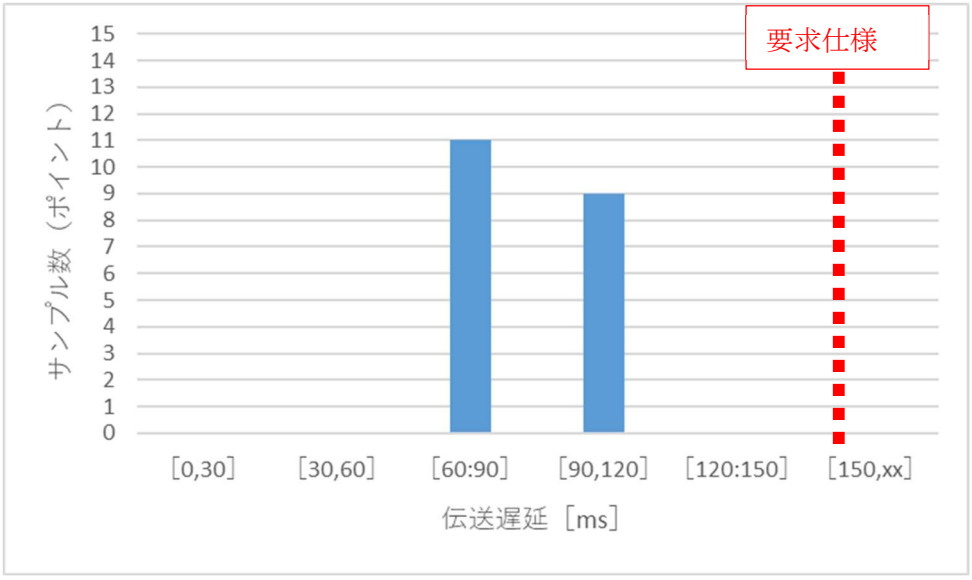


図 3-81 DAS アンテナ 1 局時の伝送遅延分布特性

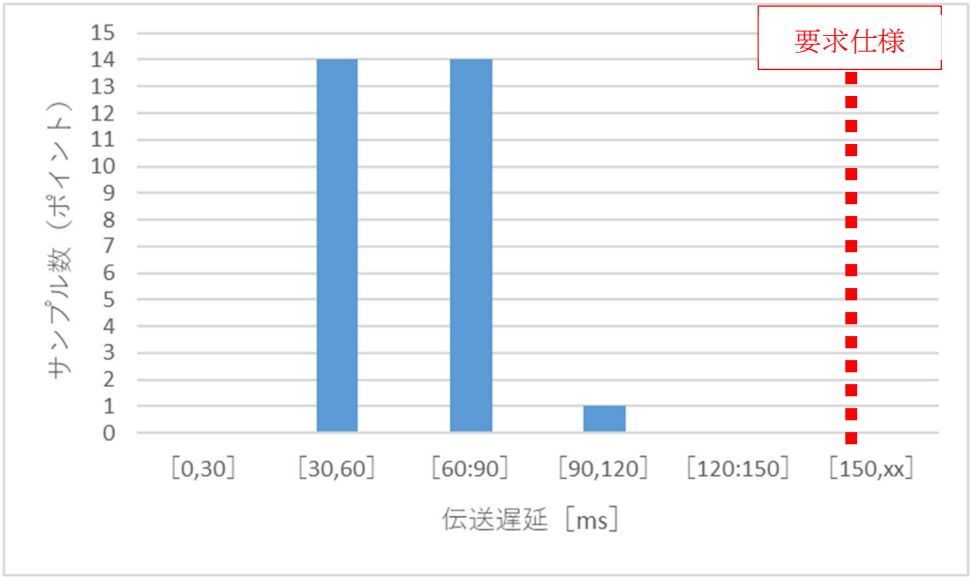


図 3-82 DAS アンテナ 4 局時の伝送遅延分布特性

表 3-43 DAS アンテナ 1 局時の遅延特性

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					伝送遅延* 実測値 [msec]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
1	0	4	4.0	4.1	0.6	4.8	3.3	–	–	–	–	–	
2	0	4	5.4	5.5	0.6	6.2	4.7	95.4	434.7	914.1	744.4	78.0	
3	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
4	0	4	6.8	6.7	0.7	7.7	5.8	92.0	97.1	26.9	106.7	76.8	
5	0	4	5.3	5.3	0.7	6.2	4.6	95.4	100.3	23.7	116.0	78.5	
6	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	業務区域外
7	0	4	3.7	3.7	0.5	4.4	3.1	109.0	130.3	47.5	212.0	92.0	
8	0	4	4.7	4.8	0.7	5.8	3.9	76.3	75.3	18.6	92.2	53.9	
9	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
10	0	4	7.6	7.5	0.7	8.4	6.6	85.5	112.6	61.7	208.0	73.1	
11	0	4	7.0	7.1	0.9	8.2	6.0	97.4	99.3	25.6	113.0	77.2	
12	0	4	4.0	4.0	0.5	4.6	3.3	–	–	–	–	–	業務区域外
13	0	4	8.7	8.7	0.6	9.4	8.0	76.0	81.0	28.1	99.4	56.6	
14	0	4	4.7	4.8	1.0	6.2	3.6	99.5	107.1	36.3	181.2	74.7	
15	0	4	9.6	9.5	0.6	10.3	8.8	68.2	68.4	12.4	84.1	51.4	
16	0	4	5.9	5.9	0.8	7.0	4.9	77.2	80.3	22.5	102.8	60.0	
17	0	4	5.1	5.1	0.8	6.1	4.0	98.6	114.3	46.5	193.4	61.0	
18	0	4	4.0	4.0	0.6	4.7	3.3	–	–	–	–	–	業務区域外
19	0	4	6.7	6.7	0.9	7.9	5.6	89.9	98.6	41.6	180.1	61.9	業務区域外
20	0	4	12.0	12.0	0.3	12.4	11.6	89.9	98.6	41.6	180.1	61.9	
21	0	4	12.3	12.3	0.4	12.7	11.8	68.4	68.2	17.7	83.3	50.4	
22	0	4	7.2	7.2	0.8	8.1	6.1	71.9	74.6	22.4	92.1	55.5	
23	0	4	3.5	3.6	0.5	4.2	3.0	108.0	119.3	40.1	189.5	86.0	
24	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	業務区域外
25	0	4	6.4	6.4	1.0	7.6	5.1	116.0	140.4	54.6	234.4	89.7	業務区域外
26	0	4	11.7	11.7	0.5	12.2	11.2	82.5	94.0	41.2	178.2	60.1	
27	0	4	12.2	12.2	0.3	12.6	11.9	64.4	64.9	11.3	80.7	49.7	
28	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
29	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
30	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	業務区域外

表 3-44　DAS アンテナ 4 局時の遅延特性

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり)	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					伝送遅延* 実測値 [msec]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
61	1	all	6.6	6.5	1.1	7.9	5.1	64.8	68.7	22.1	85.8	50.4	
62	1	all	4.6	4.9	0.9	6.3	4.0	61.9	61.4	12.7	78.0	44.5	
63	1	all	5.7	5.8	0.8	6.9	4.9	61.7	62.3	11.5	77.5	47.3	
64	1	all	10.7	10.5	0.9	11.6	9.5	49.0	47.5	12.7	62.4	30.1	
65	1	all	9.2	9.2	0.6	9.8	8.7	61.0	59.4	13.5	77.2	40.6	
66	1	all	5.4	5.4	0.7	6.2	4.6	83.8	88.8	25.3	117.2	66.0	業務区域外
67	1	all	8.1	8.0	0.6	8.7	7.2	61.9	61.1	13.3	76.6	44.1	
68	1	all	6.8	6.8	0.9	7.9	5.7	63.1	63.1	11.5	78.4	48.0	
69	1	all	4.0	4.0	0.7	4.9	3.2	41.2	41.3	10.2	53.4	28.7	
70	1	all	5.4	5.3	0.8	6.3	4.2	51.4	51.2	10.2	63.3	37.2	
71	1	all	7.6	7.5	1.0	8.9	6.2	47.8	48.9	11.7	65.5	33.8	
72	1	all	4.1	4.4	1.6	6.6	2.7	108.0	120.0	37.0	186.4	88.3	業務区域外
73	1	all	4.7	4.8	0.8	5.9	4.0	47.2	48.6	14.3	69.4	30.8	
74	1	all	10.5	10.1	2.1	12.5	7.7	39.2	44.3	16.0	63.1	27.3	
75	1	all	6.7	6.7	1.7	8.8	4.7	44.8	46.9	13.5	65.1	31.4	
76	1	all	9.0	9.1	1.3	10.8	7.7	45.8	45.6	12.6	59.5	28.9	
77	1	all	5.7	5.6	0.9	6.7	4.5	47.6	47.4	12.6	63.2	30.8	
78	1	all	5.8	5.8	0.7	6.6	5.0	83.1	92.5	32.7	143.8	65.2	業務区域外
79	1	all	6.0	6.2	2.9	10.4	2.6	68.4	67.3	12.9	83.3	49.3	業務区域外
80	1	all	8.0	7.8	1.0	9.0	6.3	50.4	50.0	12.6	65.5	32.0	
81	1	all	5.3	5.3	0.5	6.0	4.7	46.2	46.2	12.1	62.4	30.3	
82	1	all	10.2	10.2	1.0	11.4	8.8	61.4	60.2	14.9	80.5	38.1	
83	1	all	6.6	6.7	0.7	7.5	6.2	48.0	47.5	12.2	63.9	31.2	
84	1	all	4.4	4.5	0.9	5.7	3.5	83.4	86.1	25.0	95.8	60.1	業務区域外
85	1	all	5.6	5.3	1.2	6.7	3.4	70.7	70.5	11.7	85.4	54.0	業務区域外
86	1	all	8.0	8.0	0.3	8.4	7.7	69.6	69.4	11.7	85.4	53.4	
87	1	all	8.2	8.1	0.8	8.9	7.1	53.4	54.2	16.3	70.5	36.2	
88	1	all	5.2	5.2	0.7	6.2	4.3	62.4	63.8	11.7	80.9	49.0	
89	1	all	12.4	12.4	0.5	12.7	12.0	45.5	45.3	11.4	60.3	30.3	
90	1	all	4.1	4.3	1.1	5.9	3.0	94.7	115.7	42.3	199.1	86.0	業務区域外

また、本結果においても 4 局のアンテナを配置した場合に相対的に伝送遅延量が減少しており、DAS の効果が確認できる。

以下 SINR 対伝送遅延特性についてまとめる。

図 3-83 にグラフ化したものを示す。本結果から SINR に対して、遅延量が若干ではあるが削減できていることがわかる。本件、今回の測定方法（アプリケーション層における測定）により、無線にてエラーが発生した場合、iperf アプリから再送が発生することが生じ、その場合、大きく遅延が生じていると想定される。

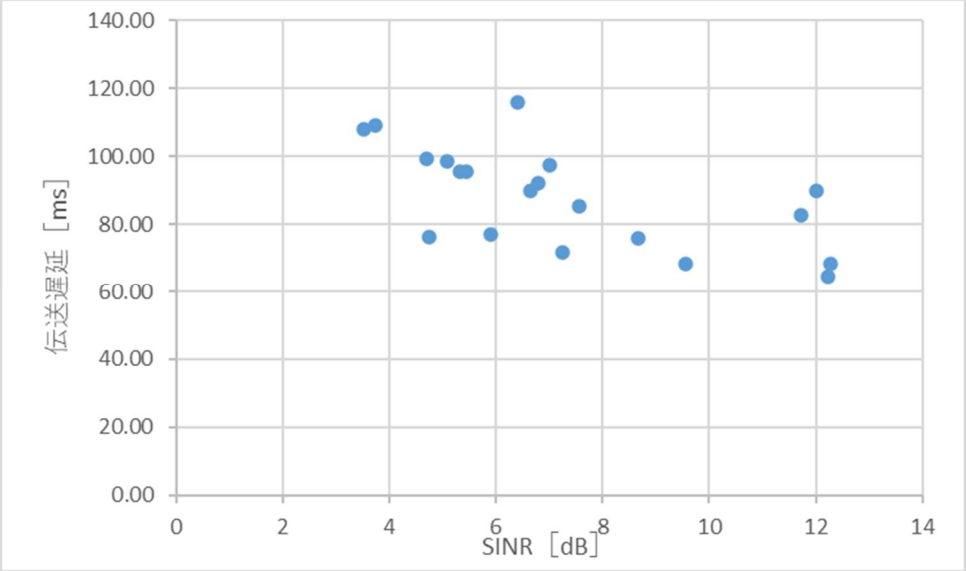


図 3-83 SINR 対伝送遅延特性

つまり、伝送遅延量の相対的な差は、無線部での伝送誤りから起因するものであり、エラーの発生が安定的になっていれば、伝送遅延に差は生じないものと思われる。上記 1 局と 4 局との間に生じていた差分、効果についても、本無線部での伝送誤りが起因しているものと想定される。

本件、ローカル５Ｇシステムの AMC 制御等の最適化により抑えられるのではないかと期待され、継続ローカル５Ｇ機器の性能向上を図る必要がある。

合わせて、安定的に動作した場合の例として図 3-84 に代表的な図を示す。

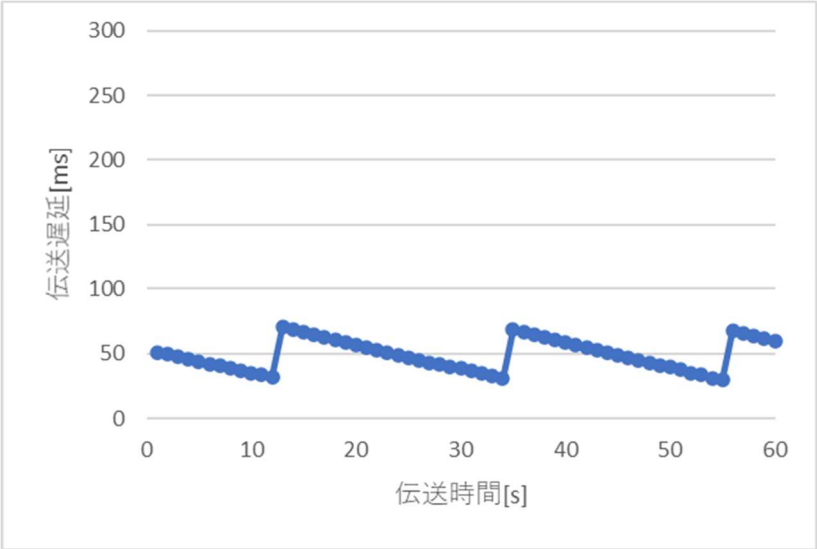


図 3-84 伝送遅延特性

本図からわかるように波形がのこぎり波的になっており、約 20 秒程度周期、最大約 60ms から最速 40ms 弱で動作している。

本特長はローカル５Ｇネットワーク機器間（CU サーバと５Ｇコアサーバ間）等のネットワーク機器間のデータ授受において生じる現象で、この周期はネットワーク機器間のクロック誤差に起因するものと想定される。

本絶対値を含め、５Ｇの特長である低遅延性をより実現するにあたり課題となるものであり、システムとして継続性能向上が必要と考える。

次に下りリンクの測定結果についてまとめる。今回の課題解決型ソリューションでは下りリンクについて要求はないため、参考データとなる。

以下表 3-45 に DAS アンテナ 1 局での送信時における下りスループットの実測結果、図 3-85 に RSRP に対する下りスループット特性を、図 3-87 に SINR に対する下りスループット特性を示す。

同様に表 3-46 に DAS アンテナ 4 局での送信時における下りスループットの実測結果、図 3-86 に RSRP に対する下りスループット特性を、図 3-88 に SINR に対する下りスループット特性を示す。

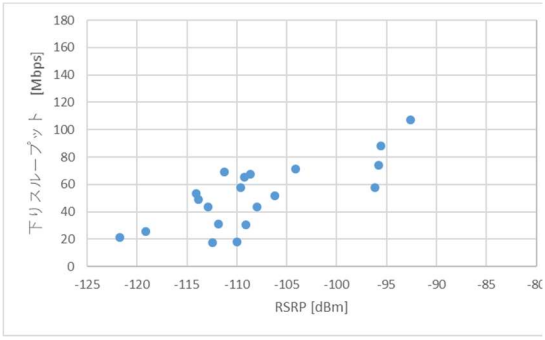


図 3-85　RSRP vs. 下りスループット特性
（DAS アンテナ 1 局のみの場合）

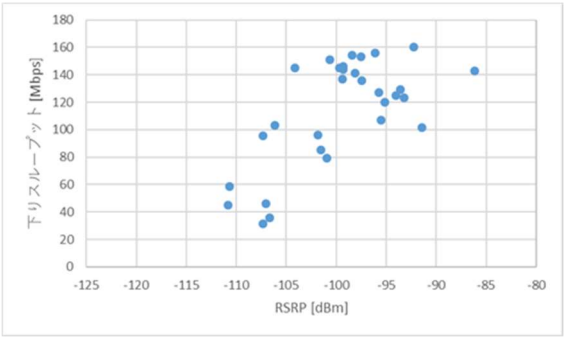


図 3-86　RSRP vs. 下りスループット特性
（DAS アンテナ 4 局の場合）

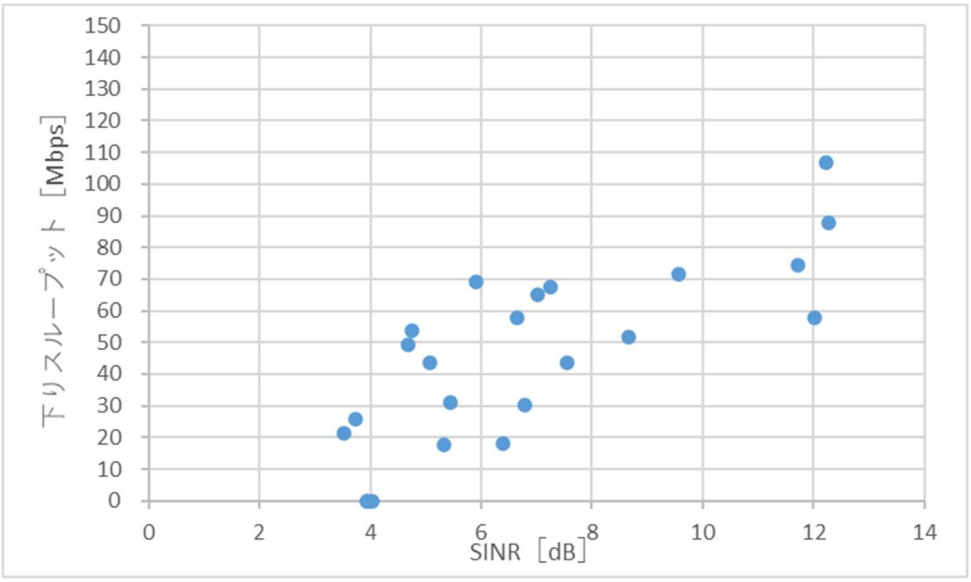


図 3-87　SINR vs. 下りスループット特性（DAS アンテナ 1 局時）

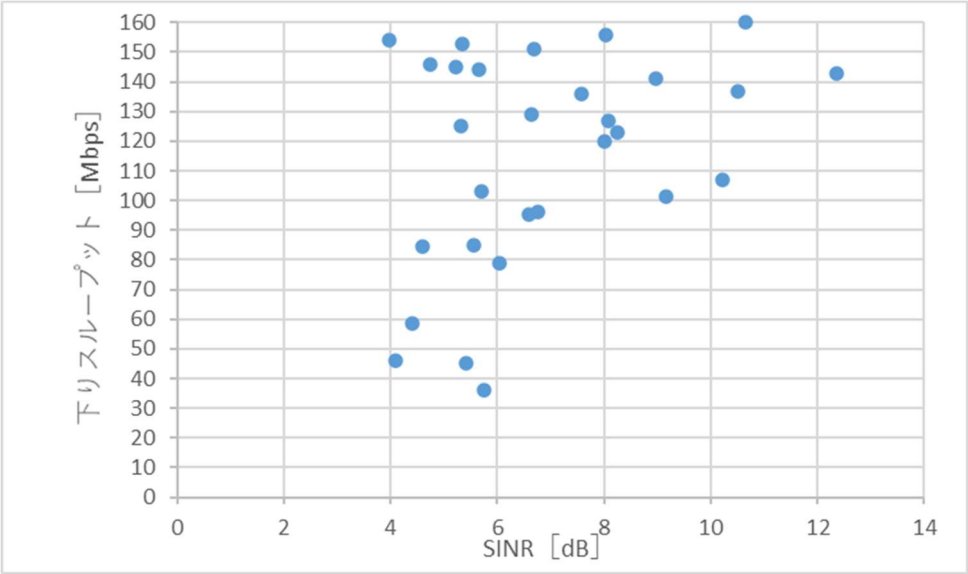


図 3-88 SINR vs. 下りスループット特性(DAS アンテナ 4 局時)

図 3-85、図 3-86 において、RSRP に比例して下りスループットが改善していくことが確認できる。

DAS アンテナ 4 局の測定結果を見てみますと、カバーエリア確保が安定したことから、下りスループットが平均的に向上していることがわかる。ただし、絶対値から見ると決して高スループットが実現できているとは言えない。

本件、以下の理由が想定される。

今回の環境下ではマルチパスがあまり期待されず、直達波が非常に大きな割合を占める環境だと言える。すなわち、基地局（DAS）アンテナから端末が受信する信号は直達信号が大きな割合を占めると想定され、この場合、MIMO の各レイヤの独立性が実現されず、4×4MIMO の特性が得られていないことが想定される。ただし DAS アンテナ 4 局を利用すると各アンテナからの信号がマルチパスのように動作し、1 局の場合と比較して MIMO 効果が得られると想定され、その結果、同 SINR においても下りスループットが改善したのでは、と想定される。

ただし、今回の実証においては、Rank Adaptation 機能が停止している状態（rank4 で固定している状態）での実証となっており、結果的に各レイヤにエラーが生じ、

- MCS が低く設定される
- BLER が多めとなる

という事象が発生し、スループットの低下を招いている、と想定される。

今回、Rank Adaptation を停止させた形での実証方法となったが、今回の実証環境のような場所でのサービスを考えると本機能が重要であり、今後の安定化について継続検討を行う必要があると考える。

表 3-45　DAS アンテナ 1 局時の下りスループット実測結果

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					DL伝送スループット 実測値 [Mbps]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
1	0	4	4.0	4.1	0.6	4.8	3.3	–	–	–	–	–	
2	0	4	5.4	5.5	0.6	6.2	4.7	31.1	30.8	2.7	33.6	26.8	
3	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
4	0	4	6.8	6.7	0.7	7.7	5.8	30.4	29.3	4.2	33.6	22.4	
5	0	4	5.3	5.3	0.7	6.2	4.6	17.5	17.5	0.2	17.8	17.2	
6	0	4	–	–	–	–	–	18.3	17.7	4.6	21.7	14.9	業務区域外
7	0	4	3.7	3.7	0.5	4.4	3.1	25.7	25.3	2.4	27.9	22.0	
8	0	4	4.7	4.8	0.7	5.8	3.9	53.6	52.8	3.3	55.5	48.3	
9	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
10	0	4	7.6	7.5	0.7	8.4	6.6	43.8	43.2	4.3	47.3	37.2	
11	0	4	7.0	7.1	0.9	8.2	6.0	65.2	65.1	1.9	67.2	63.1	
12	0	4	4.0	4.0	0.5	4.6	3.3	–	–	–	–	–	業務区域外
13	0	4	8.7	8.7	0.6	9.4	8.0	51.8	49.2	10.5	53.9	48.5	
14	0	4	4.7	4.8	1.0	6.2	3.6	49.2	48.8	8.5	58.6	39.9	
15	0	4	9.6	9.5	0.6	10.3	8.8	71.5	69.7	9.0	77.6	59.4	
16	0	4	5.9	5.9	0.8	7.0	4.9	69.1	65.2	11.9	76.6	49.4	
17	0	4	5.1	5.1	0.8	6.1	4.0	43.8	44.6	8.0	55.1	36.5	
18	0	4	4.0	4.0	0.6	4.7	3.3	–	–	–	–	–	業務区域外
19	0	4	6.7	6.7	0.9	7.9	5.6	57.9	57.4	5.6	63.6	50.0	業務区域外
20	0	4	12.0	12.0	0.3	12.4	11.6	57.9	57.4	5.6	63.6	50.0	
21	0	4	12.3	12.3	0.4	12.7	11.8	88.0	83.0	12.5	92.4	69.4	
22	0	4	7.2	7.2	0.8	8.1	6.1	67.7	63.0	16.1	76.1	32.5	
23	0	4	3.5	3.6	0.5	4.2	3.0	21.3	21.6	4.0	27.7	17.3	
24	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	業務区域外
25	0	4	6.4	6.4	1.0	7.6	5.1	18.2	18.2	1.7	20.5	16.4	業務区域外
26	0	4	11.7	11.7	0.5	12.2	11.2	74.3	69.9	9.7	78.3	53.3	
27	0	4	12.2	12.2	0.3	12.6	11.9	107.0	106.2	7.2	114.0	99.0	
28	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
29	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
30	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	業務区域外

表 3-46　DAS アンテナ 4 局時の下りスループット実測結果

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり)	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					DL伝送スループット 実測値 [Mbps]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
61	1	all	6.6	6.5	1.1	7.9	5.1	95.4	91.8	10.9	99.5	84.0	
62	1	all	4.6	4.9	0.9	6.3	4.0	84.5	145.0	7.1	155.0	136.0	
63	1	all	5.7	5.8	0.8	6.9	4.9	103.0	104.8	8.3	116.0	96.2	
64	1	all	10.7	10.5	0.9	11.6	9.5	160.0	159.8	7.8	170.0	150.0	
65	1	all	9.2	9.2	0.6	9.8	8.7	101.5	102.1	17.8	119.0	93.0	
66	1	all	5.4	5.4	0.7	6.2	4.6	45.0	44.9	4.7	49.6	39.4	業務区域外
67	1	all	8.1	8.0	0.6	8.7	7.2	127.0	126.3	5.9	132.0	120.0	
68	1	all	6.8	6.8	0.9	7.9	5.7	96.1	95.1	8.0	100.9	91.9	
69	1	all	4.0	4.0	0.7	4.9	3.2	154.0	153.3	9.6	164.0	142.0	
70	1	all	5.4	5.3	0.8	6.3	4.2	153.0	139.7	42.2	158.0	137.0	
71	1	all	7.6	7.5	1.0	8.9	6.2	136.0	129.1	28.6	144.0	121.0	
72	1	all	4.1	4.4	1.6	6.6	2.7	31.6	32.1	2.8	36.1	28.8	業務区域外
73	1	all	4.7	4.8	0.8	5.9	4.0	146.0	138.7	30.0	153.0	130.0	
74	1	all	10.5	10.1	2.1	12.5	7.7	137.0	129.1	26.1	147.0	90.4	
75	1	all	6.7	6.7	1.7	8.8	4.7	151.0	150.9	8.2	162.0	142.0	
76	1	all	9.0	9.1	1.3	10.8	7.7	141.0	140.5	7.3	150.0	131.0	
77	1	all	5.7	5.6	0.9	6.7	4.5	144.0	138.9	20.5	148.0	133.0	
78	1	all	5.8	5.8	0.7	6.6	5.0	36.0	36.1	2.2	39.1	33.6	業務区域外
79	1	all	6.0	6.2	2.9	10.4	2.6	79.1	79.1	13.8	91.2	66.4	業務区域外
80	1	all	8.0	7.8	1.0	9.0	6.3	156.0	154.9	7.4	163.0	144.0	
81	1	all	5.3	5.3	0.5	6.0	4.7	125.0	123.4	13.3	133.0	119.0	
82	1	all	10.2	10.2	1.0	11.4	8.8	107.0	105.6	10.7	115.9	93.0	
83	1	all	6.6	6.7	0.7	7.5	6.2	129.0	128.6	9.5	140.0	115.0	
84	1	all	4.4	4.5	0.9	5.7	3.5	58.7	56.5	10.0	65.6	45.5	業務区域外
85	1	all	5.6	5.3	1.2	6.7	3.4	85.1	82.9	5.4	88.1	74.1	業務区域外
86	1	all	8.0	8.0	0.3	8.4	7.7	120.0	118.7	7.0	127.0	109.0	
87	1	all	8.2	8.1	0.8	8.9	7.1	123.0	121.5	13.8	132.0	116.0	
88	1	all	5.2	5.2	0.7	6.2	4.3	145.0	146.1	7.3	156.0	138.0	
89	1	all	12.4	12.4	0.5	12.7	12.0	143.0	141.5	10.5	155.0	125.0	
90	1	all	4.1	4.3	1.1	5.9	3.0	46.0	46.0	3.2	49.6	41.9	業務区域外

② 遮蔽に対する効果検証

第 2 の実証として、DAS のメリットとなりうる、遮蔽に対する効果検証について以下にまとめる。測定ポイントとしては上述の業務区域内測定と同様である。

今回想定する課題解決型ソリューションにおける利用シーンでは、端末をロボットトラクタに搭載し、業務区域内（放牧地内）を移動するということを想定しているため、車両の向き等により、自身そのものによる遮蔽が生じることが想定され、アンテナ 1 局（1 方向）からの電波放射によるエリア構築であると、通信断、映像伝送が途切れる、などの不具合が発生する可能性が危惧される。

本実験では、上記課題を鑑み、業務区域内において、１つのアンテナ方向（DAS アンテナ 4）に遮蔽物としてトラクタを配置した場合の遮蔽影響と DAS アンテナによる改善効果を確認するものである。

まず DAS アンテナ 1 局、表 3-47、図 3-89 および 4 局の場合の RSRP 測定結果を表 3-48 図 3-90 にまとめる。

表 3-47 DAS アンテナ 1 局時の RSRP 実測結果(遮蔽あり)

測定点ID	DASID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm] 中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	備考
31	4	-133.6	-	-	-	-	-	
32	4	-134.8	-	-	-	-	-	
33	4	-136.7	-	-	-	-	-	
34	4	-147.5	-	-	-	-	-	
35	4	-147.8	-	-	-	-	-	
36	4	-155.6						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
37	4	-153.8	-	-	-	-	-	
38	4	-145.0	-	-	-	-	-	
39	4	-142.7	-	-	-	-	-	
40	4	-130.8	-	-	-	-	-	
41	4	-131.5	-	-	-	-	-	
42	4	-132.5						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
43	4	-131.8	-118.2	-118.1	2.1	-115.5	-120.5	
44	4	-129.8	-	-	-	-	-	
45	4	-129.9	-118.9	-118.9	2.4	-116.2	-121.4	
46	4	-130.9	-	-	-	-	-	
47	4	-147.6	-120.6	-120.7	2.0	-118.7	-122.6	
48	4	-152.7						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
49	4	-153.9						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
50	4	-153.9	-	-	-	-	-	
51	4	-123.2	-113.9	-114.0	2.2	-111.2	-116.9	
52	4	-117.2	-118.0	-118.1	2.0	-115.8	-120.4	
53	4	-126.1	-	-	-	-	-	
54	4	-136.3						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
55	4	-138.2						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
56	4	-131.1	-116.1	-116.3	3.0	-112.6	-120.2	
57	4	-107.8	-104.6	-105.0	2.5	-102.8	-107.2	
58	4	-120.5						遮蔽ができないため測定不可
59	4	-131.1						遮蔽ができないため測定不可
60	4	-155.4						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外

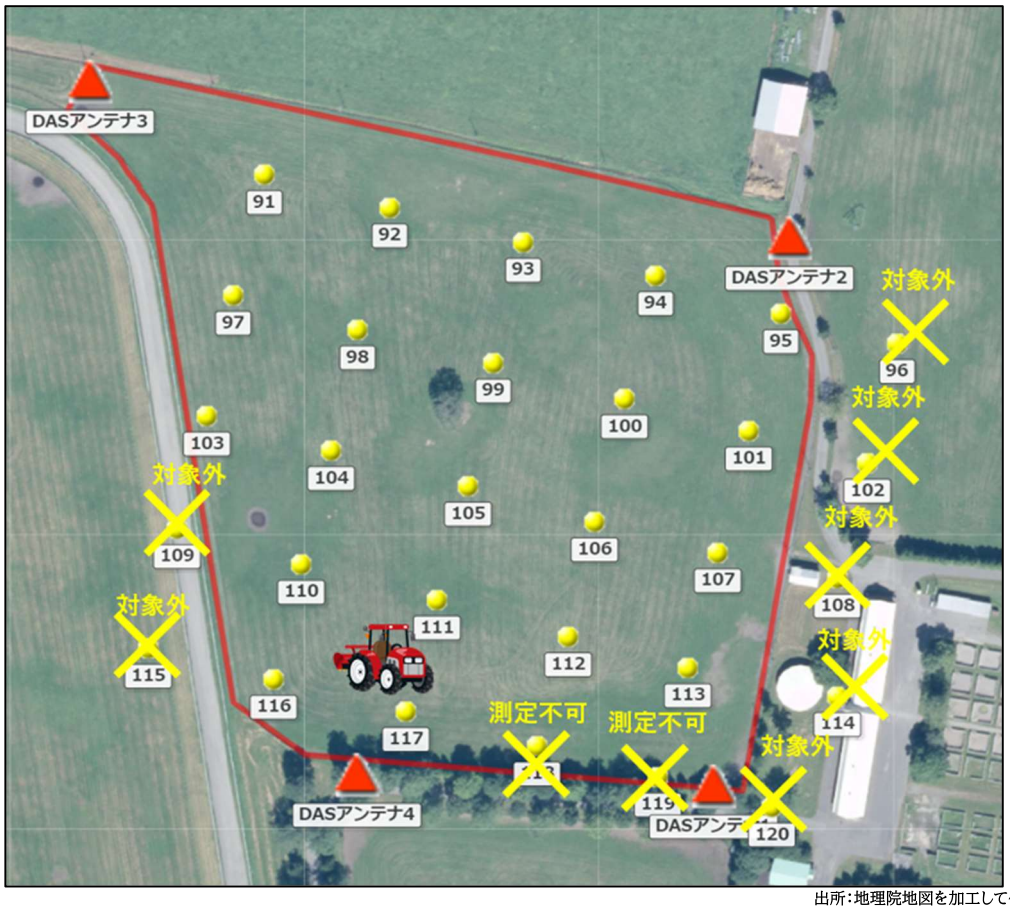


出所：地理院地図を加工して作成

図 3-89　DAS1 局（DAS アンテナ 4）のみによる遮蔽時の RSRP 測定結果

表 3-48 DAS アンテナ 4 局時の RSRP 実測結果(遮蔽あり)

測定点ID	DASID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
91	SUM	-92.4	-102.4	-103.4	3.8	-100.1	-107.4	
92	SUM	-97.6	-102.2	-103.1	4.3	-98.8	-108.6	
93	SUM	-94.6	-104.9	-104.4	2.7	-100.0	-107.2	
94	SUM	-90.8	-92.8	-93.3	2.8	-90.6	-96.0	
95	SUM	-98.3	-91.3	-91.6	1.7	-89.9	-93.8	
96	SUM	-112.3						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
97	SUM	-108.4	-95.1	-95.3	2.0	-94.0	-96.1	
98	SUM	-99.6	-99.1	-99.5	2.8	-96.9	-103.4	
99	SUM	-95.5	-97.6	-97.6	2.8	-94.9	-99.7	
100	SUM	-95.3	-91.0	-91.1	1.2	-89.8	-92.3	
101	SUM	-96.5	-97.7	-97.6	1.7	-95.1	-99.6	
102	SUM	-95.2						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
103	SUM	-96.9	-99.9	-100.2	2.5	-98.6	-101.8	
104	SUM	-97.5	-98.1	-98.9	2.5	-96.5	-102.5	
105	SUM	-97.2	-98.9	-99.4	2.7	-96.6	-102.8	
106	SUM	-94.4	-97.6	-97.8	1.9	-95.5	-100.3	
107	SUM	-94.5	-97.2	-97.0	1.8	-95.4	-98.6	
108	SUM	-106.9						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
109	SUM	-105.1						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
110	SUM	-84.6	-94.4	-94.6	2.2	-93.6	-95.8	
111	SUM	-92.0	-94.5	-94.8	1.7	-93.7	-96.1	
112	SUM	-95.7	-96.4	-96.7	2.2	-94.6	-98.7	
113	SUM	-97.3	-88.8	-88.9	2.2	-87.0	-90.9	
114	SUM	-98.9						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
115	SUM	-100.4						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外
116	SUM	-99.4	-104.0	-104.5	1.8	-103.6	-105.1	
117	SUM	-97.7	-96.7	-96.7	1.0	-95.5	-98.1	
118	SUM	-94.3						遮蔽ができないため測定不可
119	SUM	-90.7						遮蔽ができないため測定不可
120	SUM	-111.6						遮蔽ができないため測定不可/業務区域外



出所:地理院地図を加工して作成

図 3-90 DAS4 局(アンテナ1～4)による遮蔽時の RSRP 測定結果

ここで上述の実測結果との比較により、DAS1 アンテナ時の遮蔽有無による劣化量を表 3-49 にまとめる。

表 3-49 遮蔽による影響

DASID	遮蔽なし実測値 [dBm]		遮蔽あり実測値 [dBm]		遮蔽影響［dB］
	測定点ID	中央値	測定点ID	中央値	
4	1	-116.5	31	-	-
4	2	-111.8	32	-	-
4	3	-	33	-	-
4	4	-109.1	34	-	-
4	5	-112.5	35	-	-
4	6	-	36		
4	7	-119.2	37	-	-
4	8	-114.0	38	-	-
4	9	-	39	-	-
4	10	-108.0	40	-	-
4	11	-109.2	41	-	-
4	12	-117.3	42		
4	13	-106.2	43	-118.15	-12.0
4	14	-113.9	44	-	-
4	15	-104.1	45	-118.92	-14.8
4	16	-111.3	46	-	-
4	17	-112.9	47	-120.57	-7.7
4	18	-117.5	48		
4	19	-109.6	49		
4	20	-96.2	50	-	-
4	21	-95.6	51	-113.9	-18.4
4	22	-108.6	52	-118.04	-9.4
4	23	-121.8	53	-	-
4	24	-	54		
4	25	-110.0	55		
4	26	-95.8	56	-116.09	-20.3
4	27	-92.6	57	-104.6	-12.0
4	28	-	58		
4	29	-	59		
4	30	-	60		

今回遮蔽有無双方で測定できたポイントは７ポイント程度であり、その７点のみの比較である。結果 7.7～20.3dB、平均-13.5dB 程度の差が見受けられており、シミュレーションにおいて遮蔽物の影響を 20dB としていたが、それよりは少し影響が小さいという結果となった。

次に 1 局と 4 局の比較として RSRP の累積分布を図 3-91 に示す。

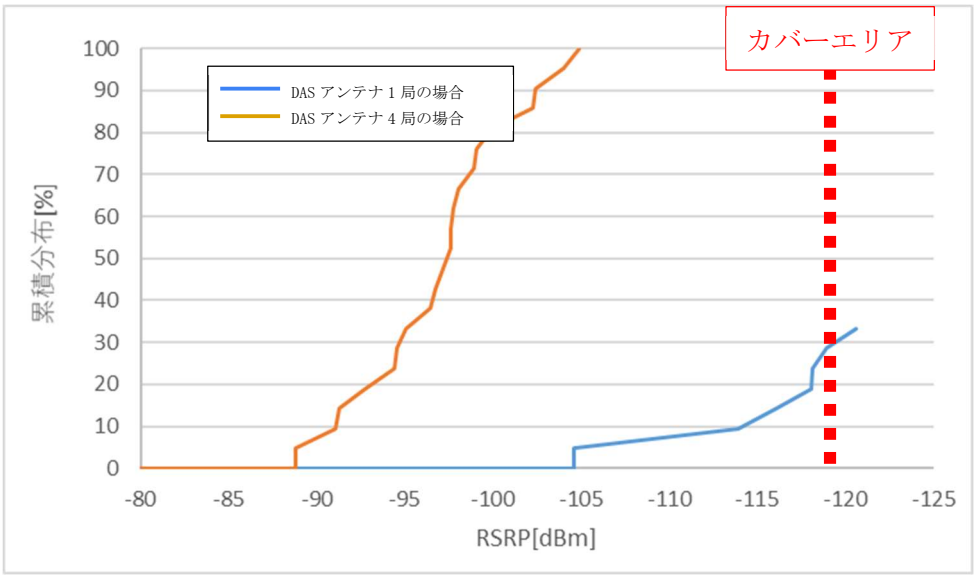


図 3-91 RSRP 累積分布の比較(遮蔽物がある場合)

本結果より、アンテナ 1 局のみの場合、遮蔽が生じるような利用シーンを想定すると、そのカバーエリアは業務区域の 30%程度になる、ということがわかる。しかしこの条件下で DAS を活用し、4 局での送信を実施すると、RSRP 特性は大幅に改善し、業務区域内すべてをカバーできることが確認できる。

次に上りスループットについて評価結果をまとめる。上述のとおり、今回の課題解決型ソリューションにおいては、要求仕様として 40Mbps 以上が求められているため、40Mbps 以上を要求仕様として評価を行った。測定ポイントとしては上記業務区域内測定ポイントと同様の 30 ポイントとし、測定点 ID としては遮蔽がない場合に対して“+30”インクリメントした値としている。

以下表 3-50 に上りスループット測定結果を、併せて、その際のスループット中央値分布を図 3-92 にまとめる。合わせて、エリアに図示したものを図 3-93 に示す。

表 3-50　DAS アンテナ 1 局時の上りスループット実測結果（遮蔽あり）

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり)	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					UL伝送スループット 実測値 [Mbps]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
31	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
32	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
33	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
34	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
35	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
36	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
37	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
38	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
39	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
40	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
41	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
42	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
43	0	4	3.9	3.9	0.6	4.5	3.2	–	–	–	–	–	
44	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
45	0	4	3.7	3.7	0.5	4.4	3.0	–	–	–	–	–	
46	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
47	0	4	3.5	3.6	0.5	4.2	2.9	–	–	–	–	–	
48	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
49	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
50	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
51	0	4	4.8	4.9	0.8	6.0	3.8	22.4	22.4	3.5	26.4	18.4	
52	0	4	3.9	3.9	0.5	4.6	3.2	–	–	–	–	–	
53	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
54	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
55	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
56	0	4	4.3	4.3	0.8	5.4	3.4	33.5	33.1	2.4	34.6	32.0	
57	0	4	9.3	9.1	1.3	10.4	7.5	66.5	68.2	3.1	72.1	65.6	
58	0	4											遮蔽物配置制限から測定対象外
59	0	4											遮蔽物配置制限から測定対象外
60	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外

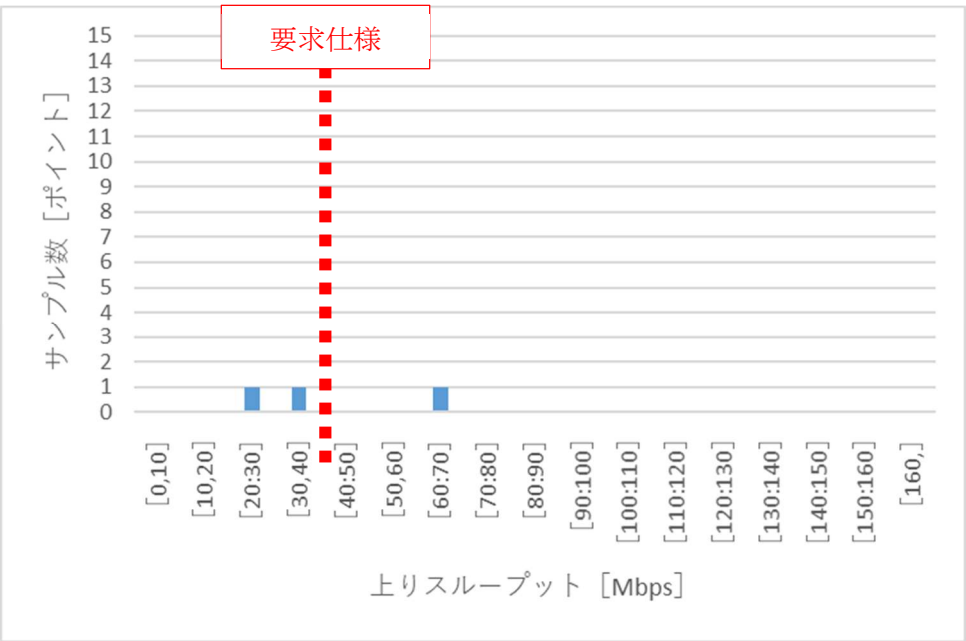


図 3-92 DAS アンテナ 1 局時の上りスループット実測結果中央値分布



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-93 DAS1 局(DAS アンテナ 4)のみによる遮蔽時の上りスループット測定結果

図 3-92 より、要求仕様を満足しているポイントは 1 ポイントのみとなっている。
遮蔽物を配置しなかった場合と比較すると、要求仕様を満足しているポイントが 8 ポイントから 1 ポイントに減少しており、今回の遮蔽物による影響が非常に大きいことがわかる。

次に DAS4 局を配置した場合の上りスループット測定結果を表 3-51 に、併せて、その際のスループット中央値分布を図 3-94 にまとめる。測定点 ID は 1 アンテナ時の測定点 ID に対して、“+60”インクリメントした値としている。
合わせて、エリアに図示したものを図 3-95 に示す。

表 3-51 DAS アンテナ 4 局時の上りスループット実測結果(遮蔽あり)

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり)	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					UL伝送スループット 実測値 [Mbps]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
91	1	all	8.3	8.1	1.5	9.8	6.0	50.4	50.4	5.3	57.8	43.6	
92	1	all	5.7	6.0	1.7	8.3	4.1	40.1	39.7	6.2	46.1	32.3	
93	1	all	6.6	6.7	1.6	8.8	4.7	45.5	45.5	7.9	55.2	39.0	
94	1	all	10.5	10.3	1.5	12.0	8.5	57.1	54.8	6.7	62.0	43.7	
95	1	all	11.4	11.2	1.4	12.7	9.4	48.1	40.5	23.7	65.5	0.2	
96	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
97	1	all	6.7	6.7	0.6	7.5	5.9	45.3	45.3	11.5	58.0	31.2	
98	1	all	8.4	8.5	2.3	11.6	5.4	39.5	38.9	3.7	43.2	33.6	
99	1	all	6.1	6.2	2.3	9.4	3.5	53.0	44.9	17.1	58.9	19.0	
100	1	all	9.0	9.4	2.5	12.1	6.7	58.4	56.3	9.5	64.1	43.5	
101	1	all	5.8	6.2	2.1	9.3	3.6	52.3	46.2	14.8	58.6	15.0	
102	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
103	1	all	4.0	5.2	3.0	10.6	2.4	36.9	38.8	5.1	46.7	34.9	
104	1	all	9.0	9.4	3.9	14.3	4.9	43.5	41.6	9.7	52.9	29.4	
105	1	all	12.2	11.9	2.8	15.3	8.2	51.4	49.6	9.5	57.0	40.8	
106	1	all	9.1	9.3	2.6	12.6	6.0	52.0	55.0	7.7	65.0	47.2	
107	1	all	10.0	9.8	1.7	11.9	7.2	62.8	48.5	28.2	72.6	0.0	
108	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
109	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
110	1	all	12.0	11.9	0.9	12.8	11.0	51.9	51.6	5.4	58.2	43.9	
111	1	all	9.6	10.0	2.2	12.4	8.1	44.4	45.5	6.6	56.2	38.5	
112	1	all	7.1	7.4	1.9	10.0	5.3	50.5	48.1	11.5	59.4	30.5	
113	1	all	11.6	11.6	0.7	12.3	11.0	42.8	44.0	12.2	60.6	28.7	
114	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
115	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
116	1	all	6.5	6.5	0.8	7.5	5.7	38.1	38.0	2.7	39.7	37.0	
117	1	all	10.3	10.0	1.3	11.5	8.2	99.0	96.4	13.4	110.0	80.9	
118	1	all											遮蔽物配置制限から測定対象外
119	1	all											遮蔽物配置制限から測定対象外
120	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外

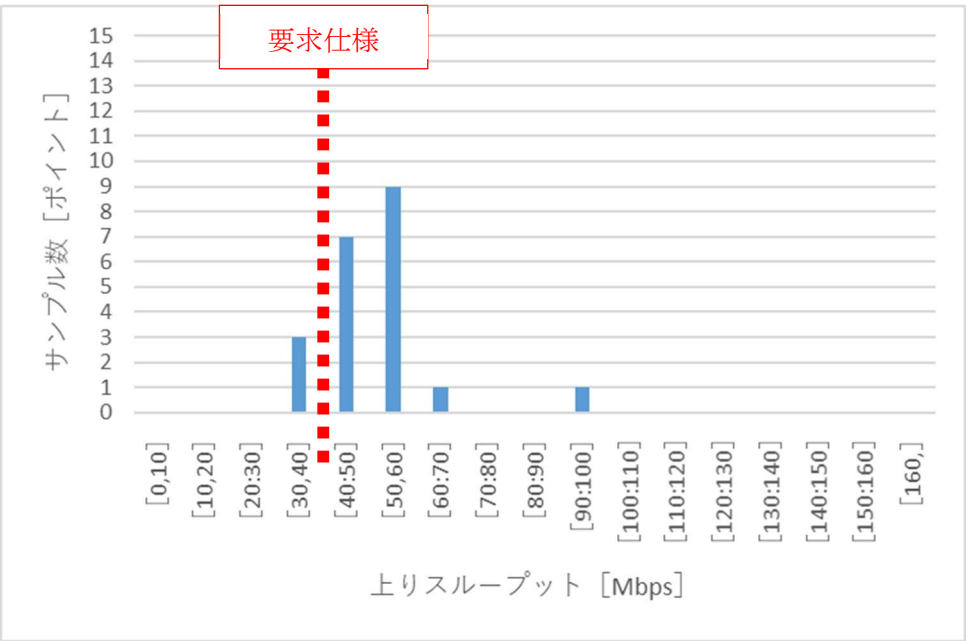
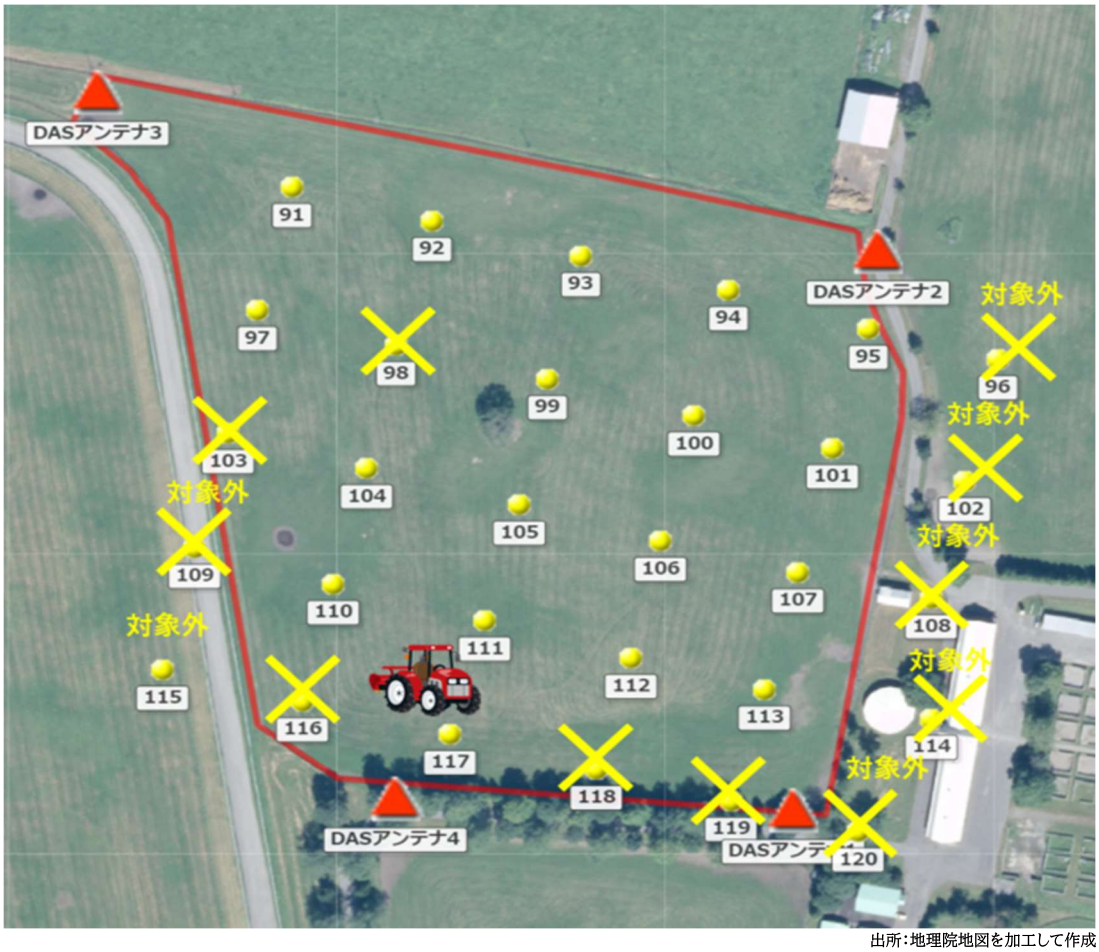


図 3-94 DAS アンテナ 4 局時の上りスループット実測値中央値分布（遮蔽あり）



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-95 DAS4 局（アンテナ1～4）による遮蔽時の上りスループット測定結果

図 3-94 より、そもそも通信が確立できないポイント、課題実証／ソリューションとしての要求仕様の 40Mbps 以上を確保できないポイントが業務区域内 23 ポイント中 2 点の測定不可ポイントを除いた 21 ポイントのうち 30 ポイント中 3 ポイント存在し、そのポイントにおいてもほぼ 40Mbps に近い値（35Mbps 以上）を維持していることから業務区域内全域でほぼサービス実現が可能な環境が実現できている。

次に、上りスループット測定結果に関し、RSRP に対するスループット特性を以下図 3-96、および図 3-97 にまとめる。合わせて SINR に対する上りスループット特性をそれぞれ図 3-98、図 3-99 に示す

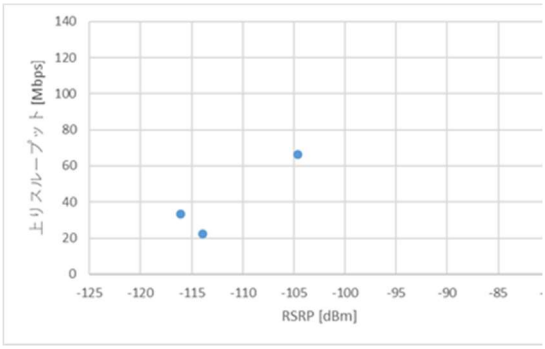


図 3-96 RSRP vs. 上りスループット
（DAS アンテナ 1 局のみ遮蔽ありの場合）

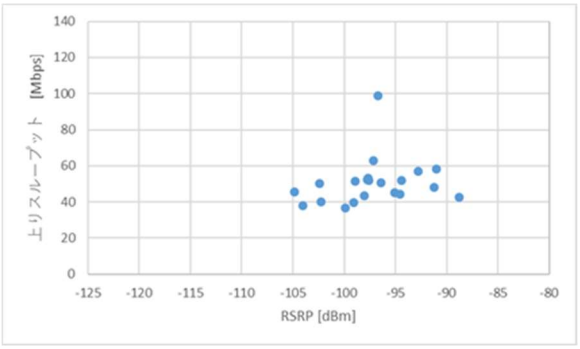


図 3-97 RSRP vs. 上りスループット特性
（DAS アンテナ 4 局遮蔽ありの場合）

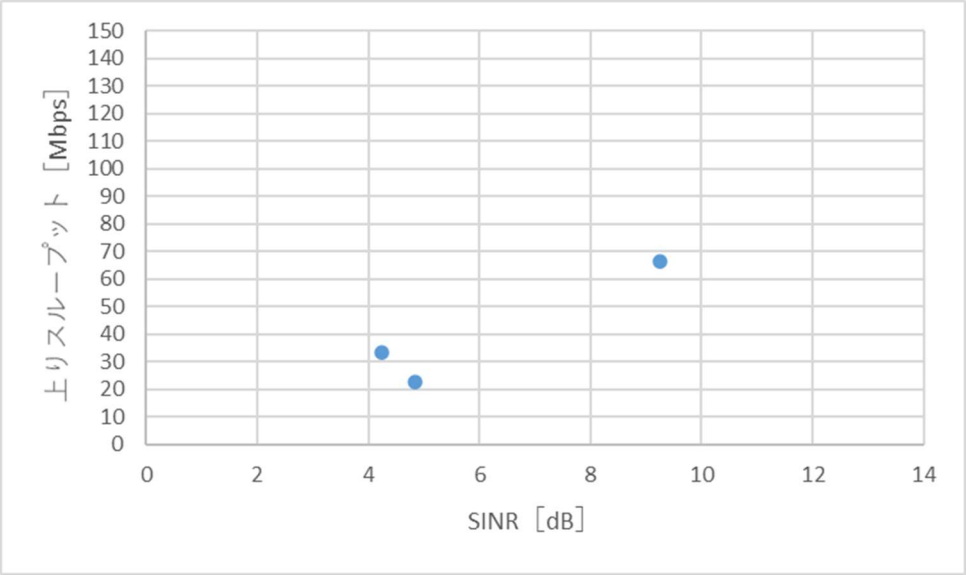


図 3-98　SINR vs.　上りスループット特性（遮蔽あり、DAS アンテナ 1 局時）

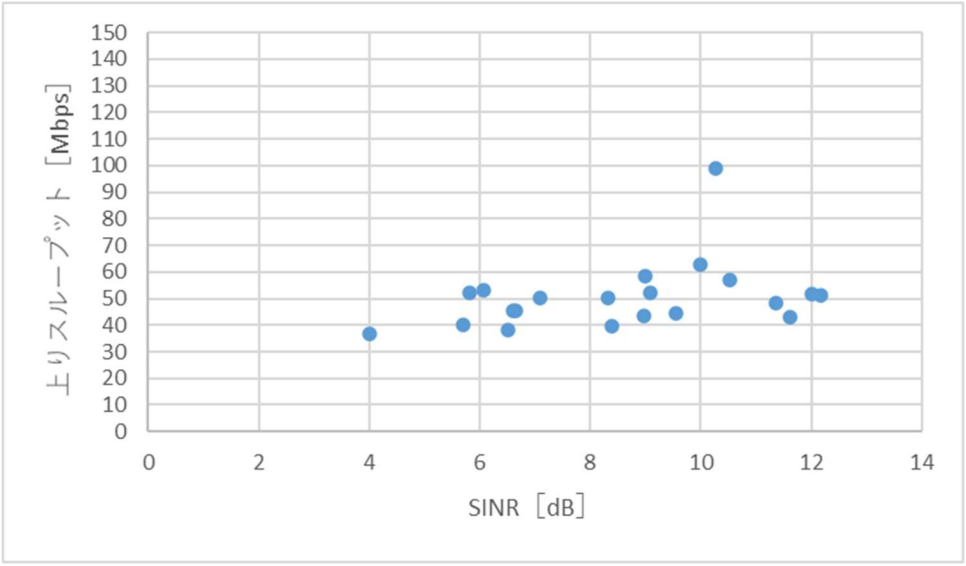


図 3-99　SINR vs.　上りスループット特性（遮蔽あり、DAS アンテナ 4 局時）

図 3-96、図 3-98 ではサンプル数が少なく、あまり特長は得られないが図 3-97、図 3-99 を見ると、4 アンテナを利用した場合には上りスループットがあまり RSRP、SINR と連動せず一定となっていることがわかる。本件、上りスループット品質を考えた場合、上り送信電力は基地局より送信電力制御がなされ、基地局入力端での受信レベル、すなわち基地局受信品質が一定に保たれるため、結果的に下り受信電力によらず、上りのスループットが一定となったことが想定される。この特徴は下りスループットとは異なる非常に特徴的な点であると考える。

次に伝送遅延特性について評価結果をまとめる。

測定ポイントについては上記上りスループットと同様である。

以下表 3-52、表 3-53 に DAS アンテナ 1 局、4 局での送信時における伝送遅延実測結果、図 3-100、図 3-101 に伝送遅延の中央値分布イメージをまとめる。

表 3-52 DAS アンテナ 1 局時の伝送遅延特性(遮蔽あり)

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり)	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					伝送遅延* 実測値 [msec]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
31	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
32	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
33	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
34	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
35	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
36	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
37	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
38	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
39	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
40	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
41	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
42	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
43	0	4	3.9	3.9	0.6	4.5	3.2	–	–	–	–	–	
44	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
45	0	4	3.7	3.7	0.5	4.4	3.0	–	–	–	–	–	
46	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
47	0	4	3.5	3.6	0.5	4.2	2.9	–	–	–	–	–	
48	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
49	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
50	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
51	0	4	4.8	4.9	0.8	6.0	3.8	56.0	64.0	20.9	100.7	48.4	
52	0	4	3.9	3.9	0.5	4.6	3.2	–	–	–	–	–	
53	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
54	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
55	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
56	0	4	4.3	4.3	0.8	5.4	3.4	64.0	77.3	26.6	114.6	47.2	
57	0	4	9.3	9.1	1.3	10.4	7.5	36.3	37.1	7.8	45.2	28.2	
58	0	4											遮蔽物配置制限から測定対象外
59	0	4											遮蔽物配置制限から測定対象外
60	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外

表 3-53　DAS アンテナ 4 局時の伝送遅延特性（遮蔽あり）

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり)	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					伝送遅延* 実測値 [msec]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
91	1	all	8.3	8.1	1.5	9.8	6.0	72.4	74.5	22.2	88.3	53.3	
92	1	all	5.7	6.0	1.7	8.3	4.1	85.0	84.7	22.1	98.1	59.5	
93	1	all	6.6	6.7	1.6	8.8	4.7	71.4	71.1	11.8	85.4	55.1	
94	1	all	10.5	10.3	1.5	12.0	8.5	52.5	59.3	29.3	82.7	32.6	
95	1	all	11.4	11.2	1.4	12.7	9.4	52.8	53.8	19.5	69.4	34.2	
96	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
97	1	all	6.7	6.7	0.6	7.5	5.9	69.2	68.6	15.4	87.2	48.3	
98	1	all	8.4	8.5	2.3	11.6	5.4	71.0	71.0	11.3	85.5	56.6	
99	1	all	6.1	6.2	2.3	9.4	3.5	47.7	48.3	12.5	64.1	31.4	
100	1	all	9.0	9.4	2.5	12.1	6.7	49.1	47.9	12.9	64.3	30.7	
101	1	all	5.8	6.2	2.1	9.3	3.6	66.1	66.7	19.3	82.6	46.8	
102	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
103	1	all	4.0	5.2	3.0	10.6	2.4	59.2	58.7	13.9	76.0	40.3	
104	1	all	9.0	9.4	3.9	14.3	4.9	61.2	61.1	14.8	82.5	40.1	
105	1	all	12.2	11.9	2.8	15.3	8.2	55.6	55.8	12.2	73.1	39.4	
106	1	all	9.1	9.3	2.6	12.6	6.0	64.8	67.6	22.8	81.5	50.1	
107	1	all	10.0	9.8	1.7	11.9	7.2	72.4	81.8	36.0	157.0	51.7	
108	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
109	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
110	1	all	12.0	11.9	0.9	12.8	11.0	65.6	67.1	12.0	83.3	51.4	
111	1	all	9.6	10.0	2.2	12.4	8.1	54.8	55.5	13.6	73.4	39.0	
112	1	all	7.1	7.4	1.9	10.0	5.3	54.1	53.7	12.7	69.3	37.2	
113	1	all	11.6	11.6	0.7	12.3	11.0	37.6	37.1	12.5	53.4	19.9	
114	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
115	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
116	1	all	6.5	6.5	0.8	7.5	5.7	92.3	92.1	25.2	113.4	67.2	
117	1	all	10.3	10.0	1.3	11.5	8.2	67.1	64.0	14.2	83.0	41.4	
118	1	all											遮蔽物配置制限から測定対象外
119	1	all											遮蔽物配置制限から測定対象外
120	1	all											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外

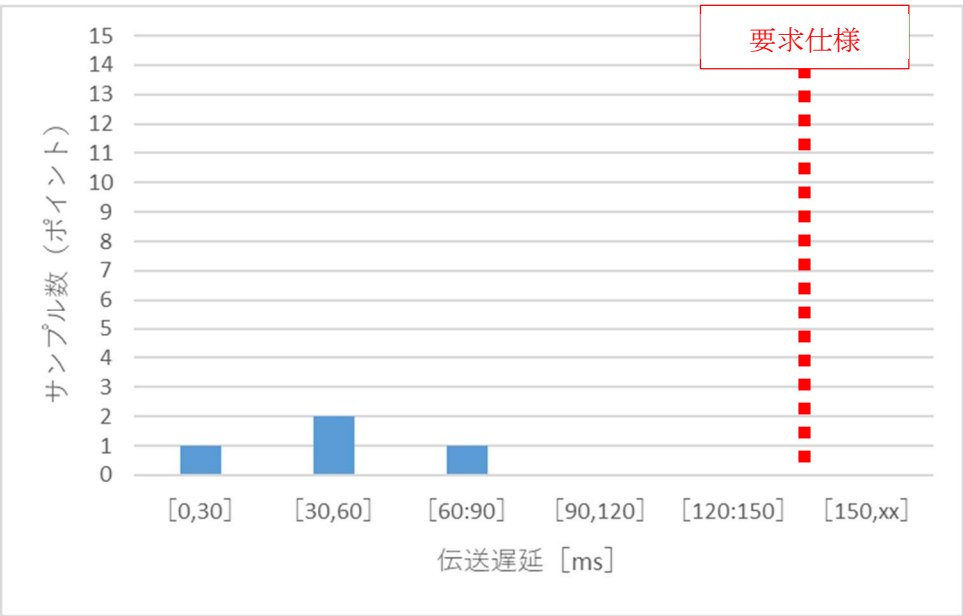


図 3-100 DAS アンテナ 1 局時の伝送遅延中央値分布（遮蔽あり）

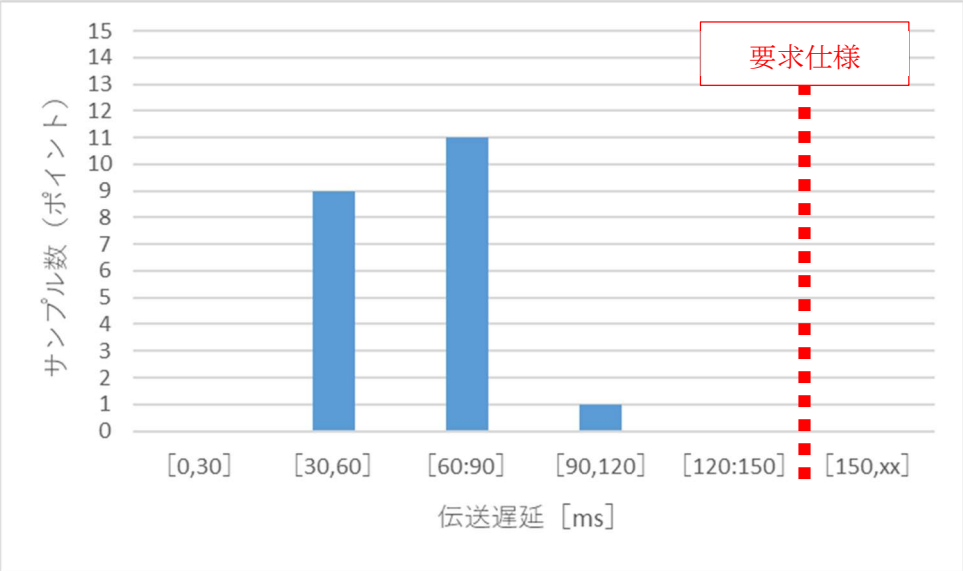


図 3-101 DAS アンテナ 4 局時の伝送遅延中央値分布（遮蔽あり）

本結果より、測定可能だったポイントでは、要求仕様としておいた 150ms を満足していることがわかる。

本結果においても 4 局のアンテナを配置した場合に相対的に伝送遅延量が減少しており、DAS の効果が確認できる。

ただし、サンプルによっては秒を超えるような遅延も観測された。本件、やはり無線伝送の誤りによりアプリレイヤでの再送が生じた場合に起こる結果と想定され、無線部においてこのような遅延が生じるものではない。

以下 SINR 対遅延特性についてまとめる。図 3-102、図 3-103 に DAS アンテナ 1 局時、4 局時のグラフをそれぞれ示す。

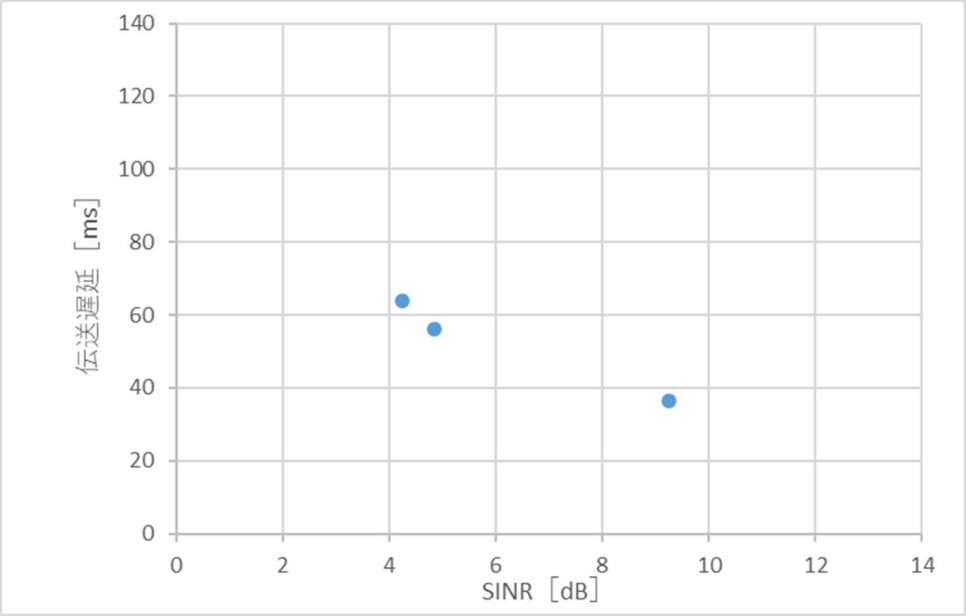


図 3-102　SINR vs. 伝送遅延特性（遮蔽あり、DAS アンテナ 1 局時）

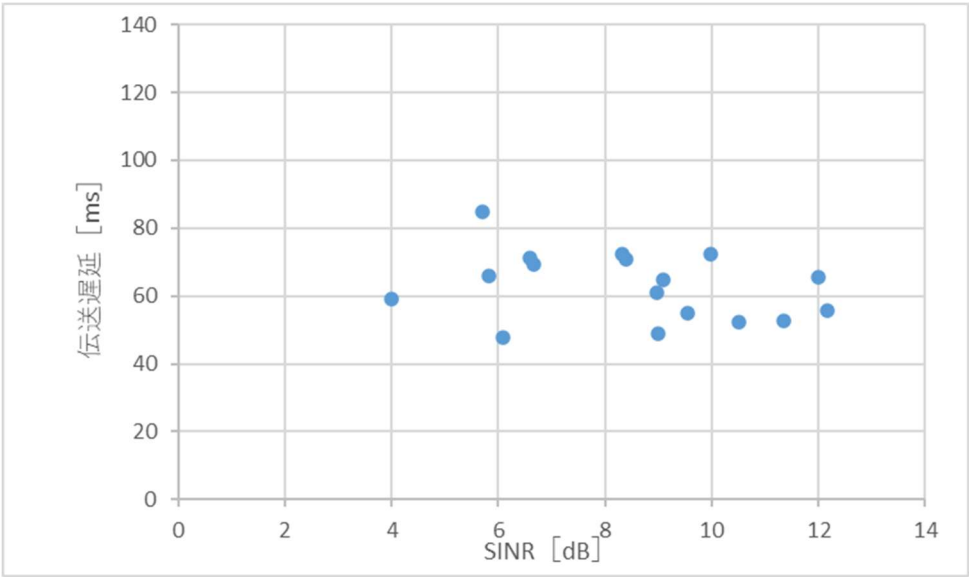


図 3-103　SINR vs. 伝送遅延特性（遮蔽あり、DAS アンテナ 4 局時）

次に下りリンクの測定結果についてまとめる。今回の課題解決型ソリューションでは下りリンクについて要求はないため、参考データとなる。

以下表 3-54 に DAS アンテナ 1 局での送信時における遮蔽が存在する場合の下りスループットの実測結果、図 3-104 に中央値分布イメージ、図 3-107 に RSRP に対する特性、図 3-109 に SINR に対する下りスループット特性を示す。

同様に表 3-55 に DAS アンテナ 4 局での送信時における下りスループットの実測結果、図 3-105 にスループット中央値分布イメージを、図 3-108 に RSRP に対する下りスループット特性を、図 3-110 に SINR に対する下りスループット特性を示す。

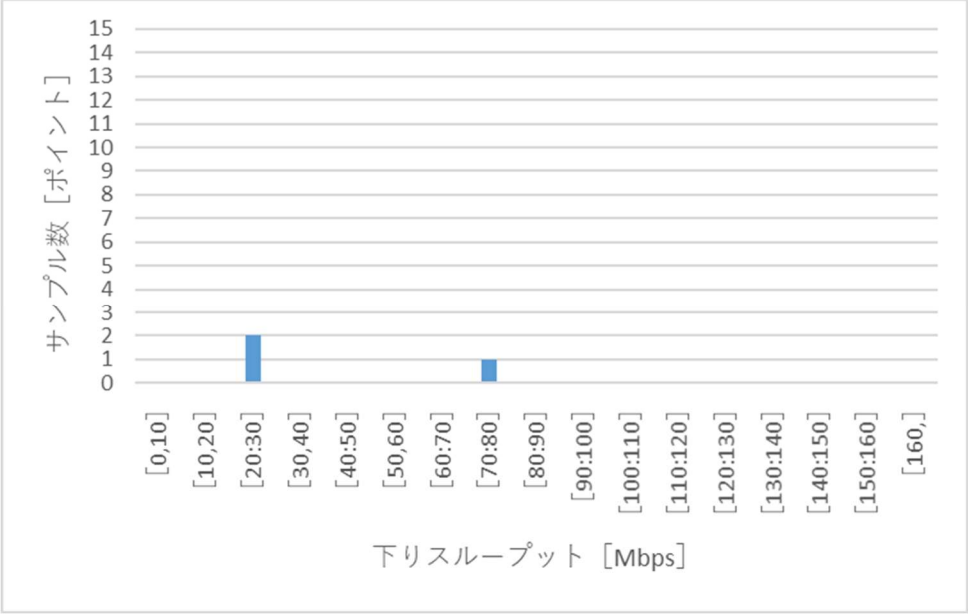


図 3-104 DAS アンテナ 1 局時の下りスループット実測結果中央値分布（遮蔽あり）

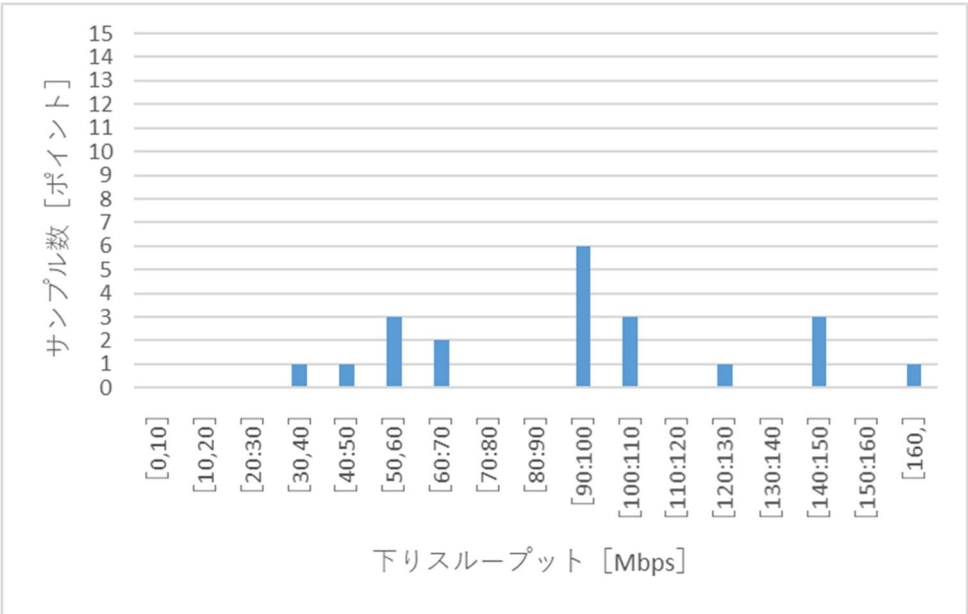


図 3-105 図 3-106 DAS アンテナ 4 局時の下りスループット実測結果中央値分布（遮蔽あり）

表 3-54 DAS アンテナ 1 局時の下りスループット実測結果(遮蔽あり)

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり)	DAS ID	SINR 実測値 [dB]					DL伝送スループット 実測値 [Mbps]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
31	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
32	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
33	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
34	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
35	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
36	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
37	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
38	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
39	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
40	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
41	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
42	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
43	0	4	3.9	3.9	0.6	4.5	3.2	–	–	–	–	–	
44	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
45	0	4	3.7	3.7	0.5	4.4	3.0	–	–	–	–	–	
46	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
47	0	4	3.5	3.6	0.5	4.2	2.9	–	–	–	–	–	
48	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
49	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
50	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
51	0	4	4.8	4.9	0.8	6.0	3.8	24.0	25.0	3.5	30.1	21.9	
52	0	4	3.9	3.9	0.5	4.6	3.2	–	–	–	–	–	
53	0	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
54	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
55	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
56	0	4	4.3	4.3	0.8	5.4	3.4	22.4	20.9	7.1	25.7	16.3	
57	0	4	9.3	9.1	1.3	10.4	7.5	75.3	68.7	19.3	88.5	47.0	
58	0	4											遮蔽物配置制限から測定対象外
59	0	4											遮蔽物配置制限から測定対象外
60	0	4											業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外

表 3-55 DAS アンテナ 4 局時の下りスループット実測結果(遮蔽あり)

測定点ID	DASあり、なし (0=なし、1=あり)	DAS ID	SINR 実測値 [dB]				DL伝送スループット 実測値 [Mbps]					備考
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	
91	1	all	8.3	8.1	1.5	9.8	47.0	46.0	14.3	64.0	27.8	
92	1	all	5.7	6.0	1.7	8.3	96.3	94.8	11.2	106.9	81.0	
93	1	all	6.6	6.7	1.6	8.8	59.4	56.9	13.0	70.3	40.7	
94	1	all	10.5	10.3	1.5	12.0	92.9	90.5	12.0	103.0	76.4	
95	1	all	11.4	11.2	1.4	12.7	122.0	120.7	10.3	133.0	103.0	
96	1	all										業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
97	1	all	6.7	6.7	0.6	7.5	55.7	50.6	12.6	61.9	28.8	
98	1	all	8.4	8.5	2.3	11.6	33.9	46.3	26.2	86.6	18.6	
99	1	all	6.1	6.2	2.3	9.4	143.0	144.6	7.0	156.0	137.0	
100	1	all	9.0	9.4	2.5	12.1	160.0	162.7	10.3	179.0	153.0	
101	1	all	5.8	6.2	2.1	9.3	50.8	49.2	18.1	71.9	21.6	
102	1	all										業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
103	1	all	4.0	5.2	3.0	10.6	96.8	96.4	6.4	102.9	89.8	
104	1	all	9.0	9.4	3.9	14.3	91.0	87.2	11.6	95.6	73.8	
105	1	all	12.2	11.9	2.8	15.3	140.0	138.8	9.7	148.0	127.0	
106	1	all	9.1	9.3	2.6	12.6	62.1	64.1	21.4	89.8	33.8	
107	1	all	10.0	9.8	1.7	11.9	98.4	98.9	13.9	115.8	84.5	
108	1	all										業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
109	1	all										業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
110	1	all	12.0	11.9	0.9	12.8	95.2	85.4	24.3	99.1	47.0	
111	1	all	9.6	10.0	2.2	12.4	108.5	108.3	11.2	124.0	93.7	
112	1	all	7.1	7.4	1.9	10.0	107.0	108.9	8.6	124.0	99.9	
113	1	all	11.6	11.6	0.7	12.3	141.0	139.0	8.1	147.0	129.0	
114	1	all										業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
115	1	all										業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外
116	1	all	6.5	6.5	0.8	7.5	62.2	60.8	14.8	74.1	52.7	
117	1	all	10.3	10.0	1.3	11.5	102.5	92.5	27.8	108.0	82.9	
118	1	all										遮蔽物配置制限から測定対象外
119	1	all										遮蔽物配置制限から測定対象外
120	1	all										業務区域外。遮蔽物配置制限から測定対象外

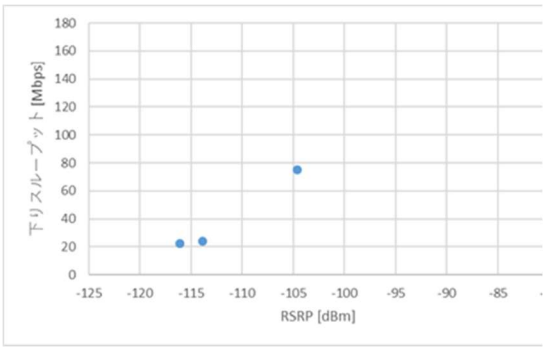


図 3-107 RSRP vs. 下りスループット
（DAS アンテナ 1 局のみ遮蔽ありの場合）

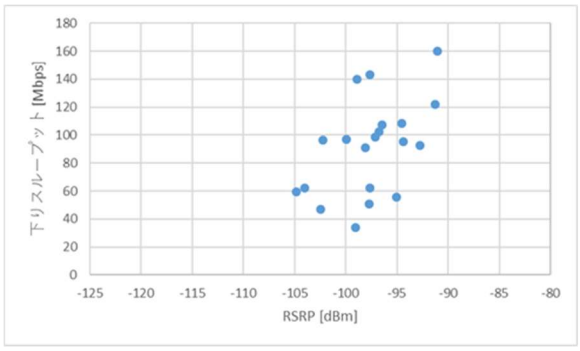


図 3-108 RSRP vs. 下りスループット
（DAS アンテナ 4 局のみ遮蔽ありの場合）

図 3-107、図 3-108 より RSRP に比例して下りスループットが増大することが確認できる。この点について、想定どおりの結果が得られていると言える。

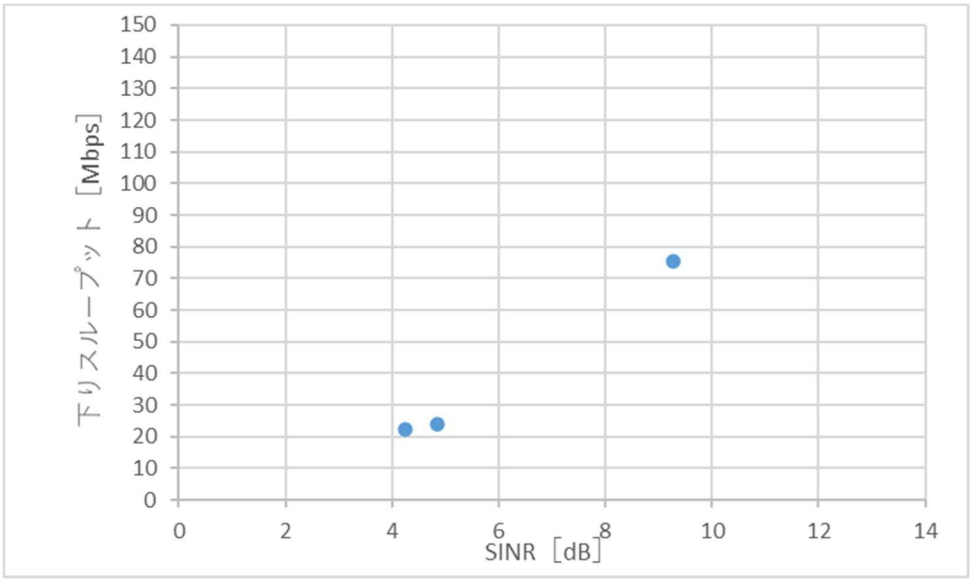


図 3-109 SINR vs. 下りスループット特性（遮蔽あり：DAS アンテナ 1 局時）

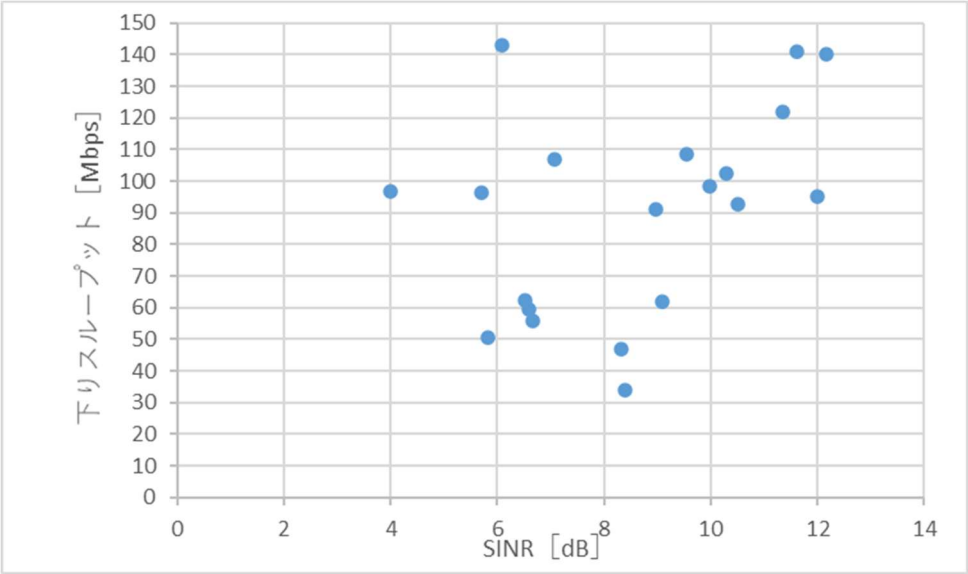


図 3-110 SINR vs. 下りスループット特性(遮蔽あり:DAS アンテナ 4 局時)

SINR に対しての下りスループット特性としては、ばらつきは大きいものの SINR に比例して単純増加していることが確認できる。

③ 他者土地漏洩に対する効果検証

この他者土地への干渉発生という課題は、今後のローカル５Ｇの横展開に向けて、大きな課題となる可能性がある。特に、サービス開始後、隣接他者がサービスを開始する際、自己土地からの干渉が他者土地サービスに影響を与えるようなことが生じた場合、送信電力を下げる、もしくは俯角（チルト角）を調整せざるを得なくなり、サービスに影響がでる、最悪ケースではサービスを中止せざるを得ない状況に陥る可能性があるからである。

今回のエリア設計において DAS アンテナをエリア外周に四角形頂点に配置することでエリア確保を行った。1 アンテナの場合、一般的な、エリア中央に 1 局オムニアンテナを置いた場合、シミュレーションによるとかなり遠くまで干渉が発生することが想定されるが、業務区域四隅に、指向性を持ったアンテナ(後方への輻射を抑えたアンテナ)を配置する今回の配置方法によって、業務区域外への漏洩を極力抑えることができ、干渉低減の観点で効果があることが期待される。

今回、DAS アンテナを使用しないという条件におけるオムニアンテナの配置は実現できなかったため、シミュレーションによる結果を用い、DAS アンテナを用いた実測値との比較を行うものとした。

また、今回の実証試験環境は広大な牧草地であり、業務区域として設定した放牧地周辺もほぼほぼ自己土地であるが、放牧地の北側に隣接する土地が他者保有の土地であることから、所有者の許可を得るとともに本実験の測定点としてその土地内 6 か所を設定した。

本測定における測定ポイント（測定点 ID）について、以下図 3-111（図 3-62 の再掲)に示す。以下図 3-112 に各測定ポイントのイメージ写真を示す。



出所：地理院地図を加工して作成

図 3-111 他者土地電波漏洩確認の測定ポイント（図 3-62 の再掲）

200				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向
201				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)
202				
	DAS1方向	DAS2方向	DAS3方向	DAS4方向(遮蔽なし)



図 3-112 他者土地漏洩測定ポイントの様子

以下実測結果を表 3-56 に示す。

ここで、合わせて DAS を用いない場合の事前の計算結果との比較結果を合わせて表 3-57 に示す。

表 3-56 他者土地での実測結果

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	電波漏洩軽減方策なし_実測値 [dBm]		電波漏洩軽減方策あり_実測値 [dBm]		改善値 [dB]		測定点環境	備考
		中央値	標準偏差	中央値	標準偏差	中央値	標準偏差		
200	-108.7	-113.1		-107.2	2.89	-5.9		屋外（開放地）	
201	-103.2	-110.3		-108.7	4.38	-1.6		屋外（開放地）	
202	-106.9	-110.3		-115.8	3.95	5.4		屋外（開放地）	
203	-103.3	-107.0		-110.4	2.22	3.3		屋外（開放地）	
204	-107.0	-110.2		-114.5	3.76	4.2		屋外（開放地）	
205	-102.5	-111.2		-106.5	5.16	-4.7		屋外（開放地）	

表 3-57 他者土地漏洩評価結果まとめ

測定点 ID	シミュレーション結果	実測結果
200	劣化	劣化
201	劣化	劣化
202	劣化	改善
203	劣化	改善
204	劣化	改善
205	劣化	劣化

DAS1 局の精緻化で求めた K 値(=6.7dB)を用いて、DAS4 局について算定式から再計算し、電力加算によって受信電力値を求めた結果、今回の他者土地の測定ポイントについては、オムニアンテナの算定式(K=6.7dB)結果と比較して、改善が見込めないという想定となったが、実測結果についてはオムニアンテナの算定式結果と比較して、3 ポイントで改善、3 ポイントで劣化という結果になった。

ここでポイント(測定点 ID)”200”が期待した効果が得られなかったポイントとなる。”200”については、シミュレーションに対して実測結果がかなり大きく観測されており、結果他者土地漏洩が大きくでたものである。“200”方向については、地形として緩やかな下り傾斜となっており、DAS アンテナ 1 からの放射が想定より遠方まで影響を与えたと想定される。

他者土地への漏洩に関し、今回の条件のように完全に隣接した土地への影響を考えると DAS を採用した効果が明確には得られなかったという結果となった。

今回の結果を鑑み、セクタアンテナをより効率的に利用していくには、よりアンテナ高を高めにとり、俯角（チルト）をとることで他者土地への干渉も防ぐことができることが期待される。本件、工事、安全面、保守面との兼ね合いもあるので、案件に応じて検討を行う必要があると考える。

以下、まとめる。

その他、すべての測定結果を鑑み、複数アンテナを用いてエリア化する手法は有効であると感じた。特に分散アンテナを用いる今回の解決方法は、複数アンテナのエリアを組み合わせることで干渉等を考慮する必要なく容易にエリア確保が実現できる点、さらに複数のアンテナエリアを重ねることでダイバーシティ効果が得られるという考え方が適用できる、などの特長があり、このような目的で設置するには非常に有効的な手法である。

複数アンテナを設置する場合、単純な手法としてセルラーのように複数セルでカバーすることも考えられる。この場合、各セルに接続ユーザー数を確保できるため、エリア内の接続ユーザー数を増大させることができる、というメリットが得られる。しかしながら、エリア内移動時にハンドオーバーなどの瞬断が発生するというデメリットも想定される。

今回の課題解決型ソリューションにおいては、エリア内端末は 1 台から数台程度と想定されることから、複数セルによる対応よりも DAS の適用がより効果的であると言える。

以下に DAS システムの設置容易性およびコストについて、他システムとの比較を行った。比較表を表 3-58、表 3-59 に示す。本実証では、広大な放牧地内でのトラクタやドローン活用の管理自動化・省力化を目的としており、軽種馬が生活する地内環境や飼育者の方々の業務に支障のない形でのローカル５Ｇシステム構築を前提としている。この前提に従い、設置可能なシステムパターンとして、牧場周囲を覆う電波反射板や漏洩同軸ケーブルの利用は、生育環境に影響する事から選択外と判断した。また、中継器についても電源や設置場所の確保が困難であり選択外とした。設置可能なシステムパターンとしては、放牧地に複数ポール装柱のコンパクトな設営が可能な分散アンテナシステム（DAS）及び、基地局 RRH を選択し、その比較検討を行った。

以下表 3-58、表 3-59 に RRH との比較をまとめる。

採用した解決方策の設備が有効となる条件や使い方としては、今回の利用条件となる、広大な放牧地での無線環境の構築を目的とした場合に、飼育の妨げとなる放牧地中心への RU 設置は不可であるため、放牧地の周囲に複数 RU を設置する方式となる。広大なエリアを一定以上の受信レベルを確保する必要があり、そのために多数の無線機(RU)を必要とするため、多数の RU を設置しても基地局のコアや CU・DU 等の附帯機材の変更を要さない構成であることが望ましい。 Active DAS の場合、DAS 子機の設置可能数は、100 台以上であり、広大なエリアカバーにも基地局側の附帯機材の増整備・変更を要さない事から有効となる。

コスト面を考えると、広大な放牧地をカバーするには多数の無線機(RU)を必要とするが、基地局やコア設備の整備費用及び設置スペースには限りがある。また運用保守においても、簡易な操作性とメンテナンスコストも安価であることが求められる。Active DAS の場合、基地局側の装備は最小とし、DAS の子機を多数設置する事でシステム構築が可能であり、基地局や中継機材を最小にて安価なシステム構築が可能であると言える。

表 3-58 設置の容易性比較

評価項目	電波反射板 （反射板材質： 金属アルミ ）	中継器	分散アンテナシステム(DAS) (Active DAS/Passive DAS)	漏洩同軸ケーブル(LCX)	他（基地局 RRH）
	放牧地内での設置は、現業環境を阻害することから選択肢外	放牧地内での設置は、現業環境を阻害することから選択肢外		放牧地内での設置は、現業環境を阻害することから選択肢外	
設置位置（アクセス容易、面積）			屋外ポール装柱のためアクセスは容易、面積は放牧地エリアの面積		屋外ポール装柱のためアクセスは容易、面積は放牧地エリアの面積
付帯設備（電源・バッテリー等）の必要性			必要		必要 ※DASと同等規模
伝送路の必要性			必要		必要 ※DASと同等規模
施工の容易性			容易 (屋外にはDAS子機をポール装柱にて対応)		中程度 (RRH以外のCU,DU等の附帯機材の設置環境が必要
導入リードタイム			6ヶ月程度		6ヶ月程度
移設の容易性			容易（光・電源ケーブルの移設が必要）		中程度 (RRH以外のCU,DU等の附帯機材の設置環境が必要
総合評価			○		○

表 3-59 設置のコスト比較

評価項目	電波反射板 （反射板材質： 金属アルミ ）	中継器	分散アンテナシステム(DAS)	漏洩同軸ケーブル(LCX)	他（基地局 RRH）
設備費用			○		△
設備施工費用			△		△
付帯設備費用（電源、バッテリー等）			△		△
付帯設備施工費用（電源、バッテリー等）			△		△
伝送設備費用（光、無線）			△		△
伝送設備施工費用（光、無線）			△		△
運用・保守費用			○		△
総合評価			○		△

3.3.3　準同期 TDD の追加パターンの開発

このテーマには取り組まなかった。

4.　ローカル５Ｇ活用モデルに関する検討（課題実証）

4.1　実証概要

4.1.1　背景となる課題

北海道新冠町に代表される北海道日高地区は、広大な土地を有し、また太平洋に面しているため北海道の中では比較的温暖な地域であり、軽種馬などの育成にも適しているエリアでもある。軽種馬は運動不足を解消するため、四季及び昼夜を通して広い放牧地で放牧・育成されている。

しかし、比較的温暖な地域であるものの降雪は少なからずあり、特に昨年は幾度か豪雪に見舞われ軽種馬などは、十分な運動もできない状況が続き体調面でのトラブルが発生した。本来、3～5cm 程度の積雪でも放牧運動を実施できるが、10cm を超える積雪の場合には、運動ができなくなる。



図 4-1 実際の積雪状況

一方で、従業員は早朝より非常に頭数の多い軽種馬育成に関する業務サイクルなどで多忙なため、限られた人員リソースで安全に除雪等の追加的作業にあたる必要がある。このような状況を踏まえて課題解決のイシューツリーを作成すると下図のようにまとめられる。

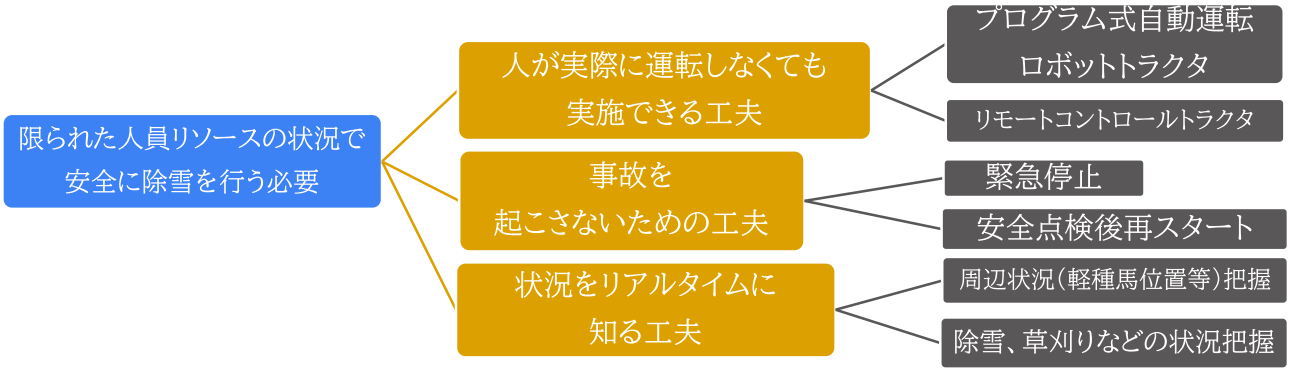


図 4-2 課題解決のイシューツリー

つまり、限られた人員リソースの状況で安全に除雪作業を行うためには以下の 3 つの工夫が必要である。

1） 人が実際に運転しなくても実施できる工夫（作業の効率性）

2） 事故を起こさないための工夫（作業の安全性）

3） 状況をリアルタイムに知る工夫（作業の迅速性）

まず、1）においては、既存のロボットトラクタを導入することで解決できる。予めコースをプログラムして自動運転できる他、簡単なリモート制御もできるロボットトラクタを活用することで作業の効率性を向上できる。

次に、2）においては、軽種馬は非常に価値の高いものであるため、ロボットトラクタとの衝突は必ず避けなければならない。従って、物体センサー等による緊急停止の他、緊急停止を解除する際の作業の安全性確保も怠ってはならない。

また、3）においては、除雪、草刈り等の作業中、特に実際に作業を行っている過程において、除雪の状況（除雪程度の確認）、草刈りの実施状況をリアルタイムで確認することで、除雪ルート、草刈りルートの再検討を直ちに行うなど、作業の迅速性向上につなげるために重要と考える。

以上の３つの工夫を念頭にローカル５Ｇを活用してシステム連携させることで懸念とされる課題をスマートに解決することが可能と考え本課題実証を実施した。

一方で広大な土地という観点から、ローカル５Ｇをすべてのエリアに展開することは、コスト面から考えて現実的ではない。現状では利用するエリアは限定的である可能性が非常に高く、1 か所とは限らず離散的な複数個所をエリア化したいという要望も事業者からあげられた。その際、固定基地局では複数のエリア間を光回線で接続する必要があるが、牧場やさらには山間部といったところでの配線には多額なコストが必要となることが想定される。この柔軟なローカル５Ｇエリア展開に係る課題に関しても解決策を本課題実証にて検証した。

4.1.2 本実証におけるローカル５Ｇ活用モデル

（1） ローカル５Ｇを用いたソリューション

前節では除雪という背景課題から、課題解決には作業の効率性・安全性・迅速性を向上させる３つの工夫とエリア展開の課題の解決が必要であることを示した。これらを具体的に実現するために以下のようなロボットトラクタとローカル５Ｇを用いた汎用的かつ柔軟なソリューション環境を構築した。

1） 広大な土地をドローンで撮影測量解析することで作業の効率性・安全性にとって最適化された走行経路を自動生成
2） ロボットトラクタを用いて無人で作業を行い作業の効率性を向上
3） ロボットトラクタに緊急停止や解除等の仕組みを搭載し作業の安全性を確保
4） ロボットトラクタに高精細 4K カメラ（広角および魚眼）を搭載し、映像をリアルタイム伝送することで、映像の自動解析等によるフィードバッグにより作業の迅速性向上
5） 移動車両内に制御装置を搭載した「可搬型ローカル５Ｇシステム（可搬型ローカル５Ｇ基地局)」を採用することで柔軟なエリア展開を実現

可搬型ローカル５Ｇシステム導入の狙いとして、北海道のような広大かつ離散的なエリアに対して、固定型基地局を多数設置することは牧場主にとって運用面および費用面で現実的ではないことから、基地局を可搬型にしてシェアリングすることでこの地域的な費用の問題点を解決する仮説ロジックを構築し、実証実験にて実用性について効果を検証した。

（2） ローカル５Ｇ活用モデル（当初仮説）

本実証環境を用いたソリューションはシーズンを通して様々なローカル５Ｇ活用モデルに応用展開できると考えられる。そこで、特に作業効率の向上が求められている冬期の除雪と春～秋にかけて行われる草刈りを主眼としてソリューション毎にローカル５Ｇを活用したイメージを示す。

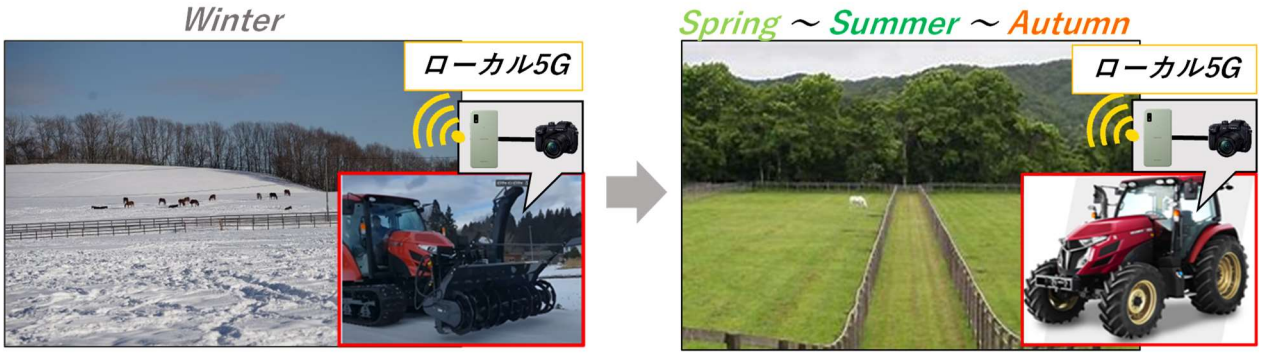


図 4-3 ローカル5Gのオールシーズンの活用

＜除雪ソリューション＞

最初に除雪ソリューションへのローカル５Ｇ活用モデルの展開を以下にあげる。今回実際に実証実験を行う課題実証の提案は、実証実験が可能となるのが冬期であることから、この除雪ソ

リューションにおけるローカル５Ｇ活用モデルを主に実証することとする。実際のロボットトラクタと遠隔で確認するタブレットとのシステム構成図を以下に示す。



図 4-4 システム構成図

ロボットトラクタには 4K カメラが搭載され、プロトコル変換の中継 PC を経由してローカル５Ｇ端末に接続され撮影された映像がリアルタイムで伝送される。車両に搭載された可搬型ローカル５Ｇシステムにおいて電波を受信し、イーサネットに接続されたサーバで映像が録画・解析、そして 4K モニタにて表示される。

車両近くの遠隔操作側のタブレットから近距離 Wi-fi 経由で Go サインを送ることで予め設定しておいたコースプログラムに沿ってロボットトラクタが作業を行う。もともとロボットトラクタは Wi-Fi で制御されるように製品化されているが、遠隔操作者がロボットトラクタから離れると制御不能となることや、場所によっては電波状況により接続がたびたび切れるという課題があった。本実証では、間にローカル５Ｇネットワークを介すことで比較的遠方でも Go/Stop の指示が可能となることの実証も今回試みる。

このように並行して 4K カメラの映像もローカル５Ｇ端末を介して伝送することができるので、実際に搭乗していない状態でもトラクタの状況が迅速に判断できる。また、4K カメラのレンズを広角もしくは魚眼レンズにすることで進行方向前方を広範囲(180° 以上)に撮影することにより、周囲状況を把握するための情報量が増え安全かつ効率的に作業を実現することができる。

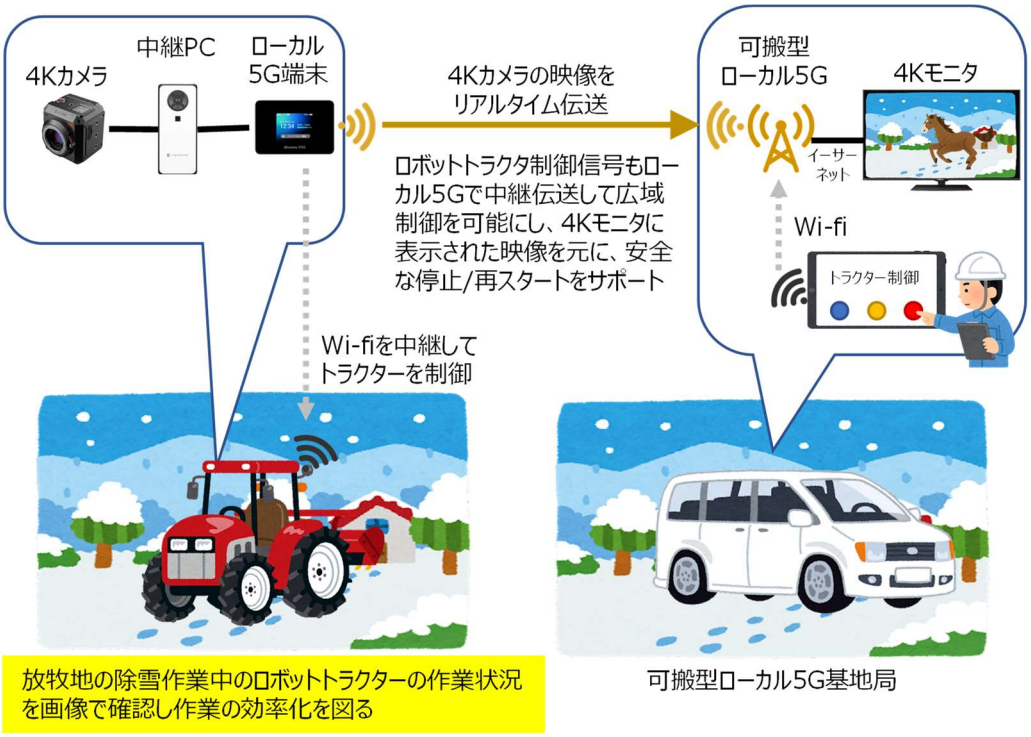


図 4-5 4K カメラを搭載した無人ロボットトラクタの遠隔制御

さらに、ローカル５Ｇの大容量伝送の優位点を利用して、ロボットトラクタの全周囲 360° の状況をリアルタイムで映像伝送することができればより周りの状況を把握しやすくなりより安全性が増すと考えられる。360° カメラの構成としては、4K カメラ（魚眼）×2 台による前後映像による全周囲合成映像、および全天球カメラによる全周囲映像の２つの撮影構成の構築が可能であり、4K カメラ１台、4K カメラ前後２台、全天球カメラによる３つの異なる伝送量の映像と死角等の安全面等における有効性比較におけるローカル５Ｇ活用モデルを検討した。

＜草刈りソリューション＞

続いて、春から夏、秋にかけては放牧地の草刈り作業が大きな作業負担となっているため、放牧地における草刈りソリューションへの展開について述べる。

今回実証場所となるビッグレッドファーム明和においては、総面積が 270ha と極めて大きく、夏場においてはほぼ毎日草刈り作業が実施されている。また、その期間、人員リソースを草刈り作業に割り当てる必要があり、従業員が本来すべき軽種馬の世話が十分にできない課題が指摘されている。加えて、どうしても経験の浅い若い従業員が単純な草刈り作業を実施せざるを得ないため、結果として若い従業員のモチベーション低下という状況も指摘されており、働き方改革という観点でも、対策は急務である。

そこで、前項にも用いている除雪ソリューションにおいて、ロボットトラクタのアタッチメントを草刈りユニットに付け替えることで、同様に自動運転で安全に草刈り作業を実施することが可能となる。

特に軽種馬においては、放牧地の適切な管理は、食事、運動など体調面に極めて密接な要素と

なるので、高度な草地整備が求められる。

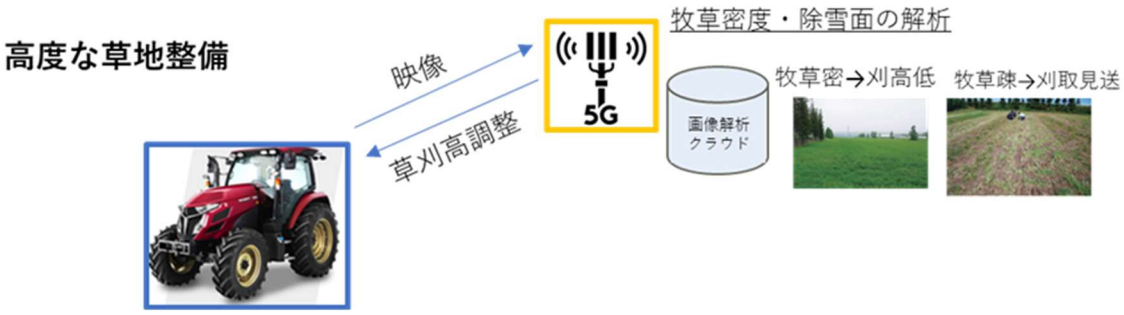


図 4-6 高度な牧草地管理

軽種馬で育成に用いる放牧地では、雑草を除去する目的もあり、牧草が密に育っているエリアにおいては比較的短く刈るケースが多い。しかし、牧草の発育が芳しくないエリアにおいてはむしろ刈り過ぎず、刈り取りを控えるなどの判断が必要になる。そこで、4K 映像をリアルタイムで画像解析するサーバに送信し、サーバ上で牧草の密度、発育状況を判断し、実際の草刈高さを調整するようにフィードバックすることで、ロボットトラクタへのユーザーからのオペレーションを補助する。

また安全面において、ロボットトラクタには近接センサーが搭載されており障害物があると緊急停止する機能が装備されているが、伝送される 4K 映像を AI 画像解析することにより周囲の状況を自動的に検出し、例えば疾走する馬等の近接センサーではとらえ切れない経路上の障害物の動きを予想して、ユーザーに警告アラームを送出して 4K 映像を見ていただいた状況を把握判断していただき、ロボットトラクタの走行の停止を指示したりする等のユーザーオペレーションの補助なども検討した。将来的には自動的に速度を調整したりするなど回避走行を行う等が期待できる。

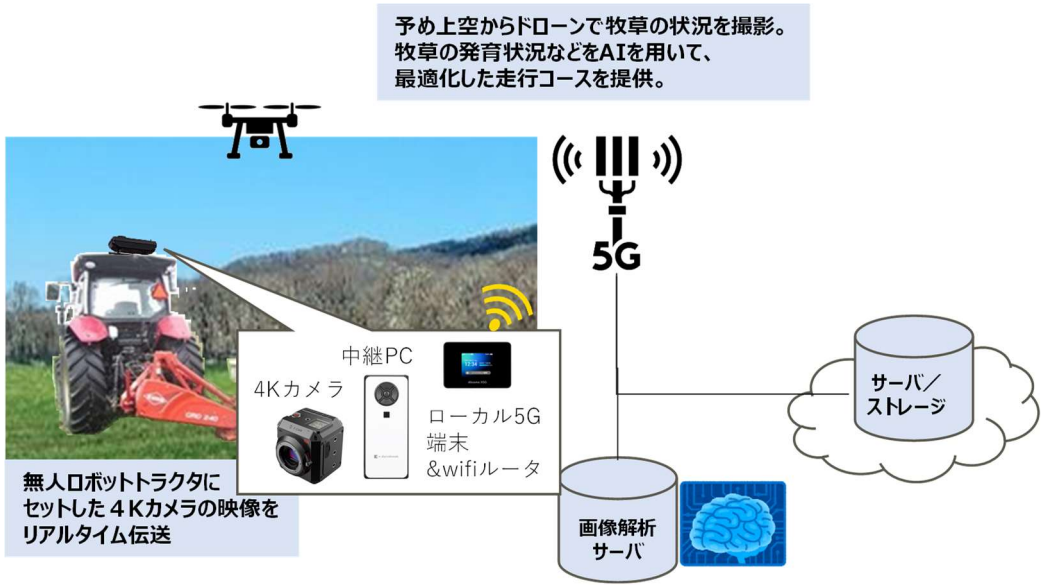


図 4-7 草刈りソリューション ネットワーク構成図

さらに、本ソリューションにおいて、ドローンを活用することも提案する。以下の図のように、自動草刈り作業前に予めドローンにて上空より撮影し、牧草の発育状況について除草作業が必要か不要か、また水たまりや倒木など障害物がないかどうかを AI を用いて検出解析し、最適化したロボットトラクタの走行経路を提供する。

現状のロボットトラクタでは障害物があると停止してしまい障害が複数ある牧草地では頻繁停止し自動作業が進まないといった課題があるが、このドローンから撮影した映像を事前に AI 画像解析することにより障害物をあらかじめ検出して走行経路を提供することにより、ロボットトラクタが停止することなくスムーズに作業を継続するオペレーションが可能となる。

以上の連携により、ドローンによるロボットトラクタ自動走行コースの最適化と、ロボットトラクタに搭載する 4K カメラによるリアルタイム伝送からの刈り取り量のフィードバックを実施することで、精度の高い草刈り作業が可能となる。

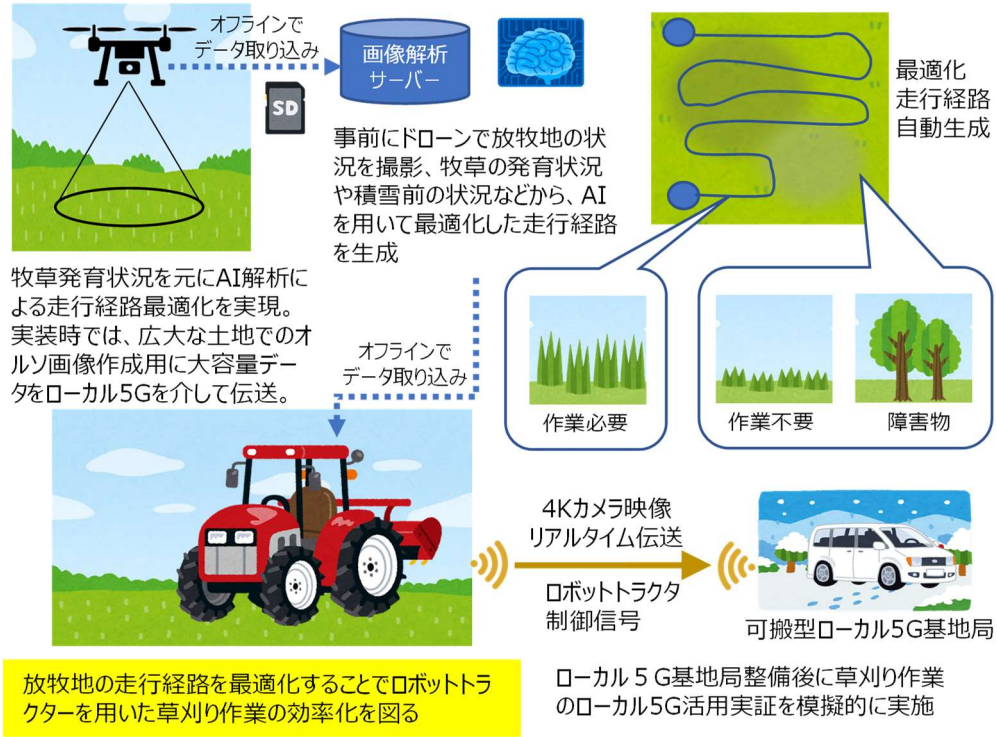


図 4-8 ドローンを活用した放牧地状況の AI 解析による走行経路最適化

なお、本実証ではローカル５Ｇの基地局が整備できるのは冬期となるため、牧草地は雪で覆われており草刈りの検証ができない。そこで、あらかじめ牧草が見られる時期にドローンによる映像を撮影してオフラインにて保存しておく。それら映像を用いて草刈りの自動経路を作成し、ローカル５Ｇが準備できた時期において模擬的に草刈りをしているようにロボットトラクタを走行させ 4K カメラ映像をローカル５Ｇ経由で伝送させて、ソリューションの効率化の検証を実施した。

（3） ローカル５Ｇの必然性・必要性

上記ソリューションにおいては、高精細映像による除雪、草刈りの効率向上、軽種馬への安全性の担保等のためには、4K などの高精細映像のリアルタイム伝送が必要となる。

今回利用する 4K カメラにおいて、良好な高画質映像を安定して伝送するには、アップリンクで約 40Mbps 以上のビットレートを安定に確保する必要がある。しかし、従来の 4G-LTE 回線ではアップリンクで約 40Mbps 以上のビットレートを安定して確保することは極めて難しい。

さらに、今回のルーラルエリアにおいては、キャリア５Ｇ回線の構築も、整備されるには時間を要し、加えて、アップリンクで大容量伝送することで回線を占有的に使用する可能性もあるため、ローカル５Ｇでの対応が必須となる。

表 4-1 ローカル 5Gの必然性

	ローカル5G	キャリア5G	4G-LTE
安定した高ビットレート	○	○	×
長時間アップリンク	○	△（占有 NG）	×
ルーラルエリアでの構築	○	×	○

なお、今回はローカル５Ｇエリアをアンテナから横・下方向で構築するため、上空部分は対象とはしていない。近い将来においては、ドローンの 4K 映像をリアルタイムで取得し、AI 解析を経て短時間でのルート解析に加えて、放牧地内へ侵入してきた鹿や熊等の鳥獣対策として、あるいは放牧中の軽種馬のなかで体調がすぐれない馬を早期に発見できるシステム提案等に繋げることについても検討していく必要がある。

一方、ローカル５Ｇの特徴である「大容量伝送」、「キャリア５Ｇのないルーラルエリアにおける５Ｇエリアの構築」を活用しなければ、上記ソリューションの実現は困難と考える。また、ローカル５Ｇは、WiFi 等の他の通信の影響を受けにくいため、通信の安定性を高めることが可能である。今後検討していく映像を用いた AI への活用、鳥獣対策や軽種馬の体調管理としての早期発見システムをリアルタイムに実施するためには、「リアルタイムに映像が取得できること」が重要であり、それをより確実にするためにも通信の安定性を高めることができるローカル５Ｇは必要と考える。

4.1.3　実証内容の新規性・妥当性

（1） 実証内容の新規性

日本でも大規模農業化が進んできている状況から、ここ最近、ロボットトラクタ需要が急増している。加えて農業就業人口の減少などの理由で、ロボットトラクタに代表される農業のオートメーション化は更なる効率向上が求められている。また農業にとどまらず、様々な産業での就業人口減少、高齢化の進展を踏まえ、自動運転、自動制御への積極的な取り組みがなされている。

一方で、自動運転、自動制御の問題点として、安全面が挙げられる。これまではセンサーを駆使した緊急停止や緊急回避などの技術について数多く実施検討されているが、軽種馬など、動きの予測が難しいものについては、上記の対策に加え、安全にリスタートさせるケアも必要である。

我々は、高解像映像のリアルタイム伝送技術を用い、上記安全に自動運転のリスタートを実施することをソリューションの１つとして考えており、加えて、高精細映像をリルート解析や除雪、草刈りの精度向上、効率向上などにも活かすことも可能であることを提案している。

（2） 過年度実証事業との関連性

過年度実証事業を参照し、下記 2 点の差異について記載する。

◇令和 2 年度　No.02 農業ロボットによる農作業の自動化の実現

〈概要〉

・ローカル５Ｇ等の無線通信システムを活用することで、「レベル３相当（遠隔監視下無人状態での自動走行)」での、農業ロボットによる複数の農作業自動化、及びドローン撮影画像のデータ伝送・AI 技術等に基づくリモートセンシング解析に係る時間短縮化を実現

◇令和 3 年度　No. 01 中山間地域での EV ロボット遠隔制御等による果樹栽培支援に向けたローカル５Ｇの技術的条件及び利活用に関する調査検討

〈概要〉

・傾斜地の多い醸造用ぶどう果樹園にローカル５Ｇ環境を構築し、草刈・防除ロボットの遠隔監視制御、スマートデバイスを通じたリモート指導、病虫害の予兆の AI 判定に関する実証を実施。データ駆動型かつ体系化されたスマート果樹園を実現

〇当提案との差異

・令和 2 年度の農業ロボットの移動スピードが約 2km/h、令和 3 年度の EV ロボットが約 2.5km/h に対し、今回の除雪ロボットトラクタはその 4～5 倍以上のスピードで実施することが可能なため、かつ、移動中、方向転換等により、電波到来方向が変化するといった環境下でも安定的な映像伝送実現し、かつ除雪（草刈り）においては、その実施状況を確認することで、効率的、かつ安全に実現することを新たに試みた。

4.1.4 実証目標

課題解決の限られた人員リソースの状況で安全に除雪作業を行うためのローカル５Ｇ活用モデル（除雪ソリューション）として構築した本実証システムが、DAS を用いた可搬型ローカル５Ｇシステムを介して各機能が連携し作業の効率性・安全性・迅速性の向上を達成可能な安定かつ能力的に有効なシステム基盤であることを示すため、以下の２つの実証目標（安定性と有効性）に対して複数の目標項目にて検証することで課題解決の達成度を測ることとした。

表 4-2 実証目標①「ローカル5Gを活用したソリューションの安定性の実証」

目標番号	目標項目	目標内容
目標①-1	映像伝送の安定性	ロボットトラクタの実用走行速度にて、安全に除雪、草刈り作業を実施できるように、ロボットトラクタに搭載した 4K カメラのリアルタイム伝送の映像品位を検証する
目標①-2	無人自動作業の安定性	ロボットトラクタと高精細映像のリアルタイム映像を用いることにより、平常時や緊急時においてもロボットトラクタの動作が常に安定に保たれ、安全性が確保されていることを検証する
目標①-3	可搬型基地局の安定性	２つの実証環境で可搬型基地局を切り替えて運用実証することで、可搬型基地局の課題抽出と対応ノウハウを蓄積し、運用の安定性を検証する

表 4-3 実証目標②「ローカル5Gを活用したソリューションの有効性の実証」

目標番号	目標項目	目標内容
目標②-1	高精細映像の有効性	高精細映像を用いることにより細かな物体の視認がしやすくなり人間の状況把握向上に有効であり、AI 画像解析においても作業状況確認や障害物検出の精度向上に有効であることを検証する
目標②-2	無人自動作業の有効性	ロボットトラクタと高精細映像のリアルタイム映像を用いることにより、人手と比べた作業の効率性の向上や自動化による状況への迅速な対応の向上に有効であることを検証する
目標②-3	可搬型基地局の有効性	可搬型基地局を採用することにより、導入運用コストのセーブや様々なソリューションへ展開しやすくなりローカル５Ｇの実用性向上に有効であることを検証する

さらに、今後の応用横展開を見据えた実証実験にするため、ローカル５Ｇを活用したソリュー

ションの拡張性を探る以下の項目について検証することとした。

表 4-4 実証目標③「ローカル5Gを活用したソリューションの拡張性の実証」

目標番号	目標項目	目標内容
目標③-1	映像伝送の拡張性	ドローンからの映像データにより自動経路解析を行う等、ローカル５Ｇを活用した映像伝送の拡張性の可能性を検討する
目標③-2	無人自動作業の拡張性	草刈りソリューションへの展開や、映像の自動解析による作業経路変更等、ロボットトラクタの制御による拡張性の可能性を検討する
目標③-3	可搬型基地局の拡張性	坂路育成ソリューションへの展開や、ネットワーク接続し映像配信や解析など可搬型基地局の多用途化による拡張性の可能性を検討する

4.2　実証環境

広大な牧草地での実証実験として下図の牧草地（エリア①）を採用した。牧草地（エリア①）は、夏季（６月～９月）には毎日のように草刈りが必要な場所であり、面積は約 50,000m^2 である。ロボットトラクタによる草刈りおよび除雪ソリューションの現場として最適であると判断し採用した。予めルート設定したロボットトラクタを走らせ、ロボットトラクタに搭載した 4K カメラ（魚眼）で撮影した映像をセクタアンテナで受信、ローカル５Ｇ回線を介して可搬型基地局へ伝送し、車両内にある 4K モニタにてリアルタイムで映像を表示し、映像内容をサーバにて解析した。

また、細長い領域での実証実験として牧草地近くの調教用坂路（エリア②）を採用した。調教用坂路（エリア②）は全長約 1,000m の上り傾斜があるコースであり、屋根があるため冬期でも馬が訓練のため駆け上がり鍛えるために使われる。坂路内を走る調教馬を 4K カメラ（望遠・広角）で撮影した映像を平面アンテナで受信し、ローカル５Ｇ回線を介して可搬型基地局へ伝送、4K モニタにリアルタイムで映像を表示する。両エリアにて切り替えて伝送実験を実施することで、可搬型基地局の切り替えの運用等の検証を行った。

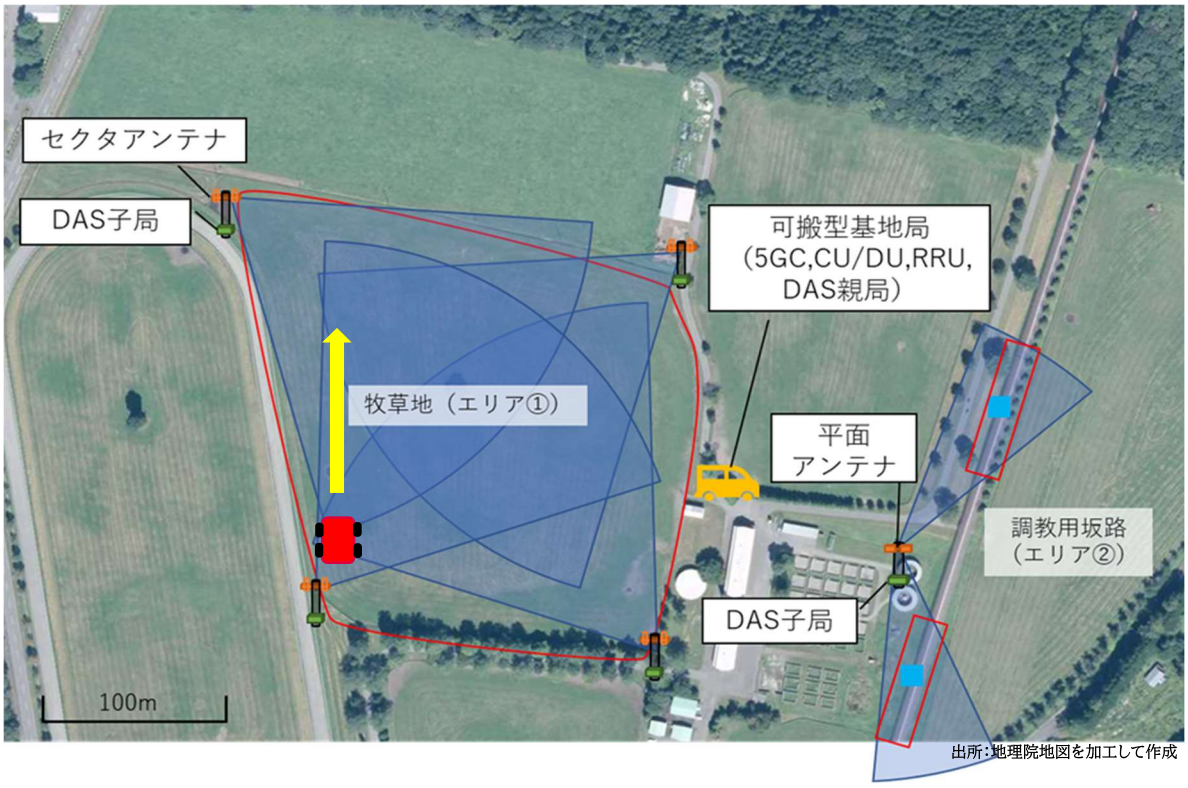


図 4-9 実証環境の全体イメージ



図 4-10 牧草地(エリア①) 6月風景



図 4-11 牧草地(エリア①) 11月風景

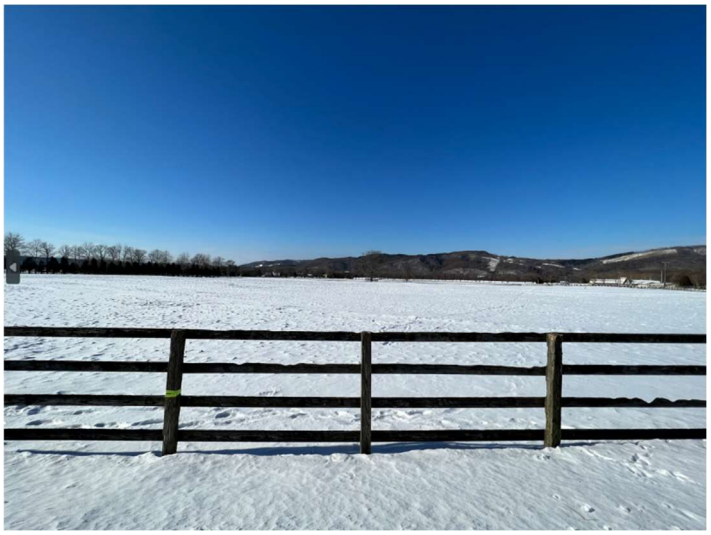


図 4-12 牧草地(エリア①) 1月風景



図 4-13 調教用坂路(エリア②) 6月風景



図 4-14 調教用坂路(エリア②) 1月風景



図 4-15 調教用坂路内部

4.3　実施事項

4.3.1　ローカル５Ｇ活用モデルの有効性等に関する検証

（1） 機能検証

1） 検証項目

今回のローカル５Ｇを用いた実証試験期間が冬期となるため、除雪ソリューションを主な検証対象とする。検証項目としては、ローカル５Ｇを活用したロボットトラクタからのリアルタイム 4K 高精細映像伝送の安定性（目標①-1）と無人自動作業の安定性（目標①-2）を目標とした項目とし、ローカル５Ｇを活用したロボットトラクタからのリアルタイム 4K 高精細映像の有効性（目標②-1）においても機能面で検証する項目とする。検証項目と達成指標、対応する目標番号を下表に示す。

ここで、達成指標は目標とする安定性と有効性の達成度を満たすかどうかの目安となることを想定して設定しており、システムの機能面での完成度としても目安となる。機能①～⑤はカメラからサーバへの映像データ伝送品位面での機能検証であり、機能①はカメラのビットレート 40Mbps 以下での映像破綻なしを、機能②はロボットトラクタからサーバまでの伝送距離による映像破綻なしを、機能③はロボットトラクタの移動速度による映像破綻なしを、機能④はロボットトラクタの方向展開での映像破綻なしを目標としており、機能⑥は伝送遅延量３秒未満を目標としており、一般的な映像配信（RTMP プロトコル）の標準的な遅延時間を参考に達成指標を設定した。

機能⑥，⑦は安全面での機能検証を目的として、カメラ撮影した映像から周囲の視認性の確認を達成指標として設定した。なお、機能⑥、⑦の全周囲のリアルタイム映像は、4K カメラ（広角レンズ）１台による前映像 180°と、360°カメラで撮影された全周囲映像のことであり、360°カメラは 4K カメラ（魚眼 210°）×2 台による前後映像および全天球カメラにより構築を試みることで、死角等の安全面における機能検証を実施した。

機能⑧は操作性面の機能検証を目的として、ロボットトラクタの停止から再スタート５分以内を目標としており、一般的な工程管理での作業余裕３～５％を参考に２時間作業のうちの４％から概算値として設定した。

機能⑨、⑩はローカル５Ｇを必要とする 4K 映像の優位点を明らかにすることを目的として、情報量面からの優位点の明確化、検出面からの優位点である精度向上を達成指標としている。

機能⑪は、自動走行ルートを本当に自動生成できるのかどうか、生成されたコースの選択の可能性を指標としている。

機能⑫は、将来的にさらなる効率性の向上の確認を目的として、実際に伝送された映像を元に精度向上の可能性を指標としている。

表 4-5 機能検証項目と達成指標

検証番号	検証項目	達成指標	目標番号
機能①	カメラビットレート指定による映像伝送画質の安定性	ビットレート 40Mbps 以下で映像途切れ、破綻がない	目標①-1
機能②	ロボットトラクタと基地局との距離と画質の関係	実証環境牧場内では、映像途切れ、破綻がない	目標①-1
機能③	ロボットトラクタの移動速度と画質の関係	移動速度 10km/h 以下で、映像途切れ、破綻がない	目標①-1
機能④	ロボットトラクタの方向転換時における映像伝送品質確認	電波到来方向が変化しても映像途切れ、破綻がない	目標①-1
機能⑤	ロボットトラクタと基地局サーバ間の伝送遅延	カメラ撮影から映像表示まで 3 秒未満の遅延	目標①-1
機能⑥	ロボットトラクタから軽種馬状況をリアルタイムで把握	全周囲のリアルタイム映像で軽種馬の位置を確認できる	目標①-2
機能⑦	ロボットトラクタから除雪処理状況をリアルタイムで把握	リアルタイム映像で除雪の作業状況を確認できる	目標①-2
機能⑧	ロボットトラクタの停止から再スタートまでの視認確認	周囲状況を確認して 5 分以内で安全に作業再スタートできる	目標①-2
機能⑨	魚眼レンズにおける 4K 映像と 2K 映像での伝送比較	ロボットトラクタからの映像伝送量と画質の関係で 4K 映像の優位点を明確化する	目標②-1
機能⑩	4K 映像と 2K 映像での AI 画像解析の精度検証	ロボットトラクタからの映像伝送において、4K 映像のほうが障害物検出の精度が向上する	目標②-1
機能⑪	放牧地状況の AI 解析による走行経路最適化の検証	ドローンで撮影した映像から、選択可能な自動走行コースを複数生成し、最適コースを選択できる	目標③-1
機能⑫	高精細映像によるリルート解析および除雪精度の検証	高精細映像を用いることでリルートおよび除雪の精度が増すこと	目標③-1

2） 検証方法

検証を実施したシステム構成について述べる。全体のネットワーク構成図としては 2 章に示す通りであり、さらにそれぞれの部位をクローズアップしてロボットトラクタ搭載のカメラから受信、モニタ表示までの構成を順に説明する。ロボットトラクタ部分の機材構成は下図の通りであり、ロボットトラクタの前面に 4K カメラを搭載し、撮影データを LAN 経由で中継 PC に伝送し、USB ケーブル経由でローカル５Ｇ端末にデータを送付し電波を発射し、牧草地の４か所の DAS ア

ンテナで受信、車両内の可搬型基地局に伝送され、サーバで映像の録画処理とモニタ表示を実施した。

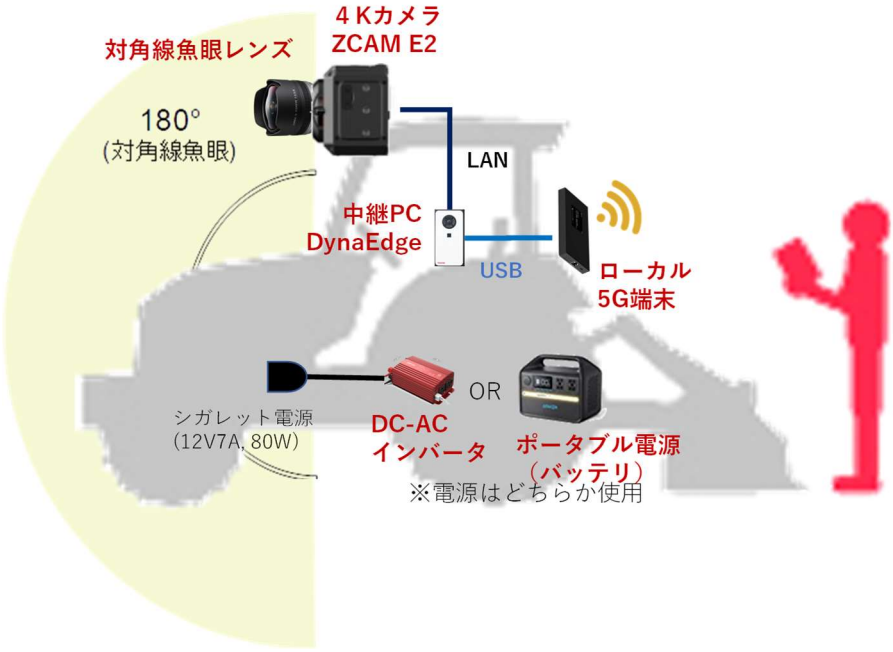


図 4-16 ロボットトラクタの機材構成

4K カメラは ZCAM E2 を搭載し、レンズは対角線魚眼レンズ(広角レンズ)である LUMIX G FISHEYE 8mm / F3.5 を採用して、約 180° の広角視野の映像を取得できるようにした。このレンズは映像中央に歪みが少なく、F 値も小さく明るい映像が撮れるのが特徴である。

4K カメラは、ロボットトラクタへしっかり固定することとカメラ本体の雨雪を避ける対策として、下図のような専用取付カバーを制作し、ロボットトラクタの前面上にある小型カメラおよび障害物レーダーの上にマウントする形で固定した。



図 4-17 4K カメラ専用取付カバー



図 4-18 ロボットトラクタに頭上に装着された 4K カメラ

4K カメラからの映像データは LAN 経由でロボットトラクタ車内に配線され、中継 PC（DynaEdge DE200/U）に接続した。中継 PC は超小型のモバイル PC であり、OS に Ubuntu サーバ(Version20.04)がインストールされており、4K カメラ独自の映像伝送プロトコルから一般的な SRT プロトコルに変換してローカル５Ｇ端末へ接続する中継役としてだけでなく、カメラのコントロール（ビデオフォーマット、フォーカス、露出など）をローカル５Ｇ経由で可搬基地局のサーバから遠隔調整し、カメラ末端からサーバまでの接続の良し悪しのステータス状況を確認する役目も担っている。能力的には８K 映像の変換中継伝送も可能である。



図 4-19 ロボットトラクタ車内に設置された中継 PC

なお、カメラの主な設定は基本以下とし、雪の照り返し等で白飛びする場合など必要であれば F 値を中継 PC 経由で可搬型基地局車両のサーバから遠隔で調整した。

表 4-6 4K カメラの主な設定

主な設定項目	設定値	備考
ビデオフォーマット	水平 3840×垂直 2160 画素	
フレームレート	30fps もしくは 60fps	
フォーカス	AUTO (LIVE)	常時オートフォーカス
F 値	5～8	天候により手動変更
ISO	AUTO	
シャッター速度	AUTO	200～600fps で変化

ローカル５Ｇ端末はロボットトラクタのリアガラスの前にクランプで高さや角度を調整して固定し、中継 PC からローカル５Ｇ端末は、下図のような配置で USB ケーブル経由で接続した。



図 4-20 中継 PC とローカル5G端末の配置



図 4-21 クランプで高さ角度調整されたローカル5G端末

以上述べたロボットトラクタの接続構成の配線図を以下に示す。カメラおよび中継 PC、ローカル５Ｇ端末はすべてバッテリを搭載しており、各デバイス個別で動作可能であるが、実験途中でバッテリ切れを起こす可能性があるため、別途外部電源としてロボットトラクタのシガレット電源を変換するインバーターとポータブル電源（Anker521 Portable Power Station ）を用意していた。なお、実際に実証実験を行って見ると、各デバイス個別のバッテリのみでシステムを動作させると、起動がうまく行かないこともありデバイス本体の動作が遅くなる傾向があった。零下の環境で測定や制御に使った手持ちのノートパソコンの動作が遅くなったりスマートフォンが突然シャットダウンしたりすることが多発したため、零下環境ではバッテリ駆動のデバイスがうまく動作しないことが判明した。そのため、結果的には大容量の外部電源にて常時各デバイスに電源を供給することとした。また、実験前にロボットトラクタの暖気運転を必ず実施し車内温度を高めることに留意した。

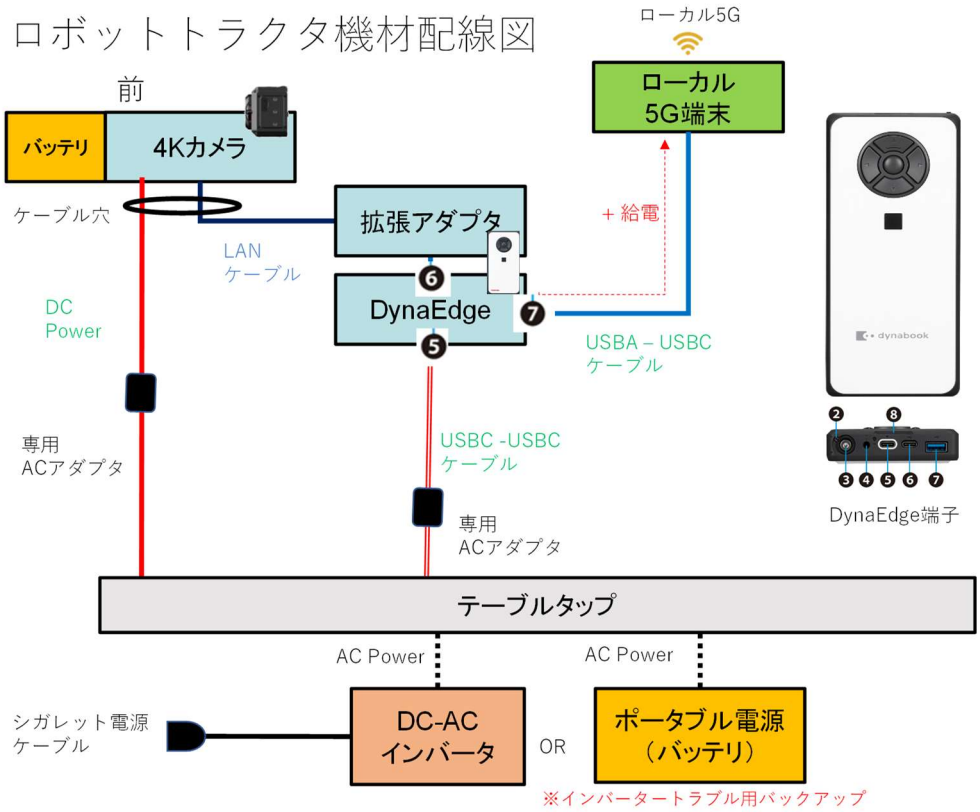


図 4-22 ロボットトラクタ機材配線図

以上の構成で、ロボットトラクタに搭載した 4K カメラからの映像をリアルタイムでローカル５Ｇ端末から伝送した。続いて、ローカル５Ｇ端末から伝送された映像データは牧草地四方に設置された DAS アンテナで集約され、車両内の可搬型ローカル５Ｇ基地局を経由して映像サーバにて受信される。映像サーバでは、接続された作業用 4K モニタにてライブで映像を視聴確認できるようにした。また後日、画質評価や解析が可能なように、ライブストリーミングの映像を並行してサーバに録画した。以下に設置サーバの状態を示す。なお、当初サーバの置き場所として収まり

がよいように車両の座席下を予定したが、サーバが熱暴走してしまったため仮に可搬型基地局ユニットの上に設置した。サーバの設置の方法については今後の課題とする。

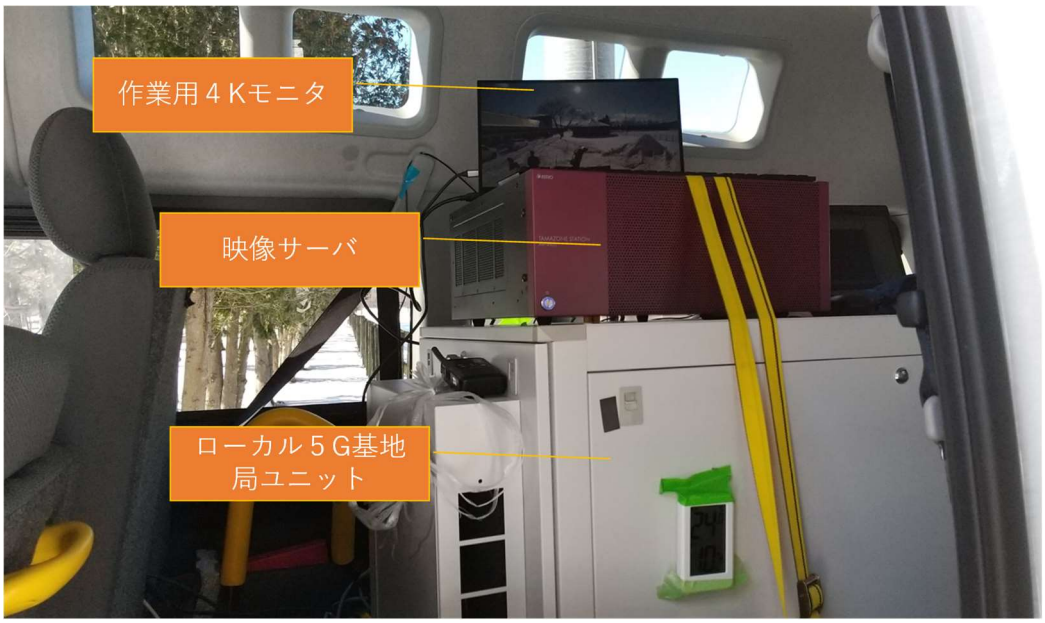


図 4-23 可搬型基地局車両内のサーバの様子

下図に作業用 4K モニタの表示の様子を示す。伝送映像、カメラ調整、接続遅延確認（常時 Ping）、録画映像フォルダ、映像伝送状況、コマンドターミナルの各ウインドウで構成される。



図 4-24 作業モニタの様子

下図に伝送映像をフル画面にして表示した様子を示す。なお、視察会時には大型の 4K モニタを

別途２台目として接続しており、接続するモニタに関して最大４台まで接続可能で、モニタの大きさに関しては作業しやすいものを用いればよく特に制限はない。



図 4-25 受信したリアルタイム映像の表示の様子



図 4-26 視察会(公開実験)におけるリアルタイム伝送映像の表示の様子

また、当初映像伝送の実験は明るいうちだけと考えていたが、ロボットトラクタのヘッドライトを付ければ、夜間でも映像伝送の状況を確認し試行実験を進めることができた。北海道の零下で人が夜間に外で作業することはほとんどないため、夜間に作業する無人自動作業車も効率化向上の可能性としてあると考える。

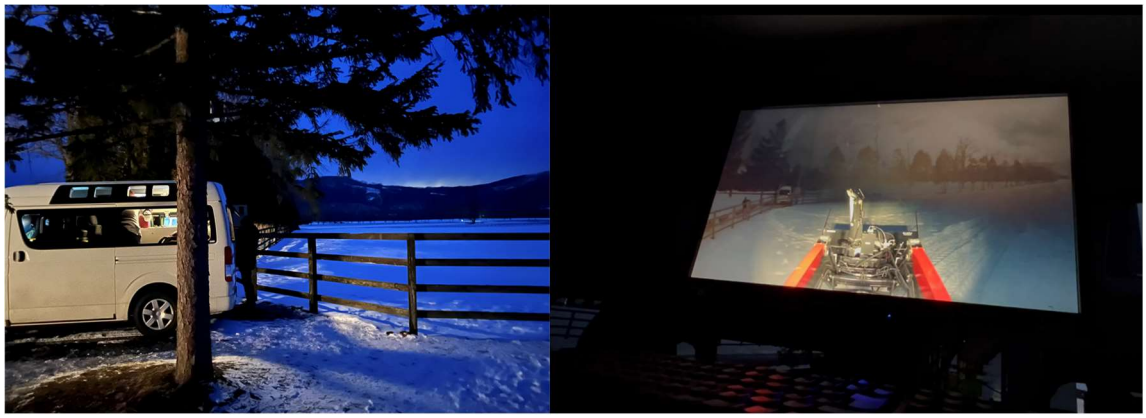


図 4-27 夜間の実験作業の様子

以上が、牧草地におけるロボットトラクタに搭載した 4K カメラからの映像伝送のシステム構成である。続いて、このシステムの機能の検証方法について説明する。

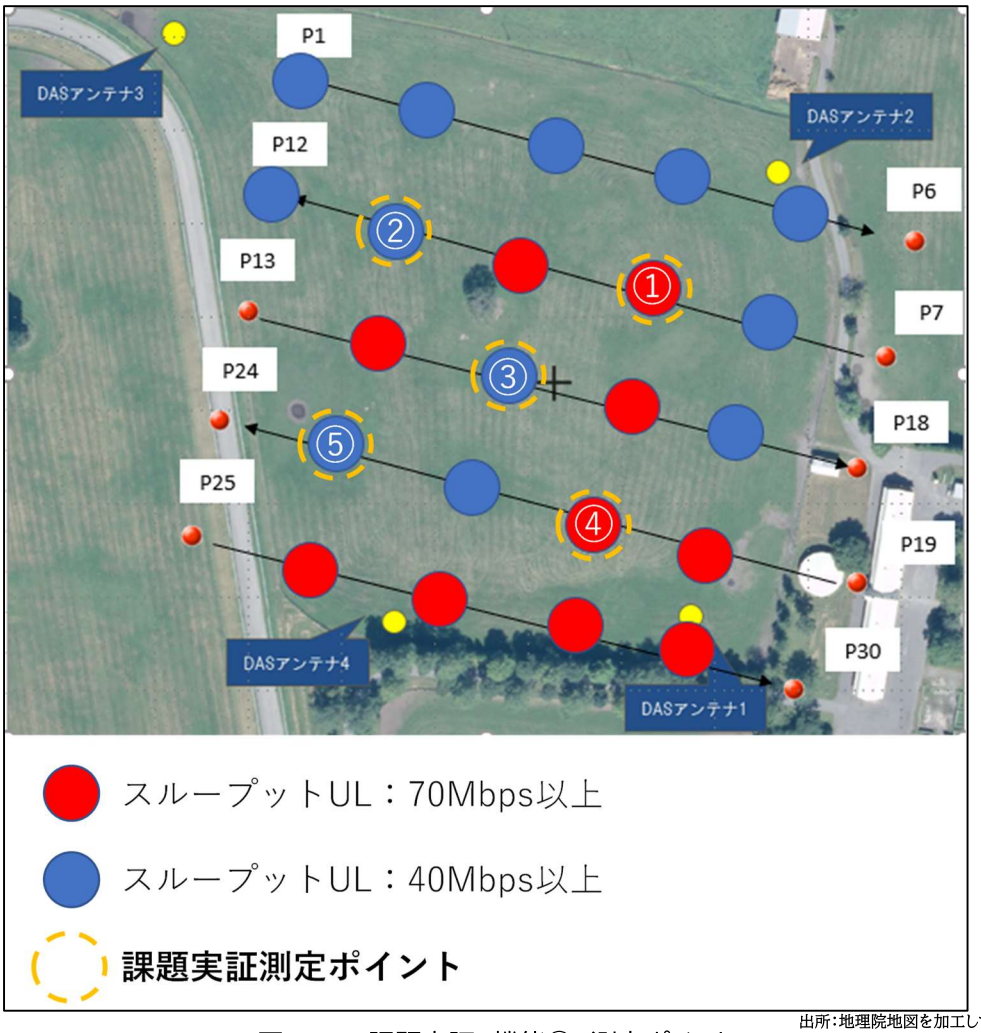
a. 【機能検証① の検証方法】

機能①の検証方法について詳細を述べる。最初に概要を下表にまとめる。なお、課題実証の確認者（課題実証 WG）はドローン操縦者、AI 解析技術者、ロボットトラクタ技術者、映像伝送技術者、通信技術者、牧場経営者、牧場作業者で構成され、実験毎に参加者が多少異なる。

表 4-7 機能検証①の検証方法の概要

検証番号	機能①
検証項目	カメラビットレート指定による映像伝送画質の安定性
実験日時	2023 年 1 月 27 日（金） 9：30～17：00
天候	晴れ時々曇り
気温	-15℃ ～ -5℃
サンプル数	停止状態：測定ポイント５か所×各ビットレート(10, 20, 40Mbps)
検証方法	・4K モニタにてストリーミング映像の目視評価 ・4K モニタにて録画映像の画質、異常頻度の評価 ・受信ログによるスループット及びパケットロスの測定
確認者	映像伝送技術者 2 名、ロボットトラクタ技術者 1 名

課題実証の実験中も牧草地内の電波の伝送スループットの改善が日々続いており、まずは映像伝送システムの最大能力を確認する目的にフォーカスして、最初にロボットトラクタを停止状態にして測定した。測定ポイントは、牧草地（エリア①）の技術実証で測定したポイントのうち下図の５ポイントとした。



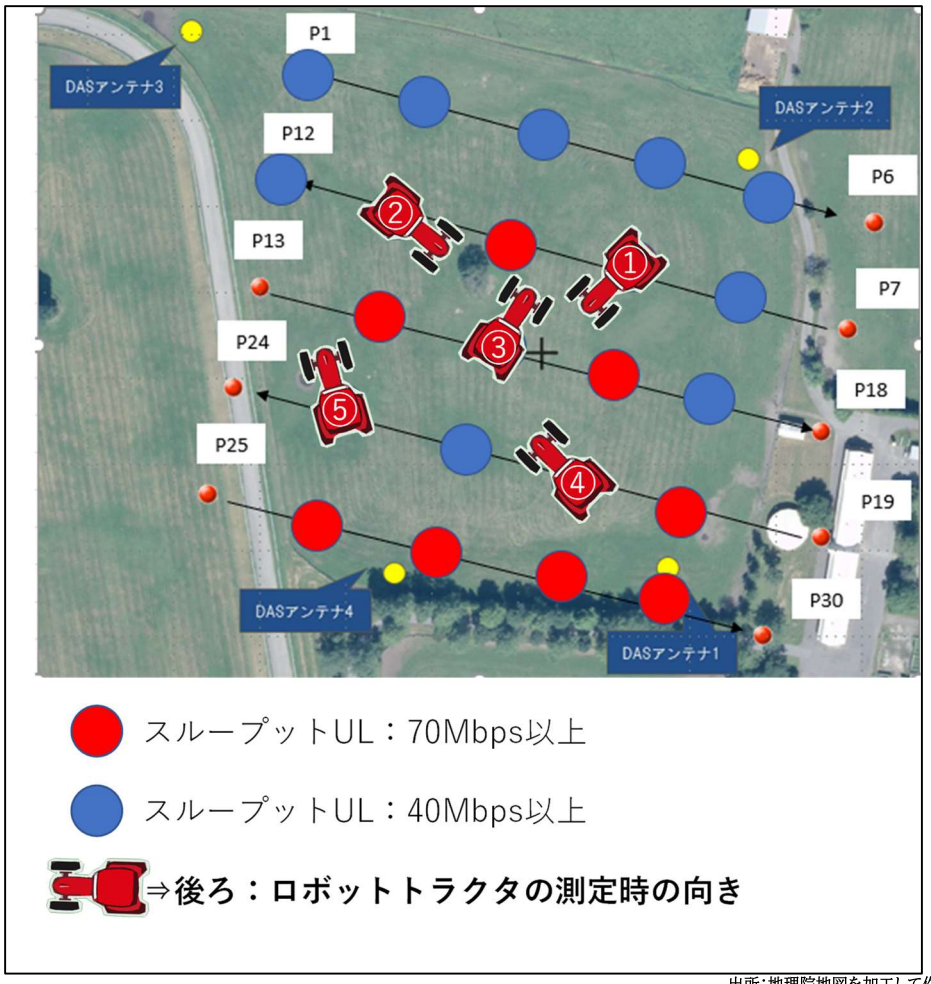
出所:地理院地図を加工して作成

図 4-28 課題実証 機能① 測定ポイント

ロボットトラクタの配置としては、ロボットトラクタ搭載のＧＰＳの位置情報が技術実証の測定ポイントで設定された緯度・経度に合う位置にトラクタを移動させ、ロボットトラクタの向きとしては、ロボットトラクタのリアガラス内に設置したローカル５Ｇ端末の受信状態が最適となるように、ロボットトラクタの背後を一番近い DAS アンテナのほうへ向けて停車して測定した。なお、ロボットトラクタの GPS は RTK 対応で位置精度誤差は約 10cm 未満である。

以下にロボットトラクタの背後を向けている DAS アンテナを整理すると、

測定ポイント①：DAS アンテナ 2
測定ポイント②：DAS アンテナ 3
測定ポイント③：DAS アンテナ 4
測定ポイント④：DAS アンテナ 1
測定ポイント⑤：DAS アンテナ 4
である。以下に図示する。



出所:地理院地図を加工して作成

図 4-29 各測定ポイントのロボットトラクタの向き

この５か所の測定ポイント条件で、4K 映像伝送のビットレートを 10,20,40Mbps の３項目に設定して、各測定ポイントにて以下の目視評価を 4K モニタ上で実施した。

・4K モニタにてストリーミング映像の目視評価

・4K モニタにて録画映像の画質、異常頻度の目視評価

また、同じ 4K 映像伝送にて各測定ポイントにて以下の測定を実施しログを解析した。

・受信ログによるスループットの測定

なお、スループット測定に用いたソフトは、iperf3.9 をサーバのコマンドライン上で実行し測定した。パケットロスの測定は、ログがサーバ上に保存されるためこれを解析の参考にした。

b. 【機能検証②　の検証方法】

機能検証②の検証方法の概要は以下の表の通りである。

表 4-8 機能検証②の検証方法の概要

検証番号	機能②
検証項目	ロボットトラクタと基地局との距離と画質の関係
実験日時	2023 年 1 月 26 日（木） 14：00～16：00
天候	晴れ時々曇り
気温	-14℃ ～ -3℃
サンプル数	走行状態：走行映像時間約 15 分(時速 2km/h)、受信ログ 1 秒間隔
検証方法	ロボットトラクタの GPS ログにより基地局からの時間ごとの距離を算出 ・4K モニタにて録画映像の画質、異常頻度の評価 ・受信ログによるスループット及びパケットロスの測定
確認者	映像伝送技術者２名、ロボットトラクタ技術者２名

機能①では電波の受信状況が好条件で検証を行うため、ロボットトラクタを停止させて測定している。実際の作業ではロボットトラクタは移動しているため、実際の作業に即して下図の自動生成した除雪経路で自動走行させた状態で映像品位の確認とスループット測定を実施した。ロボットトラクタは時速 2km/h で走行し、走行時間は約１５分、伝送した映像は 4K(30fps)である。

ロボットトラクタの移動位置は GPS により記録されており、基地局の緯度・経度と比較することで時間ごとのロボットトラクタと基地局の距離が算出されるため、映像の再生時間と比較することで、ロボットトラクタと基地局間の距離と映像品位の関係の確認が可能である。なお、基地局との距離算出は後日に録画映像での確認とした。自動生成した除雪経路を以下に示す。

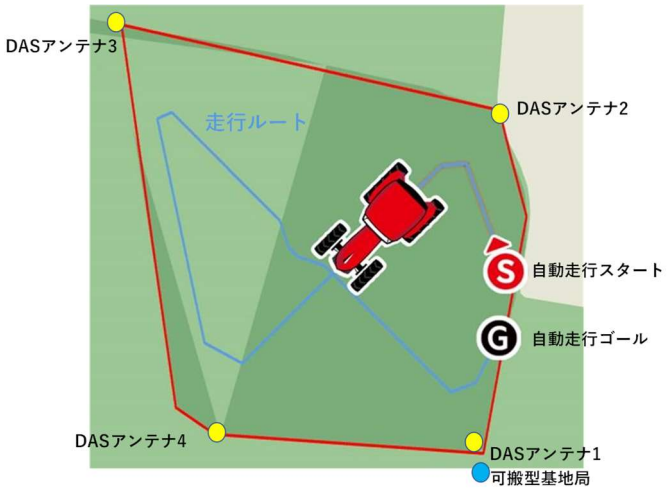


図 4-30 自動生成された除雪経路の走行ルート

また映像品位の確認だけでなく、同経路を再度自動走行させてスループット測定も実施した。

受信ログの測定間隔は約 1 秒間隔であるため、除雪経路上のスループットを約 0.55m毎の細かい間隔で連続測定したことになる。この受信ログの記録時間をもとに比較することで、ロボットトラクタと基地局間の距離と測定データの関係の確認が可能である。

c. 【機能検証③　の検証方法】

機能検証③の検証方法の概要は以下の表の通りである。

表 4-9 機能検証③の検証法の概要

検証番号	機能③
検証項目	ロボットトラクタの移動速度と画質の関係
実験日時	2023 年 1 月 26 日（木） 14：00～16：00
天候	晴れ時々曇り
気温	-14℃ ～ -3℃
サンプル数	走行状態：走行映像時間約 15 分×3 速度、受信ログ 1 秒間隔
検証方法	ロボットトラクタの GPS ログにより移動速度を算出 ・4K モニタにて録画映像の画質、異常頻度の評価 ・受信ログによるスループット及びパケットロスの測定
確認者	映像伝送技術者２名、ロボットトラクタ技術者２名

実験時間の節約のため、機能②と同じ実験内容にて、移動速度を変えて実験値を得る作業を行った。移動速度として、時速 1km/h と時速 2km/h、時速 3km/h の３種類のみである。ロボットトラクタの最高速度は時速 10km/h まで出せる仕様となっているが、除雪機を搭載し重量が増したことおよび地面の積雪の状況から速度が出すことができないとのことで、２条件のみとなった。

機能②と同様に、移動速度に対して映像画質の確認と受信ログの解析による測定値を得た。

d. 【機能検証④　の検証方法】

機能検証④の検証方法の概要は以下の表の通りである。

表 4-10 機能検証④の検証方法の概要

検証番号	機能④
検証項目	ロボットトラクタの方向転換時における映像伝送品質確認
実験日時	2023 年 1 月 26 日（木） 14：00～16：00
天候	晴れ時々曇り
気温	-14℃ ～ -3℃
サンプル数	走行状態：走行映像時間約 15 分ｘ３速度、受信ログ 1 秒間隔
検証方法	ロボットトラクタの GPS ログにより方向転換（右回転、左回転等）を検出

	・4K モニタにて録画映像の画質、異常頻度の評価 ・受信ログによるスループット及びパケットロスの測定
確認者	映像伝送技術者２名、ロボットトラクタ技術者２名

実験時間の節約のため、機能②、機能③の実験データを利用し、ロボットトラクタの方向転換時（右回転、左回転）を映像から検出し、その際の映像画質の確認と受信ログの解析による測定値を得た。

e. 【機能検証⑤　の検証方法】

機能検証⑤の検証方法の概要は以下の表の通りである。

表 4-11 機能検証⑤の検証方法の概要

検証番号	機能⑤
検証項目	ロボットトラクタと基地局サーバ間の伝送遅延
実験日時	2023 年 1 月 27 日（金） 9：30～17：00
天候	晴れ時々曇り
気温	-15℃ ～ -5℃
サンプル数	停止状態：測定ポイント５か所×各ビットレート(10, 20, 40Mbps)
検証方法	・カメラ撮影から 4K モニタへの映像表示までの遅延時間を測定
確認者	映像伝送技術者２名、ロボットトラクタ技術者１名

実験時間の節約のため、機能①の測定ポイント５か所において、機能①の各ビットレートでの測定後同じ測定ポイントで伝送遅延の測定作業を行った。機械的に測定できるカメラ撮影から 4K モニタへの映像表示までの遅延時間を測定することとし、遅延時間の測定方法としては、下図のようにあらかじめ msec 単位で NTP 時刻を同期させた２台のスマートフォンを使った。

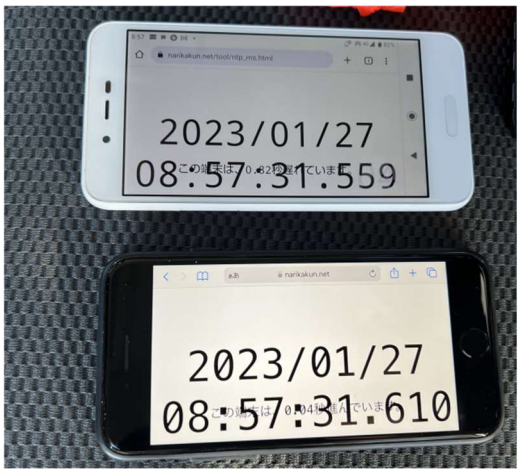


図 4-31 NTP 時計による2台のスマホの時刻同期

片方のスマートフォンを自撮り棒でロボットトラクタの 4K カメラの前にスマートフォンの表示画面を向けて撮影し、その映像がサーバに伝送された 4K モニタの前にもう１台のスマートフォンの表示画面を置いて、下図のように画面内の映像伝送されたスマホ画面と画面前に置いたスマホ画面を同時にカメラ撮影して、それぞれの msec 単位の時刻表示を読み取って遅延時間とした。なお、使用した msec 単位の NTP 時刻表示ソフトとして WEB ブラウザアプリ「なりかくん」(https://narikakun.net/tool/ntp_ms.html)を利用した。



図 4-32 カメラ撮影からサーバモニタ映像表示までの遅延時間の測定の風景

f. 【機能検証⑥ の検証方法】

機能検証⑥の検証方法の概要は以下の表の通りである。

表 4-12 機能検証⑥の検証方法の概要

検証番号	機能⑥
検証項目	ロボットトラクタから軽種馬状況をリアルタイムで把握
実験日時	2023 年 2 月 1 日 （水） 8：30～10：00
天候	曇り
気温	-13℃ ～ -2℃
サンプル数	レンズ２種（広角・魚眼）×移動３種（ロボットトラクタ前・周囲・後ろ）
検証方法	・全周囲の映像でロボットトラクタ周囲の視認性を確認する ・対象物の AI 解析により認識率を確認する
確認者	映像伝送技術者 1 名、ロボットトラクタ技術者 1 名、AI 解析技術者 1 名

4K カメラらのリアルタイム映像を活用して安全性を向上するといった目標から、ロボットトラクタ周囲の視認性を確認するため、次の３パターンで周囲映像を撮影し比較した。

パターン１：広角レンズ（視角 180°）4K カメラをロボットトラクタの前に配置

パターン２：円周魚眼レンズ（視角 210°）をロボットトラクタの前後に配置

パターン３：全天球レンズカメラ（視角 360°）をロボットトラクタの天井に配置

パターン１のカメラからローカル５Ｇ端末の機材構成と接続は図 4-22　ロボットトラクタ機材配線図と同様である。パターン２のカメラ配置写真を下図に示す。



図 4-33　ロボットトラクタの前後カメラの配置



図 4-34　ロボットトラクタの後ろカメラ

また、パターン２のカメラ機材とローカル５Ｇ端末との構成接続（当初案）と機材配線のブロック図を下図に示す。

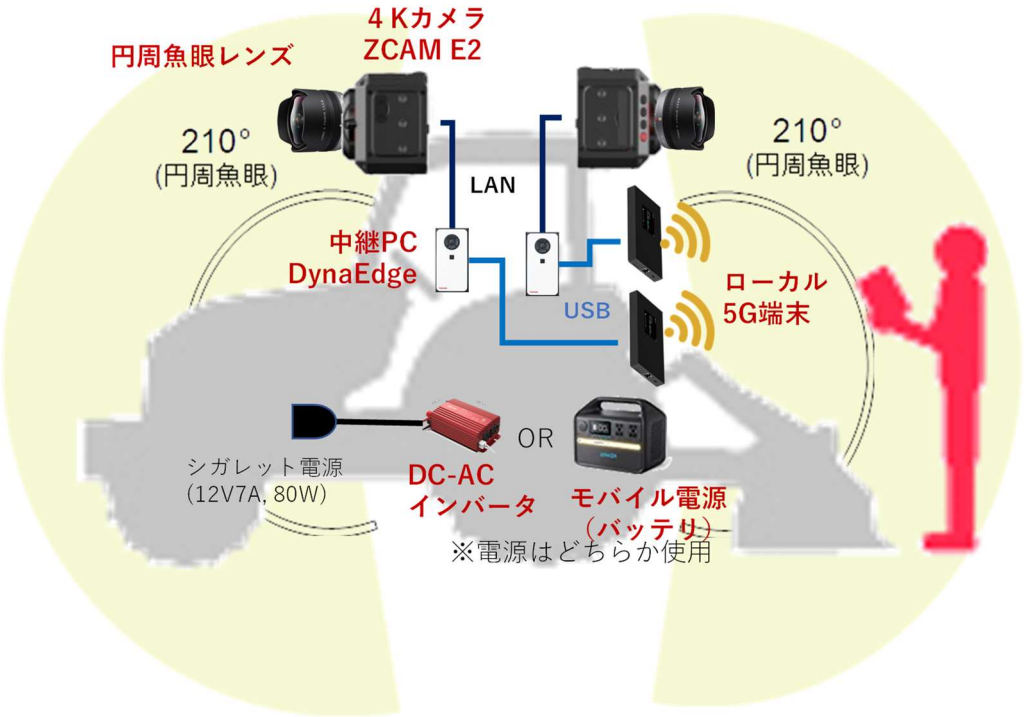


図 4-35 ロボットトラクタの機材構成と接続(前後カメラ)

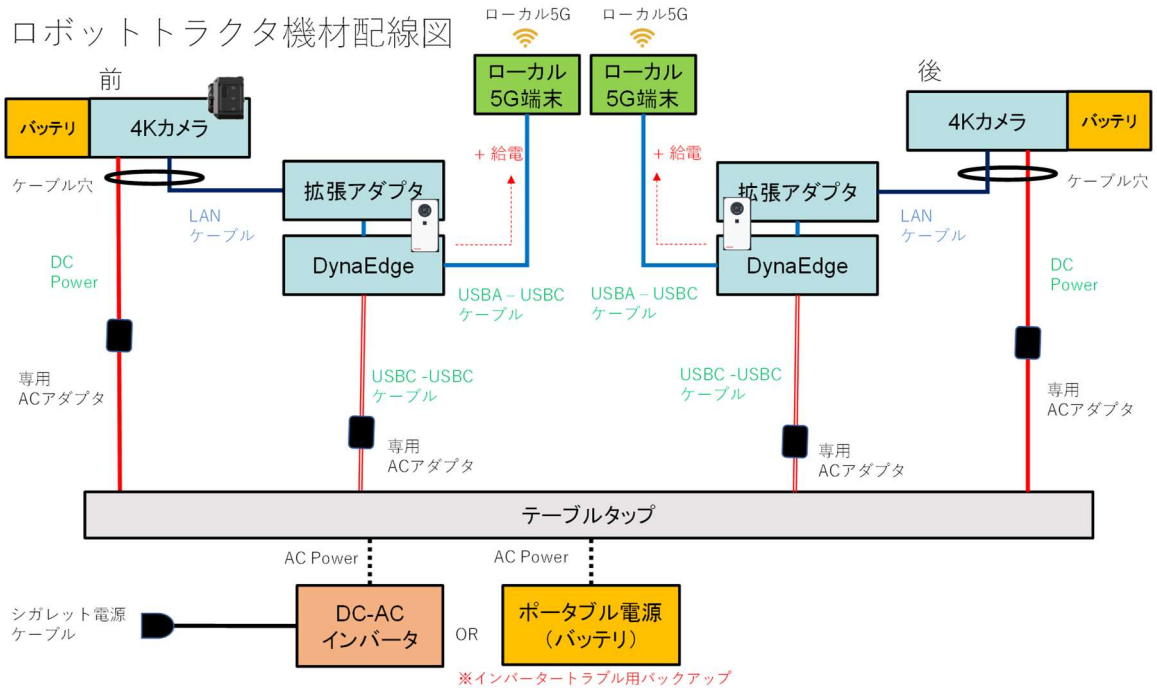


図 4-36 ロボットトラクタ機材配線図(前後カメラ)

なお、実験室レベルでは前後カメラ２つのカメラを想定した複数ストリーム伝送を確認できたが、実際の現場では、片方がつながっても片方がつながらないといったシーソーゲームを繰り返し、現場での人的リソース不足も重なって即時解決が実現できなかったため、視認性確認の目標を最優先とし同時伝送（複数ストリーム伝送）ではなく、前カメラもしくは後カメラを切り替えた伝送（シングルストリーム伝送）で今回撮影した。

パターン３の全天球レンズカメラは、下図のようにロボットトラクタの天井から 70cm の高さに設置した。このカメラにより全周囲の様子を的確にとらえることができるため、パターン１、２との撮影内容の比較検討用に用いた。解像度はパターン１、２のカメラと同じ 4K でローカル５Ｇ伝送が可能であるが、この設置は実用的ではないためパターン１，２同時進行で録画のみとしている。



図 4-37 全天球カメラの配置

当初、撮影対象として当初複数の馬を想定して、ロボットトラクタの周囲に馬を放牧していただけないかどうか事業者に相談したところ、ロボットトラクタに近づかず逃げてしまうだろうとのことで、馬の代わりに４名の人に周囲を移動していただきカメラ撮影することで代用することとし、全周囲の視認性を確認した。また、人の移動としては下図のように停止状態とロボットトラクタの前、周囲、後ろを移動しいただき、それら映像から人を AI 検出し、安全性確認において課題がないか調査した。魚眼レンズの AI 検出ではレンズの歪みを補正せずに AI 検出した。そのため認識率は落ちることを想定しているが、魚眼レンズ特有の現象を確認したいため、補正しないこととした。

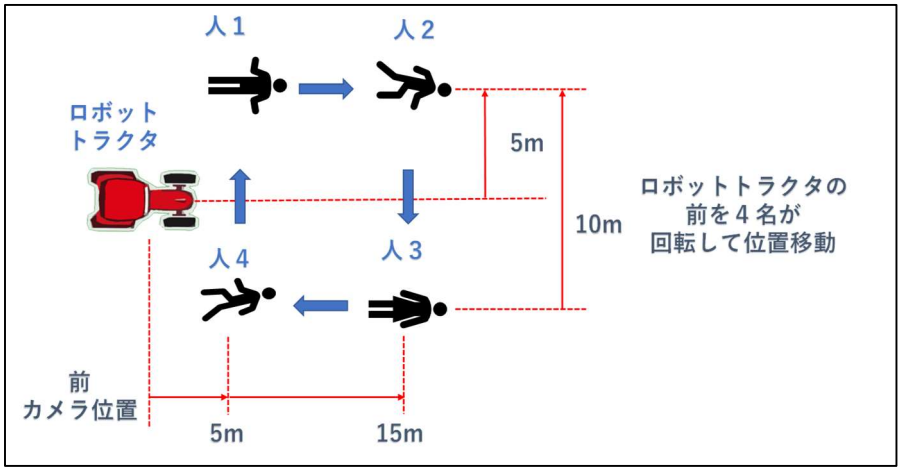


図 4-38 視認性確認(前4人)

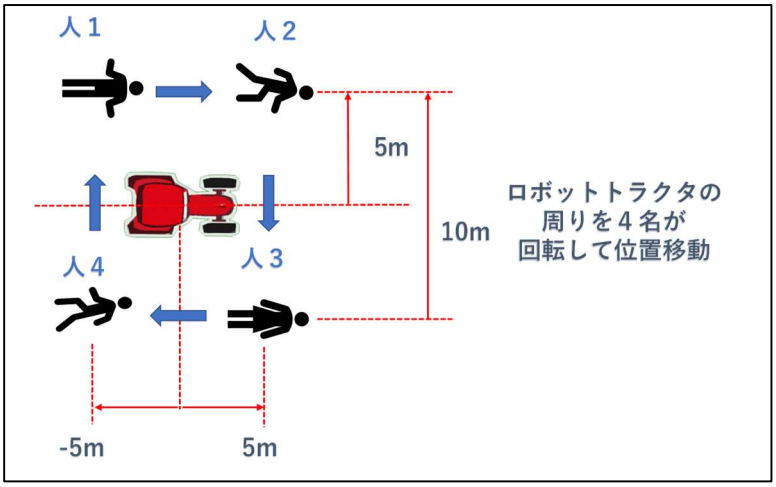


図 4-39 視認性確認(周囲4人)

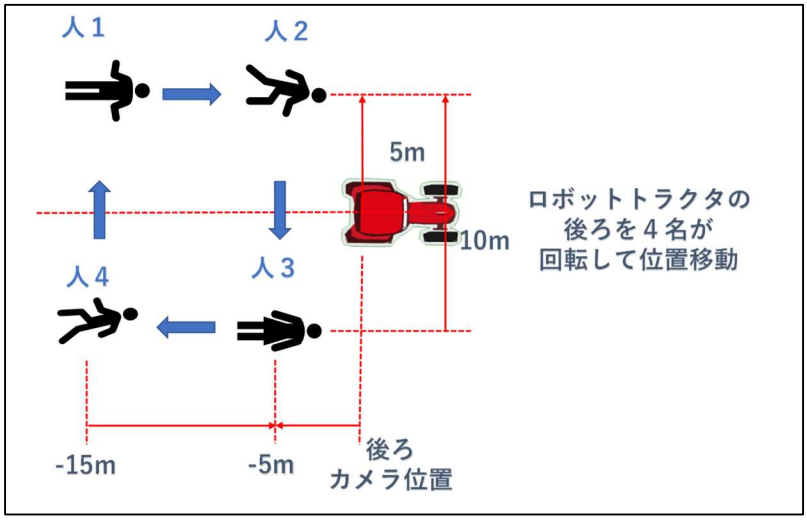


図 4-40 視認性確認(後ろ4人)

実験作業中の人の移動の様子を以下に示す。



図 4-41 視認性確認(前4人)撮影の様子(全天球カメラの展開図)

g. 【機能検証⑦ の検証方法】

機能検証⑦の検証方法の概要は以下の表の通りである。

表 4-13 機能検証⑦の検証方法の概要

検証番号	機能⑦
検証項目	ロボットトラクタから除雪処理状況をリアルタイムで把握
実験日時	2023 年 1 月 25 日 (水) 15：00～16：30
天候	曇り時々雪
気温	-15℃ ～ -7℃
サンプル数	映像 4 シーン×8 名
検証方法	録画した映像で除雪の作業状況を複数名で確認する
確認者	映像伝送技術者 2 名、ロボットトラクタ技術者 2 名 映像関連技術者 4 名

除雪前後の状況をリアルタイム映像伝送で録画した 4 シーンを現場で 4 名およびシャープ天理事業所で 4 名、計 8 名で評価した。評価方法としては、除雪作業状況がわかるがどうかを判断基準として映像を見ていただき、自由にコメントしていただいた内容を記録した。

h. 【機能検証⑧　の検証方法】

機能検証⑧の検証方法の概要は以下の表の通りである。

表 4-14 機能検証⑧の検証方法の概要

検証番号	機能⑧
検証項目	ロボットトラクタの停止から再スタートまでの視認確認
実験日時	2023 年 1 月 26 日（木） 13：00～14：00
天候	晴れ時々曇り
気温	-14℃ ～ -3℃
サンプル数	３回
検証方法	制御用タブレットでトラクタを停止し、トラクタ周囲に障害物があるかどうか 4K モニタで確認し、問題なければ作業を再スタートし、作業に要した時間を測定する。
確認者	映像伝送技術者２名、ロボットトラクタ技術者２名

ロボットトラクタには Wi-Fi による制御用タブレットを用いて遠隔操作の機能が製品として搭載されており、遠隔でロボットトラクタの車速などのステータス、自動走行中の現在位置と小型低解像度カメラによる前後映像、および停止・スタート、作業履歴の保存が可能である。以下に制御用タブレット画面の様子を示す。



図 4-42 ロボットトラクタの制御用タブレットの画面

本実証では、このロボットトラクタと制御用タブレット間をローカル５Ｇで中継することで、伝送距離、安定性および安全性を拡張した。以下に拡張イメージの図を示す。

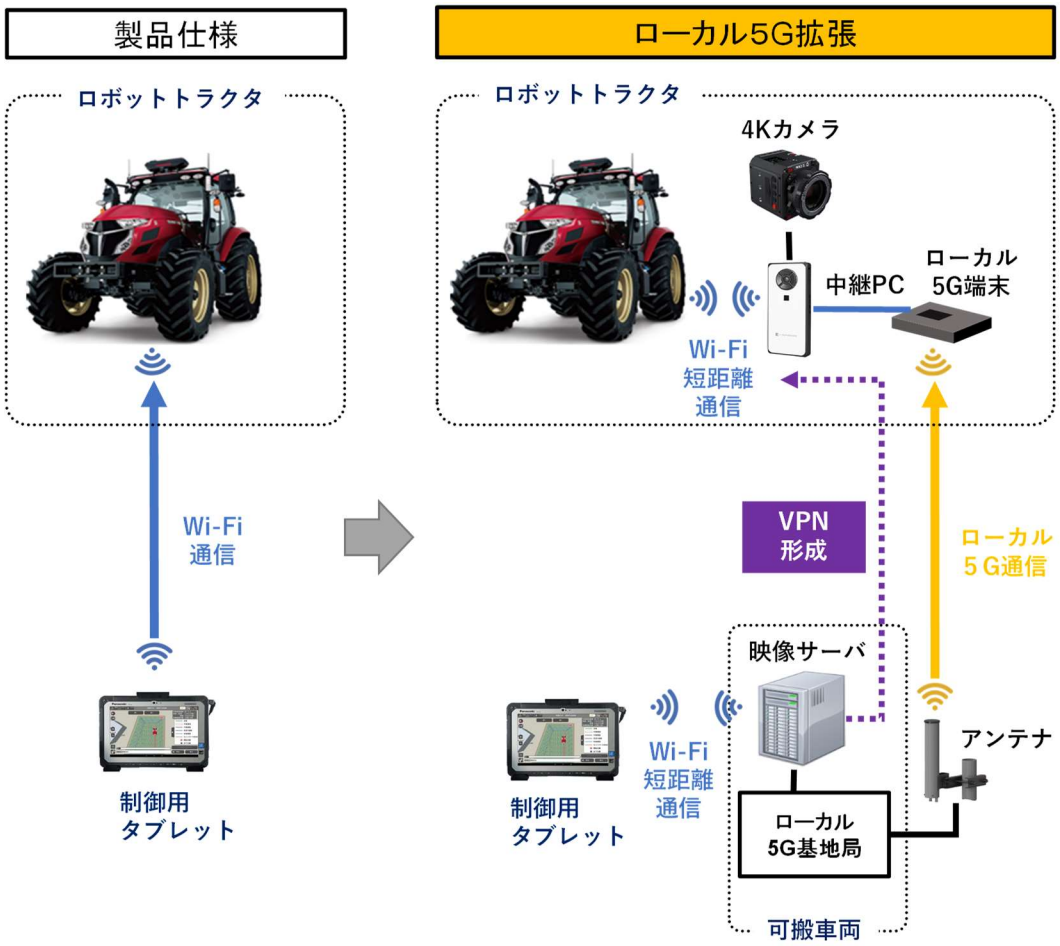


図 4-43 ローカル5G拡張のイメージ

制御用タブレットは映像サーバと Wi-Fi で接続され、ローカル５Ｇ基地局に接続、アンテナを経由して無線伝送され、ロボットトラクタ内のローカル５Ｇ端末に接続、中継 PC の Wi-Fi クライアントからロボットトラクタの Wi-Fi アクセスポイントに接続することで、ローカル５Ｇを経由してロボットトラクタの制御信号の送受信を可能としている。この間の経路は VPN（Virtual Private Network）接続を形成しているため、データ暗号化により通信内容が漏れることを防ぎ、ロボットトラクタのセキュリティ面でも安全な遠隔操作を可能としている。

本機能検証では、この Wi-Fi からローカル５Ｇへの拡張が実際に実用的に機能することを確かめるため、ローカル５Ｇを経由して、牧草地内の様々な地点でロボットトラクタの制御用タブレットで停止、4K モニタで周囲状況を確認、タブレットで再スタートを実行し、不具合がないかどうかスムーズに動作できるかどうかを確認し、作業に要した時間を測定した。

i. 【機能検証⑨　の検証方法】

機能検証⑨の検証方法の概要は以下の表の通りである。

表 4-15 機能検証⑨の検証方法の概要

検証番号	機能⑨
検証項目	魚眼レンズにおける 4K 映像と 2K 映像での伝送比較
実験日時	2023 年 2 月 1 日（水） 9：30～10：30
天候	曇り
気温	-13℃ ～ -2℃
サンプル数	２解像度（4K・2K）
検証方法	ロボットトラクタからの伝送映像を情報量と伝送量の観点で比較する
確認者	映像伝送技術者 1 名、ロボットトラクタ技術者 1 名

広角レンズと魚眼レンズにおいて、4K 映像と２K 映像を伝送した場合の情報量および伝送量の違いを比較検討する。実際の実験によって得た映像により検証をし、4K 映像の優位点を明確化する。今回用いた広角レンズと魚眼レンズの仕様の違いを以下にまとめて示す。広角レンズは正確には魚眼レンズの一種であるが、中央に歪みが少ない領域が多い。また、それぞれの伝送映像イメージの違いも下図に示す。

表 4-16 広角レンズと魚眼レンズの仕様比較

項目	広角レンズ	魚眼レンズ
公称	対角線魚眼レンズ	円周魚眼レンズ
機種名	LUMIX G-FISHEYE 8mm	LAOWA 4mm FISHEYE MFT
明るさ（F 値）	F3.5	F2.8
視野角	180°	210°
メリット	・中央に歪みが少ない	・非常に明るい ・２台で全方位の監視が可能
デメリット	・全方位の監視は不可能	・映像の変形合成処理必須



広角レンズ　　魚眼レンズ

図 4-44 レンズで撮影される映像イメージ

j. 【機能検証⑩　の検証方法】

機能検証⑩の検証方法の概要は以下の表の通りである。

表 4-17 機能検証⑩の検証方法の概要

検証番号	機能⑩
検証項目	4K 映像と 2K 映像での AI 画像解析の精度検証
実験日時	2023 年 2 月 1 日（水） 9：30～10：30
天候	曇り
気温	-13℃ ～ -2℃
サンプル数	レンズ２種（広角・魚眼）×３解像度（4K・2K・1K）
検証方法	ロボットトラクタからの映像伝送において、サーバで録画した映像にて障害物を自動解析ソフトで検出し、正解と比較することで精度を算出する
確認者	映像伝送技術者１名、ロボットトラクタ技術者１名、AI 解析技術者１名

ロボットトラクタの周囲の障害物として立ち位置を指示しやすい人を利用することにした。ロボットトラクタの前面に搭載したカメラ位置から 10、20、30、40mの距離に人を計４名配置して左右に移動していただき、この動きをカメラ撮影した映像を AI 画像解析にかけて精度を検証した。レンズとしては広角レンズを使用し 4K カメラで撮影した。解像度としては、4K カメラで撮影し録画したものが解像度 3840×2160 ピクセルであり、これを、2K 解像度(1920×1080)、1K 解像度（960×540）にダウンコンバートし、４K・2K・1K の３解像度の条件で AI 処理による人物認識を実施した。撮影条件および実験の様子を下図に示す。

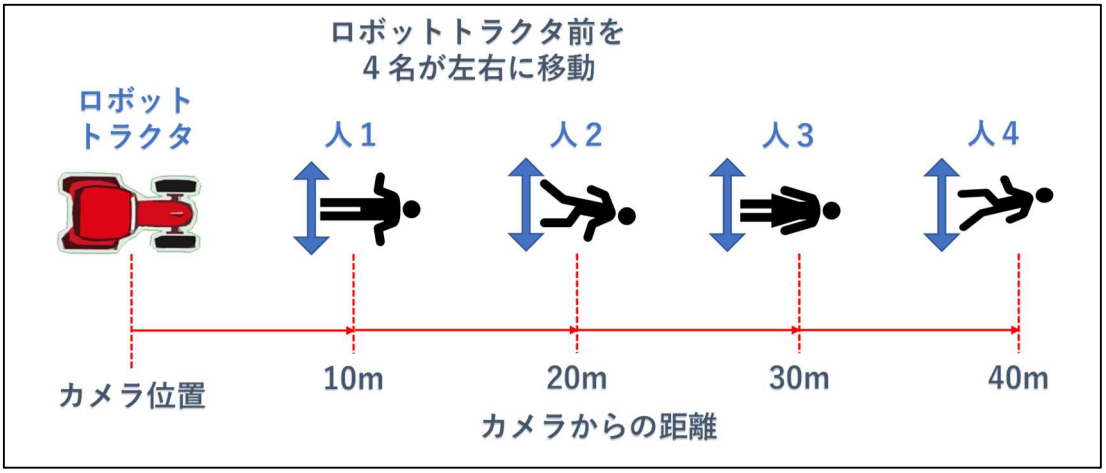


図 4-45 機能検証⑩の撮影条件



図 4-46 機能検証⑩の実験の様子

k. 【機能検証⑪　の検証方法】

機能検証⑪の検証方法の概要は以下の表の通りである。

表 4-18 機能検証⑪の検証方法の概要

検証番号	機能⑪
検証項目	放牧地状況の AI 解析による走行経路最適化の検証
実験日時	2022 年 11 月 16 日（水）～17 日（木）※ドローン撮影、草刈自動走行 2023 年 1 月 25 日（水）～27 日（金）※除雪自動走行 2023 年 2 月 14 日（水）～15 日（木）※デモ用自動走行
天候	11 月：晴れのち曇り、1 月：晴れのち曇り、２月：晴れ時々雪
気温	11 月：2～ 8℃、1 月：-15～-3℃、２月：-10～0℃
サンプル数	ドローン撮影：牧草地２か所×高度３種類（20・40・80m） 自動走行：草刈り１パターン、除雪２パターン、デモ用３パターン
検証方法	ドローンで撮影した映像から放牧地のオルソ画像を生成し、それらデータを AI 解析することにより走行経路を複数生成し、実際にロボットトラクタで自動走行させて最適化した経路を走行可能か確認する
確認者	ドローン撮影：映像伝送技術者 1 名、AI 解析技術者 1 名 自動走行：映像伝送技術者 2 名、ロボットトラクタ技術者 2 名

放牧地状況の AI 解析によるロボットトラクタの自動走行経路最適化の検証方法として、最初に、①ドローンで上空から牧草地を撮影し、撮影した写真を合成、次に②合成画像から湿地帯や

立木、水飲み場などの障害物を AI 検出、③トラクタの旋回性能等を考慮して作業経路を生成、さらに、④AI 検出した障害物を避けた最適化プランを複数提供し、それらプランを実際にロボットトラクタで切り替えて走行させて検証した。

今回用意したドローンは下図のコンソーシアム内で所持していたドローンを採用しており、測量精度を維持するため、対空標識を５か所に設置した。これにより測量精度を 1m から 15cm 程度に改善可能とした。なお、昨今のドローンによる測量では精度が数 cm 程度の RTK 対応ドローンが用いられる傾向にあるが今回採用を見送っている。



図 4-47 撮影用ドローンと対空標識

ドローン撮影の作業風景を以下に示す。





ドローン撮影の作業機材

図 4-48 ドローン撮影の作業風景

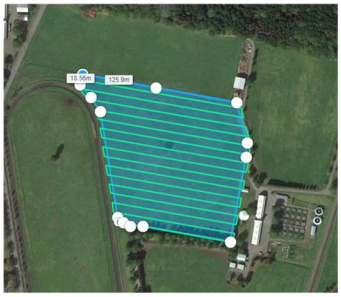
ドローンによる牧草地の撮影はビッグレッドファーム所有牧草地の下図２か所で、１つは事務所から約 800m の地点にある実証現場①がローカル５Ｇ環境下で自動走行を実施した実証実験現場である。そして、事務所から約 3km の地点にある実証現場②は最も遠く広い面積を有する牧草地であるため、比較参考用に撮影した。



出所：地理院地図を加工して作成

図 4-49 ドローン撮影現場（2か所）

高度は 20・40・80m の３種類で、それぞれドローンバッテリ時間内（約 25 分）で、１か所１高度全領域を撮影しきるようにあらかじめ設定した自動飛行経路で、自動飛行させて撮影を実施した。自動飛行経路の設定および制御ソフトには「DJI Terra」を用いている。ドローン制御ソフトのフライトミッション画面の自動飛行経路を以下に示す。



実証現場① 高度20m



実証現場① 高度40m



実証現場① 高度80m

地上高低差が20m以上のため飛行不可能

実証現場② 高度20m



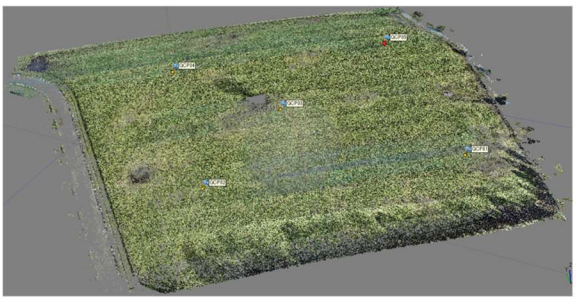
実証現場② 高度40m



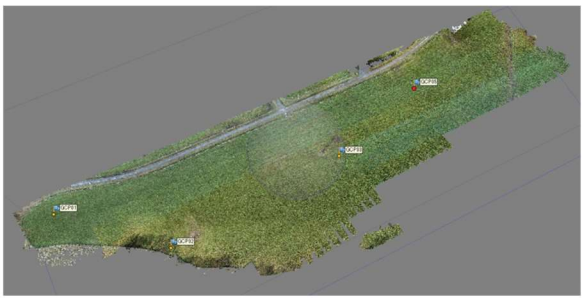
実証現場② 高度80m

図 4-50 フライトミッション画面の自動飛行経路

ドローン撮影後、その場で同制御ソフトを用いて撮影がうまくいったかどうか簡易的にオルソ画像と３Ｄデータを生成して確認している。その場で生成した３Ｄデータ例を以下に示す。



実証現場①　高度２０ｍ

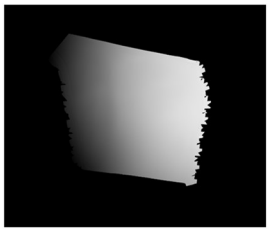


実証現場②　高度４０ｍ

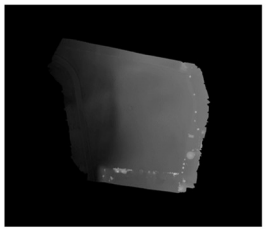
図 4-51　2つの実証現場の3D データ例

なお、実証現場②の高度 20m は高低差が 20m 以上あるため、ドローン制御画面上で飛行不可能となりその条件での撮影はできなかった。牧草地では高低差がある地形があるため、ドローンの高度を上げるか、高低差に沿った自動飛行が必要となる。

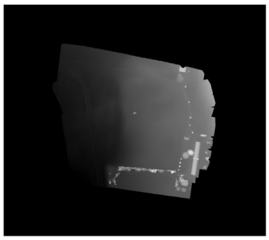
今回の撮影データから取得できた高低差のデータのイメージ化したものを以下に示す。実証現場①において高度 20m ではうまく高低差を取得できていない。実証現場②では地上高低差が 40m 弱あるので、高度 40m の撮影では右側の高い丘部分にデータの刃こぼれが発生している。現場によって最適な撮影高度が異なることを確認した。



実証現場① 高度20m

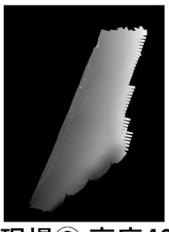


実証現場① 高度40m

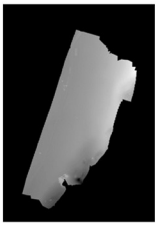


実証現場① 高度80m

地上高低差が20m以上のため飛行不可能



実証現場② 高度40m



実証現場② 高度20m　実証現場② 高度80m

図 4-52　取得した高低差のデータのイメージ

ドローンによる撮影作業後、複数枚の撮影写真を合成し上空真上から実証現場を見下ろす形のオルソ画像を生成した。下図に各条件のオルソ画像を縮小してまとめたものを示す。

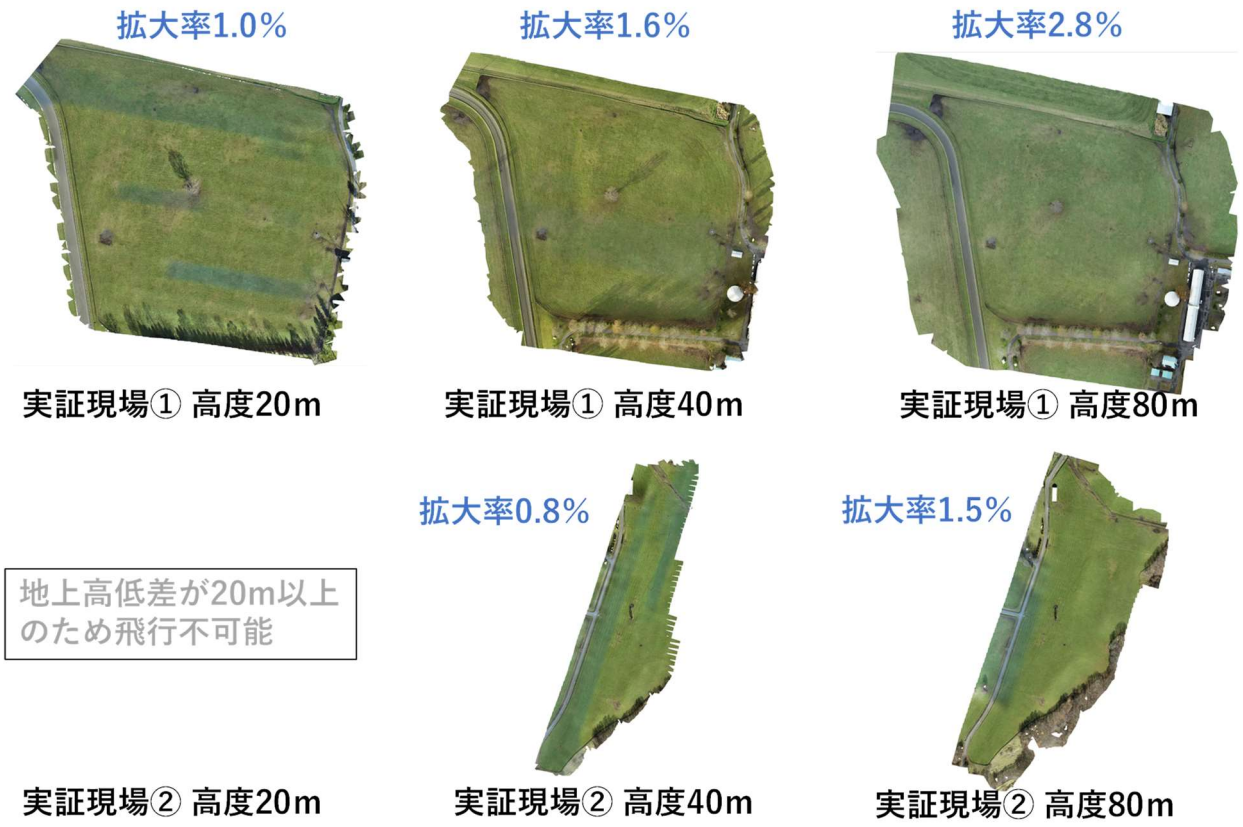


図 4-53 生成されたオルソ画像

拡大率は元画像データに対する縮小拡大のパーセンテージである。同じ大きさで表示する場合、元画像が細かければ拡大率は小さくなる。上述同様、実証現場①20m と実証現場②40mは実証現場全体のオルソ画像がきれいに生成できていない。

また、それぞれの高度で撮影生成したオルソ画像の細かさをみるため、各条件のオルソ画像から一部切り出して、立木、湿地帯、水飲み場を比較した図を同様に同じ大きさで表示するようトリミングした結果を以下に示す。当然、高度が低ければ地上の物体や草地の状況を細かく観察でき、高度 80m では画像が格段にぼやけることがわかる。

一方で、さきほどのフライトミッション画面の飛行経路をみてわかるように、ドローンの飛行高度が高ければ広い範囲を一度に撮影できるため、飛行経路・飛行時間は短くなり作業時間を短縮できるといった利点があり、ドローンによる高度の撮影条件にはトレードオフが存在する。

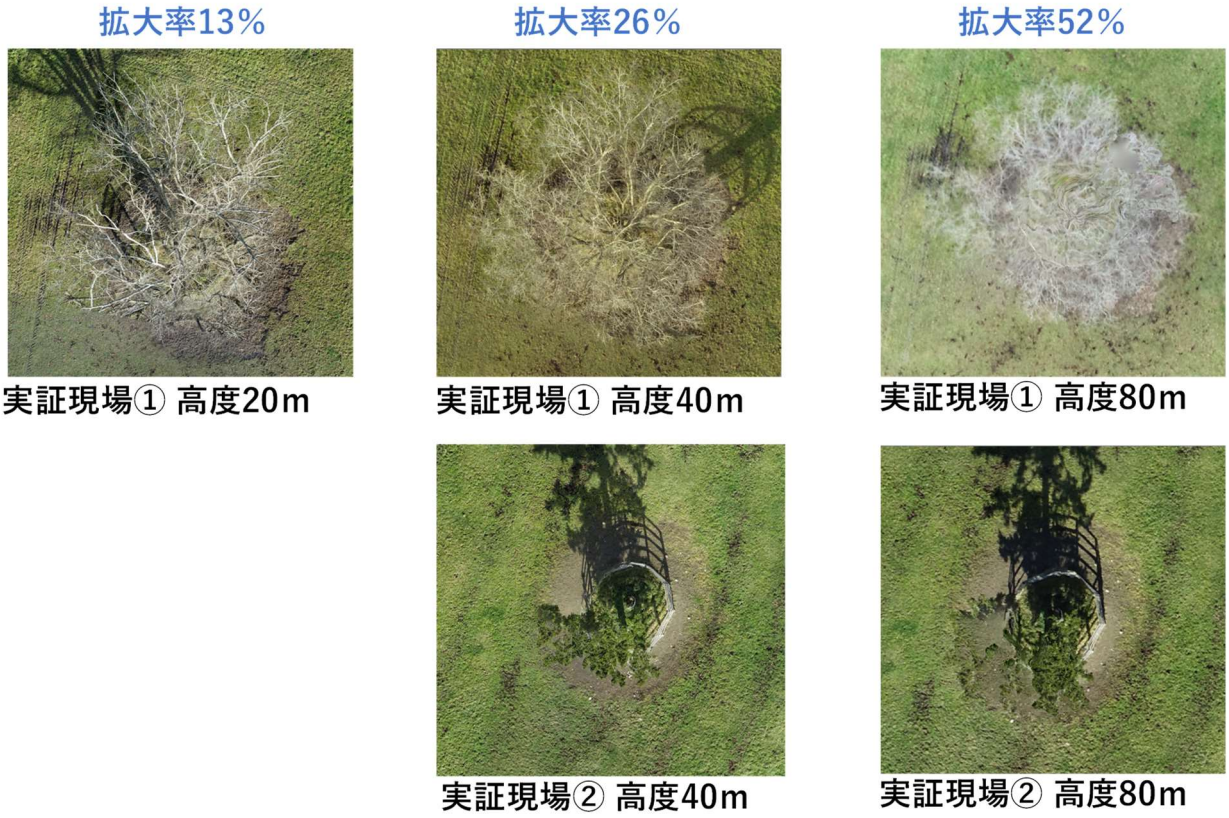


図 4-54 オルソ画像の比較（立木）

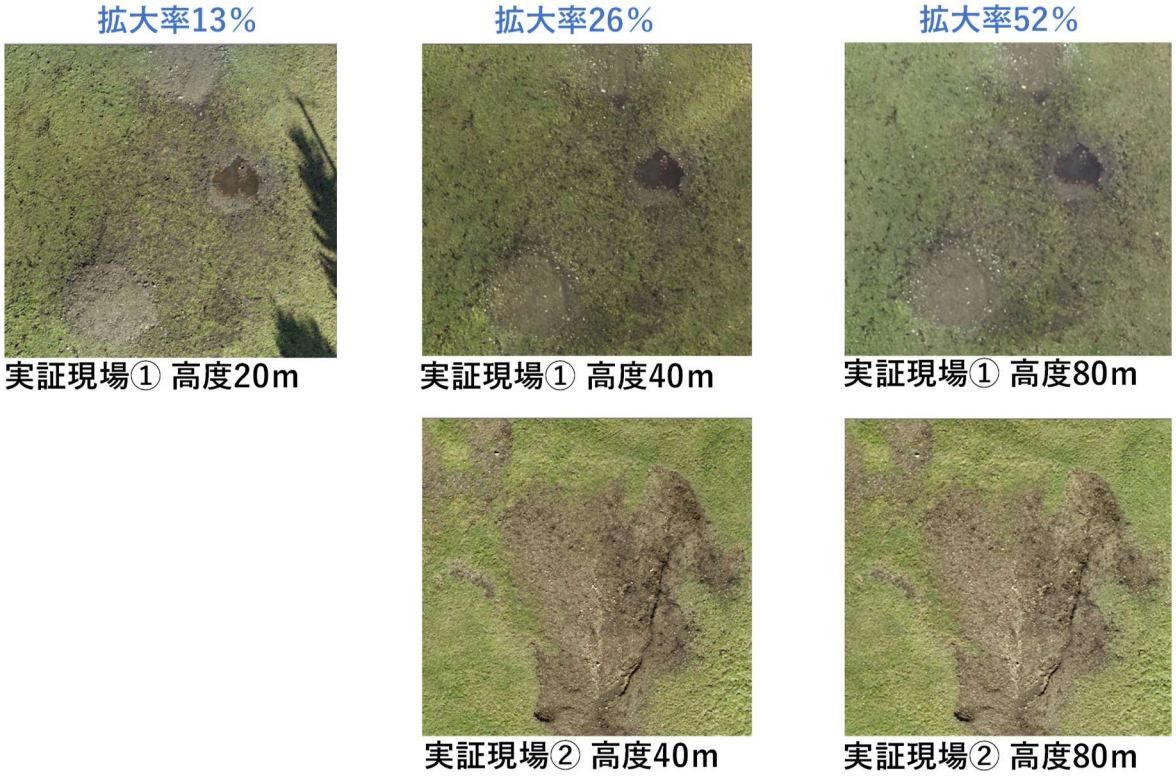


図 4-55 オルソ画像の比較（湿地帯）

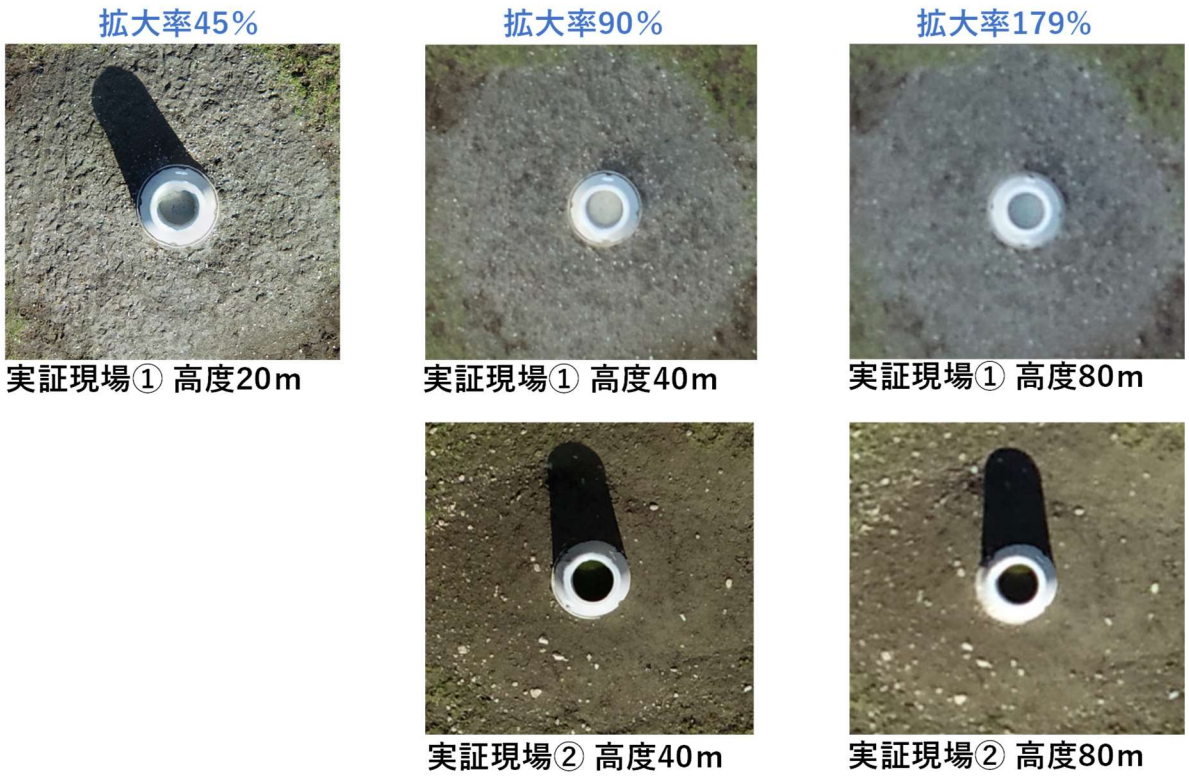


図 4-56 オルソ画像の比較(水飲み場)

また、実証現場①の高度 80m の生成したオルソ画像のファイルサイズは約 1GB、高度 40m で約 3GB、高度 20m に至っては約 9GB と巨大サイズで、このサイズになると高スペックの PC を用いても表示するだけでもファイルの読み込みに非常に時間がかかる。そのため、解析作業のしやすさから以降の実証現場①の障害物の AI 検出に用いるオルソ画像は高度 40m のものを選択として利用している。

次に、走行経路の生成手法について述べる。ロボットトラクタで自動走行させて最適な経路であると判断する基準としては、障害物や水たまりなど、ロボットトラクタ搭載の障害物センサーなどにより自動停止状態となるような状況において、停止せずに障害物などを避けて作業が継続できる経路を最適な経路とした。そのため、以下の３点を考慮にいれて走行経路を生成した。

・作業効率が良い最短経路
・ロボットトラクタの旋回仕様等を満たす経路
・障害物を避ける経路

作業効率が良い最短経路とは、作業する用途によって異なる。例えば、草刈り作業では現場全体を作業する必要があるが、軽種馬の運動目的の除雪ならば全体を除雪する必要はない。ロボットトラクタの旋回仕様については、曲がることができない経路を生成すると走行することができず止まってしまうといったことが起こる。そのため、旋回仕様以上の回転で曲がる必要があるし、

大回りしすぎると今度は作業する経路に無駄ができてしまう。旋回仕様８ｍ(800cm)を考慮した走行経路の導出例を下図に示す。基本的には旋回仕様を満たすように回転する際の旋回中心点を据えて経路を作成する。



出所:地理院地図を加工して作成

図 4-57 旋回仕様と旋回中心

また、障害物を避けるためには、ドローンで撮影して生成したオルソ画像から障害物を AI 解析で検出して位置を特定して、GPS の位置情報に合うようにロボットトラクタの走行経路を修正する必要がある。障害物を AI 解析で検出して生成した走行経路の例を下図に示す。



出所:地理院地図を加工して作成

図 4-58 生成された自動走行経路の例

以上の作業全体の流れを下図にまとめる。これら一連の作業を本実証では自動化して、複数のコースを生成し実際に走行できるかどうかを検証した。

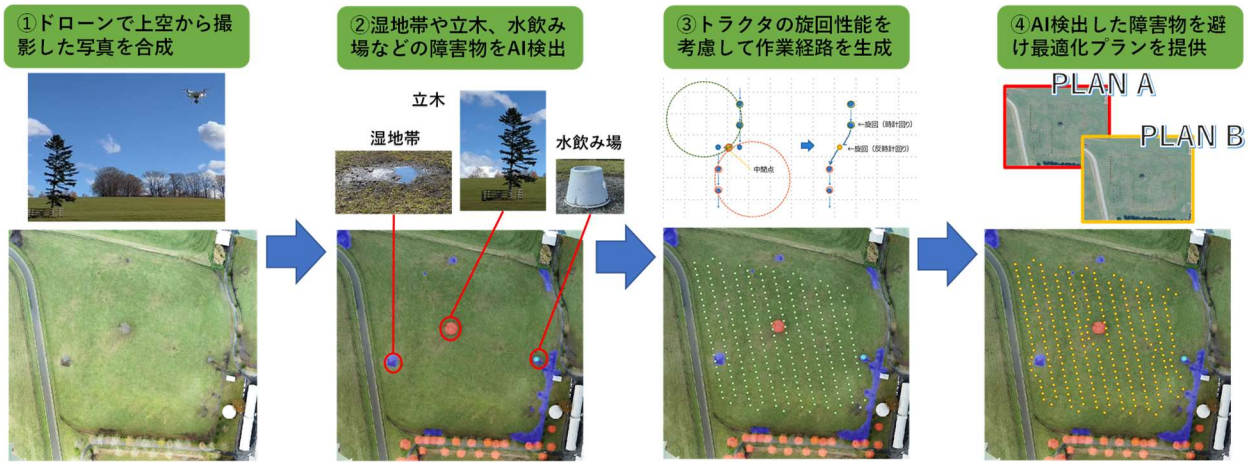


図 4-59 ドローン撮影から作業走行経路の自動生成

I. 【機能検証⑫　の検証方法】

機能⑫の検証方法について述べる。

表 4-19 機能検証⑫の検証方法の概要

検証番号	効果⑫
検証項目	高精細映像によるリルート解析および除雪精度の検証
実験日時	―（机上検討）
天候	―
気温	―
サンプル数	2
検証方法	・4K 映像と 2K 映像によるリルート解析および除雪の精度差について検討する ・リルートする場合としない場合の違いを検討する
確認者	映像伝送技術者 1 名、AI 解析技術者 1 名

本検証は、ロボットトラクタから伝送される車載画像に基づく経路計画の高精度化を検討する。リルート解析および除雪の高精度化において、障害物の検知によりさらに攻めた自動走行経路生成が可能と考え、特に放牧地中央に位置する立木や距離が長い柵の検知について検討を進めた。

その結果、AI 画像認識のセマンティックセグメンテーション技術を用いた経路計画が最適と考え、以下のステップを想定し実装にとりかかった。残念ながら、本機能検証では実際に検証結果を得るまでに至っていないが、以下のステップをもとに、実際に課題実証実験中に撮影した映像データから、実装の検討を進めた内容を報告する。

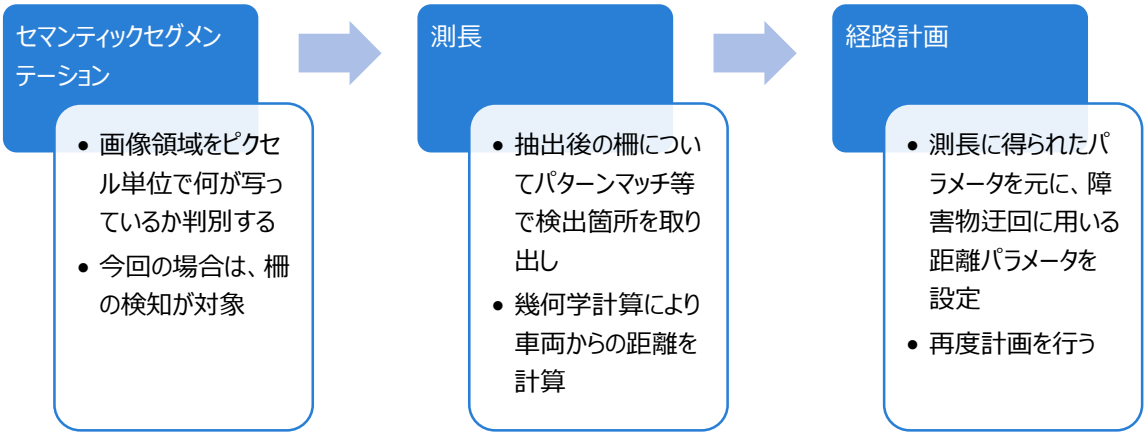


図 4-60 経路計画の高精度化のステップ

3） 検証結果及び考察

各機能検証項目の検証結果及び考察を以下に示す。

a. 【機能検証① の検証結果及び考察】

機能①の検証結果について説明し考察する。最初に再度計画した達成指標を下表にまとめる。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能①	カメラビットレート指定による映像伝送画質の安定性	ビットレート 40Mbps 以下で映像途切れ、破綻がない	平均 50Mbps 以上達成

測定ポイント５か所において、ビットレート 10、20、40Mpbs で映像品位を確認したが、どのポイントでも映像の乱れや破綻はなかった。

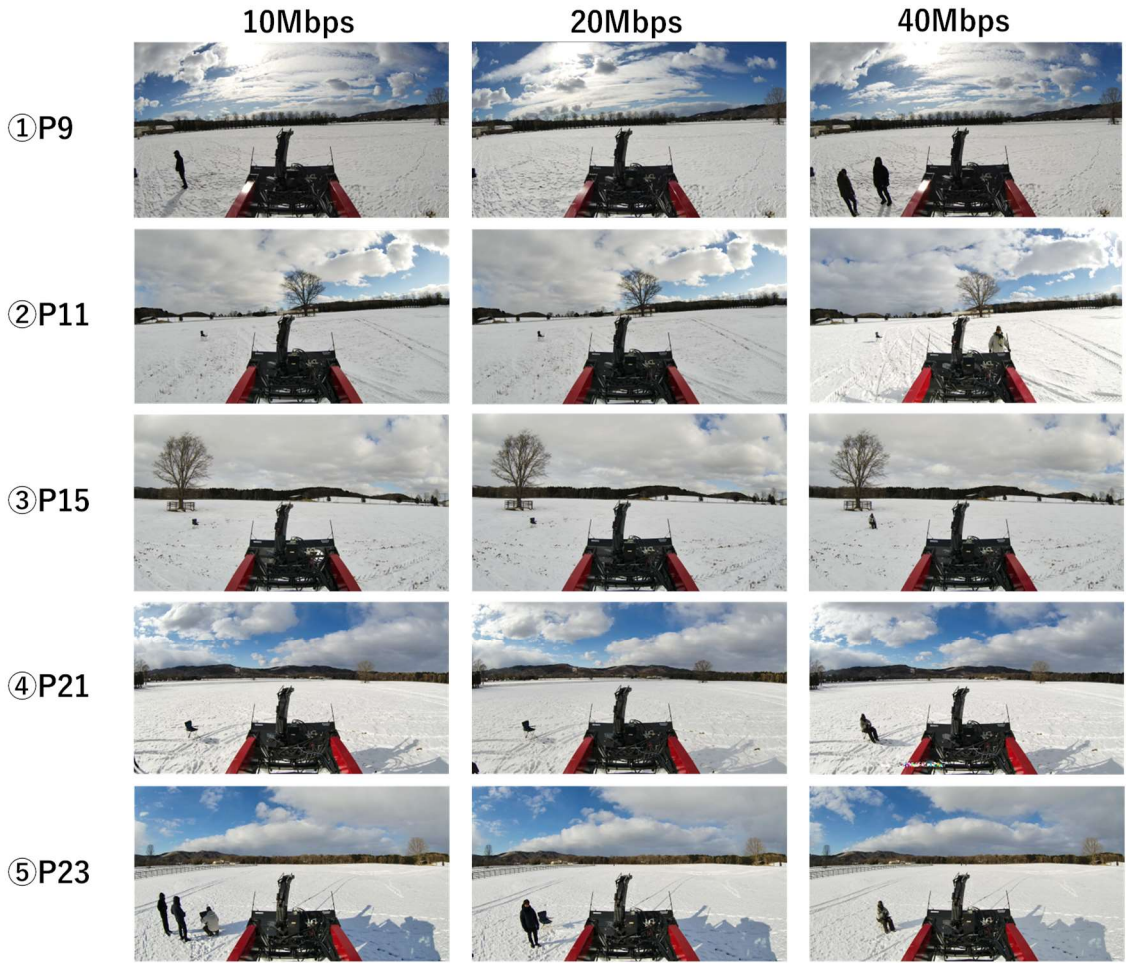


図 4-61 各測定ポイントにおける映像品位イメージ

また、各ポイントでスループット測定も実施している。以下に各ポイントにおける平均スルー

プットと再送信のリトライ回数を示す（測定時間 300 秒）。

表 4-20 各測定ポイントにおける平均スループット

測定ポイント	平均スループット(Mbps)	リトライ回数
①P9	111	20
②P11	79.3	453
③P15	60.2	861
④P21	57.9	1
⑤P23	71.7	6

どのポイントでも目標とする 40Mbps 以上の数値を示している。②P11 と③P15 で一時的に伝送の不具合が発生してデータ伝送のリトライ数値が瞬間上がっているが、映像上は同時刻で不具合は確認できなかった。システム的には１秒間のスループット変動は吸収する設定としていることが奏功していると考えられる。

以上の結果から、4K カメラで撮影した高画質圧縮映像データ(4K60fps、圧縮プロトコル H.265、ビットレート 40Mpbs)を安定して伝送できる能力をシステム的に保有していることを確認できた。今後は、ポイントごとの一時的な不具合を解消してシステムの安定性を向上させることにより、さらに平均スループット UP を目指す。

b. 【機能検証② の検証結果及び考察】

機能②の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能②	ロボットトラクタと基地局との距離と画質の関係	実証環境牧場内では、映像途切れ、破綻がない	通信距離による映像破綻なし

本機能検証はロボットトラクタと基地局の距離と画質（スループット）の関係を、ロボットトラクタに除雪経路を自動走行させて映像を確認した。また、同じ経路をもう一度走行させてスループットを測定した。全経路上でのトータルのスループットの測定結果は、最大 56.9Mbps、最小 0.0Mbps、平均で 24.9Mbps であり、ばらつきが大きい。

今回の実証では四方をＤＡＳアンテナで囲っているので、基地局からの距離に関係して映像が乱れたり、スループットが上下することは確認されなかった。一方で、走行経路上でスポット的に映像が乱れたり、スループットが落ちるポイントがあり、この原因は距離の問題ではなく後述する検証④の方向転換時のスループットダウンによる影響が大きいとみられた。この現象については、機能検証④で詳しく述べ対策について講じる。

c. 【機能検証③　の検証結果及び考察】

機能③の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能③	ロボットトラクタの移動速度と画質の関係	移動速度 10km/h 以下で、映像途切れ、破綻がない	移動速度による映像破綻なし

移動速度 1、2、3km/h で映像品位およびログデータの解析を行ったが、速度による違いはみられず、スループットの揺れ幅を超えるような優位な比較データを見出すことができなかった。

最大速度 10km/h にすれば違いが出てくるかもしれないが、重量のある除雪機をロボットトラクタに装着しているため、本来の最高速度 10km/h 近くまで速度をあげることができなかった。本来は、速度の幅をもっと取ってデータを取得する必要があるが、本実証では実験不可能のため見送った。

速度に関してその他留意点としては、細かく観察するとロボットトラクタの走行でローカル５G端末が揺れた際にスループットが変わる感触を得ている。激しくバウンドする地形では速度を緩める等の制御が必要となる可能性がある。

本機能検証③は、測定データ不足のため検証不十分とし、今後の夏季での実証課題とする。

d. 【機能検証④　の検証結果及び考察】

機能④の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能④	ロボットトラクタの方向転換時における映像伝送品質確認	電波到来方向が変化しても映像途切れ、破綻がない	トラクタ機体の遮蔽により映像破綻発生

機能検証②で既に述べたが、除雪経路を自動走行中にスポット的に映像が乱れるときがあった。特に方向転換時において映像が乱れる現象がかなりの確率で発生した。以下にそのポイントを図で示す。ロボットトラクタは除雪経路の S から自動走行をスタートして牧草地内を除雪し、G にて自動走行を終了する。

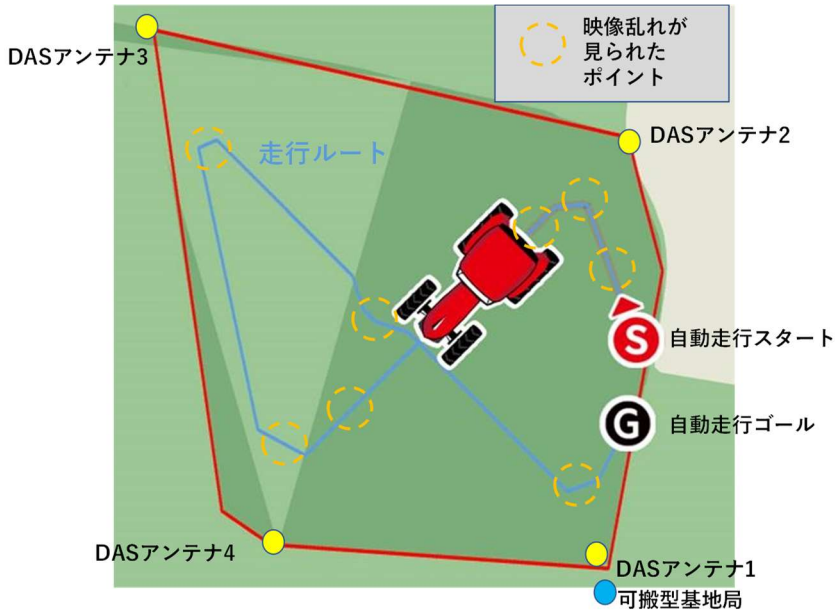


図 4-62 除雪経路上でスループットが落ちやすいポイント

映像を確認した同走行経路を再度自動走行させて、自動走行スタートからゴールまでのスループットを測定したグラフを以下に示す。横軸が時間（秒）、縦軸がスループット（Mbps）である。全経路上でのトータルのスループットの測定結果は、最大 56.9Mbps、最小 0.0Mbps、平均で 24.9Mbps であり、ばらつきが大きい。

なお、グラフ矢印の横軸 101～151 秒付近で大きく長い時間帯スループットが落ち込んでいるのが、上図で自動走行スタート S から映像乱れポイントが３連続で発生していた経路部分に一致する。

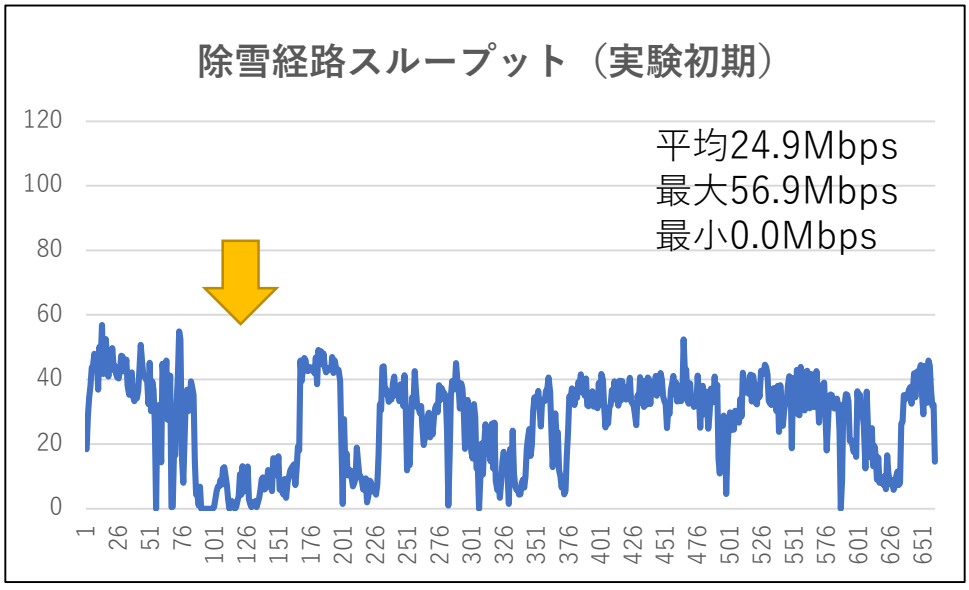


図 4-63 除雪経路スループット(実験初期)

この原因を探るため何度か試行錯誤したところ、ロボットトラクタ内のリアガラス前に設置したローカル５Ｇ端末と複数のＤＡＳアンテナの位置関係およびロボットトラクタのボディの位置関係で、映像に乱れが発生しスループットも数値的に低くなる傾向にあることが判明した。

そのため、ローカル５Ｇ端末の設置位置をロボットトラクタのリアガラス側ではなく、以下のようにフロントガラスに貼り付けて、上図矢印のスループット落ち込みポイントのみを自動走行させて再度伝送映像確認とスループット測定を実施した。自動運転のため運転の邪魔にはならない。結果として自動走行中の映像を確認すると、映像が乱れる位置が変わっただけで、スループットも 0Mbps 近くまで落ち込む傾向は変わらなかった。



図 4-64 ローカル5G端末のフロントガラス設置変更

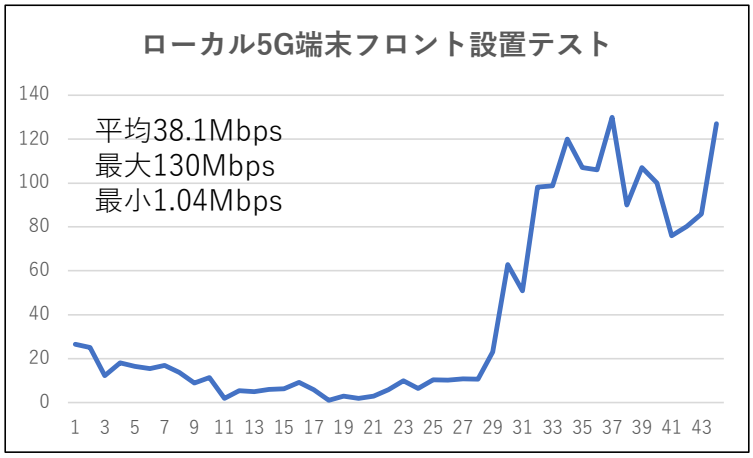


図 4-65 除雪経路スループット(ローカル5G端末フロント設置)

次に、ローカル５Ｇ端末を以下の図のようにロボットトラクタのルーフ（天井）外の前グリップバーに設置して傾向が変わるか同じく自動走行を実施して映像品位確認とスループット測定を実施した。



図 4-66 ローカル5G端末の天井設置変更(前からみた図)



図 4-67 ローカル5G端末の天井設置位置変更(後ろからみた図)

ローカル５Ｇ端末を天井に設置し、丁度乱れるポイントで停止させたときのスループットを以下に示す。平均 105Mbps と高スループットを示した。これは技術実証での測定数値に近い。

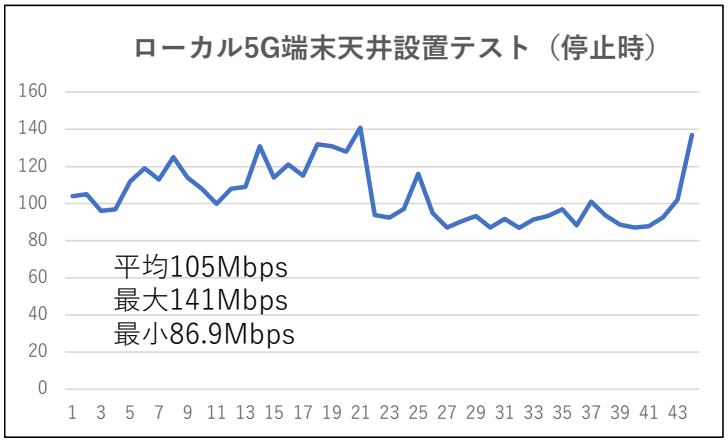


図 4-68 除雪経路スループット(ローカル5G端末天井設置、停止時)

次に、同天井設置条件で先のスループット落ち込みポイントにて走行させた場合のスループットを以下に示す。走行させると停止時に比べて値が落ちる傾向にあるが、平均 67.6Mbps、最小でも 44.3Mbps を示し、4K60fps の最高画質を伝送するに必要な 40Mbps 以上の数値を示した。映像も同時に確認したが、映像乱れも全く見られなかった。

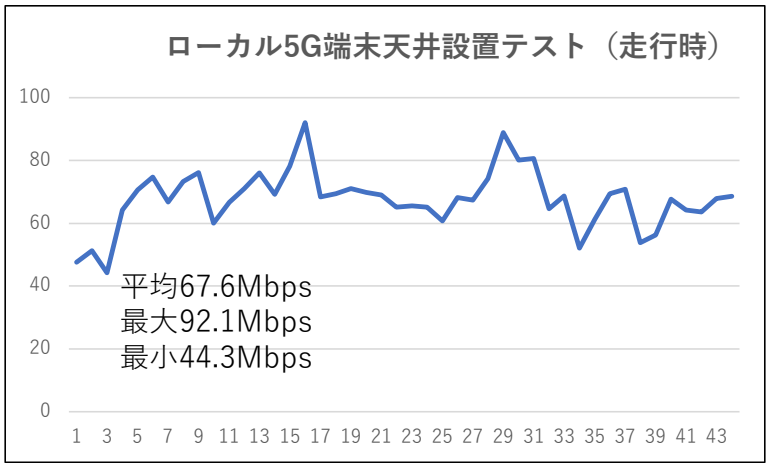


図 4-69 除雪経路スループット(ローカル5G 端末天井設置、走行時)

以上の結果から、フロントガラスに置いたときは映像が乱れる位置が変わっており、これは電波の遮蔽角度が変わったためと考えられ、ロボットトラクタ自身が遮蔽とならない天井にローカル５Ｇ端末を設置したときに映像乱れがなくなる結果となった。

この天井位置設置を実用可能とするには、ローカル５Ｇ端末が剥き出しになるため雨雪対策用に防水にするか BOX に入れるかの対応が必要であり、本実証中には対策できなかった。そのため、これらの施策は、4.3.3(2)の【運用に関する課題】の■ローカル５Ｇアンテナの運用の「ロボットトラクタにおけるローカル５Ｇ端末のアンテナ位置の確立」に今後の課題と対策として挙げている。

課題実証中でのアンテナ設置の確立は断念したが、他の複数の施策でスループットの底上げを狙った。まず、リアガラス側のローカル５Ｇ端末の設置方法を再度見直して、以下のように設置位置をなるべくリアガラス中央の高い位置でかつローカル５Ｇ端末の仰角角度を最適な角度に調整しなおした。



図 4-70 ローカル5G端末の位置角度調整

また、牧草地全体のスループット向上するようにローカル５Ｇ基地局および DAS アンテナの調整を再度実行した。方向展開時の映像乱れに対して効果が高いと実験で感じたのはローカル５Ｇ端末設置位置の次にこの牧草地全体のスループットを向上させることであった。

その他ケーブル接続の配置など細かな点を見直した結果、スループットが改善した。再度除雪経路を走行させ、スループットを１秒単位で連続測定したところ、以下のように 0Mbps への落ち込みポイントはなくなり、スループットは最大 108Mbps、最小 9.78Mbps で、平均 37.5Mbps と 40Mbps 近い値となった。

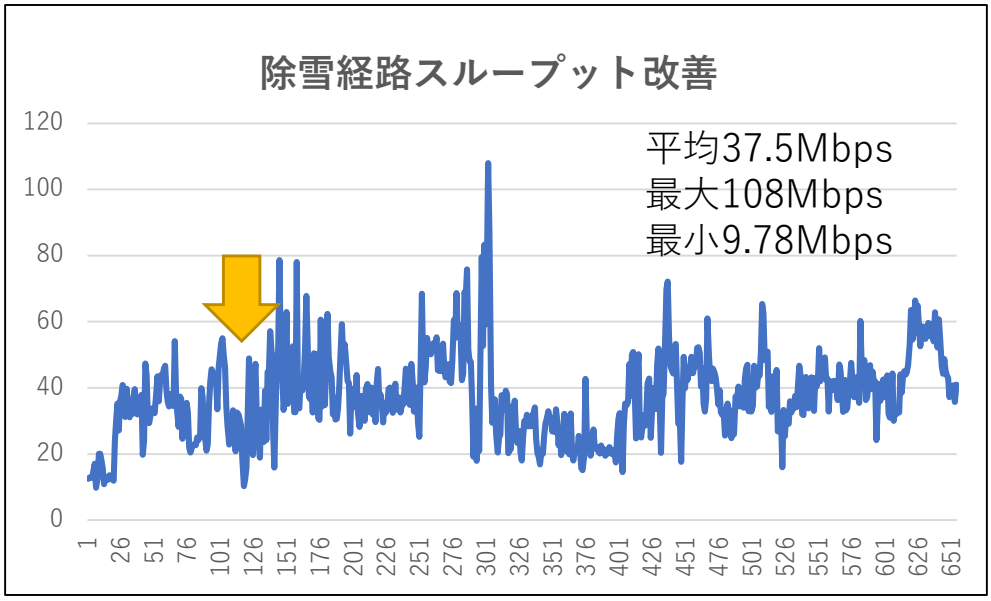


図 4-71 除雪経路スループット改善（ローカル5G端末リア設置調整）

また、平行して表示ソフト側の対策も実施した。映像の乱れを吸収できない１秒以上のスループット低下を検出したときは映像表示をフリーズさせるなどの映像の乱れを見せないよう表示ソフトの改修を急遽実施した。

以上、本検証の達成指標「電波到来方向が変化しても映像途切れ、破綻がない」は達成できなかったが、実証実験による結果から今後の伝送画質改善に対する対策方針が明確となった。

e. 【機能検証⑤　の検証結果及び考察】

機能⑤の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能⑤	ロボットトラクタと基地局サーバ間の伝送遅延	カメラ撮影から映像表示まで３秒未満の遅延	約 1.5 秒

カメラ撮影からサーバのモニタでの映像表示までの遅延時間の測定結果を各測定ポイントおよびビットレート別にまとめたものを以下に示す。遅延時間の算出はロボットトラクタで撮影伝送された msec 単位で表示されたスマホ時刻画面とモニタ手前に NTP で同時刻に合わせたスマホの時刻画面を同時に撮影して、人の目で数値を読み取って差分を記録しており、測定ミスを防ぐため各測定ポイントにおいて３回測定（撮影）している。

表 4-21 各測定ポイントにおける遅延

測定ポイント	平均遅延	最大遅延	最小遅延	遅延変動幅
①P9	01.395	01.451	01.342	00.109
②P11	01.394	01.462	01.343	00.119
③P15	01.460	01.603	01.384	00.219
④P21	01.454	01.537	01.380	00.157
⑤P23	01.433	01.491	01.356	00.135
全体平均遅延	01.427	01.603	01.342	00.261

表 4-22 各ビットレートにおける遅延

ビットレート	平均遅延	最大遅延	最小遅延	遅延変動幅
10Mbps	01.392	01.441	01.343	00.098
20Mbps	01.412	01.464	01.373	00.091
40Mbps	01.478	01.603	01.342	00.261
全体	01.427	01.603	01.342	00.261

平均遅延時間は、約 1.5 秒であり、目標とした３秒未満は達成できた。最大遅延時間は約 1.60 秒であり､最小遅延時間は約 1.34 秒である｡測定ポイントで一番遅延が小さいのは②P11 であり、一番遅延が大きいのは③P15 であり、機能検証①で一番伝送のリトライ回数が多いポイントで遅延の変動幅も大きい。また、各ビットレートで見ると 10Mbps が遅延が小さく、40Mbps になると遅延が大きくなる。最も遅延の変動幅が大きいのが 40Mbps であり、ビットレートの大小が若干遅延時間に影響することがわかる。

遅延時間の内訳については、今回映像伝送の安定性を最優先としたため、伝送プロトコルとして SRT を利用している。SRT では MPEG-TS と呼ばれる映像伝送データを細切れにファイル分割する処理が加わるため、カメラからのエンコードのビットレート制御による出力の変動を一旦吸収する必要があり、MPEG-TS にする際の待ち時間（PCR OFFSET）を今回約１秒（１GOB 相当分）として設定した。また SRT のレイテンシは 125msec に設定しており、サーバの往復で計 250msec かかるので、理論的には必ず 1.25 秒遅延が発生する。ローカル５Ｇと伝送プロトコルの処理を抜いてカメラ撮影からダイレクトにモニタ表示までの経路上の遅延は実験ではおよそ 150msec であった。そのため残りの 100msec 程度がローカル５Ｇ伝送上の遅延と考えられる。以上の理論値からも約

1.5秒の遅延は妥当な値となっている。なお、MPEG-TSファイルを生成せずさらにカメラや経路上の伝送レートの変動を最小限にし、画面表示で多少の映像の乱れを許容するならば、1.25秒程度の遅延は削減でき、映像の遅延時間１秒未満は問題なく達成可能である。

次に、ロボットトラクタの安全性に対する遅延時間について２つの視点で考察する。１つ目はユーザーの認識時間に対して、２つ目は映像からのAI検出への影響についてである。

１つ目は自動運転のロボットトラクタの衝突センサーが働いて停止した後、ユーザーが認識、指示する上での遅延時間の是非であり、約1.5秒の遅延は人間に何が起こったか確認しロボットトラクタの制御タブレットをタッチして停止・再スタートするといったアクションに対しては申し分ない遅延時間と考える。なお、人が遠隔で画面を見ながら操縦するという遠隔操縦のケースでは、一般に遅延量は200～300msec未満が要求され、それ以上の遅延となると操縦は難しくなるといわれているが、今回は遠隔操縦ではなく自動運転による作業である。

２つ目のAI検出への影響については、ロボットトラクタの走行速度が影響する。ロボットトラクタの走行速度が最大時速10km/hにおいては、1.5秒の遅延後の映像確認時にはロボットトラクタは約4m先に進んでいる。実際の草刈り作業では7km/h程度であるので同遅延で約3m進んでいる。そして、除雪作業では1km/h程度であるので約0.5m進んでいることになる。将来的に、映像を自動解析しロボットトラクタを制御フィードバックする場合、この点を考慮して４ｍ以上先の障害物等を検出して走行方向と速度から何が起こるのか予測し、減速・停止などの制御をしなければいけない。この予測時間を減らすためには、さらなる遅延量の削減が望まれる。

f. 【機能検証⑥　の検証結果及び考察】

機能⑥の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能⑥	ロボットトラクタから軽種馬状況をリアルタイムで把握	全周囲のリアルタイム映像で軽種馬の位置を確認できる	視認性をAI認識 広角レンズ約83% 魚眼レンズ約68%

検証方法で述べた通り、本検証は軽種馬ではなく人の位置をAI検出することでロボットトラクタ搭載カメラの撮影映像の視認性確認の代用としている。広角レンズで撮影した場合の位置検出結果の一部を以下に示す。赤枠部分が人と認識されており、黄色破線〇で囲った部分は認識されていない。原因として人と柵が重なり、ロボットトラクタの除雪の雪を吹き飛ばす筒で人がさえぎられると認識していない。ただし、この誤認識のケースでは人がロボットトラクタから離れているため衝突する危険はない。ロボットトラクタに人が近づいたときは危険度が増すが、人が大きくなるため認識しやすい結果となった。広角レンズの場合の、４名が１回転する間の認識率（認識数/全人数）を換算したところ約83%であった。



図 4-72 広角レンズを用いた場合の AI 検出による視認性確認

次に、魚眼レンズ（前）で撮影した場合の位置検出結果の一部を以下に示す。４名が１回転する間の認識率（認識数/全人数）を換算したところ約 68%であり、広角レンズのときよりも認識率は落ちる。赤枠で囲った部分が人と認識されており、黄色破線〇で囲った部分は認識されていない。原因としてさきほどと同様人と柵が重なり、ロボットトラクタの除雪の雪を吹き飛ばす筒で人がさえぎられるケースだけでなく、魚眼特有の歪みが認識する妨げとなっている。

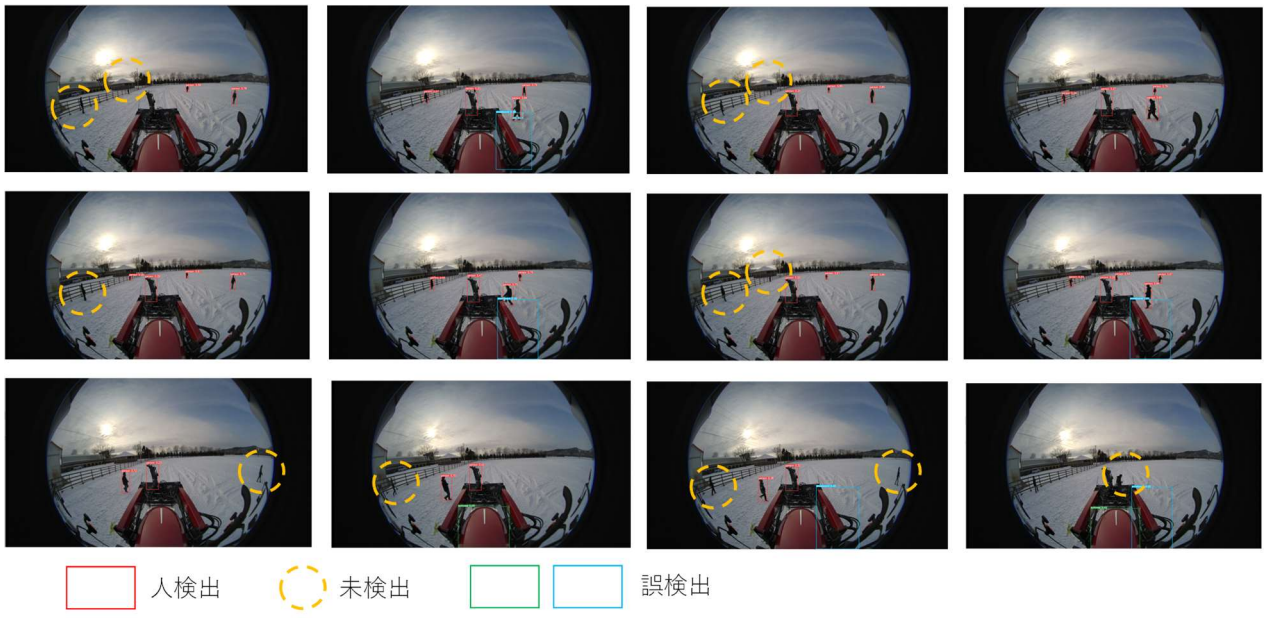


図 4-73 魚眼レンズ(前)を用いた場合の AI 検出による視認性確認

例えば、以下の図のようにロボットトラクタ本体の一部をスノーボード（青枠）やスーツケー

ス（緑枠）と誤認識した。これらは広角レンズのときには発生しなかったものである。

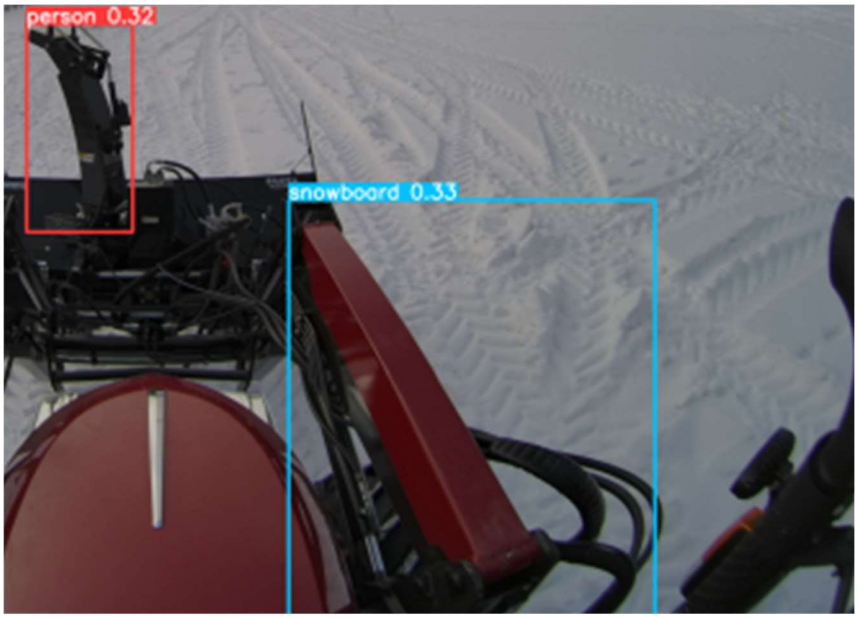


図 4-74 誤認識(スノーボード)

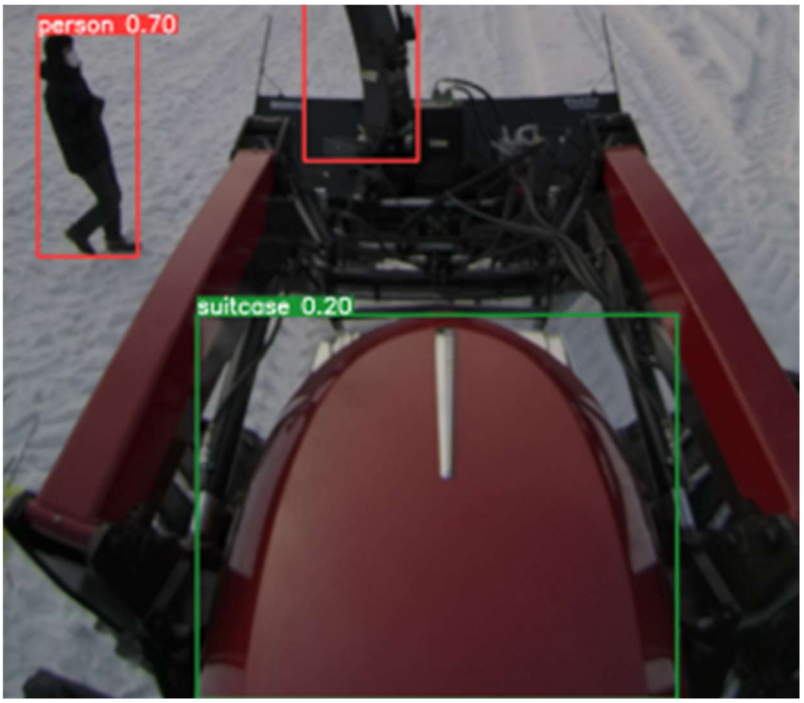


図 4-75 誤認識(スーツケース)

以上から、前進走行のみする場合は、ロボットトラクタ前面に広角レンズカメラを搭載すれば十分な視認性を得られ、安全に走行する手がかりを得ることが可能であることを確認できた。また、魚眼レンズをロボットトラクタの前後に装着することにより、前進だけでなく後進でも安全走行のための映像を得ることができるが、課題としては、魚眼レンズの映像のままでは誤認識が

増加する傾向にあるため、リアルタイムの幾何学的な補正処理が必要となることであり、これは既存技術であるため解決可能である。また、視認性というよりはどちらかというと AI 検出の精度にかかわるものであるが、馬など人以外での検出も実際に検討して課題がないか実装に向けて確認する必要がある。

g. 【機能検証⑦　の検証結果及び考察】

機能⑦の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能⑦	ロボットトラクタから除雪処理状況をリアルタイムで把握	リアルタイム映像で除雪の作業状況を確認できる	除雪状況確認達成

以下にロボットトラクタにて除雪作業中にリアルタイム伝送された映像を録画し、映像評価していただいたシーンのイメージを示す。



図 4-76 除雪シーン①（右除雪）



図 4-77 除雪シーン②（左除雪）



図 4-78 除雪シーン③（向かい風）

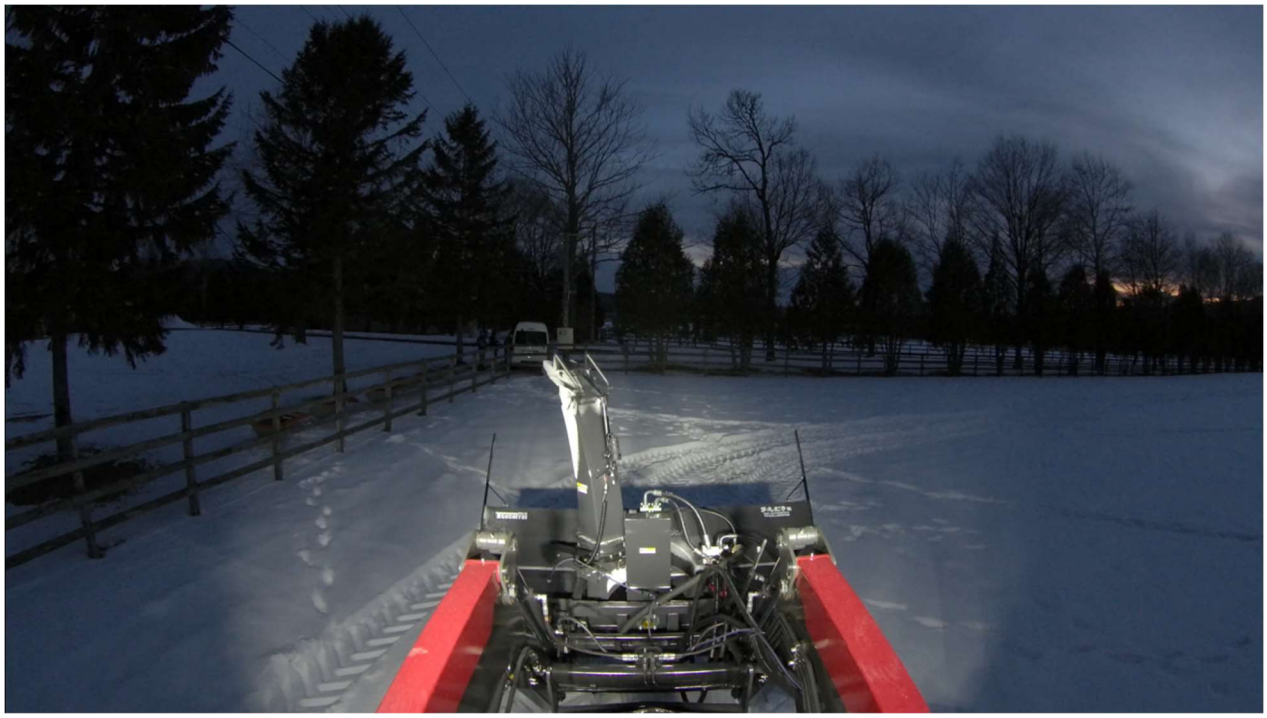


図 4-79 除雪シーン④（夜間）

４シーンの動画を見た後の評価コメントをまとめたものを以下に示す。

＜除雪作業の状況把握に関する評価＞

1）ロボットトラクタの通った後のくぼみなど雪面の状況の把握が容易、除雪処理状況を確認するのに問題ない。

2）除雪で吹き飛ばす雪の粉が見え、除雪量の確認ができる。

3）積雪量が少ないのがよくわかるので、除雪の必要性が判断できる。

4）人の動きをリアルタイムで把握できる。水飲み場との距離感がわかる。

5）夜間でも雪の状況が確認できる。夜間の無人作業に期待。

以上から、ローカル５Ｇ経由で伝送された除雪作業映像の評価として映像画質としては申し分なく、除雪作業の状況確認において問題ないとのコメントを得た。

一方で以下のような疑問点および課題点を指摘された。

＜除雪作業の自動化における疑問点および課題点＞

a）ときおり映像が一瞬乱れるときがある。

b）周囲は雪だけなのでもう少しなにか目印をおいて視認性を確認したほうがよい。

c）風向きによって除雪で吹き飛ばした雪がレンズにあたって映像がみえなくなるシーンがあり、作業の状況把握に支障がある。

d）晴れている映像だけなので、雪や雨が降ったときの映像の評価が必要。

e）除雪機の前の筒が邪魔でロボットトラクタの手前の視界が悪い。

f）ロボットトラクタの動きが遅い。ずっと同じ景色で見ていて飽きる。

g）録画では繰り返し見られるが、リアルタイムで映像が流れているときに果たして判断できるかどうかわからない。日常と同様に普通に見落とすことがあるのではないか？

h）除雪した後ろの映像があればもっと状況がわかる。

i）牧草地以外の道路の除雪を自動化していただけると助かる。

以上の指摘事項については、以下のような対策が考えられる。

a）ロボットトラクタにおけるローカル５Ｇ端末のアンテナ位置確立による安定性の向上

b)-e） 3D 検出などを活用して積雪量や除雪量の把握を数値的に計測し比較できるようにし評価する

f)-g)映像の早送り機能や、映像変化や異常検出による映像短縮やアラート通知などの安全レベルのユーザー通知機能の実装

h）前後カメラ映像の複数ストリーム伝送もしくはリアルタイム画像補正処理機能の実装

i）ローカル５Ｇエリア外の要望なので、今後の横展開で検討したい

なお、以上の除雪状況把握の課題および改善策については、4.3.3(1)(2)【技術的な課題】および【運用に関する課題】にて今後の課題と解決策として整理して述べている。

h. 【機能検証⑧　の検証結果及び考察】

機能⑧の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能⑧	ロボットトラクタの停止から再スタートまでの視認確認	周囲状況を確認して 5 分以内で安全に作業再スタートできる	約 25 秒

ローカル５Ｇを経由して、牧草地内の様々な地点でロボットトラクタの制御用タブレットで停止、4K モニタで周囲状況を確認、タブレットで再スタートを実行し、不具合がないかどうかスムーズに動作できるかどうかを確認し、作業に要した時間を測定した。4K モニタを見ながら制御用タブレットを操作する様子を下図に示す。



図 4-80 ロボットトラクタの遠隔操作の様子

自動走行の経路は、下図の自動生成された除雪走行経路を走行させ、各地点で遠隔操作による停止、周囲状況確認、スタートを実施した。牧草地内では分散アンテナシステム（DAS）によりどの位置でも良好な電波状況を形成しているため、ローカル５Ｇエリア内であれば、特に問題なくスムーズにロボットトラクタを操作できた。

一方で、ローカル５Ｇを活用せずに従来の製品仕様である Wi-Fi 制御のみである場合は、基地局の位置からおよそ 80～100m の距離で操作不能となった。牧草地の大きさがおよそ 200m×250m と Wi-Fi 電波の到達距離より広いため、ロボットトラクタが何らかの原因で停止した場合、作業者（操作者）は Wi-Fi が届く位置までロボットトラクタに近づく必要があり、広い牧草地を移動して対処しなければならない。

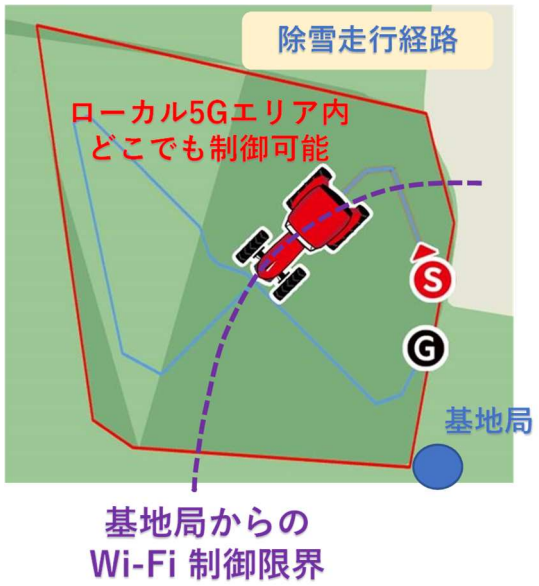


図 4-81 Wi-Fi とローカル5Gの遠隔制御の比較

この遠隔操作の作業に要する時間（停止操作⇒走行停止⇒（状況確認）⇒再スタート⇒走行開始）を各地点で検証し録画等から秒単位で確認したところ、エリア内どの位置でもほぼ同じであった。下図で示すように制御用タブレットからの停止操作に約３秒、トラクタが停止するまでに約４秒、再スタート操作に約３秒、トラクタが実際に応答するまでに約６秒かかる。停止中でのモニタでの状況確認を約９秒とするとトータルで約２５秒となり、当初想定した「周囲状況を確認して 5 分以内で安全に作業再スタートできる」とした目標をはるかに上回る。突然何らかの原因でロボットトラクタが停止し、十分に状況を確認する時間を取ったとしても、数分以内に再スタートできる非常に快適な操作性である。

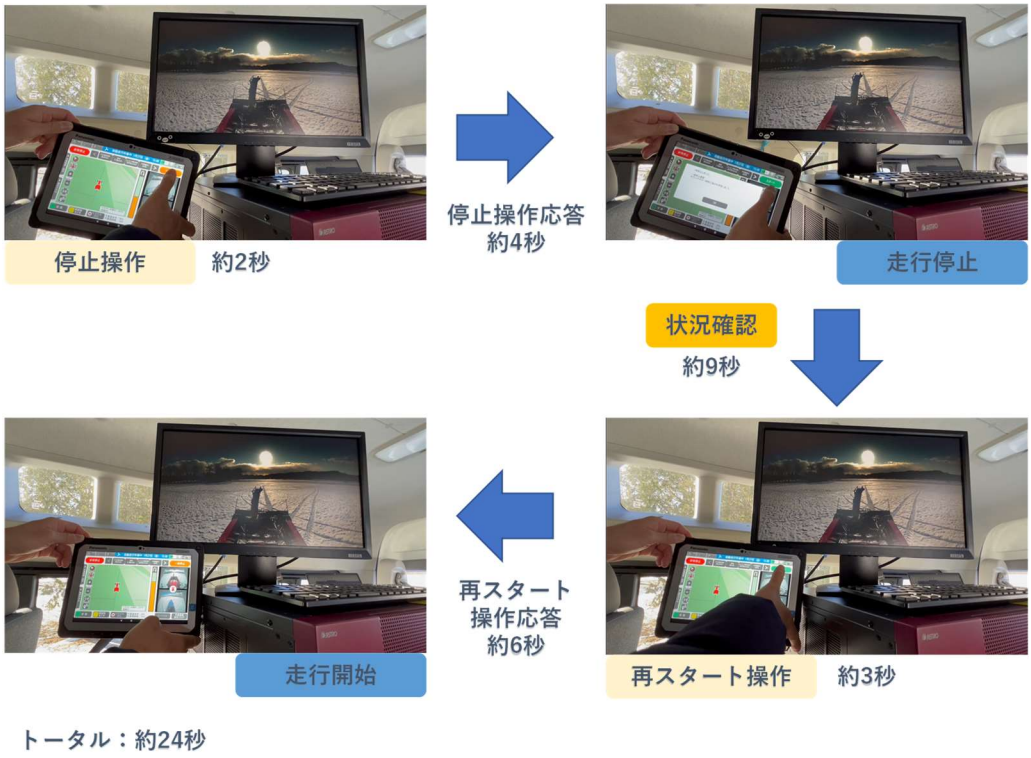


図 4-82 遠隔制御の作業時間

これは、もともとの製品の作りがしっかりしていることがベースとしてあるともいえるが、本取り組みのポイントとしては、従来の Wi-Fi を用いた制御システムの改修を全くせず、Wi-Fi 接続ポイント（SSID）を変更するだけで簡単にローカル５Ｇの「安定通信」「複数同時通信」「セキュリティ強化」といった性能を付加できた点にあり、すでに開発済みの Wi-Fi を用いたシステムを容易にローカル５Ｇ活用システムに発展させることが可能であることや、開発段階では安価な Wi-Fi でシステムを開発検証し実用段階でローカル５Ｇシステムに拡張させることが可能であることが確認できたことはローカル５Ｇ普及の方策の１つとして提案できる。

i. 【機能検証⑨　の検証結果及び考察】

機能⑨の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能⑨	魚眼レンズにおける 4K 映像と 2K 映像での伝送比較	ロボットトラクタからの映像伝送量と画質の関係で 4K 映像の優位点を明確化する	継続検証

本検証は、カメラを安全監視目的で利用する形態である前カメラと後ろカメラの映像を合成し、魚眼レンズのリアルタイム画像補正処理を準備し、実験でカメラの解像度を 4K 映像と 2K 映像に切り替えて映像伝送を実施、その伝送映像に対して AI 解析処理などで数値的に比較検討しないと、実用上の優位点を決定的に明確化することはできない。そのため、本件は、4.3.3(2)の【技術的な課題】の■画像処理の技術の「リアルタイム画像補正処理および AI 解析処理」に今後の課題と対策として挙げている検討事項の中で、4K 映像の優位点の検証を引き続きしていくこととする。

j. 【機能検証⑩　の検証結果及び考察】

機能⑩の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能⑩	4K 映像と 2K 映像での AI 画像解析の精度検証	ロボットトラクタからの映像伝送において、4K 映像のほうが障害物検出の精度が向上する	4K が 2K より約 13%精度向上

カメラに広角レンズを利用した場合に、4K・2K・1K の画像を AI 検出した結果を以下に２例示す。検出率平均はそれぞれ４K が 88%、2K が 75%、1K が 65%であった。

以上をまとめると、4K 解像度を用いると 2K より最大 13%検出精度が向上し、1K に対しては最大 23%検出精度が向上する。また、対象物と距離の観点から整理すると、カメラからの距離が 40m 程度であるならば、2K の解像度でも十分な認識精度を確保できているといえる。

なお、４K と 2K の精度向上率がそれほど大きくないのは、AI 認識の処理内容が原因である。AI 認識では一般に処理速度を確保するため一旦縮小して認識処理を行う。そのため、４K のメリットを十分に享受できないことがある。一方で、４K のまま縮小処理をしないで認識処理を行うと実用的な処理速度で認識を行うことができなくなるため、縮小と処理時間はトレードオフの関係にある。どの程度に縮小するかは実際の現場に合わせて調整することが可能である。

また、40m の距離で検出できるのであれば、ロボットトラクタが時速 7km/h で走行するならば、

到着まで約 20 秒程度の余裕がありこの間に異常検出や記録またはユーザーへの通知、ロボットトラクタの制御といったことが可能となる。今後は、４K 画像内に様々な対象物を配置することで人以外の検出も含めて精度検証を行い、AI 画像解析による早期不具合発見に結び付ける。

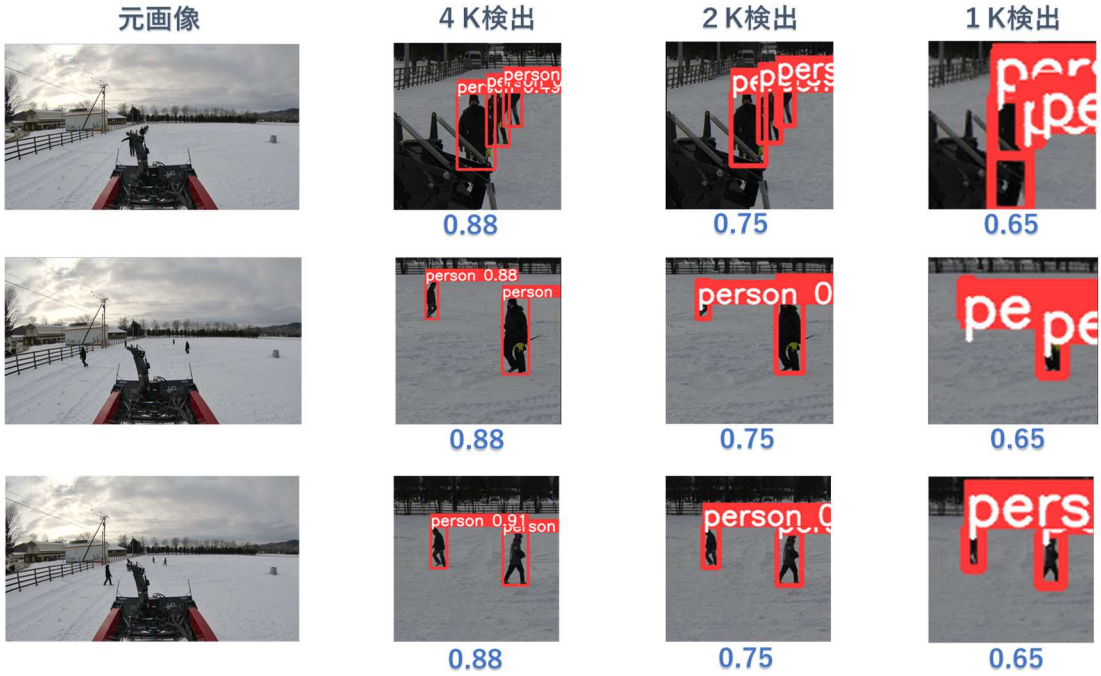


図 4-83 解像度による AI 検出精度(1)

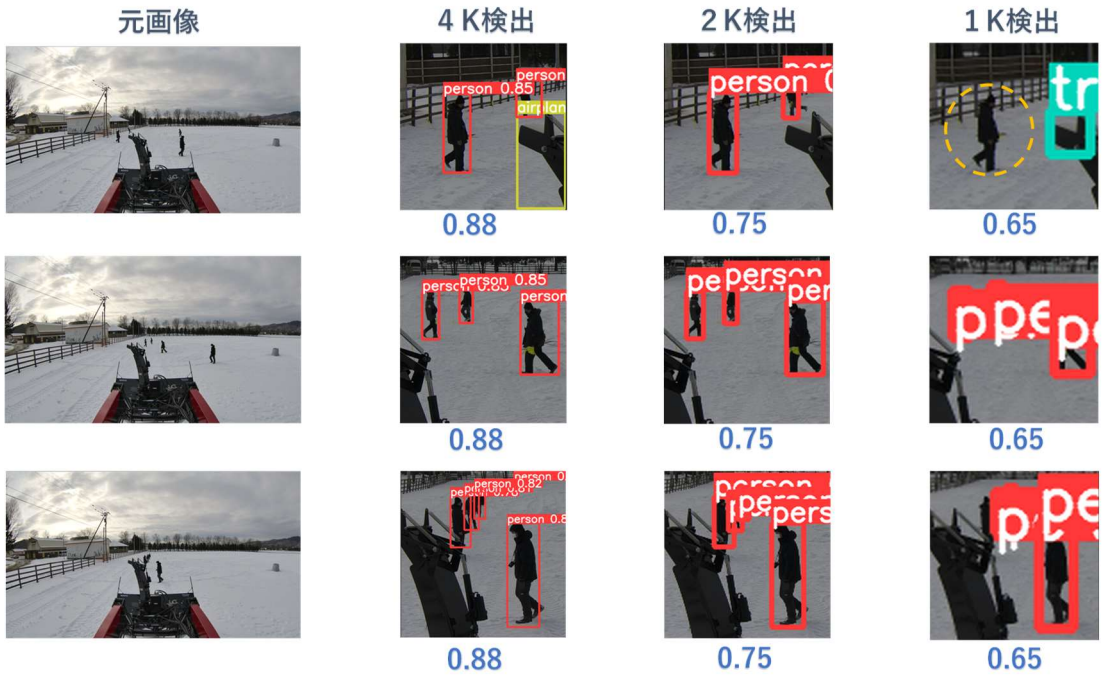


図 4-84 解像度による AI 検出精度(2)

k. 【機能検証⑪　の検証結果及び考察】

機能⑪の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能⑪	放牧地状況の AI 解析による走行経路最適化の検証	ドローンで撮影した映像から、選択可能な自動走行コースを複数生成し、最適コースを選択走行できる	３コース切替自動走行確認

３コース（テスト走行・除雪および視察会デモ用）において自動走行を実施し、スタートからゴールまで完走し作業が完了できるかどうか確認した。テスト走行中にロボットトラクタが意図せず自動停止してしまうなどの課題もあったが、最終的に走行ルートの切り替えは問題なく実施でき、各種自動生成された経路で自動走行による作業経路完走が可能であった。

11 月実証実験のテスト走行のコースは経路を２種類生成し、下図のように草刈り作業を念頭に障害物を避けて予定通りに走行できるかどうかを確認した。直線コースは草刈り作業における自動走行時の速度である最大時速 7km/h で走行した。下図に自動走行中の様子も示す。



図 4-85 11 月実証実験のテスト自動走行経路



図 4-86　11月実証実験の自動走行の様子

一方、１月除雪の自動走行コースは経路を２種類生成しているが、馬のトレーニングを目的としているため牧草地全面を除雪する必要はなく、馬の走る経路を除雪してすればよい。そのため、用途に合わせて周囲と真ん中を通る経路を自動生成している。除雪作業に自動走行時の速度は最大時速 1km/h でありそれ以上の速度は除雪が適切にできない。下図に自動走行中の様子も示す。



図 4-87 1月実証実験の除雪自動走行経路



図 4-88 1月実証実験の除雪自動走行の様子

また、２月視察会のデモ用走行経路はデモ時間に合わせて１０分程度で下図右下の視察位置からロボットトラクタが見えやすい経路で自動生成している。下図に自動走行中の様子も示す。



図 4-89 2月視察会のデモ用走行経路と自動走行の様子

なお、テスト走行する段階で２点ほど課題が見られ随時現地にて対応した。１つは、起伏がある経路を走行したところロボットトラクタが自動走行可能な最大傾斜の仕様を超えたため、走行を自動停止することがあった。現地で走行経路を傾斜が少ない方向へ変更することで引き続き作業が可能になったため、自動走行コースの生成方法にフィードバックした。また、除雪中に飛んでいる雪がロボットトラクタのセンサーに反応し障害物と誤認識して走行を停止するなどの課題も見つかったが、センサーを一時的に切ることで生成された走行コースを問題なく完走できた。この課題についてはロボットトラクタ自身の障害物検出の機能性を高めることで改善できる見込みで今後の検討課題である。

また、経路作成の元データとなるドローン撮影において測量精度をあげるため対空標識を用いているが、突然の天候悪化により撮影作業が中断したため、対空標識を一晩置きっぱなしにして翌朝再測定のため確認したところ、明らかに動物による仕業で破られたり元の場所から引きはがされたりしていたため、対空標識の再設置が必要となり連日で分けてドローン撮影することができなかった。そのため、牧草地のドローン撮影には対空標識の設置がなくとも精度がとれる RTK 対応のドローンを用いることが今後望まれる。

I. 【機能検証⑫　の検証結果及び考察】

機能⑪の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
機能⑫	高精細映像によるリルート解析および除雪精度の検証	高精細映像を用いることでリルートおよび除雪の精度が増すこと	継続検証

本検証は、AI 解析のためのモデル生成のための学習データを本課題実証期間中に十分に取得および生成することができず、最終的な検証結果を得ることはできなかったため、検討を進めた内容（セマンティックセグメンテーション・測長・経路計画）を説明し、今後の実装に向けた取り組みについて述べる。

■　セマンティックセグメンテーション

下図に実際に伝送した画像からセマンティックセグメンテーション処理したイメージを示す。立木の周りの柵および牧草地を囲む柵を画像領域からピクセル単位で何が写っているか判別する。技術的には確立しているので十分な学習データが収集できれば対応が可能となる。また、難しい点としては、遠景における柵の判別が難しいかもしれない。この点に関しては、学習次第で十分対応可能と考える。また、処理速度を向上させて近づいたときに判別するなどの対応が考えられる。



図 4-90 柵のセマンティックセグメンテーション処理のイメージ

■ 測長

抽出後の柵についてパターンマッチ等で検出か所を取り出し、幾何学計算により車両からの距離を計算する。なお、車両・カメラ位置等から事前に調整用パラメータを用意し、計算パラメータをキャリブレーションする必要がある。下図に測長のイメージを示す。



図 4-91 柵の測長処理のイメージ

■ 経路計画

測長によって得られた障害物との距離をベースに経路計画のパラメータを調整する。本実証で生成した自動走行経路は、柵、障害物との境界からの距離にバッファをのせた値を閾値として迂回経路を作成しているため、その閾値を調整することを今後予定している。

以上、技術的には既存の技術であるため実現可能であるが、現状は実用に適用した AI の認識率向上のために大量の学習データと学習時間および調整が必要であるため、引き続き既存の経路生成システムを拡張させる形で処理速度高速化も含めて実装に向けて検討する予定である。

（2） 運用検証

1） 検証項目

検証項目と達成指標、対応する目標番号を下表に示す。本実証は除雪ソリューションをメインの運用検証課題とするが、将来への横展開を考慮しローカル５Ｇ活用を想定した無人自動草刈り作業での運用およびネットワークへの接続を想定した坂路による育成ソリューションについても除雪ソリューションの運用実証結果を用いて拡張性を仮説検証した。なお、検証結果は牧場作業者に評価していただき今後の改善対策について意見交換した。

表 4-23 運用検証項目と達成指標

検証番号	検証項目	達成指標	目標番号
運用①	無人自動除雪作業の安定的な運用の確立	自動除雪作業の運用マニュアル完成 牧場作業者の評価を得ること	目標①-2
運用②	無人自動草刈り作業による運用の拡張性の検討	自動草刈り作業の運用マニュアル完成 牧場作業者の評価を得ること	目標③-2
運用③	坂路育成による運用の拡張性の検討	坂路育成の運用方法（案）を完成 牧場作業者の評価を得ること	目標③-3

2） 検証方法

検証項目に対する検証の確認方法、確認者を下表に示す。

a. 【運用検証① の検証方法】

運用①の検証方法について述べる。最初に概要を下表にまとめる。

表 4-24 運用検証①の検証方法の概要

検証番号	運用①
検証項目	無人自動除雪作業の安定的な運用の確立
対象人数	２名
検証方法	一連の項目作業を実施し、無人自動除雪作業の課題抽出と対応ノウハウを蓄積し、運用の安定性を検証し運用マニュアルを完成させ、牧場作業者の評価を得る。
確認者	牧場作業者

現状の除雪作業の運用マニュアルは存在しないので、どのような作業をしているのかヒアリングと１月の実際の作業を視察して項目化し、自動除雪作業を実施した場合の項目と比較する。主な項目を以下に挙げる。

＜主な項目＞
・作業開始までの準備
・作業内容
・安全面の確認
・緊急停止時のリスタート作業
・作業状況の確認
・撤収作業
・メンテナンス

b. 【運用検証②　の検証方法】

運用②の検証方法について述べる。

表 4-25 運用検証②の検証方法の概要

検証番号	運用②
検証項目	無人自動草刈り作業による運用の拡張性の検討
対象人数	２名
検証方法	除雪の運用と同じ牧草地および可搬車両の接続位置にて、模擬的に一連の草刈り作業の項目を実施し、課題抽出と対応ノウハウを蓄積し、運用の安定性を検証し運用マニュアルを完成させ、牧場作業者の評価を得る。
確認者	牧場作業者

現状の草刈り作業の運用マニュアルは存在しないので、どのような作業をしているのかヒアリングと８月の視察および１１月の実験の作業を視察して項目化し、自動草刈り作業を実施した場合の項目と比較する。主な項目は除雪と同様である。

c. 【運用検証③　の検証方法】

運用③の検証方法について述べる。

表 4-26 運用検証③の検証方法の概要

検証番号	運用③
検証項目	坂路育成による運用の拡張性の検討

対象人数	２名
検証方法	坂路に設置したＤＡＳアンテナへ可搬車両を接続し、将来的なネットワーク接続を活用した調教場育成状況の映像配信やAI解析等の横展開を見据えた運用を想定し、運用方法を検討する。
確認者	牧場作業者

可搬ローカル５Ｇ基地局の特徴を生かして、牧草地エリアから別エリアである坂路に移動し、設置したDASアンテナに接続、坂路上に設置した２台のカメラからの映像配信をローカル５Ｇに介して実施する一連の作業項目を実施し、運用方法を検討した。将来的には、調教育成の様子の映像配信や馬のAI解析などによる調教の効果の数値化、馬主への新しいサービス提供などによる収益獲得等を想定して、運用方法を検討した。

3） 検証結果及び考察

各運用検証項目の検証結果及び考察を以下に示す。

a. 【運用検証① の検証結果及び考察】

運用①の検証結果について説明し考察する。最初に計画した達成指標を下表にまとめる。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
運用①	無人自動除雪作業の安定的な運用の確立	自動除雪作業の運用マニュアル完成 牧場作業者の評価を得ること	マニュアル完成 暖気運転・アプリUIに改善要求

現状の除雪作業の運用を視察確認した。除雪車は主に雪を押し出して集めていく除雪グレーダーと、雪を掻き出して吹き飛ばすロータリ除雪車の２種類があり、本実証の事業者が利用していたのは除雪グレーダーであった。牧草地内のすべての雪を押して集めていき、ダンプカー等の運搬車に雪を載せ、運搬して捨てる作業を繰り返していた。そのため、除雪車の動きは前進後進を繰り返して雪を押し出して集めていた。このような現場の積雪状況を確認しつつ複雑に前後する動きは現状のロボットトラクタには不可能である。そのため、指定のルートを走行し雪を掻き出して吹き飛ばすロータリ除雪のオプションをロボットトラクタに装着して除雪作業することを本実証では採用している。

視察では、牧草地内を隅々までくまなく除雪して雪をダンプカーで運び出しており、かなりの時間と労力を要していた。これを同じようにロボットトラクタで実現しようとすると、ロータリ除雪のオプションをつけた状態での最大速度が時速1km/hまでしか出せないため、現状以上の作

業時間がかかることがわかり、作業時間の効率化を果たすことができないことが判明した。また、自動化によりロボットトラクタに乗って作業しなくてもいいが、現状作業がなくても必ず近くに作業者がいる必要がある。

そこで、牧場監督者に確認すると牧草地内を除雪するのは、軽種馬が走って運動することが目的であり、運動する経路が作れれば牧草地内すべてを除雪する必要は実はないとのことで、積雪が多い場合は牧草地の外周と中央を通る経路だけを除雪しているとのことであった。この指摘にヒントを得て本実証の除雪作業では、この軽種馬が運動する経路のみをロボットトラクタで自動走行して除雪することとした。この方式を採用することにより、(除雪作業時間)＝(自動走行時間)と換算できる。以下に今回用いた軽種馬の運動を目的とした最短除雪経路を示す。この経路でロータリ除雪オプションを装着したロボットトラクタで出せる最大速度時速 1km/h で走行すると、除雪作業時間(自動走行時間)は約１５分と短縮できることがわかった。

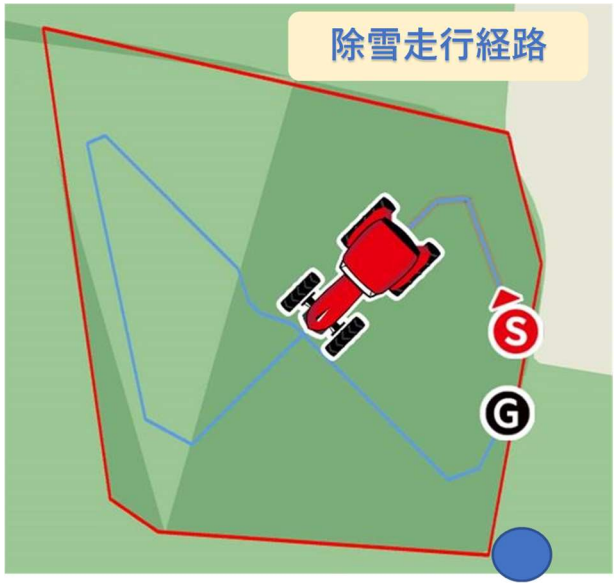


図 4-92 軽種馬の運動を目的とした最短除雪走行経路

一方で、従来の除雪作業にはない作業が本実証では２点発生する。１つ目はロボットトラクタの自動走行ルートの入力と作業開始と停止であり、２つ目は可搬型基地局の接続と基地局サーバの立ち上げである。特に２つ目については、本実証計画時に懸念していた気温の低下による機材の動作の不具合が実際の実験時に現実問題となり、基地局サーバの立ち上げに大きく影響した。冬季において本実証現場は零下の環境となるため、ロボットトラクタおよびローカル５Ｇ基地局等の電子機械系は作業前に暖気運転の作業項目が必ず必要となった。これら作業項目を従来のものと並べて比較し各項目の作業時間を比較したものを以下に示す。なお、可搬型基地局車両の暖気運転は実際は１時間程度かかっているが、将来基地局自身および基地局を入れたユニットの改良により、ロボットトラクタの暖気運転時間と同等となるとして同じ３０分としている。また、現場への移動時間は車庫から現場への距離によって増減するため省略している。

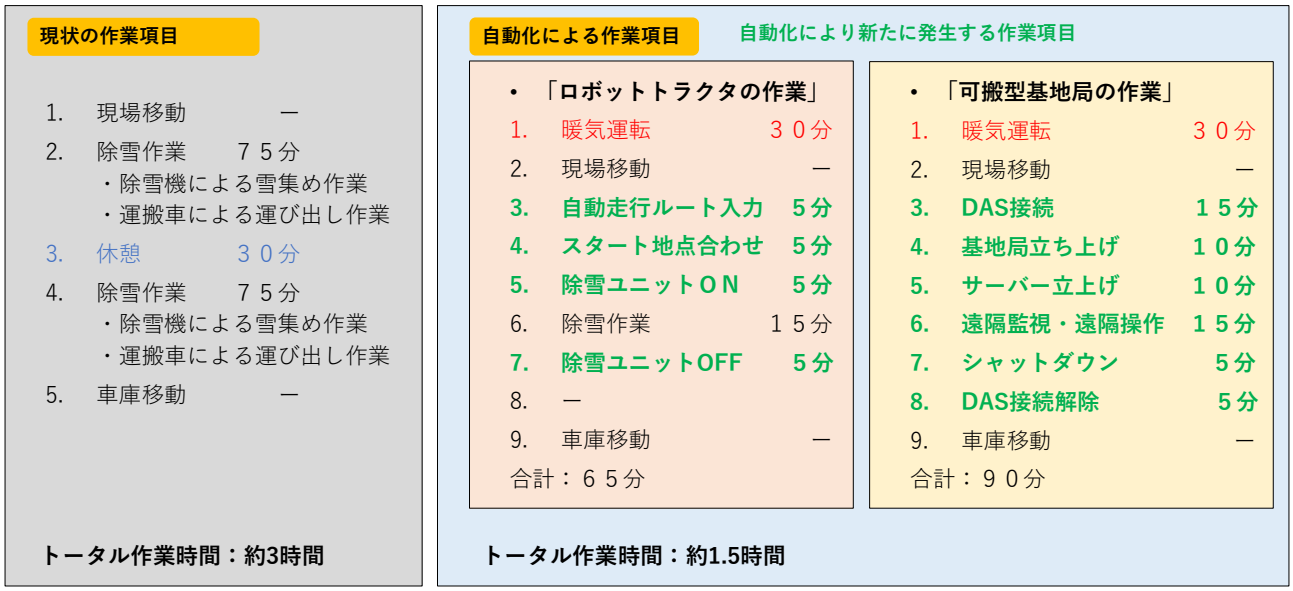


図 4-93 現状の除雪作業項目と自動化における作業項目

現状の作業項目で除雪作業は除雪機による雪集め作業と運搬車による運び出し作業の繰り返しである。現状の作業時間は馬が放牧される時刻まで作業を実施し、開始終了時間(例えば、7:00-10:00)によって規定される。赤字で示す暖気運転は、電子機器の正常動作に必要でロボットトラクタにおいても３０分ほど必要である。図の右側の自動化による作業項目において、新たに発生する作業項目を太字緑色で示している。ロボットトラクタの作業の６．除雪作業と、可搬型基地局の作業の６．遠隔監視・遠隔操作が同時刻帯であり、ロボットトラクタ単体での作業のみならば、全体の作業時間は６５分であるが、可搬型基地局は現状 DAS 接続・解除、基地局・サーバ立ち上げ・シャットダウンなどの同時刻帯前後の作業項目があり、ロボットトラクタ側でそれら作業が終わるのを待つ形となる。ロボットトラクタの除雪作業前後に必要な運用時間が１５分と５分、可搬型基地局の除雪作業前後に必要な運用時間が３５分と１０分である。

結果的に、ロボットトラクタの除雪特性に合わせて除雪作業を軽種馬の運動目的に絞って経路を短縮し実質の除雪作業時間を１５分に減らしたものの、上記の可搬型基地局の運用項目が増えたため、自動化による全体の作業時間は本実証現場ではトータル作業時間約 90 分（約 1.5 時間）という結果になった。

牧場作業者からの評価としては、ロボットトラクタの自動運転への自動走行ルートの入力はタブレット操作なので覚えれば何とかなるものの、DAS アンテナへの接続および基地局やサーバの立ち上げの専門性が高すぎて今のままでは操作が難しく作業に時間がかかるため、改善して欲しいとの要望が上がった。

この可搬型基地局の接続・立ち上げといったユーザーインターフェースの改善対策については、4.3.3(2)の【機能に関する課題】の■ユーザーインターフェースの機能の「システムの操作性向上」および【運用に関する課題】の■可搬型基地局の運用の「可搬型基地局の接続性改善」に今後の課題と対策として挙げている。

また、可搬型基地局の暖気運転の時間をもっと短くできないかとの要望も上がっており、この

改善対策においても、4.3.3(2)の【運用に関する課題】の■可搬型基地局の運用の「可搬型基地局の環境性能改善」に課題と対策として挙げている。

以上、本運用検証の達成指標としての検証結果は、運用マニュアル資料は作成したが、ユーザーインターフェースに不満点があり、改善要求が出される結果となった。

b. 【運用検証②　の検証結果及び考察】

運用②の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
運用②	無人自動草刈り作業による運用の拡張性の検討	自動草刈り作業の運用マニュアル完成 牧場作業者の評価を得ること	マニュアル完成 アプリ UI に改善要求

草刈り作業においては、草刈りのオプションをロボットトラクタに装着して最大時速 7km/h まで速度を出せる。この速度で最適なルートで本実証現場をくまなく草刈り作業をした場合、約１６５分の作業時間となった。

一方で、従来の草刈り作業にはない作業が本実証では２点発生する。除雪作業と同様に１つ目はロボットトラクタの自動走行ルートの入力と作業開始と停止であり、２つ目は可搬型基地局の接続と基地局サーバの立ち上げである。これら作業項目を並べて比較し各項目の作業時間を比較したものを以下に示す。なお、現場への移動時間は車庫から現場への距離によって増減するため省略している。

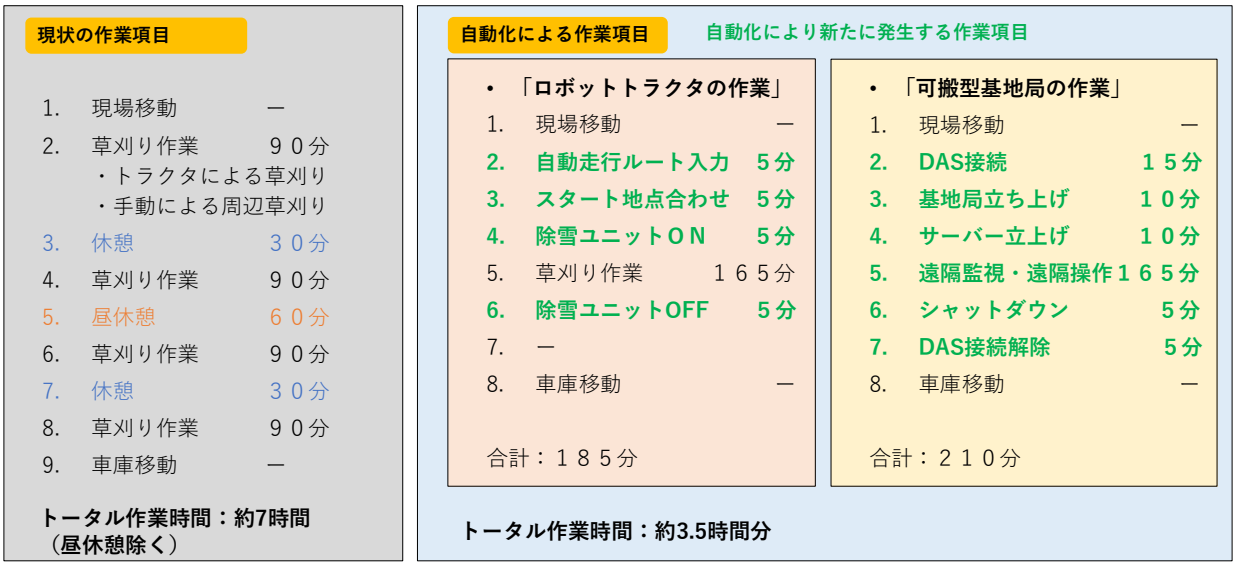


図 4-94　現状の草刈り作業項目と自動化における作業項目

現状の作業項目で草刈り作業はトラクタによる草刈り作業とトラクタで刈ることができない所の手動による周辺草刈り作業である。現状の作業時間はほぼ丸一日（8:00-17:00）の作業時間となっており、移動時間と昼休憩時間を除くと約７時間のトータル作業時間であった。図の右側の自動化による作業項目において、新たに発生する作業項目を太字緑色で示している。ロボットトラクタの作業の６．草刈り作業と、可搬型基地局の作業の６．遠隔監視・遠隔操作が同時刻帯であり、ロボットトラクタ単体での作業のみならば、全体の作業時間は１８５分であるが、可搬型基地局は現状 DAS 接続・解除、基地局・サーバ立ち上げ、シャットダウンなどがあり、ロボットトラクタ側でそれら作業が終わるのを待つ形となる。除雪作業と同様、ロボットトラクタの除雪作業前後に必要な運用時間が１５分と５分、可搬型基地局の除雪作業前後に必要な運用時間が３５分と１０分である。

結果的に、自動化による全体の作業時間は本実証現場では約 210 分（約 3.5 時間）という結果になった。

牧場作業者からの評価としては、除雪作業と同様、DAS 接続および基地局・サーバの立ち上げで専門性が高すぎて今のままでは操作できないので、改善して欲しいとの要望が上がった。

この可搬型基地局の接続・立ち上げといったユーザーインターフェースの改善対策については、4.3.3(2)の【機能に関する課題】の■ユーザーインターフェースの機能の「システムの操作性向上」および【運用に関する課題】の■可搬型基地局の運用の「可搬型基地局の接続性改善」に今後の課題と対策として挙げている。

以上除雪の運用と同様、本運用検証の達成指標としての検証結果は、運用マニュアル資料は作成したが、ユーザーインターフェースに不満点があり、改善要求が出される結果となった。

c. 【運用検証③　の検証結果及び考察】

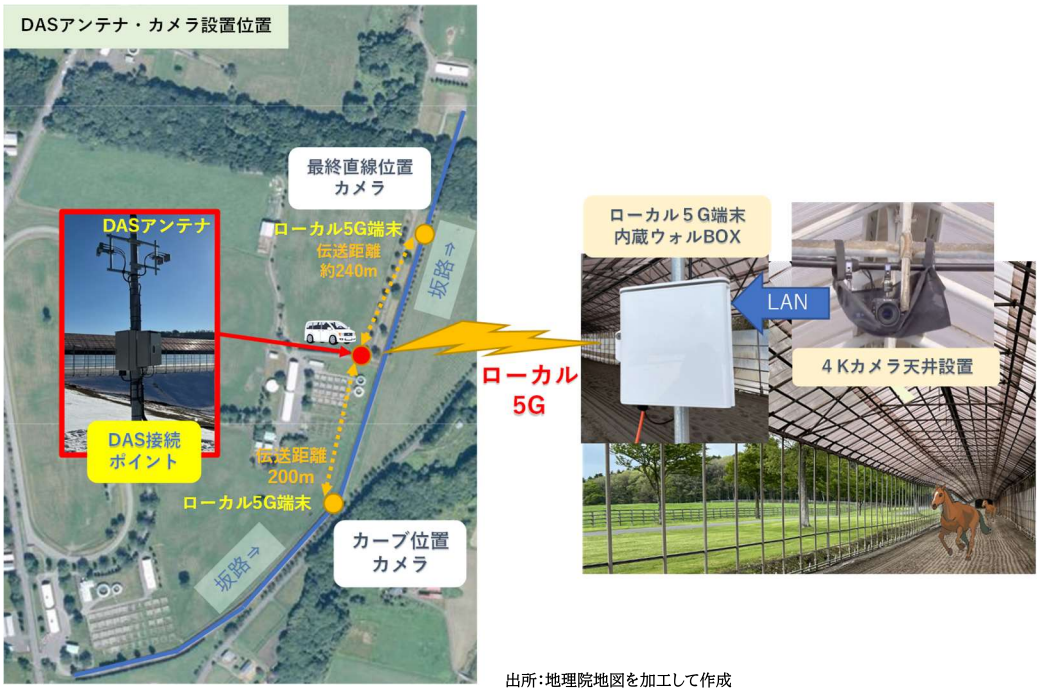
運用③の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
運用③	坂路育成による運用の拡張性の検討	坂路育成の運用方法（案）を完成 牧場作業者の評価を得ること	坂路育成への横展開を明確化

可搬型基地局の別拠点・別用途への基地局シェアリングを想定し、牧草地における除雪・草刈りの牧草地エリアから、坂路育成エリアへ可搬型基地局を移動させ、下図のように DAS 接続ポイントを変更しての坂路育成コースにおける運用方法について検証した。

坂路育成コースは上り坂の全長約１ｋｍのコースであり、屋根があるため冬場でも毎朝全力で疾走することが可能であり、軽種馬調教においてなくてはならないコースである。この調教は、調教騎手の手腕に頼るところが大きく、疾走の様子を牧場主および馬主が見ることはイベント以外にほとんどない。そのため、坂路コース上に２台の 4K カメラを設置し馬が疾走する様子を、ローカル５Ｇを介して、リアルタイムで伝送することを試みた。２台の 4K カメラは坂路がカーブ

する位置と、コース最終の直線位置に設置した。それぞれにはローカル５Ｇ端末内蔵のウォル BOX を配置し、そこから、可搬型基地局が接続される DAS アンテナへ無線伝送される構成とした。カーブ位置カメラおよび直線位置カメラそれぞれからの伝送距離は約 200m および約 240m であり、Wi-Fi では到達できない距離である。ウォル BOX 内のローカル５Ｇ端末等の機材接続はロボットトラクタ内での接続と同じである。



出所：地理院地図を加工して作成

図 4-95 坂路育成コースへのカメラ設置と DAS 接続

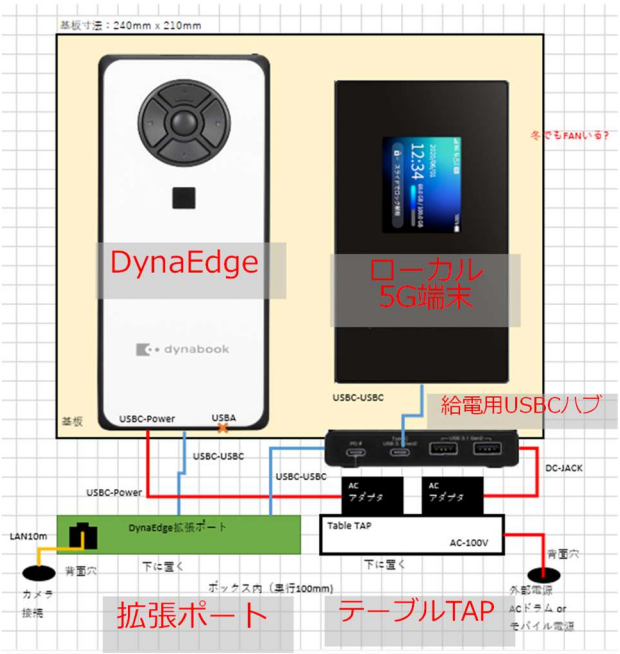


図 4-96 ローカル5G 端末内蔵ウォル BOX 内の機材配置図

実際の伝送実験でモニタに表示された映像の様子を下図に示す。坂路コースをローカル５Ｇエリア化することでリアルタイムで調教様子のリアルタイム 4K 伝送することに成功した。

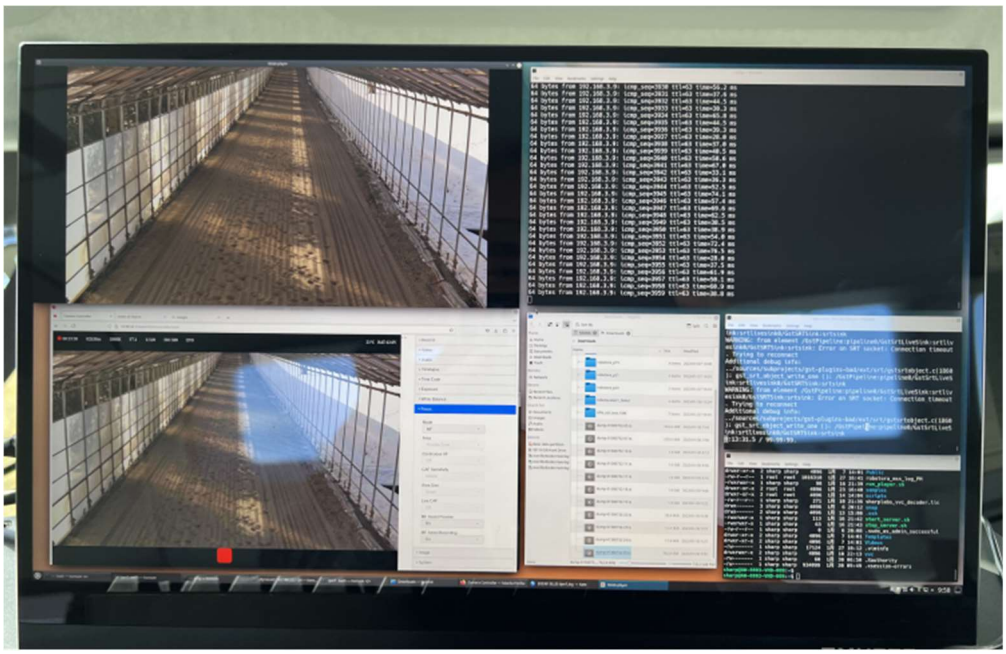


図 4-97 坂路コースの伝送ソフトのモニタ画面

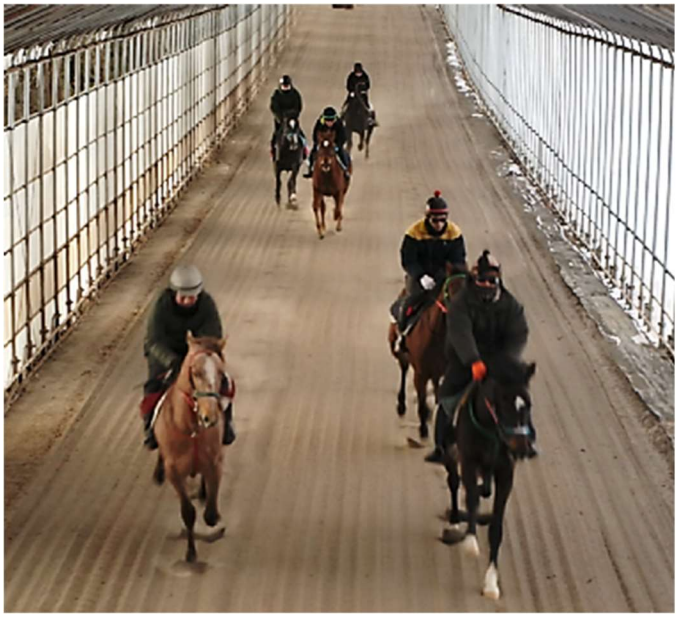


図 4-98 リアルタイム伝送された調教映像の例

従来の坂路調教に合わせた今回実証のローカル５Ｇを活用した映像伝送の作業の作業項目を下図に示す。坂路調教の作業時間は毎朝 7:30-10:00 と大体時間が決まっており、その時間内で、坂路疾走、休憩、馬の移動を繰り返し、３～４回走らせる。この際、人間が坂路に近づきいつもと違うものを目にすると馬が驚いて落馬事故などが発生するおそれがあり、坂路側に取り付けた

ローカル５Ｇ端末の調整などは坂路で馬が疾走中にすることはできない。そのため、7:30 以前に可搬型基地局の DAS の接続および基地局・サーバの立ち上げが必要になり、10:00 以降にシャットダウンと DAS 接続解除の操作が必要であり、坂路調教時間にプラスして約 3.25 時間の作業時間が必要となってしまい、坂路調教へのローカル５Ｇ活用は作業増加となる。

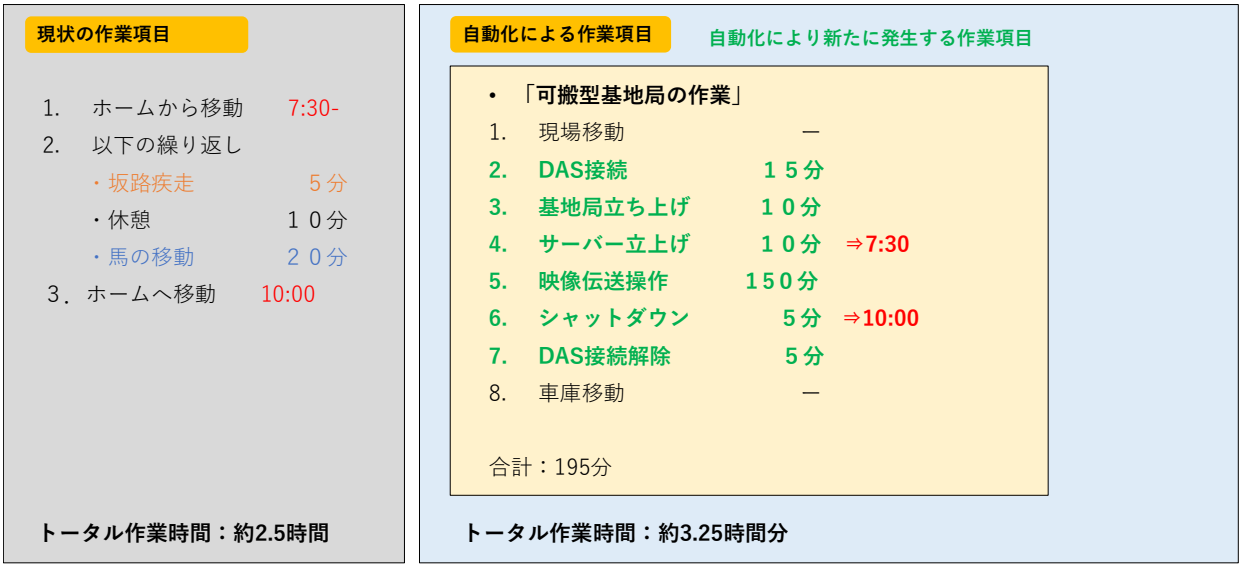


図 4-99 現状の坂路育成の作業項目と自動化における作業項目

しかしながら、牧場作業者との議論では好感触であり、これまで見れなかった調教映像がリアルタイム確認できることに価値があるといった意見や、馬主へ映像を配信することでサービス向上に役立ち、さらには新たな顧客ファン獲得のための映像に使えるのではないかといった意見がでた。可搬型ローカル５Ｇ基地局により様々なサービス提供を可能にすることで、効率化による費用ダウンだけではなく、投資により利益アップの相乗効果も狙えると結論付け、さらなる収益化に向けた実装については 4.3.3(2)の【導入効果に関する課題】の「ローカル５Ｇ活用による坂路調教育成ソリューションの確立」にて、今後の対策課題として挙げた。

（3） 効果検証

1） 検証項目

検証項目と達成指標、対応する目標番号を下表に示す。今回、検証場所を提供するビッグレッドファームの牧場経営者および複数の従業員作業者、コンソーシアムメンバーのそれぞれの観点で効果検証を議論した。また、今回は実証実験のできない草刈りソリューションについても、今回の除雪ソリューションを元に、それぞれの観点で予測した検討も実施した。

表 4-27 効果検証項目と達成指標

検証番号	検証項目	達成指標	目標番号
効果①	除雪の作業効率と迅速性向上の効果	除雪作業の自動化による有人作業に対する作業効率および年間コスト削減を明らかにすること	目標②-2
効果②	草刈りの作業効率と迅速性向上の効果	草刈り作業の自動化による有人作業に対する作業効率および年間コスト削減を明らかにすること	目標②-2

2） 検証方法

検証項目に対する検証の確認方法、確認者を下表に示す。

a. 【効果検証① の検証方法】

効果①の検証方法について述べる。最初に概要を下表にまとめる。

表 4-28 効果検証①の検証方法の概要

検証番号	効果①
検証項目	除雪の作業効率と迅速性向上の効果
検証方法	これまで実施されてきた有人除雪作業内容を可視化し作業項目の数値化を行い、自動除雪ソリューションとの比較により、作業効率と年間コスト削減費用を算出する。
確認者	牧場経営者、牧場作業者

b. 【効果検証②　の検証方法】

効果②の検証方法について述べる。

表 4-29 効果検証②の検証方法の概要

検証番号	効果②
検証項目	草刈りの作業効率と迅速性向上の効果
検証方法	これまで実施されてきた有人草刈り作業内容を可視化し作業項目の数値化を行い、自動草刈りソリューションとの比較により、作業効率と年間コスト削減費用を算出する。
確認者	牧場経営者、牧場作業者

3)　検証結果及び考察

各効果検証項目の検証結果および考察を以下に示す。

a. 【効果検証①　の検証結果及び考察】

効果①の検証結果について説明し考察する。最初に再度計画した達成指標を下表にまとめる。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
効果①	除雪の作業効率と迅速性向上の効果	除雪作業の自動化による有人作業に対する作業効率および年間コスト削減を明らかにすること	作業効率最大 75%向上 年間最大 90 万円削減

除雪作業における有人作業に対して、除雪ソリューションによって合理化することによる作業効率と、迅速性向上の効果およびコスト削減の経済価値（金額）の算出を行い、比較検証した。

除雪作業について、ヒアリングおよび現場での作業の視察を実施して、以下のデータを得た。

表 4-30 除雪作業のヒアリング

確認項目	回答および視察確認
１．除雪作業する月	冬季１２月～２月（３月は作業少なくなる）
２．１月での除雪作業日数	記録がなくわからない、年によって変わる
３．除雪する判断	雪の状態による。毎日連続ですることはない
４．１日の除雪作業時間	だいたい朝７時から１０時、馬を放牧させる前
５．１日に除雪する放牧地の数	１か所もしくは同時に２か所
６．作業人数	２～３名（除雪トラック、雪運搬トラック）

ここで、ロボットトラクタによって自動化した場合の作業時間と作業人数を整理する。すべて安全に走行し作業を終えたとした場合、作業時間は運用①で求めた通り自動走行ルートの走行時間と前後の準備撤収時間から約 1.5 時間である。また、作業人数としては自動運転のロボットトラクタの自動化レベルがレベル２であるため監視者１名が必要であり、可搬車両およびサーバ系の作業は常駐不要のため 0.5 名とし、作業者 1.5 名にすることができる。

以上から作業効率を算出すると、以下の表のように、上記のヒアリングの確認項目４から１日の作業時間はおよそ３時間であるため、自動化により 1.5 時間に半減されることになる。また、確認項目６から作業人数は最大３名とした場合、自動化により 1.5 人に半減する。したがって、除雪作業の自動化により作業効率は最大 75%向上することになる。

項目	現状	自動化による削減
除雪作業時間	３時間	1.5 時間
除雪作業人数（最大）	３人	1.5 人

次に除雪作業の自動化による年間の人件費のコスト削減金額を算出する。

確認項目１の除雪作業する月は冬季の１２月～２月で、３月は春に向けて少なくなるとのことで作業期間を 3.5 ヶ月とする。

確認項目２の１月での除雪作業日数は、どの程度の除雪作業を要するかヒアリングを実施したが記録はなく、明確な日数は年月によって変わるとのことで、気象庁の降雪のデータを元に算出することとした。以下の表が、今回の実証現場である北海道日高地方の気象データの抜粋である。雪が降った日数は 2009～2020 年の 12 年間の記録がありこれを参考する。除雪作業は主に１２月～２月に実施し、３月は気温が高く雪が直ちに溶けるのであまり作業した記憶がないとのことで、12 月～3 月の雪日数を合計すると約 85 日。除雪期間 3.5 ヶ月中、毎日連続で作業することはないとのことなので、除雪作業日数は雪日数の半分とすると、年間約 36 日（月間約 12 日）の作業となる。

表 4-31 北海道日高地方の気象データ(降雪日)

要素	気温			相対湿度	日照時間	大気現象
	平均 (℃)	日最高 (℃)	日最低 (℃)	平均 (%)	合計 (時)	雪日数
統計期間	1991～2020	1991～2020	1991～2020	1991～2020	1991～2020	2009～2020
1 月	-2.4	0.9	-5.7	65	142	23.3
2 月	-2.1	1.2	-5.6	68	160.8	20.7
3 月	0.9	4.4	-2.5	72	194.2	18.1
4 月	5.2	8.9	1.8	78	187.9	6.7

5 月	9.7	13.5	6.4	83	187.2	0.3
6 月	13.5	16.9	10.7	90	145	0
7 月	17.7	20.7	15.3	92	115.6	0
8 月	19.9	23	17.4	90	136	0
9 月	17.7	21.4	14.4	84	163.4	0
10 月	12.3	16.2	8.3	75	172.2	1.1
11 月	6.1	9.8	2.5	69	121.7	9.1
12 月	0.1	3.6	-3.1	65	113.2	22.8

出典：国土交通省　気象庁 HP　過去の気象データ検索（北海道日高地方浦河）年・月ごとの平年値より一部抜粋

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_sfc_ym.php?prec_no=22&block_no=47426&year=&month=&day=&view=

確認項目４の１日の除雪作業時間は、馬の放牧開始がだいたい１０時でありそれまでに除雪を終わらせたいとのことで、視察時の除雪作業の時間帯からみて朝７時～１０時の約３時間の作業時間とする。

確認項目５の１日に除雪する放牧地の数は１か所または２か所であるが、これは確認項目６の作業人数による。人数が多ければ複数の牧草地に同時に平行して除雪できるが、除雪トラクタおよび雪を運搬するトラックの数も判断に加える必要がある。視察段階では１か所で除雪トラクタが１台および運搬トラックは１台稼働していた。ここでは、自動化との比較の目的で同じ条件で作業人数は３名とする。３名の内訳は正社員１名と２名の構成とする。以上の内訳から除雪作業の年間人件費は以下の表の通り約 120 万円と算出できる。

表 4-32 除雪作業の年間人件費

作業員	1H 人件費	作業時間	日数	月数	作業人数	年間人件費（千円）
非正社員	2.5	3	12	3.5	2	630
正社員	4.5	3	12	3.5	1	567
					合計	1,197

一方、本実証のロボットトラクタにより自動化した場合の作業効率向上は上記で求めた通り最大 75%である。したがって、本実証現場の除雪作業をロボットトラクタで自動化した場合の年間削減コストは最大約 90 万円、年間人件費は最大約 30 万円まで削減可能となる。

もちろん牧草地の大きさは異なるので除雪作業時間は場所によって異なるし、自動化した場合の走行時間も異なるので多少誤差が発生するので、本削減金額は 50,000㎡程度の牧草地における軽種馬向けの除雪作業を自動化した場合の参考最大値としてみていただきたい。また、軽種馬のトレーニングを目的とした除雪の仕方およびロボットトラクタの走行経路を今回提案し試算しており、世の中のすべての除雪作業にあてはめることはできないので注意が必要である。

b. 【効果検証②　の検証結果及び考察】

効果②の検証結果について説明し考察する。

検証番号	検証項目	達成指標	検証結果
効果②	草刈りの作業効率と迅速性向上の効果	草刈作業の自動化による有人作業に対する作業効率および年間コスト削減を明らかにすること	作業効率最大 75%向上 年間最大 686 万円削減

草刈り作業における有人作業に対して、草刈りソリューションによって合理化することによる作業効率と迅速性向上の効果およびコスト削減の経済価値（金額）の算出を行い、比較検証した。

草刈り作業についいて、ヒアリングおよび夏季での草刈り作業の視察を実施して、以下のデータを得た。

表 4-33 草刈り作業のヒアリング

確認項目	回答および視察確認
１．草刈り作業する月	夏季４月中旬～９月（5.5ヶ月）
２．１月の草刈り作業日数	週１休で実施（25 日）
３．草刈りをする判断	夏は確実に伸びるので毎日草刈りをする
４．１日の草刈り作業時間	稼働時間は８～１７時で休憩含む（７時間）
５．１日に草刈りする放牧地の数	１か所もしくは２か所（放牧地の大きさによる）
６．作業人数	２～３名（草刈りトラック、周囲草刈り機）

ここで、ロボットトラクタによって自動化した場合の作業時間と作業人数を整理する。すべて安全に走行し作業を終えたとした場合、作業時間は運用②で求めた通り自動走行ルートの走行時間と前後の準備撤収時間から約 3.5 時間である。また、作業人数は１人は無人ロボットトラクタを利用するので不要であるがロボットトラクタで近づけない部分の草刈り作業に１名、可搬車両およびサーバ系の作業は常駐不要のため 0.5 名とし、作業者 1.5 名にすることができる。

以上から作業効率を算出すると、以下の表のように、上記のヒアリングの確認項目４から１日の作業時間はおよそ 7 時間であるため、自動化により 3.5 時間に半減されることになる。また、確認項目６から作業人数は最大３名とした場合、自動化により 1.5 人に半減する。したがって、草刈り作業の自動化により作業効率は最大 75%向上することになる。

項目	現状	自動化による削減
草刈り作業時間	７時間	3.5 時間
草刈り作業人数（最大）	３人	1.5 人

次に草刈り作業の自動化による年間のコスト削減金額を算出する。

確認項目１の草刈り作業する月は、草が伸びる４月中旬～９月の 5.5ヶ月とした。

確認項目２の１月の草刈り作業日数は、確認項目３の草刈りをする判断の質問に対して、ほぼ毎日と回答があり、週１休は実施するとのことなので、月に２５日とした。

確認項目４の１日の草刈り作業時間は丸一日作業しているとのことで、８～１７時まで２時間の休憩をいれて７時間とした。

確認項目５の１日に草刈りする放牧地の数は１か所または２か所であるが、これは放牧地の大きさによる。本実証で実験した放牧地のおおきさでは１日に作業にかかるとのこと。

確認項目６の１の作業人数は自動化との比較の目的で同じ条件で作業人数は３名とする。３名の内訳は正社員１名と２名の構成とする。以上の内訳から除雪作業の年間人件費は以下の表の通り約 915 万円と算出できる。

表 4-34 草刈り作業の年間人件費

作業員	1H 人件費	作業時間	日数	月数	作業人数	年間人件費（千円）
非正社員	2.5	7	25	5.5	2	4,813
正社員	4.5	7	25	5.5	1	4,331
					合計	9,144

一方、本実証のロボットトラクタにより自動化した場合の作業効率向上は上記で求めた通り最大 75%である。したがって、本実証現場の草刈り作業をロボットトラクタで自動化した場合の年間削減コストは最大約 686 万円、年間人件費は約 229 万円まで削減可能となる。

もちろん牧草地の大きさは異なるので除雪作業時間は場所によって異なるし、自動化した場合の走行時間も異なるので多少誤差が発生するので、本削減金額は 50,000㎡程度の牧草地における軽種馬向けの草刈り作業を自動化した場合の参考最大値としてみていただきたい。また、冬季での実証実験であったため、実際の草刈り作業が必要な夏季で比較検討しておらず、あくまで机上検討であるので注意が必要である。今後、夏季での草刈り作業の検証を実施し算出精度を上げることを期待したい。

（4） ローカル５Ｇ活用モデルの有効性等に関する総評

- 機能検証
  - カメラビットレートによる映像伝送画質の安定性、ロボットトラクタと基地局との距離・移動速度・方向転換における映像伝送画質の関係性および伝送遅延について検証し、牧草地内においてロボットトラクタがどこにいても安定して 4K60fps 映像を遅延約 1.5 秒で伝送できることを実証。
  - ロボットトラクタの遠隔制御に関して、ローカル５Ｇを介して牧草地内においてロボットトラクタがどこにいても安定的に遠隔操作できることを実証。
  - 広角レンズもしくは魚眼レンズを搭載したカメラを用いることで、ロボットトラクタから周囲の状況や除雪処理状況をリアルタイムで把握でき安全性向上や点検業務に貢献できることを確認。
  - 4K 映像伝送の優位点について画質の観点だけでなく、AI 画像解析の精度向上が見られることを確認。
  - ドローンで撮影した空中写真を AI 解析することにより最適な自動走行経路を生成可能なことを実証。

- 運用検証
  - 無人自動除雪作業の運用マニュアルにより牧場作業者に説明を実施、遠隔作業の確認を実施。暖気運転およびアプリ UI に運用面での難があり、改善要求された。
  - 無人自動草刈り作業の運用マニュアルにより牧場作業者に将来の実装に向けた説明を実施。夏季にて実証実験を予定。
  - 坂路育成に向けたローカル５Ｇの横展開運用について検討し、牧場作業者に将来活用の説明を実施。今後、収益化を狙い本格実装を検討していく。

- 効果検証
  - 除雪作業において、軽種馬のトレーニング目的の観点から除雪する自動走行経路の工夫が可能になり、作業内容の大幅削減が可能であることを明らかにした。
  - 除雪／草刈り作業において、作業人数の半減、作業時間の半減により、作業効率７５％の向上が見込め、年間削減費用を明らかにした。

4.3.2　ローカル５Ｇ活用モデルの実装性に関する検証

（1） 経済性・市場性の検証

1） 検証項目

本検証では、本実証で実施したローカル５Ｇ活用モデルにおける「イニシャルコスト」「ランニングコスト」の導入における費用面およびローカル５Ｇ活用モデルの横展開含めた市場規模（推計）を 2 点に着目し、経済性、市場性を検証する。また、可搬型ローカル５Ｇシステムの効果検証としては、離散的な複数の土地に対して、エリア化した際、すべてを光回線で接続したエリア化モデルと、本実証試験で用いる、可搬型ローカル５Ｇシステムを活用した場合のコストを試算する。試算モデルとしては、xkm 離れたエリアに n か所のローカル５Ｇエリア、という観点で複数のモデルを想定し、各モデルに対して構築した場合の費用感を推察し、その結果により本課題解決手法の効果を検証する。

2） 検証方法

＜導入における各費用＞

従来の有人での除雪作業にかかるイニシャルコストとランニングコストを計算し、合わせて今回の実証検証にかかる各コストを算出しその比較を行う。

具体的には、以下のような項目が想定される。

イニシャルコスト➡

システム費用、エリア構築費用、ロボトラ、映像伝送機材、（見積もりしたその他費用）

ランニングコスト➡

電気代、電波利用料、人件費、燃料費、車検代、保守料

＜市場規模＞

今回のローカル５Ｇ活用モデルは、基地局を移動可能とする可搬型ローカル５Ｇシステムのネットワーク部分とトラクタ等を用いた除雪や草刈り等の牧場で活用する牧場向けソリューション部分を組み合わせて構成している。そのため、想定される市場規模については、横展開も考慮して以下の 3 分野について検証を行う。

◯牧場向けソリューション＋可搬型ローカル５Ｇシステム

・牧場（軽種馬）

◯可搬型ローカル５Ｇシステムのみ

・競馬場

・コンビナート

〈可搬型ローカル５Ｇシステムの効果検証〉

離散的な複数の土地に対して、エリア化した際、すべてを光回線で接続したエリア化モデルと、本実証試験で用いる、可搬型ローカル５Ｇシステムを活用した場合のコストを試算する。試算モデルとしては、xkm 離れたエリアに n か所のローカル５Ｇエリア、という観点で複数のモデルを想定し、各モデルに対して構築した場合の費用感を推察し、その結果により本課題解決手法の効果を検証する。

3)　検証結果及び考察

＜導入における各費用＞

以下に、有人で作業した場合の従来コストと、本実証で実施したローカル５Ｇ活用モデルを使った場合でのコストを示す。

表 4-35 有人作業と本実証のモデルでのイニシャルコスト

費用項目	従来コスト（有人）	本実証検証	１年後	３年後	５年後
ローカル５Ｇシステム（可搬車両含む）	0 百万円	38 百万円	38 百万円	28 百万円	21 百万円
トラクタ	5 百万円	24 百万円	24 百万円	21 百万円	18 百万円
映像伝送機材	0 百万円	3.8 百万円	3.8 百万円	2.7 百万円	1.9 百万円

表 4-36 有人作業と本実証のモデルでのランニングコスト(年額)

費用項目	従来コスト（有人）	本実証検証	１年後	３年後	５年後
電気代	0 千円	135.6 千円	135.6 千円	135.6 千円	135.6 千円
電波利用料	0 千円	25 千円	25 千円	25 千円	25 千円
電波利用継続申請代行依頼費用	0 千円	2,360 千円	2,360 千円	2,360 千円	2,360 千円
人件費	2,400 千円	780 千円	780 千円	780 千円	780 千円
燃料費（可搬車両用）	0 円	1,108.8 千円	1,108.8 千円	1,108.8 千円	1,108.8 千円
車検代（可搬車両	0 千円	80 千円	80 千円	80 千円	80 千円

用)					
保守料	1,200 千円	10,370 千円	10,370 千円	8,219 千円	6,465 千円

コストの算出では

・作業の有人・無人に関わらずユーザーがトラクタを１台購入する
・燃料費はローカル５Ｇシステムで使用する可搬型車両のみ。トラクタの燃料は、有人・無人に関わらず発生するためその費用は同額と仮定
・本実証検証の運用費は、今回のローカル５Ｇ活用モデルの実証で得られた課題が解決され本格実装された場合を想定

を条件としている。

イニシャルコストでは従来コストと本実証のコストでは大きな差がある。従来コストの場合、トラクタの選定では作業者が操縦するタイプのトラクタを使用し、そのトラクタの購入検討時では「中古機」が検討されるが、本実証ではロボットトラクタを使用している。ランニングコストは、ローカル５Ｇシステムそのものを維持するための費用と運用費があり、その部分が従来コストと比較すると大きくなるため、全体でコスト低減を行いながら導入後の効果を合わせて示すことが重要になる。導入効果としては、トラクタでの作業の人件費が削減される以外にも労働者の身体的負担の軽減等の効果もあるため、その部分も可視化し、効果とすることが必要となる。

＜市場規模＞

次に、今回のローカル５Ｇ活用モデルにおける市場規模を試算する。以下に、分野別の想定市場規模を示す。

表 4-37 本ローカル5G活用モデルにおける想定市場規模(分野別)

（単位：数、百万円）

	導入施設数	機能別市場規模				市場規模合計
		導入単価	ネットワーク関連	導入単価	ソリューション関連	
牧場（軽種馬）	30 (*1)	20.9	625.8	20.2	605.2	1,231.0
競馬場	20 (*2)	20.9	417.2	- (*3)	- (*3)	417.2 (*3)
コンビナート	15 (*4)	20.9	312.9	- (*3)	- (*3)	312.9 (*3)

*1：農林水産省 馬産地をめぐる情勢（令和４年６月）を用いて推計

*2：農林水産省 競馬場の全国分布（令和４年４月１日時点）を用いて推計
（https://www.maff.go.jp/j/chikusan/keiba/lin/attach/pdf/index-5.pdf）

*3：競馬場、コンビナートのソリューションは、ユーザー要望によって仕様が異なる。今後の普及展開、導入検討を進めていく中で詳細の仕様が決定するため、今回はネットワーク関連のみを試算している
*4：石油化学工業協会より参照（https://www.jpca.or.jp/trends/plants.html）

導入価格は、全ての分野において令和 10 年度以降での市場導入を想定した価格としており、前述にある有人作業と本実証のモデルでのイニシャルコストの 5 年後のコストを使用して試算した。また、競馬場およびコンビナートでは、活用方法等のソリューション関連の市場については、今後の導入検討で具体的な仕様が決まることから、ネットワーク関連の市場規模のみを試算している。前述の条件に基づき、牧場（軽種馬）、競馬場、コンビナートにおける市場規模合計は、1,961 百万円と見込んだ。以下に分野毎の条件を示す。

牧場分野においては、軽種馬産業のみを対象とし、導入施設数は本実証の実証場所と同規模程度である大規模経営の牧場を推計している。その結果、牧場（軽種馬）分野としては 1,231 百万円の市場が見込む試算となっている。なお、酪農関連の牧場については、後述する 4.3.2 (4)実装性を高める手法の検討及び実行において、酪農を担う事業者にヒアリングより、本ローカル５Ｇ活用モデルで実施しているトラクタを活用した除雪や草刈りに利用以降が「わからない」もしくは「利用する状況にない」との結果から、今回の試算では含めていない。酪農や畑作の市場規模は、牧場や農場の事業形態に合わせて、圃場規模やどのような作業を自動化していくか等の仕様によるが、ヒアリング結果の傾向からも可搬型ローカル５Ｇシステムへの関心は高いこと、また、酪農や畑作においても作業の自動化や家畜の状態、様子の把握等のニーズは高いことから、当該分野においても需要が見込まれると推察する。

競馬場における市場規模には、全国の競馬場は 25 か所のうち地方競馬を中心として 20 か所を導入施設の候補とし、市場規模としては 417 百万円を見込んだ。なお、競馬場においてもトラックの外周や所持する設備による規模感、気候等も条件が異なる。外周の大きな場所ならばアンテナの数を増やす等の対応は必要であり、それによって見込める市場も変化すると推察する。

コンビナートでは全国で 15 か所の石油コンビナートが存在しているため、313 百万円の市場規模を見込んだ。コンビナートで使用するシステムでは防爆仕様が求められる等、前述の牧場や競馬場よりもより安全面を考慮する必要があるため、第一段階での普及展開は慎重に進めていく必要がある。

今回の試算では３つの分野で市場規模合計を 1,961 百万円と見込む一方で、牧場等については運営が小・中規模だったものが大規模化しているような流れがあることや、本ローカル５Ｇ活用モデルもユーザーの実態（使用する場所の規模等）に合わせて機能をオプション化することで更なるユーザーを取り込める可能性があることから市場規模の広がりがあると推察される。

〈可搬型ローカル５Ｇシステムの効果検証〉

次に、可搬型ローカル５Ｇシステムの効果検証として、離散的な複数の土地に対して、エリア化した際、すべてを光回線で接続したエリア化モデルと、本実証試験で用いる、可搬型ローカル５Ｇシステムを活用した場合のコストを試算する。試算モデルとしては、xkm 離れたエリアに n か

所のローカル５Ｇエリア、という観点で複数のモデルを想定し、各モデルに対して構築した場合の費用感を推察する。ここで、2 点間の接続に関し、架空線を用いた光接続を¥2,100,000/100m、埋設の場合を¥4,500,000/100m とした。

それに対し、可搬型の準備に要するコストを¥4,500,000 とした。

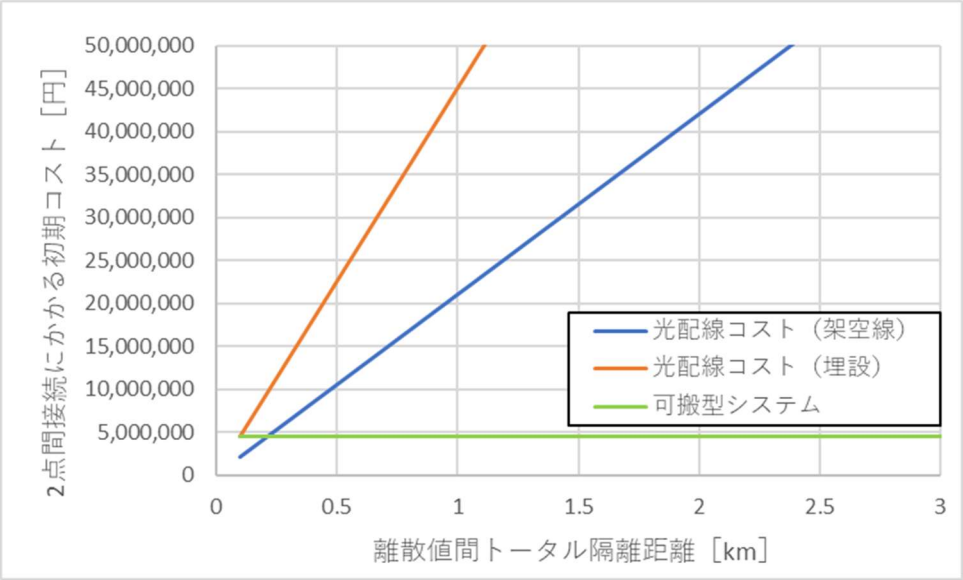


図 4-100 離散的な土地の接続にかかるコスト

表 4-38 2 点間光配線工事費用(参考)

種類	費用	備考
架空線	2,100,000	/100m
埋設	4,500,000	/100m

表 4-39 可搬車両準備にかかる費用

車両代（リフター付き）	4,000,000	例：リストバン約 400 万円程度
その他備品類	500,000	電源類設置サポート等
合計	4,500,000	

上記結果より、初期投資においては、2 点間が 100m を超えてくると可搬型ローカル５Ｇシステムによる実装の方が、コスト的メリットが得られる。

（2） 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

1） 検証項目

今後継続して運用するためのスキームを整理する。具体的にはユーザーとしてのスキームとして、メンテナンスを中心に、操作性、免許申請取得を、事業者としてのスキームとして、マネタイズの可能性を検討した。以下に、運用スキームの一例を示す。

表 4-40 運用スキームの一例

今後継続して運用するためのスキーム	
ユーザーとしてのスキーム	メンテナンスの利便性
	操作性
	免許取得
事業者としてのスキーム	シーズンを通じてのサポート
	別ソリューションへの応用性
	移動基地局の自由度

2） 検証方法

ユーザーとしてのスキームについては、コンソーシアムメンバーとともに、メンテナンス、操作性、免許取得に関する項目を整理し、項目ごとにヒアリングを実施した。その後、課題を抽出し、具体的な詳細について検討を行った。

事業者のスキームとしては、本実証後に実装を目指す草地管理ソリューションがどこまでサポートをしていく必要があるか、草地管理ソリューションおよび、その中で使用できる可搬型ローカル５Ｇ基地局の応用性、システムの自由度等につき、ヒアリングを行い横展開およびビジネスモデル検討を行った。

●ユーザーとしてのスキーム

＜メンテナンス・操作性＞

・接続や撤収までの所要時間の適正・煩雑感

・操作のわかりやすさ・しやすさ

・接続、撤収、操作に関する課題と要望　など

＜免許申請取得＞
・申請方法のわかりやすさ
・申請方法のしやすさ
・申請をするまでの準備に関する負担感・課題

●事業者としてのスキーム
＜シーズンを通じてのサポート＞
・繁忙期はいつか
・季節毎の作業内容
・作業者の季節ごとの人数の増減　など

＜別ソリューションへの応用性＞
・現状の課題
・活用シーン（ニーズ）
・利用への意向
・利用する場合の条件　など

＜可搬型ローカル５Ｇシステムの自由度＞
・ローカル５Ｇが可搬型になるメリットの理解
・活用シーン（ニーズ）
・導入への意向
・導入する場合の条件　など

3)　検証結果及び考察

ユーザーに対し、メンテナンス・操作性・免許申請についてヒアリングを実施した結果、以下の意見であった。

表 4-41 メンテナンス･操作性･免許申請に関する意見

Q. 接続や撤収までにかかる所要時間の長さは？　（短い・長い）
非常に長い
Q. 接続や撤収の作業は煩雑でしたか？（簡単・難しい）
非常に難しい
Q. 時間が長い、作業が煩雑で難しいと回答した場合の理由
・本実証では、冬期という厳しい環境下での実証であり、暖気に 2 時間程度必要 ・作業工程を理解することはできるが、実作業では非常に煩雑で難しいと感じた。

気を使う部分が非常に多い。
Q. 接続や撤収に関する課題・要望等
・アンテナとケーブルとの接続、ケーブルの取り回しが簡単にできるようにしていただきたい。本実証時では、ケーブルの取り扱いにかなりの注意が必要
Q. 操作性（簡単・難しい）
やや難しい
Q. 操作が難しかったと感じた点
・実証用のためコマンド操作になっており、一般的に使用することが難しい
Q. 操作に関する課題・要望等
・アプリなどでボタン一発起動ができるような、通常の「アプリケーション」のインターフェースにしていただきたい
Q. 免許申請のわかりやすさ・簡易さ
その他
Q. 理由
・本実証では免許申請は申請対応が可能な事業者が代理で対応。ユーザー側では必要な書類の準備等を行った。 ・必要書類の準備でわかりにくい点はないが、実際に自らが申請手続きをしようと考えると非常に難しく、申請には必ず専門家が必要。

事業者スキームであるシーズンにおけるサポートについては、通年においてどの時期に必要性が求められるかを整理するため、ユーザーが通年でどのような作業を実施しているかにつき、ヒアリングを行い、以下のような意見であった。

表 4-42 シーズンにおけるサポートに関する意見

繁忙期	夏	
季節毎の作業内容	春	・堆肥撒きの作業があるためその際にトラクタを使用する ・総作業は夏よりも少ない。
	夏	・夏は確実に草が伸びる時期のため毎日草刈りをする ・期間は 5 月～9 月にかけて行う。一日の稼働は 8～17 時（休憩含む）
	秋	・冬に向けて草地を残す。 （気候と天候を見ながら草刈り等の作業をするかしないかの判断をする） ・秋にも堆肥撒きの作業があるため、トラクタを使用する
	冬	・除雪作業。ただし、雪が無いと作業はなし（降雪次第）
	他	・牧柵の状況確認（外れ、故障等） ・雑草の映え具合

		・窪地や地面のデコボコ状態の確認（地面の凸凹が多いと、雨が降ったりすると水路や水たまりができてしまいため困る）
季節毎の作業者数	春	状況次第
	夏	草刈りのために２～３台が常時稼働
	秋	状況次第
	冬	状況次第
	他	トラクタに乗って作業していればその時に同時確認する。または人が歩いて確認する（例えば強風の翌日等）

本実証のローカル５Ｇ活用モデルでは除雪や草刈りの作業効率という点をソリューションの重点としているが、その一部機能を応用し展開する可能性を検討すべく、応用性についてヒアリングを実施した。また、本実証では可搬型ローカル５Ｇを使用して実施しており、可搬型ローカル５Ｇへの利用や期待、条件などのヒアリングを実施した。

表 4-43 別ソリューションへの応用

別ソリューションへの応用性	
課題	・放牧地内のトラブル（牧柵が外れ、壊れ、地面に凹凸が）の確認は、従業員がトラクタでの作業時に目視で確認、またはトラクタでの作業がない場合は人が歩いて確認している。 ・馬作りの観点から、（牧草の生え具合に懸念は無いか、雑草が密になり過ぎているか所が無いかどうかなど）に向けて AI で映像解析などして把握できないか。
活用シーン	・トラブル解消目的の展開（牧柵が外れていないか、壊れていないか、地面に極端な凹凸が無いか、湿地や水路ができていないか）に成り得る状況をローカル５Ｇで伝送された 4K 映像と AI で解析などして把握できないか。
利用への意欲・条件	・今後１人で複数台・複数個所の自動トラクターの映像をチェックできるような展開になった時、映像からは人の目では確認が追い付かない可能性がある。これらを映像で分析できるようになれば、より良い展開である。 ・風が強かった翌日などは徒歩で CK している状況。ドローン映像など分析してピンポイントで回収に向かえるようになれば効率の良い作業が叶う。

表 4-44 可搬型ローカル5Gシステムの自由度への意見

可搬型ローカル５Ｇシステムの自由度	
理解	・例えば先の展開として、本実証で行った除雪作業が、放牧地だけでなく場内の作業用道路の除雪が可能となればそれは大変有効な展開と考えており、１つの基地局で複数の場所で作業できることにはメリットがあると考える。

活用シーン	・放牧地以外での展開。場内の作業用道路の除雪、調教用坂路からの映像伝送や配信等
利用への意欲・条件	・可搬型ローカル５Ｇを通年で効率良く活用できる環境が必要。 ローカル５Ｇシステムの利用では、冬期での野外利用が環境条件として非常に厳しいことが本実証の結果として挙げられる。例えば、通年で活用できるよう最適な可搬車両の開発も視野にいれる必要があるのではないか。

(3) ローカル５Ｇ活用モデルの構築

1) ローカル５Ｇ活用モデルの全体像

a. ターゲット

想定される具体的なターゲットを以下に示す。

・全国の牧場における草地管理

本実証で実施したソリューションについては、特に可搬型ローカル５Ｇシステムの活用に注目した場合、以下のような他産業や利用シーンへの展開も考えられる。

・高速道路や鉄道の複数トンネル内管理への活用
・増水した河川の監視
・離散的な自己土地がある産業（林業等）
・複数の利用者でローカル５Ｇシステムを共有して使用するシーン（組合メンバーでの使用）

また、本実証システムのメリットが生かせる前提条件としては、以下があげられる。

・1 事業者あるいは団体における広大で離散的な土地環境
・複数利用者でローカル５Ｇシステムの共有利用
・サブスクリプション等のローカル５Ｇシステムの提供事業

b. 対象となるシステム

本実証の検証結果を元に検討を進めた結果であるローカル５Ｇ活用モデルのシステムの全体像について抽象化したものを下図に示す。大きく５個のパートにわかれそれぞれが連携して全体を構成している。構成内容としては、以下の通りである。

① 分散アンテナシステム（DAS）により、ローカル５Ｇエリア内の通信エリアの安定化
② ローカル５Ｇを活用して、複数の作業ロボットを連携
③ 高精細映像を用いたリアルタイム遠隔監視制御による、省人化促進および応用展開
④ 伝送映像の AI 画像解析を用いた作業支援による、効率化向上

⑤　可搬型ローカル５Ｇ基地局による、別拠点・別用途へ柔軟に対応

検証に用いたドローンおよびロボットトラクタを作業ロボット１および２と抽象化し、AI 画像処理を担当する部分はデータセンター、ローカル５Ｇ基地局は可搬型基地局、そして人の判断が入る部分をユーザーとした。

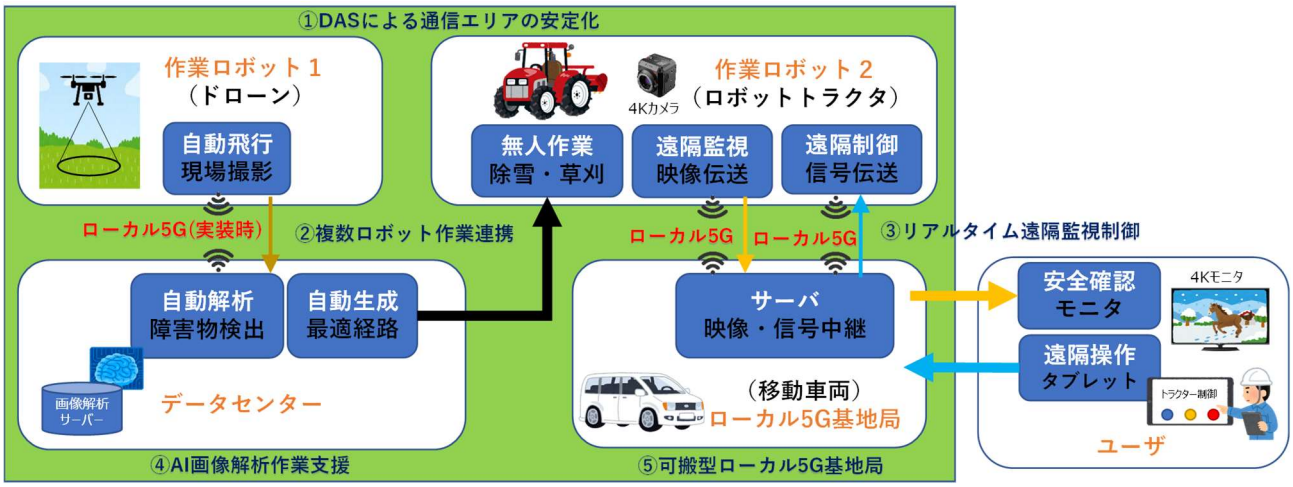


図 4-101　ローカル5G活用モデルのシステム全体像

抽象化したシステムの全体像を再度本実証内容に合わせて、具体的に展開しなおしたものが以下の図である。

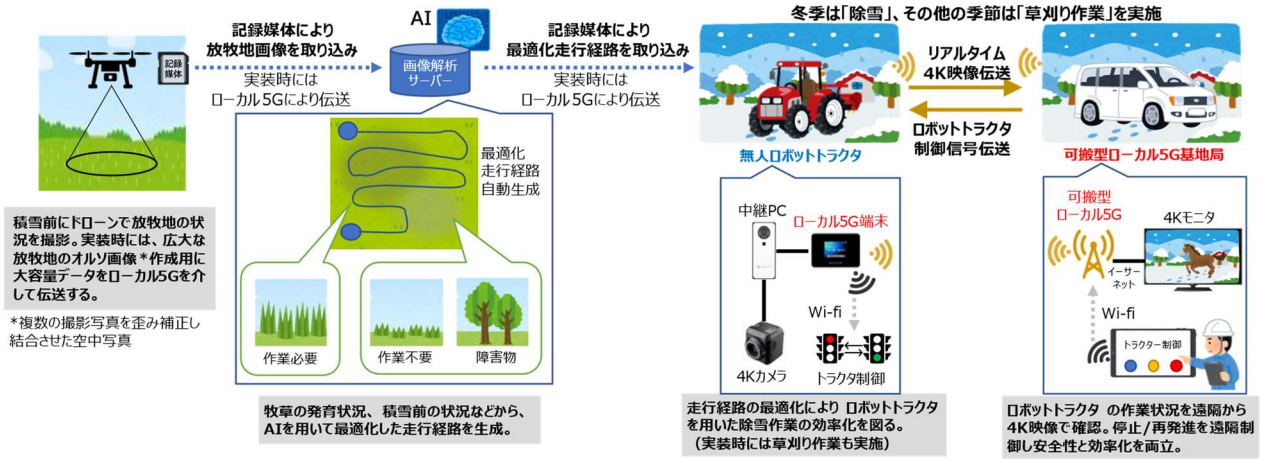


図 4-102　本実証の全体像

積雪前にドローンにて放牧地の状況を撮影し、記録媒体により放牧地画像を取り込み、広大な放牧地のオルソ画像（複数の撮影写真を歪み補正し結合させた空中写真）を画像解析サーバにて作成する。実装時には、大容量データである放牧地写真をローカル５Ｇで介して直接画像解析サーバへ伝送する。画像解析サーバでは、牧草の発育状況、積雪前の状況などから、AI を用いて最適

化した走行経路を生成し、無人ロボットトラクタへ記録媒体により最適化走行経路を取り込む。実装時には、走行経路もローカル５Ｇによりロボットトラクタへ瞬時に直接伝送する。この走行経路の最適化によりロボットトラクタを用いた除雪作業の効率化を図る。実装時には、除雪だけでなく草刈り作業の効率化も図る。さらに、無人ロボットトラクタから可搬型ローカル５Ｇ基地局へリアルタイム 4K 映像が伝送され、ロボットトラクタの作業状況を遠隔から 4K 映像で確認し安全性を担保する。また、ロボットトラクタの制御タブレットによる停止／再発進等の Wi-Fi 制御信号をローカル５Ｇで介してロボットトラクタへ中継し、安全性と効率化を両立させる。

以上のローカル５Ｇ活用モデルのシステムを構築するにあたり、顧客が必要とし必ず達成しなければならない基本となるべき機能要件をサービス水準とともに以下にまとめる。

表 4-45 本ローカル5G活用モデルの機能要件

機能要件	定義	サービス水準
ドローンによる放牧地の撮影データ取得	放牧地を上空からドローンで自動飛行撮影し写真データを取得する	オルソ画像が生成できる精度で飛行および撮影できること
無人作業用の自動走行経路の生成	ドローン撮影したデータからオルソ画像を生成、AI 解析により障害物を避けた最も効率的な走行経路を自動生成する	ロボットトラクタに入力できる走行経路かつ連続走行可能であること
ロボットトラクタによる無人自動作業	生成された自動走行経路を入力し、無人で草刈りおよび除雪作業ができる	安全なら、一度も止まらずに作業が継続できること 危険なら、作業を停止すること。
ロボットトラクタのリアルタイム遠隔監視	ローカル５Ｇを経由して、リアルタイムで4K映像が基地局サーバまで伝送できる	作業状況が明確に判断できるくらい映像がクリアであること 映像の撮影から画面表示までの遅延時間が３秒未満であること
ロボットトラクタのリアルタイム遠隔制御	ローカル５Ｇを経由して、リアルタイムでロボットトラクタを操作できる	ロボットトラクタ停止から状況確認、再スタートまでの作業時間が１分未満であること
可搬型ローカル５Ｇ基地局による運用	ローカル５Ｇ基地局が車両内にあり移動可能	他のローカル５ＧカバーエリアのDAS アンテナに接続を変更しサービスを提供できること

また、使いやすさや性能、信頼性、拡張性、運用性、セキュリティ等といった非機能要件をサービス水準とともに以下にまとめる。

表 4-46 本ローカル5G活用モデルの非機能要件

機能要件	定義	サービス水準

ユーザービリティ	接続およびソフト操作が一般人でも操作が容易である	一度手順書で操作すれば、次回から見なくても操作できること
自動走行経路の複数の選択肢の生成	複数の自動走行経路を提案し、ユーザー判断により適切な経路を選択させる	少なくとも２つ以上の選択肢 ・作業時間優先 ・ていねいさ優先
障害物の自動検出による自動走行経路の生成	映像や画像のAI解析により障害物を回避した走行経路が生成可能	立木や水飲み場、沼地などの障害物を回避した走行経路を生成できること
ロボット間のローカル５Ｇ経由による連携協調作業	ドローン・画像解析サーバ・ロボットトラクタ間でローカル５Ｇによる即時データ連携により、人手を介さずに作業可能	少なくとも２台以上のロボットが作業を連携すること
自動作業の応答性と精度向上	伝送映像による走行経路のオートリルートや障害物近くまでの作業が可能	自動走行ルートの変更が走行中に指示後３分以内でできること 障害物までの作業距離２ｍ未満
ネットワークの拡張	ロボットトラクタからユーザー端末へのリアルタイム映像伝送によるユーザービリティ向上	事務所やモバイル端末など少なくとも２か所以上で作業状況が確認できること
ドローンの拡張	飛行および撮影精度の向上と牧草地などの現場以外からのドローン発進帰還ができる	RTK 搭載による精度 10cm 未満達成 LEVEL３の目視外飛行が可能
AI 解析の拡張	作業状況の自動判断による無人遠隔制御作業のさらなる多様化・効率化	安全レベルのユーザー通知や牧柵などの管理地の損傷や異常状況などを判断し１０分以内に通知できること
ローカル５Ｇ拡張	既存の Wi-Fi 制御によるシステムをローカル５Ｇで介した制御に拡張できる	SSID などのアクセスポイントを変更するだけでローカル５Ｇに接続できること
環境性能	自動作業が望まれる国内の極寒地および熱帯地で作業が可能	外気温-20° ～40° でシステムが動作可能なこと
保守サポート	定期的なメンテナンスおよび不具合が発生した場合にはサポートする	ネットワークに接続できる場合は遠隔でサポートできること サーバは原因特定用のエラーメッセージを出力すること

また、業務・処理フローとしては、走行ルート生成のため、年に数回の事前処理と本業務の２つをベースとして各種業務やユーザーの要望よってアレンジされる。まとめたものを下図に示す。

なお、各フローは将来簡素化あるは作業をなくしてユーザービリティの向上を図る。

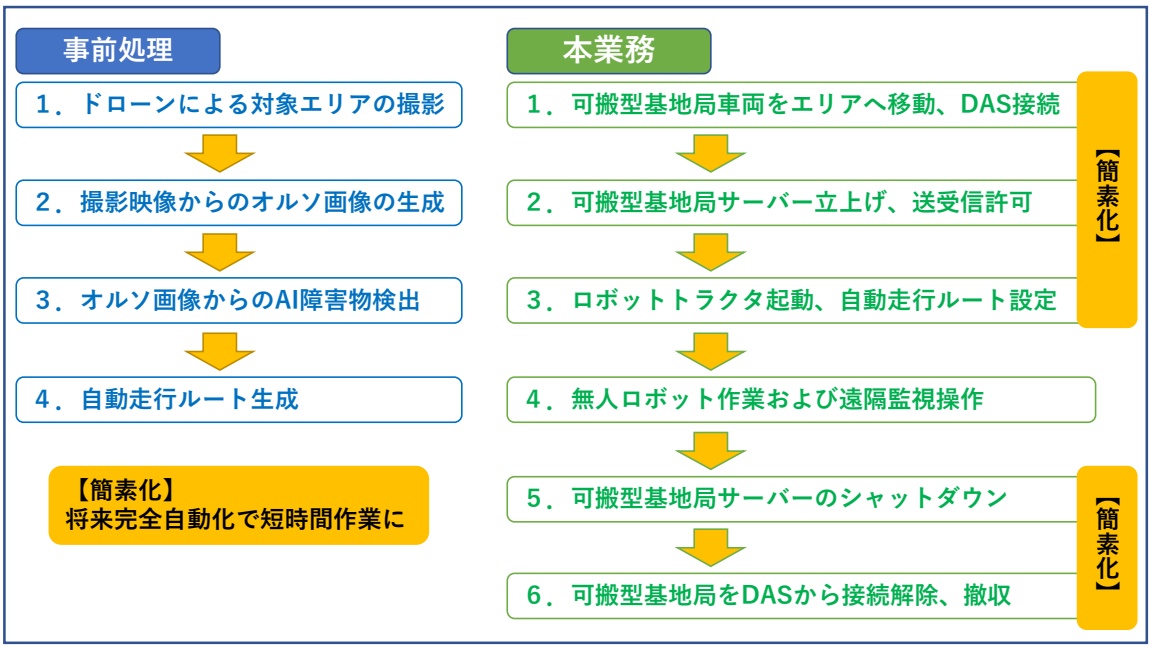


図 4-103 業務処理フロー

c. ビジネスモデル

前節での考察をもとに基本となるビジネスモデルを以下に示す。サービス提供事業者（本実証ではシャープ）は機器ベンダ（東芝、ヤンマー）へ保守サポート料を支払い、機器の提供・保守・運用を依頼する。また、平行してソフトウェア開発者（調和技研）へ保守サポート料を支払い、ソフトウェア（AI 処理など）の提供を受ける。ユーザーに対しては、システムを提供し運用サポートを実施することで、利用料をいただく。

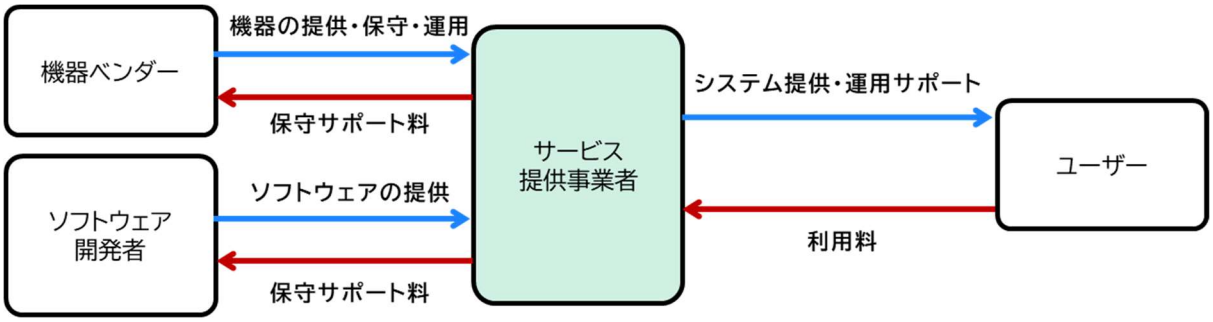


図 4-104 基本ビジネスモデル

以上の基本ビジネスモデルを本実証に当てはめると下図のようになる。

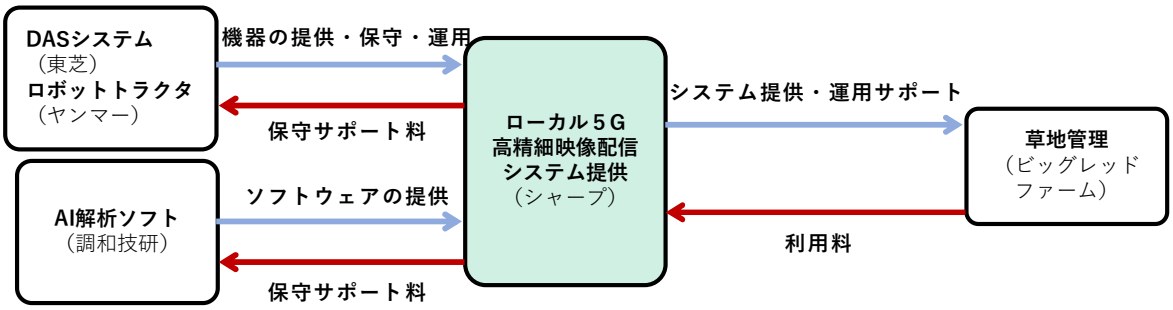


図 4-105 本実証のビジネスモデル

さらに、本ビジネスモデルを元に以下のような様々な場所へ応用展開することが可能である。

・広大な土地を持つ他畜産業（牛、羊など）の牧場や農地管理
・非定常的な増水河川や土砂災害の監視などの防災管理
・道路や橋梁、鉄道のトンネルなどのスポット的なインフラ点検
・コンビナートなど人が通常見られない視点からの保安点検
・競馬場やスタジアムなど観客が多く日常的でない映像配信

これら横展開を想定したビジネスモデルの例を以下に示す。

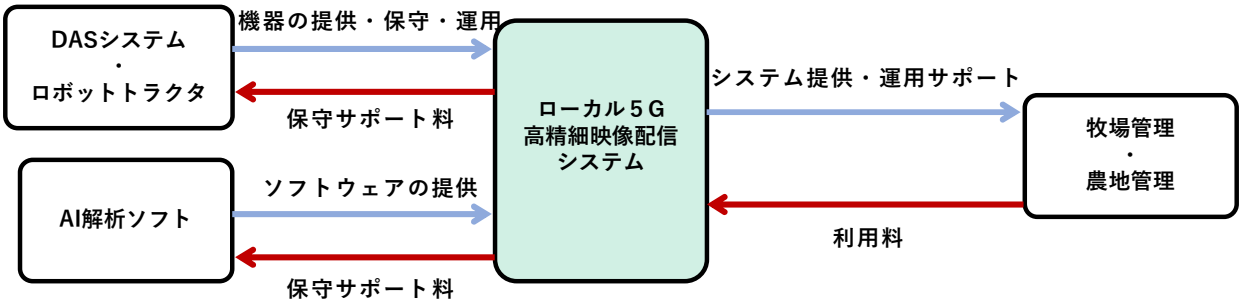


図 4-106 ビジネスモデルの横展開(1)

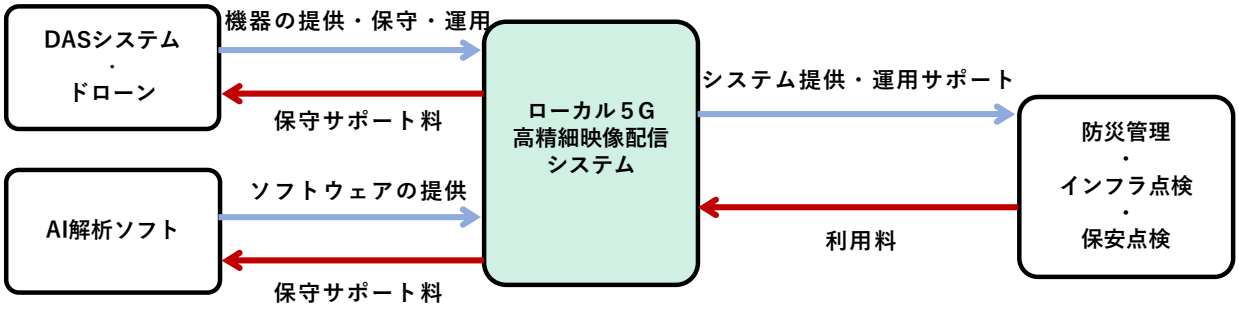


図 4-107 ビジネスモデルの横展開(2)

また、本実証では可搬型車両を別用途にシェアリングすることで、新しいサービスを馬主に提

供し収益向上の運用ができるかどうか検証した。このサービスを実現した場合のビジネスモデルは以下のようになり、草地管理によるコスト削減だけでなく新たな収益の流れを生むことになる。

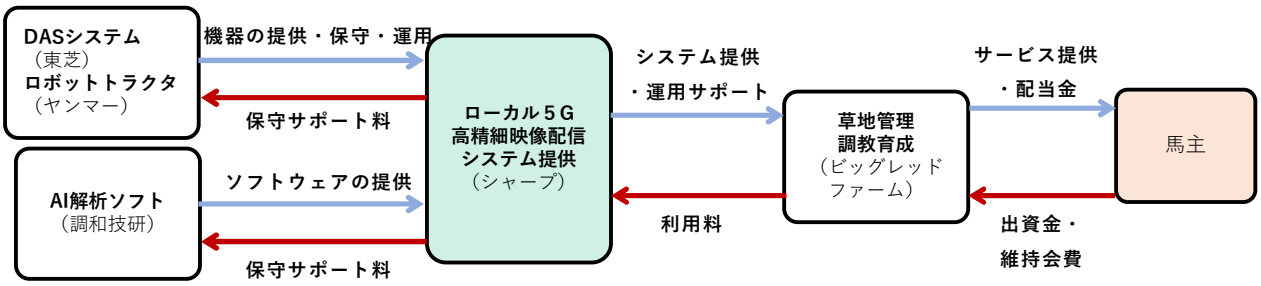


図 4-108 収益源を追加したビジネスモデル

2） 体制・役割分担

本ビジネスモデルの体制・役割分担を以下に示す。

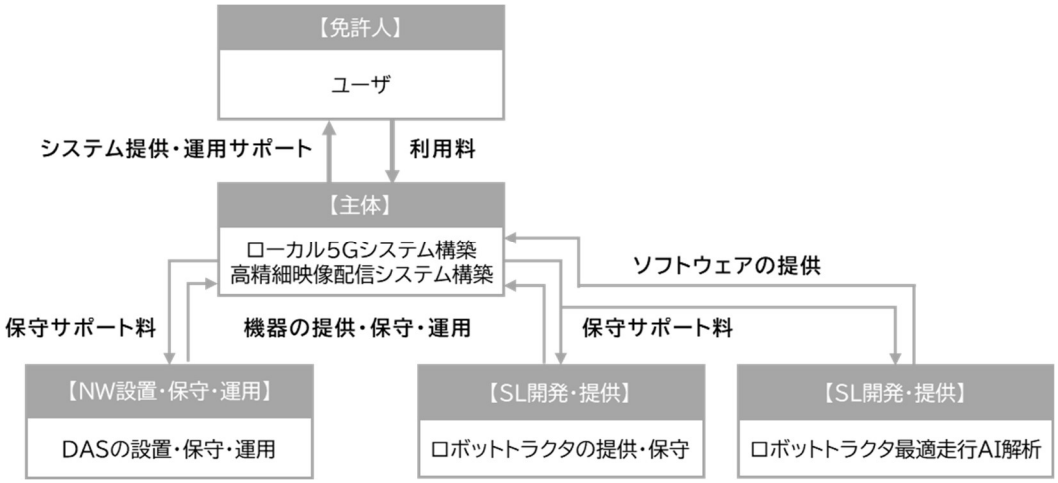


図 4-109 本ビジネスモデルの体制・役割分担

3） 導入効果

本ローカル５Ｇ活用モデルと体制に基づいた顧客提供価値として、経済面での導入効果は以下の通りである。

- 人件費の削減効果

  8,525 千円／年

以上のコスト削減効果に対し、本実証におけるユーザーの実際の支払い意思額は以下の通りであり、新たな重機導入コストと人材採用の初期コスト、メンテナンスと雇用費用を考慮している。

- 投資コスト

- イニシャルコスト
  37,706 千円

- ランニングコスト
  6,900 千円／年

さらに、投資回収年限のユーザー判断基準を確認したところ、本実証のようなトラクタを利用する場合、重機などの耐用年数が１０年であり、半分の年数で回収できるのが望ましいとのこと。

- 投資回収年限
  ５年

従って、本実証におけるビジネスモデルでのコスト削減目標値は以下となる。

- 投資対効果を高めるためのコスト削減目標値
  41.0%/年

また、本実証におけるユーザーは人件費などのコスト削減だけではなく収益向上のための調教育成への代替ソリューションを潜在的に要望していた。そのため、以下の本ローカル５Ｇ活用モデルの有用性が生かせる結果となった。

- 可搬型ローカル５Ｇ基地局による別拠点・別用途への柔軟対応
- 高精細映像を用いたリアルタイム遠隔監視制御による応用展開

代替ソリューションへの本実証における追加費用およびこれにより軽種馬の調教に成功し収益を得た場合の比率を以下に示す。

代替ソリューションの追加投資費用：2,946 万円（価値提供による予想増加収益の 54.6%）

結論として導かれた本ローカル５Ｇ活用モデルの導入効果によって想定される顧客セグメントおよび判断基準としての顧客提供価値（ユーザー投資額）を以下に示す。

顧客セグメント：
広大で分散した土地における重労働作業の省人化、効率化、新規サービスを求める方

顧客提供価値（投資額）：

- 重作業の無人自動化による人件費の削減
  - イニシャルコスト：年間想定削減コスト×442%
  - ランニングコスト：年間想定削減コスト×81%
- 別拠点・別用途へのシェアリングによる応用展開
  - 追加投資コスト：予想増加収益×54.6%

（4） 実装性を高める手法の検討及び実行

1） 検証項目

本実証で実施したローカル５Ｇ活用モデルは、放牧地での除雪や草刈りという点から、実証場所での実装および他の牧場や農場への将来的な展開を見据えるため、北海道内の他の牧場、農場を中心に、地域性や事業にマッチできるかを検証する。以下に実装性を高める手法を示す。

表 4-47 実装性を高める手法

実装性を高める手法 例	
他の牧場・農場のヒアリング	形態の異なる牧場等での実用性
	草刈りや除雪作業の必要性
	可搬型ローカル5Gの活用
異業種のヒアリング	現状の課題とニーズ
	可搬型ローカル5Gの活用

2） 検証方法

まず、地域性に関しては、実証コンソーシアム内に設置した北海道内横展開検討委員会での意見交換および委員会に参画している自治体に対し、ヒアリングを実施した。

他地域の牧場や異業種については、本実証でも使用している可搬型ローカル５Ｇでの展開を中心に、実証コンソーシアム内に設置した他地域横展開検討委員会での意見交換、並びに実装の可能性がとして経済力のある事業体やの観点から以下の事業者及び自治体にヒアリング等を実施した。

＜農業分野＞

・競馬場①（地方競馬場・道内）
・競馬場②（地方競馬場・道外）
・牧場（主に牛・道外）

＜異業種分野＞

・電力会社
・コンビナート企業
・大分県
・長野県
・長野市
・東広島市

それぞれの地域や業種でメインとなる実装性を高める手法が異なることを鑑みて、令和４年度の本実証におけるヒアリングを以下の日程で実施している。

表 4-48 委員会およびヒアリング等の実績

令和４年度	～１０月	１１月	１２月	１月	２月	３月
北海道内横展開検討委員会			第1回目開催（12/5）		□取りまとめ・分析	
地域性に関するヒアリング等			●→ 各自治体等へのヒアリング・アンケート			
他地域横展開検討委員会	第１回目開催（10/21）	第２回目開催（11/30）				
異業種に関するヒアリング等 ＜異業種への応用と運用＞	○競馬場②（地方競馬場） ○高知（観光・商店街への活用）	○大分県 ○長野県 ○長野市	○牧場（道外、主に牛） ○大分県 ○コンビナート企業	○電力会社	○競馬場①（地方競馬場） □取りまとめ・分析	

質問内容としては、本実証のローカル５Ｇ活用モデルが他の牧場や農場等の地域特性や事業において活用できるか、ユーザー側で抱えている課題、ローカル５Ｇの特性(DAS システム等)によって課題をいかに解決可能か、ローカル５Ｇへの期待等ついて以下の項目でヒアリングを実施した。

＜他の牧場等における実用性＞
・地域特性
・事業体系
・繁忙期
・季節ごとに作業内容人数
・草刈りに対する利用意向
・除雪に対する利用意向
・可搬型ローカル５Ｇの利用可能性

＜異業種への応用と運用（可搬型ローカル５Ｇ）＞
・現状の課題とニーズ
・可搬型ローカル５Ｇの利用可能性

3） 検証結果及び考察

＜他牧場等における実用性＞
実証コンソーシアム内のa. 北海道内横展開検討委員会において横展開の可能性について意見交換を実施した。

a. 北海道内横展開検討委員会【委員長会社】株式会社銀行地域総合研究所

［構成員］富良野市、上士幌町、更別村

［委員会］第 1 回　2022 年 12 月 5 日

［主な意見］

・ビッグレッドファーム明和の放牧地に対し、地域にある牧場は数百倍の面積を有しており、DAS を設置する場合の光ファイバ、電源(ソーラーバッテリによる駆動)等の対応について確認依頼あり。また、ドローンによる放牧地等の監視、管理のニーズはあるが、ローカル５Ｇ基地局が整備されたとしてドローンへの携帯端末の搭載、自己土地、他人土地等での運用について、今後の規制緩和等について確認依頼あり。

・上記質問事項に対し、シャープにて DAS：コンソーシアム、ドローン関連：総務省移動通信課に確認し、委員長会社を経由して当該メンバーへ報告した。

また、各自治体に対して、他の牧場等における実用性について、個別にヒアリングを実施した。以下がヒアリング結果である。

表 4-49 横展開委員会参画の自治体からのヒアリング結果

区分	F 市	A 町	S 村
地域特徴	・タマネギや馬鈴薯などの畑作とメロンなどの施設園芸の複合経営が多く、乳用牛は全体の 2 割弱 ・典型的な中山間地域ではあるが、特にタマネギ向けの自動操舵トラクターなどの導入は相対的に進んでいる ・このほかでは、盆地のため朝晩などの温度差が激しいことなどもあってハウス管理や雑草管理といったニーズもある	・馬鈴薯や豆類、長いもなどの畑作のほか、ブランド化に向けた肥育プロジェクトを推進 ・総面積約1,700ha と国内最大規模の公営牧場は育成牛預託専門の牧場で、夏場は広大な牧場で放牧、冬期は約半年間畜舎での飼育 ・1 牧場あたり約 300 頭を管理するなど大規模化が進んでおり、人的管理には限界	・総面積の約 7 割が耕地の地域を代表する農業地帯で、畑作は馬鈴薯や小麦、豆類、ビートの寒冷地作物に加え、スイートコーンやキャベツなどの野菜とともに輪作体系が整っているほか、畜産も盛んである ・平坦な耕地を基盤とした大規模機械化農業が進んでおり、1 戸あたりの経営面積は約 50ha、トラクター所有台数も約 5.4 台となっている
	・複合経営	・酪農 ・畑作	・畑作 ・酪農
繁忙期	・施設園芸 ・春（播種・苗植え）、夏（ハウス管理）、秋（収穫）	・酪農 ・通年（特に春・夏の一番草～秋のデントコーン収穫シー	・畑作 ・春（播種・苗植え）、夏（輪作対応）、秋（主に収穫）

	・畑作 春（播種・苗植え）、秋（収穫） ・酪農 通年（特に春・夏の一番草～秋のデントコーン収穫シーズン）	ズン） ・畑作 春（播種・苗植え）、秋（収穫）	・酪農 通年（特に春・夏の一番草～秋のデントコーン収穫シーズン）
季節毎作業	・複合経営 春：耕作整地、播種・苗植え 夏：追肥、防除、ハウス管理 秋：収穫、選別・出荷、土壌改良 冬：除雪（特にハウス周辺）	・酪農 通年：肥育、搾乳 春～秋：牧草等収穫 ・畑作 春：耕作整地、播種・苗植え 夏：追肥、防除 秋：収穫、選別・出荷、土壌改良	・畑作 春：耕作整地、播種・苗植え 夏：追肥、防除 ・秋：収穫、選別・出荷、土壌改良 ・酪農 通年：肥育、搾乳 春～秋：牧草等収穫
草刈り利用意向	【わからない】 ・トラクターの大型化や自動操舵の導入等は一部で進んでいるが、畑作と施設園芸の複合経営が中心となる同市においては単なる草刈り需要はあまりないものと考えられる ・他自治体に比べると作業の単位面積が小さいが、それだけにローカル５Ｇ活用の余地は大きく、実際に除草等のニーズが強いなど、草刈り以外の利活用が想定される	【わからない】 ・草刈りに関しては、主たる対象が肉用牛となるため、新冠町ほどシビアな状況は求められていない ・こちらもトラクターの大型化などが進んでおり、主として牧草収穫等での活用が想定されるが、どこまでの精度が求められているのか、トラクターなどの既存リソースとの関係調整次第と考えられる	【わからない】 ・トラクターの大型化や自動操舵の導入等はかなりの程度進展しているが、新冠町と同様の草刈りニーズは少ない ・草刈り以外の大規模機械化農業に資する働きかけが不可欠だが、その際はトラクターなどの既存リソースの利活用についても言及する必要がある
除雪利	【利用する状況ない】 ・倒壊防止のためのハウス廻りの除雪以外に大きなニー	【利用する状況ない】 ・基本的には融雪剤の散布で充分	【わからない】 ・畑作に関しては融雪剤の散布で充分ではあるが、

用意向	ズはない ・基本的には融雪剤の散布で充分であり、ハウス廻りは小回りのきく除雪機を持ち取らざるを得ない		「例えば公営スキー場などで使えないか」といった逆提案があった
可搬型利用可能性	【ある】 ・中山間地域の盆地であり、山沿いなど一部に狭隘かつ傾斜地等を含むケースが多い ・複数の飛び地を抱えた営農形態も多く、ニーズはあるものと考えられる	【ある】 ・エリアが広大であり、検討の余地はあり	【ある】 ・エリアが広大で検討の余地はあるが、市街地に隣接するエリアでは試験的に５Ｇの利用が既にスタートしている
草地管理以外	【ある】 ・中山間地域の盆地における利活用（より精緻な自動操舵や動画・画像分析など）	【ある】 ・より精緻なスマート農業への利活用	【ある】 ・より精緻なスマート農業への利活用 ・スキー場や市街地の除排雪への利活用

ヒアリング結果より、可搬型ローカル５Ｇの利用可能性への関心が高いことがわかる。可搬型ローカル５Ｇが広大な土地や離散的な土地に対し有効にエリア化できることが期待されている。

一方で、本実証で実施した草刈りや除雪は利用意向が「わからない」もしくは「利用する状況にない」との結果であることから、他の牧場や農場の事業形態に合わせて、どのような作業を自動化していくか等を引き続き調査し、その課題を解決できる機材等で対応していく必要があると推測される。

＜異業種への応用と運用（可搬型ローカル５Ｇ）＞

実証コンソーシアム内のb.他地域横展開検討委員会において横展開の可能性について意見交換を実施した。

b.他地域横展開検討委員会【委員長会社】シャープ株式会社

［構成員］東広島市、岡村文具(高知市帯屋町二丁目商店街)、都留文科大学、名古屋テレビ放送、(立教大学、大分県は委員会当日欠席)

［委員会］第1回　2022年10月21日

［主な意見］

- 当地域では、山から海まで有するなかで大学生も多く、特に留学生が増加し、行政面でも色々なサポートを行っている。地域の北部を中心に集中豪雨による被害が多く、ローカル５Ｇを活用してどのように課題を解決できるか意見交換をさせていただきたい。
- 当地域は観光が中心である一方、近い将来に大地震が発生すると予測されている。観光については、高速道路開通以降、他の地域からの自動車やバスによる観光客は増加したものの、宿泊をしない日帰り客が大半を占め、地域経済という点では課題がある。また、市内の商店街は駐車場も少なく、郊外に大型店ができたこともあり、客数が減少していることから、商店街の活性化が重要な課題の１つである。
- 大学として、将来の教職員育成に力を入れている。コロナ過ということもあり、自宅学習が増え、構内の学生もまばらな状況であり、本来であれば大学生活を謳歌できるはずなのに大学に行けないことによって、学生のコミュニケーション力不足、不安定な精神面等課題が多い。
- 東海地域を中心に映像制作を推進している。また 8K 映像制作や５Ｇによる伝送実験等色々な取組を行っている。新冠町のビッグレッドファームでのローカル５Ｇ開発実証では映像制作保担当している。

［委員会］第 2 回　2022 年 11 月 30 日

［主な意見］

- 新しいシステムの導入に伴い、地域等の課題が解決され活性化が図れるのであれば、前向きに検討していきたい。
- 市北部に牧場（主に牛）があり、谷あいの町全体が限界集落化へと向かいつつある状況において、地位は活性化等色々な検討を進められているため、一度相談に乗っていただきたい。将来的に現在の放牧地を拡張していく計画もあり、先ずは現地を訪問していただきたい。
- 地域の商店街では、商店街の活性化に向けたサイネージ等取組を検討中であり、別途、相談させて頂きたい。
- 課題は初期投資以上にランニングコストであり、回収可能なビジネスモデルの創出が重要である。
- 防災無線等のシステム、月額利用料等について現行システムとの比較論において、性能面での向上あるいは料金メリットが大前提となる。

他地域横展開検討委員会以外として、各業種等から以下の意見をいただいた。

＜農業分野＞

A. 競馬場①（地方競馬場・道内）［2023 年 2 月 14 日］

・【ローカル５Ｇ】本実験ソリューション以外

当競馬場ではレース用トラックと坂路においてローカル５Ｇを用いた場合に映像伝送とタイム測定で低遅延、大容量伝送というメリットを享受できればありがたい。
例えば、8K カメラで広角に撮影し、AI 技術を絡めて 4K 切り出しを行うことで複数の熟練カメラマンの業務　を補完できないか。また春先から夏にかけて、海が近いこともあり霧が発生することが多い。そうするとレースの着順がわからなくなり、最悪の場合、レースを中止せざるを得なくなる。また、レース中のサラブレッドの走行軌跡、レースの様子を施設内、あるいは厩舎等で作業している従業員等にも映像配信したい。

B. 競馬場②（地方競馬場・道外）［2022 年 10 月 5 日］

・【その他】地方競馬場は 2018 年までは赤字が続き、当競馬場では注目された競走馬以降、来場者が激減し、赤字事業として自治体にご迷惑をお掛けした。それがネット投票の導入によって簡単に馬券を購入できるようになり、収益が激変し、2021 年度は 900 億円の売り上げに達した。この間にはナイター設備の導入、設備更新の第 1 期がスタートし、2023 年末に改修工事を終了予定。

・【ローカル５Ｇ】北海道新冠町でのローカル５Ｇ開発実証の取組に関して従業員に指示をするので、具体的な検討課題が出てくれば相談させて頂きたい。

C. 牧場（主に牛・道外）［2022 年 12 月 6 日］

・【その他】限界集落の地域であり、中心部の高校の生徒は 1 学年 30 名程度と学校を維持するのも困難な状況で、人口減少に伴い空き家も増加している。地域で連携し、協議会を組織し、牧場、乗馬クラブ、農園、お店、宿泊施設、ジビエセンター等が参画し、町の活性化、観光促進、移住者の受け入れ等積極的に取り組んでいる。その中心的役割を担うのが当牧場であり、ファームでマルシェ開催、築 100 年の古民家再生プロジェクトへの参画、そして自治体の公募案件に提案している。

・【ローカル５Ｇ】本実験ソリューション以外
継続して当地域に他の地域から来ていただける仕組み作りと、５Ｇ等を活用しつつ町の様子を情報発信し、そしてデータを取得・解析できるような町を活性化するための活動の一環として、各種公募への提案を進めたい。本件については自治体も全面的にバックアップする方針。ちなみに当牧場では、生体センシング技術、飼養管理機器、牛舎環境制御機器が必要となり、別途、相談させていただきたい。

＜異業種への応用と運用＞

【コンビナート】

A. 大分県先端技術挑戦課、DX 推進課［2022 年 10 月 13 日］

・【その他】災害発生時の孤立集落対策、遠隔で木を伐採する(林業)、鳥獣被害、九重連山の国定公園や国東半島等で携帯電話の不感地帯対策、オートポリス(F1)会場での映像伝送等、アバターロボット活用の際の通信インフラ脆弱性(学校等)、多種多様な課題が顕在化して

いる。また、大分県では防災ヘリ(保有台数１台)で災害発生時等中継している。課題の１つである孤立集落対策については、丁度議論していたところ。LPWA だと伝送スピードの問題がある。平時で別の用途で使用し、緊急時に防災用に使用できることが望ましい。県南では非常時：東南海トラフ、平時：養殖での利用等年間を通じて使用することが可能。５Ｇはエリアが狭く周波数的に外ではあまり使えないという認識である。

・【ローカル５Ｇ】本実験ソリューション以外
ローカル５Ｇについて、県内のコンビナートでロボットによる監視等検討していた。本件については、大分県工業振興課経由で地域のコンビナートを紹介することは可能である。

B. 大分県工業振興課・DX 推進課、大分コンビナート企業[2022 年 12 月 5 日]

・【ローカル５Ｇ】本実験ソリューション以外本実験ソリューション以外
コンビナートでは通信環境が悪く、プラントの効率化を目指す上で、様々なデバイスを試している。ローカル５Ｇは昨年から調べているが、コストの点でコンビナートだけでは対応が難しい。投資対効果が良いものがあればよい。

・【ローカル５Ｇ】本実験ソリューション以外本実験ソリューション以外
ローカル５Ｇを使ったサービスとして、タブレット使ったパトロールの電子化、センサーを使用した監視の強化、安定したドローンの飛行に期待。その一方で、ドローンを含めコンビナートのスマート化を進めるにはインフラ環境の整備が課題である。コンビナートで使用するシステムは防爆の問題がある。作業用無線に PHS を利用しているが、今後利用できなくなるので、防災無線とローカル５Ｇもしくはプライベート LTE を組み合わせて何かできるとよい。

【電力会社】

C. 電力会社並びに関連企業［2023 年 1 月 25 日］

・【ローカル５Ｇ】本実験ソリューション以外本実験ソリューション以外
地域のとある企業では、ローカル５Ｇ基地局を積極的に導入しているところもある。工場内での監視等が主たる目的となるが、やはりランニングを含むコスト面が重要な課題の１つである。

・【その他】東南海地震の可能性が予測されているなかで、地域によっては地震発生時に甚大な被害が想定される。平時と有事の使い分け等も想定しつつ、被害発生時でも通信インフラが使用可能なシステム検討が必要となる。

【その他】

A. 長野県 DX 推進課・山岳観光課、長野県観光機構［2022 年 11 月 8 日］

・【その他】県としてスマートハイランドデータ(長野県ＤＸ戦略において「行政事務・県民生活分野のＤＸ推進エンジン」として位置づけるスマートハイランド推進プログラムの取組を加速するため、県及び県内市町村が個別に保有するデータを標準化、統一化

できるデータ連携基盤を構築し、県及び市町村の データセットの統一を図り、県民生活向上に資するデータ利活用を促進するもの。)を収集されているが、河川等の雨量データは取得していない。それよりも東京都は画像情報を YouTube に載せている。県として画像データを基盤に載せることは想定していない。

・【その他】長野県は山しかない。平事と有事の活用の仕方で何をするか。地域特性として独特のものがあるか。提案の技術で何ができるか我々ではわからない。都会の人が山に来て、スマホを繋げられないという部分では上高地でのニーズはある。長野県は人口減少もあり新たな機軸を打ち出す必要はある。山岳県である長野県には通信インフラが整備されていない山小屋も多く、必要な時には携帯電波が届くエリアまで下山し電話を掛けるという実態がある。

・【その他】観光 DX でデータ連携をベースにするのであれば、長野県観光機構がデジタルマーケティングで知見がある。日本のスキー場の設備は海外からのスキーヤーから言わせると骨董品。遅れているスキー場への対応も考えている。観光機構として、先ず、今年度リフト券のオンライン販売についてはプラットフォームを作って、サイトをオープンさせる計画で、現在、スキー場への営業活動を行っている。

・【その他】観光地に EV のインフラをどう作るか検討している。今の給電期のスペックでいうと 50kW/h が平均。ある企業の車種の場合、充電に約 1 時間かかる。ガソリン給油は短時間で済ませられ、その時間差をどうするかという課題がある。災害が発生した場合、あるいは観光地でも緊急連絡ができないという話がある。具体的に堰堤(砂防ダム)は常に見ないといけない。登山客の安全確保も必要である。

B. 長野市 新産業創造推進局［2022 年 11 月 8 日］

・【ローカル５Ｇ】本実験ソリューション以外
災害だけではなく色々な課題も多い。橋が老朽化しているかどうか映像で検査したい。長野市の山間部には携帯電話が通じないエリアが多い。ユースケースの例として、鳥獣対策に LPWA を用い罠に入った鳥獣の情報を伝送していた。イノシシや鹿等の群れ等の情報も重要。長野市にはオリンピック施設がある。そのような場所においても実証は可能であり、冬のスポーツも対象となる。

また、コストに関してもヒアリングを実施した。

【コストに関する TEL でのヒアリング】

A. 東広島市

・【ローカル５Ｇ】ローカル５Ｇのイニシャルコスト、ランニングコストについては、事業主体の財政状況にもよるが、ランニングで年間 100 万円を切るような金額の場合は、対象となるのはコンシューマレベルであり、サブスクのようなもの。料金が 3 桁になると専用線のレベルである。広域イーサネットの場合には、5～10 万円/月となる。コストは

帯域、距離によっても大きく異なる。過去、料金的に安価なものはINSやインターネットVANがあったが、帯域保証であれば、20万円/月というイメージであり、高精細映像伝送を対象とするのであれば、ギガクラスの帯域保証でやはり30万円/月程度か。ローカル５Ｇについては、複数ユーザーでの使用の場合、ネットワークスライスを使うとコスト負担が1/ユーザー数となる。基本的な考え方としては、その帯域を専用したい訳ではなく、安全に使用したいという方がプライオリティとしては高い。

B. 大分県

・【ローカル５Ｇ】ローカル５Ｇについてコストから入ると、結論を導き出すことは難しい。そうではなく現状50万円/月のものが新しいシステムを導入することによって、30万円/月になるとか、同じ金額でも新しいシステムを導入することによって、機能が付加されて色々な課題が解決できるようになったという具体的な事例が必要不可欠である。

C. 競馬場①

・【ローカル５Ｇ】当競馬場の場合、既存のモノの置き換えではなく、新規の設備投資になる。課題は、春先等に霧が発生しひどいときにはレースができなくなる。霧の中でも着順等がわかるようなシステム、ドローンにする競走馬の軌跡をトレースする、ローカル５Ｇエリアの中で自由にカメラを設置でき、色々なアングルからの映像を低遅延で映像伝送できるようなシステムが期待される。イニシャルコストとして投入するとしても設備の更新の時には今回のような補助金が無ければ自力での投資となる。その辺りの考え方をどうするか。コストについては、先ずは現状システムのイニシャル、ランニング共に具体的に検討していくことにはなるが、この金額でないといけないというものは無い。2月の視察会の際に観させて頂き、検討していきたい

4.3.3　ローカル５Ｇ活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討

（1）　ローカル５Ｇ活用モデルの実装に係る課題

本実証によりローカル５Ｇ活用モデルの実装に向けて障壁となる様々な課題が露見した。それら結果を踏まえて、技術的な課題、機能に関する課題、運用に関する課題、導入効果に関する課題、普及方策に係る課題に分けて課題を以下に整理する。

【技術的な課題】

■　伝送システムの技術

➢　「ドローン・解析サーバ・ロボットトラクタ間のローカル５Ｇデータ伝送」

現状は、記録媒体によりドローン撮影画像を PC に取り込み解析することで自動走行ルートを生成し、ルートを人手を介してロボットトラクタへ入力する必要があり手間と時間がかかる。

➢　「複数ストリームの伝送の安定性」

ロボットトラクタの前後２台のカメラ映像を２台のローカル５Ｇ端末を用いて、１つの基地局サーバへ伝送することを計画したが、実験室レベルで伝送テストを実施した結果、両方ともデータは流れるものの、片方のスループットが断絶しがちになり、両方が安定するのに待ち時間がかかる。

■　画像処理の技術

➢　「リアルタイム画像補正処理および AI 解析処理」

広角レンズや魚眼レンズの映像が歪んでいるため、レンズ周辺の画素では通常の AI 解析だけでは望む処理結果がでないことがあるため、画像補正処理のリアルタイム化が必要。また、現状、解析に人手を介した時間を要するため、リアルタイムな制御につなげることができていない。

■　ローカル５Ｇ構築の技術

➢　「広範囲で分散エリアでのローカル５Ｇの構築」

広範囲で分散エリアをどうカバーしたら精度や効率が良いか、現状１か所の検証のみである。

【機能に関する課題】

■　ユーザーインターフェースの機能

➢　「システムの操作性向上」

現状、システムの立ち上げおよび映像伝送処理がすべてテキストベースの CUI（コマンドラインユーザーインターフェース）であり、マウスクリックやタッチ操作などによる

GUI(グラフィックユーザーインターフェース)でないため、一般人には非常に扱いづらい。また、DAS の制御には専用ソフトのオペレートが必要であり、ユーザーによっては難解に感じる。

- 「安全レベルのユーザー通知と制御改善」
  現状、リアルタイム映像により人が判断して、安全かどうかを判断しロボットトラクタを制御しているため、手間がかかり、実用的でない。また、伝送された映像を基地局サーバに接続されたモニタで見て判断し、サーバ近くのタブレットからロボットトラクタを制御しなければいけない。

■ ロボットトラクタの機能

- 「ロボットトラクタの走行機能補助」
  許容以上の地形の起伏があると、衝突センサーが反応し走行をストップすることがある。

- 「ロボットトラクタの応答性能向上」
  現状では、あらかじめ設定したルートでしか走行できない。馬などが近くにいた場合は予測して待ったり、避けることができないため、衝突センサーが反応した時点で走行を停止し、遠隔操縦者からの操作を待つ。

■ ドローンの機能

- 「ドローンの撮影精度と操作性向上と自動飛行確立」
  ドローンの撮影精度を保つため、地上に基準点となる対空標識を設置したが、設置した標識が馬に踏みつぶされたり、引きちぎられたりしたため、前日からの撮影から継続することができないというトラブルがあった。また、現状は撮影地の近くでドローンの操縦者がいる必要があり、さらに決められた同一高度での飛行ルートしか飛べない。

【運用に関する課題】

■ 端末側デバイスの運用

- 「端末側デバイスの動作環境対策」
  バッテリ駆動のみによるデバイスでは寒さでバッテリ電圧が落ちてシャットダウンしてしまう。また、急激な温度変化によるデバイス表面の結露現象が発生する。

■ ローカル５Ｇアンテナの運用

- 「ロボットトラクタにおけるローカル５Ｇ端末のアンテナ位置確立」
  ロボットトラクタ内にアンテナを設置すると、カーブ走行時にアンテナの向きが変わり、ロボットトラクタ自身が遮蔽物となり伝送スループットが落ちしてしまう。

- 「坂路におけるローカル５Ｇ端末のアンテナの設置確立」
  坂路の骨組みが単管金属の十字の組み合わせで作られており、ローカル５Ｇ端末を単管近くに設置すると、スループットが著しく落ちてしまう。

■ 可搬型基地局の運用

- 「可搬型基地局の接続性改善」
  可搬型基地局から DAS 子機への光ケーブルの接続、取り回しに時間と技量を要す。

- 「基地局の環境性能改善」
  北海道等の零下でシステム機器等の動作温度範囲外になるケースでどう対処するか？逆に高温多湿での動作保証および保管まで考えて実用化にどう対処するのか。

- 「基地局のスループット安定性向上」
  スループットがでないときは、BBU ユニットの再起動や DAS 接続の光端子のクリーニングが現状必要。

■ カメラの運用

- 「坂路におけるカメラの設置およびメンテナンスの確立」
  坂路でのカメラの設置位置が高く、設置位置の変更やカメラ角度の調整が頻繁には難しい。馬に当たらないように落下防止を防ぐ必要がある。また、坂路でのカメラレンズが馬の巻き上げる砂塵により汚れるため、レンズの清掃作業が定期的に必要。

■ 除雪の運用

- 「除雪作業における除雪量の定量的な把握」
  除雪作業において、作業状況は映像をみて人が把握できるが、実際にどの程度の除雪をしたのか数値的にわからない。

【導入効果に関する課題】

■ ソリューションの導入効果

- 「ローカル５Ｇ活用による草刈りソリューションの実証」
  今回ローカル５Ｇの免許認可が冬となったため、実際に草刈りが必要な夏季にローカル５Ｇを活用した作業の実証ができなかった。

- 「ローカル５Ｇ活用による坂路調教育成ソリューションの確立」
  ローカル５Ｇを活用して坂路調教のリアルタイム映像配信を実現できたが、外部ネットワークと接続していないため、事務所や自宅などでみることができない。

【普及方策に係る課題】

■ コストの課題

- 「初期投資および運用費用のコストダウン」
  現状、初期投資が非常に大きく回収することが難しく、普及の壁となっている。また、運用コストが大きいと導入することは困難、導入を決断する判断基準が事業主によって異なり提案が難しい。

■ サポートの課題

- 「広範囲での可搬型基地局のサポート提供体制の構築」
  基地局が現状では高額であるため、広範囲のエリアをどう可搬型基地局の運用で安価にできるのかわかりづらく、ケースバイケースで細かく明確化されていない。

(2) ローカル５Ｇ活用モデルの実装に係る課題に対する解決策の検討

上記抽出した課題に対し、解決策を実証実験の中で一部試行検討した。また、コンソーシアムメンバーとも協議した結果を以下に報告する。なお、目指すべき実現内容を具体的に示すため、KPI としての数値目標と実施年度も記載する。

【技術的な課題に対する解決策】

■ 伝送システムの技術

- 「ドローンから解析サーバへの撮影映像の伝送」
  実装時において、現状の記録媒体によるデータの手動取り込みではなく、ドローンにローカル５Ｇ端末を搭載し、撮影映像をローカル５Ｇで介して直接サーバへ伝送、自動的にオルソ画像を生成し、解析処理へオルソ画像を渡すシステムを構築する。また、解析サーバからローカル５Ｇを介して直接ロボットトラクタへ走行ルートを伝送し入力することで自動化のシステム連携の検討を実施する予定。ロボットトラクタの入力部分のシステム改変が必要となる。

＜KPI＞

・ローカル５Ｇによって、ドローンからサーバへの伝送、自動生成された走行経路のロボットトラクタへの伝送、自動走行に至る連携を無人（人手０）で実現する。

実施年度：～令和７年度

- 「複数ストリームの伝送の安定性」
  現状のローカル５Ｇシステムでは、１つのストリームに帯域が集中して割り当てられてしまう。そのため、複数ストリームでの映像伝送に対応するローカル５Ｇシステム側での調停ソフトの実装が必要である。具体的な解決策としては、１つのストリームへ利用できる帯域がすべて持っていかれないように、帯域の上限を設定するなどの対応をとることが考えられる。

＜KPI＞
・伝送開始後１分以内で２ストリーム以上の伝送が安定する。
実施年度：～令和７年度

■　画像処理の技術

➢　「リアルタイム画像補正処理およびAI解析処理」

広角レンズや魚眼レンズの映像の歪みを幾何学的に補正する技術はすでにあるため、リアルタイムで補正処理して、通常の AI 解析に繋げる処理を構築することが可能である。なお、補正せずに映像が歪んだままでAI認識する技術も存在するため、補正して従来のAI解析か補正せずにAI解析を高度化するのか、どちらが実用的であるか今後検討する。また、ハイビジョン画像でのリアルタイム AI 解析は一般的に実施されているが、4K映像のリアルタイム処理は処理内容に依存するが、ある程度のサーバのハードウェアのスペックが必要となり、AI解析用に追加のサーバが必要となる。そこで、この部分の処理をスケーラブルにハードウェア規模を変更できるクラウド上で処理することも視野にいれて検討することが望ましい。その際、外部ネットワークに接続することが必要となるため、映像データをアップロードする部分がボトルネックとなることが考えられる。データ量を減らす前処理を考慮いれて、遅延を最小にするようにシステム構成を検討する。

＜KPI＞
・4K映像のリアルタイム画像補正処理を遅延１分未満で実現する。
・4K映像のリアルタイムAI解析処理を遅延１分未満で実現する。
実施年度：～令和７年度

■　ローカル５Ｇ構築の技術

➢　「広範囲で分散エリアでのローカル５Ｇの構築」

本実証では、広範囲で分散エリアを構築検証したのは１か所のみである。本来なら、事務所から最も遠いか広大な牧草地にローカル５Ｇエリアを複数構築できれば事業者の利便性が一気に増す。費用コストとの兼ね合いもあり、アンテナ自身も可搬型にするなどアイデアを含めどのような構築方法が最適であるのか引き続き検討する。

＜KPI＞
・横展開先も含め分散エリアでのローカル５Ｇ構築を３か所以上で検証する。
実施年度：～令和７年度

【機能に関する課題に対する解決策】

■　ユーザーインターフェースの機能

- 「システムの操作性向上」

  CUI から GUI ユーザーインターフェースにすることにより、操作がわかりやすく簡便になるようにする。また、遠隔からネットワークを介して状況を確認し、ユーザーに代わって操作できるようなサポート体制の構築を検討する。

＜KPI＞

・システム操作を GUI で用いて簡便にし、10 分以内で立ち上げ完了できるようにする。

実施年度：～令和６年度

- 「安全レベルのユーザー通知と制御改善」

  現状少しでも障害物を検出したら、２ｍ手前でロボットトラクタは停止する仕様となっている。ロボットトラクタからの 4K 映像から安全を複数レベルで自動判断し、自律的に回避できず危険なレベルの場合のみ人に伝え、そうでない場合は記録して残して後から確認できるようにすることで、無人作業の中断を最小限にする。また、基地局サーバにて人が常時モニタを見て判断して操作しなければならないため、タブレットやスマホ等の携帯機器に上記の安全レベルと静止画を常時送信し、危険な場合はアラートを発して注意を促し、作業者がロボットトラクタを遠隔操作などができるようにする。また、作業者だけでなく事務所などから第３者が遠隔でモニタ監視、操作できるようにする。

＜KPI＞

・障害物等危険を自動で検知し、安全レベルをユーザーのスマホおよび事務所に遅延３分以内で通知する

実施年度：～令和６年度

■　ロボットトラクタの機能

- 「ロボットトラクタの走行機能補助」

  ドローンで撮影する映像で地形の起伏も算出し、ロボットトラクタの走行仕様を超えるルートを生成しないようにリルートする。

＜KPI＞

・自動走行経路生成で４０ｍ以上の起伏があっても走行できるルートを生成する。

実施年度：～令和６年度

- 「ロボットトラクタの応答性能向上」

  伝送された映像データから、クラウドでの AI 検知により自動走行ルートをオートリルートすることなどにより、なるべく走行が中断しないように制御する。その際、トータルの応答性能を実用レベルまで向上させる。

＜KPI＞

・クラウドでのAI検知による自動走行のオートリルートの応答性能を３分未満まで向上させる

実施年度：～令和７年度

■　ドローンの機能

➢　「ドローンの撮影精度と操作性向上と自動飛行確立」

対空標識を用いずに、数ｃｍ単位の精度を持つRTK搭載のドローンを導入する。また、撮影地の近くに操作者がいなくても、１ボタンで決められたルートを目視外飛行できるようにする。さらに、馬が居る場合はドローンの高度を上げて近づかないなど、現地状況や地形に合わせて飛行ルートを自律的に変更できるようにする。

＜KPI＞

・目視外飛行によるドローン撮影を2km以上離れた地点で実施する

実施年度：～令和６年度

【運用に関する課題に対する解決策】

■　端末側デバイスの運用

➢　「端末側デバイスの動作環境対策」

本実証では、大容量のモバイル電源を別途用意し、各機材の外部から電源供給することにより、屋外設置のカメラ、中継PC、ローカル５Ｇ端末は正常動作し、零下における突然のシャットダウンやフリーズを解決した。充電時の余剰熱で零下環境でもデバイスが適温になる好循環が発生したものと思われる。今後も外部電源の常時供給が有効と思われるが、電気代の節約のため、電源を切る場合は最初に暖気時間を設けるなど注意が必要である。また、機材を周囲温度が異なる場所に移動する場合は、直ちに電源をONにせずに長時間環境にならしてから電源 ON することで人間側の対応によりこの問題を解決した。自動化するには、結露発生を自動予測して対策用の電源ON/OFFの仕組みが必要である。

＜KPI＞

（運用マニュアルに反映、解決済み）

■　ローカル５Ｇアンテナの運用

➢　「ロボットトラクタにおけるローカル５Ｇ端末のアンテナ位置確立」

ロボットトラクタ内にアンテナを設置すると、カーブ走行時にアンテナの向きが変わり、

ロボットトラクタ自身が遮蔽物となり映像が乱れる現象があり、本実証ではアンテナの位置を後ろから前に設置位置を変え、ロボットトラクタの外側天井の上に設置するなどして改善を試みた。結果的には、ローカル５Ｇエリア全体のスループットを向上させるとこの映像が乱れる問題は解決方向を見たが、スループットの低下は避けられない。そのため、アンテナを前後もしくは左右にデュアルで設置して、片方が遮蔽されても片方が送受信できるようなダイバーシティアンテナを検討する。もしくはロボトラの天井にアンテナボックスを設けるなどの施策が必要である。

＜KPI＞
・除雪経路走行中に映像乱れ０、映像フリーズ３秒未満にする
実施年度：～令和６年度

- 「坂路におけるローカル５Ｇ端末のアンテナの設置確立」
  現場での検討の結果、単管が組まれている坂路から２ｍ以上離すことで伝送スループットが回復することが判明した。一方で、この場合ローカル５Ｇ端末の設置台を別途、平地に設けるという手間が発生したが、特別に設置 BOX を用意することでこの課題の解消ができることを確認した。

＜KPI＞
（解決済み）

■　可搬型基地局の運用
「可搬型基地局の接続性改善」
光ケーブルをもっと利用しやすいものに変更し、誰でもワンタッチで接続できるようにする。

＜KPI＞
・５分以内で DAS に接続できるようにする
実施年度：～令和６年度

- 「基地局の環境性能改善」
  本実証では、基地局ユニットを起動する前に車両内の暖気運転を実施。今後、システムが収まるラック内に空調機器を設置し、システム内の温度湿度を安定化させるなど、屋外でも温度管理ができる設備を導入する。

＜KPI＞
・冬期における可搬型基地局の暖気運転時間をトラクタの暖機運転時間と同等にする（約３０分）

実施年度：～令和６年度

- 「基地局のスループット改善」
  実験室では問題ない構成であったが、現場の零下環境では機材同士のデータの同期伝送がうまくいかない時があり、BBU ユニットの再起動や DAS 接続の光端子のクリーニングを実施して対処した。BBU ユニットの動作温度範囲の拡大および DAS 接続の光端子から電気的な端子への変更などが対策として考えられる。

＜KPI＞
・スループットが８時間以上 40Mbps 以上で安定するようにする
実施年度：～令和６年度

■ カメラの運用

- 「坂路におけるカメラの設置およびメンテナンスの確立」
  本実証では、カメラの３点クランプ固定、ワイヤ固定、カメラ下に落下防止ネットを張るといった３重の安全策を施し落下防止を施したが調整は頻繁にはできなかった。今後、カメラの軽量化、ワンタッチでの接続、また、調整ジンバル機構の導入や 360 度カメラによる映像切り出しなどが対策として考えられる。また、カメラレンズに保護プロテクタをつけてある程度の防塵対策を施した。実用的には、カメラ本体を覆うような防護カバーを付けて、定期的な清掃だけで運用を可能とする。

＜KPI＞
・坂路調教育成ソリューションとして常時設置同時配信をカメラ２台で実現する。
実施年度：～令和６年度

■ 除雪の運用

- 「除雪作業における除雪量の定量的な把握」
  除雪した雪の量や除雪範囲に関して、３D 検出などを活用して積雪量や除雪量の把握を数値的に計測し比較できるようにする

＜KPI＞
・積雪量および除雪量および除雪範囲の映像からの数値測定
実施年度：～令和７年度

【導入効果に関する課題に対する解決策】

■　ソリューションの導入効果

➢　「ローカル５Ｇ活用による草刈りソリューションの実証」
本格的な実装に向けて、夏季にローカル５Ｇを活用した草刈りソリューションの実証を実施する予定。

＜KPI＞
・草刈りソリューションの効率化 75%を実証する
実施年度：～令和５年度

➢　「ローカル５Ｇ活用による坂路調教育成ソリューションの確立」
本格的な実装に向けて、ローカル５Ｇ等を活用した坂路調教育成りソリューションの実証を実施する。

＜KPI＞
・事務所 PC やモバイル端末など２通り以上で映像配信を見れるようにする。
実施年度：～令和５年度

【普及方策に係る課題に対する解決策】

■　コストの課題

➢　「初期投資および運用費用のコストダウン」
初期投資のコストダウンを図るとともに、シェアリングやサブスクリプションなどによる初期投資の負担を軽減する方法を導入するなどの対策が考えられる。従来のロボットトラクタの運用コストを参考に積み上げてどの程度なら導入できるか判断基準を算出提示する。本課題は、4.3.2(1)経済性・市場性の検証の項目で議論している。

＜KPI＞
・ソリューション機材費およびネットワーク運用費等に関して、R7 年度で R5 比 30%のコストダウン
実施年度：～令和７年度

➢　「広範囲での可搬型基地局のサポート提供体制構築」
どの規模になれば、可搬型基地局が有効となるか算出提示することで、現行の判断基準を示す。本課題は、4.3.2(1)経済性・市場性の検証の項目で説明している。

＜KPI＞
・横展開先２か所以上で判断基準の整合性をとる
実施年度：～令和７年度

4.3.4　ローカル５Ｇ活用モデルの実装・普及展開

（1） 実装・普及展開シナリオ

牧場運営のうち、特に草地管理に良い軽種馬を育てる上で重要な作業であるが、その管理等には様々な課題がある。まず、草地管理では春～夏が繁忙期であり、その時期はトラクターを使用して放牧地の草地刈りを毎日実施しているという現状がある。夏の過酷な環境下において、トラクタにて終日作業することは従業員への大きな負担となっている。また、牧草地の草地刈りには熟練者が必要であり、作業できる従業員が限られるため、一部の従業員に作業が集中していることも大きな負担になっている。また、雑草の侵食等による収量や品質の低下が見られることから安定的な生産基盤の整備に向けた対策が求められていることや、繋養管理ゆえの非定常業務が起こりやすい等の環境であることから、従業員等の労働環境は 1 年を通じて過酷であり、従業員等が安全かつ安心に労働できる環境が必要となっている。

作業の負担等の以外では、従業員の軽種馬育成に関する時間の確保という点も挙げられる。牧場運営における管理業務は重要なものであるが、その作業に時間が多く取られると、軽種馬と直接関わる作業時間が少なくなってしまう。そのような観点からの草地管理における作業を自動化し、効率化を図っていくことが望まれている。このような背景から、今回のローカル５Ｇ活用モデルは、特に草地管理における作業効率を高めることで、従業員への作業負担を軽減し、更には従業員が軽種馬に直接関わる業務に携われる時間を増やすことで、安全安心で「楽しく働ける」で労働環境を提供することを目指すものである。

本実証では、草地管理ソリューションの中で、離散的かつ広大な土地への DAS と可搬型ローカル５Ｇ基地局の有用性やコストセーブ効果や、周囲映像の視認性による安全性、無人自動除雪・草刈り作業の安定的な運用の確立と拡張性、除雪や草刈りの作業効率と迅速性向上、高精細映像による解析や精度等の効果・評価等を行う位置づけであり、実証を通じて明らかになった課題（伝送システム・画像処理・ローカル５Ｇ構築の技術面、ユーザーインターフェース・ロボットトラクタ・ドローンの機能面、端末側デバイス・ロカール５Ｇアンテナ・可搬型基地局・カメラの運用面、ソリューションの導入効果、免許およびコスト等）については、新たな技術の追加開発、機能の改善、運用の簡素化、夏季における草刈り作業の実証、申請手順の構築とコストダウンを検討し、実装に向けて計画的に実現していく。

具体的な実装に向けては、ビッグレッドファーム明和で利用を継続する。本実証で使用している機器を活用し、令和５～６年度にかけては実験免許での継続を想定している。実証時に抽出された課題を令和５～６年度にかけて対応しながら、令和 7 年度では一部機能の実装を目指す。ソリューションとしての実績を蓄積する。具体的には除雪や草刈り等の草地管理における重労働作業の省人化と効率化という課題に対して無人作業自動化ということを検討・対応し仮運用に繋げていく。なお、実験免許については、新たに取得予定であり、現在 2023 年 4 月 1 日から対応できるよう免許取得に向けて準備を進めている。

また、今回のローカル５Ｇ活用モデルでは、離散的かつ広大で放牧地でのエリア化が必要となるが、そのような土地を数台の基地局でカバーすることは難しい。基地局を自由に構築できる形

が望ましいため、少数の基地局で広大な土地の一部を柔軟エリア化ができる DAS と可搬型ローカル５Ｇシステムを使用する。令和 7 年度に一部機能の実装を目指すものである。なお、本実証では実施期間が 1～2 月のため除雪を主体としているが、実装に向けては年間を通じた実装を考える必要があるため、令和 5 年度を通じても課題を整理する。

農業分野の横展開として、日高町にある門別競馬場(ホッカイドウ競馬)における、来場者への新たなサービスの提供や、直接レースを視聴できない厩舎等で作業中の従業員等へのレース状況のリアルタイム伝送等の可能性を検討する。

また、東広島市役所と連携し、市内北部に位置する豊栄町の牧場トムミルクファームを中核とする地域の活性化に向けて、検討会議を設定する。

農業分野以外では、大分石油化学コンビナートの通信環境の脆弱性改善、構内無線システムとして使用している PHS の代替手段としてのローカル５Ｇへの期待もあり、継続して検討作業を進める。

(2) 実装計画

1) 実装計画の作成方法

実装計画の作成では、本実証の実施地であるビッグレッドファームと本実証後からの 2 年間の課題対応で必須となる事項を整理した。また、課題対応としての必須事項の具体的な取り組み案について実証コンソーシアムメンバーで検討を行った。

横展開に関しては、実証コンソーシアム内に設置した横展開の検討を行う北海道内外の 2 つの導入の可能性について意見交換を実施し、その結果から導入可能性の高い事業者を候補として令和 8～9 年度に向けての実装を想定して計画を作成した。

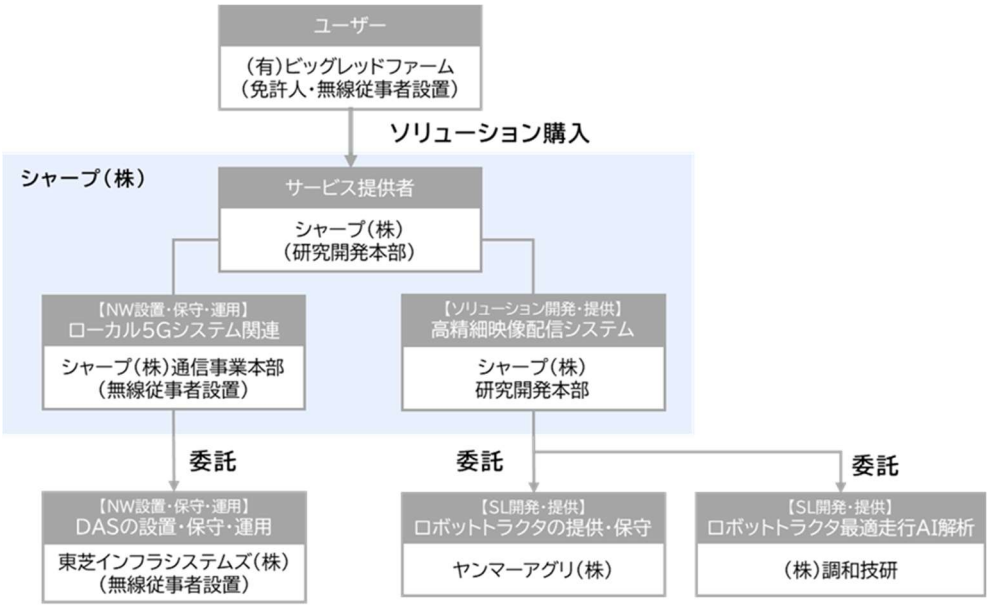
ビッグレッドファーム明和で引き続き継続的に実施するにあたり、実施体制はシャープ等がサービス提供者として引き続き対応していく。また、今回の DAS、ロボットトラクタについては東芝インフラシステムズやヤンマーアグリと協力して実施していく。

2) 実装計画の要約

以下に草地管理ソリューションにおける実施計画の要約を記載する。

■実装計画要約シート

開 01 代表機関名	シャープ株式会社	分野	農業
実証件名	広大な放牧地におけるローカル 5G を活用した除雪や草地管理等の効率化・省力化の実現		
実施体制	シャープ㈱、㈲ビッグレッドファーム、東芝インフラシステムズ㈱、ヤンマーアグリ㈱、㈱調和技研		



		令和 4 年度 (2023)	令和 5 年度 (2023)	令和 6 年度 (2024)	令和 7 年度 (2025)	令和 8 年度 (2026)	令和 9 年度 (2027)
実装計画	草地管理ソリューション	開発実証	課題対応		コンソ内一部実装	本格実装	
					横展開への具体的提案		
	ローカル5Gシステム(草地管理ソリューション向け)	開発実証	実装				
	可搬型ローカル 5G ソリューション		異業種へのソリューション紹介・提案				
			ソリューション導入に向けたアプリ・ネットワーク等の仕様検討				
収支計画(千円)	(1 ユーザーから得る対価		11,371	9,800	8,285	7,945	7,945
	(2)補助金・交付金		0	0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))		11,371	9,800	8,285	7,945	7,945
	(4)ネットワーク設置費		0	0	0	0	0
	(5)ネットワーク運用費		4,861	4,375	3,403	3,403	2,430
	(6)ソリューション購入費		0	0	0	4,496	4,034
	(7)ソリューション開発費		6,510	5,425	4,883	0	0
	(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))		11,371	9,800	8,285	7,899	6,465
	(9)収支((3)-(8))		0	0	0	46	1,480

収入、支出の算定根拠

[収入]

(1)ユーザーから得る対価

・運用費として、6,895 千円(ネットワーク関連費用:4,489 千円、ソリューション関連費用:2,406 千円)

・R5～7 年度では、課題対応に向けたソリューション開発が必要であることからソリューション開発費の一部費用をユーザーから得る対価として得られるよう取り組む。

・R8～9 年度の本格実装では、「安全性向上」「作業者の身体的負担減少」「作業者のモチベーション向上」等の価値提供を行うことで、その価値(750 千円)をユーザーから得る対価として得られるよう取り組む。

(2)補助金・交付金
・なし

[支出]
(4)ネットワーク設置費
・なし

(5)ネットワーク運用費
・ネットワーク設置費に含まれている [機材費:R5 年度は 24,302 千円]×20%で算出
・R6 年度:R5 年度比▼10%、 R7～8 年度:R5 年比▼30%、 R9 年度:R5 年度比▼50%のコストダウン等を見込む

(6)ソリューション購入費(この場合はソリューション運用費)
・R8～9 年度の本格実装から、ソリューション購入費(運用費)を計上
・R5 年度のソリューション購入費[R5 年度は 27,544 千円]×20%で算出
ただし、ソリューション購入費は、R7～8 年度:R5 年比▼30%、 R9 年度:R5 年度比▼50%のコストダウンを考慮
(一部機能を除く)

(7)ソリューション開発費
・R5～6 年度:実証地にて開発実証結果の課題対応およびソリューションの追加対応
R5 年度:7 千円/H×7.75H×20 日×6 ヶ月
R6 年度:7 千円/H×7.75H×20 日×5 ヶ月
R7 年度:7 千円/H×7.75H×20 日×4.5 ヶ月

		どのようにして(手段、取組方法、アウトカム)	いつまでに
実装を確実にするための取組	提供コスト低減	牧場の規模、土地の在り方等の条件はユーザー毎に異なっているため、オプション(機能の組み合わせ)を設けることでコストを含めユーザー要望等に応じた柔軟なシステム構築ができる仕組みを推進する。	令和8年度までに牧場の規模、形態等の条件に応じたシステム構成の「モデル化(サンプル例)」を行う。
	ソリューション追加開発	本実証で得られた課題に対し、草地管理ソリューションおよび坂路調教育成ソリューションのための追加開発を行う。また、どちらのソリューションにも共通する課題(UI 改善、可搬型基地局の性能改善)等も推進する。	令和 8 年度までにコスト低減も含めて実現を目指す。その後の他地域・他分野への横展開へ繋げるソリューションとして確立していく。
	顧客開拓	展開検討委員会のメンバーや、今回ヒアリングを実施した事業者等に対し、個別に以下の可能性を追求すべく意見を吸い上げる。 ・日高町の門別競馬場では、来場者への新たなサービスの提供や、直接レースを視聴できない厩舎等で作業中の従業員等へのレース状況のリアルタイム伝送等の可能性 東広島市に位置するトムミルクファームでは、東広島市役所と連携し、当該牧場を中核とする地域の活性化に向け、検討会議を推進 ・他業種では、大分石油化学コンビナートの通信環境の脆弱性改善、構内無線システムとして使用している PHS の代替手段としてのローカル 5G への期待もあり、継続して検討作業を推進	令和4年度内に 2 か所程度に候補先を絞り込む。課題抽出、システム検討に着手する(PwC への相談含む)。
	運用面の改善	今回とは異なった過酷な環境条件での確認を行うことで、円滑な運用が実現できる条件等を整理し、ソリューションの中に取り込んでいく。	令和 7 年度内にコスト低減も含めて実現し、他地域・他分野への横展開へ繋げるソリューションとして確立する。
	ルールメイキングへの貢献	特になし	−
	計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など) サービス提供者側の費用負担も考慮することも踏まえ、資金調達方法については実証コンソーシアム内で検討していく。		

a. 実施体制

以下に実施体制図を示す。

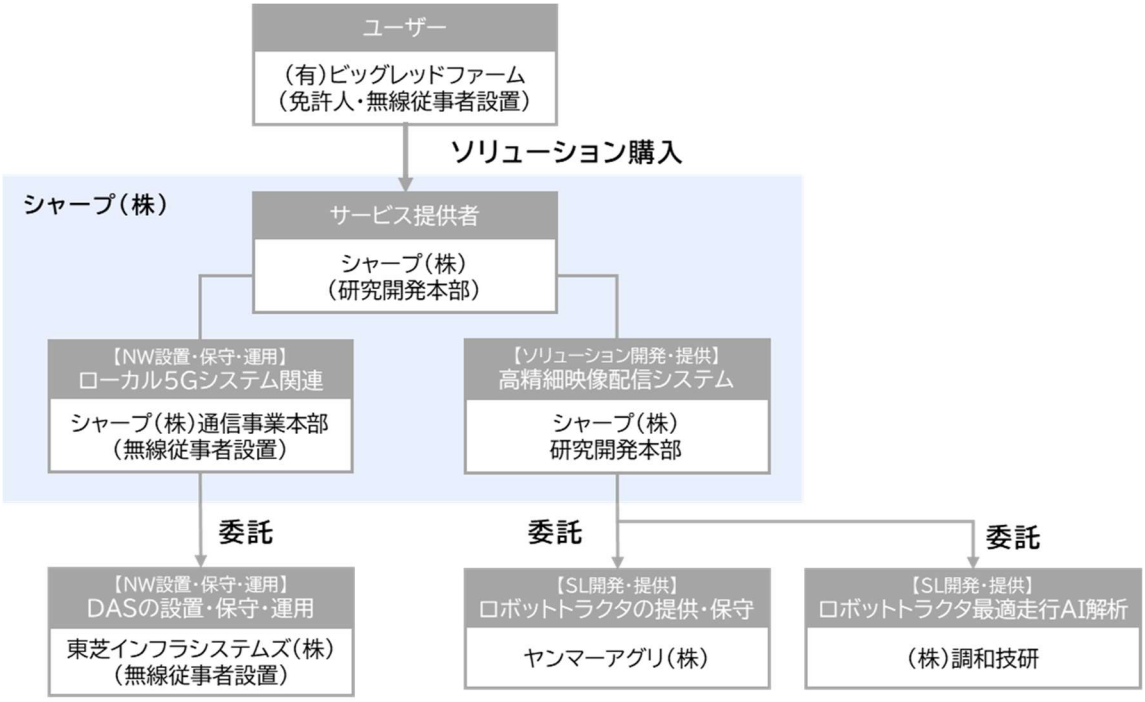


図 4-110 実施体制

b. 実装計画（実施事項）

本開発実証の結果により、実装に向けては以下の課題に対応していくことが必要となる。課題解決される実施年度毎に課題内容を示す。開発対応者としては、ローカル５Ｇや DAS 等の通信系はシャープ通信事業部と東芝インフラシステムズ、映像配信関係はシャープ研究開発本部で対応し、トラクタ関係はヤンマーアグリ、AI 解析関係は調和技研と協力して推進していく。サービスは当初研究開発本部が対応し、事業が軌道に乗ればサービス部門等に委託する。

■実施年度：～令和５年度

- 「ローカル５Ｇ活用による草刈りソリューションの実証」
- 「ローカル５Ｇ活用による坂路調教育成ソリューションの確立」

■実施年度：～令和６年度

- 「システムの操作性向上」
- 「安全レベルのユーザー通知と制御改善」
- 「ロボットトラクタの走行機能補助」

- 「ドローンの撮影精度と操作性向上と自動飛行確立」
- 「ロボットトラクタにおけるローカル５Ｇ端末のアンテナ位置確立」
- 「可搬型基地局の接続性改善」
- 「可搬型基地局の環境性能改善」
- 「基地局のスループット安定性向上」
- 「坂路におけるカメラの設置およびメンテナンスの確立」

■実施年度：～令和７年度

- 「ドローン・解析サーバ・ロボットトラクタ間のローカル５Ｇデータ伝送」
- 「複数ストリームの伝送の安定性」
- 「リアルタイム画像補正処理およびAI解析処理」
- 「広範囲で分散エリアでのローカル５Ｇの構築」
- 「ロボットトラクタの応答性能向上」
- 「初期投資および運用費用のコストダウン」
- 「広範囲での可搬型基地局のサポート提供体制構築」

上記の課題を令和５年から順次対応し解決していく。

課題対応後の実装については、令和７年度より一部機能を実装することを目指す。まず第一の実装としては、野外環境等の影響度が低い季節である春～秋にかけて活用する草刈り作業の省人化に向けての機能を優先的に実装することを目指す。

可搬型ローカル５Ｇソリューションについては、本実証でヒアリングを実施した事業者を中心に、課題解決のためのソリューションと合わせてローカル５Ｇの導入の可能性を引き続き追求する。なお、本実証後の課題として挙げられた「可搬型基地局」に関する事項は、可搬型ローカル５Ｇソリューションの課題でもあり、その対応事項を反映して展開を図る。

c. 収支計画

ア）収支計画

収支計画では、今回の実証地域に対しては令和５～６年度にかけて本開発実証の結果から得られた除雪や草刈り等の草地管理の課題に対応し、令和７年度には一部機能を実装、令和８年度には本格実装を見据えて算出した。

収入については、ユーザーから得る対価である運用費として後述するイ）ユーザーにおける必要リソースに基づき、6,895千円（ネットワーク関連費用：4,489千円、ソリューション関連費用：2,406千円）をベースとした。

令和5～7年度では、上述に加え、課題対応に向けたソリューション開発が必要であることから、ユーザー視点での重要課題の把握、課題解決をするソリューション追加開発から得られるメリット等を訴求し、ソリューション開発費の一部費用をユーザーから得る対価として得られるよう取

り組む。令和 8～9 年度の本格実装では、「安全性向上」「作業者の身体的負担減少」「作業者のモチベーション向上」等の価値提供を行うことで、その価値（1,050 千円）をユーザーから得る対価として得られるよう取り組む。

支出については、令和５～７年度では課題への対応であることから、ネットワーク運用費およびソリューション開発費を想定している。また、令和８年度には本格実証を目指すことから、ネットワーク運用費およびソリューション運用費を想定した。

なお、ネットワーク運用費はネットワーク機材費の 20%、ソリューション購入費の 20%で算している。また、運用費の算出の元になるネットワーク機材費、およびソリューション購入費については令和 5 年度のコストに対し、令和 6 年度：令和 5 年度比で 10%減、令和 7～8 年度：令和 5 年度比で 30%減、令和 9 年度：令和 5 年度比で 50%減のコストダウンを図ることを見込んで算出した。

- ネットワーク運用費
  - 令和 5 年度：ネットワーク機材費（24,304 千円）×20%
  - 令和 6 年度：ネットワーク機材費（24,304 千円）×0.9×20%
  - 令和 7～8 年度：ネットワーク機材費（24,304 千円）×0.7×20%
  - 令和 9 年度：ネットワーク機材費（24,304 千円）×0.5×20%

- ソリューション購入費（運用費）
  - 令和 8 年度：
    ソリューション購入費（11,544 千円×0.7+16,000 千円×0.9）×20%
  - 令和 9 年度：
    ソリューション購入費（11,544 千円×0.5+16,000 千円×0.9）×20%

- ソリューション開発費

本実証の結果から得られた課題への対応、およびソリューションの追加対応

- 令和 5 年度：7 千円/H×7.75H×20 日×6 ヶ月
- 令和 6 年度：7 千円/H×7.75H×20 日×5 ヶ月
- 令和 7 年度：7 千円/H×7.75H×20 日×4.5 ヶ月

イ）ユーザーにおける必要リソース（モデルケース）

以下に、草地管理ソリューションを導入する場合のローカル５Ｇシステムとソリューションの必要リソースを示す。

表 4-50 ユーザーにおける必要リソース

項目	イニシャルコスト （初年度）	ランニングコスト （次年度以降、年間）

ローカル５Ｇシステム			27,606 千円	4,489 千円
a.	ローカル５Ｇシステム運用業務		16,606 千円	1,052 千円
b.	ローカル５Ｇシステムに係る 運用業務委託		25,881 千円	3,437 千円
ローカル５Ｇ活用モデルに係るソリューション			10,100 千円	2,406 千円
a.	草地管理ソリューション		10,100 千円	2,406 千円
		運用に係る環境整備等に係る経費	100 千円	1,203 千円
		ロボットトラクタ関連委託費	10,000 千円	1,203 千円

［算出根拠］

◯ローカル５Ｇシステム

・ローカル５Ｇシステムの考え方としては、草地管理ソリューションを実現するための必要なシステムである一方で、その草地管理ソリューション全体が以下の性能を有していることが導入検討をする必須条件と考えている。

［条件］

・複数の牧草地で、複数のロボットトラクタを同時に稼働させることができるシステム

- １名が１台トラクタの作業を監視するだけでは効率化の効果が低いと考えている。広大な放牧地をより効率的に作業をしていくためには、複数の放牧地をエリア構築し、その環境下で複数台のトラクタを稼働させることが必要

・可搬型基地局を年間で効率良く活用できる環境の構築

- 将来の実装を見据えた場合、本実証で行った除雪が放牧地だけでなく牧場内の作業道路の除雪作業に活用することができれば非常に有効である。一方で、ローカル５Ｇシステムの利用では、冬期での野外利用が環境条件として非常に厳しいことが本実証の結果として挙げられる。通年で効率よく活用するためにも、可搬型ローカル５Ｇ基地局が厳しい環境下においても簡便に利用できる環境を構築することが必要。

・可搬型基地局等のシステム稼働における運用環境の確立

- ソリューションを使用している際に不具合があった場合等、利用・運用上の対応方法保守等、具体的な作業指示書、運用体制が必要

・イニシャルコスト

- ローカル５Ｇシステム、DAS、可搬型車両、およびローカル５Ｇネットワーク環境に必要な工事費の合計を算出した。なお、ローカル５Ｇシステム機材は、収支計画で記載している

令和８年度の機材費（令和５年度比▼30%）を想定して算出した。

・ローカル５Ｇシステム（DAS 含む）：23.606 千円

・可搬車両代：4,000 千円

・ランニングコスト

- ローカル５Ｇシステムの維持には以下の項目が必要と考え、それぞれの費用を算出し、その合計を月額のランニングコストを考えた。

・機器操作のための人件費：2.5 千円×1 時間×1 名×26 日×12 ヶ月

・燃料費：70L×165 円×8 回（月の給油回数）×12 ヶ月

・可搬車両車検代：160 千円÷2 年

・電気代：(1.5＋0.5)kW×7 時間×26 日×31 円/kWh×12 ヶ月

・電波利用料（年間毎更新）：25 千円

・電波利用継続申請代行依頼費用：2,360 千円

◯草地管理ソリューション

・イニシャルコスト

- 本実証でも使用したロボットトラクタの費用、および機材への修理費からコストを想定している。
- 重機等の購入では、中古機を中心に購入を検討するケースが多いが、本実証で使用したロボットトラクタを中古で手配することは難しいと考え、新規品を想定した。修理費をイニシャルコストに含めた理由としては、本ソリューションの活用によって従事者の運転から自動化されるため、現状で発生している月々の修理費が圧縮されることを見込めば、それをイニシャルコストと含められると考えた。

・ランニングコスト

草地管理の繁忙期である春～夏にかけて、通常のトラクター作業する従事者（1 名）分が本ソリューションの活用で、草刈り等の作業量が減少し、他の業務に従事できることを想定するため、ランニングコストについては、通常のトラクタ（有人）1 名分の人件費をランニングコストと考えた。(2.5 千円×7 時間×25 日間×5.5 ヶ月（繁忙期))

d. 実装を確実にするための取組

ア）提供コスト低減

提供コスト低減策として、牧場の規模、土地の在り方等の条件はユーザー毎に異なっているため、実装や横展開に向けてはオプションを設ける。それによってコストの削減等も可能となる。また、オプションによってユーザーが選択できるシステム構成の種類が増えることで、例えば牧

場の規模に合わせた展開が考えられるため、より多くのユーザーへの実装に繋がる可能性がある。

以下にソリューションの組み合わせ、条件とその際のコストを令和 5 年度、令和 8 年度の２つに分けて下表に示す。

ユーザーとして７ケースを想定した。条件としては牧場規模の大中小、土地の分散すが多いか中程度か無いかのそれぞれ３種類である。ソリューションの組み合わせとしては、可搬車両を利用するか否かを土地分散の条件で選択し、ロボトラは牧場規模大と土地の分散多で２台使用とした。ドローンはローカル５Ｇ対応で飛行しながらデータ伝送するものとメディアでのデータ伝送で小型の RTK 搭載タイプもしくは利用しない選択肢としている。

コスト内訳で、ローカル５Ｇ基本はソリューションの組み合わせを除いた費用を合算したもので、令和 5 年度は開発費込みとなっており、令和 8 年度は製品としての販売費と保守運用費のみである。可搬車両およびロボトラは新品を想定しており値崩れがないとした。ローカル５Ｇ搭載ドローンの令和 5 年度は開発機のため高額となり、令和 8 年度は製品に搭載されるとした。なお、市場への展開等により令和 5 年度以降から一部の機材については価格の低廉化が進むことを想定している。

表 4-51 ユーザーケースによる想定提供コスト(R5年度)

ユーザー	条件		ソリューションの組み合せ			コスト内訳（千円）				コスト
ケース No.	牧場規模	土地分散	可搬車両	ロボトラ	ドローン	ローカル５Ｇ基本	可搬車両	ロボトラ	ドローン	合計
1	大	多	利用	2	ローカル５Ｇ	62,147	4,000	32,000	3,000	101,146
2	大	中	利用	1	小型	62,147	4,000	16,000	774	82,921
3	大	無	－	1	小型	47,286	0	16,000	774	64,060
4	中	中	利用	1	ローカル５Ｇ	62,147	4,000	16,000	3,000	85,146
5	中	無	－	1	小型	47,286	0	16,000	774	64,060
6	小	無	－	1	－	47,286	0	16,000	0	63,285
7	小	無	－	－	小型	47,286	0	0	774	48,060

表 4-52 ユーザーケースによる提供コスト(R8 年度)

ユーザー	条件		ソリューションの組み合せ			コスト内訳（千円）				コスト
ケース No.	牧場規模	土地分散	可搬車両	ロボトラ	ドローン	ローカル５Ｇ基本	可搬車両	ロボトラ	ドローン	合計
1	大	多	利用	2	ローカル５Ｇ	34,182	4,000	28,800	1,500	68,482
2	大	中	利用	1	小型	34,182	4,000	14,400	774	53,356
3	大	無	－	1	小型	23,780	0	14,400	774	38,953

4	中	中	利用	1	ローカル５Ｇ	34,182	4,000	14,400	1,500	54,082
5	中	無	－	1	小型	23,780	0	14,400	774	38,953
6	小	無	－	1	ー	23,780	0	14,400	0	38,179
7	小	無	－	－	小型	23,780	0	0	774	24,553

本実証では、１ユーザーが自己土地において離散的で複数の場所で利用することを想定しているが、「離散的な土地」という観点では、複数のユーザーでソリューションを活用することも想定される。その場合、ユーザー間で共有可能な設備としては上記のオプションで述べた可搬型ローカル５Ｇシステム、ロボットトラクタ、ドローンが想定される。どの設備を共用とするかは、コストを含めユーザーの利用方法や共用設備の管理等を検討していく必要がある。

イ）ソリューション追加開発

草刈り除雪ソリューションおよび坂路調教育成ソリューションのための追加開発を予定する。

・　草刈り除雪ソリューション
ドローン撮影データのローカル５Ｇ伝送による最適走行経路の即時自動生成
リアルタイム画像補正処理およびAI解析処理による障害物等危険検知と通知
クラウドでのAI解析処理による自動走行のオートリルートなど応答性能向上

・　坂路調教育成ソリューション
坂路から外部ネットワークへのリアルタイム映像配信の開発
カメラの設置およびメンテナンスの確立など事業化に向けた開発

・　共通事項
ユーザーインターフェース改善（システムの操作性、ユーザー通知システム）の開発
可搬型基地局の性能改善（接続性・環境性能・安定性）の開発

上記のソリューションの追加開発を行うことで、ユーザーに対し、より簡便にソリューションが利用できる環境を提供できる。また、上記の技術の一部は他業種への展開にも活用できるものと推測され、軽種馬産業や牧場以外のユーザーへのアプローチにも有効となる。そのため、この取組によって他業種への実装展開の可能性が広がると考える。

ウ）顧客開拓

農業分野の横展開として、日高町にある門別競馬場(ホッカイドウ競馬)の施設改修工事のタイミングに合わせ現地での MTG 並びに 2 月 16 日に実施したビッグレッドファーム明和での公開実験の前日となるリハーサルに参加頂き、実際のローカル５Ｇ/DAS 等の運用状況を視察頂き、意見交換を実施。日高町にある地方競馬場としての課題、来場者への新たなサービスの提供や直接レースを視聴できない厩舎等で作業中の従業員等へのレース状況のリアルタイム伝送等の可能性を追求する。

また、東広島市役所と連携し、市内北部に位置する豊栄町の牧場トムミルクファームを中核とする地域の活性化に向けて、12 月 6 日に現地での MTG を実施。現在、東広島市役所を中心に現地活性化計画を策定中であり、計画案の提示後に今後の可能性に向けて検討会議を設定する計画している。

農業分野以外では、10 月 13 日な大分県庁を訪問、MTG を実施し、大分石油化学コンビナートの課題について情報提供頂き、同県庁よりコンビナート企業との調整を踏まえ、11 月 21 日に同県庁並びにコンビナート企業の昭和電工他との WebMTG を実施した。現地では通信環境が脆弱であること、更には構内無線システムとして使用している PHS の代替手段としてのローカル５Ｇへの期待もあり、継続して検討作業を進めることとした。

エ）運用面の改善

今回とは異なった過酷な環境条件での確認を行うことで、円滑な運用が実現できる条件等を整理し、ソリューションの中に取り込んでいく。この取組によって、特に屋外において通年でローカル５Ｇを活用できる環境を提供することが可能となる。

オ）ルールメイキングへの貢献

特になし。

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達など）

サービス提供者側の費用負担も考慮することも踏まえ、資金調達方法については実証コンソーシアム内で検討していく。

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

技術実証、課題実証の成果について、名古屋テレビ放送が道内系列局である北海道テレビ放送の協力を得て効果的な映像コンテンツの制作を行った。納品用の 3 分映像に加えて、5 分版の映像を制作し、後者を視察会でのデモ、横展開の検討を行う北海道内外の 2 つの委員会等でも共有し、各地での PR 活動における事例紹介として積極的に活用していく。



図 5-1 映像の1場面(広大な牧草地)



図 5-2 映像の1場面(除雪作業)

5.2　実証視察会の実施

実証視察会につき、以下の通り実施した。

＜実証視察会の概要＞

・開催日時：2023 年 2 月 16 日（木）14:00～16:45

・開催場所：【現地】ビッグレッドファーム明和（北海道新冠町）

（現地とオンラインのハイブリッド方式で実施）

・開催目的：本ローカル５Ｇ活用モデル等に関心のある企業や自治体、関係省庁等に対し、本実証の実証様子（デモ）の視察および取組内容を説明し、普及啓発を図る。

・視察内容：

【実証デモの視察（現地のみ)】

1. ローカル５Ｇで遠隔操作された無人ロボットトラクタによる放牧地除雪作業および基地局の視察
2. ローカル５Ｇエリアが設置された坂路での軽種馬調教様子の視察

【説明会（現地、オンライン)】

3. ご来賓、およびコンソーシアムメンバー挨拶
4. 実証内容の概要説明
5. 実証説明用コンテンツ上映
6. 課題実証および技術実証の説明
7. 質疑応答

・参加機関（順不同）

：総務省、関係省庁、三菱総合研究所
シャープ、ビッグレッドファーム、東芝インフラシステムズ、調和技研、ヤンマーアグリ、新冠町、エクシオグループ、名古屋テレビ放送、関係企業・団体等

視察会当日の内容については、放送、新聞、オンライン記事等の各機関で等で取り上げて頂いた。継続してローカル５Ｇ開発実証の成果を最大化する取組を実施し、各地域の課題解決に向けた参考事例となるよう継続してフォローしていく。



図 5-3 実証デモの様子(ロボットトラクタの除雪作業)



図 5-4 上映した実証説明用コンテンツ

5.3 その他普及啓発活動

実証視察会の実施に合わせ、実証コンソーシアム代表機関からプレスリリースを発信し、普及に努めた。

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

本実証における実施体制については下記の図の通りである。

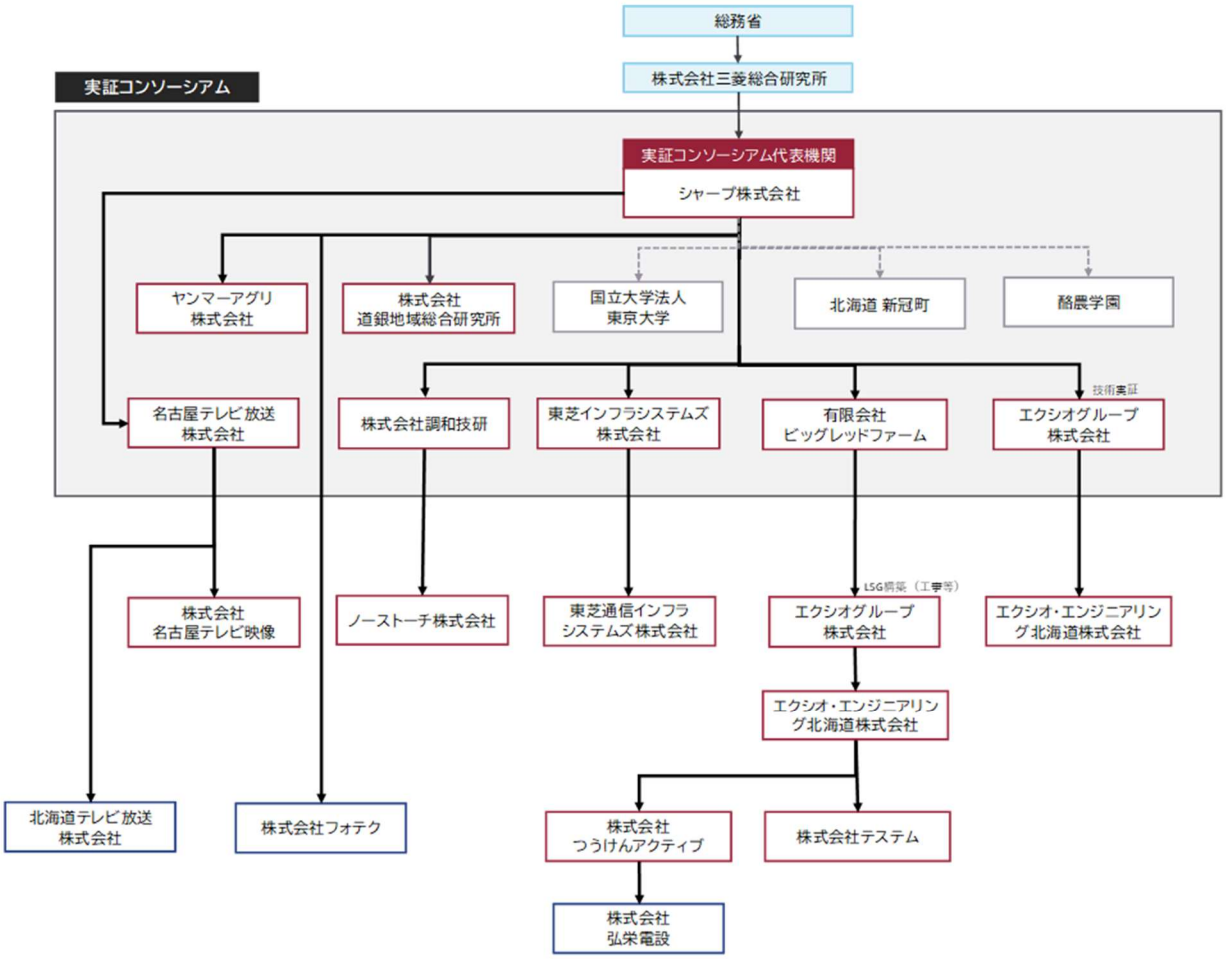


図 6-1 実施体制図

6.2 実施体制内の役割

実施体制における各団体の役割については下記の通りである。

表 6-1 実証コンソーシアムメンバー構成表

企業名・団体名	主な役割
シャープ株式会社 （代表機関）	請負契約主体・全体統括・実証試験統括、ローカル５Ｇ設備・システム構築、検討委員会運営等
株式会社 道銀地域総合研究所	課題実証における横展開案の検討、検討委員会運営等
新冠町	地域内外への普及に向けた施策展開や関連する他事業・施策との連動を展開
有限会社 ビッグレッドファーム	実証候補地（牧場）の提供、実施作業の技術支援・評価
東芝インフラシステムズ株式会社	DAS 機材準備・エリア構築、技術実証試験対応
エクシオグループ株式会社	ローカル５Ｇ実証試験環境工事・構築、免許申請、技術実証試験対応
国立大学法人 東京大学	ローカル５Ｇシステムにおける技術実証、課題実証等の技術アドバイザー
ヤンマーアグリ株式会社	ロボットトラクタ自動走行制御に関するシステム検討、開発、放牧地走行テストの実施
株式会社 調和技研	カメラ映像等の情報と AI を用いた最適領域・経路の自動作成機能の開発等
学校法人 酪農学園 (酪農学園大学)	ドローンカメラを活用した地形データ等の作成に関するアドバイザー
名古屋テレビ放送株式会社	実証の取組成果に関する映像作成

表 6-2 実証コンソーシアムに含まれないメンバー構成表

企業名・団体名	主な役割
エクシオ・エンジニアリング 北海道株式会社	実証環境工事・構築作業
株式会社つうけんアクティブ	実証環境工事・構築作業
株式会社テステム	実証環境工事・構築作業
東芝通信インフラシステムズ 株式会社	実証試験環境構築の現地対応サポート
株式会社 名古屋テレビ映像	実証の取組成果に関する映像編集等作業対応
北海道テレビ放送株式会社	実証の取組成果に関する映像作成の現地対応サポート
株式会社フォテク	ローンカメラを活用した地形データ等の作成
株式会社 弘栄電設	無線基地局を設置するコンクリート柱の建設

株式会社　新興電気	電柱からの電源確保のための電気工事

また、本実証コンソーシアムには以下の役割を担う者を設置した。

- 代表機関では、プロジェクトの進捗管理等に必要な経験または同等の能力を有する体制を確保し、プロジェクトを統括する等の実績のある実施責任者（以下、「プロジェクトマネージャー」という）を１名設置した。プロジェクトマネージャーは、事業の進捗管理等、事業統括をするとともに、貴社及び総務省の求めに応じて事業内容の説明を行う責任を持つ者を設置した。
- 本実証コンソーシアムは、貴社との間でローカル５Ｇの電波伝搬特性等に関する技術的検討に関する連絡を担当する者（以下「技術実証担当者」という）を２名設置した。貴社及び総務省の求めに応じて事業内容の説明を行う責任を持つものを設置した。
- 本実証コンソーシアム及び実証コンソーシアム構成員以外の委託先は、実施体制における事業の遂行に係る支出を適切に管理可能な体制を確保した。また、本実証コンソーシアムの代表機関では「会計処理担当者」を１名設置し、実施体制内の各法人・団体等への経理処理提出の指示・とりまとめを行い、事務局宛の期限内に提出や提出内容の正確性に責任を持つ者を設置した。
- その他、実施体制内全ての団体・事業者において原則として設置が必要になる「業務実施責任者」「情報セキュリティ責任者」「個人情報保護・管理責任者」「情報保全監督責任者」「その他管理体制に係る関係部署の責任者」（全ての役割において副責任者の設置も含む）においても対応した。

7. スケジュール

以下に実証のスケジュールを示す。

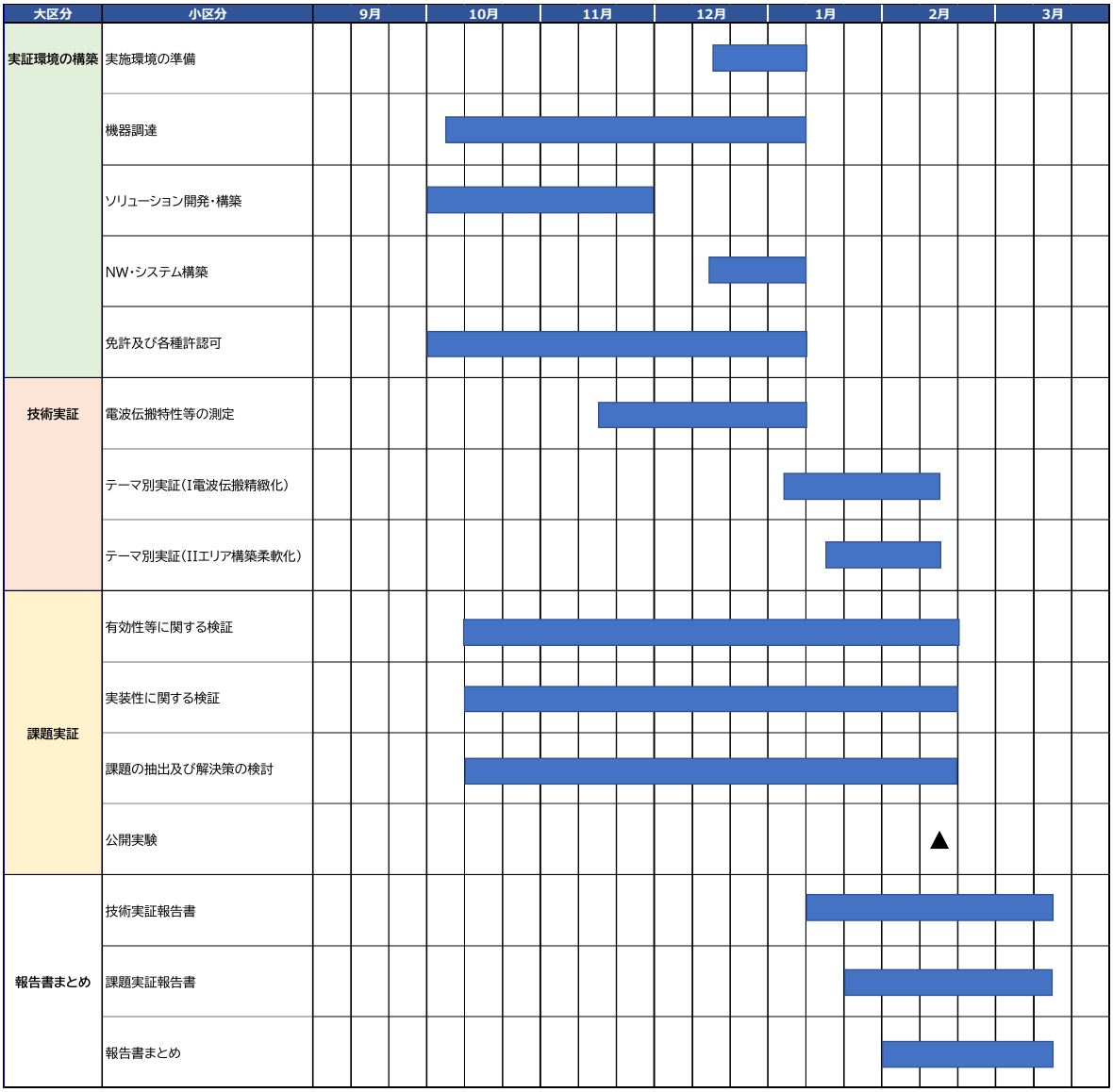


図 7-1 実証のスケジュール

当初想定していた契約締結が 10 月にずれた中、各種機材手配に向けた社内処理、免許申請業務などを開始した。

免許申請に関しては北海道総合通信局様と綿密に議論、指導をいただき、申請までに時間を要し、予備免許申請が予定より遅延し、最終的に 2022 年 11 月 29 日となった。ただし、北海道総合通信局様のご尽力により、予備免許自体は 2022 年 12 月 6 日付にて取得に至った。

機材に関してもローカル５Ｇシステムの部材納期交渉に時間がかかり、発注そのものが、11 月 30 日にずれ込んだが、2022 年 12 月 12 日に開発元に納品、ソフトウェアの動作確認、各種設定等

を開始した。併せて分散アンテナシステム（DAS）についても供給元となる東芝インフラシステムズ様より準備いただき、接続検証を開始すると共に、2022 年 12 月 14 日より開発拠点にて登録点検に向けた無線特性評価確認作業を開始した。

無線特性確認後、落成届資料作成とともに北海道総合通信局様に事前確認をいただきながら、並行してソリューションである映像伝送システムとの接続検証を実施、合わせて、現地で可搬型システムを設置する車両と同タイプのものを事前に確保し、搭載イメージ、トレーニングを実施した。

並行して、2022 年 12 月 19 日より現地実証環境構築に向けて、DAS アンテナ設置用電柱、電源、光ケーブルの敷設工事を実施した。今回牧場での実証ということもあり、ケーブルを地面に這わせると温度（霜）の問題に合わせて、動物がかみ切るなどのリスクもあることから、埋設工事とした。

2023 年に入り、現地でのシステムセッティングを開始、2023 年 1 月 9 日までにアンテナの設置を終え、正式に落成届を提出、2023 年 1 月 12 日に実験局免許を正式に取得した。

上記を受け、技術実証Ⅰを 2023 年 1 月 12 日より開始。測定データを確認しつつデータ取得を進め、2023 年 2 月 17 日にデータ取得を完了した。併せて技術実証Ⅱを 2023 年 1 月 19 日よりデータ取得を開始。データそのものの取得としては 2023 年 2 月 17 日で完了した。

令和４年度　課題解決型ローカル５Ｇ等の実現に向けた開発実証【開発実証事業】

広大な放牧地におけるローカル５Ｇを活用した除雪や草地管理等の効率化・省力化の実現

2023 年 3 月

シャープ株式会社