ロボット農業向け制御システムの
技術的条件等に係る調査検討報告書

令和 2 年 3 月

北海道農業 ICT/IoT 懇談会

目次

はじめに 1

1 調査検討の概要 2

1.1 調査検討の背景 2

1.2 ロボット農業の現状と課題 2

1.3 調査検討の目的 3

2 調査検討項目 4

2.1 自動走行トラクタ緊急停止等を行う制御システム 4

2.2 GNSS システムと周波数を共用する他業務無線局との離隔距離 5

2.3 農業（酪農）ビッグデータの利活用 5

3 ロボット農業の 150MHZ 帯制御信号用周波数の共用条件等 6

3.1 本調査検討の対象となる周波数 6

3.2 150MHz 帯各種業務用無線の特徴 6

3.3 ロボットトラクタの制御 7

3.4 実証試験 13

3.5 技術的条件（案）及び検討要件 27

3.6 試験結果 29

3.7 参考資料 73

3.8 ロボット農機の遠隔制御に必要な項目、許容される遅延時間等 77

4 GNSS システムの衛星測位における他の地上無線との周波数共用条件等 78

4.1 特定ラジオマイクと GNSS 信号 78

4.2 実証試験機材 83

4.3 室内試験 88

4.4 屋外試験 91

4.5 考察 101

4.6 参考資料 102

5 農業（酪農）ビッグデータの利活用について 110

5.1 農業（酪農）ビッグデータの背景 110

5.2 農業（酪農）ビッグデータ伝送システムの現状、要件及び課題整理 110

5.3 農業（酪農）ビッグデータの推進方策 111

5.4 調査資料 113

5.5 酪農現場現地調査概要 137

6 調査検討のまとめ 141
6.1『ロボット農機の遠隔制御』..... 141
6.2『農業ビッグデータの利活用』..... 142
資料編 143
資料1 北海道農業ICT／IoT懇談会要綱 143
資料2 農業のロボット化検討作業班（WG1）の設置 147
資料3 農業ビッグデータ利活用検討作業班（WG2）の設置 150
資料4 参照文献等 152
用語集 153

はじめに

北海道の主要産業である農業は、耕地面積が全国の4分の1を占め作物の多くが生産量全国一位となっており、酪農においても生乳生産量は全国の過半を賄うなど、我が国の食料の安定供給に重要な役割を果たしています。一方、農業の担い手である農家の高齢化や人口減少により労働力不足が深刻な課題となっており、農作業の省力化・効率化を図るための手段として、ICT や IoT を活用した「スマート農業」に大きな期待が寄せられています。

こうした北海道農業が抱える諸課題を解決するため、平成 30 年 7 月から、産学官の有識者を構成員とする「北海道農業 ICT/IoT 懇談会」を立ち上げ、「農業のロボット化」と「農業ビッグデータの利活用」及びその基盤となる「農地のブロードバンド整備の推進」について、検討を進めてきました。

この調査検討を通して、ロボット農機の遠隔監視・制御、RTK-GNSS、ドローンや IoT センサーからのデータ伝送など、高度なスマート農業を実現するには、「電波」が極めて重要な役割を果たしていることが改めて認識されました。また、これら無線通信システムを支えるために必要な光ファイバ等の通信基盤について、圃場や牧場においてはまだまだ整備が遅れている実情も見えてきました。スマート農業の効果を最大化するには、今後の農地での情報通信の環境整備が重要な鍵となります。

今回の検討結果を踏まえ、広く地方自治体や関係機関、関連企業・団体等が連携し、本懇談会の成果が、今後の「強い北海道農業の実現」のために役立てられることを期待しています。

最後に、ご多忙な中、本懇談会に参画いただきました委員各位をはじめ、最新事例をご紹介いただいた講師の方々、実証試験にご協力いただいた関係各位、並びに本会合に携われた全てのスタッフに対して心より感謝申し上げます。

令和2年3月

「北海道農業 ICT/IoT 懇談会」 座長

北海道大学 大学院農学研究院 副研究院長・教授　野口　伸

1 調査検討の概要

1.1 調査検討の背景

北海道の農業では、農作業の省力化・効率化を図るための手段として、「ロボット技術」や「ICT／IoT の利活用」に大きな期待が寄せられている。

「ロボット技術」においては、我が国の成長戦略である、2020 年の遠隔監視下における無人作業システムの実現に向け、農業分野でも複数の自動走行トラクタの安全管理を行うため、走行状態の遠隔監視と併せて、緊急停止等を行える制御システムの構築が喫緊の課題となっている。

広大な面積を有する北海道の農地では長距離伝送が可能であることから他局からの干渉が少ない各種業務用無線局（免許局）の利用が求められる。

また、自動走行にはGNSSを利用しているため、安全性の確保から衛星信号と他の地上無線との周波数共用関係も重要となってくる。

「ICT／IoT の利活用」の観点からは、農業各分野においての「ビッグデータの利活用」が重要となってきている。

1.2 ロボット農業の現状と課題

ロボット技術を組み込んで自動走行を行うロボット農機に関しての「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」（農林水産省）の自動化レベルの定義では、現状市販されているロボット農機は「レベル 2」までで無人走行中も使用者は、圃場内、圃場周辺より常時監視を行い、非常時は操作を実施する必要がある段階である。

「レベル 3」では、遠隔監視下においての無人走行を前提に必要な技術条件等を検討しているところであるが、工場など閉鎖空間で動作するロボットと違いロボット農機はオープンな環境で動作する必要があるため、基本的に農機が周囲を監視して、非常時の停止操作を実施するなど自律的な安全性の確保とともに遠隔から監視、制御を行うために、画像情報を送るための回線を含めた技術と共に制御方法に関しては、安全性、確実性が求められる。

先のガイドラインにおいても「4 安全性確保の原則」の 1 つとして「 (3) 多重安全の考え方」において、「ロボット農機の安全性の確保に当たっては、一つの保護方策が十分機能しなかった場合でも事故防止が図られるようにする多重安全の考え方に基づき、多重的で余裕のある保護方策を講ずること」とあるため、通信系に関しても画像など大量データを通信するネットワーク系の回線とは別に制御系に関しての通信手段を多重的に確保する方法を検討することとし、自動走行農機の「遠隔監視による無人作業」を安全に行うための、複数の自動走行農機の緊急停止等を行う制御システムが求められる。

1.3　調査検討の目的

自動走行農機の緊急停止等を行う制御システムについては、圃場内での有人監視下におけるトラクタの制御には主に920MHz帯特定小電力無線などが使用されているが、遠隔地から移動中の複数のロボット農機を確実に停止させる必要があり広大な面積を有する北海道の農地では長距離伝送が可能で、他局からの干渉が少ない条件として400MHz帯よりも伝送距離が長く、RTK-GNSSシステム（400MHz帯）との混信等の可能性が低い、150MHz帯の各種業務用無線局（免許局）の利用について調査する。

GNSS システムの衛星測位における他の地上無線との周波数共用については、放送などで使用する 1.2GHz 帯ラジオマイクとの干渉により自動走行に支障を来す事例もあることから、GNSS システムとの周波数共用について調査を行い、安全な自動走行の確保を目指す。

酪農分野では、乳牛の健康情報、行動情報、乳量情報等を収集し、AI活用による生産性向上や省力化が期待されている。特に北海道ではメガファームと呼ばれる大規模経営が増加しており、牛舎には監視カメラやセンサー、給餌ロボット等様々なICT機器が活用されている。これらには無線システムが必要不可欠であり、酪農分野での監視・制御の現状や営農支援に適切な通信システムの選択が可能となる通信要件を調査する。

作業班としては、「農業のロボット化検討作業班（WG1）」では、ロボット農機、地上無線との周波数共用についての調査検討を、「農業ビッグデータ利活用検討作業班（WG2）」
では、酪農分野の調査を行う。

2 調査検討項目

2.1 自動走行トラクタ緊急停止等を行う制御システム

2.1.1　机上での検討

今後の遠隔監視にあたって、緊急停止のほか必要な制御項目について調査し必要なデータ量や通信頻度、許容遅延について取りまとめ、1 波あたりのトラクタ収容局数を想定・提案する。

（1）トラクタの遠隔制御に必要な条件

① トラクタの遠隔制御に必要な機能を調査・整理し、制御に必要なデータ伝送容量を取りまとめる。

② 遠隔制御で許容される遅延時間、呼損率を取りまとめる。

③ 想定される運転状況から通信トラフィックモデルを作成し、1波あたりの収容局数を提案する。

（2）以下の観点から制御方法及び通信方式の検討・提案を行う。

① 1波あたりの収容局数を増やすための方式

② 多くのトラクタに対して制御を伝送するための方式

③ 廉価に構成する方式

④ 二周波方式の必要性

⑤ MCA方式の必要性

⑥ 遠隔制御の信頼性向上のため、より確実に制御を伝送するための方法

⑦ その他必要な事項

2.1.2　室内試験

150MHz 帯制御用無線機の特性の測定・評価

（1） 受信感度特性（BER1%受信感度、感度点付近での BER 特性、BER とデータ伝送エラー率）

（2） データ伝送スピード及び遅延

（3） 干渉特性（同一周波数、隣接・近接周波数、相互変調）

2.1.3　屋外試験

周波数の繰り返し距離等の共用条件について、制御基地局より半径 5 ㎞及び 20km のエリアをカバーする空中線電力及び地形等の影響や不測の事態等を考慮し、確実な通信が行えるようマージンを加えた空中線電力で電波伝搬特性を調査し、周波数の繰り返し距離や回線設計におけるマージン等考慮すべき事項を提案し、空中線電力の指針を取りまとめる。

（1） モデルエリアを選定し、受信信号強度（RSSI）及びビットエラー（BER）を測定する。（岩見沢市の既存の基地局（RTK-GNSS）又は岩見沢市北村支所を想定）

（2） 遮蔽物の影響（倉庫、農家、ビニールハウス、防風林、低層ビル）を調査する。

（3） 地形の影響（高低差、丘陵、山、河川、水田）を調査する。

（4） 車体のゆれの影響、走行スピードによるフェージングの影響を調査する。

（5） ダイバーシチの効果について、調査する。

（6） 総合試験（公開実証試験を含む。）は、150MHz帯制御用基地局を設置してデータ伝送を行い、1波の運用で複数トラクタの制御が可能かの実証を行う。

2.2 GNSS システムと周波数を共用する他業務無線局との離隔距離

2.2.1 特定ラジオマイクと GNSS 信号

特定ラジオマイク A 型（1240～1252MHz、1253～1260MHz）と周波数を共用している GLONASS L2 帯信号（1242.9375～1248.625MHz）GNSS 信号との関係等を確認。

2.2.2 実証試験機材

実証試験に使用する機材の検討。

2.2.3 室内試験

室内において衛星信号とラジオマイク信号の混信による影響度を調査する。
試験空間に制限があるため、信号レベル調整により距離を推測する。

2.2.4 屋外試験

屋外においてラジオマイクと GNSS 受信機間の距離を変化させて影響を調査する。
衛星配置、外来ノイズなど環境の影響を調査しながら実施。

2.2.5 離隔距離

試験結果から、原因の調査、離隔距離の検討、共用時の対策などの検討を行う。

2.3 農業（酪農）ビッグデータの利活用

2.3.1 農業（酪農）ビッグデータ伝送システムの現状、要件及び課題整理

酪農の現状調査を行い、どのような情報があり、どのように集めて、どのように活用するかについて整理を行い、課題を抽出する。

2.3.2 農業（酪農）ビッグデータの推進方策

データを収集するための通信環境、収集したデータの蓄積、利用について検討する。

3 ロボット農業の 150MHz 帯制御信号用周波数の共用条件等

3.1 本調査検討の対象となる周波数

本調査検討では、表 3-1 および図 3-1 に示す各種業務用データ専用デジタル波の利用を想定している。

表 3-1　150MHz 帯各種業務用データ専用デジタル波

周波数	電波の型式	占有周波数帯幅の許容値 [kHz]	最大空中線電力[W]	用途	使用区域
151.3125MHz から 153.35MHz までの 6.25kHz 間隔の周波数 7 波	F1E F1D G1E G1D	5.8	50	各種業務用	全国

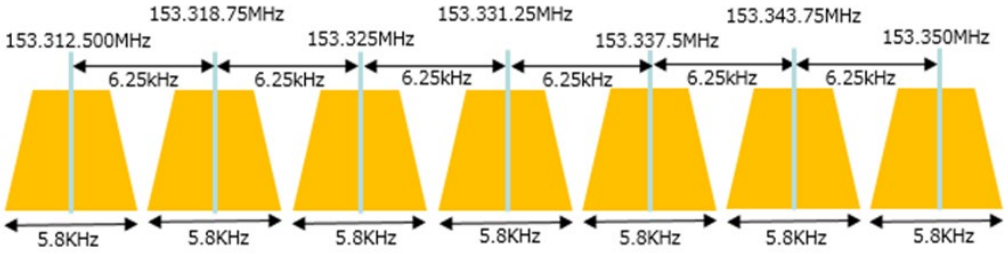


図 3-1　150MHz 帯各種業務用データ専用デジタル波の周波数配置

3.2 150MHz 帯各種業務用無線の特徴

3.2.1 専用周波数の自営無線

150MHz 帯各種業務用無線をロボットトラクタの制御に利用するためには、無線従事者資格（第三級陸上特殊無線技士以上）および無線局免許（基地局、陸上移動局等）が必要となる。無線局免許の申請時には、使用する場所や周波数などが審査されるため、原則として混信妨害がない周波数が割り当てられる。無線 LAN や簡易業務無線のように周波数を共用していないため、他局の通信終了待ちや混信回避をする必要がなく、即時性や確実性を求められる用途に好適である。

基本的に自所有の設備でシステムを構築し（自営）、IP 網や電話網などのインフラに頼らない構成とすることができるため、災害に強いシステムとすることができ、回線使用料などのコストも抑えられる。

3.2.2 空中線電力

無線従事者が管理し、無線局免許を受けて開設するため、必要に応じて最大 50W という高い空中線電力が許可される。

3.2.3 伝搬の特性

携帯電話や無線 LAN の 1/10～1/30 程度という低い周波数のため以下のような伝搬特性をもつ。

- 伝搬損失が小さく遠くまで伝搬する。
- 山や丘などの影の部分に電波が回り込む回折が強く、見通せない場所にも伝搬する。
- 建物や森林による減衰が小さく、透過しやすい。
- 降雨、降雪、霧、雲などの気象条件の影響を受けにくい。

3.2.4 デメリット

空中線の大きさは周波数に反比例するため、比較的大きい空中線が必要。移動局用 1/4 ﾎｲｯﾌﾟで約 50cm、基地局用は利得により 1～数 m となる。

150MHz 帯では、広い周波数帯幅をとることが困難なため、データ伝送速度を高くすることができず、画像などの高速伝送は困難である。

3.3 ロボットトラクタの制御

3.3.1 制御内容と条件

ロボットトラクタ（以下、トラクタと表記）の緊急停止制御に関し、現状では明確な要求仕様がないため以下のような条件を想定する。

- 許容遅延時間：1 秒程度
  平成 30 年度の本懇談会において、トラクタの停止信号の許容遅延時間は 1 秒以内と仮定している。
- システム収容局数（制御するトラクタの台数）：20 台以上
  平成 30 年度の本懇談会において、トラクタの制御台数は、半径 10km 範囲に 10 台と仮定している。後述のシステムモデル（半径 14.1km）に換算すると面積比で 20 台となる。
- 呼損率：1%以下
  停止制御を確実に実行するために、制御の信頼性を理論上 99%以上確保できることを目標とする。

上記条件は、絶対的なものではないことから、以降の検討では条件緩和による効果なども検討する。

3.3.2 制御方法

単一の回線で複数のトラクタを停止する場合、下記のケースが想定される。

- 単独のトラクタのみを停止させる（トラクタの遠隔監視上、当該トラクタに危険を認め停止させる場合など）
- いくつかのトラクタを一度に停止させる（ある圃場において危険を認め圃場内の複数のトラクタを停止させる場合など）
- 範囲内の全トラクタを一斉に停止させる（緊急地震速報などにより全トラクタを一斉停止させる場合など）

トラクタの停止制御を行う手段は多数考えられるが、以下に代表的な手法を検討する。

(1) 無線信号を受信したら停止する方式

列車防護無線のように、当該チャネルで緊急停止信号を受信したら停止制御をおこなう方法。混信や誤動作防止の観点から、緊急停止信号には識別コード等を搭載することが望ましい。

基地局からの制御は一斉停止しかできないが、制御はシンプルでフェージング等の伝搬障害に強く遅延時間も短くできる。また、緊急停止ボタンのような小型低出力の送信機などを圃場周辺に置くことで目撃者等による緊急停止も可能。制御台数に制限がなく、トラクタ追加時なども特段の設定が不要である。

通常回線が使用不能など、緊急事態の最終手段として構築する場合は有効と考えられる。

(2) 制御信号に宛先を設定して制御する方式

トラクタ停止を制御する 1 バイト程度の情報に宛先を付けて送信し、当該宛先のトラクタのみが停止処理を実施する方法。

個々のトラクタを指定する宛先が必要となる。複数のトラクタを制御する場合、個々に処理をすると遅延時間が増大するため、トラクタをグループ化してデータ伝送するためのグループ ID が必要。停止する複数トラクタの組み合わせ数分必要となる。たとえば、トラクタ 10 台の全組み合わせのグループ ID は、10 ビット 1024 個必要となり各トラクタは 512 のグループ ID を待ち受ける必要がある。現実的には、すべての組み合わせに対応する必要性は低く、個々のトラクタのほかは、同一圃場で稼働するグループおよび一斉停止があればよく、グループ数は数個でよいと想定される。

個々のトラクタが宛先の場合は、トラクタから ACK（データ受領応答）を返送することができるが、グループ宛の場合は衝突が発生するためできない。

(3) データの順序で制御する方式

一斉伝送でデータ列を伝送し、そのデータ列のうち何番目のデータが自トラクタに該当するかをあらかじめ設定しておき停止制御を行う方法。

システムに収容するトラクタの台数が増えるとデータ列が長くなるが、1 ビット単位でトラクタに割り当てれば、遅延時間を短縮できる。

3.3.3 二周波方式の必要性

基地とトラクタの送信周波数を異なる周波数とする二周波方式（基地＝複信、トラクタ＝単信の半複信方式）の場合、基地側は、トラクタからの送信によって制御信号伝送を阻害されないため、トラクタから短時間のデータ送信（位置情報、状態情報など）が可能となる。ただし、送信中のトラクタに対しては基地からの制御信号伝送が受信されないため、再送などの制御が必要となる。

主制御回線が使用できない非常時などに状態を把握する必要がある場合に好適である。

3.3.4 MCA（マルチチャンネルアクセス）方式の必要性

複数の通信チャネルを基地局で管理して通信ごとに割り当てて使用（複数のユーザーでチェンネルを共同利用）するMCA方式の場合、通信頻度が高いシステムで収容局数を増大する目的には有益だが、チャネル割り当てのための制御通信が発生するためそれ自体で 1 秒程度の遅延時間が生じ、トラクタの緊急停止のような低頻度短時間通信にはなじまない。

3.3.5 信頼性向上

緊急停止制御という性質上、より確実に制御を伝送する必要があり、制御系として独立したネットワークを追加し、多重的に確保することが重要。

3.3.5.1 誤動作の回避

デジタル伝送として、チェックサムや CRC といったエラー検出技術は必要不可欠といえる。加えてエラー訂正機能の搭載が望ましい。

3.3.5.2 混信の回避

電離層等の異常伝搬や相互変調等により、システム外から飛来する信号による誤動作を防止するため、識別信号の確認、ホワイトニング（スクランブル）コードの利用、暗号化機能の利用などを検討することが望ましい。

3.3.5.3 伝送エラーの回避

無線伝送には、以下のような不確実な要素が存在する。

- 移動する物体（車など）による減衰や反射
- 建造物や地形などによる減衰や反射（気温や天候により変化）
- トラクタが移動することによるフェージング
- 混信妨害
- 人工ノイズや落雷等のノイズ

伝送エラーを低減するために以下のような対策を検討することが望ましい。

- ダイバーシチ
  - 空間ダイバーシチ
    複数のアンテナ（車両の前後に設置等）で同時に受信した信号の良好な（信号レベルの高い）方を切り替えて利用する選択方式、2 つの信号の位相を調

整し最大の信号強度を得る最大比合成方式などがある。受信機の構成が複雑になりコストがかかる傾向がある。

- 時間ダイバーシチ
  制御信号データを複数回連送、トラクタからの受領応答がない場合に再送するなど、制御信号を時間的に離れた状態で複数回伝送する方法。ソフトウエアによる構成が可能で比較的低コストで実現できる。
- 周波数ダイバーシチ
  周波数が異なるとフェージングやノイズの影響が同じ時間場所でも異なる。異なる周波数による同時伝送を用いることで伝送エラーを低減させる方法。送信機受信機ともに対応が必要でコストがかかり、周波数利用効率が悪い。

- マルチパス対策
  - 指向性アンテナ
    反射して到達する信号の影響を低減させるため、送信基地局に指向性アンテナを用い、反射物（山など）方向の信号を弱くする方法。回線設計、実地電測が不可欠で工事工数が大きくなる。
  - 受信等価器、レイク受信など
    受信機の内部処理で反射波を識別し、移相した信号を合成して排除する高度な方法。受信機の構成が複雑になりコストがかかる。

3.3.6 廉価に構成する方式

システム構築ごとに無線機を設計製造するよりも市販されている機材を利用する方が低廉にシステムを構成できる。データ伝送に適用可能な業務用無線として、狭帯域デジタル方式の一つである 4 値 FSK 変調方式が広く普及しており、民間標準規格として ARIB STD-B54 (放送事業用4FSK 連絡無線方式)、あるいは ARIB STD-T102(狭帯域デジタル通信方式：SCPC/4 値 FSK 方式）が策定され、実用化されている。 本調査検討では、前者の ARIB STD-B54 を参照し、前述の 3 つの制御伝送方法について、この方式を用いた場合の構成例を示す。

(1) 無線信号を受信したら停止する方式

識別可能なデジタルデータフレームを連続して送信する方式。ステータスメッセージの連送、ロングデータメッセージなどを数秒程度送出する。

デジタルデータフレームには、宛先、発信者番号、ユーザコード（コードが一致した通信のみを対象とする。受信機に 0 を設定するとすべてのコードを通信対象とする）、暗号化処理が付加できる。また、ホワイトニング（スクランブル）コード（512 通り）が設定でき、このコードが一致しない信号はデジタルデータとして認識できない。

システムごとにホワイトニング（スクランブルコード）、ユーザコード、暗号化コード（32768 通り）を設定することで、誤動作、混信が回避できる。

トラクタ側では、受信した信号のデジタルデータの内容が解読できた場合に停止処理を実行する。

フレーム1	フレーム2	フレーム3	フレーム4	フレーム5	・・・
384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	

図 3-2 無線信号を受信したら停止する方式

(2) 制御信号に宛先を設定して制御する方式

ARIB STD-B54 のステータスメッセージを参照した検討結果を示す。ステータスメッセージは、80ms×3 フレームの送信で 1~207 の状態番号を伝送するメッセージ機能である。メッセージ 100 番を「停止」と定義し、メッセージの宛先をグループ ID（1~65519 および一斉）とすることで 1 回の送信で任意の複数トラクタを制御できる。複数トラクタの組み合わせグループ数を少なく（20 程度まで）構成すれば、1 周波に収容できる台数に制限はない。

基地局側の制御装置は、農家等の監視場所からの停止指示に応じた宛先グループ ID を設定する必要がある。

フェージング等による伝送失敗の確率を下げるため、2 回から 3 回パケットを連送る。後述の室内試験では、ステータスメッセージの伝送に約 0.35 秒の伝送遅延が確認されたが送信時間は約 0.25 秒であり、2 回連送時の最大遅延時間（制御開始から 2 回目のデータが受信され終わるまで）は 0.6 秒、3 回連送時の最大遅延時間は 0.85 秒（いずれも 1 回目で受信できれば遅延は 0.35 秒）となり、目標の 1 秒以内に制御できる。

ヘッダ フレーム	データ フレーム	終話 フレーム	ヘッダ フレーム	データ フレーム	・・・
384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	
←————	1 メッセージ	————→	←————	1 メッセージ	

図 3-3 制御信号に宛先を設定して制御する方式

(3) データの順序で制御する方式

ARIB STD-B54 のベアラ通信を参照した検討結果を示す。ベアラ通信は、任意のバイト数のコード（00-FF）を伝送できる機能である。

伝送するデータ列の各ビットを各トラクタに割り当てる。データの先頭、終わりを識別するために、先頭を 11xxxxxx、中間を 0xxxxxxx、最終を 10xxxxxxb とし、x のビットに順番にトラクタを割り当てる。先頭データで 6 台、中間データ 1 バイトあたり 7 台（中間データのバイト数を増やすことで増設可能）、最終データで 6 台を制御する。たとえば 50 台を制御するには、合計 8 バイトのデータが必要。

ビットは、0 を通常とし、自局に対応したビットが 1 のデータを受信したトラクタは停止処理をする。制御データを 2 回または 3 回連送する。

後述の室内試験では、ベアラ通信（15 バイト）の伝送に約 0.38 秒の伝送遅延が確認されたが送信時間は約 0.25 秒であり、2 回連送時の最大遅延時間（制御開始から 2 回目のデータが受信され終わるまで）は 0.63 秒、3 回連送時の最大遅延時間は 0.88 秒（いずれも 1 回目で受信できれば遅延は 0.38 秒）となり、目標の 1 秒以内に制御できる。

15 バイトに収容できるトラクタは、103 台となる。34 バイトとすれば、トラクタは 236 台収容でき、室内試験で伝送に約 0.46 秒の伝送遅延が確認されたが送信時間は約 0.33 秒であり、2 回連送時の最大遅延時間（制御開始から 2 回目のデータが受信され終わるまで）は 0.79 秒、3 回連送時の最大遅延時間は 1.12 秒（いずれも 1 回目で受信できれば遅延は 0.46 秒）となり、制御最大遅延時間の 1 秒を緩和すれば制御できる。

ヘッダ フレーム	データ フレーム	終話 フレーム	ヘッダ フレーム	データ フレーム	・・・
384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	
←—————	1 メッセージ	————→	←—————	1 メッセージ	

図 3-4 データの順序で制御する方式（15 バイトデータ 103 台収容）

ヘッダ フレーム	データ フレーム	データ フレーム	終話 フレーム	ヘッダ フレーム	データ フレーム	・・・
384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	384 ビット 80ms 長	
←——————1 メッセージ——————→				←—————	1 メッセージ	

図 3-5 データの順序で制御する方式（34 バイトデータ 236 台収容）

3.4 実証試験

3.4.1 実験試験局の諸元

3.6.1 に示す実験試験局 4 局を開設し試験を実施した。

3.4.2 室内試験

3.4.2.1 無線機の基本性能確認、受信感度特性（BER1%受信感度、感度点付近での BER 特性）

実証試験に使用可能な性能であることを確認した（**3.6.2 室内試験（1）～（4）**）。

3.4.2.2 BER とデータ伝送エラー率の測定

BER の悪化にともなって伝送エラーが多くなる傾向がわかった（**3.6.2 室内試験（5）**）。

3.4.2.3 データ伝送スピード及び遅延の測定

データ伝送パケットのフレーム数が最も少ない 3 フレームの場合、処理時間を含め 0.4 秒前後の遅延が生じる結果にあった。伝送スピードは、信号伝送速度 4800bps に対しデータパケットの構成により異なる結果となった。（**3.6.2 室内試験（6）**）

3.4.2.4 干渉特性（同一周波数、隣接・近接周波数、相互変調）

BER＝1%を維持できる妨害耐性性能がわかった。また、BER=0.01%を基準とした場合には 3dB 程度の差が出ることがわかった。同一周波数干渉の BER=0.01%時の D/U が 13dB だった。（**3.6.2 室内試験（7）～（9）**）

3.4.3 屋外試験

岩見沢市北村支所を基地局として、北側美唄市砂川市方面、南側北広島市千歳市方面、西側石狩市方面の半径約 50km の広範囲なエリアにおいて、約 2 秒ごとにデータを取得し、様々な走行速度で約 5 万か所の測定を実施した。（**3.6.3 屋外試験**）

3.4.3.1 モデルエリアでの信号調査

50W では広範囲に信号が届くことが認められた（**3.6.3 屋外試験(2)試験方法 ①**）。

送信出力の増減に応じて受信レベルが増減することが認められた（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法①**）。

3.4.3.2 遮蔽物の影響調査（ビル低層、防風林、ビニールハウス、農家、倉庫）

建物により信号レベルが低下（ビットエラー率が上昇）することがあった（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法②**）防風林、ビニールハウスは、顕著な差が認められなかった（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法②**）。

建物の影響があるが、透過または回折して伝搬するためレベル低下を考慮すれば使用可能であると考えられる。

3.4.3.3 地形の影響調査（水田、河川、山、丘陵、高低差）

水田に見立てた池、河川の影響はみられなかった（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法③**）。山、丘陵および土手は伝搬に影響する（山上は信号が強まる、山陰は信号が弱まる）が、回折等により影となる部分にも伝搬することがわかった（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法③**）。

遅延型マルチパスとみられる現象が確認された（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法③**）。

水面による伝搬への影響は小さいと考えられる（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法③**）。

地形は伝搬に大きな影響を与えるため、考慮したエリア設計が必要となる。

遅延型マルチパスは、机上回線設計では見つけにくい。指向性アンテナ等での対策が必要となる。

3.4.3.4 フェージング調査（走行スピードによる車体ゆれの影響）

車体のゆれの影響は、わずかに確認されたが、受信品質に大きく影響するものではなかった（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法④**）。

走行スピードによる影響は認められなかった（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法④**）。

モデルエリアでの信号測定では、移動に応じて信号レベルやビットエラー率が上下するフェージング現象がみられた（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法④**）。

3.4.3.5 ダイバーシチ調査

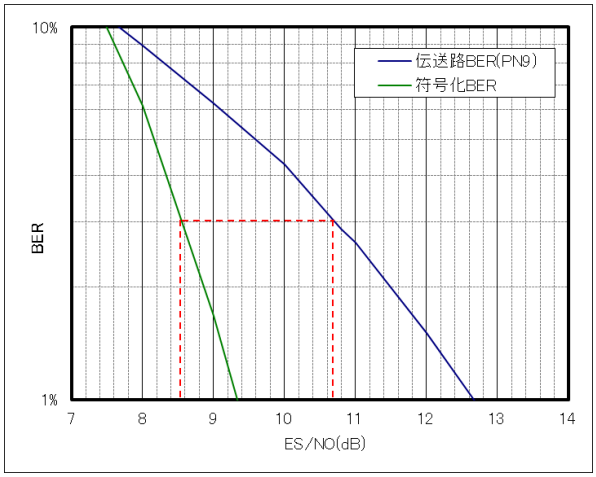
最大比合成方式ダイバーシチは、フェージングに対する大きい改善効果が期待されることが認められた。選択方式ダイバーシチは、最大比合成方式に比べ効果は小さいがフェージングに対する効果が期待されることが認められた（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法⑤(i)**）。

単純合成方式のダイバーシチは位相（基地局方向）により信号レベルの増大に寄与するが、フェージングに対する効果は小さいことがわかった（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法⑤**(ii)）。

3.4.4 考察

3.4.4.1 呼損率と BER および所要受信機入力電力の関係

3.3.1 **制御内容と条件**において、呼損率目標を 1%以下とした。トラクタの停止制御を実施した時、目標時間内に制御を成功できない確率が 1%以下となることと考えると、受信機特性のほか、データ伝送方式についても考慮する必要がある。**3.3.6 廉価に構成する方式**のような伝送方法を想定した場合、各フレームにはエラー訂正を行う符号化処理（符号化率 1/2 畳み込み符号拘束長 5）がなされている。その訂正能力は BER=3%時の静特性シミュレーション値（**図 3-6**）で符号化利得（符号化しない PN9 データ列による伝送路 BER に対してエラー訂正符号化したデータフレームの BER の所要信号強度差）約 2.2dB である。動特性（ドップラー周波数 3.3Hz＝時速 24km/h @150MHz）時は約-0.8dB である（**図 3-7**）。高 BER 時の動特性では符号化による利得がマイナスとなる傾向がみられる。今回の検討では回線設計上、符号化利得は見込まない条件とする。



シミュレーション条件

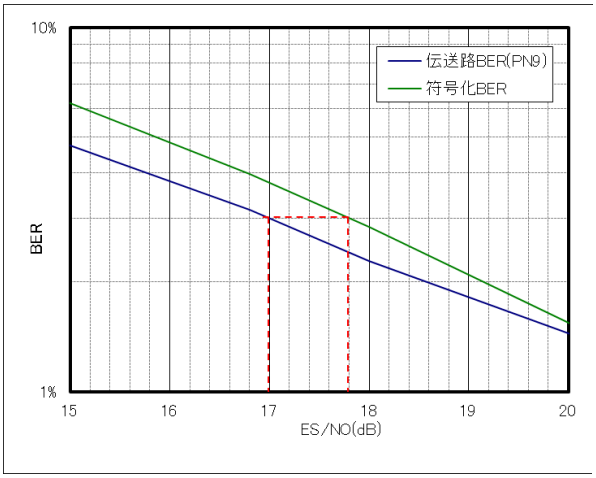
フェージング:なし(静特性)

変調パラメータ:ARIB STD-T102 第 2 編

符号化フレーム構成:

ARIB STD-T102 第 2 編 FACCH2

図 3-6 静特性での符号化利得



シミュレーション条件

フェージング:f_D=3.3Hz

変調パラメータ:ARIB STD-T102 第 2 編

符号化フレーム構成:

ARIB STD-T102 第 2 編 FACCH2

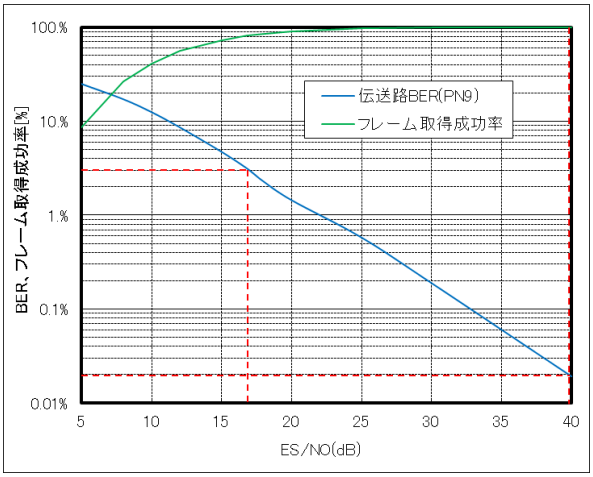
図 3-7 動特性での符号化利得(f_D=3.3Hz)

電波法関係審査基準では、目標 BER を音声通話メリット 3、エラー訂正および音声コーデック能力を勘案して 3%としている。本検討のトラクタ制御はデータ伝送であり、データの一部欠落は許容されない。(2)、(3)の方式では、3 フレームないし 4 フレームの連続したフレーム(パケット)を完全に受信する必要がある。4 フレーム連続のデータフレームを 99%以上の確率で受信するためには、フレームあたりの取得成功率(384 ビット 80ms のデータフレームをエラー訂正を含めて正しく復元できる確率)は 99.75%以上必要となる。

図 3-8 に示すシミュレーション(動特性ドップラー周波数 3.3Hz)で、フレーム取得成功率が 99.75%となるのは、BER=約 0.02%時であり、Es/No(信号エネルギー対雑音電力密度比)が約 40dB のときである。4 値 FSK 方式の C/N は、

C/N＝Es/No－2.2

の関係があるので、所要 C/N は約 38dB となる。この値は、電波法関係審査基準の基準 C/N=16dB に対して 22dB の所要改善量が必要であることを示している。



シミュレーション条件

フェージング：f_D=3.3Hz

変調パラメータ：ARIB STD-T102 第 2 編

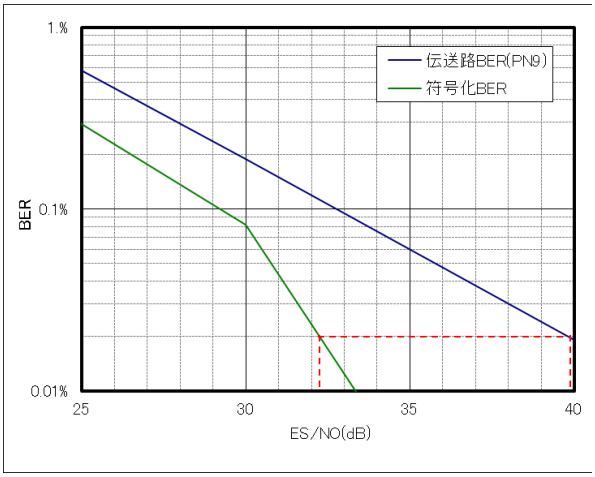
符号化フレーム構成：

ARIB STD-T102 第 2 編 FACCH2

1 フレームのビット数：384

図 3-8 動特性でのフレーム取得成功率（f_D=3.3Hz）

3.4.2 室内試験においてフェージング時の BER=3%感度は約-116dBm、BER=0.02%感度は約-93dBm（f_D=4.2Hz）から約-99dBm（f_D=0.7Hz）とフェージングの周波数によって異なり、ドプラー周波数が低くなると静特性に近づく傾向を見せる。この感度差（23dB@ f_D=4.2Hz、17dB@ f_D=0.7Hz）はエラー訂正なしの場合の所要 C/N の所要改善量を示していると考えられる。BER=0.02%時の符号化利得は約 7.8dB である（**図 3-9**）。この利得を考慮すると、試験結果による所要改善量は、それぞれ 15.2dB@ f_D=4.2Hz、9.2dB@ f_D=0.7Hz となる。シミュレーション結果による所要改善量に比較して値が小さいのは、シミュレーションが固定劣化を含まない理論値であり、今回用いた試験無線機との差異によるものと考えられる。



シミュレーション条件

フェージング：f_D=3.3Hz

変調パラメータ：ARIB STD-T102 第 2 編

符号化フレーム構成：

ARIB STD-T102 第 2 編 FACCH2

図 3-9 動特性低 BER での符号化利得（f_D=3.3Hz）

以上より、BER 目標値はフェージング時 0.02%と設定する。
シミュレーションによる所要 C/N 改善量 22dB（f_D=3.3Hz、24km/h@150MHz）を採用し、

電波法関係審査基準の所要 C/N=22dB（固定劣化 6dB を含む、BER=3%時、基準 C/N=16dB）の値に 22dB を加えた所要 C/N=44dB、所要受信機入力レベル 14.5dBμV（-98.5dBm）の値に 22dB を加えた 36.5dBμV（-76.5dBm）を基準とすることが望ましいと考えられる。

3.4.4.2 場所率マージン

一方、圃場におけるデータ伝送失敗の主要因はフェージングによる所要受信機入力電力低下にあると考えられることから、場所率の観点で検討する。一般にフェージングは、瞬時値変動（建物等で反射、回折されたあらゆる方向からの多数の信号がランダムに合成されて生じる変動＝移動速度に比例した変動速度）、短区間変動（建物や地形などの遮蔽物に起因する場所的変動＝比較的穏やかな変動速度）、長区間変動（基地局との距離による変動）に分けられる。

3.6.3 屋外試験では、走行速度による大きな差異がみられなかったが、これは、無線機の RSSI 測定機能が 2 秒ごとであり、瞬時値変動に対して長い時間間隔で測定したためと考えられる。試験結果（**3.6.3 屋外試験（2）試験方法④**）を見ると、80m 程度の区間の走行で、場所によって BER の低下が確認されるが、瞬時値変動（レイリーフェージング）によるものと考えられる。

このようにフェージングによる劣化は、場所により発生する。所要サービスエリアの何%の場所で通信を可能とするかが場所率である。**表 3-2** に場所率による所要レイリーフェージングマージン（場所率マージン）の計算結果を示す。

表 3-2 場所率と場所率マージン

サービスエリア全体のカバー率[%]	99.8	99	97	95	90	85
サービスエリア周辺のカバー率[%]	99	96	89	84	71	60
場所率マージン[dB]	14	10.5	7.5	5.9	3.3	1.6

電波法関係審査基準では、サービスエリア全体のカバー率を 90%と設定し、場所率マージン 3dB が用いられる。サービスエリア全体のカバー率を 99%とした場合の場所率マージンは 10.5dB だが、サービスエリア周辺のカバー率（サービスエリアの中で一番遠いエリア）は 96%となり、その地域の圃場で動作するトラクタの制御成功率は 96%と低下する。サービスエリア内のどの場所においても 99%の制御成功率（1%の呼損率）とするには、14dB の場所率マージンが必要である。

以上から、電波法関係審査基準の場所率マージンについても 3dB に対して 11dB を加えた 14dB が必要との試算結果にある。他方、エラー訂正やダイバーシチ方式（3.4.4.8）を採用することにより、場所率マージンを低減することが可能である。時間ダイバーシチ 3 連送を基本とし、場所率マージンは現行通り 3dB とすることが望ましいと考えられる。

3.4.4.3 マージンを含めた空中線電力

前述の C/N 改善量と場所率マージン改善量を含めた場合、50W の空中線電力のモデルを表 3-4 に示す。通信区域の半径は 14.1km となる。

表 3-3 空中線電力算出のモデル

基地局空中線利得	2.15dBi
基地局空中線高	15m
移動局空中線利得	2.15dBi
移動局空中線高	2.5m
給電線等の損失	3dB
地勢	開放地

表 3-4 モデルシステムの空中線電力算出

※電波法関係審査基準　第 3 移動業務の局の審査　14(4)より				
変調方式		4FSK（SCPC）		
空中線電力	Pt	47.0	dBm	Pt=C/N+Prn+Lp+Lf-Gant
空中線電力	Pt	50.0	W	
所要信号対雑音比	C/N	44	dB	所要 C/N＋改善量 22dB
総合雑音電力	Prn	-123.5	dBm	Prn = 10log (10^ (Prni /10) + 10^ (Prne /10))
熱雑音電力	Prni	-129.8	dBm	Prni=10log(kTB) +NF+30 (dBm)+30dBm
ボルツマン係数	k	1.38E-23	J/K	
絶対温度	T	300	K	
等価雑音帯域幅	B	4	kHz	
雑音指数	NF	8	dB	
外来雑音電力	Prne	-124.7	dBm	
伝搬損失	Lp	127.8	dB	Lp = 69.55 + 26.16logf-13.82loghb-(1.1logf-0.7) hm -(1.56logf-0.8) + (44.9-6.55loghb) logd -T
周波数	f	153.325	MHz	
基地局空中線の実効高	hb	15	m	
移動局空中線高	hm	2.5	m	
通信区域の距離	d	14.1	km	

伝搬損失の補正値	T	23.71	開放地	市街地（ビル、2 階以上の家屋の密集地で、都市内、大きな町内、建物と茂った高い樹木の混合密集した地域など。）T=0 郊外地（移動局近傍に妨害物はあるが、密集していない地域、樹木、家屋の散在する村落、街道筋など。）T= 2 (log (f/28))^2+ 5 .4 開放地（電波到来方向に高い樹木、建物などの妨害がなく、開けている地域。目安として前方 300~400m が開けているような畑地、田畑、野原など。）Te = 4.78 (logf)^2 - 18.33logf + 40.94
給電線損失	Lf	3	dB	
空中線絶対利得の和	Gant	4.3	dB	

3.4.4.4 周波数の繰り返し利用を可能とする離隔距離

システム信頼性向上のため、妨害波の許容値を総合雑音レベルとなるように考える場合、そのレベルは-123.5dBm である。一方、電波法関係審査基準では、希望波と妨害波の D/U を 22dB（基準 D/U=16dB）確保することとしている。

前述のマージンの考え方は、外来雑音に対する所要 C/N 確保の考え方であることから、同一周波数共用条件についても前者の考え方が望ましいが、**3.6.2 室内試験（7）干渉特性**の同一周波数干渉の BER=0.01%時の D/U が 13dB だったこと、周波数共用は同様のシステムと考えられ、通信頻度が極めて低いことなどを勘案し、現行の審査基準どおり D/U=22dB の確保で検討を行う。なお、電波法関係審査基準には、『業務種別、通信方式、最低所要入力等を考慮するものとし、必要がある場合は、標準値を補正すること。』とあることから、共用するシステムが異なる場合には仕様に応じた D/U の設定が望まれる。

表 3-3 空中線電力算出のモデルの諸元を被干渉システムとして離隔距離を計算する。エリア端での信号レベルは、基準受信レベル 14.5dBμV＋C/N 改善量 22dB＝36.5dBμV となる。ここで、与干渉の信号はこのレベルより 22dB 低い 14.5dBμV とする必要がある。**表 3-5** の諸元をモデルとして、当該信号レベルとなる距離は、45.5km となる（**表 3-6**）。

したがって、被干渉与干渉の基地局間所要離隔距離は**図** 3-10 のように 14.1km＋45.5km＝59.6km となる。

表 3-5 離隔距離計算与干渉側のモデル

基地局空中線電力	50W
基地局空中線利得	2.15dBi
基地局空中線高	15m
移動局空中線利得	2.15dBi
移動局空中線高	2.5m
給電線等の損失	3dB

表 3-6 干渉局の信号が所要 D/U を満たす距離

※電波法関係審査基準　第 3 移動業務の局の審査　15(2)(3)より				
変調方式		4FSK（SCPC）		
所要受信機入力電圧	Vth	14.5	dBμV	所要受信機入力電圧＋C/N 改善量 12dB-22dB
受信機入力電圧	Pr	14.5	dBμV	Pr=Pt-(Lp+Lf)+(GaAt+GaAr)
受信機入力電圧マージン		0.0	dB	Pr-Vth
空中線電力	Pt	160.0	dBμV	
空中線電力	Pt	50.0	W	
伝搬損失	Lp	146.8	dB	Lp = 69.55 + 26.16logf-13.82loghb-(1.1logf-0.7) hm -(1.56logf-0.8) + (44.9-6.55loghb) logd -T
周波数	f	153.325	MHz	
基地局空中線の実効高	hb	15	m	
移動局空中線高	hm	2.5	m	
通信区域の距離	d	45.5	km	
伝搬損失の補正値	T	23.71	開放地	市街地（ビル、2 階以上の家屋の密集地で、都市内、大きな町内、建物と茂った高い樹木の混合密集した地域など。）T=0 郊外地（移動局近傍に妨害物はあるが、密集していない地域、樹木、家屋の散在する村落、街道筋など。）T= 2 (log (f/28))^2+ 5 .4 開放地（電波到来方向に高い樹木、建物などの妨害がなく、開けている地域。目安として前方 300~400m が開けているような畑地、田畑、野原など。）Te = 4.78 (logf)^2 - 18.33logf + 40.94
給電線損失	Lf	3	dB	
送信空中線の絶対利得	GaAt	2.15	dBi	
受信空中線の絶対利得	GaAr	2.15	dBi	

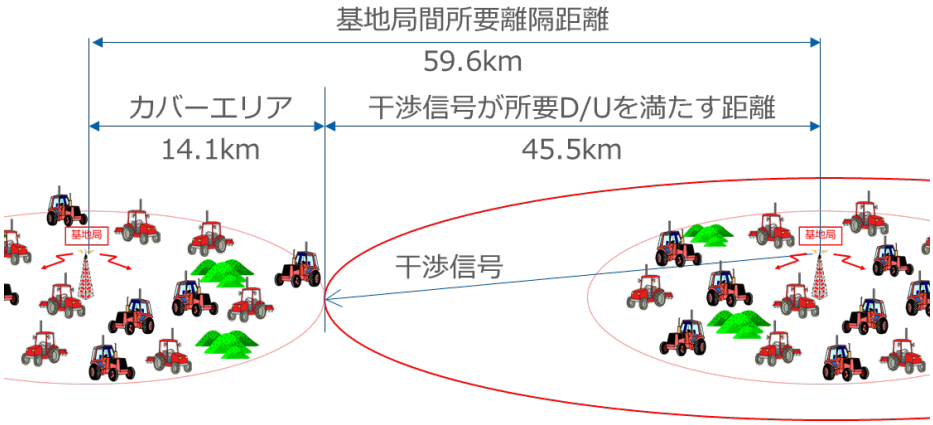


図 3-10 与干渉・被干渉システムの所要離隔距離

3.4.4.5 隣接・近接周波数の共用条件

3.6.2 室内試験の結果より、BER＝0.01%を基準とする干渉特性は、BER=1%時よりも劣化するが、劣化はおおむね 3~4dB であり、電波法関係審査基準の近接波妨害基準特性曲線（**3.6.2 室内試験（8）干渉特性②測定結果　図 3-24**）に対してもマージンがある。

したがって、近接波妨害については、現状の審査基準を踏襲可能と考えられる。

3.4.4.6 相互変調の共用条件

3.6.2 室内試験の結果より、BER=0.01%を基準とする干渉特性は、BER=1%時よりも劣化するが、劣化はおおむね 4~5dB であり電波法関係審査基準の相互変調基準特性曲線（**3.6.2 室内試験（9）干渉特性②測定結果　図 3-26**）に対してもマージンがある。

したがって、相互変調妨害については、現状の審査基準を踏襲可能と考えられる。

3.4.4.7 システム構築時の留意事項

屋外試験結果の通り、電波伝搬は地形や遮蔽物の影響を受ける。前述の空中線電力の算出例はモデルであり、置局設計および回線設計によって必要な空中線電力は増減する。

システムの信頼性を空中線電力のみに頼ることは望ましくない。通信方式、伝送制御方式、受信機構成などのシステム設計によって信頼性を維持しながら空中線電力を低減させることが重要である。

3.7.1 受信ダイバーシチの有効性は、最大比合成ダイバーシチの効果を測定した事例である。今回の検討で無人トラクタの緊急停止制御の BER 目標値を 0.02%としたが、事例によれば改善効果が約 38dB となり、当該技術の導入によれば追加したマージンを不要とできる結果となっている。事例は、想定走行速度がトラクタのものとは大きく異なり、比較的高速な時速約 54km 相当を模擬したフェージングシミュレータによる測定であることから、この結果をそのまま利用することはできないが、低 BER 領域に対する最大比合成ダイバーシチの効果は大きいものであることが期待できる。なお、**3.7.1 受信ダイバーシチの有効性**に示す特性は本作業班構成員より提示されたものを掲載した。

3.6.3 屋外試験（6）試験結果⑤ダイバーシチ調査の試験結果では、比較的簡易な選択ダイバーシチにおいても 3dB 前後の改善効果が認められる。

システム設計においては、信頼性とコストの両面からの検討が必要だが、ダイバーシチ技術（**3.3.5.3 伝送エラーの回避**）は必要不可欠であるといえる。

3.4.4.8 採用する技術による所要空中線電力

必要となる空中線電力は、採用する技術や制御条件の許容値によって違いが生じる。この項では、以下のいくつかの条件の組み合わせ例を用いて所要空中線電力および所要離隔距離を計算する。

(1) 許容遅延時間

3.3.1 制御内容と条件では、1 秒程度としたが、この条件を緩和すれば時間ダイバーシチの連送回数を増やすことができ、場所率等のマージンを低減することができる。最小遅延時間とは、伝送失敗がない場合の制御にかかる遅延時間であり、最大遅延時間は、伝送成功の場合の最大遅延時間（ダイバーシチ連送の最終回で成功した場合の遅延時間）である。

伝送方式(1)においては、送信起動時間を 20ms とし、80ms のデジタルフレームを 3 連続で受信したときの遅延時間を算出している（**図 3-2**）。伝送方式(2)では、80ms のデジタルフレーム 3 フレームから構成されるステータスメッセージ（**図 3-3**）を想定し、送信起動時間およびコマンド制御に係る時間を含めた遅延時間を算出している。伝送方式(3)では、103 台収容の場合 80ms のデジタルフレーム 3 フレームから構成されるベアラ通信（**図 3-4**）、236 台収容の場合は 4 フレームのベアラ通信（**図 3-5**）を想定し、送信起動時間およびコマンド制御に係る時間を含めた遅延時間を算出している。

(2) 伝送方式

3.3.6 廉価に構成する方式で挙げた 3 種類の伝送方法のそれぞれについて計算した。

(3) 収容台数

伝送方式に応じた収容台数を記載した。

(4) 時間ダイバーシチの連送回数

信頼性および遅延時間に大きく影響する条件。

(5) 場所率マージン改善量

本検討（**3.3.1 制御内容と条件**）では、呼損率 1%以下を目標としている。場所率は、サービスエリア内で所要 C/N を満たす場所の割合を示すが、本検討においては低速で圃場内を移動するトラクタを対象としていることから、短区間変動と瞬時値変動を主要因とする場所的変動について、確率で扱うこととする。瞬時値変動の速さは、3Hz（21.6km/h@150MHz）以下程度であり、1 回の通信を 3 フレーム程度と想定すると、1 通信に 1 回の瞬時値変動による劣化と考えることができる。以上の条件と考え方からここでは、本質的に異なる呼損率と場所率を確率的に結び付け、時間ダイバーシチの連送により、呼損率の確率が低減できるものと考えることで、**3.4.4.2** 項で検討した場所率および場所率マージンを緩和することができる。連送回数と場所率マージン改善量の関係を**表 3-7** に示す。

表 3-7 連送により周辺のカバー率が 99%となるときの場所率マージン

連送回数[回]	1	2	3	4
サービスエリア周辺のカバー率[%]	99	90	78.5	68
場所率マージン[dB]	14	7.7	4.7	2.8
場所率マージン改善量[dB]	11.0	4.7	1.7	-0.2

表 3-8 採用する技術による所要空中線電力

モデル	最小遅延時間[秒]	最大遅延時間[秒]	伝送方式	収容台数[台]	時間ダイバーシチの連回数[回]	場所率マージン改善量[dB]	50W時のカバーエリア半径[km]	カバーエリア半径20km時の空中線電力[W]	カバーエリア半径5km時の空中線電力[W]	50W与干渉局との同一周波数所要離隔距離[km]	20W与干渉局との同一周波数所要離隔距離[km]	5W与干渉局との同一周波数所要離隔距離[km]
1	0.26	0.26	(1)	∞	1	11	7	2329	13.4	53	43	32
2	0.26	0.42	(1)	∞	2	4.7	11	546	3.1	56	46	35
3	0.26	0.5	(1)	∞	3	1.7	13	274	1.6	58	48	37
4	0.26	0.58	(1)	∞	4	0	14	185	1.1	60	50	39
5	0.35	0.35	(2)	10~	1	11	7	2329	13.4	53	43	32
6	0.35	0.6	(2)	10~	2	4.7	11	546	3.1	56	46	35
7	0.35	0.85	(2)	10~	3	1.7	13	274	1.6	58	48	37
8	0.35	1.1	(2)	10~	4	0	14	185	1.1	60	50	39
9	0.38	0.38	(3)	103	1	11	7	2329	13.4	53	43	32
10	0.38	0.63	(3)	103	2	4.7	11	546	3.1	56	46	35
11	0.38	0.88	(3)	103	3	1.7	13	274	1.6	58	48	37
12	0.38	1.13	(3)	103	4	0	14	185	1.1	60	50	39
13	0.46	0.46	(3)	236	1	11	7	2329	13.4	53	43	32
14	0.46	0.79	(3)	236	2	4.7	11	546	3.1	56	46	35
15	0.46	1.12	(3)	236	3	1.7	13	274	1.6	58	48	37
16	0.46	1.45	(3)	236	4	0	14	185	1.1	60	50	39

表 3-8 からわかるとおり、時間ダイバーシチ（連送）によるマージン低減効果が高く（**図** 3-11 にまとめたものを示す）、エリア拡大（**図 3-12** にまとめたものを示す）、空中線電力の低減（**図** 3-13 にまとめたものを示す）に寄与する。遅延時間（**図 3-14** にまとめたものを示す）も問題となるほど長くならないことから、時間ダイバーシチを採用しないシステム（モデル 1,5,9,13）は現実的ではない。

たとえば(2)の伝送方式を採用する場合、最大遅延時間 1.1 秒を許容すれば、コストのかかる技術を採用せずに**モデル 12** のように信頼性を確保したうえでマージンを低減させることができ、小さい電力で広範囲をカバーすることができる。

さらに最大比合成ダイバーシチ技術等の空間ダイバーシチ技術を採用することで、信頼性の向上を図りながらマージンを低減させ低電力でさらに広い範囲をカバーすることが可能となる。

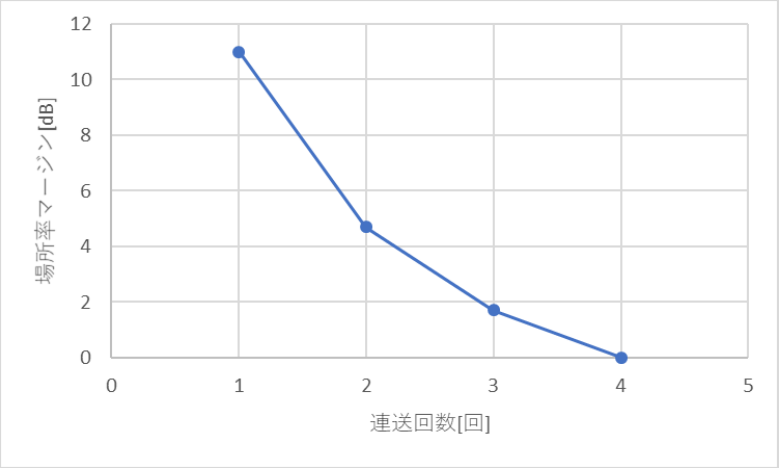


図 3-11 連送回数と場所率マージン

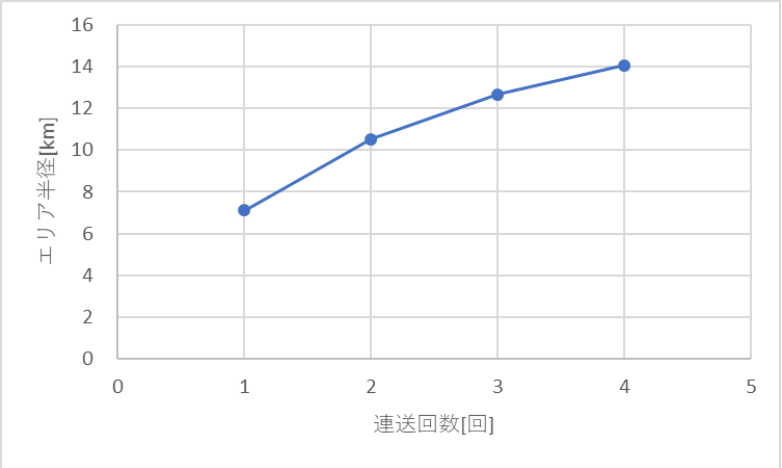


図 3-12 連送回数とエリア半径

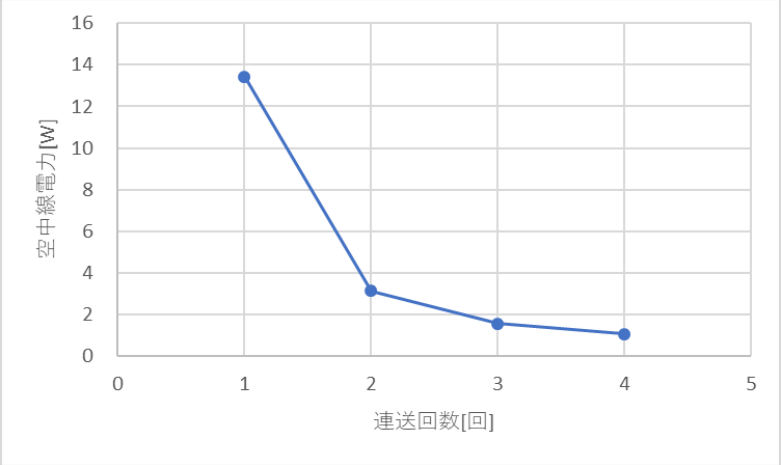


図 3-13 連送回数と 5km エリア半径に必要な空中線電力

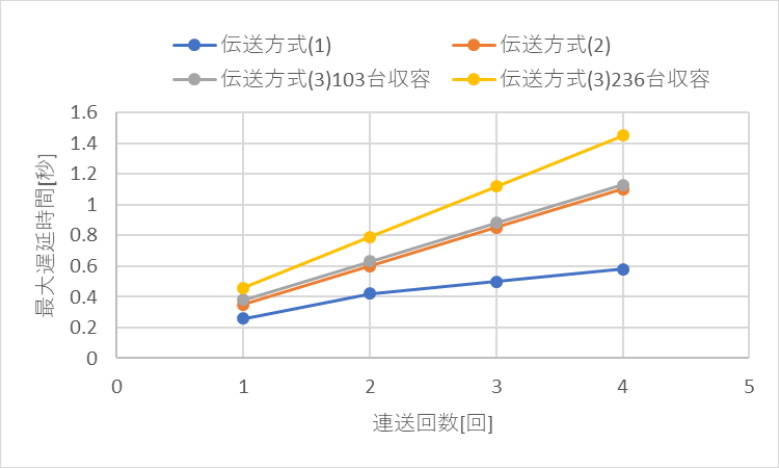


図 3-14 連送回数と最大遅延時間

3.5 技術的条件（案）及び検討要件

本調査検討結果を以下にまとめる。150MHz 帯 4 値 FSK 方式による各種業務無線を用いた圃場における比較的低速走行にある無人トラクタの緊急停止制御を行う場合、現行の陸上移動業務の電波法関係審査基準が適用されるが、以下の点について考慮されることが望ましい。

(1) 空中線電力の選定

空中線電力の選定は、電波法関係審査基準値に加えて、データ伝送用途を勘案し、BER0.02%を基準とする所要 C/N 改善量 22dB を考慮することが望ましい。

(2) 場所率マージン

場所率マージンについては、現行規定値の 3dB を踏襲することが適当である。

（3）信頼性確保の手段

回線設計における伝送信頼性のほか、データ伝送方式やダイバーシチ方式、誤り訂正技術あるいは連送制御等のフェージング対策における信頼性確保の手段等について、十分検討することが望ましい。

(4) 基地局の配置イメージ

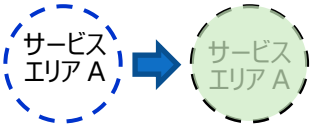
ロボット農機が活動するサービスエリアを 150MHz 帯無線でカバーする場合、実際の圃場形状や地形と無線有効範囲とを考慮して無線基地局を配備した方が効率的なため、空中線電力の選定、組み合わせなど個々に置局設計が必要となる。

以下、**表 3-8** モデル12を参考（推奨）に空中線電力の組合例を示す。

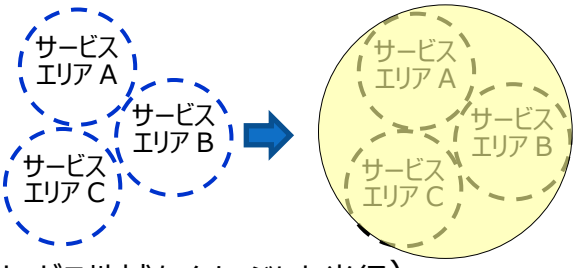
● サービスエリア 5km

半径 5Km エリアをカバーする場合、1 エリアであれば 1W1 局で可能である。
3 エリアの場合は、20W1 局でカバーすることが可能である。

【1W 基地局構成例】



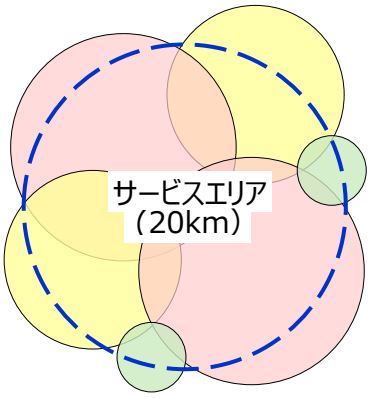
【20W 基地局構成例】



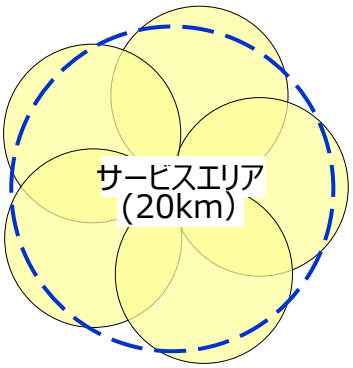
● サービスエリア 20km（RTK サービス地域をイメージした半径）

半径 20kmのエリアをカバーする場合は、複数の周波数と空中線電力による組み合わせが考えられる。RTK-GNSS 基準局は現状、自治体、JA、任意団体などが設置しており、設置基準がないことからエリアの重複も多い。限りある周波数を有効利用できるよう「複数エリアをカバーする構成例」では、自治体や協議会等による共同設置、運用が望ましいケースがある。

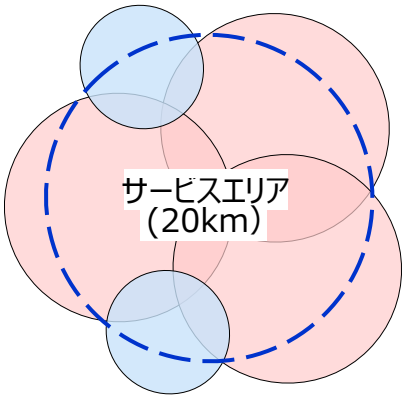
【複数空中線電力組合せ例】



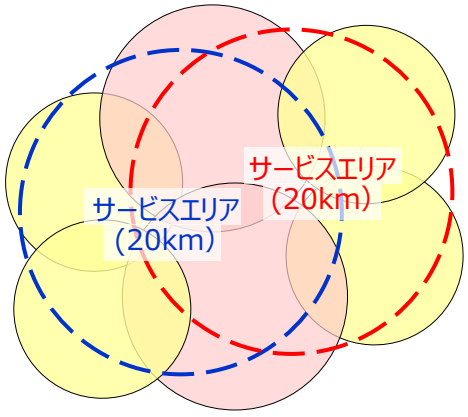
【20W 基地局のみでの構成例】

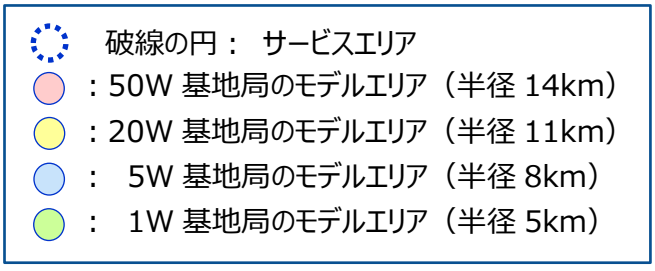


【50W 基地基本の構成例】



【複数エリアをカバーする構成例】





3.6 試験結果

3.6.1 実験試験局について

(1) 実験試験局無線機の諸元

項　目	仕　様
周波数	153.325MHz、153.3375MHz（予備）
チャネル間隔	6.25kHz
占有周波数帯幅の許容値	5.8kHz
空中線電力	50W / 20W / 5W　切替
電波の型式	F1D
通信方式	1 周波単信(プレストーク方式)
変調方式	4 値 FSK 方式
伝送速度	4.8kbps

(2) 基地側空中線（屋外実証試験）の諸元

項　目	仕　様
種別	スリーブアンテナ
利得	2.15dBi
給電線損失	約 2dB
地上高	15m

(3) 移動側空中線（屋外実証試験）の諸元

項　目	仕　様
種別	1/2λホイップアンテナ
利得	2.15dBi
給電線損失	約 1dB
地上高	約 2m（給電点）

① 基地側空中線（総合試験）の諸元

項　目	仕　様
種別	1/2λホイップアンテナ
利得	2.15dBi
給電線損失	約 2dB
地上高	20m

② 移動側空中線（総合試験）の諸元

項　目	仕　様
種別	1/4λホイップアンテナ
利得	2.15dBi
給電線損失	約 1dB
地上高	約 2.5m（給電点）

3.6.2 室内試験

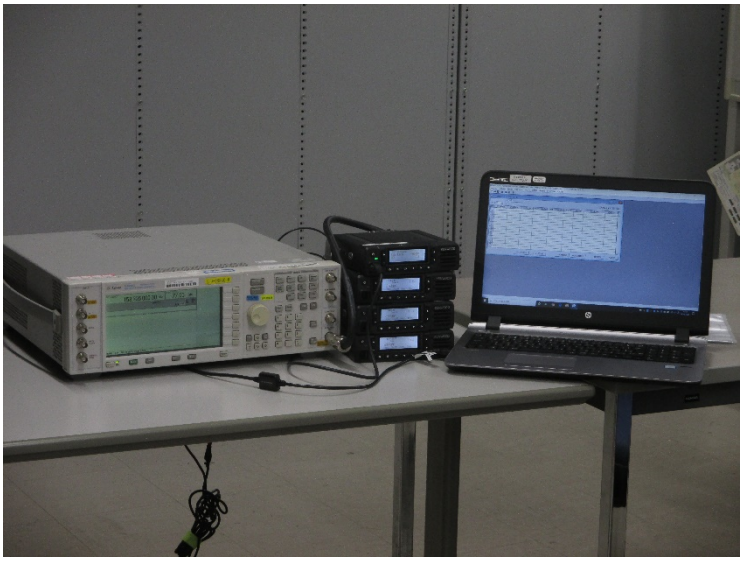


図 3-15　室内試験の測定風景

(1) 受信入力レベルと BER 特性

① 測定方法

測定構成を**図 3-16** に示す。

図 3-16　受信入力レベルと BER 特性の測定構成

SSG から PN9 符号列変調信号（エラー訂正なし）を無線機に入力し、測定用 PC で BER を測定する。

静特性およびフェージング fD=0.7Hz、1.4Hz、4.2Hz（時速 5km、10km、30km@150MHz）について測定する。

② 測定結果

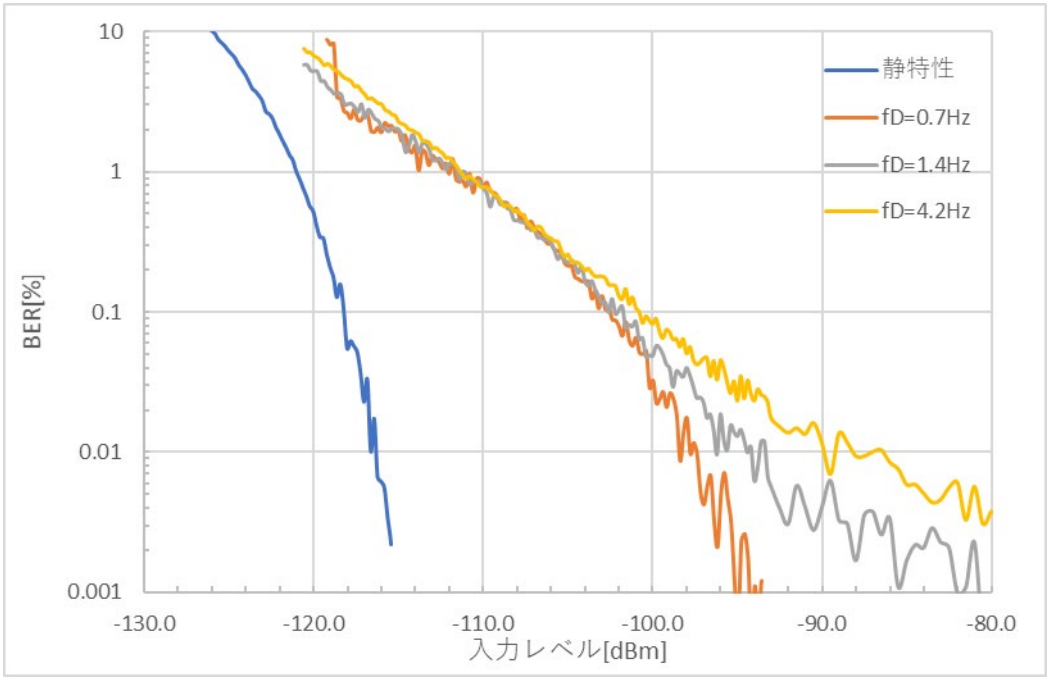


図 3-17　受信入力レベルと BER 特性の測定結果（動特性）

(2) 無線機の RSSI 表示値特性

① 測定方法

測定構成を**図 3-16** に示す。

屋外試験で使用する無線機の RSSI 表示機能を確認するため、SSG から PN9 符号列変調信号を無線機に入力し、無線機の RSSI 表示値を記録する。

② 測定結果

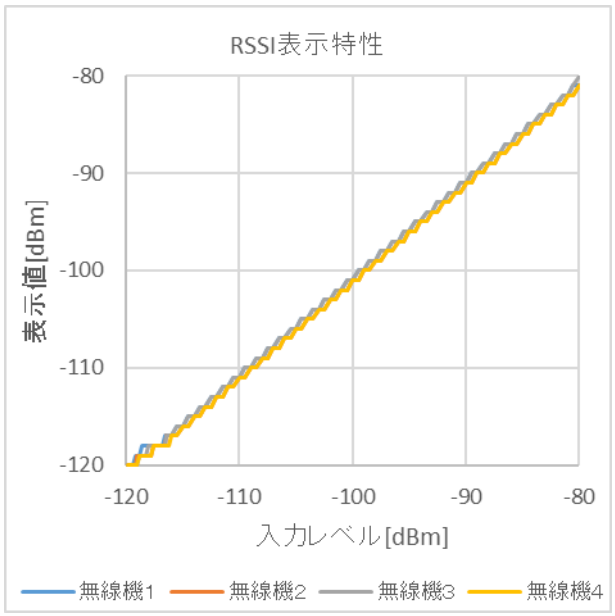


図 3-18　無線機の RSSI 表示値の測定結果

(3) 無線機の BER 表示値特性

① 測定方法

測定構成を**図 3-16** に示す。

屋外試験で使用する無線機の簡易 BER 表示機能を確認するため、SSG から通常フレーム構成の変調信号を無線機に入力し、無線機の RSSI 表示値を記録し、(1) 受信入力レベルと BER 特性の結果と比較する。

② 測定結果

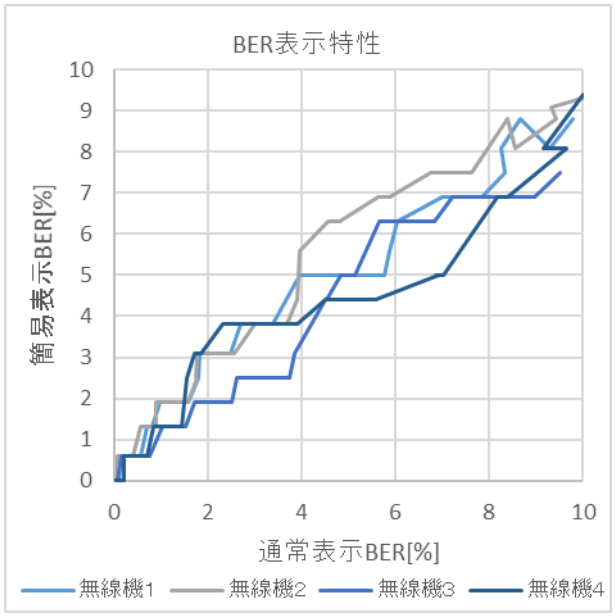


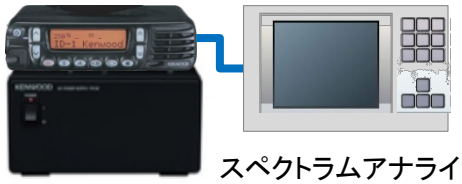
図 3-19　無線機の BER 表示値の測定結果

(4) 送信性能試験

① 測定方法

測定構成を**図 3-20** に示す。

各種試験に使用する機器の基本性能を確認するため、測定する。



スペクトラムアナライザ

無線機と電源

図 3-20　無線機の BER 表示値の測定結果

② 測定結果

項　目	仕　様	基地 無線機 測定値	移動 無線機1 測定値	移動 無線機2 測定値	無線機4 測定値
実験周波数[MHz]	153.325	153.325	153.325	153.325	153.325
電波形式	5K80F1D	5K80F1D	5K80F1D	5K80F1D	5K80F1D
周波数[MHz]	153.325MHz	153.325043	153.325043	153.325043	153.324994
偏差[Hz]	±383.3125 以内	43	43	43	-6
偏差[ppm]	±2.5 以内	0.28	0.28	0.28	-0.04
占有周波数帯幅[kHz]	5.8 以下	3.484	3.411	3.557	3.484
空中線電力(終端)[W]	50	48.8	48.9	49.4	50
隣接チャンネル漏えい電力(上側)[dB]	-55 以下	-65.7	-67.1	-67.3	-66.5
隣接チャンネル漏えい電力(下側)[dB]	-55 以下	-67.1	-68.7	-66.7	-67.8

(5) BER とデータ伝送エラー率の測定

① 測定方法

測定構成を**図 3-21** に示す。

送信側無線機からの信号を可変 ATT で調整し BER 値と伝送するデータのエラー率(100 回の伝送で何回失敗するか)を測定する。伝送するデータは、80ms 384 ビットのフレーム×3 フレームで構成されるメッセージ(エラー訂正あり)を 500ms 間隔で 100 回伝送する。

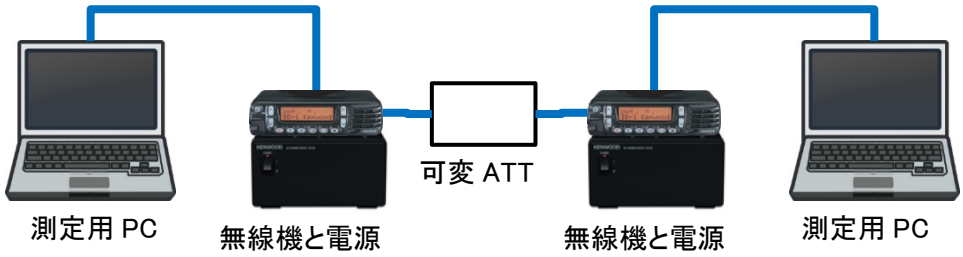


図 3-21　BER と伝送エラー率の測定構成

② 測定結果

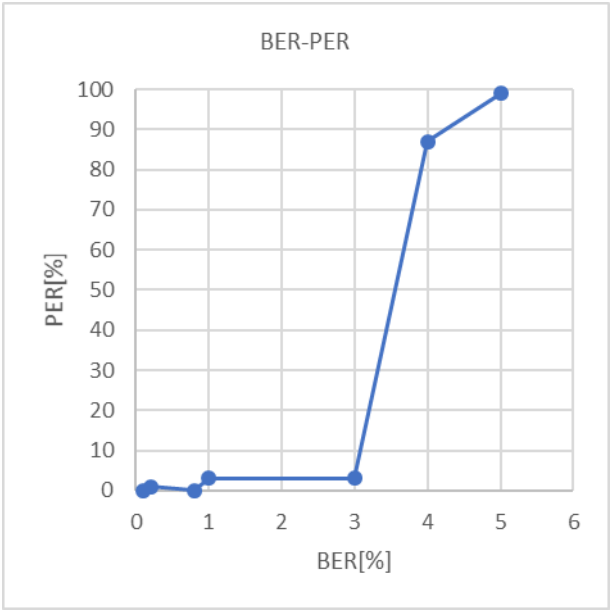


図 3-22　BER と伝送エラー率の測定結果

(6) データ伝送スピード及び遅延の測定

① 測定方法

測定構成を**図 3-21** に示す。

送信側無線機からの信号を可変 ATT で調整し信号レベルを-53dBm とし、データ伝送に要する時間を測定する。送信側 PC でシリアルデータを出し始めてから、受信側 PC でシリアルデータを受信し終わるまでの時間を測定する。伝送データは、80ms 384 ビットのフレームで構成される（エラー訂正あり）。

ステータスメッセージ＝3 フレーム。ベアラ 15 バイト＝3 フレーム。ベアラ 16 バイト＝4 フレーム。ベアラ 50 バイト＝5 フレーム。ベアラ 100 バイト＝8 フレーム。

② 測定結果

伝送内容	遅延時間[ms]	実スループット[bps]
ステータスメッセージ(100)	352	23
ベアラ 15 バイト	378	317
ベアラ 16 バイト	462	277
ベアラ 50 バイト	570	702
ベアラ 100 バイト	874	915

(7) 干渉特性（同一周波数）

① 測定方法

測定構成を**図 3-23** に示す。

希望波を 0dB μV、10dB μV、20dB μV、30dB μV としたとき、BER=1%、BER=0.01%となる同一周波数の妨害波から D/U を測定する。

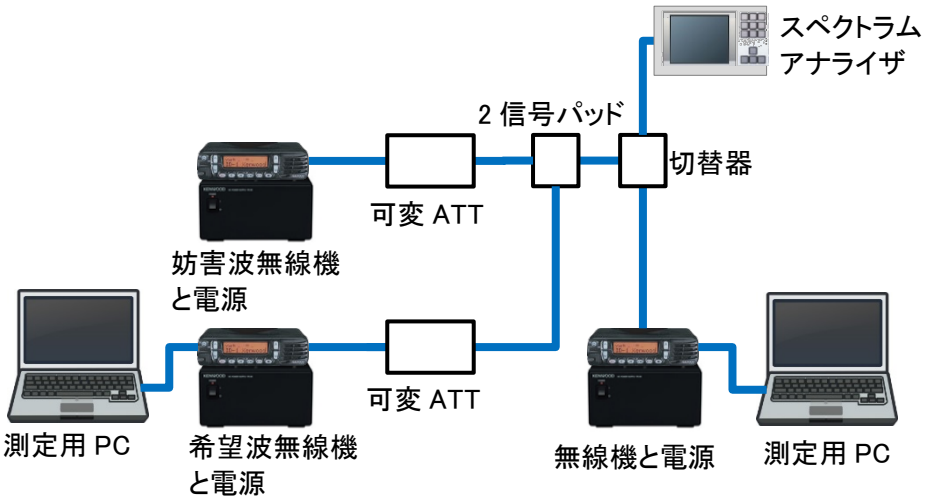


図 3-23 同一周波数干渉の測定構成

② 測定結果

希望波レベル	BER=1%時の D/U[dB]	BER=0.01%時の D/U[dB]
0dB μ V	10	13
10dB μ V	10	13
20dB μ V	10	13
30dB μ V	10	13

(8) 干渉特性（近接周波数）

① 測定方法

測定構成を**図 3-23** に示す。

希望波を 0dBμV としたとき、BER=1%、BER=0.01%となる近接周波数の妨害波から D/U を測定する。

② 測定結果

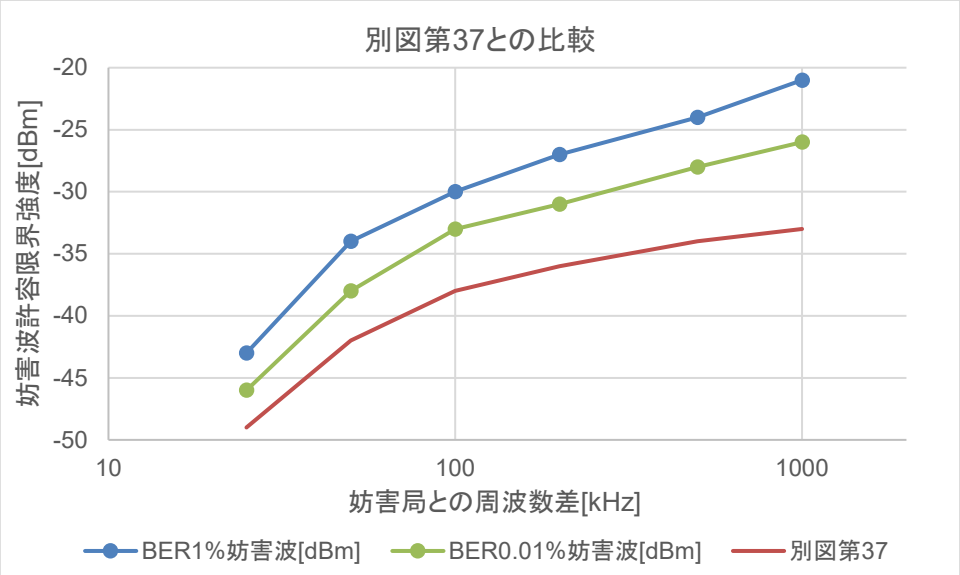


図 3-24 近接周波数干渉の測定結果

(9) 干渉特性（相互変調）

① 測定方法

測定構成を**図 3-25** に示す。

希望波を 0dBμV としたとき、BER=1%、BER=0.01%となる相互変調（+25kHz、+50kHz）の妨害波から D/U を測定する。

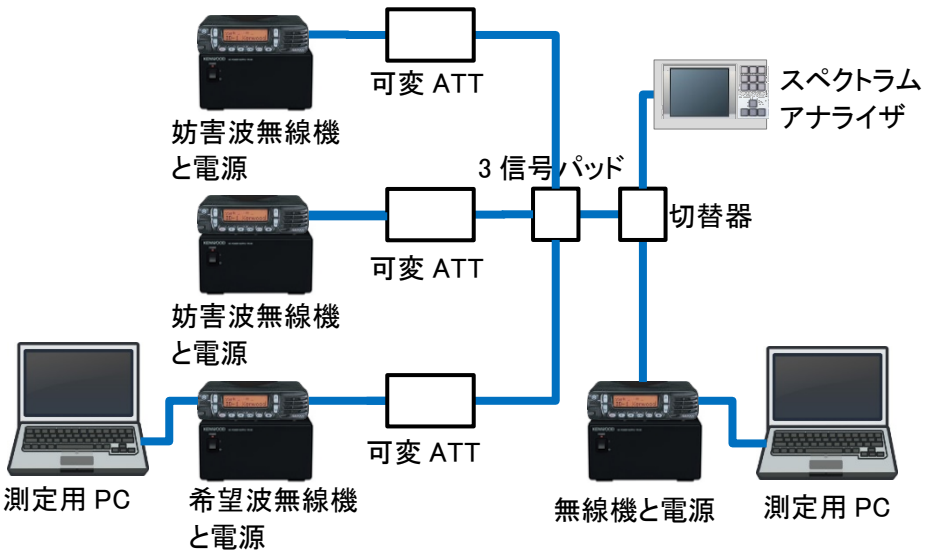


図 3-25　相互変調干渉の測定構成

② 測定結果

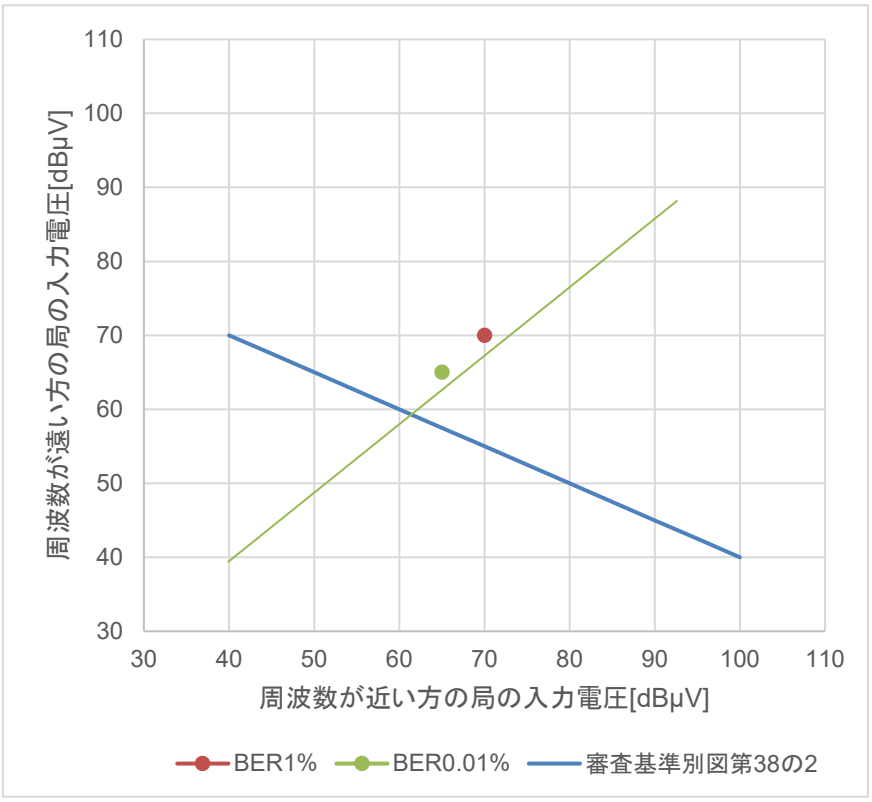


図 3-26　相互変調干渉の測定結果

3.6.3 屋外試験

(1) 目的

150MHz 帯各種業務用無線をトラクタの緊急停止制御に利用した場合について、遮蔽物や地形等の影響、フェージングの影響を調査し、周波数の繰り返し距離等の共用条件、空中線電力の算出、回線設計におけるマージン等考慮すべき事項を提案するため。

(2) 試験方法

図 3-27 に示す構成の基地局を岩見沢市北村支所に設置し、制御局と見立て、信号を送信する。**図 3-28** に示す構成の移動局を車両 2 台に設置し、移動および停止中に RSSI および BER を測定する。RSSI および BER の測定は無線機に搭載されている簡易機能を使用する。

RSSI は、-120dBm から-80dBm を 1dB きざみで表示され、BER は、通常フレーム（同期ビット 20 を含む 384 ビット長 80ms）から簡易的にエラーを検出する方式。エラー訂正をかけない状態で測定する。H29 年度「ロボット農業の高度化のための技術的条件等に係る調査検討（北海道総合通信局）」において「停止制御は 1 バイトで十分」とされていることから、ARIB STD-B54 のステータスメッセージまたはベアラ通信を伝送モデルとして考え、80ms384 ビット x3 フレームの伝送を想定した試験とする。**(6) ⑤ ダイバーシチ調査**においては、ダイバーシチ受信機を用意できなかったことからダイバーシチを模した**図 3-29** の構成および**図 3-30** の構成で測定を実施する。

図 3-27 屋外試験基地局の構成

図 3-28　屋外試験移動局の構成①

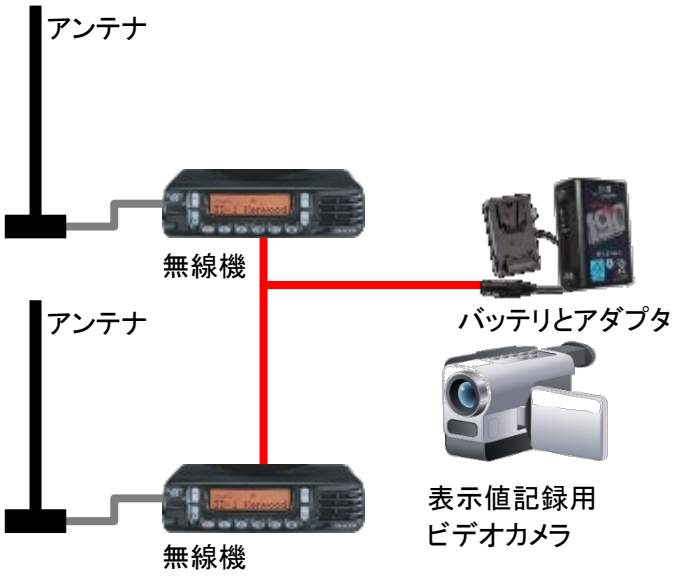


図 3-29　屋外試験移動局の構成②

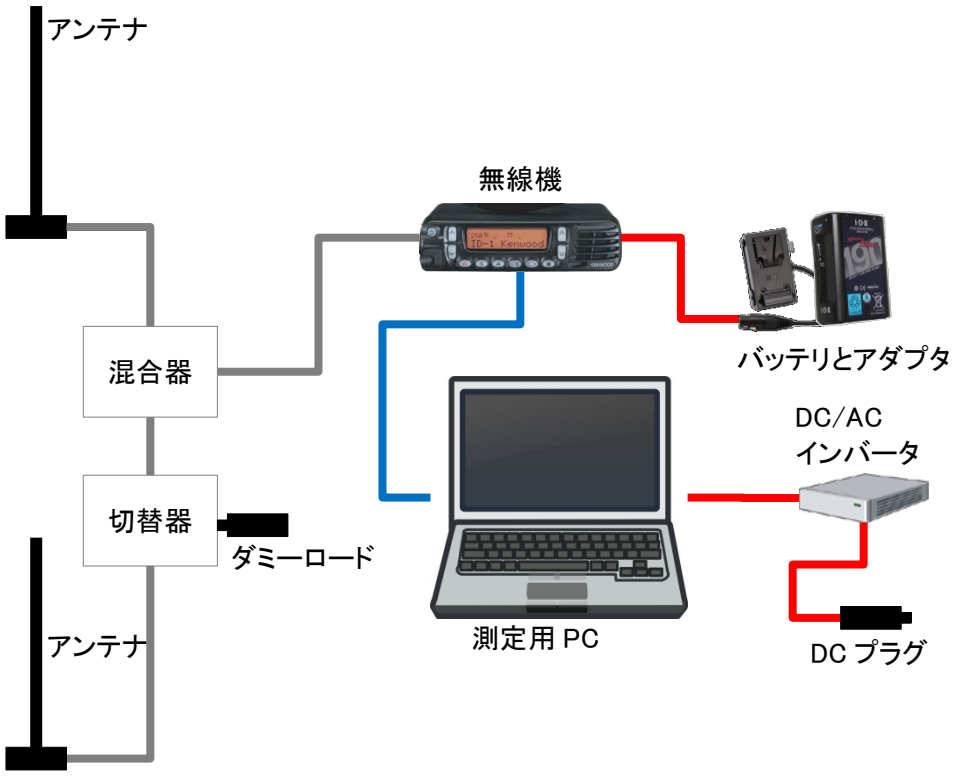


図 3-30　屋外試験移動局の構成③

① モデルエリアでの信号調査

モデルエリアを選定し、受信信号強度（RSSI）及びビットエラー（BER）を測定する。（モデルエリアは、岩見沢市北村支所を想定）

基地局 50W を設定し、2 台の車で走行する。

-110、-100、-90、-80dBm 程度の場所※1 で、圃場に見立てた農地付近の走行可能な農道を通常走行および時速 5km 程度で走行して RSSI と BER を測定する。

同じ場所で空中線電力 20W 時、5W 時の測定も実施し比較する。

※1試験段階では「確実な停止制御」のために回線品質 BER0.01%を想定。試験用無線機の実力として、静的状態で BER0.01%は約-116dBm となることから、6dB のマージンを見込んだ領域をフリンジと考え、10dB ごとに 30dB アップまでのエリアで測定を実施する。以降の試験も同様。

② 遮蔽物の影響調査（ビル低層、防風林、ビニールハウス、農家、倉庫）

遮蔽物の影響（倉庫、農家、ビニールハウス、防風林、低層ビル）を調査する。-110、-100、-90、-80dBm 程度の場所で、農地のように広い場所に遮蔽物があるところで RSSI と BER を測定する。

③ 地形の影響調査（水田、河川、山、丘陵、高低差）

地形の影響（高低差、丘陵、山、河川、水田）を調査する。-110、-100、-90、-80dBm 程度の場所で、高低差、丘陵、山、河川、水田（池）のような地形があるところで RSSI と BER を測定する。

④ フェージング調査（走行スピードによる車体ゆれの影響）

車体のゆれの影響を調査する。RSSI/BER を測定しながら停止状態の車体を大きくゆらす。

走行スピードによるフェージングの影響を調査する。-110、-100、-90、-80dBm 程度の場所で実施する。圃場に見立てた同じ場所（直線 100m 程度）でスピードを変えて（5km/h、10km/h、30km/h）測定する（フェージング周波数1Hz 以下～約 4Hz（0.7Hz、1.4Hz、4.2Hz@150MHz））。

⑤ ダイバーシチ調査

ダイバーシチの効果について、調査する。ダイバーシチの効果が期待される受信レベルの比較的弱い-110、-100dBm 程度の場所で実施する。

(i) 2 台の無線機による測定

1 台の車両に約 1m 間隔で 2 本のアンテナを設置する。それぞれのアンテナに無線機を接続し RSSI/BER 表示を測定（約 1 秒ごと）しながらフェージングのある場所を走行する。ビデオカメラで 2 台の無線機の測定表示を記録する。**図 3-29** の構成による。

記録された測定値からダイバーシチの効果を最大比合成方式、選択方式の効果として考察する。

(ii) アンテナ混合による測定

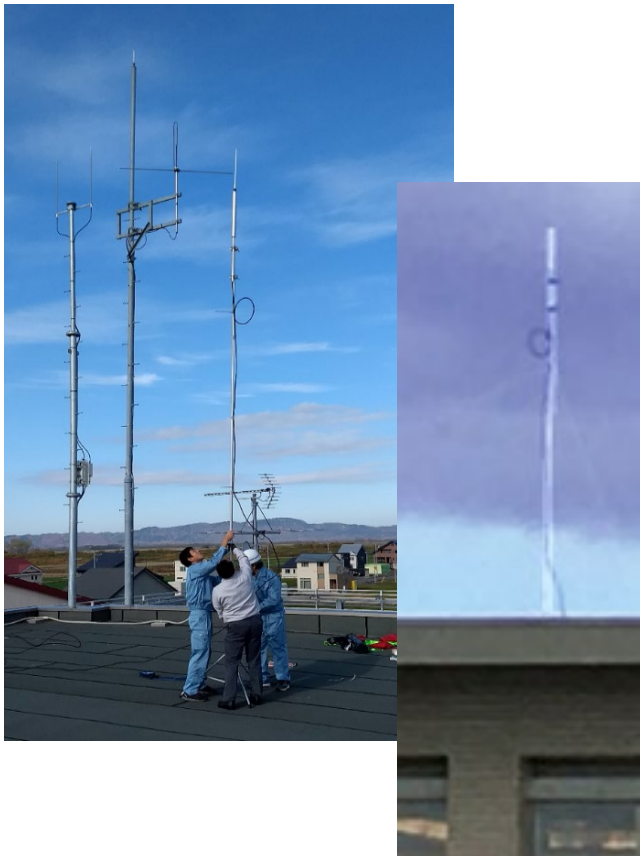
1 台の車両に約 1m 間隔で 2 本のアンテナを設置する。1 本アンテナ時と 2 本アンテナ混合時で同じ場所を走行し RSSI/BER を測定する。**図 3-30** の構成による。

単純信号合成方式のため位相損失が生じるが安価な方式として比較する。

(3) 実際の設置状況

① 屋外試験基地局

屋外試験基地局無線機



屋外試験基地局アンテナ
取付の様子

北村支所（鉄筋 2 階建て）屋上に設置した。

② 屋外試験移動局

屋外試験移動局アンテナの様子

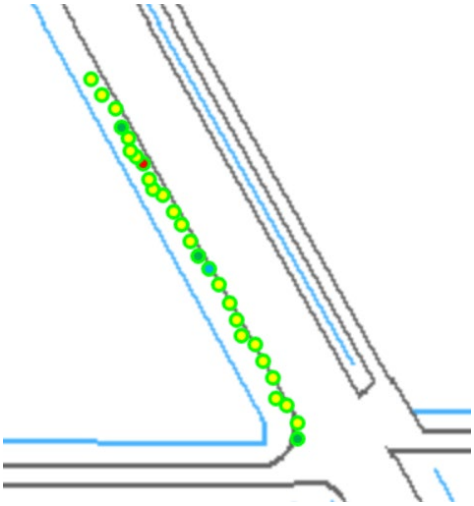
車高約 2m のワンボックスバンの屋根にマグネット基台で 1/2 λアンテナを設置。
電流の腹位置を地上高約 2.5m とし、トラクタ屋根（一般に 2.5m 高前後）に 1/4 λアンテナを設置したものと同等高にした。

屋外試験移動局車内搭載機器

屋外試験移動局アンテナ（2 本設置時）の様子

(4) 試験実施の様子

(5) 試験結果の見かた



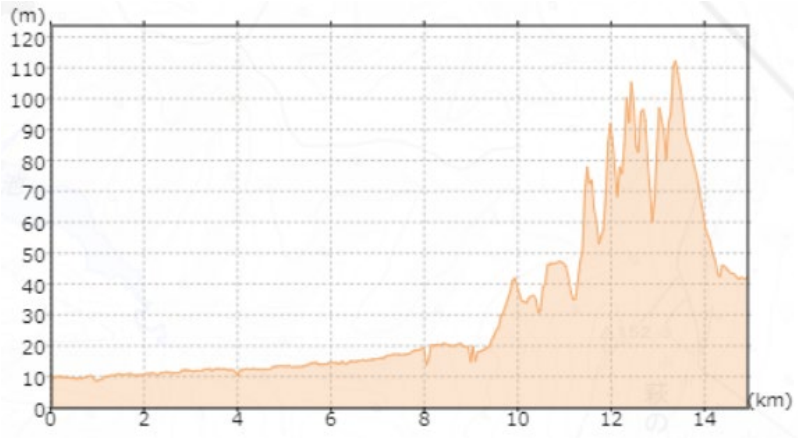
プロット図
およそ 2 秒ごとに RSSI と BER を測定した結果を測定地点にプロットしたもの。
丸の外側の色が BER の値を表し、丸の内側の色が RSSI の値を表す。

凡例
BER: ○0% ○1%以下 ○1%超
RSSI: ●−79dBm 以上 ●−80dBm 以下
●−90dBm 以下 ●−100dBm 以下
●−110dBm 以下 ●−120dBm 以下

ストリートビュー

測定地点から基地局方向を見た景色。障害となる建物や地形が確認できる。

測定地点の場所および距離
＋印が北村支所（基地）
赤点線の先端が測定地点
方向、伝搬経路が確認できる。
「計測」窓で距離が確認できる。



地形断面図
測定地点までの伝搬経路の断面図
左が北村支所（基地）。
伝搬経路上の地形が確認できる。（縦横のスケールは異なる）

	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	87.2	0.1
中央値	-86	0
標準偏差	4.54	0.11
最大値	-79	0.6
最小値	-103	0

データの評価
測定地点で採取したデータを統計的に評価したもの。

	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力マージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-74.5	24.0
伝送の質評価（郊外地）	-91.7	6.8

伝送の質の評価

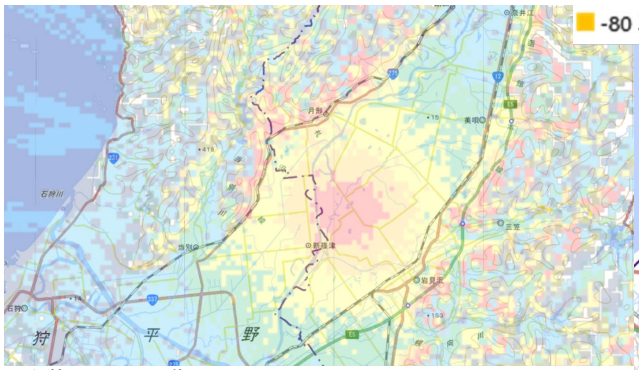
電波法関係審査基準の第 3「移動業務の局の審査」 15(2)(3)に記載の伝送の質（受信機入力電力）を測定地点の距離によって計算したもの。受信機入力電力マージンは、審査基準値の所要受信機入力電力に対してのマージンを計算したもの。

地形や障害物は計算に含まれないため、影響の度合いがわかる。

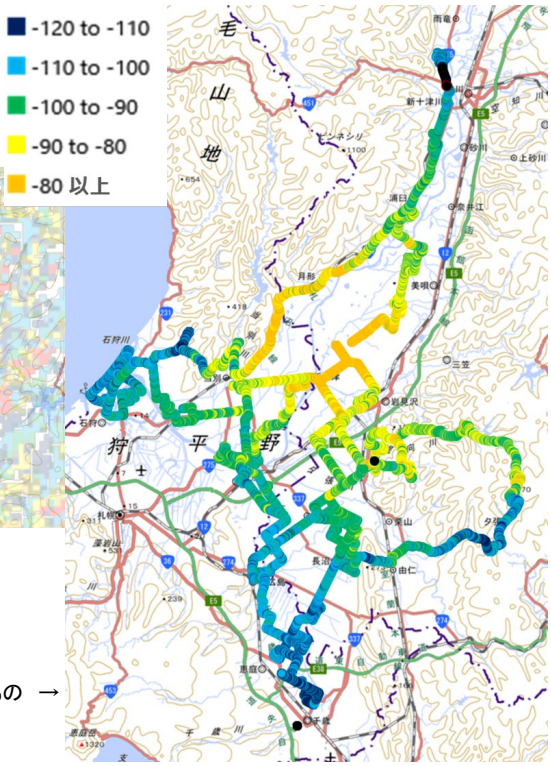
(6) 試験結果

① モデルエリアでの信号調査

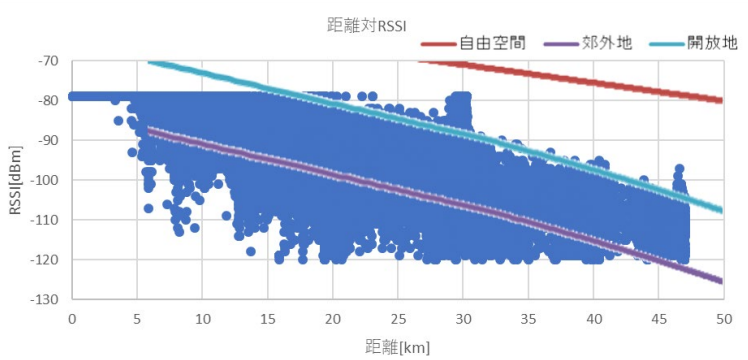
(i) 全データ（空中線電力 50W）



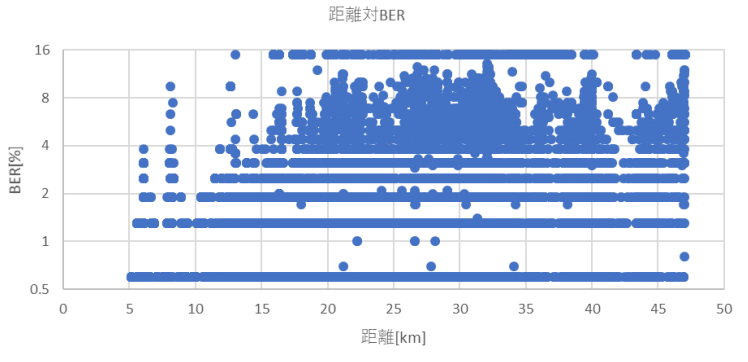
↑基地からの伝搬シミュレーション
基地局、移動局の諸元をもとにロングレイ・ライス方式で計算したもの



全測定ポイントの信号レベルをプロットしたもの →
広い範囲に信号が届いていることがわかる。

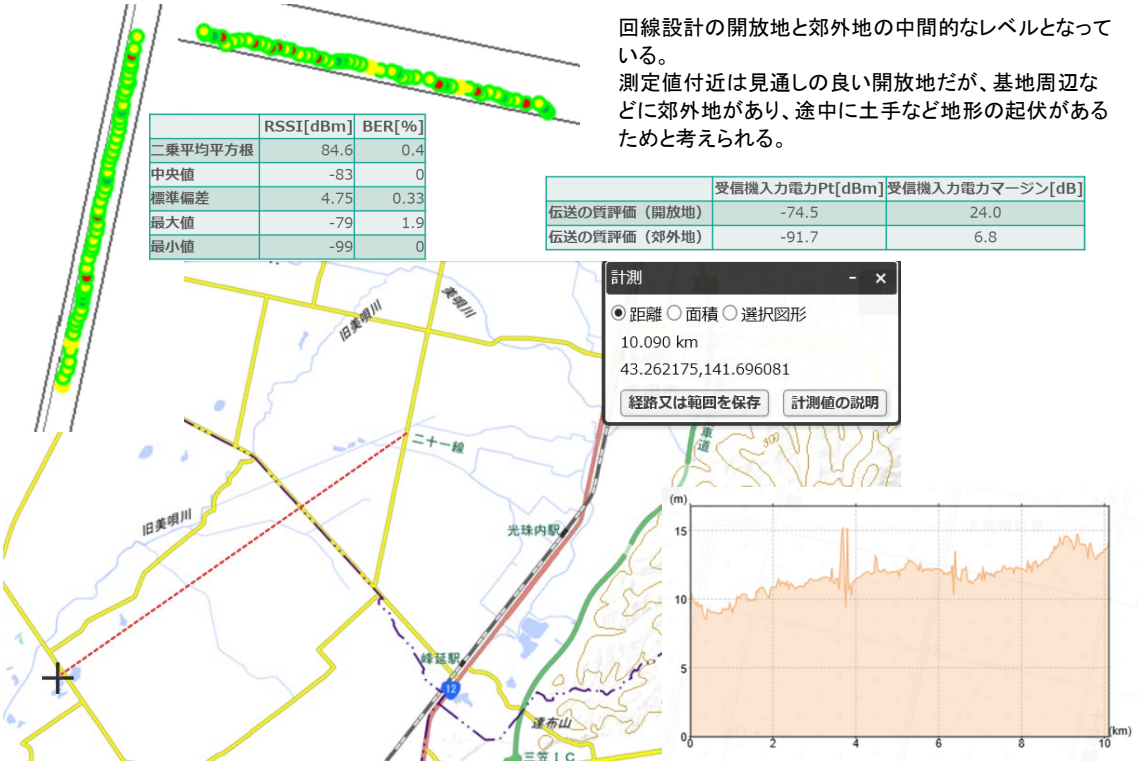


全測定 RSSI データを距離ごとにプロットしたもの
圃場以外の部分を含むため、郊外地と開放地の中間的なレベルとなっている。



全測定 BER データを距離ごとにプロットしたもの
BER 測定限界が 15%となっているため最悪値は 15%と表示されている。
簡易機能による測定で離散的な値を取る（0%の次が 0.6%など）。
距離が遠くなると BER が大きくなる傾向がみられる。
30km より遠方は、面的な測定ができていないため傾向は評価できない。

(ii) 圃場に見立てた場所での測定（およそ-80dBm の場所）

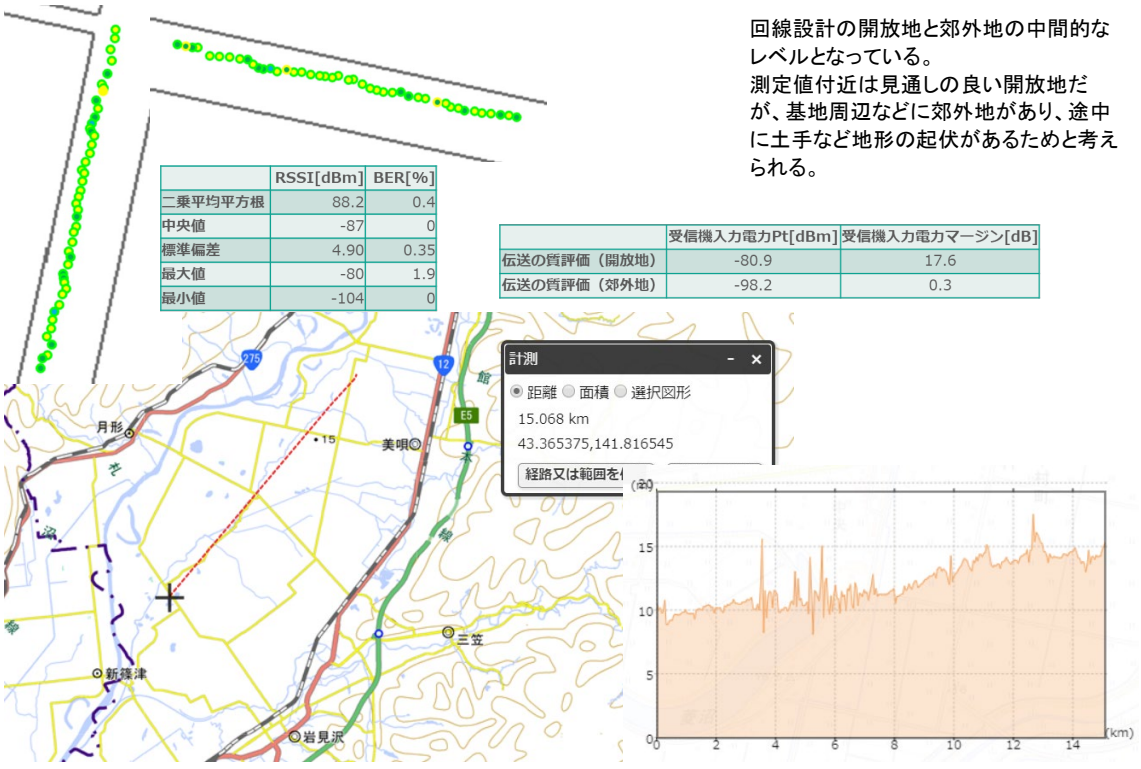


	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	84.6	0.4
中央値	-83	0
標準偏差	4.75	0.33
最大値	-79	1.9
最小値	-99	0

回線設計の開放地と郊外地の中間的なレベルとなっている。
測定値付近は見通しの良い開放地だが、基地周辺などに郊外地があり、途中に土手など地形の起伏があるためと考えられる。

	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力マージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-74.5	24.0
伝送の質評価（郊外地）	-91.7	6.8

(iii) 圃場に見立てた場所での測定（およそ-90dBm の場所）

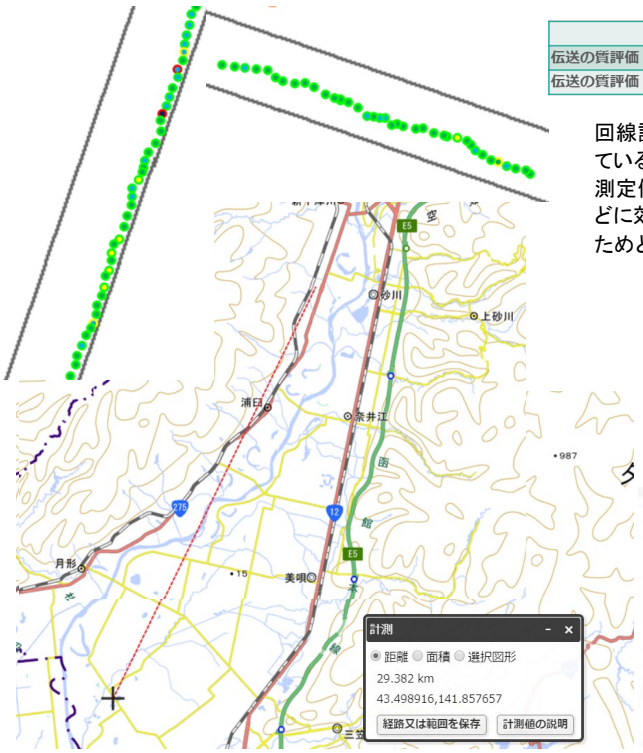


	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	88.2	0.4
中央値	-87	0
標準偏差	4.90	0.35
最大値	-80	1.9
最小値	-104	0

回線設計の開放地と郊外地の中間的なレベルとなっている。
測定値付近は見通しの良い開放地だが、基地周辺などに郊外地があり、途中に土手など地形の起伏があるためと考えられる。

	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力マージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-80.9	17.6
伝送の質評価（郊外地）	-98.2	0.3

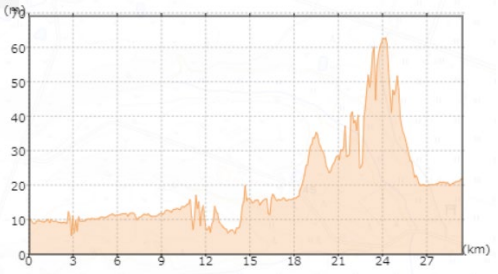
(iv) 圃場に見立てた場所での測定（およそ-100dBm の場所）



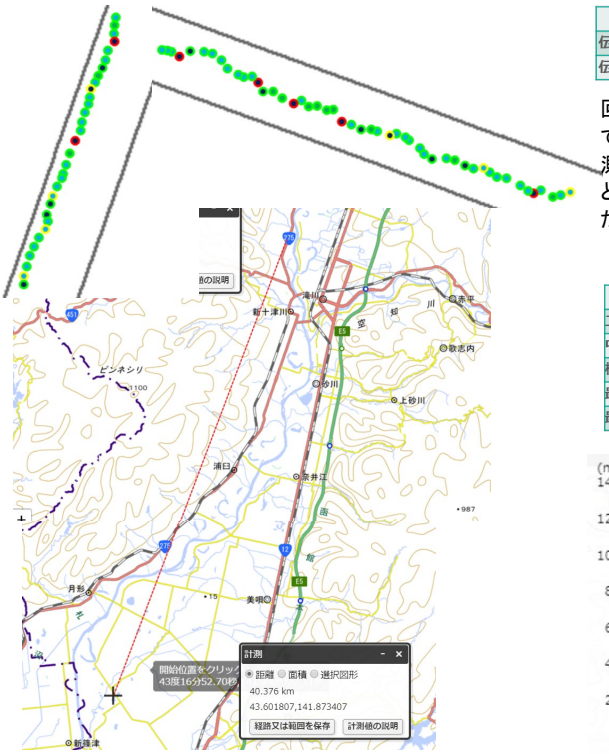
	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力マージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-91.7	6.8
伝送の質評価（郊外地）	-108.9	10.4

回線設計の開放地と郊外地の中間的なレベルとなっている。
測定値付近は見通しの良い開放地だが、基地周辺などに郊外地があり、途中に丘など地形の起伏があるためと考えられる。

	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	97.3	0.7
中央値	-97	0
標準偏差	5.51	0.63
最大値	-87	5
最小値	-110	0



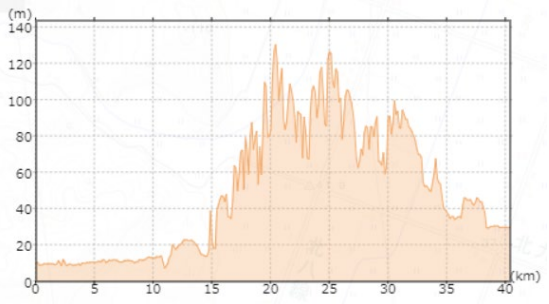
(v) 圃場に見立てた場所での測定（およそ-110dBm の場所）



	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力マージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-96.4	1.6
伝送の質評価（郊外地）	-114.1	-15.6

回線設計の開放地と郊外地の中間的なレベルとなっている。
測定値付近は見通しの良い開放地だが、基地周辺などに郊外地があり、途中に丘など地形の起伏があるためと考えられる。

	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	106	1
中央値	-106	0
標準偏差	5.32	0.89
最大値	-97	4.4
最小値	-118	0



(vi) 圃場に見立てた場所での測定（空中線電力 50W/20W/5W の比較）

	50W RSSI	20W RSSI	5W RSSI	50W BER	20W BER	5W BER
二乗平均平方根	87.6	93.3	97.3	0.3	0.4	0.4
中央値	-88	-92	-97	0	0	0
標準偏差	3.65	3.43	3.09	0.26	0.39	0.36
最大値	-79	-87	-92	1.9	1.9	2.5
最小値	-99	-104	-107	0	0	0

	50W RSSI	20W RSSI	5W RSSI	50W BER	20W BER	5W BER
二乗平均平方根	95.3	100.7	107.2	1	1.2	1.6
中央値	-94	-99	-107	0	0	0
標準偏差	4.53	4.28	4.19	0.93	1.07	1.29
最大値	-88	-94	-97	4.4	5	5.6
最小値	-116	-112	-116	0	0	0

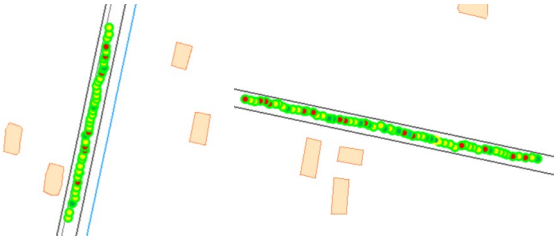
	50W RSSI	20W RSSI	5W RSSI	50W BER	20W BER	5W BER
二乗平均平方根	96.6	101.3	107.2	1.3	1.8	1.3
中央値	-96	-101	-106.5	0	0	0
標準偏差	4.95	4.04	3.88	1.25	1.57	1.14
最大値	-90	-95	-102	7.5	10.6	4.4
最小値	-115	-112	-117	0	0	0

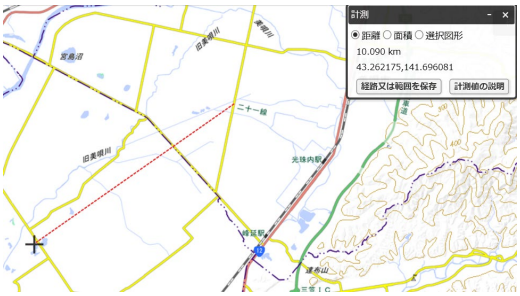
	50W RSSI	20W RSSI	5W RSSI	50W BER	20W BER	5W BER
二乗平均平方根	103.8	102.6	109.9	2.3	1.5	1.8
中央値	-103	-102	-110	0	0	0.6
標準偏差	5.48	3.81	4.23	1.97	1.30	1.44
最大値	-95	-94	-101	10	6.3	6.3
最小値	-117	-113	-119	0	0	0

50W≒47dBm
20W=43dBm
5W≒37dBm
RSSI 値もおよそ空中線電力の差が表れる形になっている。

② 遮蔽物の影響調査（ビル低層、防風林、ビニールハウス、農家、倉庫）

(i) 圃場に見立てた場所での測定（およそ-80dBm の場所）

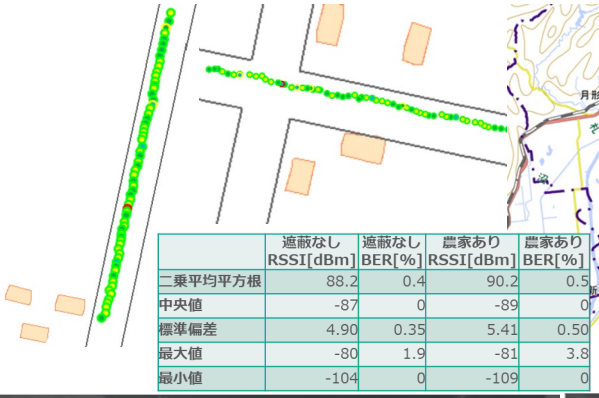




建物の有無で大きな差は認められない

	遮蔽なし RSSI[dBm]	遮蔽なし BER[%]	農家あり RSSI[dBm]	農家あり BER[%]
二乗平均平方根	84.6	0.4	84.7	0.2
中央値	-83	0	-84	0
標準偏差	4.75	0.33	5.08	0.15
最大値	-79	1.9	-79	1.3
最小値	-99	0	-102	0

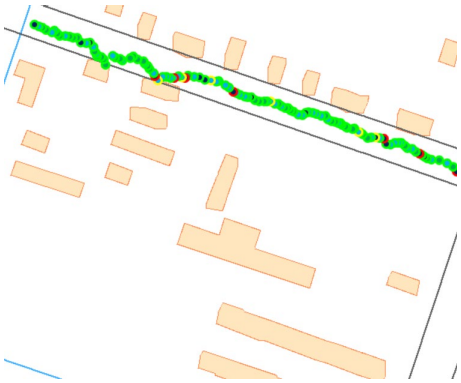
(ii) 圃場に見立てた場所での測定（およそ-90dBm の場所）

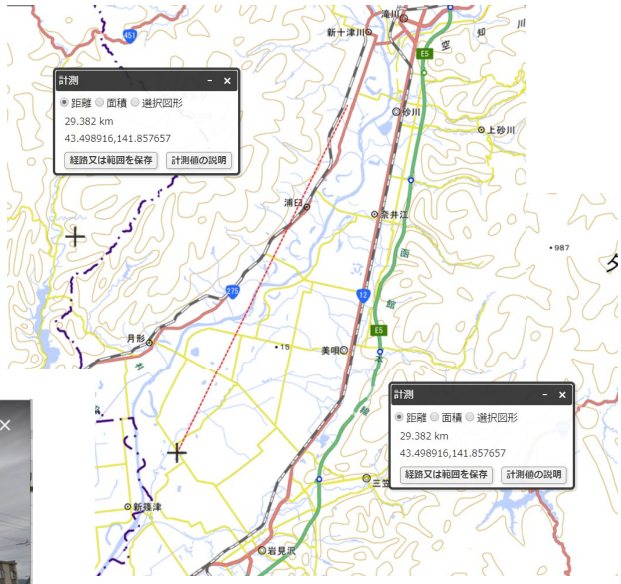


	遮蔽なし RSSI[dBm]	遮蔽なし BER[%]	農家あり RSSI[dBm]	農家あり BER[%]
二乗平均平方根	88.2	0.4	90.2	0.5
中央値	-87	0	-89	0
標準偏差	4.90	0.35	5.41	0.50
最大値	-80	1.9	-81	3.8
最小値	-104	0	-109	0

←建物によるわずかなレベル低下が認められる

(iii) 圃場に見立てた場所での測定（およそ-100dBm の場所）





建物によるわずかなレベル低下が認められる

	遮蔽なし RSSI[dBm]	遮蔽なし BER[%]	低層ビルあり RSSI[dBm]	低層ビルあり BER[%]
二乗平均平方根	97.3	0.7	101.2	0.7
中央値	-97	0	-100	0
標準偏差	5.51	0.63	5.97	0.63
最大値	-87	5	-90	3.1
最小値	-110	0	-120	0

(iv) 圃場に見立てた場所での測定（およそ-110dBm の場所）

	遮蔽なし RSSI[dBm]	遮蔽なし BER[%]	農家あり RSSI[dBm]	農家あり BER[%]
二乗平均平方根	106	1	105.5	0.4
中央値	-106	0	-105	0
標準偏差	5.32	0.89	4.08	0.34
最大値	-97	4.4	-99	1.3
最小値	-118	0	-116	0

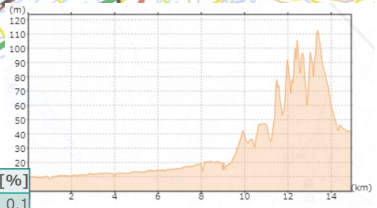
③ 地形の影響調査（水田、河川、山、丘陵、高低差）

(i) 土手

	土手裏 RSSI[dBm]	土手裏 BER[%]	土手表 RSSI[dBm]	土手表 BER[%]
二乗平均平方根	99.8	2.2	96.1	0.9
中央値	-100	0.95	-96	0
標準偏差	3.88	1.60	4.31	0.79
最大値	-93	5.6	-87	2.5
最小値	-109	0	-105	0

土手の表と裏で 3dB 程度のレベル低下と
1 ポイント程度の BER 劣化が認められる

(ii) 丘①

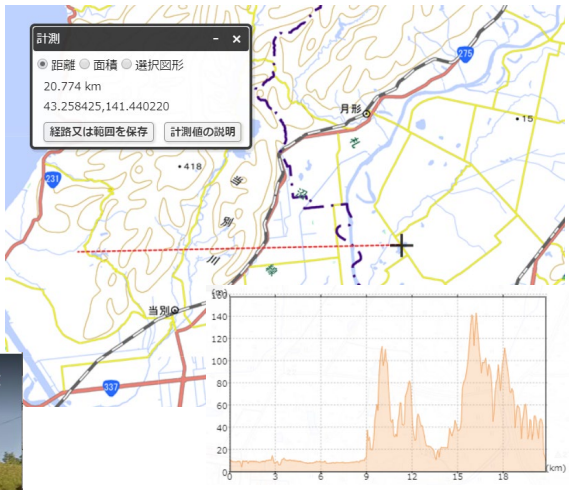


	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	87.2	0.1
中央値	-86	0
標準偏差	4.54	0.11
最大値	-79	0.6
最小値	-103	0

伝送の質の開放地よりも低いレベルとなっており、丘の影響が考えられる

	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力カマージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-80.8	17.7
伝送の質評価（郊外地）	-98.0	0.5

(iii) 丘②

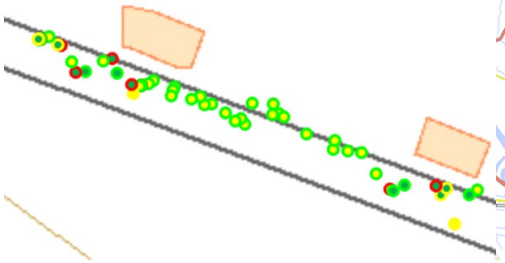


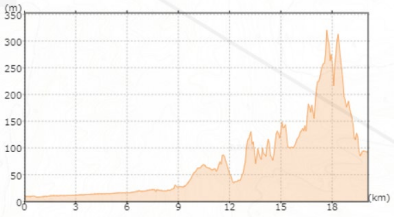
	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	112.1	4.8
中央値	-112	2.5
標準偏差	37.76	3.50
最大値	121	15
最小値	-120	0

伝送の質の開放地・郊外地の値よりも低いレベルとなっており、丘の影響が考えられる

	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力カマージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-86.1	12.4
伝送の質評価（郊外地）	-103.3	-4.8

(iv) 山①





高い山を越えているが伝送の質の開放地の値に近いレベルとなっている。回折等により伝搬経路上の山を回避して伝搬していることが考えられる

	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	88	3.3
中央値	-87	0
標準偏差	4.74	3.06
最大値	-80	15
最小値	-98	0

	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力マージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-85.6	12.9
伝送の質評価（郊外地）	-102.8	-4.3

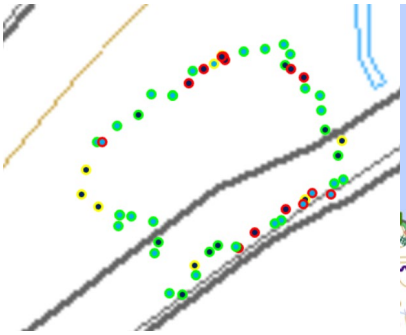
(v) 山②

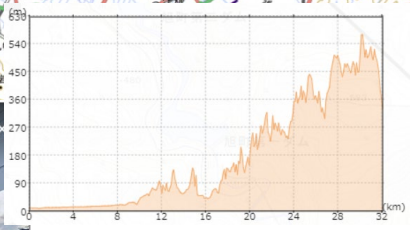
伝送の質の開放地の値に近いレベルとなっている。近傍の山の遮蔽の影響があるが高台のため基本レベルが高くなっていると考えられる

	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	95.4	0.3
中央値	-94	0
標準偏差	5.81	0.29
最大値	-84	1.9
最小値	-111	0

	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力マージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-92.2	6.3
伝送の質評価（郊外地）	-109.4	-10.4

(vi) 山③



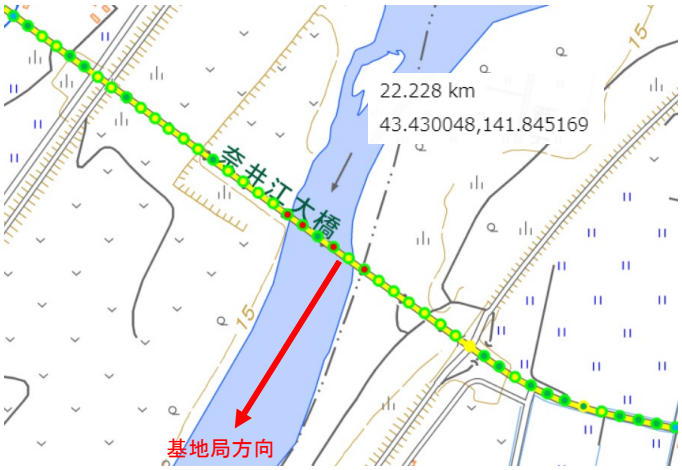


伝送の質の郊外地の値に近いレベルとなっている。高台のため基本レベルが高いが受信点近傍の山の遮蔽の影響があると考えられる

	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	108.4	1.9
中央値	-108	0.6
標準偏差	4.80	1.52
最大値	-100	6.3
最小値	-119	0

	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力マージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-93.1	5.4
伝送の質評価（郊外地）	-110.4	-11.9

(vii) 水田、河川



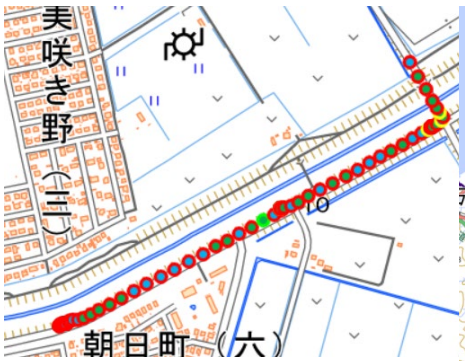
大きな河川近傍
水の影響は認められない

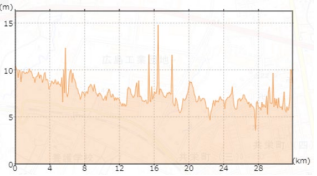
水田のない季節のため、水田に見立てた池の近傍

水の影響は認められない

参考：
一般に水面の影響は、直接波と反射波の干渉とされている。
150MHz 帯では波長が長いため、今回の試験条件では反射波の影響が表れるのは基地から一番遠いところで 75m の点となるので実際には影響を生じない。

(viii) 反射





信号レベルは比較的高いが BER が高い。
直接伝搬する信号から遅延して伝搬する反射波が同等のレベルで入感していると考えられる。
仮に札幌の手稲山が反射点とすると経路差は約 30km となり約 100 μS の遅延が生じ干渉する可能性があるが今回の測定では原因を特定できなかった。

	RSSI[dBm]	BER[%]
二乗平均平方根	99.8	11.8
中央値	-99	15
標準偏差	3.19	5.16
最大値	-95	15
最小値	-110	0

	受信機入力電力Pt[dBm]	受信機入力電力マージン[dB]
伝送の質評価（開放地）	-93.0	5.5
伝送の質評価（郊外地）	-110.3	-11.8

④ フェージング調査（走行スピードによる車体ゆれの影響）

(i) 車体のゆれ

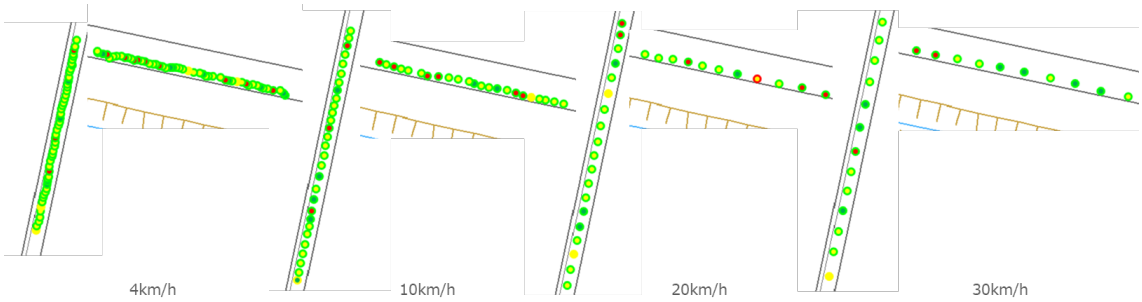
	静止 RSSI[dBm]	揺らす RSSI[dBm]
二乗平均平方根	89.1	89.4
中央値	-89	-89
標準偏差	1.03	3.07
最大値	-87	-85
最小値	-91	-97

車体を左右に揺らしたときと静止状態との違い

平均レベルや最大値最小値に大きな差は見られないが、揺らしたときには標準偏差（ばらつき）が大きくなる傾向がみられる。

	静止 RSSI[dBm]	揺らす RSSI[dBm]
二乗平均平方根	90.8	88.9
中央値	-91	-89
標準偏差	0.67	1.8
最大値	-90	-86
最小値	-93	-92

(ii) 走行スピードの影響（およそ-80dBm の場所）

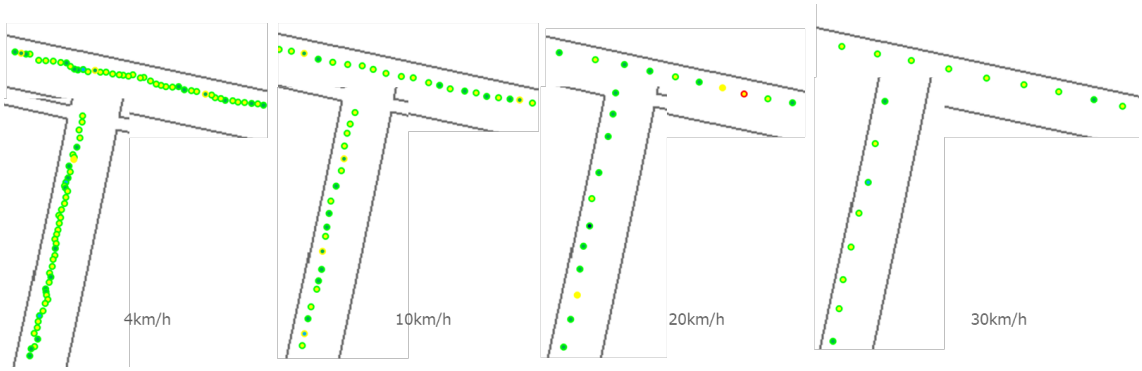


	5km/h RSSI[dBm]	10km/h RSSI[dBm]	20km/h RSSI[dBm]	30km/h RSSI[dBm]
二乗平均平方根	84.6	83.9	85.2	86
中央値	-83	-83	-84	-85
標準偏差	4.75	4.51	5.10	4.95
最大値	-79	-79	-79	-79
最小値	-99	-99	-97	-97

	5km/h BER[%]	10km/h BER[%]	20km/h BER[%]	30km/h BER[%]
二乗平均平方根	0.4	0.3	0.7	0.4
中央値	0	0	0	0
標準偏差	0.33	0.33	0.70	0.36
最大値	1.9	1.9	3.8	1.3
最小値	0	0	0	0

RSSI、BER ともに速度による相関や有意差はみられない。

(iii) 走行スピードの影響（およそ-90dBm の場所）

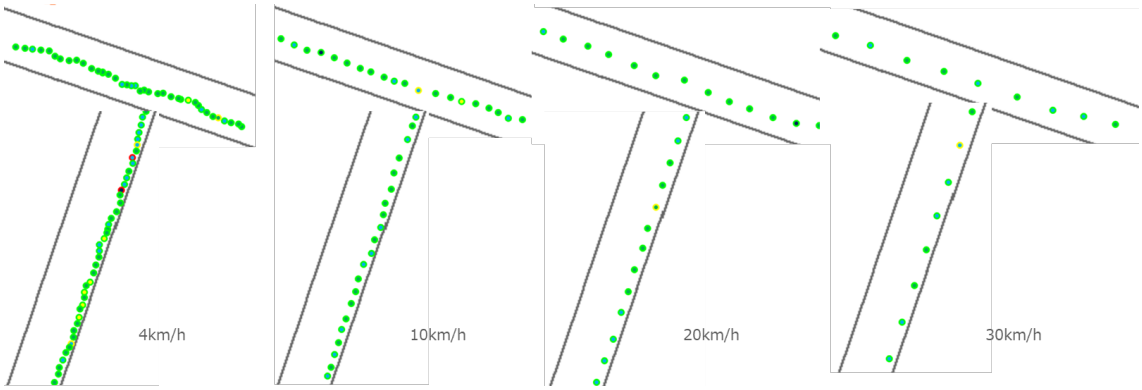


	5km/h RSSI[dBm]	10km/h RSSI[dBm]	20km/h RSSI[dBm]	30km/h RSSI[dBm]
二乗平均平方根	88.2	89.2	91.4	88.2
中央値	-87	-88	-90	-86.5
標準偏差	4.90	5.22	5.53	4.62
最大値	-80	-80	-83	-82
最小値	-104	-106	-110	-100

	5km/h BER[%]	10km/h BER[%]	20km/h BER[%]	30km/h BER[%]
二乗平均平方根	0.4	0.6	0.8	0.4
中央値	0	0	0	0
標準偏差	0.35	0.60	0.71	0.41
最大値	1.9	1.9	3.1	1.9
最小値	0	0	0	0

RSSI、BER ともに速度による相関や有意差はみられない。

(iv) 走行スピードの影響（およそ-100dBm の場所）

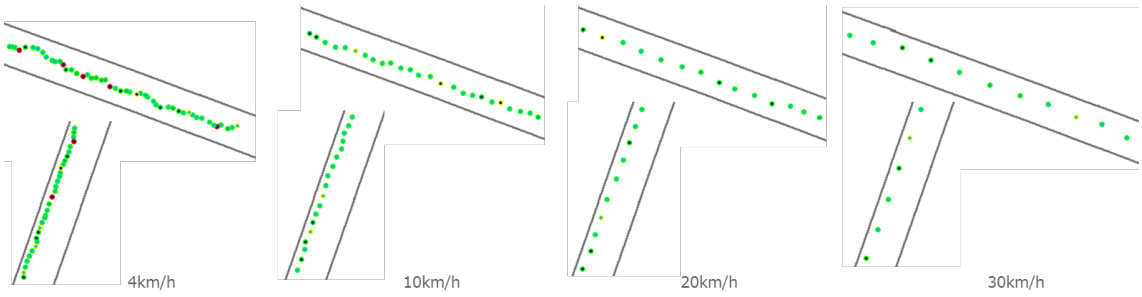


	5km/h RSSI[dBm]	10km/h RSSI[dBm]	20km/h RSSI[dBm]	30km/h RSSI[dBm]
二乗平均平方根	97.3	98.6	97.7	98.8
中央値	-97	-97.5	-97	-96.5
標準偏差	5.51	5.21	5.14	6.07
最大値	-87	-88	-90	-93
最小値	-110	-115	-112	-113

	5km/h BER[%]	10km/h BER[%]	20km/h BER[%]	30km/h BER[%]
二乗平均平方根	0.7	0.6	0.4	0
中央値	0	0	0	0
標準偏差	0.63	0.58	0.36	0
最大値	5	3.8	1.9	0
最小値	0	0	0	0

RSSI、BER ともに速度による相関や有意差はみられない。

(v) 走行スピードの影響（およそ-110dBm の場所）



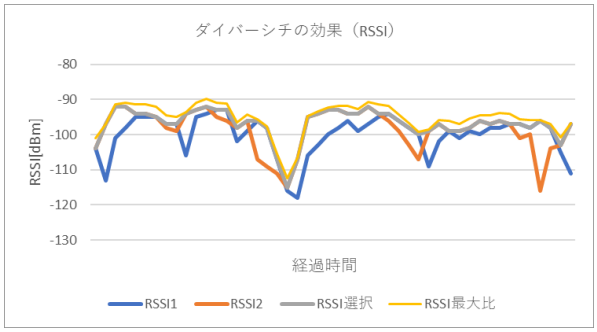
	5km/h RSSI[dBm]	10km/h RSSI[dBm]	20km/h RSSI[dBm]	30km/h RSSI[dBm]
二乗平均平方根	106	105.8	105.4	104.9
中央値	-106	-105	-105.5	-104
標準偏差	5.32	4.77	4.59	4.79
最大値	-97	-99	-97	-97
最小値	-118	-118	-112	-114

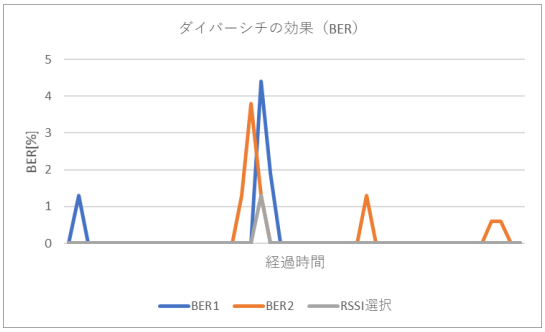
	5km/h BER[%]	10km/h BER[%]	20km/h BER[%]	30km/h BER[%]
二乗平均平方根	1	0.5	0.4	0.7
中央値	0	0	0	0
標準偏差	0.89	0.47	0.39	0.62
最大値	4.4	1.9	1.3	1.9
最小値	0	0	0	0

RSSI、BER ともに速度による相関や有意差はみられない。

⑤ ダイバーシチ調査

(i) 2 台の無線機による測定（およそ-100dBm の場所）



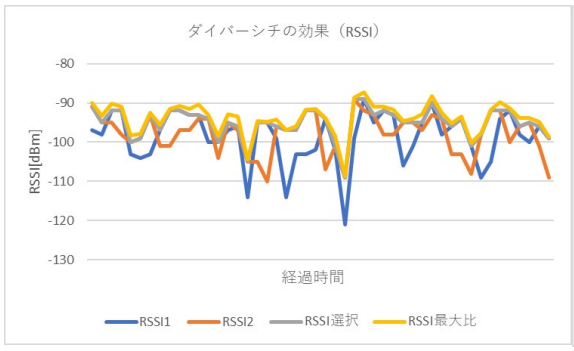


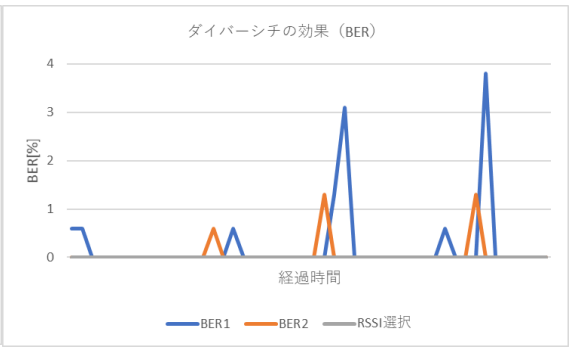
	RSSI1 [dBm]	RSSI2 [dBm]	RSSI選択 [dBm]	RSSI最大比 [dBm]
二乗平均平方根	100.2	98.7	96.9	95.4
中央値	-98	-97	-96	-95
標準偏差	5.72	5.87	4.33	4.33
最大値	-93	-92	-92	-90
最小値	-118	-116	-115	-112

	BER1 [%]	BER2 [%]	BER選択 [%]
二乗平均平方根	0.7	0.6	0.2
中央値	0	0	0
標準偏差	0.70	0.62	0.19
最大値	4.4	3.8	1.3
最小値	0	0	0

選択式のダイバーシチを想定した場合、RSSI で 2-3dB、BER で 0.5%前後の改善効果が得られることがわかる。
最大比合成方式のファイバーシチを想定した場合、RSSI で 3-5dB の改善効果が得られることがわかる。
また、標準偏差が小さくなることから、フェージングに対して効果的であることがわかる。
アンテナ間隔は 1m（1/2 λ）RSSI1/2 は各無線機、RSSI 選択は両者の良い方を取得したデータ、RSSI 最大比は両者の合計。

(ii) 2 台の無線機による測定（およそ-100dBm の場所）





	RSSI1 [dBm]	RSSI2 [dBm]	RSSI選択 [dBm]	RSSI最大比 [dBm]
二乗平均平方根	98.8	98.1	95.1	94
中央値	-97.5	-97	-95	-93
標準偏差	6.44	5.2	3.83	3.94
最大値	-89	-89	-89	-87
最小値	-121	-110	-109	-109

	BER1 [%]	BER2 [%]	BER選択 [%]
二乗平均平方根	0.8	0.3	0
中央値	0	0	0
標準偏差	0.72	0.27	0
最大値	3.8	1.3	0
最小値	0	0	0

選択式のダイバーシチを想定した場合、RSSI で 2-3dB、BER で 0.5%前後の改善効果が得られることがわかる。
最大比合成方式のファイバーシチを想定した場合、RSSI で 3-5dB の改善効果が得られることがわかる。
また、標準偏差が小さくなることから、フェージングに対して効果的であることがわかる。
アンテナ間隔は 1m（1/2 λ）RSSI1/2 は各無線機、RSSI 選択は両者の良い方を取得したデータ、RSSI 最大比は両者の合計。

(iii) アンテナ混合による測定

	南北1本 RSSI[dBm]	南北1本 BER[%]	南北2本 RSSI[dBm]	南北2本 BER[%]	東西1本 RSSI[dBm]	東西1本 BER[%]	東西2本 RSSI[dBm]	東西2本 BER[%]
二乗平均平方根	90.4	0	87.3	0	93.7	0.8	100	1.3
中央値	-90	0	-87	0	-92	0	-100	0
標準偏差	2.07	0	1.80	0	6.60	0.72	4.71	1.18
最大値	-88	0	-84	0	-86	3.1	-92	5
最小値	-98	0	-92	0	-113	0	-112	0

基地局はいずれの場所でも東北東方向

	南北1本 RSSI[dBm]	南北1本 BER[%]	南北2本 RSSI[dBm]	南北2本 BER[%]	東西1本 RSSI[dBm]	東西1本 BER[%]	東西2本 RSSI[dBm]	東西2本 BER[%]
二乗平均平方根	100.5	0.6	95.6	0.6	101.5	1.4	105.9	2.2
中央値	-101	0	-95	0	-101	0	-105	0.3
標準偏差	3.62	0.57	3.02	0.57	4.84	1.16	5.28	1.81
最大値	-95	3.1	-92	3.1	-94	3.8	-95	7.5
最小値	-108	0	-103	0	-112	0	-118	0

南北方向への走行時は、2本のアンテナの合成により、3dB 程度の利得が得られている。ただし、マルチパスによる干渉波も同時に入力されるため、BER に対する改善効果は高くない傾向にある。標準偏差もさほど小さくならないため、単純合成方式のダイバーシチはフェージングに対する効果は低いと考えられる。

	南北1本 RSSI[dBm]	南北1本 BER[%]	南北2本 RSSI[dBm]	南北2本 BER[%]	東西1本 RSSI[dBm]	東西1本 BER[%]	東西2本 RSSI[dBm]	東西2本 BER[%]
二乗平均平方根	102	2.1	96.9	0.9	102.7	0.9	108.8	3.7
中央値	-101	0	-96	0	-101	0	-109	2.5
標準偏差	4.65	1.79	3.57	0.86	4.64	0.76	4.25	2.57
最大値	-94	6.3	-91	4.4	-97	3.1	-102	9.4
最小値	-115	0	-106	0	-114	0	-116	0

東西方向への走行時は、2本のアンテナに入力される信号が逆相となるため、レベル低下がみられる。

	南北1本 RSSI[dBm]	南北1本 BER[%]	南北2本 RSSI[dBm]	南北2本 BER[%]	東西1本 RSSI[dBm]	東西1本 BER[%]	東西2本 RSSI[dBm]	東西2本 BER[%]
二乗平均平方根	105.8	2	100	2.1	106.7	2	108.2	2
中央値	-105	0	-100	0	-106	1.3	-108	0
標準偏差	4.47	1.63	4.26	1.96	4.41	1.33	3.81	1.64
最大値	-97	6.3	-93	8.1	-97	5	-103	5.6
最小値	-115	0	-112	0	-117	0	-118	0

アンテナ間隔は 1m(1/2 λ)

3.6.4 総合試験

(1) 目的

150MHz帯制御用基地局を設置してデータ伝送を行い、1波の運用で複数トラクタの制御が可能かの実証を行う。公開実証試験において実施し、動作を公開する。

(2) 構成

図 3-31 に示す構成の基地局を岩見沢市自治体ネットワークセンター4 階マルチメディアホールに設置する。アンテナは 5 階テラスに設置する。**図 3-32** に示す構成のトラクタを 2 台、約 10km 離れた実験圃場（**図 3-33**）で動作させる。実験圃場での実証試験時には、図 3-34 に示す構成の基地局を使用する。

図 3-31　総合試験制御局①の構成

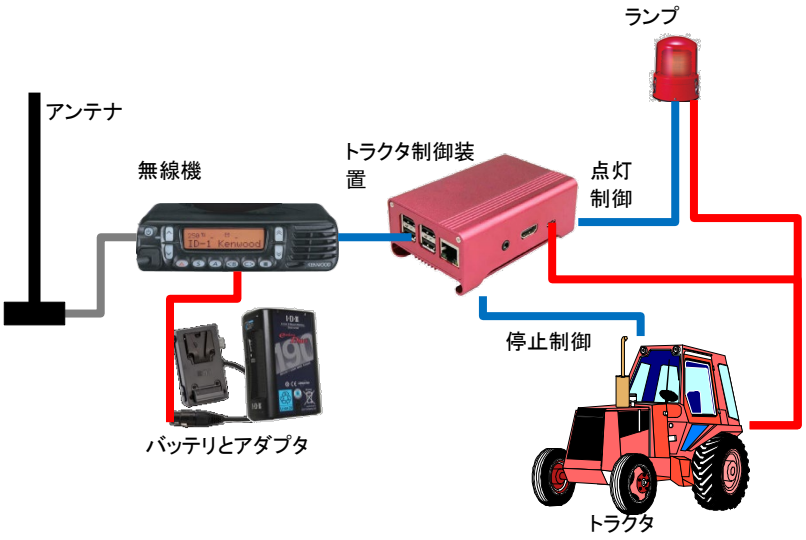


図 3-32　総合試験トラクタ局の構成

図 3-33　実験圃場の方向と距離

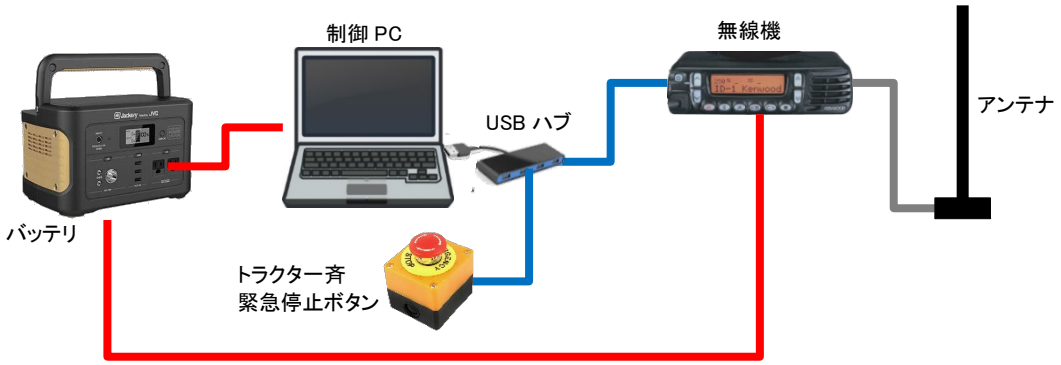


図 3-34　総合試験制御局②の構成

(3) 実施内容

① 岩見沢自治体ネットワークセンター会場での実証試験

トラクタの無人運転デモののち、以下の個別緊急停止制御を動作させる。トラクタの様子はライブ動画映像で確認する。

1. 150MHz 無線によるトラクタ①の緊急停止
2. 150MHz 無線によるトラクタ②の緊急停止

② 実験圃場

実験圃場において、トラクタの無人運転デモののち、150MHz 無線によるトラクタ①②の一斉緊急停止を動作させ、目視確認する。

(4) 制御方法

制御データには、ステータスメッセージを使用する。ステータス番号「100」を「緊急停止」とし、「101」をその「応答」とする。トラクタに搭載の無線機は、個別呼出機能を備え、以下のグループ番号を待ち受ける。

- トラクタ①:グループ 2 およびグループ 6
- トラクタ②:グループ 3 およびグループ 6

制御 PC は、押下されるボタンによって制御を判別し、対応するグループに対してステータスを送信するためのコマンドを無線機に送出する。無線機はただちにステータスを送信する。

ステータスを受信したトラクタ局の無線機は、当該ステータス情報をトラクタ制御装置に送出する。トラクタ制御装置はステータス番号を判断し、トラクタのキルスイッチをアクティブに制御しエンジンを停止させ、ランプを点灯させる。同時に、無線機に対して応答のステータスを制御局に送信するコマンドを送出する。

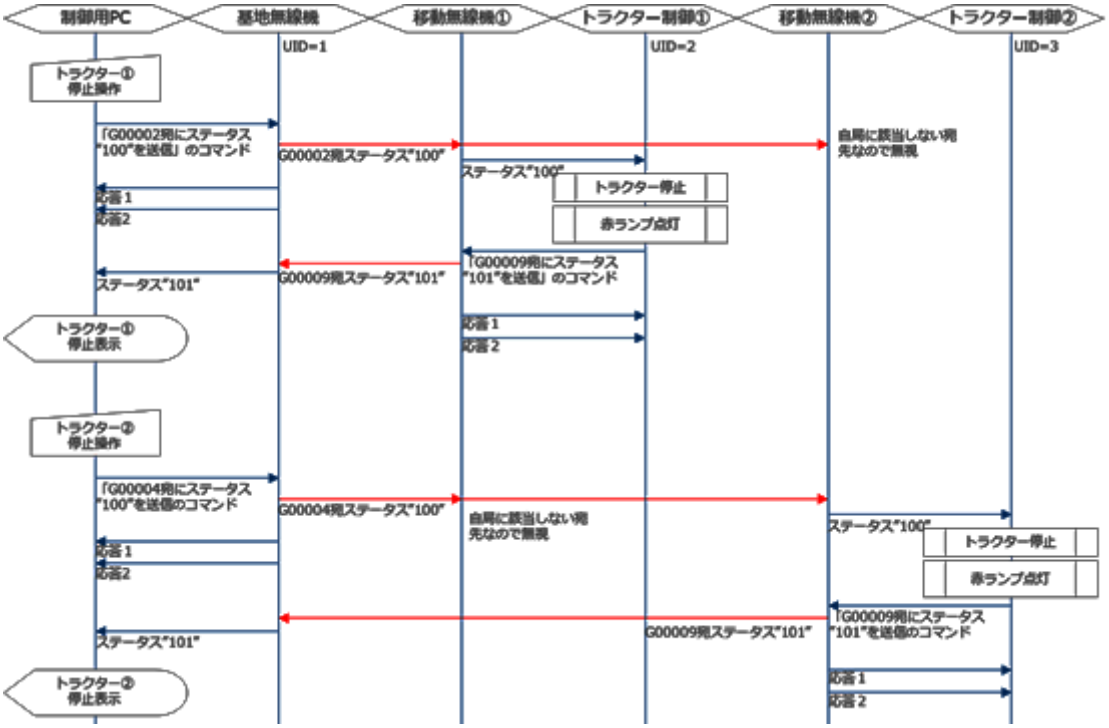


図 3-35 トラクタ個別緊急停止の制御フロー

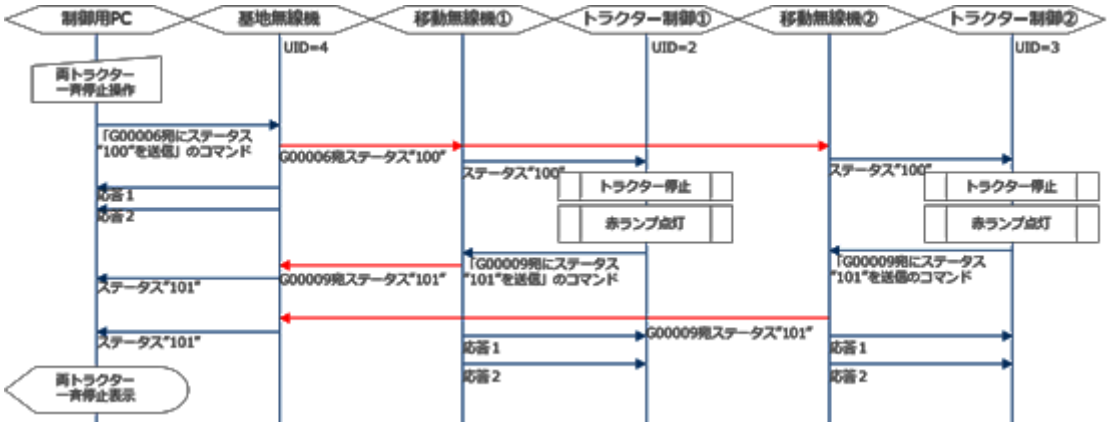


図 3-36 トラクター斉緊急停止の制御フロー

(5) 結果

停止制御に対して問題となるような遅延はなく、1 回のデータ伝送で複数のトラクタを緊急停止させることができた。

3.6.5 公開実証試験について

－ 完全無人走行に向け、専用電波を利用した緊急停止等の公開実証試験 －

3.6.5.1 目的

専用電波として 150MHz 帯を用い、遠隔監視下でのロボット農機の制御としては初となる緊急停止の実証試験を行う。また、「北海道農業 ICT/IoT 懇談会」の活動内容の理解と認識を深めて頂くために懇談会会員及び一般の方を対象に公開実証試験の形式として実施した。

3.6.5.2 実施内容

（1） 日時

・令和元年 11 月 12 日（火曜日）13 時～16 時

（2）場所

・岩見沢市自治体ネットワークセンター 4 階ホール（岩見沢市有明町南 1 番地 20）

・岩見沢市北村地区実証試験圃場 （圃場への移動には無料バスを用意）

図 3-32 試験場所

3.6.5.3 公開実証試験の概要

(1) 公開実証試験プログラム

屋内ホールでの試験説明を兼ねた講演とロボットトラクタのデモンストレーション、圃場へ移動しての見学会を組合せたイベント。

【講演】

・試験概要・試験システム説明

・150MHz 帯無線試験中間報告

【デモンストレーション】

・デモンストレーション（1） ホールにて中継映像にて確認

※バスにて圃場へ移動

・デモンストレーション（2） 圃場にて見学

(2)システム構成

遠隔監視・制御下でのロボット農機の動作をデモンストレーションするために、屋内ホールを監視センターと見立て、遠隔操作可能なロボットトラクタ、監視を行うための映像システム(中継映像)、公開試験テーマである緊急停止システムから構成される。

表 3-9 システム構成

	システム	機 能	構 成	回 線
①	ロボットトラクタ 制御システム	北海道大学開発 ロボットトラクタ遠隔制御 を行う既存システム	・ロボットトラクタ搭載 制御システム ・制御用 PC(タブレット)	モバイル
②	監視映像 システム	遠隔監視のための 画像転送	・定点遠隔制御カメラ ・トラクタ搭載カメラ ・H.265 動画圧縮 システムより構成	モバイル
③	**緊急停止 システム**	緊急時にロボットトラクタ を**強制停止**(エンジン停止) ロボットトラクタ制御システム に機能追加	フェイルセーフ観点から 制御系別通信路構成 (高速、低遅延、安定性 などが求められる)	**150MHz 帯 業務用無線**

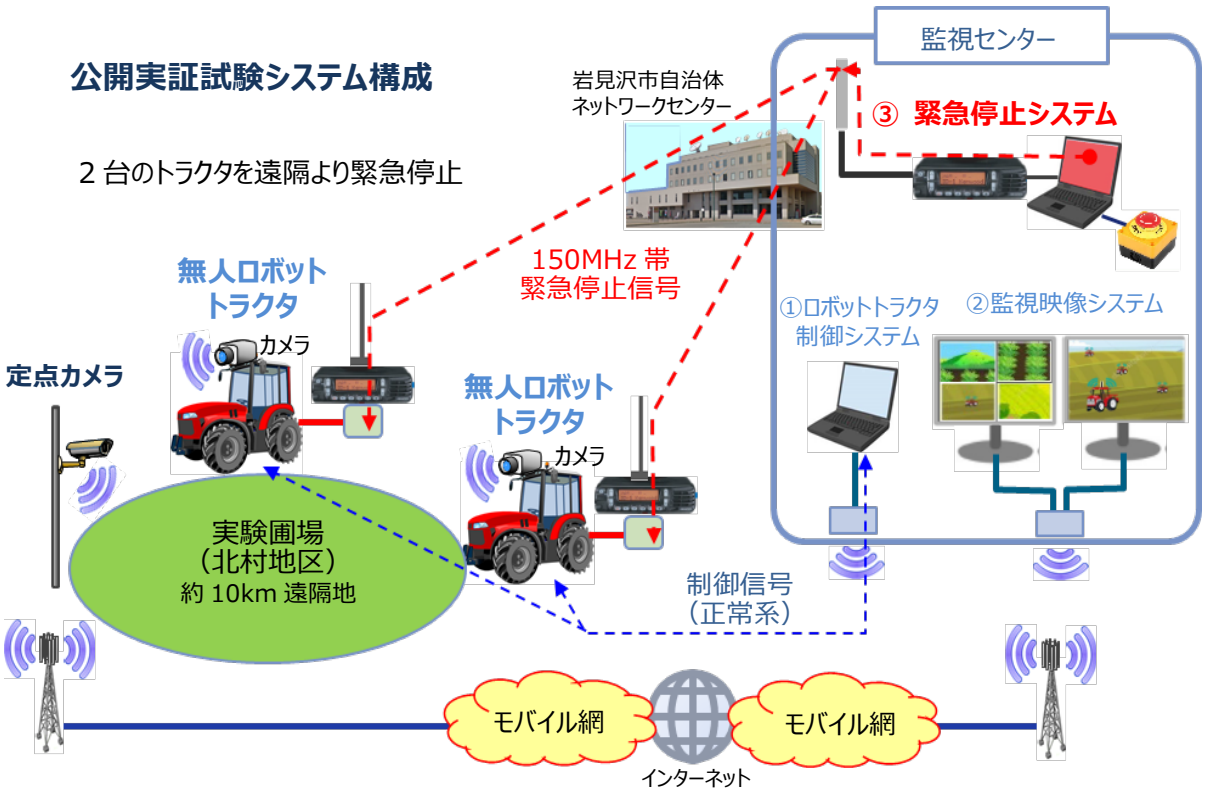


図 3-33 システム構成

① ロボットトラクタ

北海道大学の協力を得て、遠隔制御が可能なロボットトラクタを 2 台借用し、圃場にて走行、停止、緊急停止などの実証試験を行った。遠隔制御は専用のソフトを使用しモバイル回線を通して制御を行う。緊急停止機能をデモンストレーション用に加えてある。

図 3-34 ロボットトラクタ

② 監視映像システム

監視センターよりロボットトラクタ及び圃場の状態を監視するための映像システム。各トラクタに搭載したカメラ、定点カメラ共に画像圧縮に H.265 仕様のエンコーダーを内蔵しており、モバイル回線を通じて画像を転送、会場では各カメラの映像を専用モニターに映し出し中継画像として公開した。

図 3-35 映像システム

③ 緊急停止（制御）システム

150MHz無線機を使用したデモンストレーション用システムで、監視センターより緊急停止のトリガーとしてトラクタ単位に割り当てた緊急停止スイッチを押すことで、制御用の端末に信号が入り、端末よりシリアル情報で無線機を通してトラクタ側の制御装置に緊急停止情報が伝わる仕組み。トラクタでは緊急停止信号を受けると、停止方法としてキルスイッチの押下と同様にエンジンを停止すると共に外部から停止が解るようにランプを点滅する。

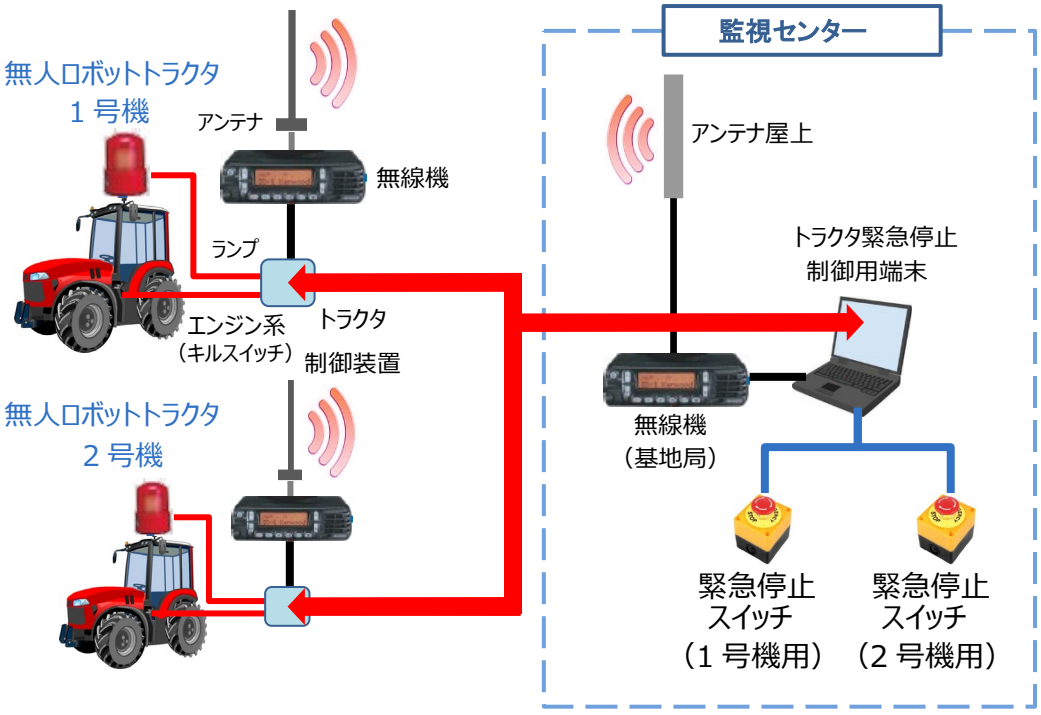


図 3-36 緊急停止システム

3.6.5.4　講演

（1）講演模様

デモンストレーションに入る前に、「北海道農業 ICT/IoT 懇談会・農業ロボット化作業班」の意義や実証試験の説明を行った。

図 3-37 講演模様

（2）講演内容

・主催者挨拶　　総務省 北海道総合通信局 無線通信部長 菅原 隆志

「北海道農業 ICT/IoT 懇談会」、公開実証試験などについて

・概要説明　　北海道大学 大学院農学研究院 准教授 岡本 博史

ロボット農機の状況や北海道大学で開発しているロボットトラクタの紹介、フェイルセーフの観点から制御系通信路を多重化する意味などについて

・屋外試験中間報告　　株式会社 JVC ケンウッド 渡川 洋人

実証試験を行っている 150MHz無線の試験状況の報告

・システム説明　　NTT データカスタマサービス株式会社 竹平 吉彦

公開試験デモンストレーションにおいて使用するシステムや機器の説明

3.6.5.5　デモンストレーション（Ⅰ）

会場を「監視センター」と見立て、遠隔制御により無人ロボットトラクタの自動走行状態を中継画像により確認する。

（1）正常系動作

遠隔制御システムを使用してロボットトラクタの走行開始、停止、走行再開など正常系の動作を映像により確認する。

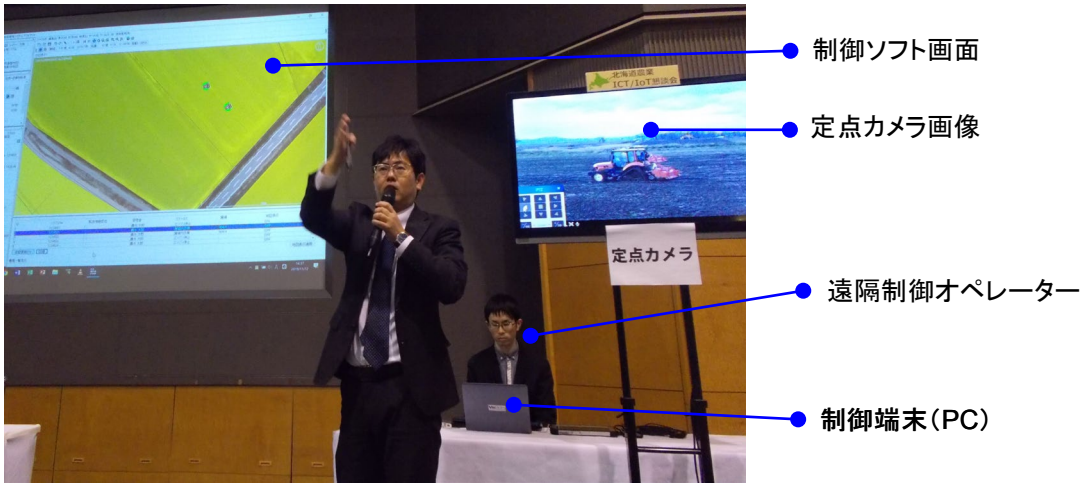


図 3-38 デモンストレーション

（2）緊急停止

圃場への侵入者を検知したというシチュエーションで緊急停止システムを使用して、ロボットトラクタを 1 台毎に緊急停止させるデモンストレーションを実施。

（下記写真は、2 号車の緊急停止スイッチを押下して、トラクタが停止した状態）

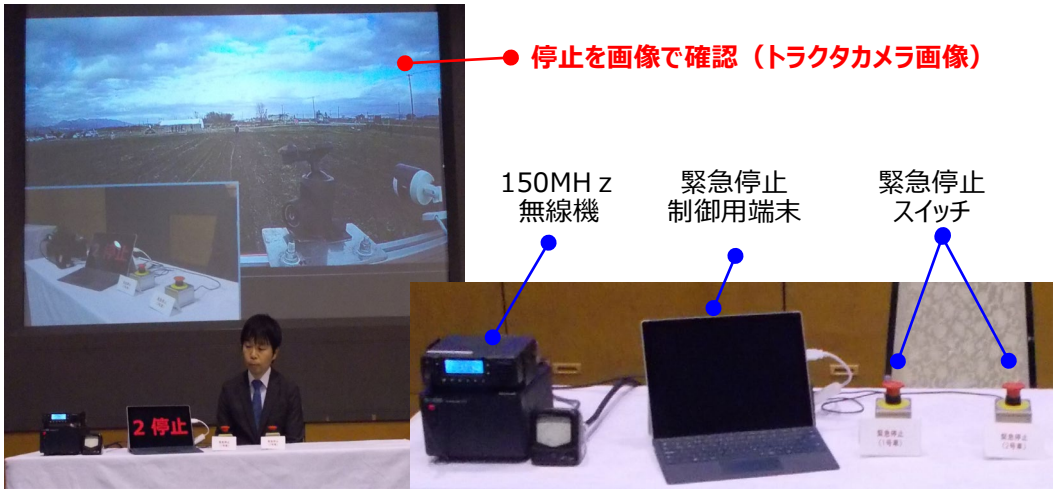


図 3-39 緊急停止

3.6.5.6　圃場視察

バスにて試験圃場に移動し、ロボットトラクタのデモンストレーションを実施。

圃場にてオペレーションやロボットトラクタの動作を直接視察する。

（1）システム構成

圃場内観覧者のすぐそばにてロボットトラクタの遠隔制御操作及び緊急停止システムの操作を行う。

図 3-40 ロボットトラクタ遠隔制御システム（タブレット端末）

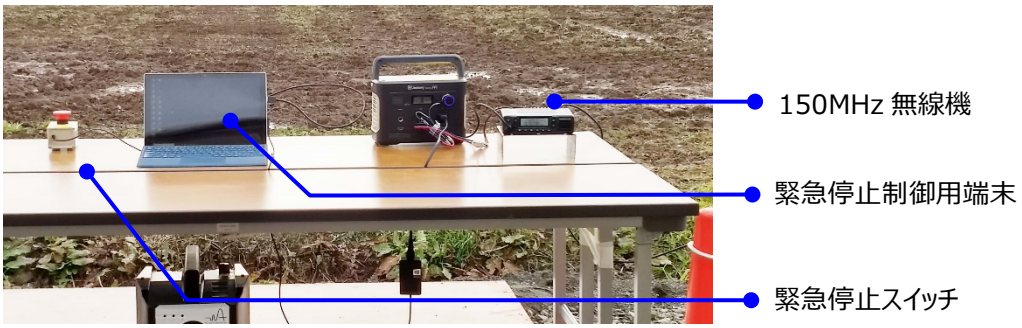


図 3-41 緊急停止制御システム機器

図 3-42 視察の様子

（2）デモンストレーション（Ⅱ）

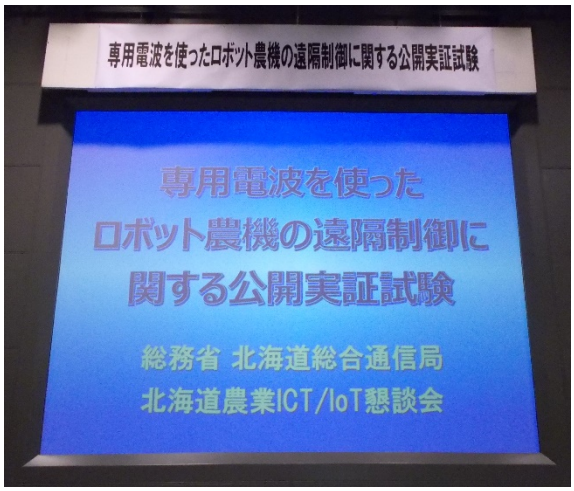
タブレット端末による遠隔制御によりロボットトラクタの走行開始、停止、走行再開など正常系の動作を実施する。

緊急地震速報受信など一斉に停止するべきシチュエーションが発生したとして、緊急停止システムを使用して、ロボットトラクタを 2 台同時に緊急停止させるデモンストレーションを実施。

デモンストレーションの説明

ロボットトラクタ 2 台動作の様子

図 3-43 デモンストレーションの様子

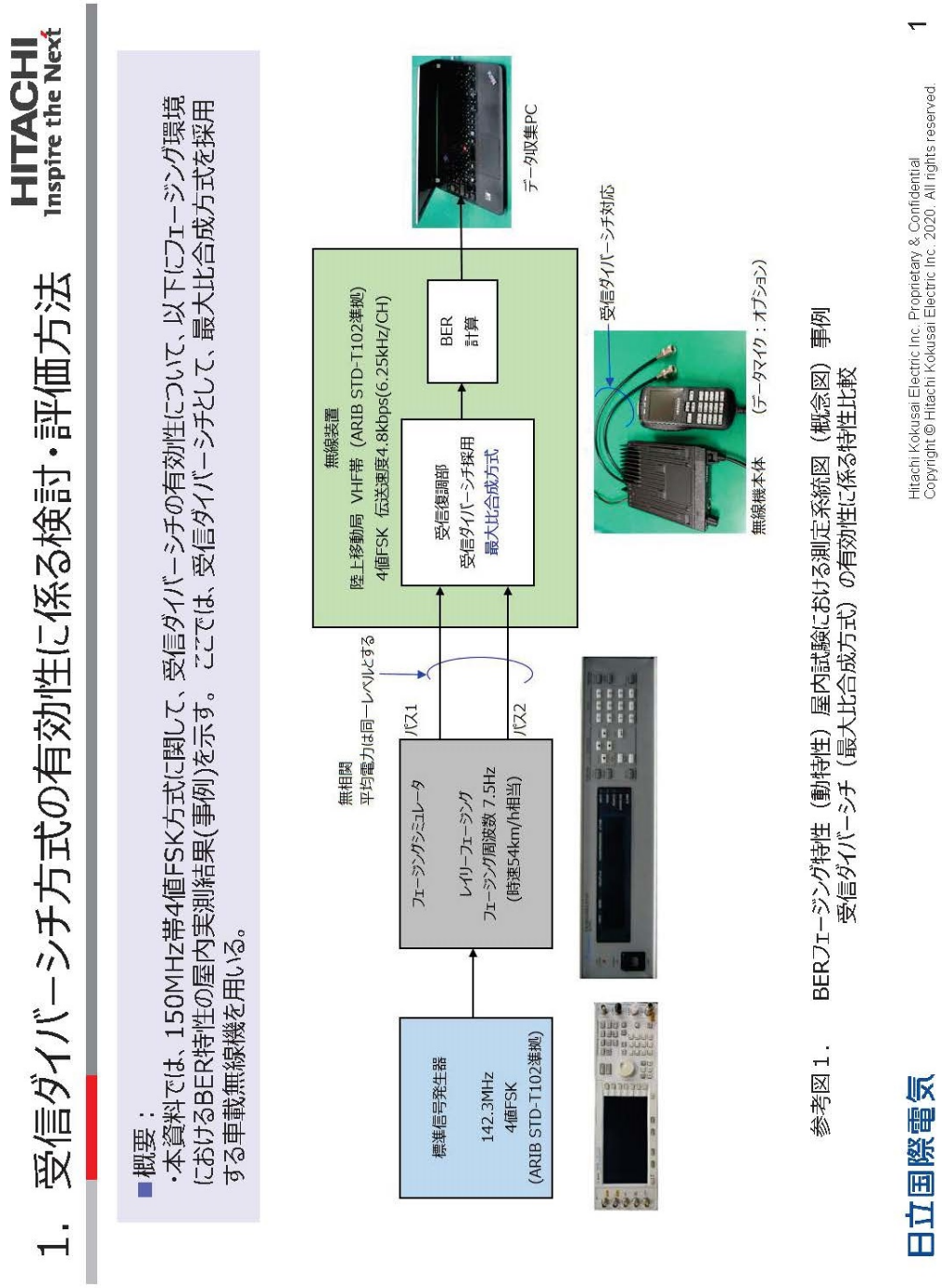


3.7 参考資料

3.7.1　受信ダイバーシチの有効性

※資料提供:株式会社日立国際電気　車載機実測事例

（北海道総合通信局　農業 ICT/IoT 懇談会　WG 報告書関連資料以外への無断転載禁止）



2. 実測無線装置の主要諸元・評価条件

HITACHI
Inspire the Next

表1(参考). 実測無線装置の主要諸元

#	項 目	仕 様
1	周波数帯	142.3MHz
2	チャネル間隔	6.25kHz
3	変調方式	4値FSK
4	伝送速度	4.8kbps
5	受信ダイバーシチ方式	最大比合成方式
6	適用規格	ARIB STD-T102 標準規格※1 準拠
7	評価条件（動特性）	レイリーフェージング（フェージング周波数fd※2: 7.5kHz 時速54km/h相当）

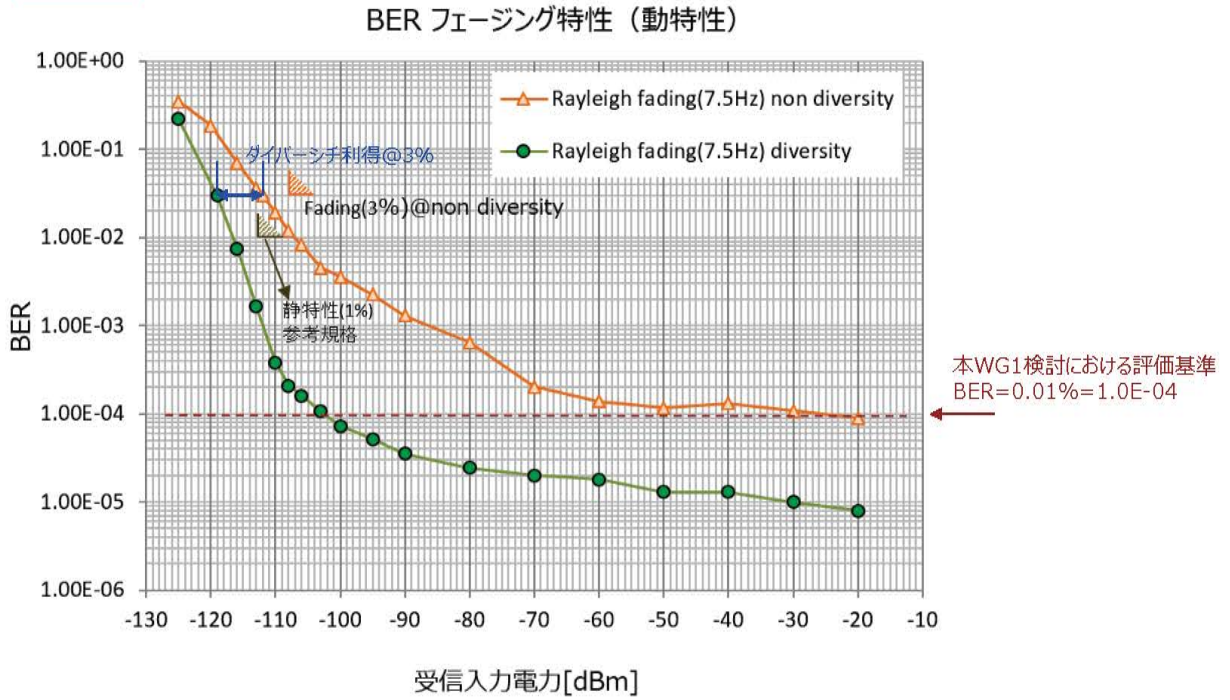
※1 ARIB STD-T102 [狭帯域デジタル通信方式（SCPC/4値FSK方式)] 標準規格：
受信感度：静特性 0dBμV(=-113dBm)以下@BER=1%(1.0E-02)
動特性 5dBμV(=-108dBm)以下@BER=3%(3.0E-02) （Non-Diversity)／fd＝7.5Hz)

※2 フェージング周波数fd：最大ドップラー周波数

Hitachi Kokusai Electric Inc. Proprietary & Confidential
Copyright © Hitachi Kokusai Electric Inc. 2020. All rights reserved.

3．BERフェージグ特性における最大比合成方式・評価結果

HITACHI
Inspire the Next



参考図２．　150MHz帯4値FSK方式(6.25kHz/CH)動特性における受信ダイバーシチ特性（最大比合成方式）実測事例

出典：株式会社日立国際電気　車載機実測事例（北海道総合通局　農業ICT懇談会　WG報告書関連資料以外への無断転載禁止）

日立国際電気

Hitachi Kokusai Electric Inc. Proprietary & Confidential
Copyright © Hitachi Kokusai Electric Inc. 2020. All rights reserved.

4. 実測結果まとめ・考察

HITACHI
Inspire the Next

■150MHz帯4値FSK変調方式(狭帯域デジタル通信方式)における受信ダイバーシチとして、最大比合成方式を採用する車載無線機のフェージング特性の実測結果(事例)及び考察を以下に述べる。

4.1 実測結果（室内試験）：

(1)レイリーフェージグ環境(Fd=7.5Hz：時速約54km/h相当、アンテナ間は無相関)におけるダイバーシチ利得※1はBER=3%において、約6~7dBの効果が認められた。
なお、動特性3%：電波法関係審査基準、ARIB STD-T102標準規格等における回線品質の規定値
※1 ダイバーシチ利得： 非受信ダイバーシチ(Non-Diversity)からの所要受信入力電力の低減効果(dB)

(2)ちなみに、BER=0.1%（1.0E-03）及び0.01%（1.0E-04)における低減(改善)効果は、それぞれ、約20dB~30dB、及び約50dBの結果にある。これは、Non-Diversityの場合、参考図2に示すとおり、BER特性がいわゆる、「軽減不能領域」から早い段階でフロアーに近い特性を呈することによると言える。

(3)最大比合成方式の受信ダイバーシチを採用することにより、受信入力電力の広い範囲で、概ね1桁のBER特性改善効果が認められた。【受信ダイバーシチの有効性】

4.2 考察：

(1)ダイバーシチ利得： 電波法関係審査基準、別紙1(第4条関係） 無線局の局種別審査基準 第3 陸上移動業務の局における150MHz帯4値FSK方式の所要受信機入力電圧(標準値)は、14.5dBμV(=-98.5dBm@動特性BER=3%、Non-Diversity)と規定されている。また、スペースダイバーシチを用いる場合は、当該値から「4dBを減じた値とする」こととなっている。すなわち、ダイバーシチ利得:4dBに相当、所要受信機入力電圧は、10.5dBμV(=-102.5dBm)@BER=3%となる。

(2)フェージングマージン： 本調査検討において、データ伝送を想定したBER=0.1%以下、あるいは、0.01%オーダの回線品質が求められる場合にあっては、受信ダイバーシチ(最大比合成方式)を適用することで、等価的に少なくとも約10~(20)dB程度のフェージグマージンを減じる効果が期待できる実測結果(屋内試験)にあると推察される。 （但し、アンテナ間相関に依存、また、遮蔽損失、土地係数要因による損失を除く。） 【調査検討における考慮事項の一要因】

Hitachi Kokusai Electric Inc. Proprietary & Confidential
Copyright © Hitachi Kokusai Electric Inc. 2020. All rights reserved.

3.8　ロボット農機の遠隔制御に必要な項目、許容される遅延時間等

		伝達項目	内容	通信要件		
				必要ﾃﾞｰﾀ量	更新ﾚｰﾄ	許容遅延
トラクタの一般データ項目	1	アワーメータ	エンジン稼動累計時間	通常:100kbyte/日 異常時:60kbyte/回	通常:1 min イベント発生時(異常時):即	機械情報の配信になるので、許容という範疇のものではない。(このデータを用いてリアル制御するものではないので)
	2	エンジン回転数	エンジン回転数			
	3	バッテリ電圧	バッテリー電圧			
	4	本機搭載センサー	走行部、作業機部、エンジン部 他			
	5	本機搭載スイッチ	走行部、作業機部、エンジン部 他			
	6	作業状態情報	作業開始、作業終了時間			
	7	異常情報	各種異常情報(エラー、警報)			
ロボット農機ー固有のデータ項目	1	トラクタ情報	ロボトラ作業開始	通常:100kbyte/日 異常時:60kbyte/回	通常:1 min イベント発生時(異常時):即	機械情報の配信になるので、許容という範疇のものではない。(このデータを用いてリアル制御しない)
	2		ロボトラ作業停止			
	3		障害物検知信号			
	4		作業機の制御信号			
	5	センサー情報	車体四方の物体(人体)の接近	数ﾊﾞｲﾄ×4(四方センサー)	異常時のみ	
	6	前方映像	リアルタイム映像	解像度に従う	常時	安全のため、限りなくリアルタイム
	7	後方映像	リアルタイム映像(作業確認モニター含)	解像度に従う	常時	
	8	左右映像	リアルタイム映像	解像度に従う	常時	
	9	作業情報(作業結果)	自動走行ルート、圃場形状、作業データ　(走行軌跡、作業結果等)	30Mbyte/日	常時	
	10	作業情報(サーバ指示)	機械側で必要な作業データ(営農管理側との連携)	3Mbyte/日	常時	
	11	通信基地局との通信情報	リアルタイム位置情報確認 (緯度・経度データ、高さ(cm)またはXYZ座標)	3Mbyte/日	1秒	一般的な遅延
	12	電波関係の通信状態情報	通信状態のリアルタイム監視	50kbyte/日	10秒	一般的な遅延
	13	地形情報	段差などの状況監視　(±30~50cm:水田の畔の高さを想定)	100kbyte/日	10秒	一般的な遅延
	14	作業機情報 (播種、施肥、散布関係)	・肥料散布量 (80~150kg:散布量の多い土壌改良剤、車速:2~3m/s、 散布量:100kg/反、散布幅:24mを想定) ・肥料残量 (2000kg:一般的なブロードキャスタ(肥料散布機)の最大積載量)	150kbyte/日	5~8秒	一般的な遅延
	15	作業機情報　(耕うん)	作業機センサー情報(負荷、回転数、耕深等)	150kbyte/日	5~8秒	一般的な遅延

	伝達項目	内容	通信要件		
			必要ﾃﾞｰﾀ量	更新ﾚｰﾄ	許容遅延
	停止信号など	停止信号は1バイトで十分。プリアンブル、フレームシンク、識別符号、制御信号、CRC	128bit	発生都度	1秒以内

4 GNSS システムの衛星測位における他の地上無線との周波数共用条件等

4.1 特定ラジオマイクと GNSS 信号

4.1.1 調査内容

GNSS（全地球測位システム）は、米国の GPS や日本の準天頂衛星「みちびき」などの測位衛星システムにより、ロボット農機の自動操舵を制御するための測位情報を受信する重要なシステムである。

準天頂衛星による測位システムと周波数を共用する他業務の無線局との周波数共用条件については、平成 25 年 1 月 18 日付け情報通信審議会諮問第 2032 号「2GHz 帯等を用いた移動衛星通信システム等の在り方及び技術的条件」のうち「実用準天頂衛星システムの技術的条件」として検討され、平成 28 年 6 月 30 日に一部答申を受けた。しかしながら、同審議会（情報通信技術分科会及び衛星通信システム委員会）においては、準天頂衛星の L 帯を用いた衛星測位システムと周波数を共用する特定ラジオマイク（ARIB STD-T112 で規定されたラジオマイクのうち、1240～1252MHz、1253～1260MHz を送信するものとの周波数共用条件は検討されたものの、実際に農業機械等で使われている GLONASS の L2 帯（1242.9375～1248.625MHz±0.511MHz）との周波数共用条件は検討されなかった。

本調査は、地上無線システムから衛星測位受信機への干渉によりロボット農機の自動走行に支障を来す事例も報告されていることから、GLONASS の L2 帯を含む衛星測位受信機と 1.2GHz 帯を使用する特定ラジオマイクとの共用条件などを調査する。

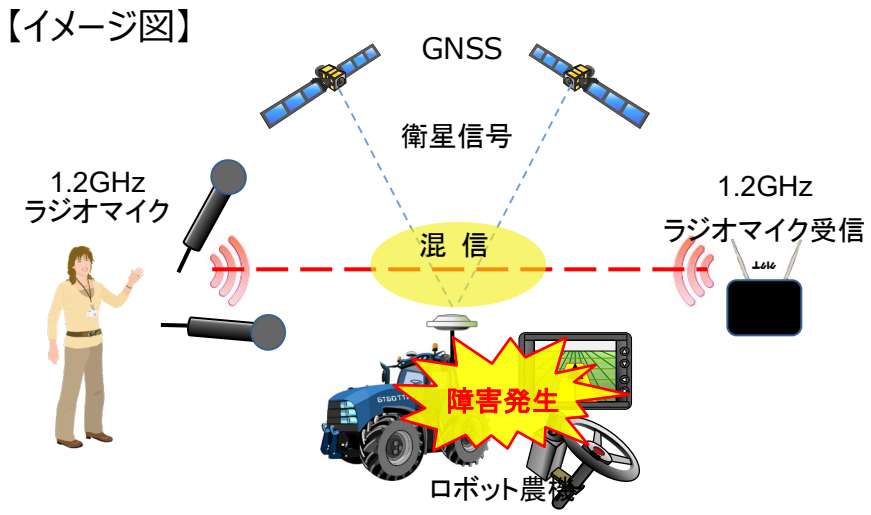


図 4-1 混信イメージ

4.1.2 特定ラジオマイク

特定ラジオマイクは、微弱な電波で免許を必要としないワイヤレスマイクが普及するにつれて、放送を含む一般の無線通信をこれら微弱無線局の干渉から守る必要性が発生したこと、音響事業者や放送事業者、芸能関係者等から、高い技術的条件を備えた業務用ワイヤレスマイクの必要性が要望されて誕生した。

「B 型」および「C 型」のワイヤレスマイクを、無線局免許不要の「特定小電力無線局」とし高品質な業務用ワイヤレスマイクである「A 型」を「音響業務用」の「特定ラジオマイクの陸上移動局」として法制化した。

放送局や他システムと周波数を共用しているため、高い運用技術が必要とされている。

1.2GHz 帯と TV ホワイトスペース帯と専用帯（710～714MHz）を使用するものがA型特定ラジオマイクで、陸上移動局としての無線局免許を必要とする他に、運用時には他局との運用調整が義務付けられている。

(1) A型特定ラジオマイクが使用する周波数。（ARIB STD-T112）

	C 型	B 型	A 型	
使用周波数帯	322MHz	806～810MHz	470～714MHz	1.2GHz
用途の概念	必要最低限の明瞭度	比較的良好な忠実度	高品質な伝送目的	
無線局免許	不要	不要	陸上移動局免許	
運用調整	不要	不要	必要	
空中線電力	アナログ 1mW 以下	アナログ 10mW 以下 デジタル 10mW 以下	アナログ 10mW デジタル 50mW	アナログ 50mW デジタル 50mW

- 1240～1260MHz（1252～1253MHz を除く）
- 710～714MHz （専用帯）
- 470～710MHz （TV ホワイトスペース）

図 4-2 特定ラジオマイクの分類と周波数帯域

(2) 1.2GHz 帯の周波数共有と特ラ機構

特定ラジオマイク現状周波数（1.2GHz帯）は、周波数（770～806MHz から）移行もあったため、他の機器との周波数共有について検討された経緯があるようであるが、「ラジオマイクについては、混信保護値等の共用条件を定めず、特定ラジオマイクの運用面の工夫によって共用を図ることが適当である」との方針から、特定ラジオマイクの運用にあたって互いの連絡・調整等により、電波障害を起こさないようにすることが義務付けられた。

この運用連絡・調整を中心的に行う組織が、特ラ機構（一般社団法人　特定ラジオマイク運用調整機構）で、1.2GHz 帯ワイヤレス送信機を運用する場合は必ず特ラ機構に加入し、運用前には「運用連絡」を提出することが義務付けられている。

1.2GHz 帯周波数を共有すると思われる機器

・各種レーダー（公共的な無線標定業務など）
・FPU (Field Pickup Unit) テレビジョン放送用の無線中継伝送装置
・特定小電力無線局　など

※ GNSS との調整については、特に考慮はされていない。

(3) ラジオマイク離隔距離

特定ラジオマイクを運用するにあたっては、使用周波数が他者に対して混信妨害を与えないか確認した上で使用するのが原則のため、特ラ機構では、混信妨害とならない距離の基準を「運用調整距離」と呼んで数値化している。

ラジオマイク同士の組合せも、様々なパターンが考えられる。

・周波数帯　：1.2GHz 帯/WS 帯（TVホワイトスペース）
・方　式　：アナログ方式/デジタル方式
・送信出力　：10～50mW
・使用場所　：屋内/屋外　など

1.2GHz 帯運用調整距離

組み合わせにより 200m～1500mとなる。

表 4-1 運用調整距離（例）

		使用するラジオマイク（希望波）					
	D / UD	デジタル-RM 10mW	デジタル-RM 20mW	デジタル-RM 50mW	アナログ-RM 10mW	アナログ-RM 20mW	アナログ-RM 50mW
妨害波	デジタル-RM 10mW	300m			450m	500m	550m
	デジタル-RM 20mW	400m	400m		550m	600m	650m
	デジタル-RM 50mW	450m	450m	450m	650m	700m	800m
	アナログ-RM 10mW				450m		
	アナログ-RM 20mW				550m	600m	
	アナログ-RM 50mW				650m	700m	800m
	FPU						1500m

4.1.3 GNSS 衛星信号

各 GNSS の信号・周波数と A 型特定ラジオマイク（1240～1252MHz、1253～1260MHz）を比較すると GLONASS の G2C/A（L2 信号）（1242.9375～1248.625MHz±0.511MHz）と周波数を共用している。

(1) 信号の関係

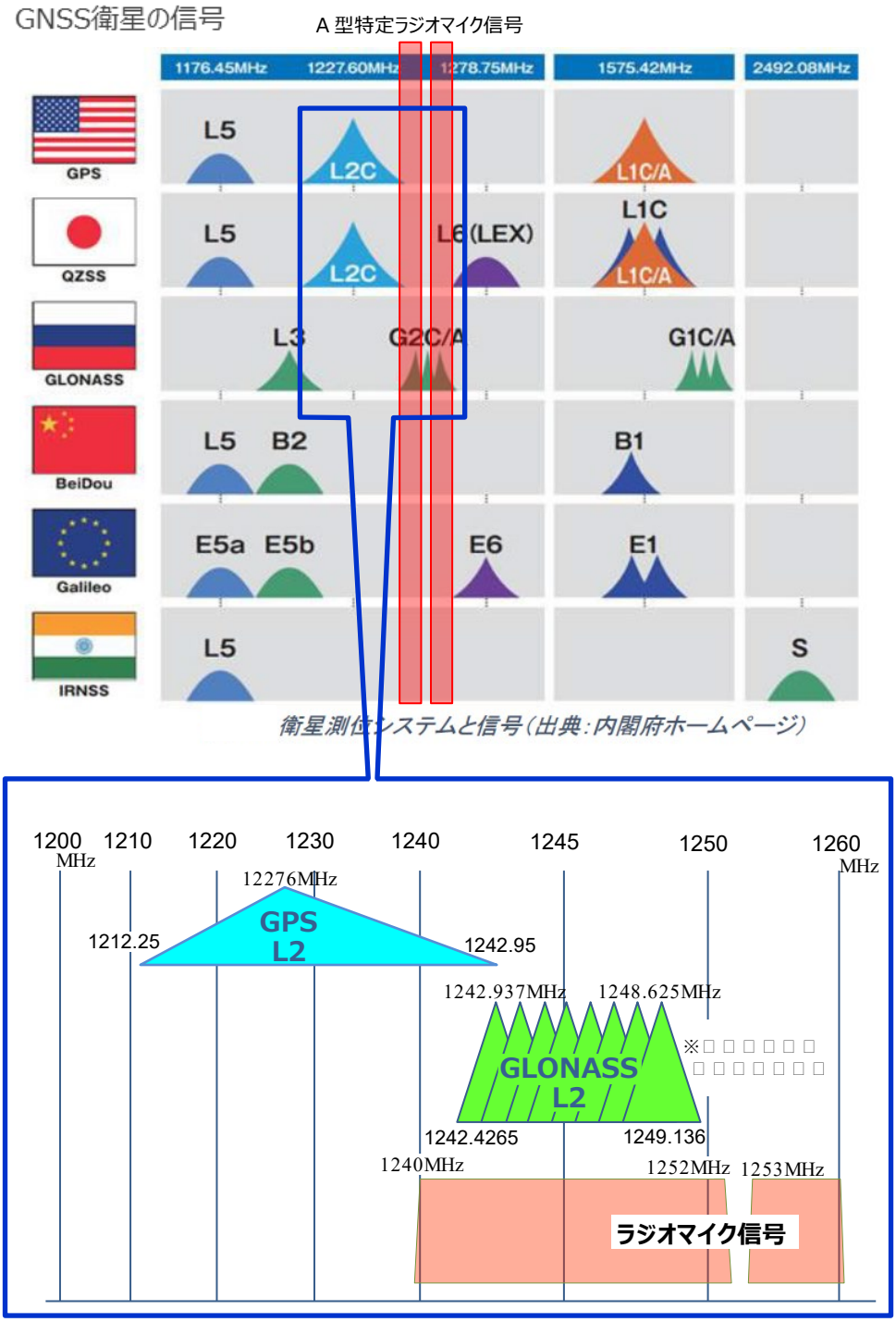


図 4-3 GNSS 信号周波数とラジオマイク周波数の関係

(2) GLONASS の信号

GLONASS は、ロシアの測位衛星システムで、周波数 1.6GHz 帯の L1 信号と 1.25GHz 帯の L2 信号を放送しており、民間用標準精度(ST)と軍事用高精度(VT)の部分がある。

GPS の衛星多重化方式は CDMA（符号分割多元接続）で衛星毎に信号周波数は変わらないが、GLONASS は FDMA（周波数分割多元接続）で衛星毎に信号周波数が異なる。 L1 と L2 信号は BPSK 変調で、バンド幅は 1.022MHz。

L3 信号は後に追加された。

表 4-2 GLONASS 信号周波数

チャネル番号	L1 信号サブキャリア 周波数（MHz）	チャネル番号	L2 信号サブキャリア 周波数（MHz）
06	1605.375	06	1248.625
05	1604.7125	05	1248.1875
04	1604.25	04	1247.75
03	1603.6825	03	1247.3125
02	1603.124	02	1246.875
01	1602.5612	01	1246.4375
00	1602.0	00	1246
−01	1601.4375	−01	1245.5625
−02	1600.875	−02	1245.125
−03	1600.3125	−03	1244.6875
−04	1599.75	−04	1244.2500
−05	1599.1875	−05	1243.8125
−06	1598.6250	−06	1243.375
−07	1598.0525	−07	1242.9375

4.2 実証試験機材

4.2.1 ラジオマイク

(1) ラジオマイク

実証試験に使用した 1.2GHz 特定ラジオマイクは、汎用的に広く使われていることから SHURE 社の ULXD1-Z16 を使用し、すべての試験をおこなった。

試験、測定上アンテナと本体が分離できる必要性から一体型ハンドヘルド形状ではなくアンテナとマイクと本体が分かれているボディパック型を選択した。

表 4-3 SHURE 社 ULXD1-Z16 仕様 （関係項目抜粋）

方式	デジタル方式
送信周波数	1240-1252MHz、1253-1260MHz 任意の1チャンネル
チャンネル数	47（通常モード）、 148（ハイデンシティ・モード）
送信出力	1mW、10mW、20mW 規定値：10mW
アンテナ形式	¼波長ホイップ、50Ω
使用帯域	＜ 200 kHz
電源	単3電池×2本、専用リチウム充電池
寸法・重量	W66×H86×D23mm 約142ｇ（電池除く）
到達距離	空中線電力10mW/約100m 見通しの良い屋外で使用した場合 （使用環境により異なる）

図 4-4 特定ラジオマイク SHURE 社 ULXD1-Z16

（2） 特定ラジオマイク設定条件

ラジオマイクに設定した周波数は、各試験共通で 3 の帯域とした。

- インバンド　　：　GLONASS 衛星 L2 信号の中心周波数（1246MHz 近辺）
- アウトバンド Low　：　ラジオマイク設定可能な周波数の低い側（1240MHz 近辺）
- アウトバンド Hi　　：　ラジオマイク設定可能な周波数の高い側（1260MHz 近辺）

試験的にマイク本数 1 本の場合と複数の場合があるが複数の場合は、3 本と 5 本とし、3 本の場合は、インバンド＋アウトバンド Low＋アウトバンド Hi とした。

5 本のケースは、3 本にインバンドとアウトバンド Low 各 1 本追加した。

各マイクの出力は、一般的な使用条件の 10mW とした。

屋内、屋外など各試験に同一条件で使用。

設定後に測定確認した、周波数と出力の値は以下の通り。

表 4-4　試験に使用した特定ラジオマイク設定周波数と出力

	定　義	周波数	出力
①	アウトバンド Low1	1240.150MHz	12.09dBm
②	アウトバンド Low2	1240.775MHz	10.39dBm
③	インバンド 1	1245.975MHz	10.59dBm
④	インバンド 2	1246.175MHz	10.81dBm
⑤	アウトバンド Hi	1259.850MHz	10.05dBm

図 4-5 特定ラジオマイク測定試験構成

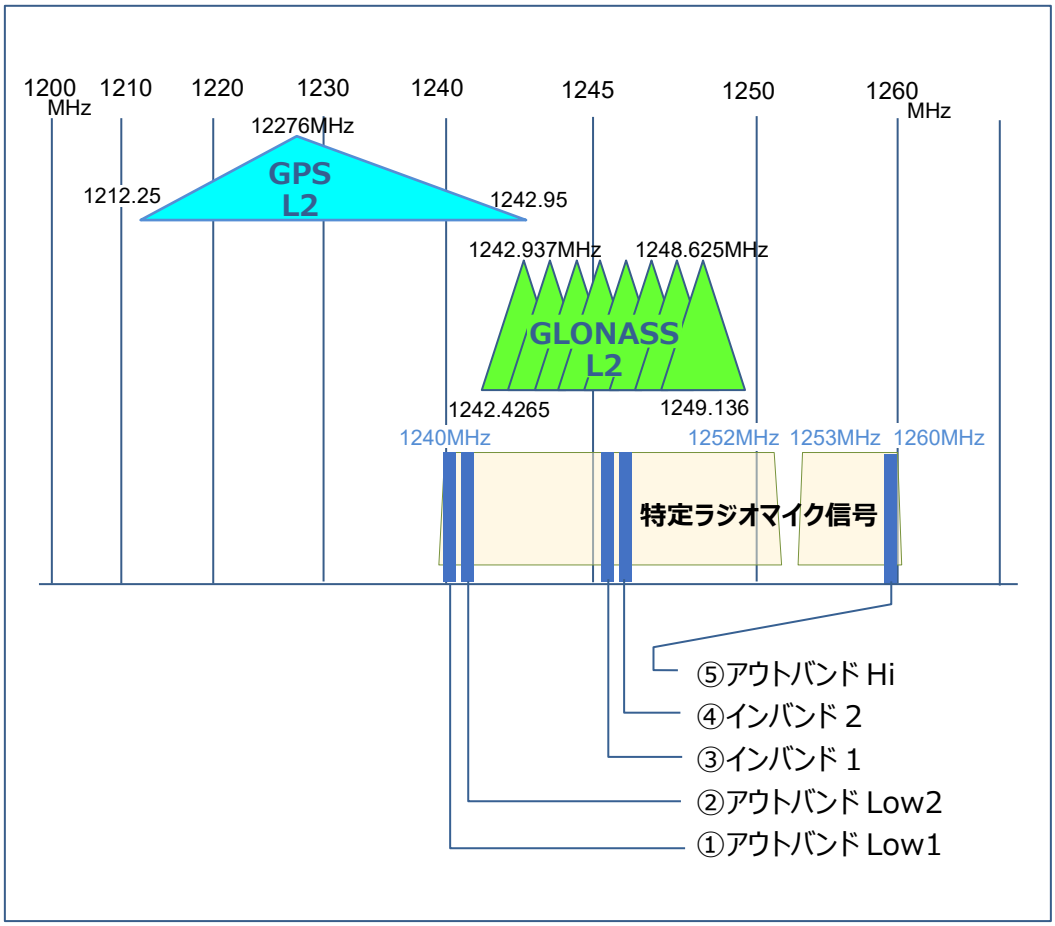


図 4-6 GNSS 信号周波数と特定ラジオマイク設定周波数の関係

4.2.2 試験機器

特定ラジオマイク以外の試験に使用する機器類について、

(1) GNSS 受信機

GNSS 受信機は、複数信号利用で RTK 測位ができ、GLONASS も利用できることを前提として、精密農業用の農機に搭載するガイダンスタイプの機種と測量用途などに使用する機種、RTK を行うための基地局用受信機の合計 8 台を用意した。

屋内、屋外など各試験にて使用。

表 4-5 試験に使用した GNSS 受信機

種類	機 種	用 途	備 考
GNSS 受信機	GNSS 受信機（A） GNSS 受信機（B）	農機搭載用 ガイダンス機種	GNSS 機能の他に自動操舵制御機能などを搭載
	GNSS 受信機（C） GNSS 受信機（D）		
	GNSS 受信機（E）	測量やインフラネットワーク用	RINEX 情報出力可能な機種
	GNSS 受信機（F） GNSS 受信機（G）		
	GNSS 受信機（H）	RTK 基地局用	受信機(A)～（G）と RTK を実現

（2）その他機器

- GNSS シミュレーター

  室内試験において、仮想的に任意の測位衛星配置を実現し、試験環境を実現する。シナリオにより同一環境を再現可能。GLONASS 衛星も含む。

- 測定器

  代表的な機器としては、スペクトラムアナライザを使用。

- 電波暗箱（シールドボックス）

  室内試験において、特ラ機構情報や測定結果より、数十から数百メートルの離隔距離が想定され、実際の距離を屋内環境で実現することはできないので、距離を固定した状態で信号を減衰してその値から距離を算出する方法とした。そのため電波暗箱（シールドボックス）を使用した。

表 4-6 試験に使用した主な機器

種 類	機 種	用 途	備 考
GNSS シミュレータ	Spectracom GSG-64	衛星信号の シミュレート	GPS L1,L2 GLONASS L1,L2
スペクトラム アナライザ	Tektronix RSA507A	信号強度の測定など に使用	
	Tektronix RSA3408A		
電波暗箱 シールド ボックス	マイクロニクス MY1530	屋内試験における 電波シールド環境	シールド性能 70dB （typ@2.4GHz） 吸収性能 20dB 以上 （MYA-77：1.2GHz 以上）

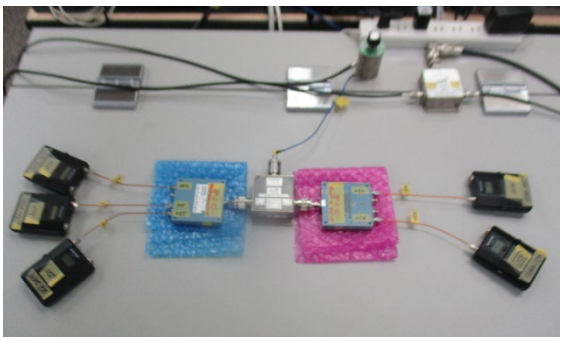


図 4-7 屋内試験機器

4.3 室内試験

ラジオマイクの特性、混信状況の傾向をつかむために室内にて試験を行う。

4.3.1 外来雑音の確認

室内試験を行うに当たっては外来からの影響を遮断するためにシールドボックスを使用し、無線試験環境を構築するため、シールドボックス内の特性を確認した。

(1)試験方法

・各 GNSS 受信機のアンテナのみをシールドボックス内に設置

・アンテナをスペクトラムアナライザ(測定機)に接続

・電波を出していない状態で測定

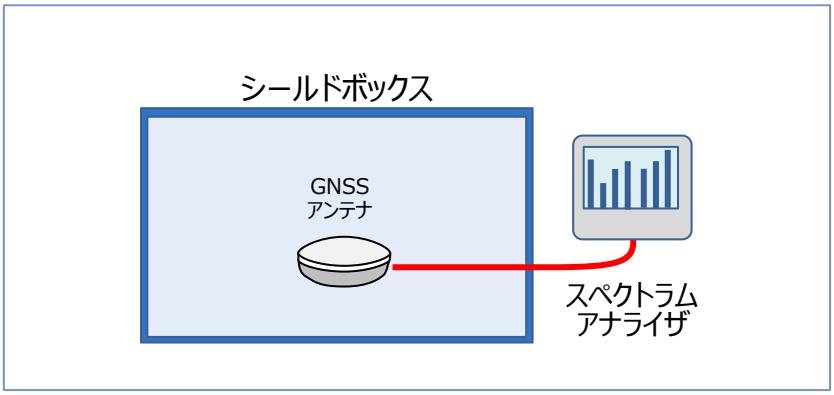


図 4-8 試験構成図

(2)試験結果

アンビエントノイズがスペクトルアナライザのノイズフロア以下であり、計測帯域内において外来波は見受けられず、本調査に使用することに問題ないことを確認した。

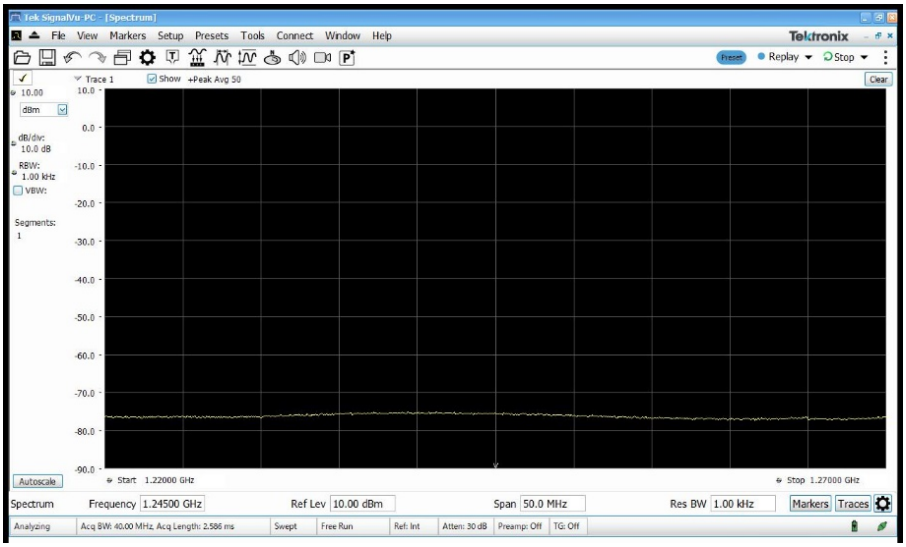


図 4-9 測定(例)

4.3.2 室内試験概要

GNSS 受信機 RTK の FIX が外れるポイントのアンテナ間の距離を算出する。

(1) 試験方法

試験場所： 東京都港区虎ノ門ラボルーム

試験日時： 2019 年 10 月 15 日～12 月 27 日

試験方法：

・シールドボックス内にて無線区間を構成

・GNSS シミュレーターを使用し GNSS 受信機の RTK が FIX した状態を作る

・ラジオマイクの信号レベルを調整することで FIX が外れる状態を作る

・信号の値から自由空間伝搬損失の公式によりアンテナ間の距離として算出

GNSS 受信機

・使用する衛星 ： GPS、GLONASS（GNSS シミュレーターにより生成 ）

・使用周波数 ： 2 周波(L1、L2)

・仰角マスク ： 10 度 （設定変更不可な受信機は既存値）

・測位方式 ： RTK （シミュレーター情報を RTK 基地局受信機に入力）

・補正データ形式 ： RTCM3.0

ラジオマイク

・マイク接続 ： 信号は、信号混合器、可変減衰器(アッテネーター)、を経由してアンテナに接続、本数の調整、送信電力の調整を行う

シールドボックス

・アンテナ設置 ： ラジオマイクアンテナ、GNSS 受信機アンテナ、シミュレータアンテナを設置、設置時にアンテナ間距離を測定

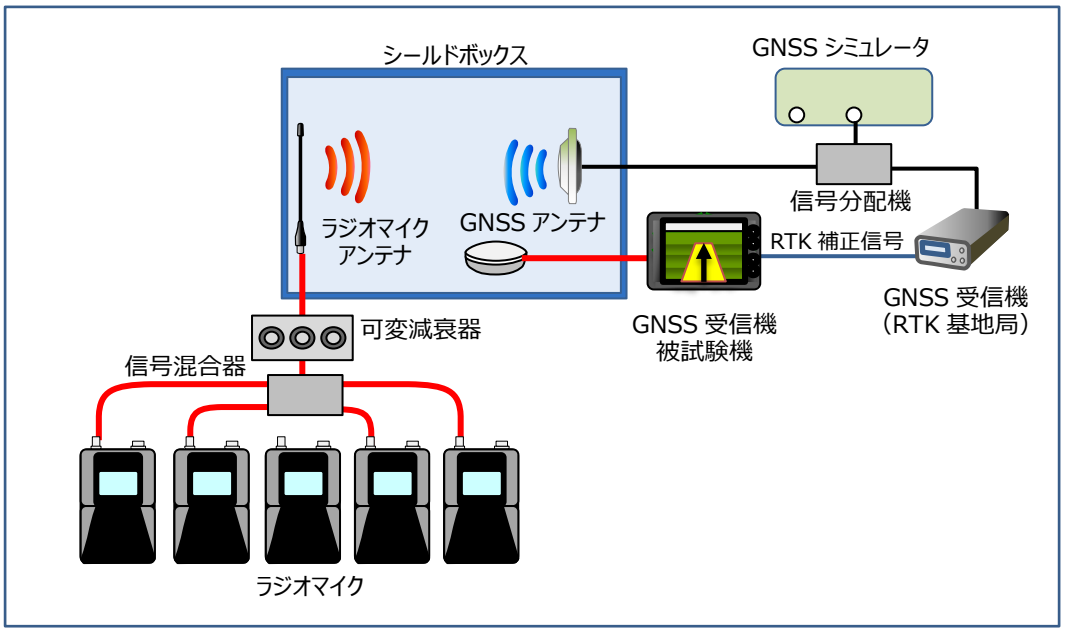


図 4-13 試験構成図

(2)試験手順

・試験準備　：　検証用 GNSS 受信機、シミュレータ、RTK 基地局受信機を準備
・マイク準備　：　試験項目により 1 本、3 本、5 本、周波数を確認、信号混合器を調整
・FIX 状態　：　GNSS 受信機を起動し、RTK が FIX 状態になることを確認
・マイク起動　：　可変減衰器を最大状態にてラジオマイク起動、影響が無いことを確認
・信号調整　：　可変減衰器を調整し、送信電力(0～60dB)を 10dB 単位で変化
・受信機確認　：　受信機の状態(測位ステータス、衛星信号レベル)を確認
・値記録　：　FIX が外れたポイントの値を記録
・距離計算　：　自由空間伝搬損失の公式に値を代入して距離を計算
干渉距離は 10mW(10dBm) 送信時として計算、減衰量は、
① ラジオマイク本体－送信アンテナ間の経路減衰
② 送信アンテナ－GNSS 受信アンテナ間の空間放射による減衰
③ 可変減衰器による減衰量
の和を総減衰量として、干渉距離に変換

(3)試験結果

RTK　FIX が外れた干渉ポイントの距離変換値

表 4-8　特定ラジオマイク GNSS 受信機への干渉距離(m)

	アウトバンド LOW	インバンド	アウトバンド Hi	3 本	5 本
受信機(A)	120	120	39	377	377
受信機(B)	120	120	39	120	120
受信機(C)	40	12	12	116	116
受信機(D)	38	38	12	119	119
受信機(E)	―	―	―	―	―
受信機(F)	39	39	12	120	120
受信機(G)	39	39	12	120	120

(4)考察

受信機により距離が異なるが、周波数により 12～380m 程度離す必要がある。
参考として、1.2GHz 帯ラジオマイクの「運用調整距離」200m～1500mの範囲ではある。
傾向的には
・周波数的には、インバンドの他にアウトバンド Low も同程度影響を与えている
・アウトバンド Hi は比較的影響が少ない
・マイク本数が増えると干渉が強くなる

4.4 屋外試験

4.4.1 試験概要

屋外環境において、GNSS受信機と特定ラジオマイク間の距離を調整しRTK測位に影響が現れるポイントまでの距離を測定する。

4.4.2 試験方法

試験場所　　：茅ヶ崎西浜海岸、茅ヶ崎漁港海岸公園駐車場近辺
（神奈川県茅ケ崎市南湖 6-18-7）

試験日時　　：2019 年 11 月 27 日～29 日

試験方法　　：検証用 GNSS 受信機及び測定器などを搭載した車両を定位置に駐車し、ラジオマイクを徐々に近づけ RTK FIX に影響が発生したポイントを調査。

GNSS 受信機設定

・使用する衛星：GPS、GLONASS
・使用周波数　：2 周波（L1、L2)
・仰角マスク　：10 度（設定変更不可な受信機は既存値）
・測位方式　　：ネットワーク RTK （株式会社ジェノバの RTK サービスを利用）
・補正データ形式：RTCM3.0

ラジオマイク

・マイク位置　：スタンド形式専用治具
移動可能なスタンドの地上から約 1.5m高さに水平方向にバーを取付
約 30cm 間隔でマイク 5 本をセット
試験項目により該当マイクを起動
・設置位置　　：スタンド中央に測位計測用 GNSS アンテナを設置、停止時に設置位置を測定。

4.4.3 試験場所

神奈川県茅ヶ崎漁港海岸公園駐車場、太平洋に面した海岸線の砂浜と駐車場にて実施

図 4-14 試験場所

4.4.4 特定ラジオマイク

移動しながら測定する必要と、マイク 5 本を使用するため測定用治具を作成。
GNSS受信機との距離を求めるため、位置情報を測定できるようにGNSSアンテナを具備。

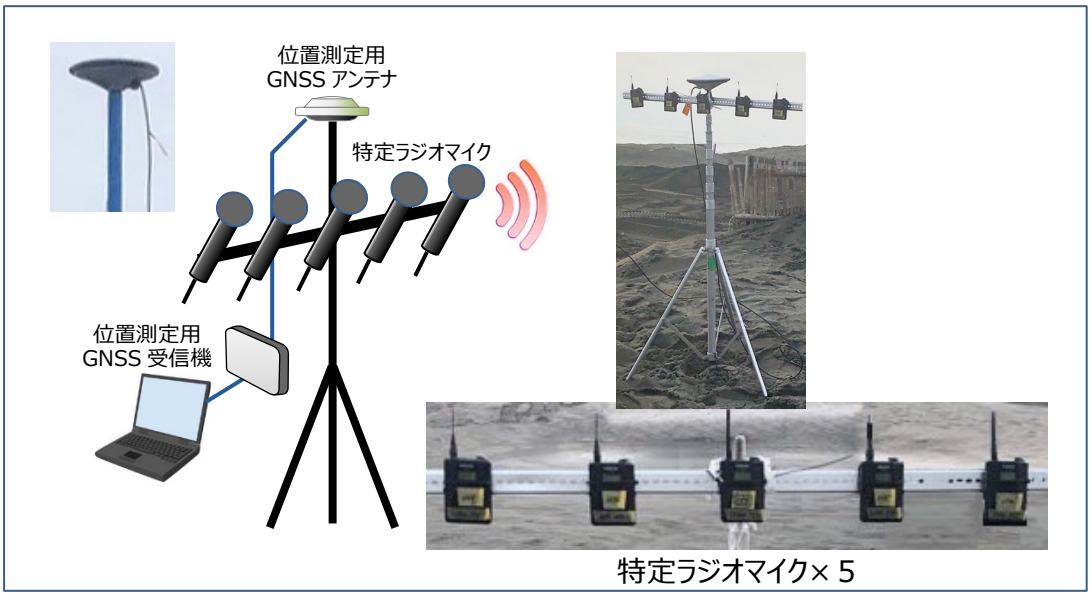


図 4-15 特定ラジオマイク屋外試験用スタンド式治具

4.4.5 試験構成

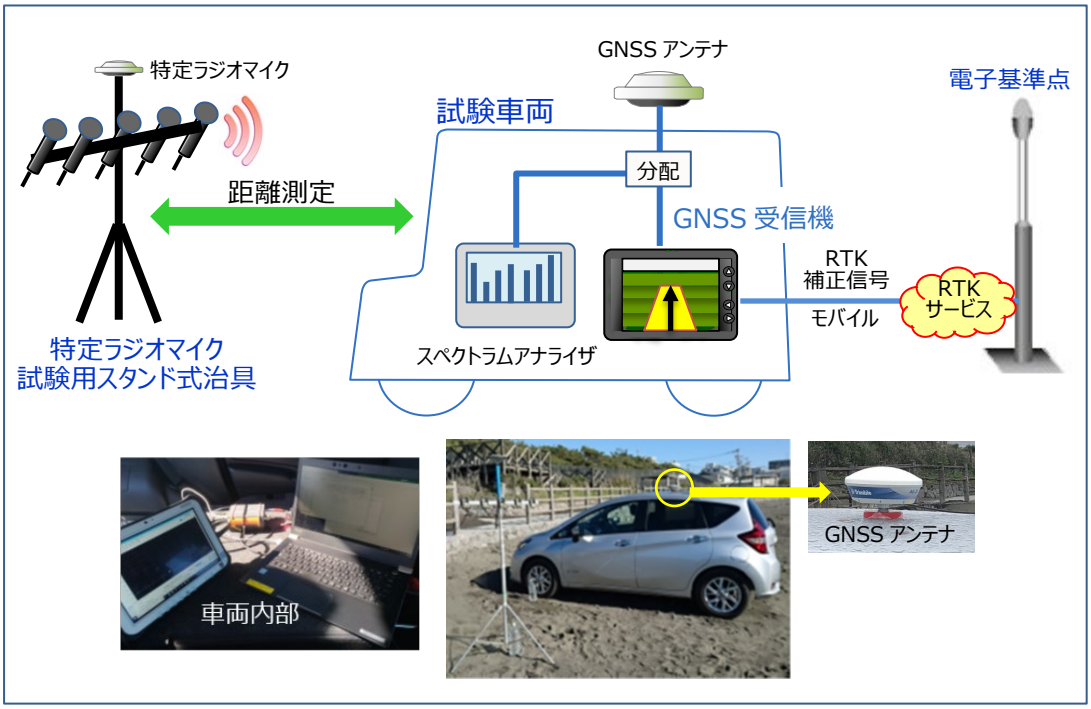


図 4-16 屋外試験システム構成

4.4.6 試験手順

（1）試験準備

・車両　：駐車場の西端、できるだけ他車より離れた場所に停車。

・GNSS 受信機：検証用 GNSS 受信機の専用アンテナを車両屋根に取付、車内にアンテナケーブルを引込み分岐し GNSS 受信機、測定器に接続。RTK 補正信号用にモバイルルーターに接続。

・RTK　：RTK 補正情報は特定ラジオマイクの影響を避けるため、RTK 基地局を置かずに RTK ネットワークサービスを利用、モバイルにて電子基準点情報を受信。

・位置確認　：RTK を利用して車両アンテナ位置を測定。

（2）環境測定

・外来ノイズ　：試験開始前に特定ラジオマイクを起動しない状態で、外来ノイズを測定、試験に問題がない環境的かを確認。

・衛星配置　：RTK FIX 可能な衛星配置であるかを確認。（スカイプロットなど利用）

・FIX　：RTK の FIX 状態が安定的に維持することを確認。

（3）試験

・マイク起動　：特定ラジオマイクを十分離れた距離に設置、起動して FIX に影響が無いことを確認。試験項目に沿ってマイク周波数、本数などを選択。

・マイク移動　：特性ラジオマイクを GNSS 受信機方向へ移動し、車両側と連絡を取り受信機の状態（ステータス、S/N 値など）を確認、FIX への影響を確認。

・測定　：FIX が外れた地点で車両側は受信機の衛星信号レベルなどを測定。マイク側は RTK を使用して位置情報を測定。車両の位置情報から 2 点間の距離を計算。

・試験項目　：GNSS 受信機毎にマイク単体各周波数、マイク 3 本、5 本を記録。

図 4-17 屋外試験状況

4.4.7 試験状況

(1) 外来ノイズ

各試験開始前に特定ラジオマイクを発信しない状態で、アンビエントの状態を計測。特定ラジオマイク帯域内（1242～1260MHz）において、アンビエントノイズがスペクトラムアナライザのノイズフロア以下であることを確認。周辺帯域の状況も併せて確認。

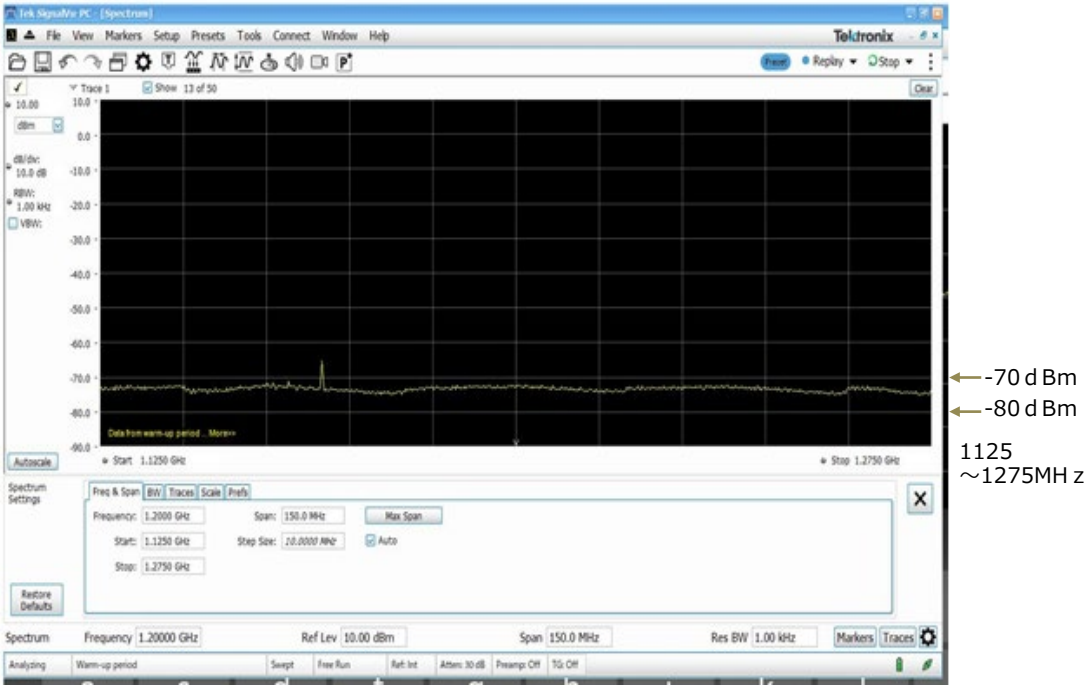


図 4-18 測定例（ラジオマイク OFF）

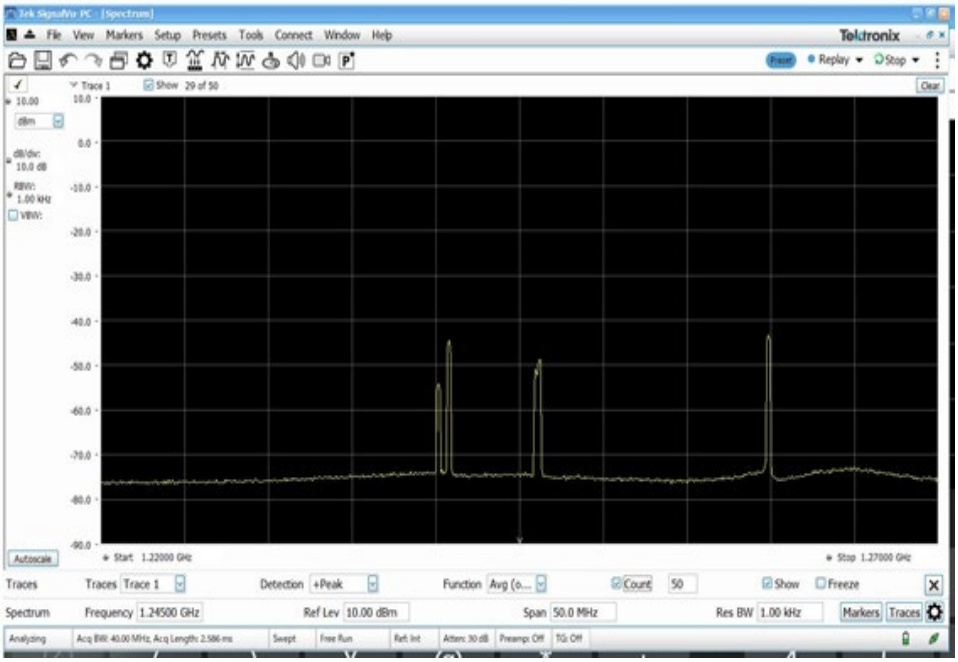


図 4-19 測定例（ラジオマイク5本）

(2)　衛星配置状態

RTK を行う上で必要な GPS 及び GLONASS の衛星数を各試験前に確認。

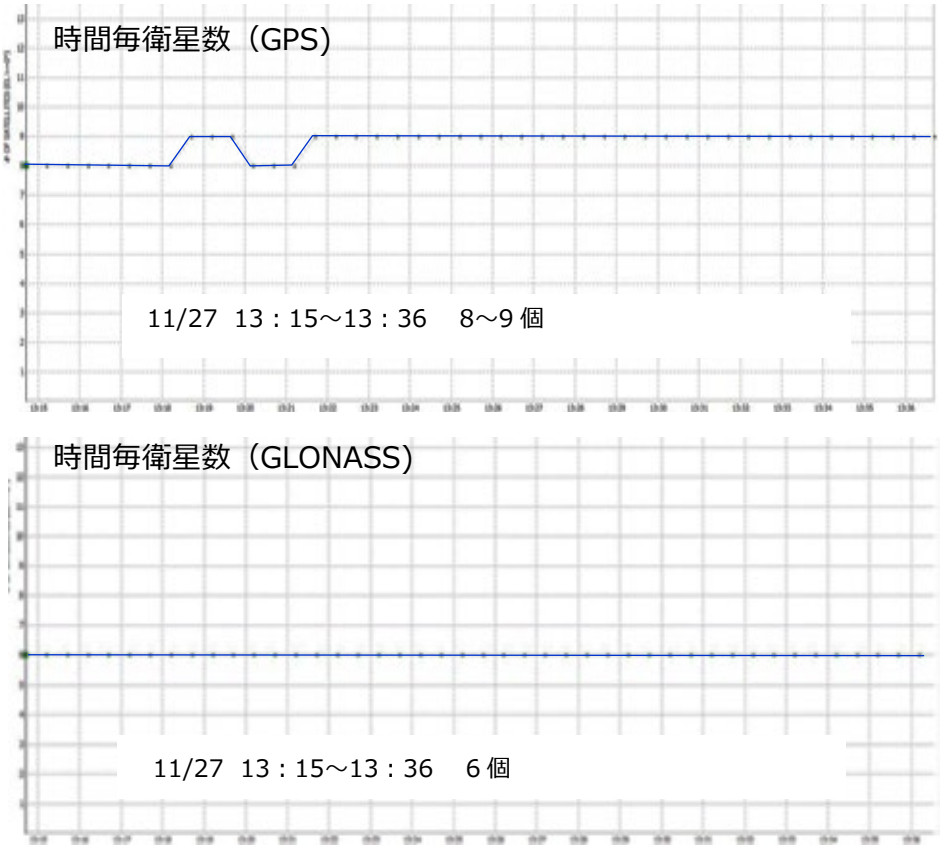


図 4-20 測定例（衛星数）

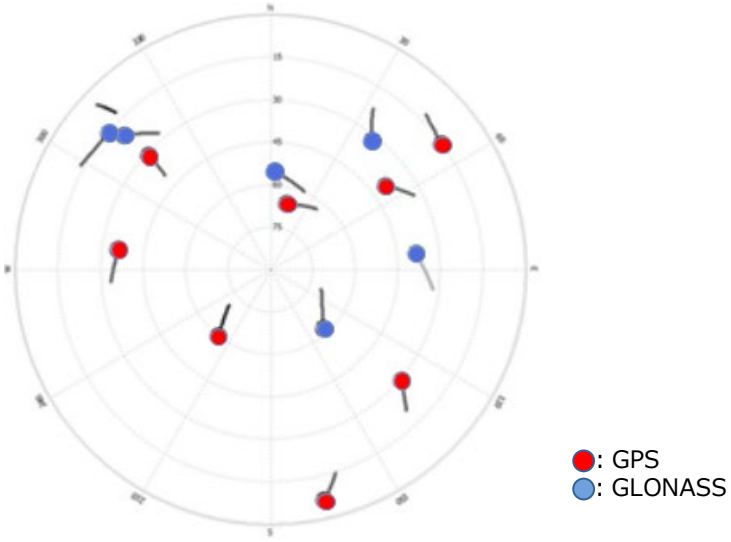


図 4-21 衛星配置例（**11/27　13：15～13：36**）

4.4.8 試験結果

(1) RTK FIX に影響が出る距離

表 4-9 特定ラジオマイクが GNSS 受信機 RTK FIX に影響を及ぼす距離

距離 / 受信機	アウトバンド Low	インバンド			アウトバンド Hi
		比較	距離	比較	
GNSS 受信機(A)	79.83	＞	57.78	＞	25.20
GNSS 受信機(B)	34.45	＞	21.19	＞	11.22
GNSS 受信機(C)	71.63	＞	32.46	＞	30.76
GNSS 受信機(D)	45.06	＝	45.06	＝	45.06
GNSS 受信機(E)	69.58	＜	80.70	＞	57.57
GNSS 受信機(F)	8.70	＝	8.70	＞	1.87
GNSS 受信機(G)	9.93	＝	9.93	＞	1.87

単位：メートル

距離 / 受信機	マイク 3 本	インバンド			マイク 5 本
		比較	距離	比較	
GNSS 受信機(A)	90.09	＞	57.78	＜	110.99
GNSS 受信機(B)	64.71	＞	21.19	＜	74.54
GNSS 受信機(C)	78.32	＞	32.46	＜	79.91
GNSS 受信機(D)	68.13	＞	45.06	＜	75.03
GNSS 受信機(E)	85.71	＞	80.70	＜	107.31
GNSS 受信機(F)	24.02	＞	8.70	＜	24.02
GNSS 受信機(G)	24.02	＞	9.93	＜	25.52

単位：メートル

（2） GNSS 衛星信号レベル

・L2 信号の C/N 値

GNSS 受信機の出力した GLONASS および GPS　L2 信号の C/N 値。

RTK　Fix が外れるタイミングでは、GPS、GLONASS ともに信号強度が急激に低下。

信号情報を出力できる機種（GNSS 受信機（D）（E）（F）（G））のみ。

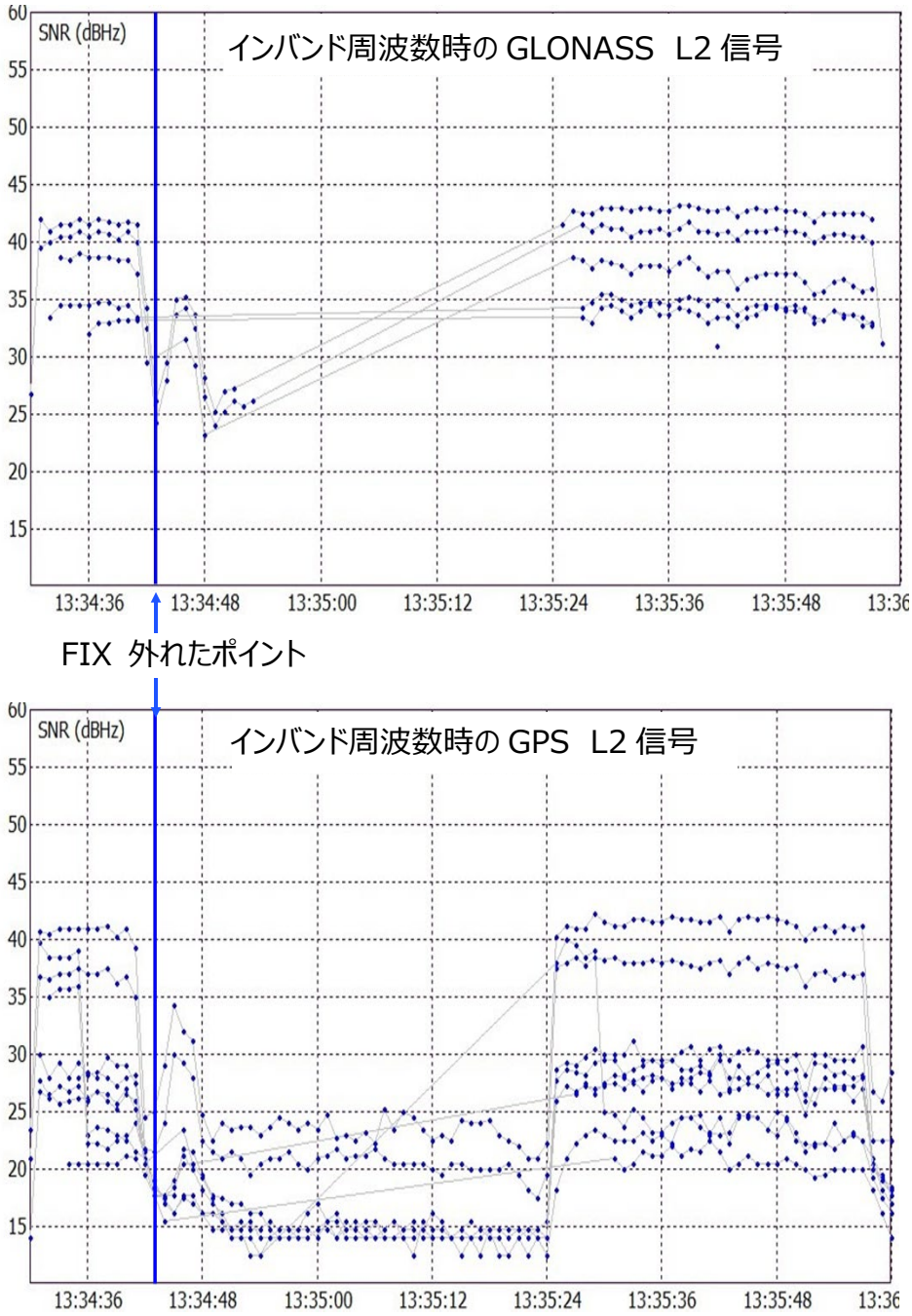


図 4-22 測定例（インバンド周波数試験時）

・RTK FIX に影響が出た信号レベル

GLONASS および GPS L2 信号の FIX が外れた時点での C/N 値。

概ね GLONASS は 24dBm、GPS は 18dBmになると FIX が外れている。

表 4-10 FIX が外れた時点の C/N 値（dBm）

GNSS 受信機	衛星	アウトバンド Low	インバンド	アウトバンド Hi	マイク 3 本	マイク 5 本
GNSS 受信機（D）	GPS	18	18	19	18	20
	GLO	26	22	23	26	25
GNSS 受信機（E）	GPS	20	21	18	17	19
	GLO	27	30	27	26	30
GNSS 受信機（F）	GPS	18	15	16	18	19
	GLO	×	20	20	25	22
GNSS 受信機（G）	GPS	15	16	16	15	19
	GLO	21	20	20	24	27

4.4.9 離隔距離

今回の実験結果より、離隔距離を検討する。

環境によるフェージングによって信号振幅が変化するため、干渉距離の実測値から安全係数としてフェージングマージン(10dB)を付加した値とした。

(1) 10mW 時

表 4-11 離隔距離（10mW）

GNSS 受信機	アウトバンド Low	インバンド	アウトバンド Hi	マイク 3 本	マイク 5 本
（A）	252	183	79	284	351
（B）	107	66	34	205	237
（C）	227	101	98	246	252
（D）	142	142	142	215	237
（E）	221	256	183	271	338
（F）	28	28	6	75	75
（G）	31	31	6	75	82

(2) 50mW 時

A 型特定ラジオマイクでは 50mW でも使用可能なため、離隔距離は机上計算にて求める。

mW と dBm の変換は P(dBm) = 10Log(mW)　10mW = 10dBm、50mW = 17dBm

10mW と 50mW の差は 7dB であるので、10mW の値に7dB を付加して計算。

表 4-12 離隔距離（50mW）

GNSS 受信機	アウトバンド Low	インバンド	アウトバンド Hi	マイク 3 本	マイク 5 本
（A）	565	410	176	636	784
（B）	240	148	77	459	530
（C）	509	226	219	551	565
（D）	318	318	318	480	530
（E）	494	572	410	608	756
（F）	63	63	14	169	169
（G）	70	70	14	169	183

4.5 考察

（1） 周波数による影響

特定ラジオマイクの周波数と RTK への影響

・インバンド周波数に比較して、アウトバンド Low も同等かそれ以上に影響を与えている。

・インバンド周波数に比較して、アウトバン Hi の影響は少ない。

・マイク本数が増えると、より強く影響を与える。

（2） C/N 値からの分析

・GLONASS だけでなく GPS にも影響がある。

・GLONASS で 24dBm、GPS で 18dBm まで信号値が落ちると FIX が外れる。

（今回、試験に使用した受信機での事例）

（3） RTK FIX が外れる原因

インバンド周波数帯でも GLONASS　L2 信号だけはではなく、GPS　L2 信号へも影響を与えており、そのためアウトバンド Low 周波数の方がより GPS への影響が強いと思われる。

GLONASS と GPS の L2 信号が NG になることによってその衛星が RTK に使用できなくなり、必要衛星数を確保できなくなり RTK FIX 状態を維持できなくなるのが原因である。

（4） 離隔距離

今回の屋外実験での離隔距離（共用条件距離）は、GNSS 受信機、ラジオマイク周波数、本数の組合わせ条件によって変化するが、最悪条件の目安としては以下が考えられる。

表-13　離隔距離

特定ラジオマイク出力の条件	使用本数１本	使用本数３本	使用本数５本
出力１０mW	２５０m以上	３００m以上	３５０m以上
出力５０mW	５８０m以上	６５０m以上	８００m以上

※　今回試験に使用した機材・条件での値であり、条件によっては異なる場合がある。

（5） 対策

GNSS 受信機と特定ラジオマイクとの共用が想定される場合、以下の対策が考えられる。

・A 型ではなく B 型、C 型の特定マイクを使用する。

・A 型の場合は 1.2GHz 帯ではなく、470～714MHz 帯域のものを使用する。

・A 型 1.2GHz 帯であればできるだけ高い周波数帯のチャネルを選択する。

・離隔距離を十分とり、低い出力にて、マイク本数を調整する。

（6） 今後の展開

農機具メーカー、（一社）特定ラジオマイク運用調整機構（放送事業者、イベント関係者、ラジオマイクメーカー等）など関係者に対し情報提供を行い、ロボット農機の安全運用に資する。

4.6 参考資料

4.6.1 一般社団法人　特定ラジオマイク運用機構　パンフレット（20190401）

一般社団法人 特定ラジオマイク運用調整機構はA型ワイヤレスマイク運用者間の運用調整をしています

radiomic.org

特ラ機構

特定ラジオマイク運用調整機構

2019年度版 ▶ 特定ラジオマイク（A型ワイヤレスマイク）運用ガイド

特定ラジオマイクとは

特定ラジオマイク（A型ワイヤレスマイク）は、主にコンサート、イベント、演劇、番組収録など音響業務用として使われているプロ用のワイヤレスマイクです。所有して運用する場合は、総務省から交付される陸上移動局の無線局免許が必要となります。また、運用にあたっては、ユーザー同士の運用連絡・調整等によって、電波障害を起こさないようにすることが義務付けられています。

※イヤー・モニター用ラジオマイクも同じ周波数が使われ、電波法規では特定ラジオマイクに含まれます。
※日本国内では、日本の電波法に基づいた特定ラジオマイク機器のみ使用できます。

表　現在使用されているラジオマイクの分類

	A型	B型	C型
用途の概念	音声、楽器音等をすべての点で高品質に伝送することを目的とする用途。	音声、楽器音等を比較的良好な忠実度、S/N比で伝送することを目的とする用途。	音声等を必要最低限の明瞭度で拡声することを目的とする用途。
使用周波数帯	470~714MHz　1.2GHz	806~810MHz	322MHz
無線局免許	陸上移動局免許	不要	不要
運用調整	必要	不要	不要

特定ラジオマイク運用調整機構について

特定ラジオマイクの運用連絡・調整の中心となるのが「一般社団法人 特定ラジオマイク運用調整機構」（以下、当機構）です。当機構は、1990年に郵政省（現・総務省）の指導の下につくられた、全国で唯一の団体です（特定ラジオマイク利用者連盟として発足）。総務省、放送事業者（NHK・民放）、他関係団体と連携をとりながら、運用調整業務を行っています。特定ラジオマイク（音響業務）を所有し運用する場合は、当機構に加入することが義務付けられています。（※）

公共の電波をクリアな環境で利用するために、ご協力をお願い致します。

●当機構会員の種別として「固定」と「移動」があります。
固定…劇場・ホール・スタジオなど、特定ラジオマイクを施設内から持ち出さない運用形態の会員
移動…イベント・コンサート・番組取材など、特定ラジオマイクを全国各地に持ち出す運用形態の会員

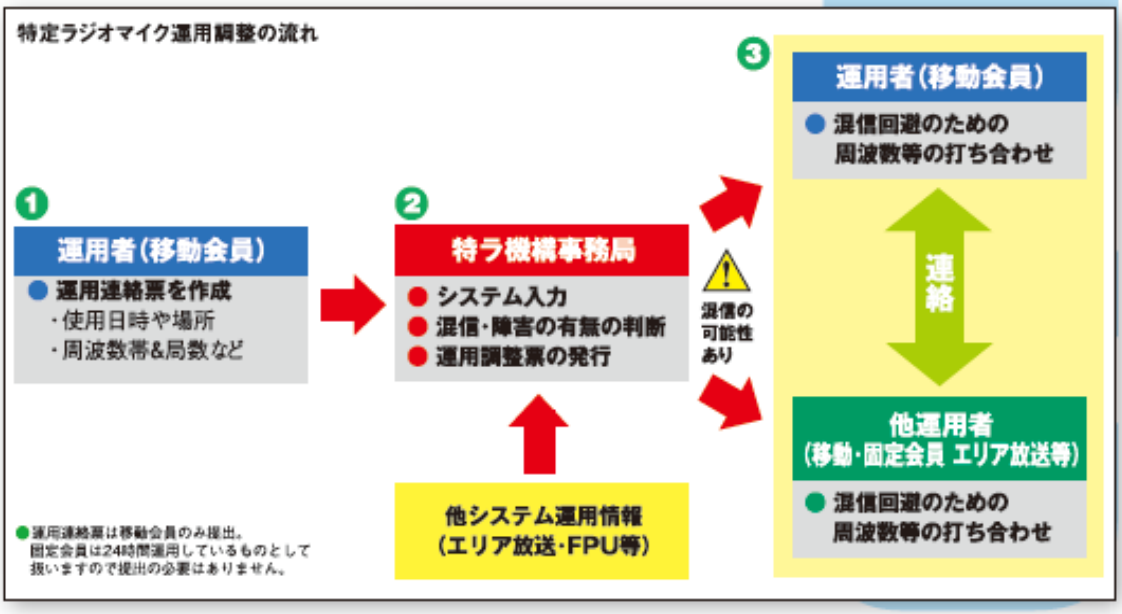
※総務省割合である「電波法関係審査基準」において「運用調整に関する資料」の提出が求められています。当機構の加入証明書が当該の資料にあたります。

電波法と総務省地方総合通信局

国内で使える無線局の免許、設備の技術的条件、運用方法などを細かく定めた法律が「電波法」です。特定ラジオマイクを運用するにあたっては、電波法を遵守しなければなりません。特に「無線局は他の無線局等にその運用を阻害するような混信その他の妨害を与えないように運用しなければならない」（法56条）と、法や規則の随所で義務付けられています。

電波法の下に電気通信行政を司っている総務省の地方機関として、地方総合通信局があります。日本全国を11のブロックに分け、それぞれの地域に置かれた地方総合通信局が無線局の免許・検査、電波利用環境の保護等を行っています。

運用調整が必要な理由



異なる運用者の特定ラジオマイク同士が近距離で同時に運用される場合、運用する周波数によっては混信等の障害が発生する恐れがあります。また、特定ラジオマイクと同じ周波数帯を使用する他システムが同時に近距離で運用された場合についても、電波の相互干渉が起こることも考えられます。

これらを未然に防止し、快適に特定ラジオマイクを運用するには、運用場所付近の電波状況を事前に把握する必要があります。場合によっては、周波数の振り分け等の調整をしなければなりません。

当機構は、全国の特定ラジオマイク運用者から機器の運用予定を事前に連絡して頂き、混信等の恐れがある場合は関係の運用者へ連絡・調整を要請します。また、同じ周波数帯を使用する他システムについては、関係団体（※）等と連携をとって運用状況を把握、混信防止に努めています。

※ TVホワイトスペース等利用システム運用調整協議会
TVホワイトスペース帯における周波数資源の有効活用と諸問題を検討する場として、放送事業者や当機構、関係諸団体が会員となって運営されています。

特定ラジオマイクの周波数

特定ラジオマイクは、以下の周波数帯が割り当てられています。運用形態など、それぞれ異なった特徴がありますので、特定ラジオマイクの機材購入前に必ずご確認下さい。

表　特定ラジオマイクの周波数帯別特徴

種 別	TVホワイトスペース帯	特定ラジオマイク専用帯	1.2GHz帯
周波数	470～710MHz	710～714MHz	1240～1260MHz（1252～1253MHzを除く）
空中線電力	アナログ：10mW以下 デジタル：50mW以下	アナログ：10mW以下 デジタル：50mW以下	アナログ：50mW以下 デジタル：50mW以下
運用可能エリア	チャンネルリストに記載された場所・周波数で運用	全国 ※TV52chの使用地域は711～714MHzの範囲で選択	全国
運用可能な形態	固定型・可搬型	固定型・可搬型・移動型	固定型・可搬型・移動型
同周波数を利用する他システム	地上デジタルテレビジョン放送 エリア放送、センサーネットワーク 災害向け通信システムなど	なし	ＦＰＵ、各種レーダーなど

※ 固定型…ホールやスタジオなどの施設に特定ラジオマイク機器を備え付け、日常的に運用する形態。
※ 可搬型…ホールやスタジオなどの施設に特定ラジオマイク機器を持ち込み、当該施設内で運用する形態。
※ 移動型…ロケや報道取材など、特定ラジオマイク機器を移動しながら、さまざまな場所で運用する形態。

TVホワイトスペース帯(470~710MHz)

TVホワイトスペース帯(以下、WS帯)は、本来、地上デジタルテレビジョン放送波(以下、地デジ放送波)として割り当てられている周波数について、地理的条件や技術的条件により、特定ラジオマイクにも利用可能な周波数帯です。他システムと周波数を共用するという特徴があり、運用に関しては以下のように優先順位があります。

1位	地デジ放送波	2位	特定ラジオマイク	3位	エリア放送など

WS帯にて特定ラジオマイクを運用するにあたっては、混信・障害等から地デジ放送波を保護するため、総務省が公開している「特定ラジオマイクのTVホワイトスペースチャンネルリスト」(以下、チャンネルリスト)に沿って運用する必要があります。このリストには、事前に混信・障害を与えないことが確認できている場所やチャンネルが網羅されています。

上記のとおり、WS帯では運用できる場所が限定されているため、各地を巡るロケ取材といったような運用はできません。また、WS帯の周波数帯域は広いため、幾つかのブロックに分かれて帯域をカバーしている特定ラジオマイク機器もあります。運用目的や運用場所に合わせた機器の選定が必要です。

※特定ラジオマイクのTVホワイトスペースチャンネルリスト
特定ラジオマイクの運用が想定される場所(施設等)について、地デジ放送波へ影響を与えずに使用できるチャンネル(周波数)をまとめたリストです。このリストに掲載のない場所では、特定ラジオマイクのWS帯での運用はできません。掲載場所以外での運用は不法・違法な電波となり、処罰の対象となります。

「特定ラジオマイクのTVホワイトスペースチャンネルリスト」は、総務省の以下のWebサイトで確認することができます。
総務省「電波利用ホームページ」 https://www.tele.soumu.go.jp/

チャンネルリストに掲載のない場所でWS帯を運用したい場合は？

新しく設立された施設など、チャンネルリストに掲載のない場所でWS帯を運用したい場合は、当該施設において地デジ放送波へ影響を与えることなく運用できる周波数を、電波伝搬計算や現地測定などにより割り出す必要があります。この「混信保護の検討」を専門業者へ依頼し、その結果を総務省へ提出して審査された後、WS帯で特定ラジオマイクを運用できるようになります。なお、調査及び調査に必要な費用は、当該施設で特定ラジオマイクの運用を希望する利用者の負担となります。まずは、当機構事務局までお問い合わせ下さい。

特定ラジオマイク専用帯(710~714MHz)

特定ラジオマイク専用の周波数帯として割り当てられており、全国どこでも運用することが可能です。ただし710~711MHzの1MHzについて、TV52chが地デジ放送波として使われている地域では、それを保護するための"ガードバンド"となっており、特定ラジオマイクとして運用することはできません。この1MHzを運用可能な施設等は、チャンネルリストによって指定されています。

1.2GHz帯(1240~1252MHz、1253~1260MHz)

特定ラジオマイク専用波と同じく、全国どこでも運用することができます。固定された施設はもちろん、ロケといった移動しての運用にも対応可能です。なお、放送事業者がマラソン中継などに用いるFPU(※)や各種レーダーと周波数を共用しています。これらは、特定ラジオマイクの運用に影響が出ることも想定され、運用に注意する必要があります。

※ FPU(Field Pick-up Unit)
放送事業者がTV中継などで、移動しながら映像・音声を送受信するための装置がFPU です。

当機構への加入から運用開始まで

❶ 運用目的や運用場所に合わせた周波数帯・機器の選定をして下さい

チャンネルリスト未掲載施設でWS帯を運用希望の場合、混信保護の検討を行って下さい(※)。

❷ 入会申込ならびに免許申請関連の書類をお送り致します

入会ご希望の連絡を頂きますと当機構事務局から必要書類をお送り致します。必要書類が到着しましたら、それぞれご記入・押印の上、免許申請に必要な他の書類(認証証明書や登記簿謄本の写しなど)を添付して、事務局へご返送下さい(※)。

❸ 無線局免許申請書類を総合通信局へ提出します

必要書類が事務局へ到着しましたら、頂いた資料に基づき無線局免許申請書類を作成致します。
その後、それらに当機構の加入証明書を添付して、総合通信局へ提出致します。同局から免許が交付されるまで、約1ヶ月必要です。

❹ 無線局免許状・会員資料をお送り致します

無線局免許状が交付されましたら、当機構の加入証明書や定款と共にお送り致します。

❺ 必要経費のご請求を致します

必要経費(入会金、年会費、運用調整費、免許申請手数料、免許関係書類取扱費)を算出してご請求書をお送り致します。お手元に到着しましたら、なるべく早めのお振込をお願い致します。

❻ 使用時は必ず運用連絡をお願い致します(移動会員のみ)

特定ラジオマイクの使用日時、場所、局数等が決まりましたら、運用連絡票へご記入の上、当機構事務局まで電子メールまたはFAXにてお送り下さい。固定会員につきましては、運用連絡票の提出の必要はありません。

※当機構では、チャンネルリストの掲載ならびに免許取得・更新など免許に係るすべてについてお手伝い致します。

当機構関係費用について(2019年1月1日現在)

※は消費税が別途加算されます。

入会・免許申請に必要な費用

❶ **入会金　1加入　20,000円**
常置場所ごとに1加入を原則とします。

❷ **年会費　1加入　48,000円**
新規加入初年度は月割りになります。

❸ **運用調整費**
新規加入初年度は月割りになります。
固定:マイク1局　1,200円／年※　移動:マイク1局　3,600円／年※
● 2019年度運用調整費は暫定措置としての減額対応です。
固定　マイク1局　全周波数帯:900円／年※
移動　マイク1局
TVホワイトスペース帯または特定ラジオマイク専用帯:1,200円／年※
TVホワイトスペース帯+特定ラジオマイク専用帯: 1,800円／年※
1.2GHz帯:2,100円／年※

❹ **免許申請書類等取扱費**
当機構事務局の書類作成及び申請費用　マイク1局　5,000円※

❺ **新設免許申請手数料**
国に納める手数料(印紙代)　マイク1局　2,550円

免許変更申請に必要な費用

❶ **免許変更申請書類等取扱費**
免許人の住所・名称等免許状に記載のある事項を変更する場合
マイク1局　2,500円※

免許更新に必要な費用

免許の有効期限は5年です。5年目には免許更新(再免許)の申請が必要です。

❶ **再免許申請書類等取扱費**
2,000円※(基本料金)+マイク1局につき500円※加算

❷ **再免許申請手数料**
国に納める手数料(印紙代)　マイク1局　1,500円

電波利用料について

電波利用料は、毎年、国へ納めることになっており、使用する周波数帯などによって、以下のように分かれます。

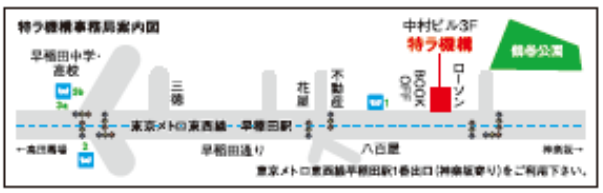
使用する周波数等	金額(1局あたり)
TVホワイトスペース帯	600円
特定ラジオマイク専用帯	600円
TVホワイトスペース帯+特定ラジオマイク専用帯	800円
1.2GHz帯	800円

radiomic.org
特ラ機構
特定ラジオマイク運用調整機構

一般社団法人　特定ラジオマイク運用調整機構
〒162-0042 東京都新宿区早稲田町74番　中村ビル3階
電話 03-5273-9806　FAX 03-5273-9808
URL https://www.radiomic.org/
Eメール office@radiomic.org

機構の構成(2018年11月現在)

正会員:1,304会員　賛助会員:5会員　理事・監事:23名



4.6.2　特定ラジオマイク運用調整機構ホームページQ＆A　Q.18 より

Q18. どれだけ離れればラジオマイク同士は混信しない？

A アナログ WS 帯 10mW（屋内×屋内）では 200m 以上と考えます。

特定ラジオマイクを使用するにあたっては、使用周波数が他者に対して混信妨害を与えないか確認した上で運用するのが原則です。

理論値などから設定

特ラ機構では会員の皆様から運用連絡を頂いた際、お互いに混信妨害とならない距離の基準を「運用調整距離」と呼んでいます。この基準は、理論計算値などから設定したものです。つまり、運用調整距離とは、近接でお互いに電波を出した場合、混信妨害が発生するか否かの境界の距離ということになります。ラジオマイクを使用する双方が、この運用調整距離より近い場合は混信妨害の可能性があり、それより離れていたら混信妨害がないと判断するというわけです。会員の皆様から特ラ機構へラジオマイクの運用連絡票が届くと、運用調整システムへその内容を入力。運用調整距離を計算して、調整が必要か否かの判断をしています。ラジオマイクを使う双方が運用調整距離より近い場合は、「運用調整についてのお願い」を発行して、双方にお知らせをしています。

運用調整距離はさまざま

現在、様々なパターンの運用調整距離が設定されています。なぜなら、ラジオマイクの多様化が進んでおり、WS 帯や 1.2GHz 帯、アナログ方式やデジタル方式、送信出力も 10～50mW と実にさまざま。また、屋内使用か屋外使用かも含めて考慮しなければならないからです。さらには、FPU やエリア放送など他システムとの運用調整距離も考える必要があります。

ラジオマイク同士の運用調整距離の一例は、以下のとおりです

屋内×屋内

（ｱﾅ WS 帯 10mW）×（ｱﾅ WS 帯 10mW）：半径 200m （ﾃﾞｼﾞ WS 帯 50mW）×（ﾃﾞｼﾞ WS 帯 50mW）：半径 200m （ﾃﾞｼﾞ 1.2G 帯 50mW）×（ﾃﾞｼﾞ 1.2G 帯 50mW）：半径 200m

屋内×屋外

（ｱﾅ WS 帯 10mW）×（ｱﾅ WS 帯 10mW）：半径 300m （ﾃﾞｼﾞ WS 帯 50mW）×（ﾃﾞｼﾞ WS 帯 50mW）：半径 300m （ﾃﾞｼﾞ 1.2G 帯 50mW）×（ﾃﾞｼﾞ 1.2G 帯 50mW）：半径 400m

屋外×屋外

（ｱﾅ WS 帯 10mW）×（ｱﾅ WS 帯 10mW）：半径 400m （ﾃﾞｼﾞ WS 帯 50mW）×（ﾃﾞｼﾞ WS 帯 50mW）：半径 350m （ﾃﾞｼﾞ 1.2G 帯 50mW）×（ﾃﾞｼﾞ 1.2G 帯 50mW）：半径 450m

ｱﾅ＝アナログ方式　ﾃﾞｼﾞ＝デジタル方式

4.6.3　1.2GHz 帯運用調整距離

表 4-14　屋内-屋内運用調整距離

		使用するラジオマイク(希望波)					
	D / UD	デジタル-RM 10mW	デジタル-RM 20mW	デジタル-RM 50mW	アナログ-RM 10mW	アナログ-RM 20mW	アナログ-RM 50mW
妨害波	デジタル-RM 10mW	200m			200m	250m	300m
	デジタル-RM 20mW	200m	200m		300m	350m	400m
	デジタル-RM 50mW	200m	200m	200m	400m	450m	500m
	アナログ-RM 10mW				200m		
	アナログ-RM 20mW				300m	350m	
	アナログ-RM 50mW				400m	400m	450m

表 4-15　屋外-屋外運用調整距離

		使用するラジオマイク(希望波)					
	D / UD	デジタル-RM 10mW	デジタル-RM 20mW	デジタル-RM 50mW	アナログ-RM 10mW	アナログ-RM 20mW	アナログ-RM 50mW
妨害波	デジタル-RM 10mW	300m			450m	500m	550m
	デジタル-RM 20mW	400m	400m		550m	600m	650m
	デジタル-RM 50mW	450m	450m	450m	650m	700m	800m
	アナログ-RM 10mW				450m		
	アナログ-RM 20mW				550m	600m	
	アナログ-RM 50mW				650m	700m	800m
	FPU						1500m

表 4-16　屋内-屋外運用調整距離

		使用するラジオマイク(希望波)					
	D / UD	デジタル-RM 10mW	デジタル-RM 20mW	デジタル-RM 50mW	アナログ-RM 10mW	アナログ-RM 20mW	アナログ-RM 50mW
妨害波	デジタル-RM 10mW	200m			350m	400m	450m
	デジタル-RM 20mW	300m	300m		400m	450m	500m
	デジタル-RM 50mW	400m	400m	400m	500m	550m	600m
	アナログ-RM 10mW				350m		
	アナログ-RM 20mW				400m	450m	
	アナログ-RM 50mW				500m	550m	600m
	FPU						1100m

4.6.4 自由空間伝搬損失モデル

無線区間における伝搬損失を求めるために以下の計算モデルを適用した。

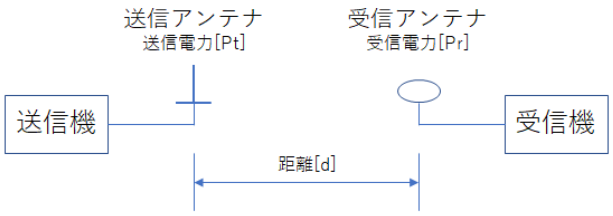
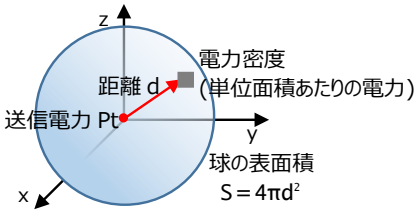
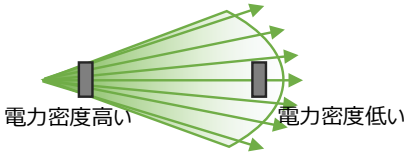


図 4-22 自由空間伝搬損失モデル適用ケース

電波をすべての方向に一様に放射できる等方性アンテナ（アイソトロピックアンテナ）を送信アンテナと考えた場合、電波は空間に拡散するので、送信アンテナの電力 Pt は距離 d を半径とする球の表面に一様に広がる。

したがって送信電力 Pt と球の表面積 S から距離 d における電力密度（単位面積あたりの電力）を求めることができる。





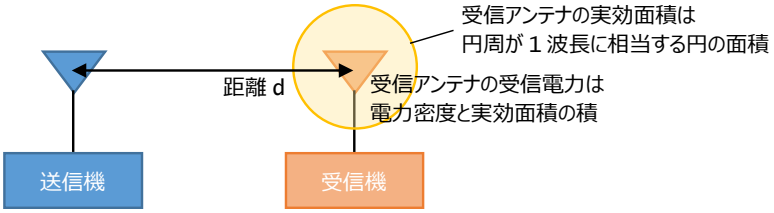
送信電力が Pt の送信アンテナから距離 d の位置にある受信アンテナの電力密度 Pd はこうなる。

$$Pd = \frac{Pt}{S} = \frac{Pt}{4\pi d^2}$$

受信アンテナの実効面積 Ar は円周が 1 波長に相当する円の面積なので、波長を λとするとこうなる。

$$Ar = \pi\left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)^2 = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

送信アンテナ、受信アンテナの絶対利得を 1 とすると、受信アンテナが受け取ることができる受信電力 Pr は電力密度 Pd と実効面積 Ar の積として表すことができる。（フリスの伝達公式）



$$Pr = PdAr = \frac{Pd\lambda^2}{4\pi} = \left(\frac{Pt}{4\pi d^2}\right)\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) = Pt\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$$

自由空間伝搬利得 G は受信電力 Pr と送信電力が Pt の比、自由空間伝搬損失 L はその逆数で表す。

$$= \frac{Pr}{Pt} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$$

$$L = \frac{Pt}{Pr} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$$

式に含まれる変数は距離 d と波長 λ なので、「電波の減衰量は距離 d の 2 乗に比例し、波長 λ の 2 乗に反比例する」ことがわかる。

言い換えると、ある波長の電波がどのくらいの距離でどのくらい減衰するかを示している。

自由空間伝搬損失 L をデシベルで表すとこうなる。(f＝周波数, c＝光速)

$$L = 10\log_{10}\frac{Pt}{Pr} = 10\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi df}{c}\right)$$

与干渉源となるラジオマイクの送信周波数を設定範囲内で最も低い 1240.15MHz に設定した場合の距離と減衰量の関係をグラフ化すると下図のようになる。

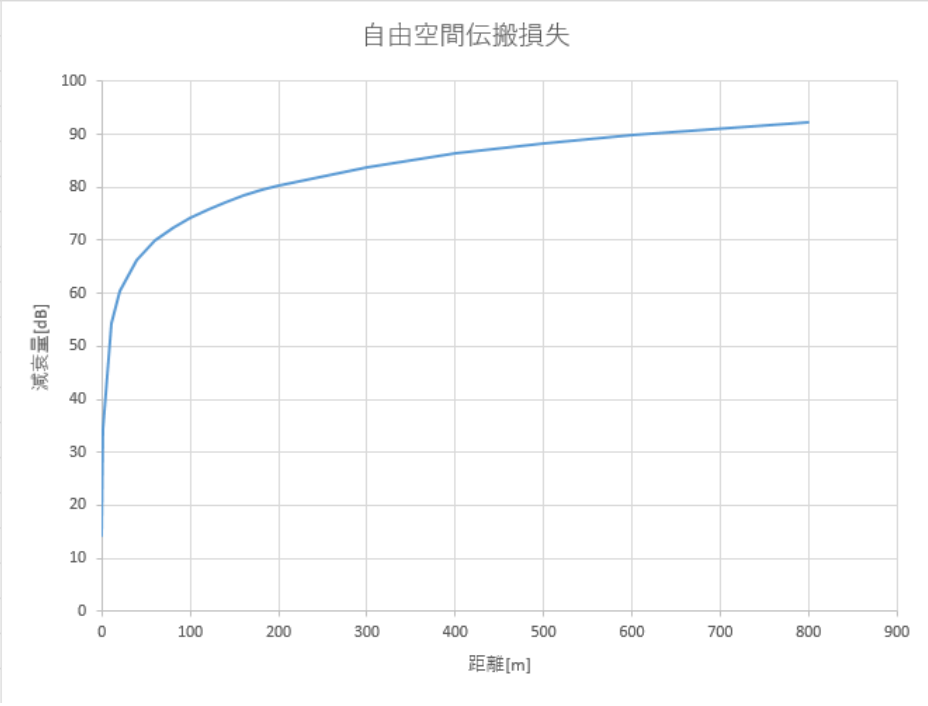


図 4－23 自由空間伝搬損失モデル(距離 vs 減衰量)@1240.15MHz

5 農業（酪農）ビッグデータの利活用について

5.1 農業（酪農）ビッグデータの背景

全国の乳用牛の産出額のうち、北海道は 53.7%を占めている。

（「北海道の酪農・畜産をめぐる情勢」R1 北海道農政部資料）

酪農分野では、乳牛の健康情報、行動情報、乳量情報等を収集し、AI 活用による生産性向上や省力化が期待されている。特に北海道ではメガファームと呼ばれる大規模経営が増加しており、牛舎には監視カメラやセンサー、給餌ロボット等様々な ICT 機器が活用されている。

ビッグデータの収集や AI 農業の有効活用が、今の酪農にとって喫緊の課題である。

5.2　農業（酪農）ビッグデータ伝送システムの現状、要件及び課題整理

ICT 機器にはネットワークが必要不可欠であり、酪農分野での監視・制御の現状や営農支援に適切な通信システムの選択が可能となる通信要件を各構成員の方等からのプレゼンや意見交換の結果、さらに中標津町、別海町、浜中町、天塩町及び初山別村での現地調査等で得た情報を踏まえ、酪農の現場では、

- **どのような情報**
- **どのようにして集めるのか**
- **どのようにして活用するか**

について、人工衛星によるセンシングやドローン等の無人航空機に搭載したセンサーシステム、LPWA 等、想定できるネットワークを書き出し、既設のもの、今後有効な手段となるものを含めて、「酪農分野でのビッグデータ伝送システム」について取りまとめる。

5.3　農業（酪農）ビッグデータの推進方策

(1) データを最大限に活用し生産性を劇的に向上するための環境整備

酪農分野で扱う情報の整理、利活用のための通信システムリストを作成したところ、昨年同様、インフラ整備に関する以下の課題が挙がった。

- 安定したインターネット環境。
  （接続品質、回線保持。製品管理ソフトやアプリの更新も可能な通信環境）。

□予備回線の整備。

□牛舎、放牧地など作業に十分な範囲の通信エリアの確保。
（無線 LAN では、通信距離や遮断物の影響が発生する）

□画像情報のニーズ。

このことから、居住エリアはもちろんのこと、放牧地を含めた事務所、牛舎といった作業エリアにも、ニーズに合わせてネットワークが必要である。

リアルタイム情報や膨大なデータの収集と分析用途からバックボーンには、超高速ブロードバンド整備が必要である。

【通信種類】

- キャリア系通信　：光回線、5G、LTE、 BWA、 LPWA
- 地域系通信　　：地域 BWA、業務用無線
- ローカル系通信　：無線 LAN、ローカル 5G、プライベート BWA、プライベート LTE、自営 LPWA、IEEE802.11ah など

用途に応じて組み合わせの工夫も必要である。

超高速ブロードバンド整備には、初期投資、維持費を含めて負担軽減するためには、地域ニーズを行政が積極的に吸い上げ、プライオリティを上げる工夫が必要。

情報通信基盤整備（インフラ整備）について、各省庁の補助事業等も活用する方法もある。（5.4（2）参考）

(2) 分析精度向上のためのデータの蓄積

スマート酪農通信システムリストから、インフラ整備と同時にビッグデータの蓄積に関して以下の課題が挙げられた。

□草地、放牧地の電子化情報の整備。

□取得したデータの蓄積。

□蓄積したデータを解析する AI。

蓄積したデータを AI（ディープラーニング）により分析、判定可能な酪農分野の AI の開発。静止画や動画から牛の個体を判別し、個々のデータを積み上げ、いつでも閲覧、記録可能とする。

□自動記録。

ビッグデータ蓄積のためには膨大なデータの継続的な積み上げが必要であり、作業内容や時間を自動で記録する技術を持った機器さらに通信機能も具備していることが求められる。USB や SD カードは作業中の出し入れ等が煩雑となり、紛失の原因にもなるためデータを自動で吸い上げるシステムが望ましい。

□ICT 利活用には、機器の不具合、疑問点に正しく速やかに答えるヘルプ機能が必要。

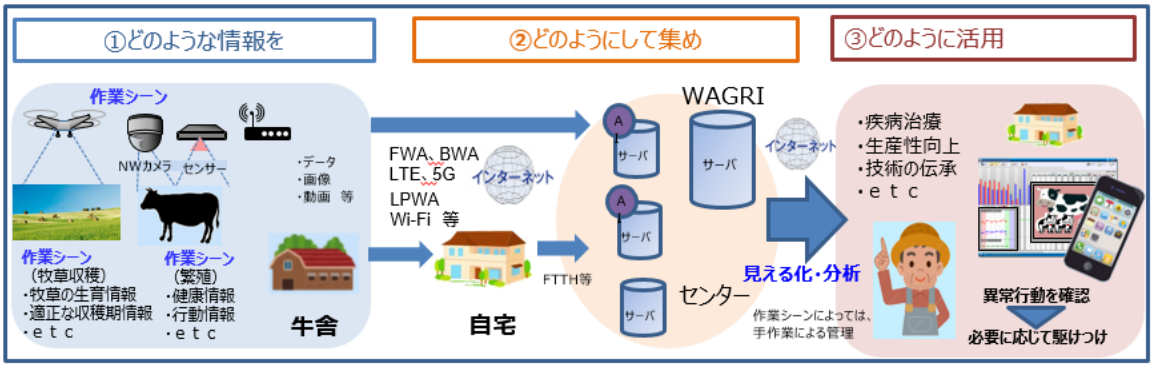
□トラブル対応は、速やかにして欲しい。

□中山間地への電源供給。

以上を踏まえ、ICT 導入前と導入後の労働力削減効果（メリット）、費用対効果、データの共有による生産性の向上（メリット）についての周知、情報提供を行っていく必要がある。

（同時に当面の間は、第 1 次データの蓄積期間だとも言える）

また、データの吸い上げには酪農家等のニーズに応える通信機能を具備した作業機器の開発が望まれており、関係企業・研究機関に情報提供を実施していく。



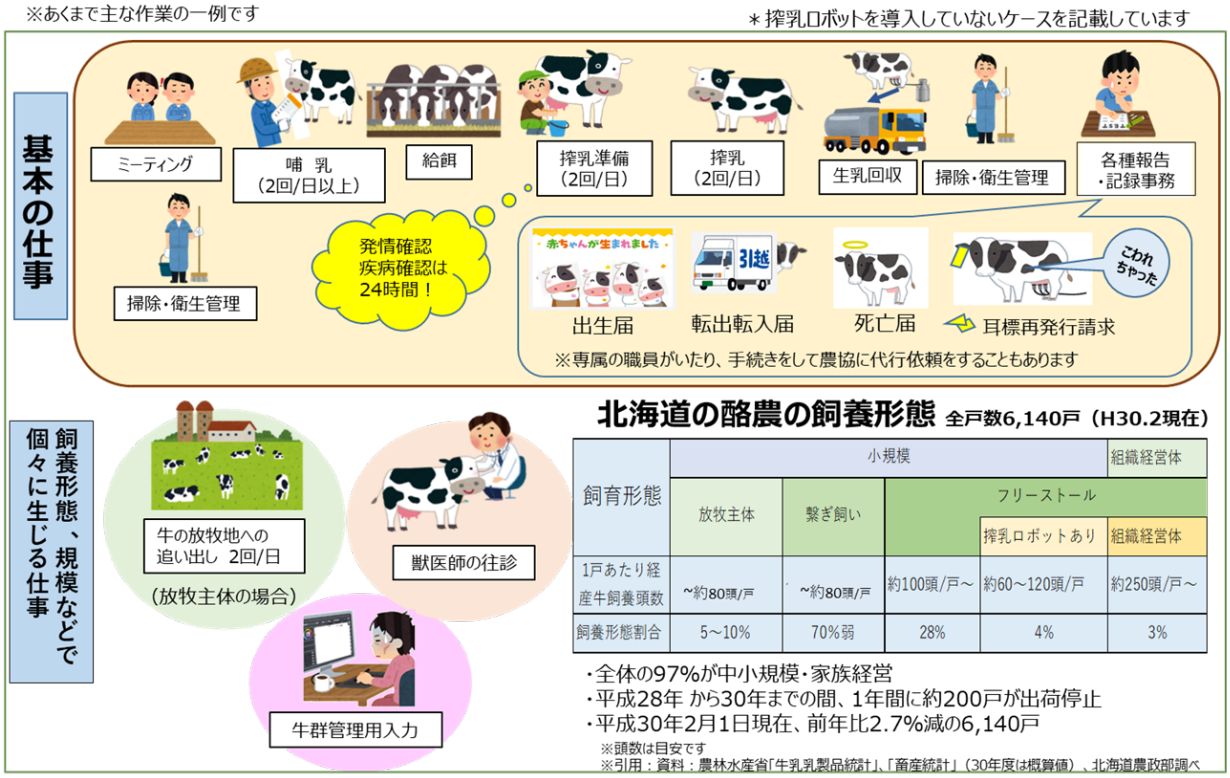
5.4　調査資料

(1)現状把握

●　酪農の仕事(飼料管理を除く)

※あくまで主な作業の一例です

＊搾乳ロボットを導入していないケースを記載しています



北海道の酪農の飼養形態 全戸数6,140戸（H30.2現在）

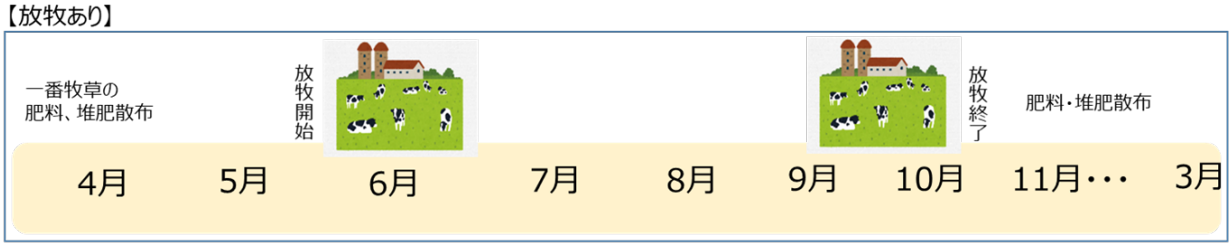
飼育形態	小規模				組織経営体
	放牧主体	繋ぎ飼い	フリーストール		
				搾乳ロボットあり	組織経営体
1戸あたり経産牛飼養頭数	~約80頭/戸	~約80頭/戸	約100頭/戸～	約60～120頭/戸	約250頭/戸～
飼養形態割合	5～10%	70%弱	28%	4%	3%

・全体の97%が中小規模・家族経営
・平成28年 から30年までの間、1年間に約200戸が出荷停止
・平成30年2月1日現在、前年比2.7%減の6,140戸

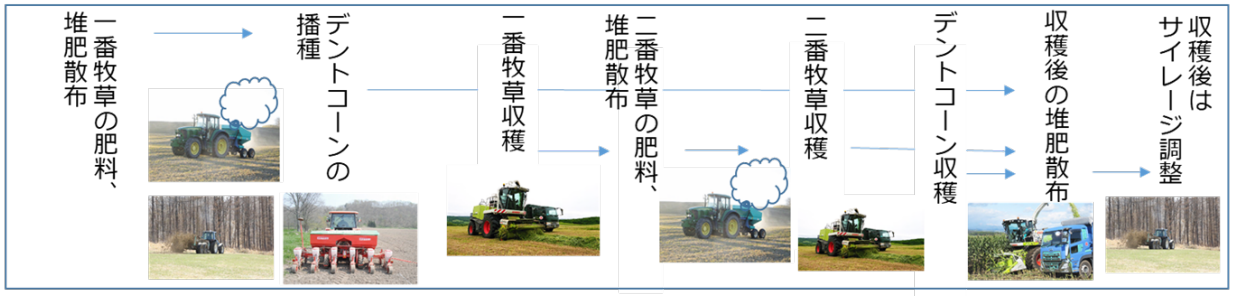
※頭数は目安です
※引用：資料：農林水産省「牛乳乳製品統計」、「畜産統計」（30年度は概算値）、北海道農政部調べ

●酪農の仕事(飼料管理)

【放牧あり】



【放牧なし・採草地等】



放牧あり、なし共通で、
　刈取り、反転、採草、ラッピング（規模による）、運搬、サイレージ調整（規模による）の作業があります。

※JA北宗谷、JA幕別、JAくしろ丹頂のホームページから写真利用ほか参照

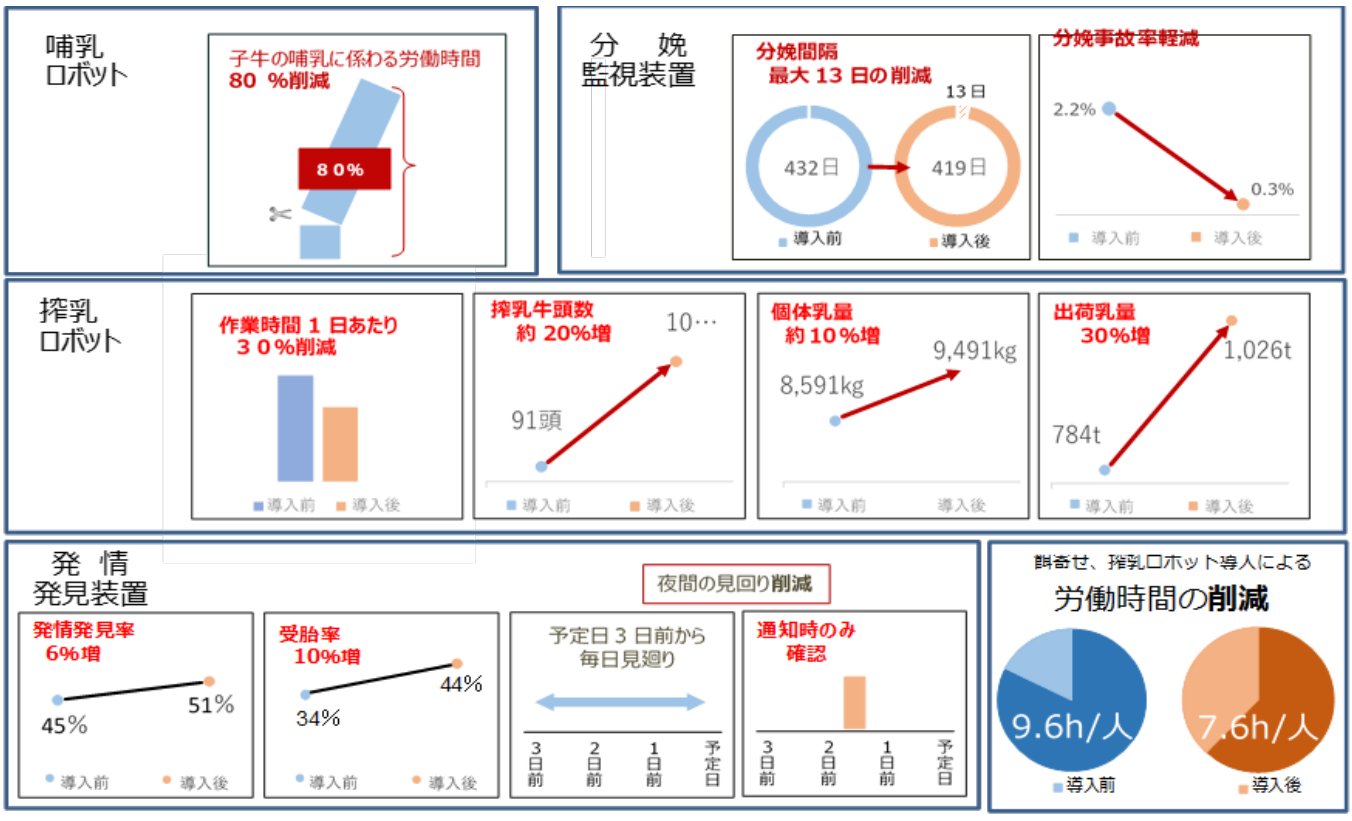
(2) 北海道酪農の飼養形態

- □ 北海道の酪農の飼養形態は、家族経営体が 97%、大規模法人などの組織経営体が約3%と、小規模農家が大宗を占めている。
- □ 家族経営体のうち、繋ぎ飼いが全生乳出荷戸数の 70%弱を占め、フリーストールが 28%、放牧主体が5～10%。
- □ 平成 28 年から30年までの間、1年間に約 200 戸が出荷停止。
- □ 平成30年2月1日現在、前年比 2.7%減の 6,140 戸。

飼養形態	家族経営体				組織経営体	備　考
	放牧主体	繋ぎ飼い	フリーストール	うち搾乳ロボット	組織経営体	
	(5月～10月)					
1戸（経営体）当たり経産牛飼養頭数（※）	～約80頭/戸	～約80頭/戸 キャリロボや自動給餌機等により100頭程度まで可能	約100頭/戸～	約60～120頭/戸 一台で約60頭の搾乳可能台数増により多頭飼育も可	約250頭/戸～	
1頭当たり平均乳量（※）	6,000～8,000kg/年	8,000kg/年	9,000～10,000kg/年	9,500～10,000kg/年	9,000kg～/年	・経営体間の差異が大きい ・道内平均：8,504kg/頭（H29年度）
飼養形態割合	5～10%	70%弱	28%	4%	3%	生乳出荷戸数計5,630戸（H30.2.1）
メリット	・牛が自ら採食するため、飼養管理、飼料生産の省力化 ・購入飼料費の削減	・飼料給与や繁殖確認等の個体管理が容易 ・牛1頭当たりの施設面積が小さくて済む	・搾乳や給餌の労力が減少、牛のストレスも軽減 ・発情行動がわかりやすくなる	・搾乳作業の実働が極めて少なくなり、労働時間が短縮 ・搾乳回数の増加（3回/日程度）により、乳量が増加	・出役日や勤務時間の調整により、休日取得や労働時間の短縮が可能	
デメリット	・1頭当たりの乳量が低下 ・搾乳施設の周辺に、まとまって整備された放牧地が必要	・人が動くことが必要であり、搾乳や給餌に労力がかかる	・設備投資額が大きくなる ・つなぎ飼いのような個体管理が困難（群管理）	・設備投資額が大きくなる ・乳用牛をロボットに馴れさせることが必要	・設備投資額が極めて大 ・労務管理が複雑	

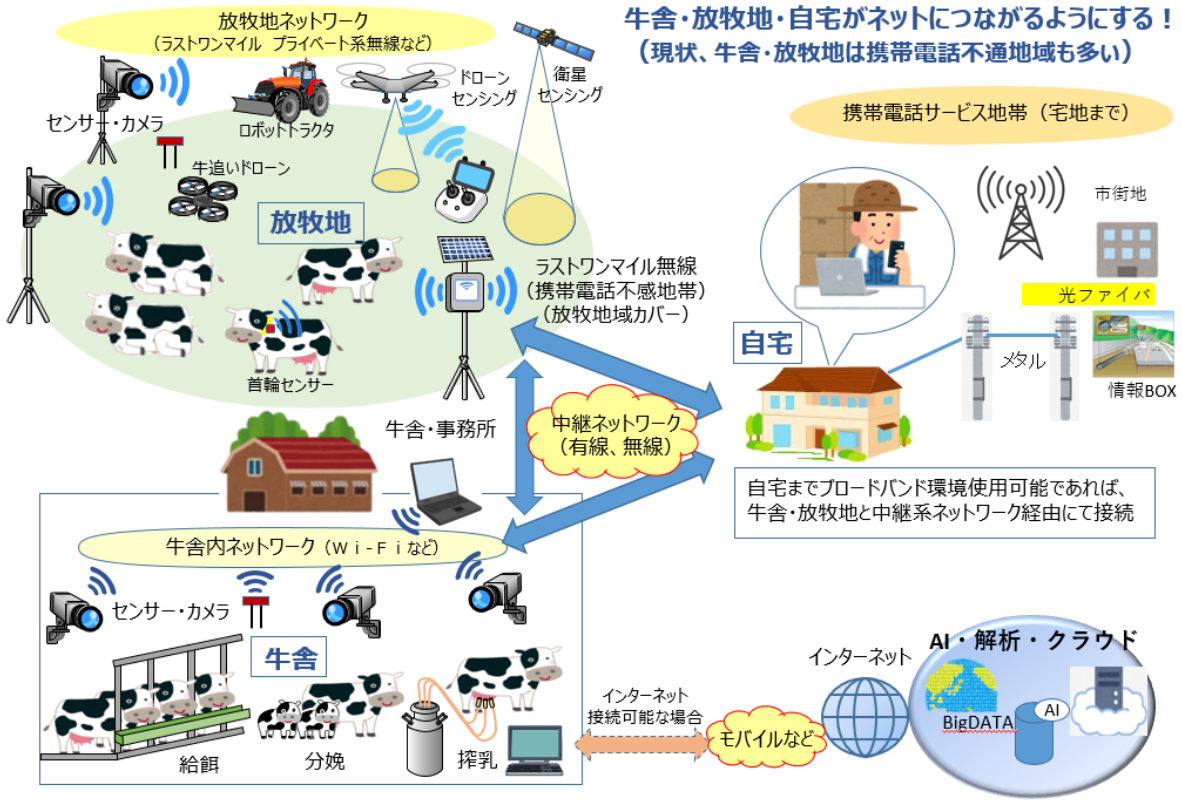
※頭数は目安です　　※引用：資料：農林水産省「牛乳乳製品統計」、「畜産統計」（30 年度は概算値）、北海道農政部調べ

(3) 数字で見る ICT 導入の効果（一例）

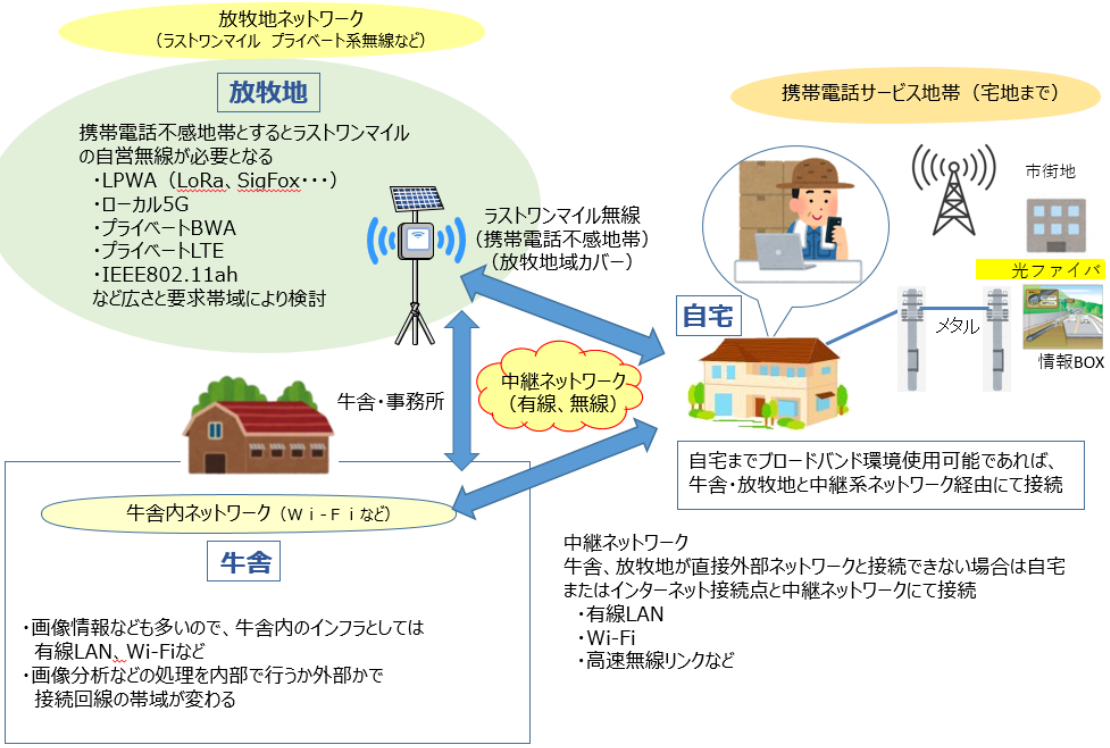


(4)ビッグデータの収集及び AI の有効活用［高度な営農支援］に向けたネットワーク構築例

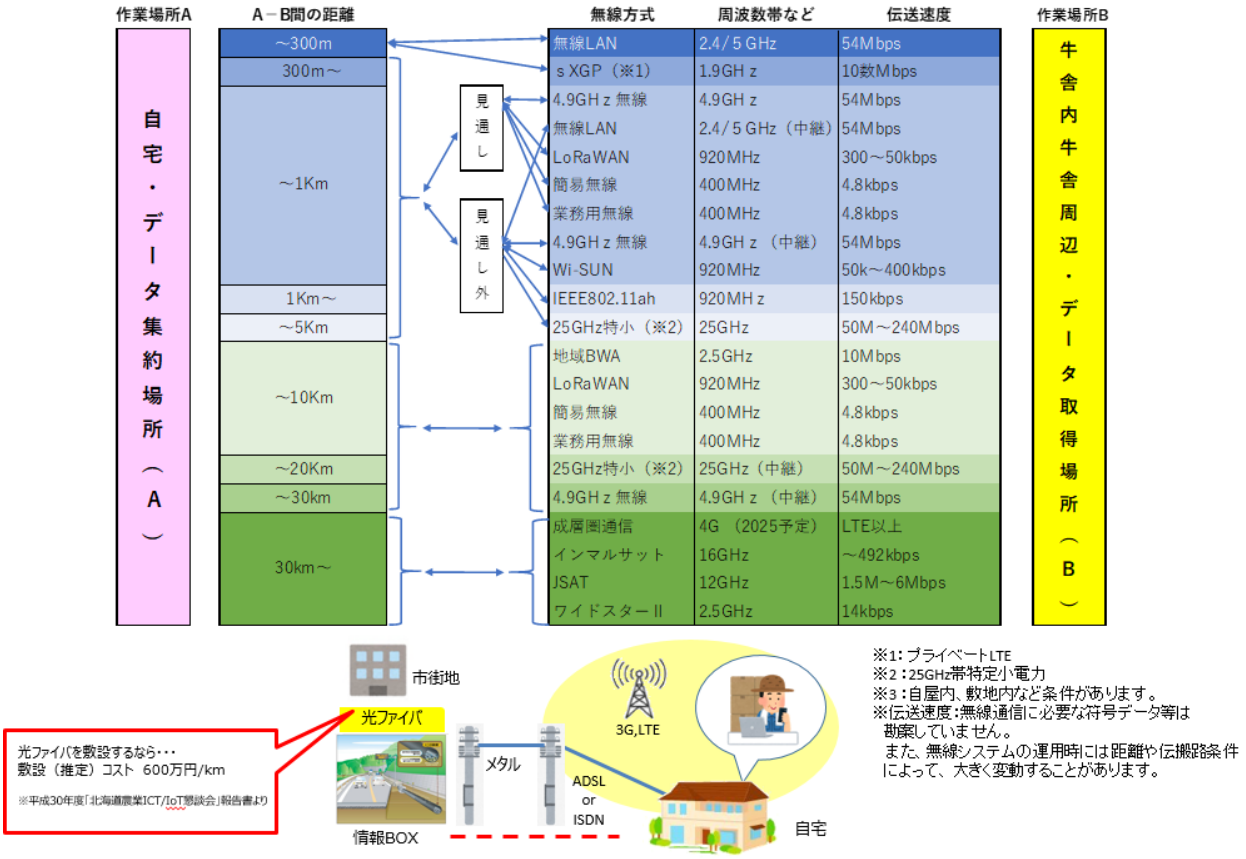
● 情報収集イメージ



● 各セグメントでの通信手段とセグメント間の通信手段イメージ



● ネットワーク選択チャート



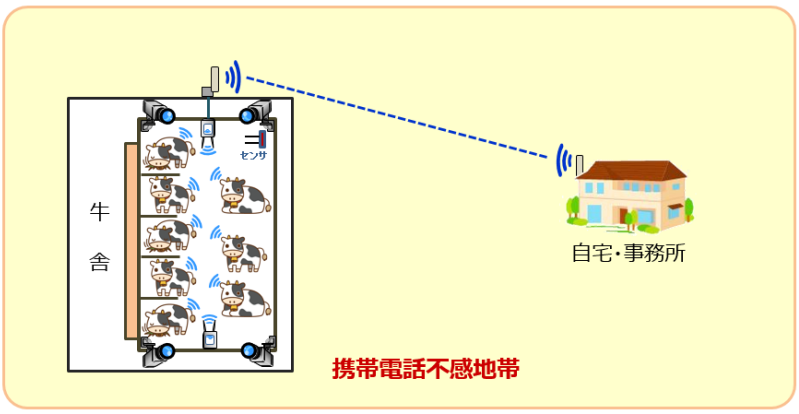
● 「ネットワーク選択のチャート」及び「通信システムリスト」の活用法

【例】

	データ量		頭数		伝送速度		1回のデータ取得に係る時間
発情センサー（膣温計）	20kByte	×	80頭	／	1 Mbps	→	12.8秒

12.8 秒が許容範囲ならば、伝送速度 1 Mbps 以上で、作業場までの距離に見合った無線方式を候補に検討してみる

→遠距離なら地域 BWA、LPWA、衛星通信など。近距離、牛舎内なら有線、無線 LAN、LPWA など・・・



スマート農業通信システムリスト

リストの見方について

- 表中の 情報の取得頻度 は以下の前提で分類しています。

  【リアルタイム・常時送信】・・・・・遅延が許容されない用途、高頻度のセンシングが必要なデータ解析用途を想定。

  【準リアルタイム・間欠送信】・・・長時間放置できない事象をモニタリングする用途、数時間～1 日以内に取得されたデータの解析によって業務に反映する用途を想定。

  【低（低頻度）】・・・・・・・・・・・データをアーカイブし、事後的にデータの利活用を行う用途を想定（上記以外）。

- 表中の 必要とする伝送速度 は以下の考え方を用いています。

  （センサ・カメラ1台当たりの試算）

  【リアルタイム・常時送信】・・・・・データレート bps

  【準リアルタイム・間欠送信】・・・頻度（回／秒）× データ量（bit／回）

  【低（低頻度）】・・・データ量（bit／回／3600 秒）※1 時間に 1 回以下であっても、1 時間以内に情報取得できていることが必要。

- 表中の 伝送手段／対象規格 について補足。

  システム全体の規格を検討する場合は、センサ・カメラの接続台数、また最大通信距離を考慮すること。 リアルタイムでなければ、伝送速度が遅くても利用可能。

- 表中の データ量 について補足

  無線通信に必要なデータ（プリアンブル、同期コード、識別符号など）を含まない。

表 5-1 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （組織経営体メガファーム）①

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
自給飼飼―草地―の情報	圃場情報	リモセンによる圃場別裸地・ 雑草割合の把握	2-3回／年 (雑草判別可能時期)【低】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	圃場、PC（クラウド）←→モバイル端末 （圃場情報をドローンや人工衛星によりセンシング可能な画像を取得し、手作業でPC（クラウド）上に取り込み、解析。モバイル端末からPC（クラウド）上に見に行き活用。	高画質	基本： 35.157MB 高精細： 140.626MB	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯Wi-Fi	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保 ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	
		画像解析による雑草位置の特定化、ピンポイント防除	2-3回／年 (雑草防除適期)【低】	ドローン(可視光ｶﾒﾗ)による静止画撮影			1MB以下				
		画像解析による牧草草種別 (イネ科・マメ科)割合の把握	1回／年 (1番草刈取前)【低】								
	地形情報	地形の確認、解析	1回／年【低】	航空写真、人工衛星による画像確認	圃場、PC（クラウド）←→ モバイル端末	高画質	基本： 35.157MB 高精細： 140.626MB			・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・ 2.4GのWi-Fiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない ・2.4G のWi-Fiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	地形の変動要素がなければGoogleMapでもよい
	土壌診断	リモセンによる土壌診断	2回／年 (4月・11月頃⇒発芽前・収穫後)【低】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	圃場、PC（クラウド）←→ モバイル端末	高画質	基本： 35.157MB 高精細： 140.626MB			・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有	
	草種状況	雑草の割合等	2回／月【低】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	圃場、PC（クラウド）←→ モバイル端末	高画質	静止画： 10MB 以下 ４K：100MB			・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	施肥履歴	土壌診断に基づき施肥	随時【低】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	圃場、PC（クラウド）←→ モバイル端末		静止画： 10MB 以下 ４K：100MB			・分析精度向上のためのデータの蓄積	

表 5-2 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （組織経営体メガファーム）②

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
自給飼料―草地―の情報	育成状況・生育状況	育成状況を判別	1回／日【準リアルタイム・間欠送信】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	圃場、PC（クラウド）←→モバイル端末	高画質	静止画：10MB 以下 ４K：100MB	2Mbps(フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４G	・安定したインターネット環境 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
		リモセンによる生育状況の把握、適正な収穫期の判断	1回／週（但し、収穫適期確認は1回／日）【準リアルタイム・間欠送信】				基本：35.157MB 高精細：140.626MB	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有	
	青草成分	青草の成分分析	1回／日【準リアルタイム・間欠送信】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	圃場、PC（クラウド）←→モバイル端末	高画質	静止画：10MB 以下 ４K：100MB	2Mbps(フルハイビジョン)	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	収穫作業	適正な収穫期を判断	随時【リアルタイム・常時】	ドローン(UAV)と人工衛星による観測・撮影画像	圃場、PC（クラウド）←→モバイル端末	中～高画質	基本：35.157MB 高精細：140.626MB	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
		原料草の収穫量・水分量（概算値）の把握	随時【リアルタイム・常時】	収量ｾﾝｻｰによる計測	圃場→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	100kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	
	生産量	生産量の管理	随時【リアルタイム・常時】	計測	PC（クラウド）→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300 kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	
	気象情報	各地域の温度、湿度、降雨状況、その他気象情報の取得	１回/５～15分など【リアルタイム・常時】	各種センサーによる自動吸い上げ、クラウドにアクセス	圃場、PC（クラウド）←→モバイル端末		32bit	100kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	生育状況・防除予測	収集した気象情報等からの生育状況や各種作業を予測	１回/半日など【準リアルタイム・間欠送信】	クラウドにアクアセス	圃場、PC（クラウド）←→モバイル端末		数十bit	100kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	

表 5-3 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （組織経営体メガファーム）③

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
配合飼料の情報・給与飼料の情報	発酵状況	サイレージの水分測定	1回／日【リアルタイム・常時】	センサー(簡易水分計)	バンカーサイロ→PC（クラウド）←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積・安定したインターネット環境	
		発酵状況、成分分析、水分を測定		計測	サイロ→PC(クラウド)←→モバイル端末		静止画：10MB 以下４K：100MB	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	出荷状況・飼料発注	処理状況、配送履歴の取得	随時【リアルタイム・常時】	クラウドにアクアセス	各処理エリア→PC（クラウド）←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
		飼料タンク残量の確認	随時【リアルタイム・常時】	各種センサーによる自動吸い上げ、クラウドにアクセス	飼料タンク→PC（クラウド）←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）・LPWA	・安定したインターネット環境・分析精度向上のためのデータ	
	サイレージ成分	栄養価、乾物摂取量確認、乳生産に及ぼす影響の分析	1回／日【リアルタイム・常時】	クラウドにアクアセス	サイロ→PC（クラウド）←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）・LPWA	・作業内容や時間を自動で記録する技術・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる。	
	飼料設計	ＴＭＲとの相性分析、自家製（ラップ型）との比較分析	1回／年【低】	クラウドにアクアセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）・LPWA	・安定したインターネット環境・分析精度向上のためのデータの蓄積	
		ＴＭＲとの相性分析、自家製（ラップ型）との比較分析		クラウドにアクアセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）・LPWA	・安定したインターネット環境	
	外部飼料	ＴＭＲとの相性分析、自家製（ラップ型）との比較分析	1回／年【低】	クラウドにアクアセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	製造履歴	最新データ取得	随時【低】	クラウドにアクアセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）・LPWA	・安定したインターネット環境	

表 5-4 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （組織経営体メガファーム）④

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
配合飼料の情報・給与飼料の情報	個体識別情報	カメラで顔の模様と形から個体識別	随時 【リアルタイム・常時】	カメラにより動画撮影	牛舎→PC（クラウド） ←→モバイル端末	高画質	10M	800Mbps 54Mbps	・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・動画から個体を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	
		個体識別：耳標識に10桁の数字とバーコードによる管理、無線ICタグ、個体		タグによる自動読み取り、カメラによる静止画・動画撮影、クラウドへのアクセス	・個体（耳タグ）→PC（クラウド）、モバイル端末 ・個体（足踏みなど）→PC、モバイル端末 ・個体（体重、餌量）→PC、モバイル端末 ・残飼率（残った餌）：餌の食べた量→乳量→費用対効果		静止画：10MB 以下 ４K：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４G	・安定したインターネット環境	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
						中～高画質	静止画：10MB 以下 ４K：100MB	・地域BWA (10Mbps) ・220Mbps	地域BWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる。 ・回線障害時の予備回線等の確保。	定点カメラ利用
		乳量ﾃﾞｰﾀ記録、乳質分析、乳房炎分房の検出	２回＋α／日 (搾乳の都度） 【リアルタイム・常時】	バケツでの目視、搾乳機での計測データ、クラウドへのアクセス	個体→PC（クラウド） ←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300bps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	繁殖状況	発情傾向の把握で搾乳量向上	従来は1日30分～40分 毎日一定時間、夜間含む 膣温 5分間隔測定 【リアルタイム・常時】	①センサー ②歩数計 ③カメラ（動画）	牛舎→PC（クラウド） ←→モバイル端末	①②テキストデータ ③高精度	①20K ②20K ③20M	①② １Mbps ③800Mbps	・ＬＴＥ-M ・小電力データ通信システム等	・動画から発情傾向を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） 2.4／5GHz帯 Wi-Fi ・ 2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	搾乳情報は品質検査に記載
		乳量データ記録、乳質分析	２回以上／1頭／日 【リアルタイム・常	クラウドにアクアセス	搾乳機→PC（クラウド） ←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300bps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
		発情感知、出産履歴データ、哺乳情報	随時 【リアルタイム・常時】	加速度ｾﾝｻｰによりデータの吸い上げ、ｶﾒﾗ動画による目視判断、クラウドへのアクセス	個体→PC（クラウド） ←→モバイル端末	高画質	静止画：10MB 以下 ４K：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４G	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
							静止画：10MB 以下 ４K：100MB	1Mbps以下 50kbps～ 300bps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる。 ・回線障害時の予備回線等の確保。 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	
		疾病牛の早期把握	随時 【リアルタイム・常時】	カメラによる動画撮影	個体→PC（クラウド） ←→モバイル端末	高画質	静止画：10MB 以下 ４K：100MB	1Mbps以下 50kbps～ 300bps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA ・地域BWA 220Mbps	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・学習データの収集	

表 5-5 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （組織経営体メガファーム）⑤

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
乳牛飼養の情報	疾病状況	健康状態の確認	分娩：24時間体制 【リアルタイム・常時】	①センサー ②歩数計 ③カメラ（動画）	牛舎→PC（クラウド） ←→モバイル端末	①②テキストデータ ③高精度	①20K ②20K ③20M	①② 1 Mbps ③800Mbps	・ＬＴＥ-M ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・動画から健康状態を判定するＡＩの開発が必要 （ディープラーニング） ・ 2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・学習データの収集	
		疾病履歴、栄養状態管理		加速度ｾﾝｻｰによりデータの吸い上げ、ｶﾒﾗ動画による目視判断、クラウドへのアクセス	個体→PC（クラウド） ←→モバイル端末	高画質	静止画： 10MB 以下 ４K：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網： ４G	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
							静止画： 10MB 以下 ４K：100MB	1Mbps以下 50kbps～ 300bps	・特定小電力無線局 （920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保 ・学習データの収集	
		特定牛(治療対象牛等)の識別・係留	随時【低】	センサーによるデータ吸い上げ	個体→PC（クラウド） ←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局 （920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	品質検査	乳検データ	1回/日	成分分析機（P&Pなど）データ（クラウド）へのアクセス （乳量、乳脂率、乳タンパク率、P/F比等）	牛舎→PC（クラウド） ←→モバイル端末	テキストデータ	20K	１Mbps	・ＬＴＥ-M ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・通信装置を具備した製品がない ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	牛舎→自宅間のデータ伝送はPCに取り込みクラウド等に送信
		抗生物質（乳房炎等）残留チェック、生菌数分析によるミルカー等汚れチェック	随時 【リアルタイム・常時】	各種センサーによる自動吸い上げ、クラウドにアクセス	生体サンプル→PC（クラウド）←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局 （920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる。 ・回線障害時の予備回線等の確保。	
		牛舎環境(温度・湿度・風量等）の確認		センサーによる計測	牛舎他→PC（クラウド） ←→モバイル端末	テキストデータ	20K	１Mbps	・特定小電力無線局 （920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	

表　5-6　スマート農業通信システムリスト　飼育形態　（組織経営体メガファーム）⑥

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
管理情報	労務管理	従業員情報のクラウド化、年末調整、勤怠管理、個人情報管理	1回／日【低】	クラウド、スタンドアローン端末へのアクセス	PC（クラウド）←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
		勤怠管理		専用機器へのアクセス	モバイル(各自)		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID）	・作業内容や時間を自動で記録する技術	
	安全管理	サイバーリスク管理、老朽化施設チェック	1回／日【低】	各種センサーによるデータの吸い上げ　クラウドへのアクセス	施設→PC（クラウド）←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
	衛生管理	換気（動物、人）職場巡視（動物、人）、産業医・産業保健機能の遠隔受診（人）、カウンセリング（人）	1回／日【低】	カメラによる動画撮影	牛舎、作業エリア→PC（クラウド）←→モバイル端末	高画質	静止画：10MB 以下 ４K：	2Mbps(フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４G	・安定したインターネット環境	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
						高画質	静止画：10MB 以下 ４K：100MB	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
	経営管理	生産や在庫の計画、予算と連動した運営工程の総合的な管理、生産性向上の評価分析	随時【低】	クラウドへのアクセス	PC（クラウド）←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA		
その他	飼料タンク・燃料タンク等の見える化	残量確認、配送計画、作業の効率化、その他	1回／日など【低】	各種センサー、クラウド	センサー→PC、モバイル端末等		数十bit	１Mbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA		
	牛舎環境の見える化	牛舎内環境のモニタリングによる見える化、畜産機器の遠隔操作、その他	１回/5～10分【低】	各種センサー、クラウド	牛舎、作業エリア→PC、モバイル端末		数十bit	１Mbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA		
	畜産機器の遠隔操作	牛舎換気扇、牛舎カーテンの遠隔操作	随時【準リアルタイム・間欠送信】	各種センサー、クラウド	牛舎、作業エリア→PC、モバイル端末		数十bit	１Mbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA		

表 5-7 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （繋ぎ飼い・フリーストール）①

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
自給飼料―草地―の情報	圃場情報	圃場全体の確認	1回/週【低】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	草地→自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末（ドローン画像）	高画質	10M	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・ドローンの通信規制が緩和されれば５Ｇで直接データを転送でき、精度も８Ｋ、１２Ｋも可能となる。 ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有	草地→自宅間の画像伝送はUSBからPCに取り込みクラウド等に送信
		リモセンによる圃場別裸地・雑草割合の把握	2-3回／年 (雑草判別可能時期)【低】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	圃場、PC（クラウド）←→モバイル端末（圃場情報をドローンや人工衛星によりセンシング可能な画像を取得し、手作業でPC（クラウド）上に取り込み、解析。モバイル端末からPC（クラウド）上に見に行き活用。	高画質	基本： 35.157MB 高精細： 140.626MB		・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	
		画像解析による雑草位置の特定化、ピンポイント防除	2-3回／年 (雑草防除適期)【低】	ドローン(可視光ｶﾒﾗ)による静止画撮影		高画質	1MB以下		・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる。 ・回線障害時の予備回線等の確保。 ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	
		画像解析による牧草草種別(イネ科・マメ科)割合の把握	1回／年 (1番草刈取前)【低】			高画質	1MB以下		・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる。 ・回線障害時の予備回線等の確保。 ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	地形情報	地形の確認、解析	1回/年【低】	航空写真、人工衛星による画像確認	自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末（人工衛星画像）	３ｍメッシュ	基本： 35.157MB 高精細： 140.626MB	20Mbps以上	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・ 2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	地形の変動要素がなければGoogleMapでもよい
	土壌診断	気温、湿度、体積含水率、電気伝導率、地温データの取得	1回/時間【低】	土壌センサーによる測定	草地→自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末	LPWA	20K	１Mbps	・ＬＴＥ-M ・920MH z 帯（LoRa）	窒素（硝酸態窒素、アンモニア態窒素）、リン酸、カルシュウム、マグネシウムが計測できる通信装置を具備した製品がない ・草地、放牧地の電子化情報の整備	伝送間隔は任意に設定可能

表 5-8 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （繋ぎ飼い・フリーストール）②

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
自給飼料―草地―の情報	草種状況	草種の確認	1回/日【準リアルタイム・間欠送信】	ドローン(可視光カメラ)による静止画撮影	草地→自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末（ドローン画像）	高画質	10M	20Mbps以上	・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi □	・ドローンの通信規制（圃場情報と同じ） ・画像から草種を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・ 2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有	草地→自宅間の画像伝送はUSBからPCに取り込みクラウド等に送信
	育成状況・生育確認	育成状況・生育確認	1回/日【準リアルタイム・間欠送信】	ドローン(可視光カメラ)による静止画撮影	草地→自宅→PC(クラウド)↔モバイル端末（ドローン画像）	高画質	10M	20Mbps以上	・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi □	・ドローンの通信規制（圃場情報と同じ） ・画像から草種を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有 ・ 2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	草地→自宅間の画像伝送はUSBからPCに取り込みクラウド等に送信
				ドローン・人工衛星による静止画撮影			静止画：10MB 以下 ４Ｋ：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４Ｇ	・安定したインターネット環境 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	Surve-I（カメラ監視LTE/パッケージ）
		リモセンによる生育状況の把握、適正な収穫適期の判断	1回／週（但し、収穫適期確認は1回／日）【準リアルタイム・間欠送				基本：35.157MB 高精細：140.626MB	1Mbps以下 50kbps～300kbps	特定小電力無線局：920MHｚ帯：RFID、LPWA	・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有	
	青草成分	RGB画像、NDVI、SPAD、タンパク量判定	1回/日【準リアルタイム・間欠送信】	人工衛星による画像確認	自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末（人工衛星画像）	３ｍメッシュ	基本：35.157MB 高精細：140.626MB	20Mbps以上	・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi □	・圃場上空の天候次第で撮影不可となる。 ・ 2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	
	収穫作業	原料草の収穫量・水分量（概算値）の把握	随時【リアルタイム・常時】	収量センサーによる計測	圃場→PC(クラウド)↔モバイル端末		数十bit	100kbps	・特定小電力無線局（920MHｚ帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	
	生産量	生産量の管理	随時【リアルタイム・常時】	計測	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MHｚ帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	

表 5-9 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （繋ぎ飼い・フリーストール）③

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
配合飼料の情報・給与飼料の情報	発酵状況	サイレージ゛の水分測定	1回／日 【リアルタイム・常時】	センサー(簡易水分計)	ﾊﾞﾝｶｰｻｲﾛ→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	100kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	
	サイレージ成分	栄養価、乾物摂取量確認、乳生産に及ぼす影響の分析	1回／日 【リアルタイム・常時】	クラウドにアクアセス	サイロ→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	
	外部飼料	ＴＭＲとの相性分析、自家製（ラップ型）との比較分析	1回／年【低】	クラウドにアクアセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・安定したインターネット環境 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	飼料設計	草種・品種、飼料構成、成分組成、消化性、消化ダイナミックス、消化管内通過速度、形状、貯蓄状態、乾物率、発酵品質、嗜好性の分析など	1回／年【低】	クラウドにアクアセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	製造履歴	最新データ取得	随時【低】	クラウドにアクアセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・安定したインターネット環境	
	出荷状況・飼料発注	飼料タンク残量の確認	随時 【リアルタイム・常時】	センサーによる自動吸い上げ、クラウドにアクセス	飼料タンク→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	100kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・安定したインターネット環境 ・分析精度向上のためのデータ	

表 5-10 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （繋ぎ飼い・フリーストール）④

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
乳牛飼養の情報	個体管理	カメラで顔の模様と形から個体識別	随時 【リアルタイム・常時】	カメラにより動画撮影	牛舎→PC(クラウド)←→モバイル端末	高画質	10M	800Mbps 54Mbps	・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・動画から個体を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	
		個体識別：耳標識に10桁の数字とバーコードによる管理、無線ICタグ、個体		タグによる自動読み取り、カメラによる静止画・動画撮影、クラウドへのアクセス	・個体（耳タグ）→PC(クラウド)←→モバイル端末 ・個体（足踏みなど）→PC(クラウド)←→モバイル端末 ・個体（体重、餌量）→PC(クラウド)←→モバイル端末 ・残飼率（残った餌）：餌の食べた量→乳量→費用対効果		静止画： 10MB 以下 ４K：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４G	・安定したインターネット環境	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
						中画質以上	静止画： 10MB 以下 ４K：100MB	・地域BWA （10Mbps） ・220Mbps	・携帯電話キャリア網：4G ・地域BWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	定点カメラ利用
		乳量データ記録、乳質分析、乳房炎分房の検出	２回＋α／日 (搾乳の都度) 【リアルタイム・常時】	バケツでの目視、搾乳機での計測データ、クラウドへのアクセス	個体→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300bps	・特定小電力無線局 （920MHｚ帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	繁殖情報	発情傾向の把握で搾乳量向上	（従来は1日30分～40分） 毎日一定時間、夜間含む 膣温 5分間隔測定 【リアルタイム・常時】	①センサー ②歩数計 ③カメラ（動画）	牛舎→PC(クラウド)←→モバイル端末	高精度	数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300bps	・ＬＴＥ-M ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・動画から発情傾向を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・ 2.4GのWi-Fiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない ・2.4GのWi-Fiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	搾乳情報は品質検査に記載
		発情感知、出産履歴データ、哺乳情報		加速度センサーによりデータの吸い上げ、カメラ動画による目視判断、クラウドへのアクセス	個体→PC(クラウド)←→モバイル端末	高画質	静止画： 10MB 以下 ４K：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４G	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
						中画質以上	静止画： 10MB 以下 ４K：100MB	1Mbps以下 50kbps～ 300bps	・特定小電力無線局 （920MHｚ帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	

表 5-11 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （繋ぎ飼い・フリーストール）⑤

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
乳牛飼養の情報	疾病状況	疾病牛の早期把握	分娩：24時間体制 【リアルタイム・常時】	加速度ｾﾝｻｰによりデータの吸い上げ、カメラ動画による目視判断、クラウドへのアクセス	個体→PC(クラウド)←→モバイル端末	高画質	静止画： 10MB 以下 ４K：100MB	1Mbps以下 50kbps～ 300bps	・特定小電力無線局 （920MH z 帯、RFID） ・LPWA ・地域BWA ・220Mbps	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・学習データの収集	
		健康状態の確認		①センサー ②歩数計 ③カメラ（動画）	牛舎→PC(クラウド)←→モバイル端末	①②テキストデータ ③高精度	①20K ②20K ③20M	①② １Mbps ③800Mbps	ＬＴＥ-M 小電力データ通信システム等： 2.4／5GHz帯　Wi-Fi	・動画から健康状態を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・ 2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・学習データの収集	
		疾病履歴、栄養状態管理		加速度センサーによりデータの吸い上げ、カメラ動画による目視判断、クラウドへのアクセス	個体→PC(クラウド)←→モバイル端末	高画質	静止画： 10MB 以下 ４K：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４G	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
		特定牛(治療対象牛等)の識別・係留	随時 【リアルタイム・常時】	センサーによるデータ吸い上げ	個体→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局 （920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	品質検査	乳検データ	1回/日 【リアルタイム・常時】	成分分析機（P&Pなど）データ（クラウド）へのアクセス （乳量、乳脂率、乳タンパク率、P/F比等）	牛舎→PC(クラウド)←→モバイル端末	テキストデータ	20K	１Mbps	・ＬＴＥ-M ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯　Wi-Fi	・通信装置を具備した製品がない ・ 2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	牛舎→自宅間のデータ伝送はPC(クラウド)←→モバイル端末に取り込みクラウド等に送信
		抗生物質（乳房炎等）残留チェック、生菌数分析によるミルカー等汚れチェック	随時 【リアルタイム・常時】	各種センサーによる自動吸い上げ、クラウドにアクセス	生体サンプル→ PC(クラウド)←→ モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局 （920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる。 ・回線障害時の予備回線等の確保。	
		牛舎環境(温度・湿度・風量等）の確認		センサーによる計測	牛舎他→PC(クラウド) ←→モバイル端末	テキストデータ	20K	１Mbps	・特定小電力無線局 （920MH z 帯、RFID）	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	

表 5-12 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （繋ぎ飼い・フリーストール）⑥

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
管理情報	労務管理	従業員情報のクラウド化、年末調整、勤怠管理、個人情報管理	1回／日【低】	クラウド、スタンドアローン端末へのアクセス	PC(クラウド)←→モバイル端末（入力作業）		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
		勤怠管理		専用機器へのアクセス	モバイル(各自)		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・作業内容や時間を自動で記録する技術	
	安全管理	サイバーリスク管理、老朽化施設チェック	1回／日【低】	各種センサーによるデータの吸い上げ クラウドへのアクセス	施設→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・作業内容や時間を自動で記録する技術 ・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
	衛生管理	換気（動物、人）職場巡視（動物、人）、産業医・産業保健機能の遠隔受診（人）、カウンセリング（人）	1回／日【低】	カメラによる動画撮影	牛舎、作業エリア→PC(クラウド)←→モバイル端末	高画質	静止画： 10MB 以下 ４K：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	・携帯電話キャリア網： ４G		Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
						高画質		1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
	経営管理	生産や在庫の計画、予算と連動した運営工程の総合的な管理、生産性向上の評価分析	随時【低】	クラウドへのアクセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	

表 5-13 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （放牧主体）①

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
自給飼料―草地―の情報	圃場情報	圃場全体の確認	1回/週【低】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	草地→自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末等（ドローン画像）	高画質	10M	20Mbps以上 54Mbps	・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・ドローンの通信規制が緩和されれば５Ｇで直接データを転送でき、精度も８Ｋ、１２Ｋも可能となる。 ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	草地→自宅間の画像伝送はUSBからPCに取り込みクラウド等に送信
		リモセンによる圃場別裸地・雑草割合の把握	2-3回／年 (雑草判別可能時期)【低】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	圃場、PC（クラウド）←→モバイル端末（圃場情報をドローンや人工衛星によりセンシング可能な画像を取得し、手作業でPC（クラウド）上に取り込み、解析。モバイル端末からPC（クラウド）上に見に行き活用。	高画質	基本： 35.157MB 高精細： 140.626MB	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z帯、RFID） ・LPWA ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	
		画像解析による雑草位置の特定化、ピンポイント防除	2-3回／年 (雑草防除適期)	ドローン(可視光カメラ)による静止画撮影		高画質	1MB以下	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保 ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	
		画像解析による牧草草種別(イネ科・マメ科)割合の把握	1回／年 (1番草刈取前) 【低】			高画質	1MB以下	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる。 ・回線障害時の予備回線等の確保。 ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	地形情報	地形の確認、解析	1回/年【低】	航空写真、人工衛星による画像確認	自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末（人工衛星画像）	３ｍメッシュ	基本： 35.157MB 高精細： 140.626MB	20Mbps以上	・特定小電力無線局（920MH z帯、RFID） ・LPWA ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・〃 地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	地形の変動要素がなければGoogleMapでもよい
	土壌診断	気温、湿度、体積含水率、電気伝導率、地温データの取得	1回/時間	土壌センサーによる測定	草地→自宅→PC(クラウド)↔モバイル端末等	ＬＰＷＡ	20K	１Mbps	・ＬＴＥ-M ・920MH z帯（LoRa）	窒素（硝酸態窒素、アンモニア態窒素）、リン酸、カルシュウム、マグネシウムが計測できる通信装置を具備した製品がない ・草地、放牧地の電子化情報の整備	伝送間隔は任意に設定可能

表 5-14 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （放牧主体）②

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
自給飼料―草地―の情報	草種状況	草種の確認	1回/日【準リアルタイム・間欠送信】	ドローン(可視光カメラ)による静止画撮影	草地→自宅→PC(クラウド)↔モバイル端末等（ドローン画像）	高画質	10M	20Mbps以上	小電力データ通信システム等：2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・ドローンの通信規制（圃場情報と同じ） ・画像から草種を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有	草地→自宅間の画像伝送はUSBからPCに取り込みクラウド等に送信
	育成状況・生育確認	生育確認	1回/日【準リアルタイム・間欠送信】		草地→自宅→PC(クラウド)↔モバイル端末等（ドローン画像）	高画質	10M	20Mbps以上	・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・ドローンの通信規制（圃場情報と同じ） ・画像から草種を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	草地→自宅間の画像伝送はUSBからPCに取り込みクラウド等に送信
		育成状況を判別		ドローン・人工衛星による静止画撮影	圃場→PC入力作業(クラウド)←→モバイル端末		静止画：10MB以下 ４Ｋ：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網： ４Ｇ	・安定したインターネット環境 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
		リモセンによる生育状況の把握、適正な収穫適期の判断	1回／週（但し、収穫適期確認は1回／日）【準リアルタイム・間欠送信】	ドローン・人工衛星による静止画撮影	圃場→PC(クラウド)←→モバイル端末	高画質	基本：35.157MB 高精細：140.626MB	1Mbps以下 50kbps～300kbps	特定小電力無線局：920MHｚ帯：RFID、LPWA	・航空法による認可が必要な飛行高度150m以上の航行の実例の収集、共有	
	青草成分	RGB画像、NDVI、SPAD、タンパク量判定	1回/日【準リアルタイム・間欠送信】	人工衛星による画像確認	自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末（人工衛星画像）	３ｍメッシュ	基本：35.157MB 高精細：140.626MB	20Mbps以上	・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・圃場上空の天候次第で撮影不可となる。 ・2.4GのWi-Fiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・ 2.4GのWi-Fiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	
	収穫作業	原料草の収穫量・水分量（概算値）の把握	随時 【リアルタイム・常時】	収量ｾﾝｻｰによる計測	圃場→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	100kbps	・特定小電力無線局（920MHｚ帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	
	生産量	生産量の管理	随時 【リアルタイム・常時】	計測	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MHｚ帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境 ・草地、放牧地の電子化情報の整備	

表 5-15 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （放牧主体）③

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
配合飼料の情報・給与飼料の情報	発酵状況	サイレージの水分測定	1回／日 【リアルタイム・常時】	センサー(簡易水分計)	バンカーサイロ→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	100kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	
	サイレージ成分	栄養価、乾物摂取量確認、乳生産に及ぼす影響の分析	1回／日 【リアルタイム・常時】	クラウドにアクアセス	サイロ→利用者PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	
	外部飼料	ＴＭＲとの相性分析、自家製（ラップ型）との比較分析	1回／年【低】	クラウドにアクアセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・安定したインターネット環境 ・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	飼料設計	草種・品種、飼料構成、成分組成、消化性、消化ダイナミックス、消化管内通過速度、形状、貯蓄状態、乾物率、発酵品質、嗜好性の分析など	随時【低】	クラウドにアクアセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	製造履歴	最新データ取得	随時【低】	クラウドにアクアセス	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～ 300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・安定したインターネット環境	
	出荷状況・飼料発注	飼料タンク残量の確認	【リアルタイム・常時】	センサーによる自動吸い上げ、クラウドにアクセス	飼料タンク→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	100kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・安定したインターネット環境 ・分析精度向上のためのデータ	

表 5-16 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （放牧主体）④

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
乳牛飼養の情報	個体情報	カメラで顔の模様と形から個体識別	随時 【リアルタイム・常時】	カメラにより動画撮影	牛舎→自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末	高画質	10M	800Mbps 54Mbps	・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・動画から個体を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない。 ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	
		個体識別：耳標識に１０桁の数字とバーコードによる管理、無線ICタグ、個体		タグによる自動読み取り、カメラによる静止画・動画撮影、クラウドへのアクセス	・個体（耳タグ）→PC(クラウド)←→モバイル端末 ・個体（足踏みなど）→PC(クラウド)←→モバイル端末 ・個体（体重、餌量）→PC(クラウド)←→モバイル端末 ・残飼率（残った餌）：餌の食べた量→乳量→費用対効果		10M	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４G	・安定したインターネット環境	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
						中画質以上	10M	・地域BWA（10Mbps） ・220Mbps	・携帯電話キャリア網：4G ・地域BWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	定点カメラ利用
		放牧牛の位置確認、発情・疾病等感知、事故牛確認等	随時、１回/５分など	各種センサーによる自動吸い上げ、クラウドにアクセス	センサー→PC(クラウド)↔モバイル端末		20K	１Mbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・安定したインターネット環境	
	搾乳情報	乳量データ記録、乳質分析	２回以上／1頭／日 【リアルタイム・常時】	クラウドにアクアセス	搾乳機→PC(クラウド)↔モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	搾乳情報	乳量ﾃﾞｰﾀ記録、乳質分析、乳房炎分房の検出	２回＋α／日 (搾乳の都度)	バケツでの目視、搾乳機での計測データ、クラウドへのアクセス	個体→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～300bps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	搾乳情報は品質検査に記載
	発情情報	発情傾向の把握で搾乳量向上	従来は1日30分～40分 毎日一定時間、夜間含む 膣温 5分間隔測定 【リアルタイム・常時】	①センサー ②歩数計 ③カメラ（動画）	牛舎→自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末	①②テキストデータ ③高精度	①20K ②20K ③20M	①② １Mbps ③800Mbps	・ＬＴＥ-M ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯 Wi-Fi	・動画から個体を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない ・ 2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	
		発情感知、出産履歴データ、哺乳情報	随時 【リアルタイム・常時】	加速度センサーによりデータの吸い上げ、ｶﾒﾗ動画による目視判断、クラウドへのアクセス	個体→PC(クラウド)←→モバイル端末	高画質	静止画：10MB以下 ４K：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４G	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）

表 5-17 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （放牧主体）⑤

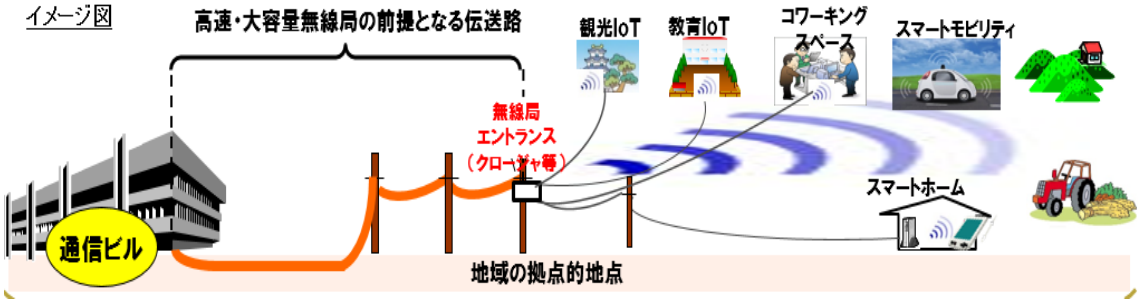
情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
乳牛飼養の情報	疾病状況	疾病牛の早期把握	随時 【リアルタイム・常時】	加速度センサーによりデータの吸い上げ、カメラ動画による目視判断、クラウドへのアクセス	個体→PC(クラウド)←→モバイル端末	中画質以上	静止画：10MB以下 ４K：100MB	・地域BWA（10Mbps） ・220Mbps	・特定小電力無線局（920MHｚ帯、RFID） ・LPWA ・地域BWA ・220Mbps	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・学習データの収集	
		健康状態の確認	従来は1日30分～40分 毎日一定時間、夜間含む 膣温　5分間隔測定 【リアルタイム・常時】	①センサー ②歩数計 ③カメラ（動画）	牛舎→自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末	①②テキストデータ ③高精度	①20K ②20K ③20M	①② 1 Mbps ③800Mbps	・ＬＴＥ-M ・小電力データ通信システム等 ・2.4／5GHz帯　Wi-Fi	・動画から健康状態を判定するＡＩの開発が必要（ディープラーニング） ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない ・2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	
		疾病履歴、栄養状態管理		加速度センサーによりデータの吸い上げ、カメラ動画による目視判断、クラウドへのアクセス	個体→PC入力作業(クラウド)←→モバイル端末	高画質	静止画：10MB以下 ４K：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網：４Ｇ	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
							静止画：10MB以下 ４K：100MB	1Mbps以下 50kbps～300kbps	特定小電力無線局：920MHｚ帯：RFID、LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
		特定牛(治療対象牛等)の識別・係留	随時 【リアルタイム・常時】	センサーによるデータ吸い上げ	個体→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MHｚ帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積	
	品質検査	乳検データ	1回/日 【リアルタイム・常時】	成分分析機（P&Pなど）（乳量、乳脂率、乳タンパク率、P/F比等）	牛舎→自宅→PC(クラウド)←→モバイル端末	テキストデータ	20K	1 Mbps	ＬＴＥ-M 小電力データ通信システム等：2.4／5GHz帯　Wi-Fi	・通信装置を具備した製品がない ・2.4GのWiFiは１台のアクセスポイントでは農場及び施設内の全エリアカバーできない ・2.4GのWiFiは地形や遮断物の影響がある ・接続品質と距離に改善の必要	牛舎→自宅間のデータ伝送はPCに取り込みクラウド等に送信
		抗生物質（乳房炎等）残留チェック、生菌数分析によるミルカー等汚れチェック	随時 【リアルタイム・常時】	各種センサーによる自動吸い上げ、クラウドにアクセス	生体サンプル→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MHｚ帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
		牛舎環境(温度・湿度・風量等）の確認		センサーによる計測	牛舎他→PC（クラウド）←→モバイル端末	テキストデータ	20ｋ	1 Mbps	・特定小電力無線局（920MHｚ帯、RFID） ・LPWA	・分析精度向上のためのデータの蓄積 ・安定したインターネット環境	

表 5-18 スマート農業通信システムリスト 飼育形態 （放牧主体）⑥

情報分類	利用情報種別	情報を取得する目的	情報の取得頻度	情報の取得方法	情報の流れ	データの精度等	データ量	必要とする伝送速度(※)	伝送手段／対象規格	課題等	備考
管理情報	労務管理	従業員情報のクラウド化、年末調整、勤怠管理、個人情報管理	1回／日【低】	クラウド、スタンドアローン端末	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
		勤怠管理		専用機器へのアクセス	モバイル(各自)		数十bit	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・作業内容や時間を自動で記録する技術	
	安全管理	サイバーリスク管理、老朽化施設チェック	1回／日【低】	各種センサーによるデータの吸い上げ クラウドへのアクセス	施設→PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
	衛生管理	換気（動物、人）職場巡視（動物、人）、産業医・産業保健機能の遠隔受診（人）、カウンセリング（人）	1回／日【低】	カメラによる動画撮影	牛舎、作業エリア→PC(クラウド)←→モバイル端末	高画質	静止画：10MB以下 ４K：100MB	2Mbps (フルハイビジョン)	携帯電話キャリア網： ４G	・作業内容や時間を自動で記録する技術 ・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	Surve-I（カメラ監視LTEパッケージ）
							静止画：10MB以下 ４K：100MB	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
	経営管理	生産や在庫の計画、予算と連動した運営工程の総合的な管理、生産性向上の評価分析	随時【低】	カメラによる動画撮影	PC(クラウド)←→モバイル端末		数十bit	1Mbps以下 50kbps～300kbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・品質保証されないベストエフォート回線利用が前提となる ・回線障害時の予備回線等の確保	
	労務・安全管理	作業員の位置情報、体調確認、安否確認、アラート	随時、１回/５分など【リアルタイム・常時】	クラウドへのアクセス	センサー→PC(クラウド)↔モバイル端末		20 k	1 Mbps	・特定小電力無線局（920MH z 帯、RFID） ・LPWA	・安定したインターネット環境	

（6）農業分野でのビッグデータ伝送システムについて 【支援策の活用】

【総務省：高度無線環境整備推進事業】

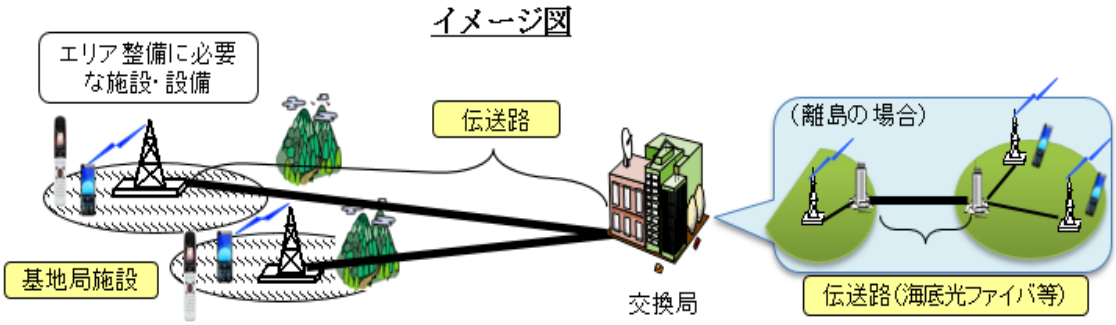


高度無線環境整備推進事業は、地理的に条件不利な地域において、地方公共団体、第三セクター法人、電気通信事業者が高速・大容量無線局の前提となる光ファイバを整備する場合に、その事業費の一部を補助

平成 31 年度　新冠町、厚真町、上士幌町、岩見沢市が整備中

担当：北海道総合通信局情報通信部　情報通信振興課

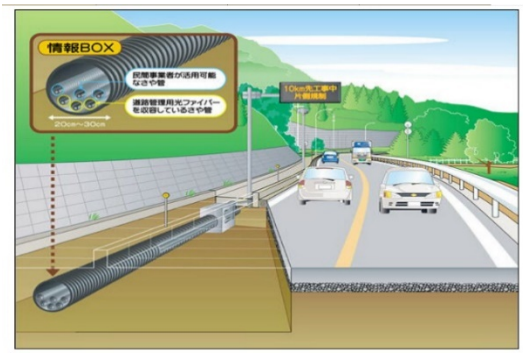
【総務省：携帯電話等エリア整備事業】



地理的に条件不利な地域において、市町村が携帯電話等の基地局施設（鉄塔、無線設備等）を整備する場合や、無線通信事業者等が基地局の開設に必要な伝送路施設（光ファイバ等）を整備する場合に、当該基地局施設や伝送路の整備に対して補助金を交付する。

担当：北海道総合通信局無線通信部　陸上課

【国土交通省：光ファイバの開放利用】



道路管理用光ファイバを収容するために道路の地下に設置する簡易な構造物が情報 BOX。複数の光ファイバケーブルを敷設することが可能なことから、民間事業者も利用することができることとしています。民間事業者は、情報 BOX を利用することにより、自ら単独で光ファイバケーブルを敷設する場合に比べ少ない費用、短い時間で光ファイバを整備することが可能となる。

担当：北海道開発局開発監理部　開発調整課

5.5 酪農現場現地調査概要

総務省北海道総合通信局及び農林水産省北海道農政事務所は、根室地区及び留萌地区における酪農 ICT/IoT の取組み、ブロードバンドの整備状況の実態把握のため、個人経営の酪農家、農業協同組合連合会、役場等を訪問し、意見交換を行った。

調査実施日時、調査メンバー、訪問先及び調査概要を以下に示す。

5.5.1 根室地区

【調査日時】

2019 年 9 月 25 日（水）及び 26 日（木）

【調査メンバー】

氏 名	所 属
髙野 潔	北海道総合通信局 局長
菅原 隆志	北海道総合通信局 無線通信部 部長
吉田 圭子	北海道総合通信局 無線通信部 電波利用企画課
竹内 亜寿香	北海道総合通信局 無線通信部 電波利用企画課
大坪 正人	北海道農政事務所 所長
佐藤 京子	北海道農政事務所 生産経営産業部 部長
吉光 成人	北海道農政事務所 釧路地域拠点 地方参事官
北川 清史	北海道農政事務所 釧路地域拠点 総括農政業務管理官
久保 誠一	北海道農政事務所 釧路地域拠点 主任農政推進官
野口 卓也	北海道農政事務所 釧路地域拠点 主任広域監視官

【訪問先】

訪問日時	訪問先	所在地
9 月 25 日（水）	個人経営の酪農家	中標津町
	個人経営の酪農家 （メガファーム）	中標津町
9 月 26 日（木）	役場（道東あさひ農業協同組合同席）	別海町
	JA 浜中町	浜中町
	JA 浜中町酪農技術センター	浜中町

【調査概要】

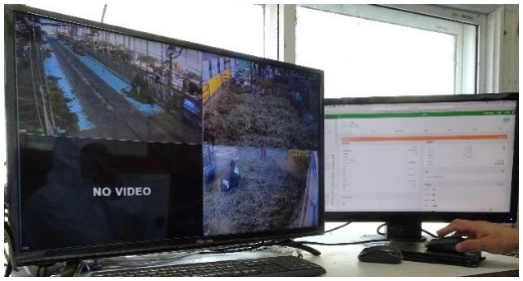
- 調査を行った酪農家では、発情発見装置やロータリーパーラー型搾乳ロボット等、最新の技術を導入している。しかしながら、装置の使用には安定した通信環境が不可欠であり、調査地域では通信インフラ整備が不完全なため、装置の機能を十分に生かすことができていない。調査地域の酪農家は機械の導入による作業効率化（AI の導入も含め）に関心が高く、通信インフラの整備を強く望んでいる。

- 意見交換を行った自治体は、広大な酪農地帯を有しており、通信インフラ整備の重要性を認識しているものの、財政面などから課題が多く、整備を早急に行うのは困難であるとの声があった。
- 省力化を実現する通信技術の普及は、今後北海道が酪農分野における優位性を維持するために欠かせない要素である。しかしどのような場合にどのような機器が必要となるのか、またどういった通信環境を必要とするのかなどについての整理は不十分である。当懇談会として、これらの通信システムに関する情報を整理することで、酪農家や自治体が通信インフラを整備する際の方向性を検討する情報を示す意義は大きい。

農業協同組合との意見交換模様

酪農家との意見交換模様

ロータリーパーラー型搾乳ロボット（AMR）



監視カメラ映像

酪農家との意見交換模様

自治体との意見交換模様

5.5.2　留萌地区

【調査日時】

2020 年 1 月 30 日（木）及び 31 日（金）

【調査メンバー】

氏　名	所　属
髙野　潔	北海道総合通信局 局長
菅原　隆志	北海道総合通信局 無線通信部 部長
吉田　圭子	北海道総合通信局 無線通信部 電波利用企画課
石川 善成	北海道開発局　農業水産部　部長
羽生 哲也	北海道開発局　農業振興課 課長補佐
小野寺　晃良	北海道開発局 留萌開発建設部　農業開発課　課長
渋谷　靖	北海道開発局　天塩地域農業開発事業所　所長
山田　英也	北海道農政事務所 所長
佐藤　京子	北海道農政事務所 生産経営産業部 部長
野村　悠花	北海道農政事務所 企画調整室
渡邊　良市	北海道農政事務所 旭川地域拠点 地方参事官
日下　俊浩	北海道農政事務所 旭川地域拠点　主任広域監視官
平田　直寿	北海道農政事務所 旭川地域拠点　　農政推進官

【訪問先】

訪問日時	訪問先	所在地
1 月 30 日（木）	役場（天塩町農業協同組合同席）	天塩町
	個人経営の酪農家	天塩町
	合同会社の酪農家	天塩町
1 月 31 日（金）	役場	初山別

【調査概要】

- 放牧形態の酪農家を訪問したところ、頭数を増やすために牧草地を広げる予定であり、今後もさらなる拡大を希望している。しかしながら作業エリアは広がる一方で、作業機が異常をきたしたり転倒するなど危険な場合に、携帯電話の電波が届いていないため対処できないことが悩みである。
- 放牧は、低コストで管理できるメリットも多いが、その時々の草地にいる頭数、草の量、牛の体調、気候（雨、風等）、それを加味して毎回放牧面積を変更するかどうかなどを判断する等、必要とするデータや分析、管理したい情報は多い。

- 一方、企業経営体として約 500 頭から搾乳するメガファームと呼ばれる酪農家では、場所によっては、市街地から数キロ離れており、酪農家の通信回線は ADSL または ISDN であることも多く、データの更新に時間がかかる。労働力の軽減や無人化に目を向けられるためにも、光ファイバの敷設を強く望んでいる。
- 若手ばかりではなく後継者を育成する世代が「夢の実現」という言葉で、ICT 技術を用いた自動化やビッグデータ分析、遠隔監視などができる環境を切望している。当懇談会の検討結果を、広く自治体のトップや関係企業、団体等と共有し、通信インフラの整備を後押しすることが重要。

酪農家との意見交換模様

ICT で 24 時間管理したい！

ロボット搾乳機の連動ソフト
光ファイバの環境があればさらに
高度化や有効活用が可能となる

自治体との意見交換模様

6 調査検討のまとめ

我が国の食料安定供給に重要な役割を果たす北海道農業において、担い手としての農家の高齢化や人口減少・労働力不足、一方で、農作業の省力化・効率化を図るための手段としてのロボット技術や ICT／IoT 利活用への大きな期待といった背景のもと、北海道農業 ICT/IoT 懇談会とともに 2 つの作業班を構成し検討を行った。（懇談会及び作業班の構成等については資料編を参照）

- 農業のロボット化検討作業班（WG1）
  『ロボット農機の遠隔制御』、『地上無線との周波数共用』について検討
- 農業ビッグデータ利活用検討作業班（WG2）
  『農業ビッグデータの利活用』について検討

6.1『ロボット農機の遠隔制御』

『ロボット農機の遠隔制御』については、以下の検討を行った。

（1）150MHz 帯制御信号用周波数の共用条件等

✓ 1 波あたりの収容可能局数

緊急停止という確実性の観点から、許容遅延時間（基地局ートラクタ間）の目標を 1 秒とし、1 秒以内に確実に停止するための方法としては、停止信号の連送（時間ダイバーシチ）が 現実的であり、約1秒と捉えれば実現方法が増え現実的となる。一例として、遅延時間 0.38～1.13 秒を許容し、連送することで、103 台まで収容可能である。

✓ 周波数繰り返し利用を可能とする離隔距離

空中線電力 50W でのカバーエリアは 14.1km（開放地）、干渉信号は D/U 値を満たす距離 45.5km を考慮すると基地局間の距離は 59.6km となる。基地局間の距離を約 60km 以上離すことにより、同一周波数の繰り返し利用が可能である。空中線電力 50Wに限らず低電力の無線機との組合せになどより、個々の圃場の形状、地形などを考慮したカバーエリアに合わせた設置設計が必要となる。

✓ 公開実証試験

令和元年 11 月 12 日に岩見沢自治体ネットワークセンターと岩見沢市北村地区実験圃場を使用して遠隔監視・制御下のロボットトラクタ緊急停止公開実証試験を実施し、150MHz 帯での電波の優位性及び遅延がなく緊急時に確実な通信手段であることを確認した。

（2）GNSS の衛星測位における他の地上無線との周波数共用条件等

✓ 実証試験の結果、特定ラジオマイクとロボット農機（GNSS 受信機）との離隔距離

出力10mW の特定ラジオマイクの場合は、使用本数1本であれば250m以上、3本であれば300m以上、5本であれば350m以上離す必要がある。

出力50mW の特定ラジオマイクの場合は、使用本数1本であれば580m以上、3本であれば650m以上、5本であれば800m以上離す必要がある。

✓ 干渉緩和の対策事例

1.2GHz 帯と周波数帯の異なるラジオマイクを使用する。

（470MHz 帯の A 型、B 型、C 型）

1.2GHz 帯を使用するラジオマイクの場合は、できる限り高い周波数チャネルを選択

する。離隔距離を十分とる。また、出力及びマイクの本数を調整する。

✓ 今後の展開

農機具メーカー、（一社）特定ラジオマイク運用調整機構（放送事業者、イベント関係者、ラジオマイクメーカー等）など関係者に対し情報提供を行い、ロボット農機の安全運用に資する。

6.2『農業ビッグデータの利活用』

『農業ビッグデータの利活用』については、以下の検討を行った。

酪農分野においてデジタル化できる情報及び通信ネットワークの現状とニーズの把握。

情報報通信に関するニーズに応え、ビッグデータ利活用するための課題の解決及び推進方策。

✓ スマート農業で強く求められているのは、必要とする容量、速度でデータ伝送が可能な「光ファイバの整備」であり、同時に「作業現場でのインターネット環境（携帯電話）」でもある。

✓ 自治体、農業団体等の整備主体は、ラストワンマイルについては、可能な限りコストのかからない無線ネットワーク（通信システムリストを参照）の適切な手段を検討し、バックボーンとしては国等の補助事業や河川・道路用情報 BOX 等の利用も視野に入れた光ファイバの整備を積極的に行うべきである。

✓ 本 WG の検討結果を、広く自治体のトップや関係企業、団体等と共有し、農業分野における作業効率化・ 収益向上の基盤となる通信インフラの整備の必要性について意識向上を後押しすることが重要である。

資料編

資料1 北海道農業ICT／IoT懇談会要綱

1. 目的

北海道の農業は、耕地面積が全国の4分の1を占め、農畜産物の多くが生産量全国一位となっており、我が国の食料の安定供給に重要な役割を果たしている。

一方、昨今では、その北海道農業の担い手である農家の高齢化や人口減少、労働力不足等が深刻な課題となっており、農作業の省力化・効率化を図るための手段として、ロボット技術やICT／IoT の利活用に大きな期待が寄せられている。また、ICT／IoT 利活用の基盤となる光ファイバによるブロードバンド環境についても、農畜産物の販路拡大に向けた映像情報の伝送が可能となることから、特に農地において未整備地域の解消が求められている。

本懇談会では、上記諸課題を解決し、生産量全国一位を維持する「強い北海道農業の実現」を目指し、農業のロボット化・農業ビッグデータの利活用及びその基盤となる農地のブロードバンド整備の推進について検討を行うことを目的として開催する。

2. 実施項目

（1） 農地のブロードバンド整備の推進に係る検討
（2） 「遠隔監視による無人作業システム」・「マルチロボット」を見据え、高精度・安全な農作業を目的とした農業ロボット化に係る検討
（3） 営農支援を目的とした農業ビッグデータの利活用に係る検討
（4） その他、目的達成に関し必要な検討

3. 構成及び運営

（1）本懇談会の構成員は、別添のとおりとする。
（2）本懇談会に、総務省北海道総合通信局長があらかじめ指名する座長を置く。
（3）座長は、本懇談会の会議（以下「会議」という。）を招集し、主宰する。
（4）座長は、構成員から座長代理を指名する。
（5）座長代理は、座長を補佐し、座長不在のときは、その職務を代行する。
（6）座長は、必要に応じ、構成員以外の関係者の出席を求め、意見を聞くことができる。
（7）座長は、特に必要があると認めるときは、文書その他の方法により、会議の議事を行うことができる。
（8）本懇談会の構成員は、やむを得ない事情により会議に出席できない場合は、座長の承認を得て、代理の者を出席させることができる。
（9）座長は、検討を促進するため、必要に応じ、作業班を置くことができる。
（10）作業班に属すべき構成員及び当該事務を掌理する主査は、座長が指名する。
（11）その他、本懇談会の運営に必要な事項は、座長が定めるところによる。

4. 議事等の公開

（1）会議は、原則として公開とする。ただし、会議を公開することにより当事者若しくは第三者の権利若しくは利益又は公共の利益を害するおそれがある場合その他の座長が必要と認める場合については、非公開とする。

（2）会議で使用した資料については、原則として総務省北海道総合通信局のホームページに掲載し、公開する。ただし、公開することにより当事者若しくは第三者の権利若しくは利益又は公共の利益を害するおそれがある場合その他の座長が必要と認める場合については、非公開とすることができる。

（3）会議については、原則として議事要旨を作成し、総務省北海道総合通信局のホームページに掲載し、公開する。

5. スケジュール

本懇談会は、平成30年7月から開催する。

6. 事務局

本懇談会の事務局は、総務省北海道総合通信局無線通信部電波利用企画課に置く。
また、検討事項に応じ、同局関係各課と事務を分担する。

7. 北海道農業ICT／IoT懇談会　構成員名簿

（敬称略、座長・座長代理を除き構成員氏名五十音順）

	氏名	所属
座長	野口　伸	北海道大学　大学院農学研究院　副研究院長・教授
座長代理 WG1 主査	岡本　博史	北海道大学　大学院農学研究院　准教授
座長代理 WG2 主査	西村　寿彦	北海道大学　大学院情報科学研究院　准教授
座長代理	小川　健太	酪農学園大学　環境空間情報学研究室　准教授
構成員	秋元　勝彦	北海道　　農政部　生産振興局　技術支援担当局長
	稲村　栄	北海道総合通信網株式会社　取締役企画部長
＜新＞	老田　茂	国立研究開発法人　農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター　水田作研究領域長
	尾﨑　吉一	旭川ケーブルテレビ株式会社　代表取締役社長
	越智　竜児	株式会社クボタ　システム先端技術研究所　所長
	梶山　努	地方独立行政法人　北海道立総合研究機構 農業研究本部　中央農業試験場　生産研究部長
	黄瀬　信之	岩見沢市　企画財政部　情報政策推進担当次長
	髙野　潔	総務省　北海道総合通信局　局長
	小林　伸行	株式会社スマートリンク北海道　常務取締役
	今野　貴紹	ホクレン農業協同組合連合会農業総合研究所　営農支援センター センター長（第 2 回から変更）
	櫻井　俊明	株式会社 NTT ドコモ　執行役員　北海道支社長
	佐々木 快治	芽室町　農林課　課長

構成員	菅原　光宏	北海道経済連合会　理事・事務局長
	高橋　智	上士幌町　農林課　課長
	髙橋　庸人	東日本電信電話株式会社　北海道事業部長
	竹中　秀行	一般社団法人 北海道農業機械工業会 専務理事
	竹花　賢一	北海道　総合政策部 情報統計局長
	丹澤　孝	株式会社ニコン・トリンブル　代表取締役社長（CEO）
	津垣　修一	国土交通省 北海道開発局　次長
	中川　篤	KDDI 株式会社　技術統括本部 技術渉外担当
	西谷内　智治	いわみざわ地域 ICT 農業利活用研究会 会長
	西山　猛	更別村　　村長
	野堀　勝明	株式会社ニューメディア 函館センター　執行役員　函館センター長
	日高　茂實	ヤンマーアグリ株式会社　開発統括部　先行開発部　部長 （第 2 回から変更）
	藤本　潔	井関農機株式会社　営業本部　顧問
	前田　右博	三菱農機販売株式会社 北海道支社　販売推進部　ICT 推進課 課長（第 2 回から変更）
	丸山　芳明	株式会社帯広シティーケーブル　取締役社長
	八木沼　裕治	ソフトバンク株式会社 IoT エンジニアリング本部 北海道 IoT 技術部　部長（第 2 回から変更
	山田　英也	農林水産省 北海道農政事務所　所長 （第 2 回から変更）
	山中　寛幸	パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社 パブリックシステム事業本部マーケティング部シニアコーディネータ
	吉川 正芳	NTT データカスタマサービス株式会社　北海道支社長

8. 北海道農業 ICT/IoT 懇談会 検討経過報告

会合	日程	議題
第 1 回	令和元年 7 月 31 日（水）	議 題 ● 今年度の検討項目について（案） ● 要綱の改正及び作業班の設置について（案） ● 全体スケジュール（案） ● 最近の事例紹介等 「北海道酪農と通信環境について」 農林水産省北海道農政事務所 「北海道の酪農・畜産をめぐる情勢」 北海道 「5G等の取組について」 株式会社NTTドコモ 、 KDDI 株式会社、ソフトバンク株式会社 「ローカル5Gの取組について」 総務省北海道総合通信局
第 2 回（メール審議）	令和 2 年 3 月	各作業班からの最終報告 ●農業のロボット化検討作業班（WG1） ●農業ビッグデータ利活用検討作業班（WG2）

資料2　農業のロボット化検討作業班（WG1）の設置

本懇談会に、「遠隔監視による無人作業システム」、「マルチロボット」を見据え、高精度・安全な農作業を目的とした農業のロボット化に係る専門的な事項を調査・検討するため、次の作業班を設置する。

1. 名称

農業のロボット化検討作業班（WG1）

2. 構成

① 主査を長とし、座長の指名する構成員をもって構成する。
② 主査は、座長が指名する。

3. 関係者の出席等

① 主査は、調査・検討を進めるに当たって必要と認めるときは、関係者に対して出席を求め、説明又は文書等資料を提出させることができる。
② その他作業班の運営に関し必要な事項は、主査が作業班に諮り定めることができる。

4. 事務局

農業のロボット化検討作業班（WG1）の事務局は、無線通信部電波利用企画課に置く。

5. 構成員

（敬称略。主査を除き、氏名五十音順）

	氏　名	主 要 現 職
主 査	岡本 博史	北海道大学大学院農学研究院 准教授
構成員	石垣　悟	日本無線株式会社　事業本部　事業統括部　担当部長
〃	石川　彬	ヤンマー株式会社 開発統括部 先行開発部 知能化グループ
〃	上西 新次	北海道 農政部 生産振興局 技術普及課 課長
	浦田 健司	北海道経済連合会 産業振興グループ 部長
〃	老田　茂	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター水田作研究領域長
〃	加藤 数衛	株式会社日立国際電気 ソリューション本部 技術総括
〃	川西 直毅	KDDI株式会社 技術企画本部 電波部 部長
〃	黄瀬 信之	岩見沢市 企画財政部 情報政策推進担当次長
〃	児玉 史章	農林水産省 北海道農政事務所 生産経営産業部 生産支援課 課長
〃	小林 伸行	株式会社スマートリンク北海道 常務取締役
〃	今野 雅裕	更別村 企画政策課 課長補佐兼政策調整係長
〃	阪口 和央	株式会社クボタ システム先端技術研究所 システム開発第一部 自動運転グループ グループ長
〃	佐々木 誠治	株式会社 NTT ドコモ 北海道支社 企画総務部 経営企画担当部長
〃	菅原 隆志	総務省 北海道総合通信局 無線通信部長
〃	高野 重幸	井関農機株式会社 販売企画推進部 部長（第 2 回から変更）
	竹中 秀行	一般社団法人北海道農業機械工業会 専務理事
〃	竹平 吉彦	NTT データカスタマサービス株式会社 営業本部営業戦略部 担当部長
〃	西谷内 智治	いわみざわ地域 ICT 農業利活用研究会 会長
〃	細田 昌輝	三菱農機販売株式会社 北海道支社 ICT 推進課 課長
〃	村木 雅人	ホクレン農業協同組合連合会 農業総合研究所 スマート農業推進課 主任考査役
〃	盛川 将利	東日本電信電話株式会社ビジネスイノベーション部 カスタマーリレーション G 第二カスタマーリレーション担当課長
〃	宮本 信太郎	株式会社ニコン・トリンブル　農業システム部 シニアマネージャ
〃	吉村 真治	ソフトバンク株式会社 IoT エンジニアリング本部 北海道 IoT 技術部 ソリューション技術課 課長
〃	渡辺 宗雄	北海道　総合政策部 情報統計局 情報政策課 IoT推進グループ 主査
〃	渡川 洋人	株式会社 JVC ケンウッド 無線システム事業部 国内システム開発部 シニアマネジャ

6. 農業のロボット化検討作業班（WG1） 検討経過報告

会合	日程	議題
第 1 回	令和元年 9 月 13 日（金）	●WG1検討事項等確認（事務局、NTTデータカスタマサービス株式会社） ●「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト」（国立研究開発法人　農業・食品産業技術総合研究機構） ●「スマート農業実現に向けたロボット農機（アグリロボ）通信システム」（株式会社クボタ）
第 2 回（メール）審議）	令和元年 10 月 23 日（木）	●「遠隔監視下での無人ロボット農機の安全な自動走行」の実現に向けた150MHz帯制御システムの技術的条件の検討に係る屋外試験について
公開実証試験（岩見沢市）	令和元年 11 月 12 日（火）	●無人ロボットトラクタの遠隔監視等の概要説明（WG1 岡本主査（北海道大学　大学院農学研究院　准教授） ●公開実証試験の概要説明（株式会社JVCケンウッド） ●デモンストレーション1：岩見沢市自治体ネットワークセンターを「監視センター」と見立て、北村地区圃場の無人ロボットトラクタの遠隔監視、及び遠隔制御による自動走行を実施。 ●デモンストレーション2：岩見沢市北村地区実証試験圃場：ロボットトラクタの暴走や圃場への侵入者検知時など緊急時を想定し、監視センターから 150MHz 帯無線システムの遠隔制御信号送信によるロボットトラクタの緊急停止を実施。これらの模様をライブ映像により会場内に配信。
第3回	令和元年 12 月 6 日（金）	●専用電波を使ったロボット農機の遠隔制御に関する公開実証試験結果（NTT データカスタマサービス株式会社） ●ロボット農業向け制御システムの技術的条件等に係る屋外試験等の結果及び周波数共用条件の検討（株式会社JVCケンウッド） ●「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト（津別町）」の取組（NTT データカスタマサービス株式会社）
第 4 回	令和 2 年1月 27 日（月）	●150MHz帯制御信号用周波数の共用条件について（株式会社JVCケンウッド） ●150MHz帯制御信号用基地局の運用等について ●GNSS システムの衛星測位における他の地上無線との周波数共用条件等について(NTTデータカスタマサービス株式会社） ●IEEE802.11ah（Wi-Fi HaLow）の特徴と導入に向けた取り組み（802.11ah 推進協議会）

資料3 農業ビッグデータ利活用検討作業班（WG2）の設置

本懇談会に、営農支援を目的とした農業ビッグデータの利活用に係る専門的な事項を調査・検討するため、次の作業班を設置する。

1. 名称

農業ビッグデータ利活用検討作業班（WG2）

2. 構成

① 主査を長とし、座長の指名する構成員をもって構成する。
② 主査は、座長が指名する。

3. 関係者の出席等

① 主査は、調査・検討を進めるに当たって必要と認めるときは、関係者に対して出席を求め、説明又は文書等資料を提出させることができる。
② その他作業班の運営に関し必要な事項は、主査が作業班に諮り定めることができる。

4. 事務局

農業ビッグデータ利活用検討作業班（WG2）の事務局は、無線通信部電波利用企画課に置く。

5. 構成員

（敬称略。主査を除き、氏名五十音順）

	氏　名	主 要 現 職
主 査	西村　寿彦	北海道大学　大学院情報科学研究院　准教授
構成員	石垣　　悟	日本無線株式会社　事業統括部　担当部長
〃	石川　　彬	ヤンマーアグリ株式会社　開発統括部　先行開発部 知能化グループ
〃	老田　　茂	国立研究開発法人　農業・食品産業技術総合研究機構北海道 農業研究センター水田作　研究領域長
〃	太田　光則	株式会社NTT東日本ー北海道　地域ICT化推進部　担当部長
〃	奥野　修敬	ソフトバンク株式会社　IoT エンジニアリング本部 北海道 IoT 技術部　ソリューション技術 2 課長
〃	児玉　史章	農林水産省　北海道農政事務所　生産経営産業部 生産支援課　課長
〃	今野　雅裕	更別村　企画政策課　課長補佐兼政策調整係長
〃	齋藤　裕一	旭川ケーブルテレビ株式会社 常務取締役
〃	佐々木仁彦	北海道　　総合政策部　情報統計局　情報政策課 IoT推進グループ　主査
〃	下井　敦司	北海道　　農政部生産振興局畜産振興課　主幹
〃	菅原　隆志	総務省　北海道総合通信局　無線通信部長
	武吉　幸雄	株式会社帯広シティーケーブル　技術開発部　副部長
〃	田中　一也	KDDI 株式会社　ビジネスIoT推進本部 地方創生支援室　マネージャー

構成員	長谷川 圭吾	株式会社日立国際電気　事業企画本部 次世代技術開発部　主任技師（工学博士）
〃	林　峰之	上士幌町　農林課　畜産担当主幹
〃	福田　裕樹	株式会社オーレンス　札幌支社取締役統括部長
〃	藤本　潔	井関農機株式会社　本社　営業本部　顧問
〃	宮崎　修	北海道経済連合会　産業振興グループ　部長
〃	村木　雅人	ホクレン農業協同組合連合会 農業総合研究所 スマート農業推進課　主任考査役
〃	八木　宏樹	NTTドコモ北海道支社　ネットワーク部　担当部長
〃	渡邉　邦弘	株式会社北海道クボタ　サービス本部　市場品質部　部長

6. 農業ビッグデータ利活用検討作業班（WG2） 検討経過報告

会合	日程	議題
第 1 回	令和元年 30 年 9 月 24 日（火）	●WG2検討事項等確認 ●「WAGRIの現状と課題」（国立研究開発法人　農業・食品産業技術総合研究機構） ●「酪農におけるICT活用について」（株式会社オーレンス）
第 2 回	令和元年 12 月 13 日（金）	●酪農分野における通信システムリストについて（中間報告） ●酪農業におけるICTの関連性について（株式会社オーレンス） ●酪農分野における映像伝送システムの取り組み（ハイテクインター株式会社） ●酪農分野における5G総合実証について（KDDI株式会社）
第 3 回	令和 2 年 2 月 18 日（火）	●酪農分野における通信システムリスト及び推進方策（案）について ●豊富町大規模草地牧場でのドローン導入の取り組み（株式会社 NTT ドコモ） ●IoT支える新たな通信ネットワークサービスとLPWAを活用した農業IoTの事例 （NEC ネッツエスアイ株式会社）

資料4 参照文献等

出展:

- 本報告書に使用している地図は、地理院地図（https://maps.gsi.go.jp/）を加工して使用している。
- 本報告書に使用している地形断面図は、地理院地図（https://maps.gsi.go.jp/）の機能を使用している。
- 本報告書に使用しているストリートビューは、グーグル合同会社（Google Japan G.K.）によるサービスを利用している。
- 本報告書に使用している地図は、OpenStreetMap（https://www.openstreetmap.org/）を加工して使用している。

参考資料:

- 電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）
- ARIB 標準規格　ARIB STD-T102　1.1 版 「狭帯域デジタル通信方式（SCPC/4 値 FSK 方式）」 一般社団法人　電波産業会
- ARIB 標準規格　ARIB STD-B54　2.0 版 「放送事業用4FSK連絡無線方式」 一般社団法人　電波産業会
- 移動通信の基礎　電子情報通信学会（奥村善久、進士昌明監修）
- VHF帯等を利用したデジタル無線設備における技術基準等に関する調査検討報告書　平成 16 年 3 月　一般社団法人　電波産業会
- ARIB 標準規格　ARIB STD-T112　特定ラジオマイクの陸上移動局の無線設備（TV ホワイトスペース帯、特定ラジオマイク専用帯、1.2GHz 帯 ）
- 情報通信審議会 情報通信技術分科会（第 119 回、平成 28 年 6 月 30 日開催）の資料 119-1-1、資料 119-1-2 及び資料 119-1-3

用語集

用語	説明
4 値 FSK	4 値 Frequency Shift Keying（4 値周波数偏位変調）の略称。 送信電波の周波数を変化させ、4 つの状態を作ることで 00/01/10/11 のビット情報を送信する方式。
BER	Bit Error Rate の略称。 データ伝送品質の評価尺度のひとつで、 ビット誤り率 = 誤った受信ビット数 / 伝送した全ビット数 で表される。
C/N	C/N 比の略。 C/N 比は、Carrier to Noise ratio の略称。 搬送波(Carrier)と雑音(Noise)との比率。
ch	チャネル。 本書では、等間隔で並んだ無線通信用周波数を表す。
DTMF	Dual Tone Multi Frequency の略称。 低群・高群 2 つの低周波信号を合成して 0～9、A、B、C、D、*、#のコードを伝送する方式。
D/U	希望波（Desired Signal）と妨害波（Undesired Signal）の比率。
MCA 無線	Multi-Channel Access の略称。 無線回線の使用効率を向上させるため、ユーザ側の各無線局に複数のチャネルを共通して装備させ、それぞれの局が空いているチャネルを使って交信するシステム。制御局が自動的に空きチャネルを割当てる。
PN9	PN とは Pseudo random Noise の略称で疑似ランダムノイズを意味する。 9 は PN9 パターンを発生するビットシフト回路の段数で、PN9 パターンは 2 の 9 乗のデータ長（29 -1＝511）で繰り返すパターン。
RS-232C	シリアル通信ポートのインタフェース規格。
RSSI	Received Signal Strength Indicator の略称。 受信信号強度。
SCPC	Single Channel Per Carrier の略称。 音声やデータ等の情報信号を伝送する。 各チャネルのそれぞれに一つのキャリアを割当てる方式。
移動局	船舶局、遭難自動通報局、船上通信局、航空機局、陸上移動局、携帯局その他移動中又は特定しない地点に停止中運用する無線局をいう。
エリアシミュレーション	地形、気象などの条件を考慮し、電波が伝搬されるエリア(地域)を模擬的に演算する手法。
簡易無線	多くの人が様々な簡易な業務に使用できる無線局であり、無線従事者の資格は必要ない。
干渉	本書では、受信機が妨害波信号により希望波信号の受信に影響を受ける現象を表す。
希望波	無線機が受信しようとしている電波。
給電線	送信機からアンテナに高周波電力を伝送又はアンテナから受信機に高周波電力を伝送するための伝送線路（電線）。
狭帯域	占有周波数帯幅の狭い電波型式。本書では、チャネル間隔 6.25kHz のものを表す。

用語	説明
業務用無線	あらゆる業種に用いられる自営陸上移動通信の総称で、公共業務用と一般業務用に大別される。
共用器	単一の空中線で送受信を同時に行うための装置。電力の大きな送信波が微弱な受信波に与える影響を抑えるため、受信装置と空中線間に、送信に用いる周波数の電力を減衰させるフィルタを備えている。
近接チャネル干渉	隣接チャネルよりも離れた周波数の妨害波による感度抑圧。
空中線	アンテナのこと。
呼損率	通信回線（設備）の容量不足によって、通信又は通話がつながらない割合。
再生中継方式	受信した信号を復調してから再送信する中継方式。 本書では、受信した信号を復調し、デジタルフレームのエラー検出・訂正を行ってから異なる周波数で再送信する、二周波複信動作の再生中継方式を表す。中継局が二周波複信動作を行い、移動局が二周波単信動作を行うことで二周波半複信通信となる。
周波数利用効率	有限の電波資源（周波数資源）を割当てて使用する効率。
信号レベル	実験又は測定で無線機に供給される信号のレベル。
スペクトラムアナライザ	横軸を周波数、縦軸を電力又は電圧とする二次元のグラフを画面に表示する計測器。
相互変調	希望波信号を受信しているときにおいて、二以上の強力な妨害波が到来し、それが、受信機の非直線性により、受信機内部に希望波信号周波数又は受信機の中間周波数と等しい周波数を発生させ、希望波信号の受信を妨害する現象をいう。
単信	一方が送信している間もう一方は受信を行い、伝送方向が切替えられる通信方式。半二重通信（Half Duplex）。
中継局	基地局と陸上移動局との間及び陸上移動局相互間の通信を中継するため陸上に開設する移動しない無線局をいう。
同一チャネル干渉	受信チャネルと同一チャネルの妨害波による干渉。
トラヒック理論	通信回線の通信容量を算定する理論。サービス拒絶確率・待ち時間・資源の利用効率などを取り扱う。
半複信	一方が単信方式、もう一方が複信方式である通信方式。
フェージング	無線通信で届く電波の強度が何らかの理由により変動すること。無線局の移動や時間経過により、障害物や大気中の電離層による反射などが変化し、時間差をもって到達した電波の干渉に変化が発生することで起きる。
複信	双方が同時に送信できる通信方式。全二重通信（Full Duplex）。
妨害波	希望波に妨害を与える電波。
マルチチャネルアクセス	複数の無線局が複数の無線チャネルを共同使用することで、電波帯域を有効利用する技術。
免許人	無線局の免許を受けた者。
陸上移動局	無線局の種別の一つ。車載型や携帯型など移動して運用する無線機を用いる。
隣接チャネル干渉	受信チャネルの隣のチャネルの妨害波の側帯波スペクトル（隣接チャネル漏洩電力）による干渉。

用語	説明
モバイル	移動性・携帯性・機動性のある情報通信機器。
LTE（4G）	Long Term Evolution　携帯電話の通信規格。4G は第4世代。
フェイルセーフ	機器やシステムにおいて、部品故障、誤動作、誤操作などによる障害が発生した場合でも安全な状態に移行するよう制御する考え方。
GNSS	Global Navigation Satellite System　全世界測位システム。 各国の衛星測位システムを含む。
GPS	Global Positioning System　米国の衛星測位システム。
GLONASS	GLObal NAvigalion Satellite System ロシアの衛星測位システム。
RTK	Real Time Kinematic　補正信号によりセンチメートル精度を実現する相対測位方式。基準局を既知点として測定する。
RTK FIX	RTK の計算処理において精度の高い解が得られた状態。
RTK サービス	電子基準点を利用した RTK サービスシステム、モバイルにて配信。
RTCM3.0	Radio Technical Commission For Maritime Services Network 型 RTK にて使用するデータフォーマット。
H.265	動画圧縮の規格、H.262（MPEG-2）比較で約 4 倍、H.264/AVC 比較で約2倍の圧縮性能。
PTZ 制御カメラ	パン、チルト、ズームを遠隔より制御できるカメラ。
ラジオマイク	ワイヤレスマイク
5G	第 5 世代移動通信システム、高速大容量、低遅延、多数同時接続が特徴のサービス。
ローカル 5G	自営 5Gネットワーク、無線局免許が必要。
BWA	広帯域移動無線アクセスシステム、2.5GHz 帯を利用した「WiMAX」（Worldwide Interoperability for Microwave Access）規格。
地域BWA	地域に依存したBWAサービス。
sXGP	1.9GHz 帯を使用した自営 LTE 網（プライベート LTE）
LPWA	(Low Power, Wide Area)低消費電流、長距離のデータ通信が特徴のネットワーク。方式として LoRa、Sigfox、Wi-SUN、Wi-Fi HaLow などがある。
4.9GHz無線	屋外用の無線アクセスシステム。中継用途など。免許必要。
25GHz 無線	屋外用の小電力無線。中継用途など。免許不要。
衛星通信	衛星を使った通信サービス。衛星インターネットアクセスなど。

令和２年３月

ロボット農業向け制御システムの
技術的条件等に係る調査検討報告書

事務局：　北海道総合通信局無線通信部電波利用企画課
〒060-8795　札幌市北区北８条西２丁目 1-1
札幌第１合同庁舎
電話 011-709-2311（内線 4624）