

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

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

成果報告書概要版

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

実証概要

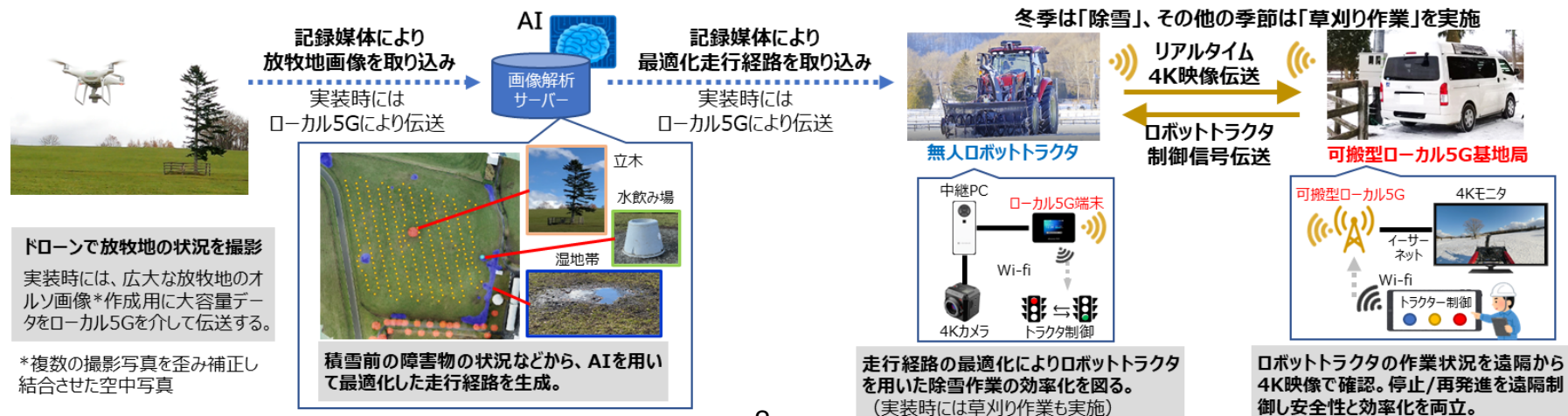
実証概要

開01 農業

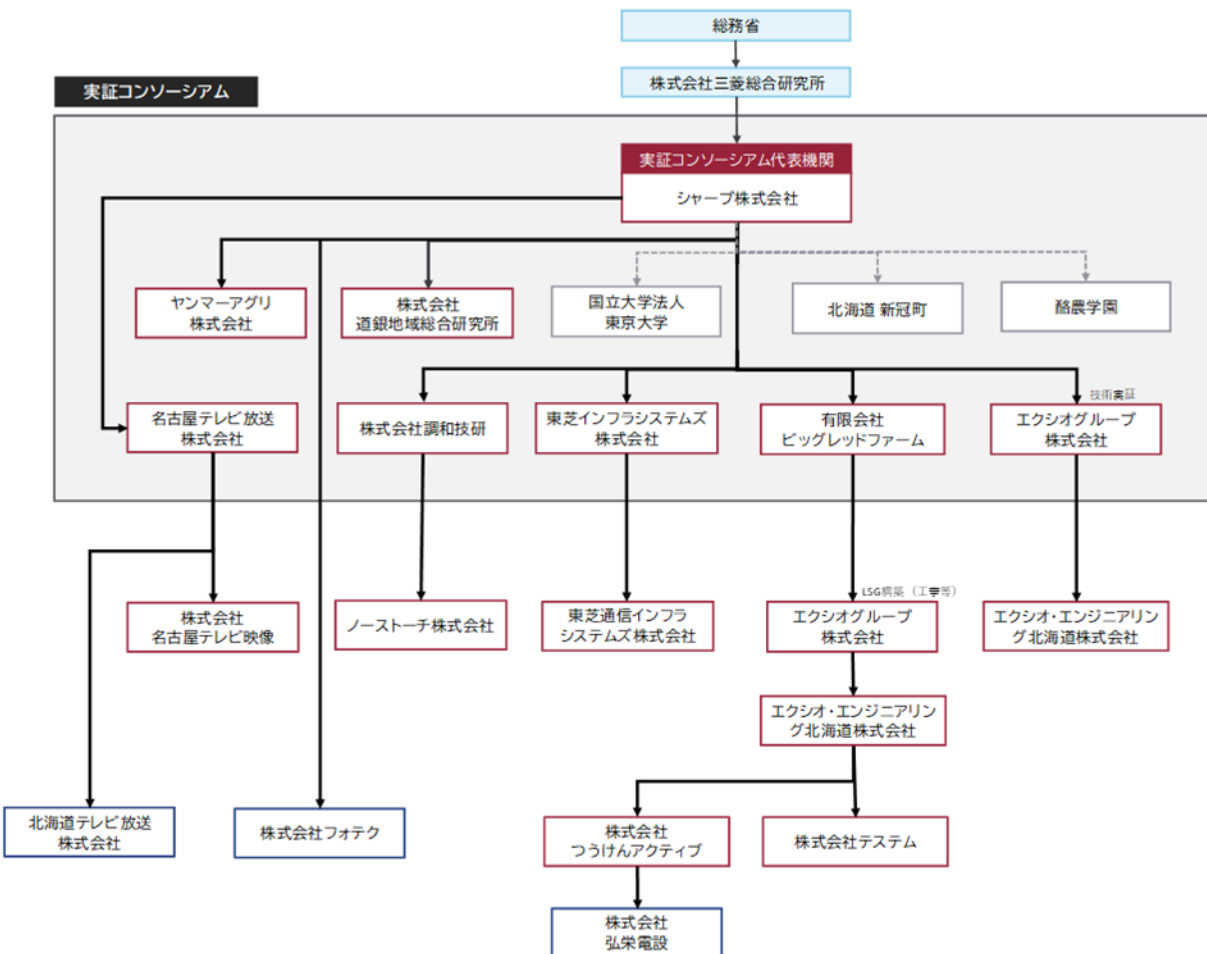
広大な放牧地におけるローカル5Gを活用した除雪や草地管理等の効率化・省力化の実現

実施体制 (下線：代表機関)	シャープ(株)、(株)道銀地域総合研究所、新冠町、(有)ビッグレッドファーム、東芝インフラシステムズ(株)、エクシオグループ(株)、東京大学、ヤンマーアグリ(株)、(株)調和技研、酪農学園、名古屋テレビ放送(株)	実施地域	北海道新冠町 (ビッグレッドファーム明和)
実証概要	<p>軽種馬（競走用馬）産業においては、広大な放牧地の除雪や草地管理が必要な一方、従業員の高齢化や熟練者の不足に直面。加えて、生き物を相手にすることによる、長時間労働や突発的な業務対応などの課題が存在。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 放牧地に可搬型のローカル5G環境を構築し、ドローンを活用した放牧地状況のAI解析により生成した最適走行経路を用いて4Kカメラを搭載した無人ロボットトラクタによる最適走行経路での草刈・除雪の遠隔制御に関する実証を実施。 ➢ 除雪や草刈り作業の高度化・自動化を通じた、牧場における安心・安全な労働環境及び経営効率の向上を実現。 		
主な成果	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 冬季のため除雪作業について検証。放牧地（200m x 250m程度）の任意の地点においてロボットトラクタから遅延約1.5秒で4K60fps映像の伝送を確認。ロボットトラクタの遠隔監視および遠隔操作により、安全性を担保しつつ除雪作業の作業人数半減および作業時間半減を達成。 ➢ 基地局を可搬型にすることで、別拠点における別用途である馬の調教映像のリアルタイム伝送を実現。他用途含め、柔軟な横展開に寄与できることを確認。 		
技術実証	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ルーラル地域において分散アンテナシステム(DAS)を活用する場合の電波伝搬モデルの精緻化や、広大かつ離散的な屋外地域における分散アンテナシステムによるエリア構築を実施。 ➢ 周波数：4.8-4.9GHz帯（100MHz） 構成：SA方式 利用環境：屋外 		
主な成果	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 1Km四方範囲で30~40m程度の高低差が存在する環境において、K値=6.7dBが適用であると想定される。 ➢ DAS活用により、トラクタ等の遮蔽による瞬断の低減及び業務区域中央部における受信レベルが10dB改善。提案手法によるエリア構築が有効と確認。 		
今後の展開	<p>実装に向けて、草地刈り課題対応、電波発射までの運用面改善、AI映像解析等の検討が必要。令和5~7年度では、夏季の草地刈りの実証、基地局等へのケーブル接続や起動のワンタッチ化(簡易化)、全経路のローカル5G伝送を実施。令和8年度以降での本格導入を目指すとともに、他地域の牧場へ展開検討。</p>		

4Kカメラを搭載した無人ロボットトラクタによる最適走行経路での除雪作業の遠隔制御



実施体制



実証コンソーシアム内	主な役割
シャープ(株) (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)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)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)	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)	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
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)	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)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
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)	実証の取組成果に関する映像作成
実証コンソーシアム外	主な役割
エクシオ・エンジニアリング北海道(株)	実証環境工事・構築作業
(株)つうけんアクティブ	実証環境工事・構築作業
(株)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)	実証試験環境構築の現地対応サポート
(株)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)	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)フォテク	ドローンを活用した地形データ等作成
(株)弘栄電設	無線基地局を設置するコンクリート柱建設
(株)新興電気	電柱からの電源確保のための電気工事

実証環境

実証環境について (1/3)

● 対象周波数帯

本実証では、広大な牧場(屋外で平地)であるため、広範囲に通信エリアを構築可能であり、SA対応により環境構築が容易である4.8～4.9GHzまでの100MHz帯を利用して実証試験を実施

● 実証環境概要

北海道新冠町にある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の広大な牧場敷地内の放牧地(約52000㎡)と、調教用坂路の一部区間(約400m)にSA(Stand Alone)構成のローカル5Gシステムにてエリアを構築。

本実証環境における課題として、以下2点が挙げられる。

- ① 広大なエリアのカバーであり、かつ業務区域が
離散的に存在
- ② 反射波等が見込めないため、ロボットトラクタの
方向転換や障害物の影響によるスポット的な瞬断が発生

上記課題を解決するために、
可搬型ローカル5Gシステムによる
⇒ ”低コストで離散的な土地のエリア化”

分散アンテナシステム(DAS)による
⇒ ”柔軟なエリア設計” と ”瞬断のない通信環境の提供”



ルーラル地域への5G環境提供の実現

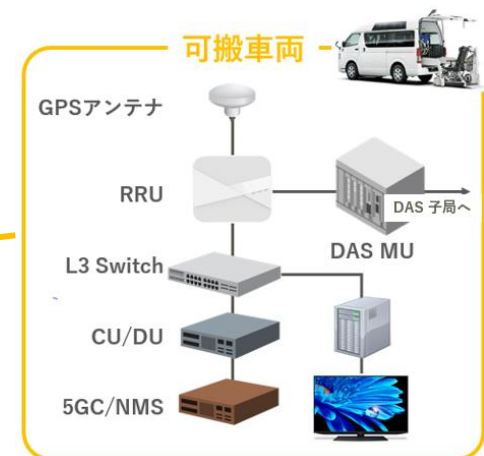
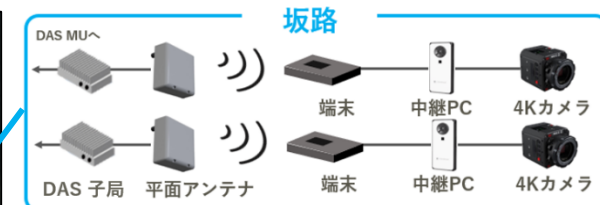


出所：地理院地図を加工して作成

実証環境について (2/3)

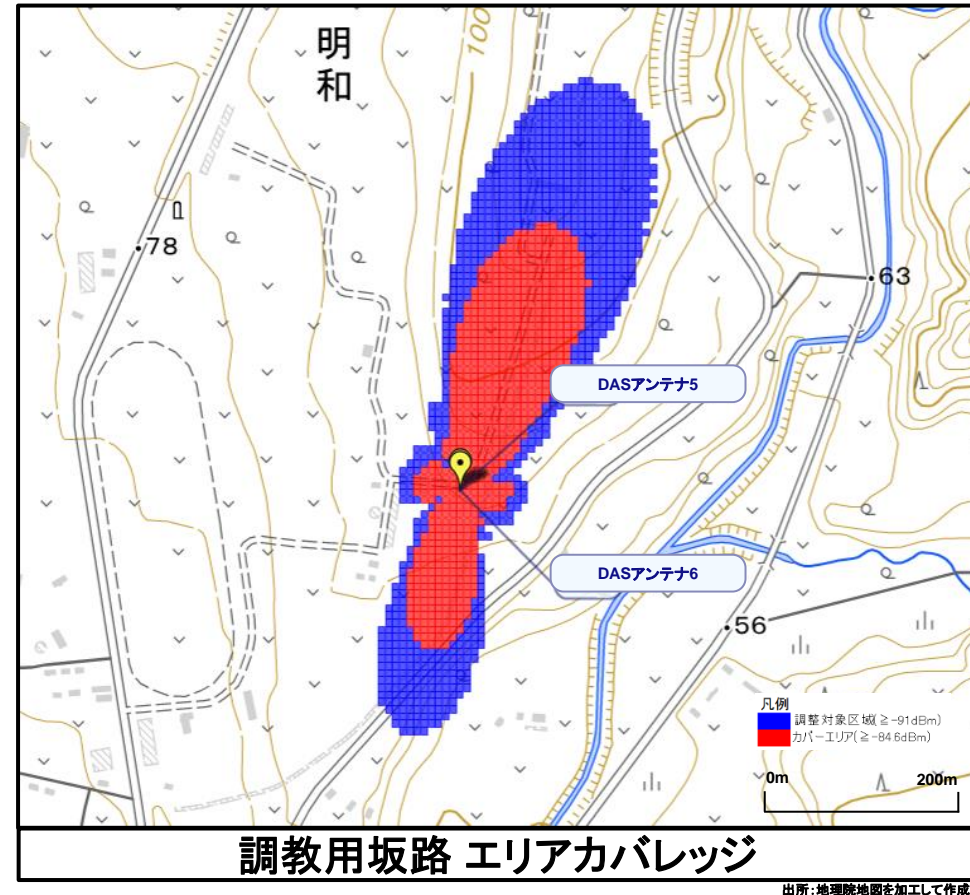
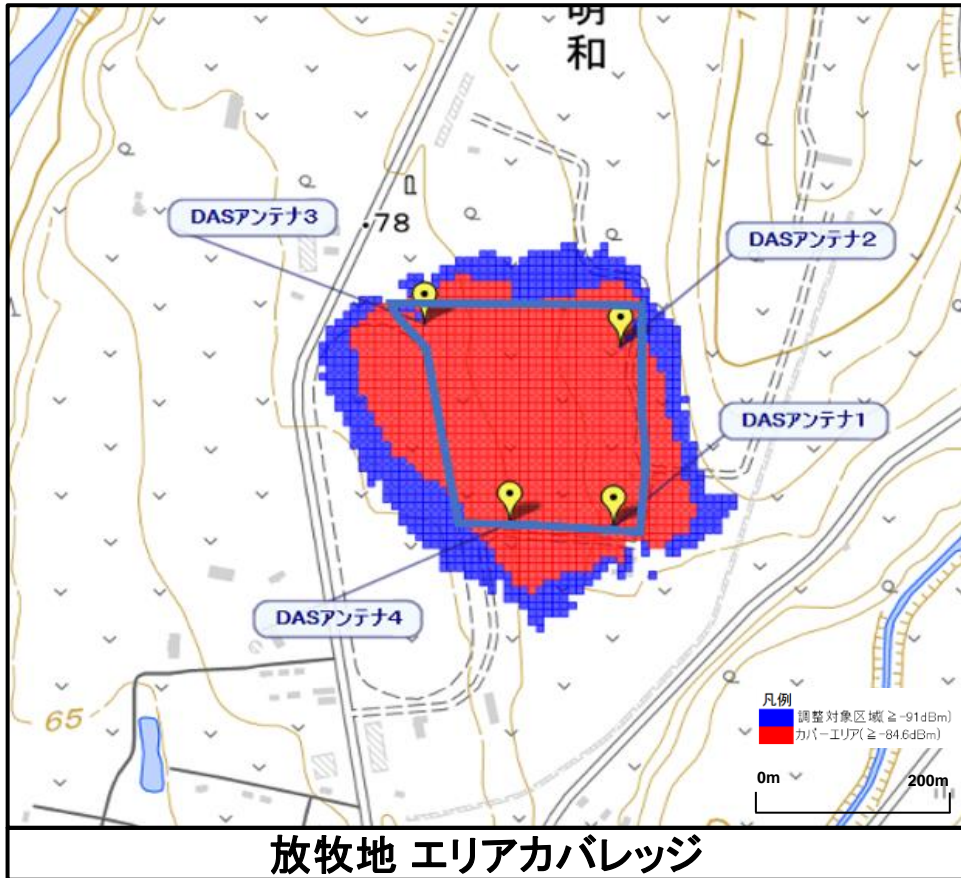
● 環境構築

5Gシステム及びDASの一部を可搬車両に搭載し、利用に応じて放牧地と調教用坂路を移動させることで簡易的に柔軟なエリア構築を可能にし、DASを用いることで広大な土地をエリア化し、4K高精細映像伝送の実現を目指す。放牧地エリアにDAS子局4局を設置、坂路にはDAS子局2局を設置し実証エリア構築を実現



出所：地理院地図を加工して作成

実証環境について (3/3)

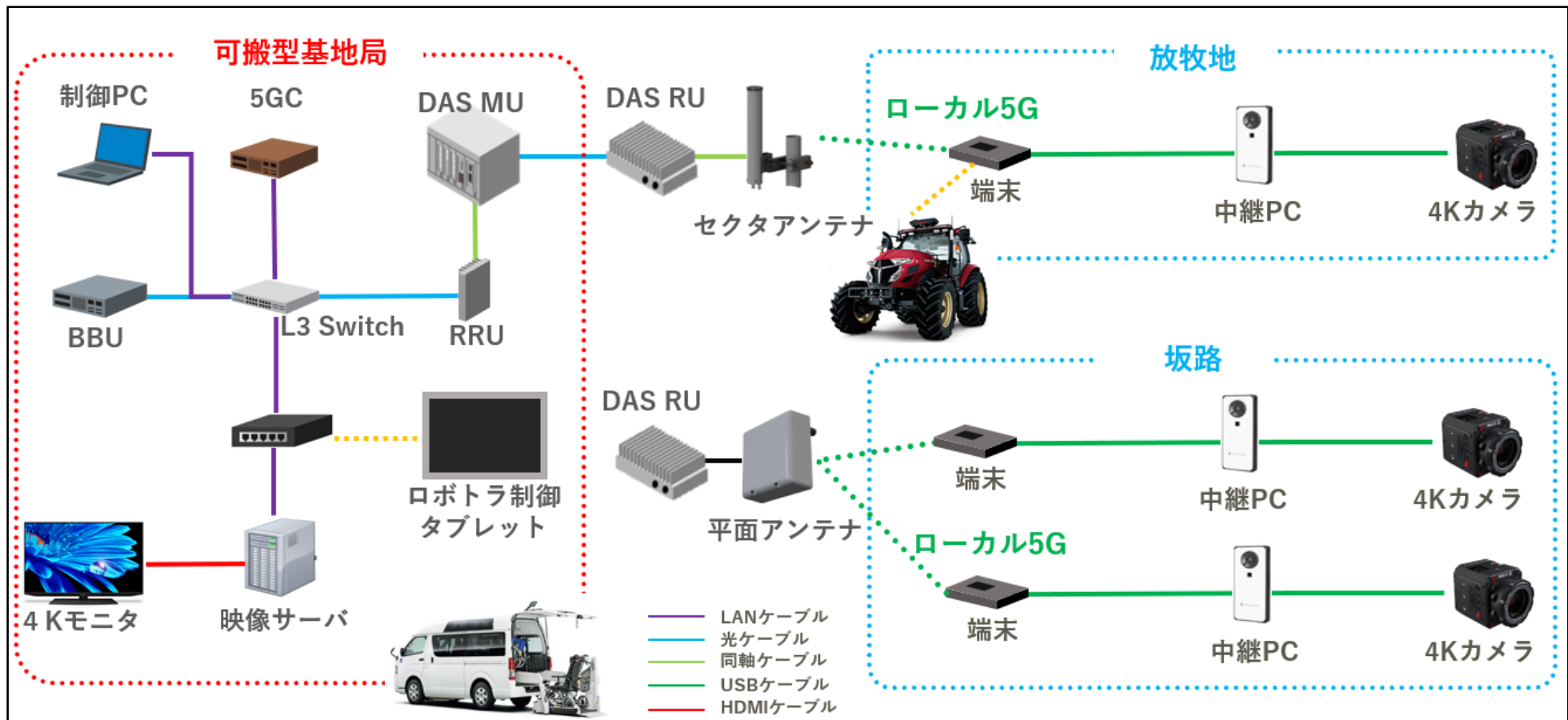


● 基地局カバレッジ

- **放牧地エリア**は半値角 70° のセクタアンテナを4局設置。各局のカバーエリアが重なるように展開することで、ある方向のアンテナから電波が途絶えた場合でも別アンテナから受信ができ瞬断なく安定通信環境を構築。
- **調教坂路エリア**は半値角 30° の平面アンテナを2局設置。狭ビームで指向性が高いため、調教用坂路に沿ったエリアで、遠距離位置からでも映像伝送が可能になるよう構築。

ネットワーク・システム構成

- ネットワーク・システム構成を以下に示す
可搬型ローカル5Gシステムを採用することで放牧地と坂路の2か所をエリア化し、「低コストでの広大なエリア化」、「瞬断のない通信の実現」のために放牧地エリアにDAS子局4局、坂路にはDAS子局2局を設置し、実証エリアを構築した。また、本実証のアプリケーションはオンプレミスのためサーバを可搬車両内に設置し、ロボットトラクタからの映像をデコードし、4Kモニターで映像監視できるように構築した。



システム機能・性能・要件

- ローカル5Gシステムの主な技術的諸元(周波数帯、帯域幅、同期/準同期運用等)

	基地局装置
製造ベンダ	シャープ株式会社
台数	1台
設置場所 (屋内/屋外)	屋内
同期/準同期	準同期TDD ③
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

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)

技術実証テーマ I _電波伝搬モデルの精緻化 (1/2)

実証の目標と課題

【実証目標】

本実証では今後のDAS活用に向けた伝搬モデルの明確化を目指す。

【実証目的】

ローカル5Gエリア拡張にDASは非常に有効な技術であるが、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。該算出法を確認することは今後のDAS活用に対して非常に有意義

【技術的課題】

電波伝搬モデルについて、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が、DAS等については使用可否が明確ではない。DASによるエリア構築を行った場合のエリア算出、調整区域算出については複雑な検討が必要になる。

実証仮説

今回の実証場所については屋外であり、反射物や遮蔽物はほぼない状況なので、想定される影響は地面からの反射だけとなる。よって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する。併せて、DAS利用時の伝搬特性に、上記式の活用が可能かどうかを検証する。この時、DAS利用時の端末の受信電界強度は各アンテナの電界強度の単純な真値加算となると期待する。

実証内容

- ① DASアンテナ1局を用いた場合のカバーエリア端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

技術実証テーマ I _電波伝搬モデルの精緻化 (2/2)

実証結果と分析・考察

①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。しかし、アンテナ指向性のK値以外での要因については今後の課題といえる。

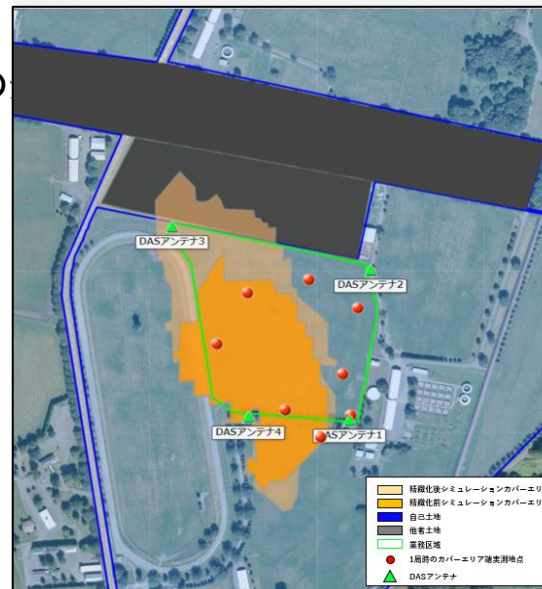
②仮説で提唱した通り、DASアンテナ4局の実測結果は各DASアンテナ単独送信の真値加算結果とほぼ近似値となる。よって、今後のDASによるエリア算出方法として、従来のエリア算出法にてDASアンテナ1局ごとにエリアを算出した上で、各DASアンテナの受信電力を真値加算、値を用いてエリア設計を実施するだけで適用可能である。

③①より求めたK(6.7dBを採用)により再計算したものと比較した場合、平均的にみるとさらに-4.7dBの誤差が発生することとなる。差が生じた要因としては、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。第2の要因として、①に記述したように斜面の影響が考えられる。上記が算出式において大きく影響を及ぼす要因となる結果が得られた。業務区域内では、DASにより複数方向から到来する電波によって死角がなくなり、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。

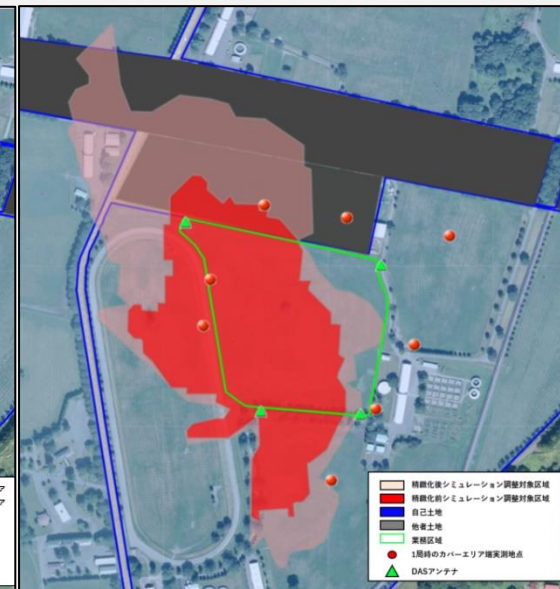
精緻化前後の業務区域、カバーエリア、調整対象区域、自己土地、他者土地

精緻化前後カバーエリア

精緻化前後調整対象区域



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

技術実証テーマⅡ_エリア構築の柔軟化 (1/2)

柔軟化の対象： 不感地対策 他者土地への電波漏洩軽減

解決方策 反射板 中継器 DAS LCX その他

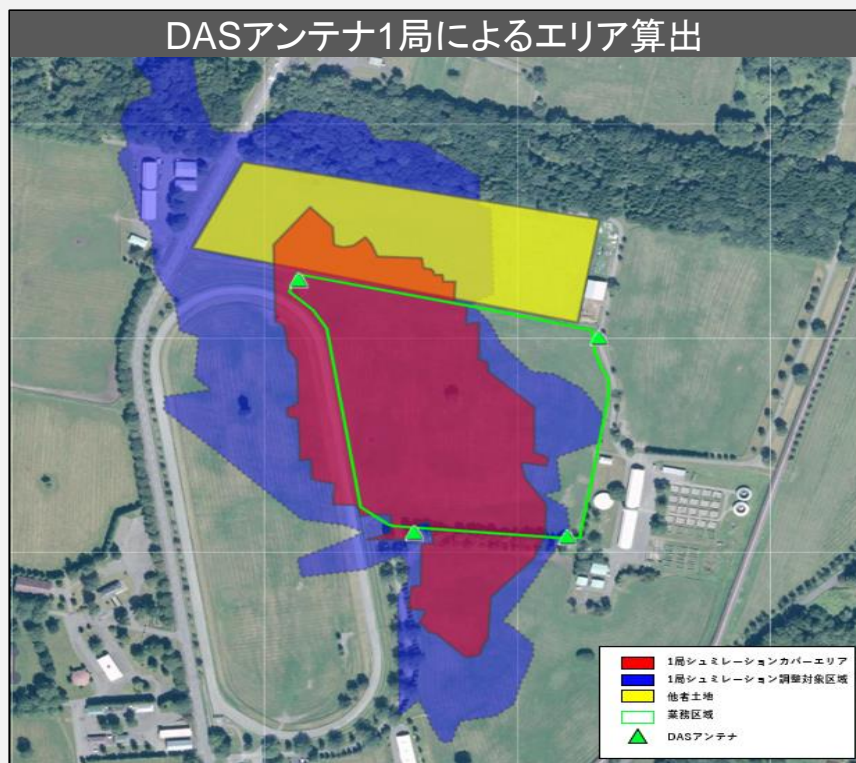
エリア構築の課題 技術的課題

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不感地帯となり、通信ができない課題がある。また、障害物等による減衰がないため、業務区域に隣接した他者土地への電波漏洩の影響を考慮した形でエリア設計・手法を十分に検討する必要がある。

上記課題の 解決方策

課題解決前：複数台の5G基地局によるエリア構築、または高出力のオムニアンテナによる広エリアカバー
課題解決後：分散アンテナシステムの複数台設置による遮蔽による不感地帯の解消と他者土地への影響を抑えるエリア設計

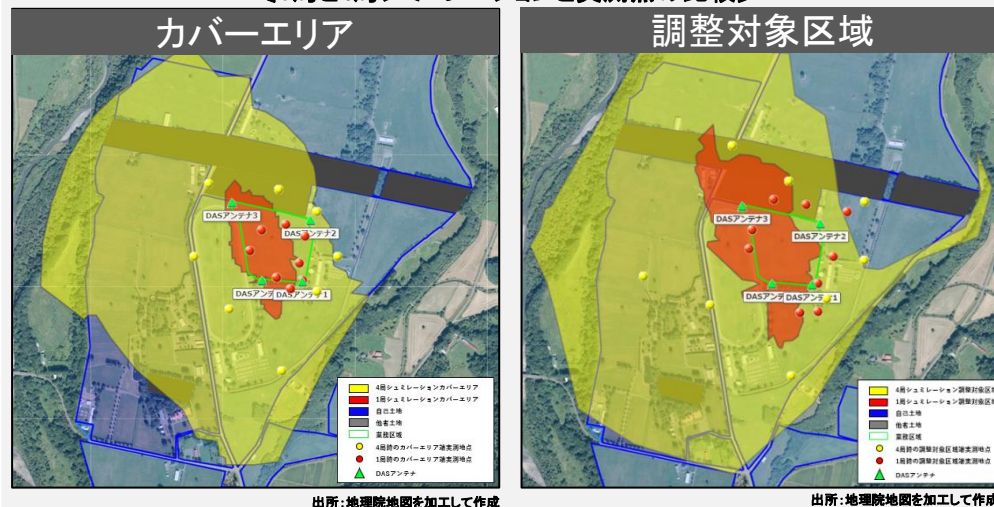
業務区域、カバーエリア、調整対象区域、自己土地、他者土地



エリア構築のシミュレーション

シミュレーション： エリア描画ツール KCAMP
主要なパラメータ： R値：0 / S値：32.5 / K値：0 / 人体損：0

〔1局と4局シミュレーションと実測点の比較〕



評価：〔4局によるシミュレーションのカバーエリア及び調整対象区域が実測点より広範囲に広がっていることがわかる。また、1局での精度は高く、ほぼシミュレーションと実測の値と同様の結果となった。複数DASでのシミュレーション精度が今後の課題である。〕

技術実証テーマⅡ_エリア構築の柔軟化 (2/2)

柔軟化の対象： 不感地対策 他者土地への電波漏洩軽減

解決方策 ■反射板 ■中継器 DAS ■LCX ■その他

実証結果



●遮蔽影響によるスルーポイント確認

業務区域内において、遮蔽が生じた場合としても、ほぼ全てのポイントにおいて目標値である40Mbps以上が観測。DAS4局を利用することで遮蔽の影響に対する効果を確認できた。

実証の成果

- ・得られた知見
- ・課題解決への貢献
- ・シミュレーション精度向上への貢献
- ・さらなる課題の提案

・本実証で得られた知見として、分散アンテナを用いた今回の解決方法は、各アンテナ間の干渉を与えないため容易なエリア実現が可能であり、遮蔽等の影響によるDASの効果により、瞬断や不感地帯を減少させることが確認できた。上記の事より広エリアにおける分散アンテナのエリア構築は有効であるといえる。

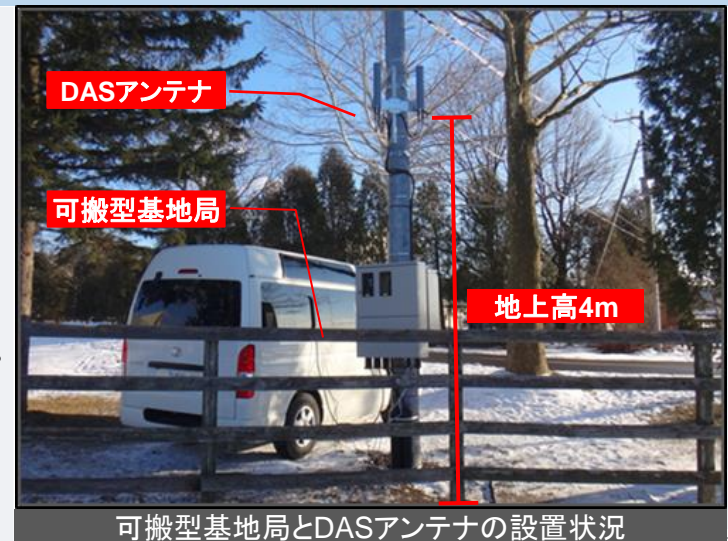
・他者土地への電波漏洩について十分な効果が見られなかったことが今後の課題として挙げられる。対策としてはセクタアンテナ設置検討時に、よりアンテナ高を高めにとり、俯角(アンテナチルト)をとることで他者土地への干渉も防ぐことが期待される。

・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、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では、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の適用であり、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ためDASは非常に有効的なエリア構築手法といえる。

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

●他者土地への電波漏洩の結果

対策前シミュレーションと対策後の実測を比較した結果、他者土地への漏洩は想定より改善が見込めなかったため、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軽減策を今後検討していく必要がある。



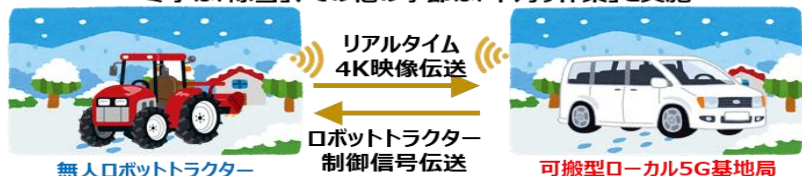
ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

■実証概要

ローカル5Gを活用したソリューションの説明

無人ロボットトラクタと可搬型ローカル5G基地局によるリアルタイム遠隔監視、遠隔操作が可能なシステムを構築

冬季は「除雪」、その他の季節は「草刈り作業」を実施



走行経路の最適化により、ロボットトラクターを用いた作業の効率化を図る



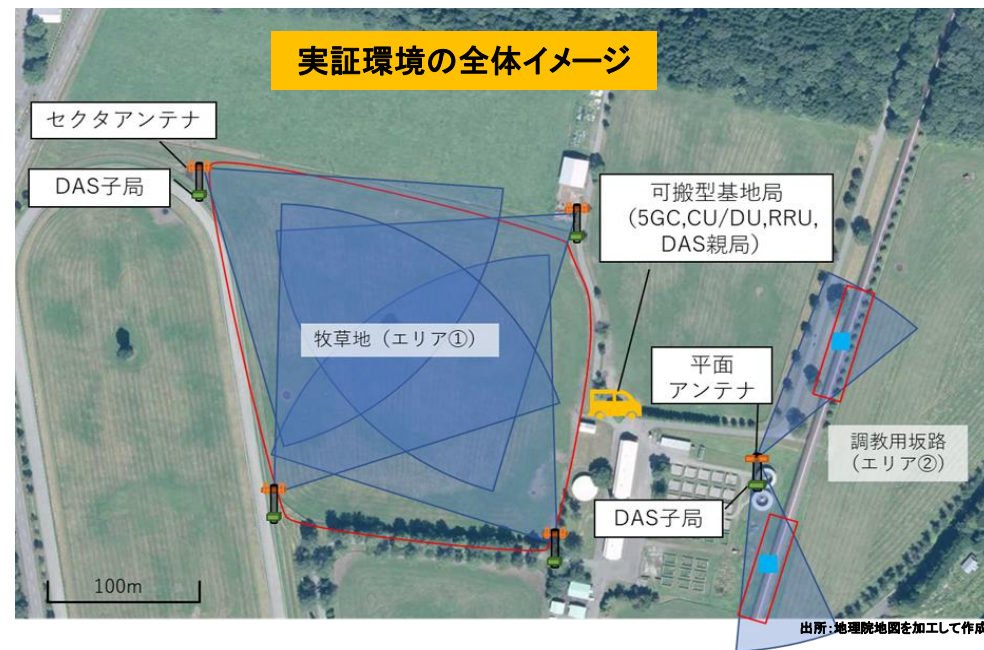
ロボットトラクターの作業状況を遠隔から4K映像で確認。停止/再発進を遠隔制御し安全性と効率化を両立

ローカル5Gを活用したソリューションの実証目標

- リアルタイム4K映像の安定的な伝送・高精細映像の有効性・解析による拡張性の検証
- ロボットトラクタの安全性の確保・作業の効率性・遠隔制御の検証
- 可搬型基地局の切り替え運用・コストセーブ・別サービスなどの多用途化の検証

実証環境

実証環境の全体イメージ



放牧地(エリア①) 6月風景



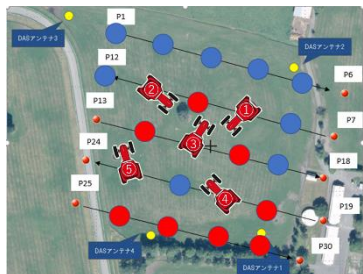
調教坂路(エリア②) 1月風景



■実証内容 ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証(1/2)

機能検証の検証方法

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
5. ロボットトラクタと基地局サーバ間の伝送遅延



出所：地理院地図を加工して作成

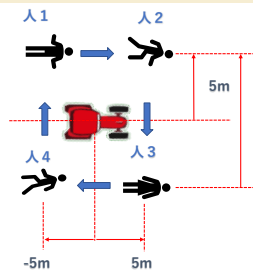
牧草地内の5ポイントでロボットトラクタ搭載カメラからの映像伝送画質確認、スループットおよび伝送遅延時間を測定

2. ロボットトラクタと基地局との距離と画質の関係
3. ロボットトラクタの移動速度と画質の関係
4. ロボットトラクタ方向転換時における映像伝送品質確認



除雪経路で自動走行させた状態で、距離・移動速度・方向転換時における映像伝送画質確認、スループットを測定

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



ロボットトラクタの周囲の人を移動させて視認性確認、広角／魚眼レンズによる効果をAI検出の認識率で比較

7. ロボットトラクタから除雪状況をリアルタイムで把握



リアルタイム伝送された除雪映像を複数名で、主観評価・アンケートにて検証

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



制御タブレットで遠隔操作で停止、モニターで状況を確認後、再スタートを実行、作業に要した時間を測定

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距離が異なる位置で人を移動させて、4K/2K/1K解像度でAI検出の精度を比較

11. 放牧地状況のAI解析による走行経路最適化の検証



自動飛行ドローンで撮影した写真からオルソ画像作成、AI解析により障害物等を避けた最適走行経路を複数案生成

9. 魚眼レンズにおける4K映像と2K映像での伝送比較
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

伝送および精度について伝送データより比較検討

運用検証の検証方法

1. 無人自動除雪作業の安定的な運用の確立
2. 無人自動草刈り作業による運用の拡張性の検討
3. 坂路育成による運用の拡張性の検討

一連の作業項目を実施、無人自動作業の課題抽出と対応ノウハウを蓄積、運用安定性を検証。運用マニュアルを完成させ牧場作業者の評価を得る



効果検証の検証方法

1. 除雪の作業効率と迅速性向上の効果
2. 草刈りの作業効率と迅速性向上の効果

有人除雪作業と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

有人草刈り作業と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

■実証内容 ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証(2/2)

検証結果サマリ

ソリューション名	評価・検証項目	目標	検証結果	目標達成	考察及び対応策	
除雪ソリューション	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	1. スループット40Mbps以上で4K映像の破綻がない	1. 平均スループット50Mbps以上を達成	1. ○	1. 各測定ポイントで目標値を上回る結果。システム安定性向上によりさらに平均スループットUPを目指す。
		2. ロボットトラクタと基地局との距離と画質の関係	2. 通信距離によらず、映像破綻がない	2. 通信距離による映像破綻はなし	2. ○	2. 実証環境内では、ロボットトラクタがどの位置にいても映像破綻はない。
		3. ロボットトラクタの移動速度と画質の関係	3. 移動速度によらず、映像破綻がない	3. 移動速度による映像破綻はなし	3. △	3. 実証環境内では、ロボットトラクタの移動速度によって映像は乱れないが、今回移動速度が遅い。
		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	4. 電波到来方向が変化し映像破綻がない	4. トラクタ機体遮蔽により映像破綻発生	4. ×	4. 端末アンテナ位置変更による改善検討実施、全エリアの基地局スループット改善が最も改善効果が高い。
		5. ロボットトラクタと基地局サーバ間の伝送遅延	5. カメラ撮影から映像表示まで3秒未満の遅延	5. 遅延約1.5秒	5. ○	5. 目標値を超える約1.5秒の遅延を達成。さらなる遅延時間短縮も可能。
		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	6. 全周囲映像で軽種馬位置を確認できる	6. 視認性をAI認識確認約83%を認識	6. ○	6. 軽種馬は慣れないとロボットトラクタに近づかない。人を配置しAI検出で視認性を確認できた。
		7. ロボットトラクタから除雪状況をリアルタイムで把握	7. 全周囲映像で除雪前・後を確認できる	7. 除雪状況確認達成	7. ○	7. 主観評価による確認。今後はどれだけの量を除雪できたかなどAI検出で数値化したい。
		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	8. 状況確認後5分以内で安全に再スタートできる	8. 約25秒で再スタート	8. ○	8. 目標を大幅に上回り、問題なくスムーズにスタートできた。
		9. 魚眼レンズにおける4K映像と2K映像での伝送比較	9. 伝送量と画質の関係で4K映像の優位点を明確化する	9. 継続検証	9. ×	9. 机上検討の範疇を出ない検証結果となった。
		10. 4K映像と2K映像でのAI画像解析の精度検証	10. 4K映像のほうが障害物検出の精度が向上する	10. 4Kが2kより約13%精度向上	10. ○	10. ロボットトラクタから距離が違う複数人をAI検出した。障害物等の条件をさらに増やして検討が必要
		11. 放牧地状況のAI解析による走行経路最適化の検証	11. ドローンで撮影し最適コースを生成できる	11. 3コース切替、自動走行確認	11. ○	11. 今後はドローンからローカル5G経由でデータ伝送し、リアルタイムで走行ルートを生成できるようにしたい。
		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	12. 高精細映像により、リルート・除雪の精度が増すこと	12. 継続検証	12. ×	12. 机上検討。AI解析用の学習データの構築に十分なりソースが確保できず精度検証まで至っていない。
	運用	1. 無人自動除雪作業の安定的な運用の確立	1. 運用マニュアルを完成し、説明会を実施する	1. マニュアル完成、暖機運転、UIに改善要求	1. △	1. 冬季は可搬基地局車両の暖機運転が必要で、ロス時間が発生。時間短縮する施策を講じる。
		2. 無人自動草刈り作業による運用の拡張性の検討	2. 運用マニュアル検討案を完成し、将来実装に向けた説明会を実施する	2. マニュアル完成、アプリUIに改善要求	2. △	2. ユーザーインターフェースに課題があり、今後実装に向けて改善、夏季における実証実験を実施予定。
		3. 坂路育成による運用の拡張性の検討	3. 坂路育成への拡張運用を検討する	3. 坂路育成への横展開を示せた	3. ○	3. 従来みられなかった視点からの映像配信で高評価。今後、収益化を狙い本格実装を検討していく
	効果	1. 除雪の作業効率と迅速性向上の効果	1. 自動除雪の作業性・迅速性を明らかにすること	1. 作業効率最大75%年間最大90万円削減	1. ○	1. 軽種馬のトレーニング目的の観点から除雪する走行経路を短縮することにより作業効率向上が可能。
		2. 草刈の作業効率と迅速性向上の効果	2. 自動草刈りの作業性・迅速性を明らかにすること	2. 作業効率最大75%向上年間最大686万円削減	2. ○	2. 冬季であったため、ローカル5Gを活用した草刈り実証ができておらず、夏季検証での最終確認を予定。

総評

- 機能検証
 - ローカル5Gを介して実証環境の牧草地内においてロボットトラクタがどこにいてもほぼ安定して4K60fps映像を遅延約1.5秒で伝送および遠隔操作できることを実証。
 - 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。暖機運転およびアプリUIに運用面での難があり、改善を要求された。
 - 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。

■実証内容 ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証(1/2)

経済性・市場性の検証

○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	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

○ランニングコスト(年)

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(可搬車両用)	0千円	80千円	80千円	80千円	80千円
保守料	1,200千円	10,370千円	10,370千円	8,219千円	6,465千円

- 有人における各コストと、本実証のコストを比較した結果、イニシャルコストでは通常のトラクタを使用する場合は「中古機」を選定する機会が多いため、コスト差が大きい。ランニングコストはシステムの保守料が大きくなるため、全体でコスト低減を行いながら導入後の効果を示していく

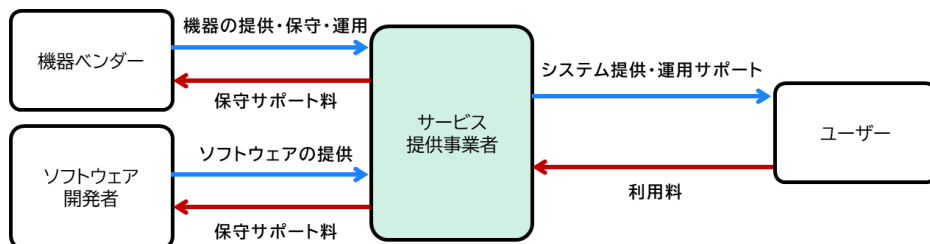
運用スキーム・ビジネスモデルの検討

- ユーザーのスキーム
 - ・各機器を稼働させるまでの準備、実際の稼働、作業撤収の一連の流れにつき、作業の時間が長く、工程も複雑である。
 - 簡単に取り扱える機材、アプリケーションの実装が必要
- 事業者のスキーム
 - ・草地管理としては夏の作業がメインであり、通年での活用を見据えると放牧地のトラブル解消を目的としたローカル5Gで伝送された映像のAI解析、放牧地以外での利用を先の展開として考える必要がある
 - ・通年で活用する場合は、特に可搬型ローカル5Gシステムが、通年の環境に耐えられ、効率良く利用できる環境を構築することが必要

■実証内容 ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証(2/2)

ローカル5G活用モデルの構築

- ターゲット
 - ・全国の牧場における草地管理
 - ・本実証で使用した可搬型ローカル5Gシステムの活用に注目した場合、以下のような他産業への展開も可能
 - ・高速道路や鉄道等の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)
 - ・複数の利用者の共有利用
- ビジネスモデル
 - ・サービス提供者がユーザーにシステムおよび運用サポートを提供し、そのシステム費用ならびに利用料を収入として得るモデル



実装性を高める手法の検討及び実行

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

- 形態の異なる牧場等での実用性
 - ・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から、その実用性について関心が高い
 - ・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」との結果であり、他の牧場や農場の事業形態に合わせて、自動化する作業内容の調査およびその課題を解決できるシステムの構築に対応していくことが必要
- 異業種への応用と運用
 - ・電波の届きにくい場所での利用や現在利用している無線システムを更新する際の通信インフラとして活用できることに期待
 - ・懸念事項はコスト。導入後の設備更新も懸念

■実証内容 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

分類	対象	課題名	課題内容	解決策
技術	伝送システム	ドローン・ロボットトラクタ間のローカル5Gデータ伝送	記録媒体によりドローンやロボットトラクタデータを人手を介して転送。手間と時間	実装時にはローカル5Gを介して、ドローン撮影データとロボットトラクタ走行データを直接自動伝送するようシステムを再構築。
		複数ストリーム伝送	2台のカメラ映像ストリームにおいて、両方が安定伝送するのに時間がかかる	1つのストリームへ利用できる帯域がすべて持っていられないように、帯域の上限を設定するなどの対策を実施。
	画像処理	リアルタイム画像補正処理およびAI解析処理	魚眼レンズ周辺の画素が歪んだままで、AI解析の処理も人手を介して時間を要する	画像補正およびAI改正処理ともにリアルタイムで処理するように、クラウドを利用するなどシステム構成を再検討する。
	ローカル5G構築	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	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。
機能	ユーザーインターフェース	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	専門でない一般の方には扱い難い 安全確認は映像で人が判断、ロボットトラクタを制御するため人の作業が中断される	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する 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、無人作業の中断を最小限にする。
	ロボットトラクタ	ロボットトラクタの走行機能補助 ロボットトラクタの応答性能改善	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 馬などが近くにいた場合は、衝突センサーが反応し、走行を止めてしまう	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 クラウドでのAI検知による自動走行のオートルートなどにより、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(数分)まで向上させる。
	ドローン	ドローンの撮影精度と操作性向上と自動飛行確立	地上に対空標識を設置する必要あり、近くで操作が必要、飛行ルートが固定	数cm単位の精度を持つRTK搭載のドローンを導入し、ルートを目視外飛行、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
運用に関する課題	ローカル5Gアンテナ	ロボットトラクタにおけるアンテナ位置確立	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てしまう	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、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
	可搬型基地局	基地局の接続性改善	光ケーブルの接続に技量を要す	光ケーブルをもっと利用しやすいものに変更、誰でもワンタッチで接続できるようにする
		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？	基地局ユニットを起動するまえに車両内の暖機運転を実施。今後、システムが収まるラック内に空調機器を導入する。
	カメラ	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	光端子のクリーニングが必要 坂路でのカメラの設置調整が頻繁には難しい。レンズの清掃作業が定期的に必要な	BBUユニットの動作温度範囲拡大および光端子から電気的な端子への変更 カメラの軽量化、ワンタッチでの接続、ジンバル機構や360度カメラによる映像切り出し。定期的な清掃だけで運用を可能とする。
除雪	除雪作業における除雪量の定量的な把握	実際にどの程度の除雪をしたのか数値的にわからない	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	
導入効果	ソリューション	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活用による坂路育成ソリューション確立	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等を活用した坂路調教育成ソリューションの実証を実施	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実証を実施 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ソリューションの実証を実施
制度	免許	DASおよび可搬型基地局の免許申請に関する準備	一般の方にとって免許申請が難解	免許申請は仲介代理人を立てて申請
普及方策	コスト	初期投資および運用費用のコストダウン	初期投資が非常に大きく回収が難しい 運用コストが大きいと導入することは困難	初期投資のコストダウン、シェアリングやサブスクリプションなどの採用 どの程度なら導入できるか判断基準を算出提示する
		広範囲での可搬型基地局のサポート提供体制構築	どう可搬型基地局で安価にできるかわかりづらい	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

■実証内容 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

[実証地域への実装]

- 令和5～7年度では、課題対応として新技術の追加開発、機能の改善、運用の簡素化、夏季での草刈り作業の実証、申請手順の構築とコストダウンを実施。また令和7年度では一部機能を実装しソリューションの実績を構築していく。令和8年度に本格実装を目指す

[農業分野]

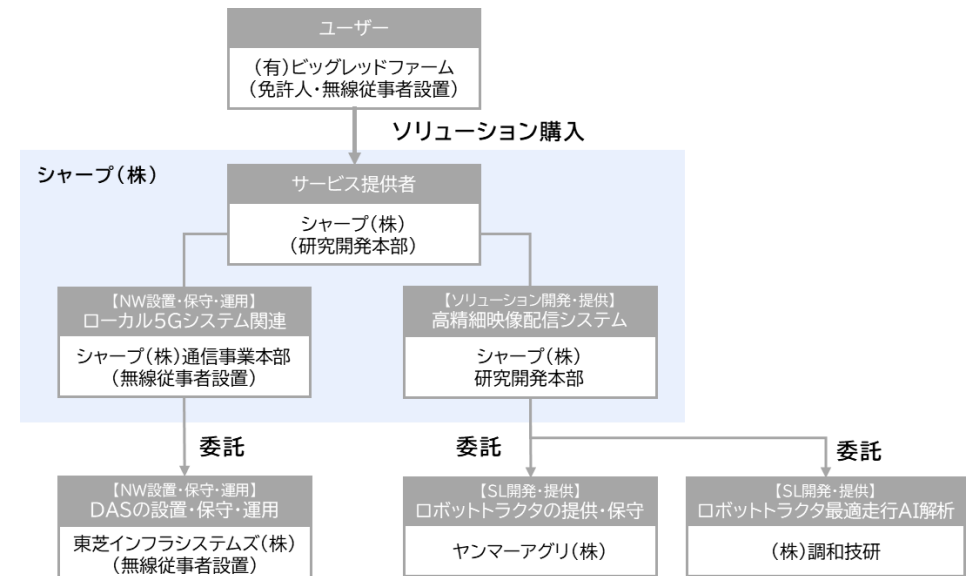
- 地方競馬場では来場者への新サービスの提供、従業員等へのレース状況のリアルタイム伝送等の可能性を検討

[農業分野以外]

- 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の利用

②実装計画の実施にあたっての実施体制

- 実証地域の実装に向けて、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する
- DASおよび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、AIについては調和技研と協力して実施していく



■実証内容 ローカル5G活用モデルの実装・普及展開

③実装計画・支出計画

		令和4年度 (2022)	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	
	ローカル5Gシステム	開発実証			実装		
	可搬型ローカル5Gシステム				他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年度比▼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年度比▼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

まとめ

まとめ

■ 技術実証

- ✓ 1km四方範囲において30~40m程度の高低差が存在する環境では“K=6.7”であった。
- ✓ DASによるエリア算出方法として、従来のエリア算出法にてDASアンテナ1局ごとにエリアを算出した上で、各DASアンテナの受信電力を真値加算した値を用いてエリア設計を実施するだけで適用可能
- ✓ 分散アンテナシステム活用により、トラクタ等の遮蔽による瞬断が低減されており、提案手法によるエリア構築が有効であることを確認。
- ✓ 従来方式と異なり、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ためDASは非常に有効的なエリア構築手法といえる。

■ 課題実証

- ✓ 冬季のため除雪作業について検証。放牧地(200m x 250m程度)の任意の地点においてロボットトラクタから遅延約1.5秒で4K60fps映像の伝送を確認。ロボットトラクタの遠隔監視および遠隔操作により、安全性を担保しつつ除雪作業の作業人数半減および作業時間半減を達成。
- ✓ 基地局を可搬型にすることで、別拠点における別用途である馬の調教映像のリアルタイム伝送を実現。他用途含め、柔軟な横展開に寄与できることを確認。
- ✓ 今後の課題として、実装に向けて、草地刈り課題対応、電波発射までの運用面改善、AI映像解析等の検討が必要。

■ 実装・普及展開

- ✓ 令和5~7年度では、夏季の草地刈りの実証、基地局等へのケーブル接続や起動のワンタッチ化(簡易化)、全経路のローカル5G伝送を実施。
- ✓ 令和8年度以降での本格導入を目指すとともに、他地域の牧場へ展開検討。