

テレメーター・テレコントロール の高度利用に関する調査検討

報告書

平成 28 年 1 月

テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会

はじめに

テレメーター・テレコントロールは、無線局免許が必要なものと無線局免許を要しないものがあり、前者は、主にダムや河川管理等の業務用として古くから利用されていますが、情報量が少ない狭帯域のものがほとんどで、広帯域なものは、一定の構内での使用に限るなど厳しく制限され、あまり利用されていません。一方、後者は、近年、小電力のシステムや Wi-Fi などを利用し、身近なシステムとして国民生活の多様な場面で狭帯域及び広帯域で普及してきていますが、カバーエリアを広く利用する場合等は、複数の無線機器を設置しなければならないため、費用が嵩むことによる利用者の負担が大きくなっています。

北海道の主要産業である農林水産業は、北海道ならではの広大な面積を有するが故の課題や担い手不足、高齢化、また、国際競争力の激化など多くの課題を抱えています。これらの解決のために ICT を有効利用した産業の効率化と高度化に向けた取組が進められており、中・長距離のリアルタイムな通信が可能で、一定の静止画及び動画の画像伝送が行える程度の伝送速度をもち、小型・軽量かつ低価格で導入及び運用できるテレメーター・テレコントロールの実現が期待されています。

このようなテレメーター・テレコントロールが実現すると、特に農業分野においては、GPS による測位情報を用いた自動走行トラクターの稼働、作業履歴センサーによる作業情報取得、鳥獣監視センサーによる鳥獣被害把握、気象センサーによる天候把握等の作業への活用も考えられます。その他の分野での利用については、水門センサーによる水位上昇検知・自動水門遮蔽の監視用途や、様々な分野でのロボットへの活用など、非常災害時にも強い電波利用ニーズへの活用も想定されます。

このようなことから、北海道総合通信局では、テレメーター・テレコントロールの高度な利用方法について、電波の有効利用の促進に資することを目的に、平成 27 年 5 月に自治体、大学、通信機器メーカー、農業関係機関等の協力を得て、「テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会」を設置しました。

本調査検討会では、中・長距離のリアルタイムな通信が可能で一定の静止画及び動画の画像伝送が可能な、陸上及び上空での高度利用のための技術的検証に関し、実証試験を含めた調査検討を行い、この度その成果を報告書として取りまとめたところです。

本報告書が、テレメーター・テレコントロールの普及促進と農林水産業での活用はもとより、非常災害時等での活用役に役立つことを期待いたします。

最後に、多忙な中、本調査検討会に参画いただきました委員各位、また、実証試験に携われたスタッフ各位、フィールド試験等にご協力いただいた関係各位に心より感謝申し上げます。

平成 28 年 1 月

「テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会」
座長 北海道大学大学院情報科学研究科インテリジェント情報通信研究室
教授 大鐘 武雄

目次

1. 調査検討の概要	1
1.1 調査検討の背景	1
1.2 調査検討の目的及び実施項目	1
2. テレメーター・テレコントロールシステムの現状と課題	2
2.1 テレメーター・テレコントロールシステムの現状と課題.....	2
2.2 近接する周波数の利用状況	3
2.3 テレメーター・テレコントロールシステムの今後の展望.....	4
3. 実証試験	6
3.1 実証試験の目的	6
3.2 実証試験の概要	6
3.3 机上検討・ラボ試験	6
3.3.1 机上検討・ラボ試験の概要.....	6
3.3.2 各種変調方式の検討.....	7
3.3.3 帯域幅毎の特性検討.....	15
3.3.4 伝搬環境を模擬した検討	21
3.3.5 静止画・動画伝送試験	24
3.4 フィールド試験	27
3.4.1 フィールド試験の概要	27
3.4.2 地上での電波伝搬特性	28
3.4.3 上空からの電波伝搬特性	31
3.4.4 静止画・動画伝送の実証確認	34
3.5 まとめ.....	38
3.5.1 変調方式の要件	38
3.5.2 画像伝送に必要な帯域幅	39
3.5.3 通信可能エリア	40
4. 周波数共用検討	42
4.1 検討の概要	42
4.2 隣接周波数帯を使用するシステムとの共用検討	42
4.2.1 対象とする周波数帯及び無線システム.....	42
4.2.2 各システムのパラメータ	44
4.2.3 環境条件.....	46
4.2.4 計算結果.....	49
4.2.5 検討結果と考察	53
4.3 自帯域内での繰返し条件の検討.....	55
4.3.1 検討方針.....	55
4.3.2 環境条件.....	56

4.3.3	計算結果	57
4.3.4	検討結果と考察	58
5.	技術的条件の策定	62
5.1	一般的条件	62
5.1.1	周波数	62
5.1.2	通信方式	62
5.2	無線設備の技術的条件	62
5.2.1	送信装置の条件	62
5.2.2	受信装置の条件	63
5.3	測定法	63
5.3.1	送信装置	63
5.3.2	受信装置	66
6.	テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用方法等の提言	67
7.	まとめ	71
7.1	テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用のための技術的条件	71
7.2	近接する周波数を使用する無線システムとの周波数共用条件	72
資料編		74
資料 1	テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会 開催趣旨	74
資料 2	テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会 設置要領	75
資料 3	テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会 委員構成	77
資料 4	検討経過報告	78
資料 5	フィールド試験結果詳細	79
資料 6	公開実証試験（デモンストレーション）	97
資料 7	用語集	100

1. 調査検討の概要

1.1 調査検討の背景

現在、日本では、主に国や自治体を中心にダムや河川管理業務をはじめとした様々な用途で無線局免許が必要なテレメーター・テレコントロールシステムが有効活用されている。しかし、それらの多くは、遠距離には対応しているものの、画像データ等大容量データの伝送には対応していないものが殆どであり、また、主に VHF 帯の周波数が使用されていることからアンテナが大きくなるため、使用されている用途が限定されている状況となっている。

一方、無線局免許を要しないテレメーター・テレコントロールシステムに目を向けてみると、小電力型のシステムや無線 LAN (Wi-Fi) などを利用したシステムが国民生活の多様な場面で普及してきている。それらは伝送容量が非常に大きい多種多様なデータが伝送可能であり、多分野での用途に使用されているが、小電力であることや高い周波数帯を利用していることなどから近距離での使用に限定され、広いエリア、起伏や障害物のある地形などでの使用に課題がある。また、携帯電話網を利用したシステムもあるが通信料等費用が嵩むことによる利用者の負担も課題となっている。

近年、我が国では、農業従事者の減少や高齢化が進むなど、深刻な労働力不足及び農業を基幹産業としている地方経済の疲弊と人口減が喫緊の課題となっている。特に農林水産業を主要産業とする北海道は、農業従事者の高齢化や担い手不足、また、農家 1 戸当たりの経営耕地面積の割合が他県に比べ高いことから、農業従事者への負担が大きい。さらに、国際競争力の激化によりさらなる生産性や品質の向上が求められるなど、多くの課題を抱えている。

また、平成 25 年 6 月に策定された日本再興戦略に日本が抱える課題解決の柱としてロボット革命の実現が提言され、その後、ロボットの利活用を支える新たな電波利用システムの整備についての言及がされるなど、政府全体として様々な分野へのロボット活用の可能性が認識されている。

これらの解決のためにトラクター等農業機械や農作業情報管理などにおいて ICT を有効利用した産業の効率化と高度化に向けた取組が進められており、各種センサーやカメラ画像により収集したデータの活用や様々な機器の遠隔制御等、カバーエリアが広く、低価格で導入できる小型・軽量のテレメーター・テレコントロールの実現が期待されている。

1.2 調査検討の目的及び実施項目

様々なフィールドで活用されているテレメーター・テレコントロールについて、現状と課題を明らかにした上で、陸上及び上空での高度利用のための技術的検証を交えた調査検討を行い、農林水産業での活用はもとより、非常災害時での活用を含めた高度利用方法を提言するため、次の(1)から(5)に掲げる調査検討及び必要な実証試験を行い、システムの有効性等の検証結果について、報告書に取りまとめる。

- (1) テレメーター・テレコントロールシステムの現状と課題
- (2) テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用のための技術的条件等
- (3) 近接する周波数を使用する無線システムとの周波数共用条件
- (4) テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用方法等の提言
- (5) その他必要な事項

2. テレメーター・テレコントロールシステムの現状と課題

2.1 テレメーター・テレコントロールシステムの現状と課題

テレメーターとは、観測地点から通信回線により伝送された観測データを観測地点から離れた地点において計測する遠隔測定のことであり、テレコントロールとは、その観測地点における測定のためのセンサーや測定器等を遠方から操作する遠隔制御のことである。

テレメーター・テレコントロールシステムは、観測地点において観測することが物理的または経済的等の理由により困難な場合や、観測対象が移動する場合に用いられる。現行の主なテレメーター・テレコントロールシステムを表 2-1 に示す。

表 2-1 現行の主なテレメーター・テレコントロールシステム

周波数帯	免許 要否	帯域幅	空中線 電力	主な用途	通信距離 (目安)	備考
70MHz	必要	狭帯域 (16kHz)	5W 程度	河川管理等	10 数 km	主に国・自治体が免許人
169MHz	必要	広帯域 (400kHz)	1W	工業計測用	10km	使用場所に制限有り。テレメーターの免許は少ない
315MHz	不要	広帯域 (1MHz)	0.25mW (e.i.r.p.)	キーレス・自動 車センサー	数 100m	ARIB STD-T93
400MHz	不要	狭帯域 (16kHz)	10mW	防犯システム	数 km	ARIB STD-30
920MHz	不要	広帯域 (1MHz)	20mW	アクティブタグ	1km	ARIB STD-T108
1200MHz	不要	狭帯域 (32kHz)	10mW		1km	ARIB STD-T67
2.4GHz 5GHz	不要	広帯域 (20 ~160MHz)	10mW	無線 LAN	数 100m	ARIB STD-33 ARIB STD-T66

※上表の値は一般的な設備を想定した参考値であり、無線設備の仕様や利用環境等により異なる。またその他自営通信網を利用したテレメーター・テレコントロールシステムを除く。

テレメーター・テレコントロールシステムには、無線局免許が必要なものと無線局免許を要しないものがあり、前者は、主にダムや河川管理等の業務用として古くから利用されているが、使用可能な帯域が狭く低速な伝送に限られているものがほとんどであり、広帯域のものについては、一定の構内での使用に限るなど厳しく制限され、工業用計測等の分野以外ではあまり利用されていない。

一方、後者の無線局免許を要しないものについては、近年、小電力のシステムや Wi-Fi が身近なシステムとして普及してきているが、前者と同様に狭帯域のものは低速な伝送に限られており、広帯域のものについては、例えば 900MHz 帯が特定小電力無線として規格化されているが 1 時間当たりの送信時間が制限されているため、リアルタイムでの常時無線伝送は行えない。リアルタイムでの静止画及び動画の画像伝送を行うための高速な伝送路として現在使用できる帯域は、キャリアが提供する公衆回線及び無線 LAN などの一部の帯域に限られているが、公衆回線は通信費用を考慮する必要があり、また、無線 LAN は一般的に通信可能距離が 100m から 300m 程度のため、長距離伝送は対象外となっている。

以上のような現状背景より、中・長距離のリアルタイムな通信が可能で、一定の静止画及び動画の画像伝送が行える程度の伝送速度をもち、小型・軽量かつ低価格で導入及び運用できるテレメーター・テレコントロールシステムの実現が求められている。

2.2 近接する周波数の利用状況

本調査検討では、中・長距離のリアルタイムな通信が可能で、一定の静止画及び動画の画像伝送が行える程度の伝送速度が実現できるシステムの導入が求められていることより、電波伝搬特性（電波の回り込み）に優れ、中・長距離通信に適している VHF 帯（169MHz 帯）を対象とする。

169MHz 帯の周波数割り当て状況を図 2-1 に示す。169MHz 帯の周波数は、広帯域テレメーター・テレコントロールと特定小電力無線システムが共用している。本調査検討では、特定小電力無線システムの帯域を除く、「169.050MHz～169.3975MHz」及び「169.8075MHz～170.000MHz」の帯域を対象として技術的検証を行う。共用検討の対象とする無線システムは、下側隣接帯域の放送事業用連絡無線、公共業務用無線システム、上側隣接帯域の公共ブロードバンド移動通信システム（公共用広帯域移動通信システム）及び既存の広帯域テレメーターシステム、補聴援助用ラジオマイクとする。

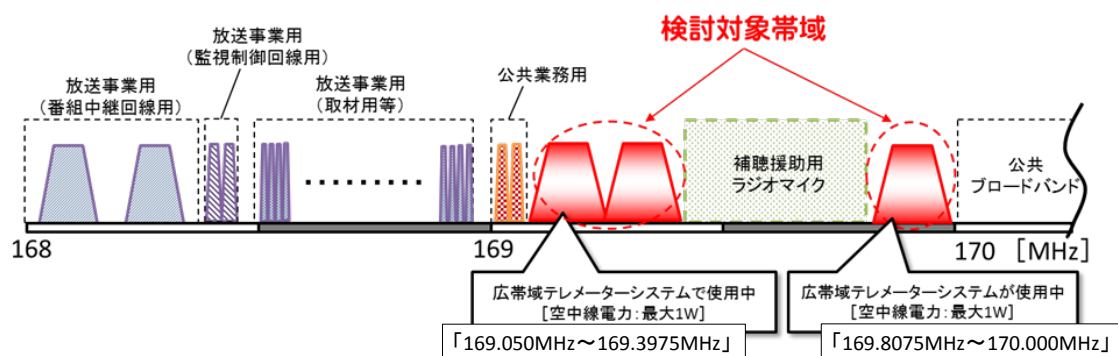


図 2-1 169MHz 帯の周波数割り当て状況

2.3 テレメーター・テレコントロールシステムの今後の展望

中・長距離のリアルタイムな通信が可能で、一定の静止画及び動画の画像伝送が行える程度の伝送速度をもち、小型・軽量かつ低価格で導入及び運用できるテレメーター・テレコントロールシステムが実現されることで、ICTの有効利用による産業の効率化及び高度化のソリューションの1つとして、高齢化や少子化に伴う労働力不足や国際競争の激化等の課題解決に資することが期待される。

これらの課題解決が求められる分野としては、まず農林水産業が挙げられる。特に農業分野においては、農業生産の深刻な労働力不足及び農業を基幹産業としている地方経済の疲弊と人口減、また農業大規模化への対応が喫緊の課題となっている。図 2-2 に当該分野における高度利用例の概念図を示す。圃場側においては、GPS に代表される GNSS（全地球測位システム）による測位情報を用いた自動走行トラクターの稼働、作業履歴センサーによる作業情報取得、鳥獣監視センサーによる鳥獣被害把握、気象センサーによる天候把握等が行われている。

それら設備の制御やデータ送受信及び分析を遠隔地である自宅等の管制室で行うための通信回線など、中・長距離で画像伝送が行える通信回線が低価格で導入及び運用できることで、農業のオートメーション化を中心とする生産性及び品質の向上に資することが期待される。なお、測位情報の利用にあたっては、現時点では、400MHz 帯簡易無線が利用されることが多いが、チャンネル数の枯渇が問題となってきたことから、平成 27 年 12 月に 150MHz 帯及び 400MHz 帯各種業務用の周波数が確保されたため、有効活用が期待される。

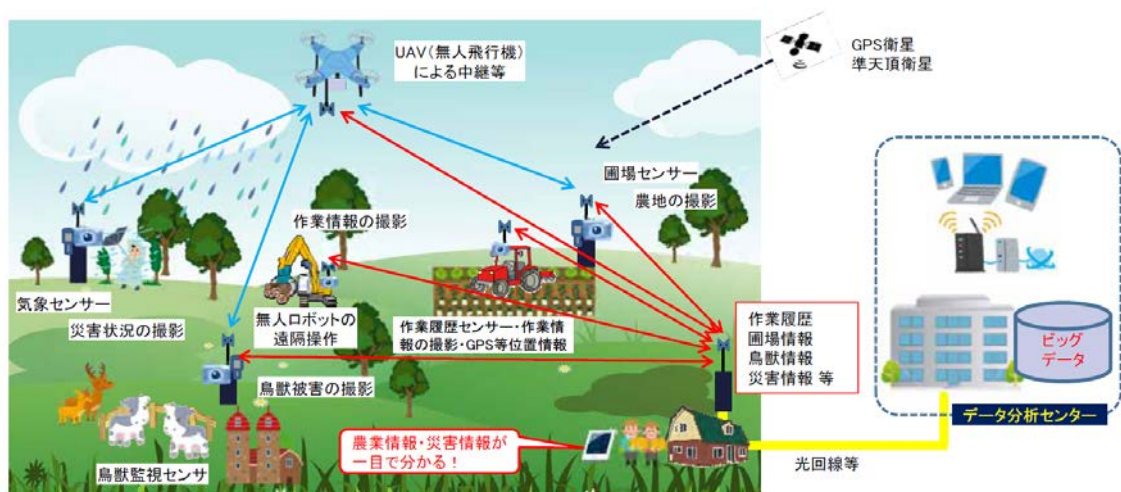


図 2-2 テレメーター・テレコントロールの高度利用例概念図

その他の分野における利用については、水門センサーによる水位上昇検知・自動水門遮蔽といった、公共業務用等の各種センサーと併用した監視用途、特に障害停止時の現場状況映像送信等での利用が想定される。このような用途では、災害に強く、地震や津波でも断線しづらい無線回線の採用が求められており、中・長距離のリアルタイムな通信が可能で、一定の静止画及び動画の画像伝送が行える程度の伝送速度をもつ本調査検討で対象とする 169MHz 帯の利用は適当と考えられる。

また現在、平成 25 年 6 月に策定された日本再興戦略に日本が抱える課題解決の柱としてロボット革命の実現が提言されて以来、政府全体の動きとして、様々な分野へのロボット活

用の可能性が認識されるとともに、総務省ではロボットにおける電波活用ニーズの高度化に応えるべく、電波利用に係る環境整備について技術的検討が行われている。その中では、ロボット用のメインの回線としては 2.4GHz 帯および 5.7GHz 帯の利用を想定し、災害時等におけるバックアップ用回線（白黒画像や制御信号の通信用）としては、169MHz 帯の利用が検討されている。

本調査検討は、実証試験及び周波数共用検討を踏まえ、中・長距離のリアルタイムな通信が可能で一定の静止画及び動画の画像伝送が行える程度の伝送速度をもつ 169MHz 帯テレメーター・テレコントロールシステムの技術的条件を検討するものであるが、今後の各分野への実際の適用・導入にあたっては、例えば上述の農業分野における測位情報の送受のように、各分野におけるセンサーやロボットの遠隔操作や送受データに求められる内容や特性、及び利用可能な通信回線の選択肢を整理の上で、169MHz 帯テレメーター・テレコントロールシステムの適切な利用範囲の選択が必要である。

3. 実証試験

3.1 実証試験の目的

現在、テレメーター・テレコントロールに使用されている無線機器は、使用可能な帯域が狭く、低ビットレートの伝送しか行えない状況にある。特に、リアルタイムでの画像伝送（静止画、動画）には耐えられず、静止画のデータを蓄積して伝送する方式、または無線 LAN（2.4GHz、5GHz）が一般的に使用されている。しかし一般的な無線 LAN は伝搬距離が 300m 程度であり、長距離通信が行えない状況となっている。これらの課題を解決する一方策として、広帯域化した無線伝送方式を検討する。

3.2 実証試験の概要

実証試験は以下の項目より構成される。

- 机上検討・ラボ試験：1.2 の調査検討項目及びフィールド試験に関し、事前に机上計算及び電波の発射を伴わない屋内ラボでの検討を行い、通信特性の確認、及びフィールド試験実施にあたってのパラメータ設定等の検討を行う。
- フィールド試験：実際のフィールドにおける典型的な試験環境を設定し、通信特性の測定を行い、机上検討・ラボ試験結果との比較を含む検討を行う。

3.3 机上検討・ラボ試験

3.3.1 机上検討・ラボ試験の概要

机上検討・ラボ試験は以下の項目より構成される。

表 3-1 机上検討・ラボ試験項目

検討項目	机上検討 ・ラボ試験	検討内容
各種変調方式の検討	机上検討	候補とする各種変調方式について評価項目を設定し検討を行う。
帯域幅毎の特性検討	机上検討 ・ラボ試験	・親局と子局の帯域幅を 100kHz、200kHz、300kHz と変更した場合の特性変化を測定するとともに、符号化率、フレーム長等の最適なパラメータ設定を検討する。 ・設定した最適パラメータのもとで、ラボにおける実機を用いた通信試験を行う。
伝搬環境を模擬した検討	机上検討 ・ラボ試験	模擬伝送路を用いて実運用時に想定されるフェージング環境を構成し、BER、受信入力電圧を含む電波伝搬環境を変動させた場合の特性の測定を行う。
静止画・動画伝送試験	ラボ試験	入力レベルを固定減衰器により段階的に低下させ、カメラ画像の無線回線を通した伝送可否・状況を測定する。

3.3.2 各種変調方式の検討

(1) 試験条件

本システムに適した変復調方式を選定するため、1次変調方式の候補として4値FSK方式、QPSK方式、QAM方式について検討した。また、2次変調方式として、シングルキャリア伝送方式(SC方式: Single Carrier)、シングルキャリアブロック伝送方式(SCBT方式: Single Carrier Block Transmission)を用いた場合の特性について、以下の“遅延波対策”、“長距離通信”、“周波数利用効率”の3つの観点から総合的に評価を行った。

表 3-2 各種変調方式の検討における評価項目

評価項目	内容
遅延波対策	広帯域化することによる遅延波の影響を比較検討した。
長距離通信	長距離通信を簡易な無線装置で実現可能な変調方式を比較検討した。
周波数利用効率	周波数利用効率の観点から変復調方式を比較検討した。

なお、シングルキャリアブロック伝送方式とは、一つの搬送波にシンボルをのせ、それら時間軸の複数のシンボルをブロック化して送信する方式であり、特徴として、OFDM方式の様な高い周波数利用効率性を有しつつ、OFDM方式と比較して信号の振幅変動が低い事が知られている。また、時間軸信号の生成において、シングルキャリア伝送方式はナイキストフィルタ等の時間領域でのシリアル信号生成を行うが、シングルキャリアブロック伝送方式はCP(Cyclic Prefix)を入れる事により、ブロック内で巡回性、時間的連続性がある信号を生成するものである。

シングルキャリアブロック伝送方式の概念図を図3-1に示す。図中のFFT(Fast Fourier Transform)は高速離散フーリエ変換を、IFFT(Inverse FFT)は逆高速離散フーリエ変換を示している。

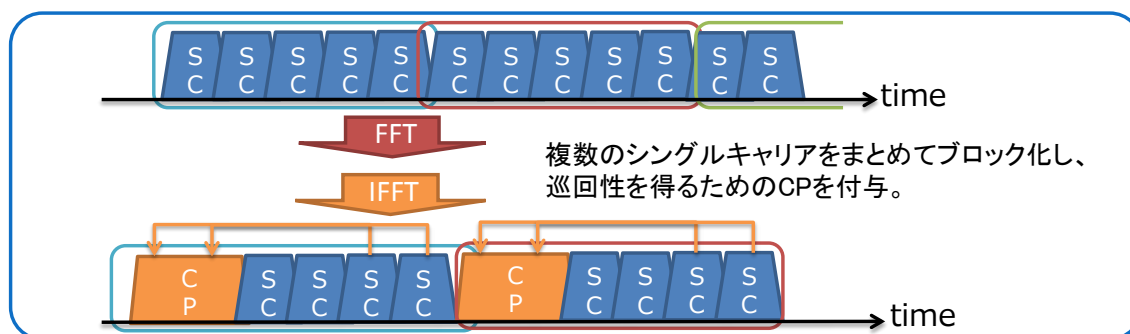


図 3-1 シングルキャリアブロック伝送方式概念図

(2) 試験手順

1) 遅延波対策

本システムは、従来の低周波数帯におけるテレメータ・テレコントロールシステムと比較して広帯域を使用するため、遅延波の影響を受けやすくなる。遅延波対策の観点から、シングルキャリア伝送方式とシングルキャリアブロック伝送方式とを比較し、方式間の得失を比較した。遅延波の等化は主に、時間領域等化器、周波数領域等化器が知られており、本試験の検討環境を鑑みて対策を決定した。一般的にシングルキャリア伝送方式では、遅延波等化に時間領域等化器：TDE (Time Domain Equalizer) が用いられ、代表的には MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimation) 方式などが知られている。MLSE 方式は、状態数増加や遅延波の到来間隔が長くなるに伴い、演算量が増加するという課題がある。MLSE 型時間領域等化器の概念図を図 3-2 に示す。

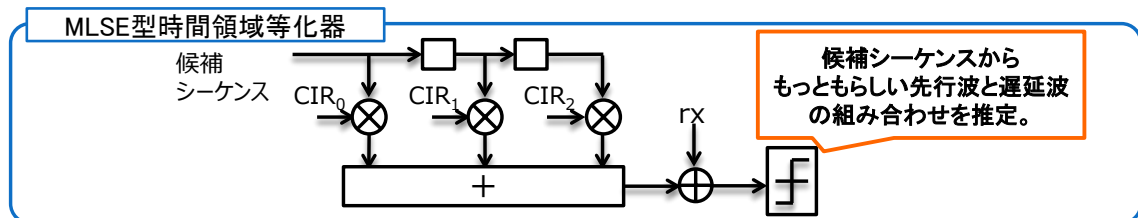


図 3-2 MLSE 型時間領域等化器概念図

また周波数領域等化器については、シングルキャリアブロック伝送方式では遅延波対策用の CP を備え付けており、CP 内に遅延波が収まる様に CP 長を設計する。遅延波がある場合、ブロック内で信号の巡回性を得ることが可能なため、周波数領域等化が可能となる。

周波数領域等化器の概念図を図 3-3 に示す。

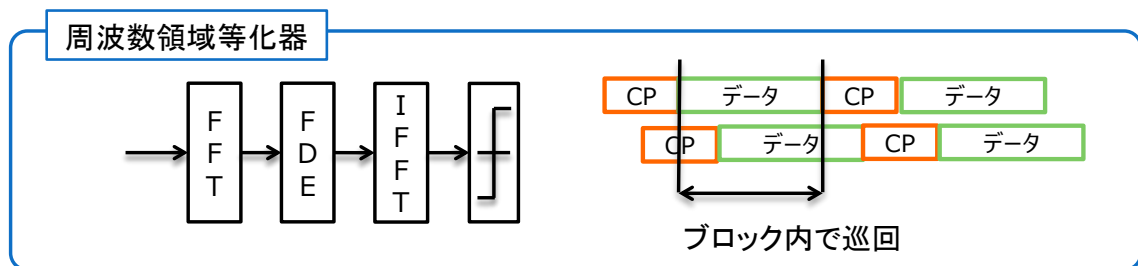


図 3-3 周波数領域等化器概念図

2) 長距離通信

無線 LAN 等のシステムは送信電力および空間伝搬損失の観点より長距離通信が困難である。長距離通信を簡易な無線装置で実現可能な変調方式を選定するため、PAPR (Peak to Average Power Ratio) の観点から各種変調方式 (4 値 FSK 方式、QPSK 方式、16QAM 方式) を比較した。長距離通信に関する各種変調方式の検討概念図を図 3-4 に示す。

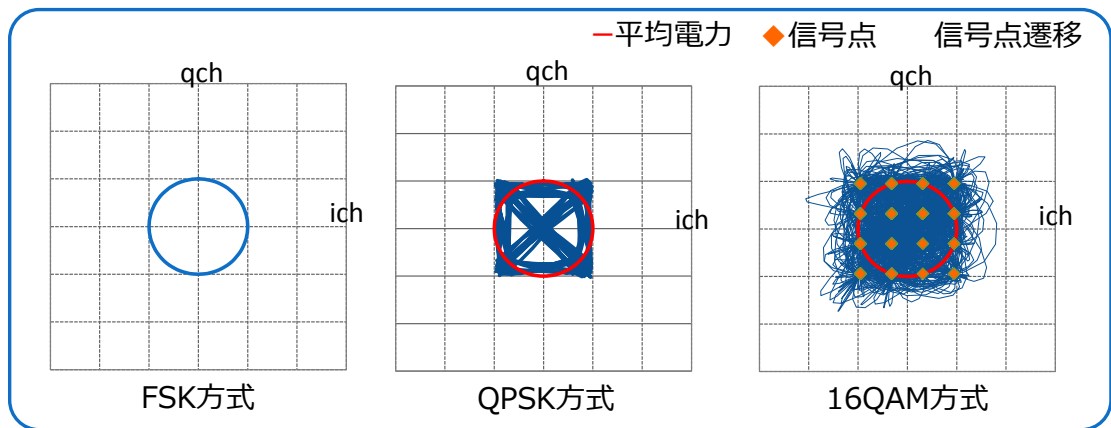


図 3-4 長距離通信に関する各種変調方式の検討概念図

3) 周波数利用効率

画像伝送や準動画伝送などには、比較的高伝送レートが要求される。そのため、周波数利用効率の観点にて、シングルキャリア方式とシングルキャリアブロック伝送方式のスペクトラムを比較することにより、適した変復調方式を検討した。周波数利用効率に関する各種変調方式の検討概念図を図 3-5 に示す。

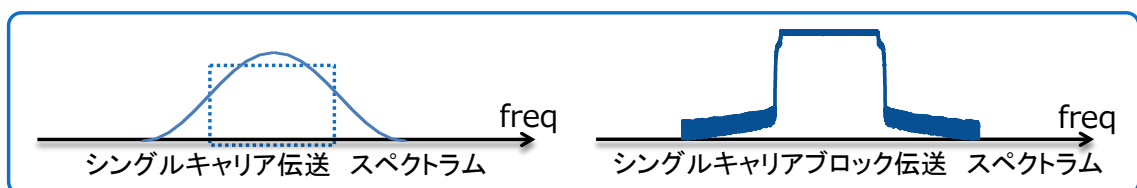


図 3-5 周波数利用効率に関する各種変調方式の検討概念図

また加えて、1次変調方式における理論周波数利用効率よりチャンネル帯域幅に対する伝送レートの理論的上限を算出するとともに、フィールド試験環境にて生じるマルチパスフェージング対策として、伝送路推定のための固定パイロットシンボルの挿入方法の検討を行った。シンボルフォーマットと遅延プロファイルの関係概念図を図 3-6 に示す。

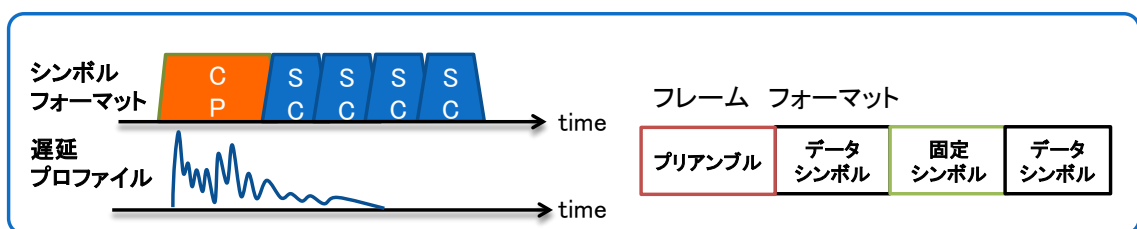


図 3-6 シンボルフォーマットと遅延プロファイルの関係概念図

(3) 試験結果と考察

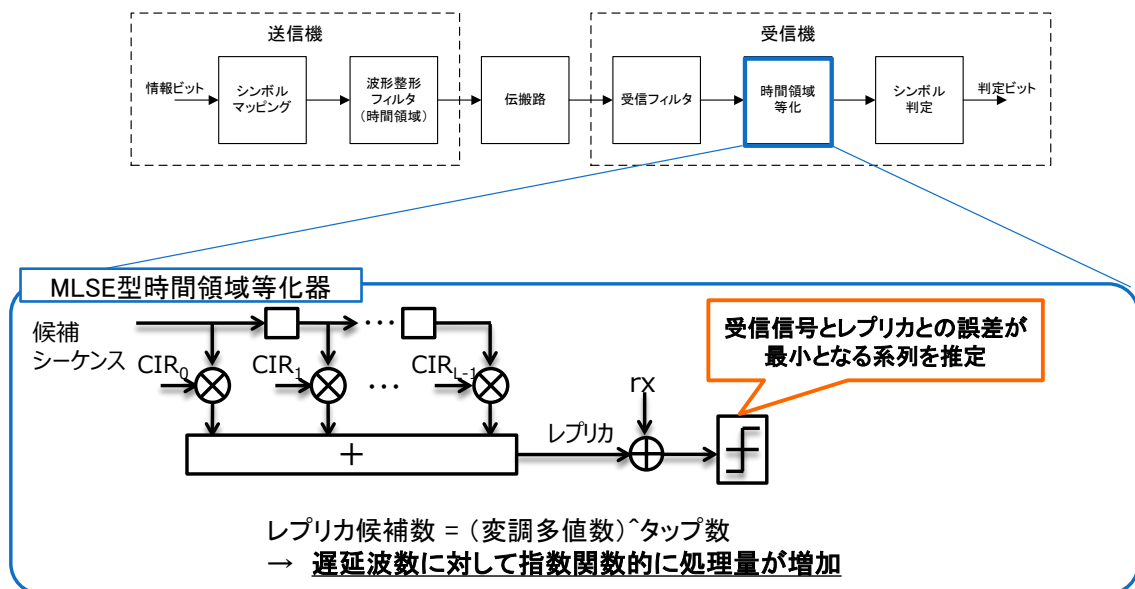
1) 遅延波対策

シングルキャリア伝送方式とシングルキャリアブロック伝送方式のベースバンド伝送系を比較し、受信機における遅延波対策の容易さについて演算処理量の観点から検討を行った。

シングルキャリア伝送方式では、遅延波数に応じて処理量が指数関数的に増加する。一方、シングルキャリアブロック伝送方式では、遅延等化に係る演算処理量が遅延波数に依存せず一定の処理量となる。屋外における伝送環境を考慮した場合、様々な遅延波環境を想定する必要があるため、設計の容易さからシングルキャリアブロック伝送方式が有利と考えられることより、本検討においてはシングルキャリアブロック伝送方式を採用することが妥当であるものと評価する。

シングルキャリア伝送方式とシングルキャリアブロック伝送方式のベースバンド処理系の演算処理量に関する概念図を図 3-7 に示す。

<SC方式のベースバンド伝送系の演算処理量>



<SCBT方式のベースバンド伝送系の演算処理量>

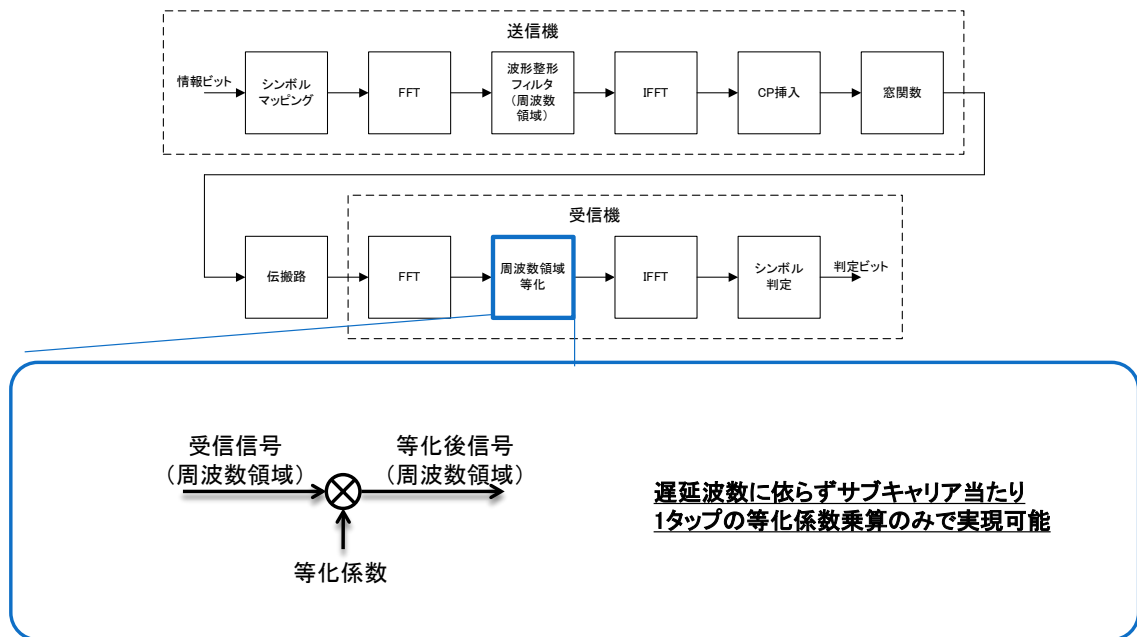


図 3-7 シングルキャリアブロック方式 (SC 方式) とシングルキャリアブロック伝送方式 (SCBT 方式) のベースバンド処理系の演算処理量に関する概念図

2) 長距離通信

長距離通信を簡易な無線装置で実現可能な変調方式を選定するため、デジタル変調方式として代表的な 4 値 FSK 方式、QPSK 方式、16QAM 方式を候補とし、計算機シミュレーションにて各方式のベースバンド信号波形に関する位相遷移を PAPR (Peak to Average Power Ratio) の観点から比較検討した。各変調方式の位相遷移の比較結果を図 3-8 に示す。

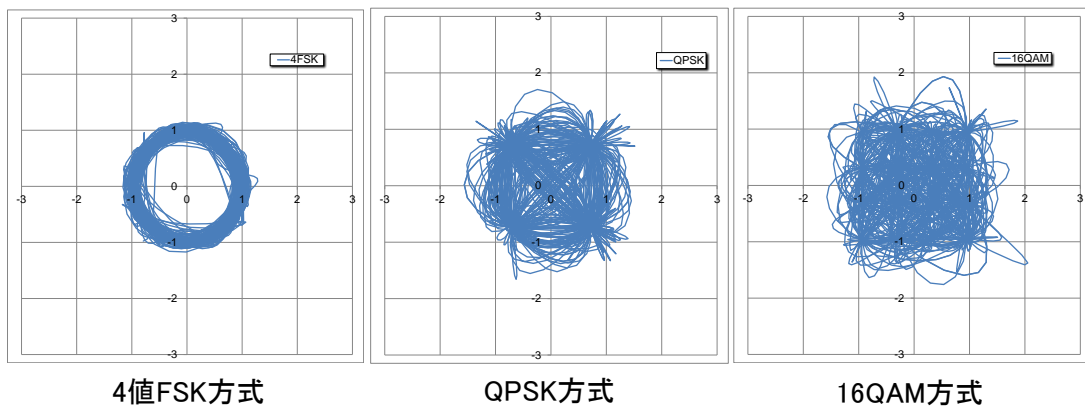


図 3-8 各変調方式の位相遷移の比較結果

各変調方式における位相遷移 (コンスタレーション) を比較検討した結果、4 値 FSK 方式は情報ビットに応じて周波数を変化させる変調方式であるため、信号位相は単位円上を回転する軌跡を描く。一方、QPSK 方式と 16QAM 方式は情報ビットが多値化されており、QPSK 方式は 2 ビットの情報を位相の変化とし、16QAM 方式では 4 ビットの情報を位相と振幅に割り当てる方式であるため、信号位相の軌跡が大きく変動する。特に 16QAM 方式は取り得

る信号位相と振幅の組合せが多く、変動量大きい。

PAPR の観点からは 4 値 FSK 方式の出力を基準とした場合、QPSK 方式で約 3dB、16QAM 方式で約 6dB の差異が発生することより、4 値 FSK 方式が有利であるといえる。

3) 周波数利用効率

シングルキャリア伝送方式とシングルキャリアブロック伝送方式のスペクトルを計算機シミュレーションで取得し、占有帯域幅を比較した。比較には 1 次変調として振幅変動のある QPSK 方式を用いた。シングルキャリア伝送方式とシングルキャリアブロック伝送方式のスペクトラム比較結果を図 3-9 に示す。

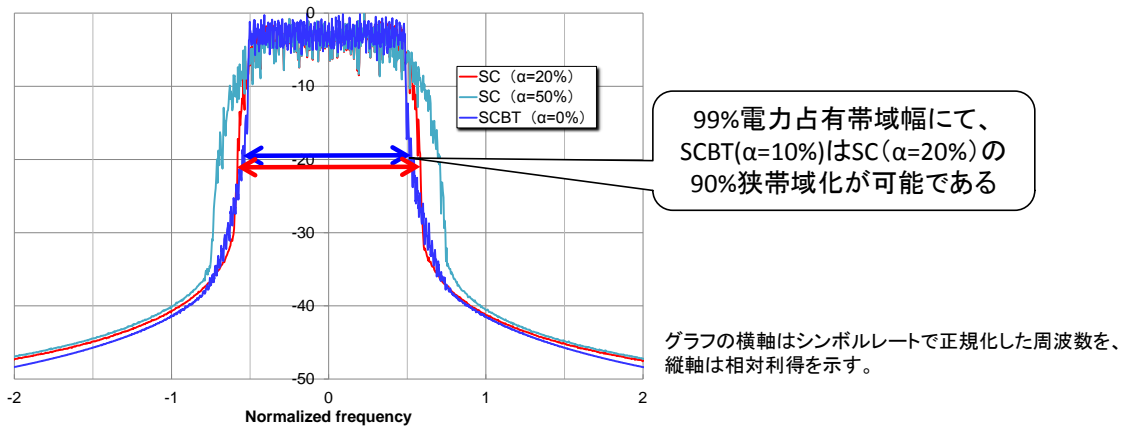


図 3-9 シングルキャリア伝送方式 (SC 方式) とシングルキャリアブロック伝送方式 (SCBT) 方式のスペクトラム比較結果

シングルキャリアブロック伝送方式は変調信号生成処理においてロールオフ率 0% の周波数領域波形整形フィルタを適用することにより狭帯域化が可能となることから、シングルキャリアブロック伝送方式が有利であるといえる。

続いて、各一次変調方式における理論周波数利用効率より、チャンネル帯域幅に対する伝送レートの理論的上限を算出した結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 各変調方式のチャンネル帯域幅に対する伝送レートの理論的上限值

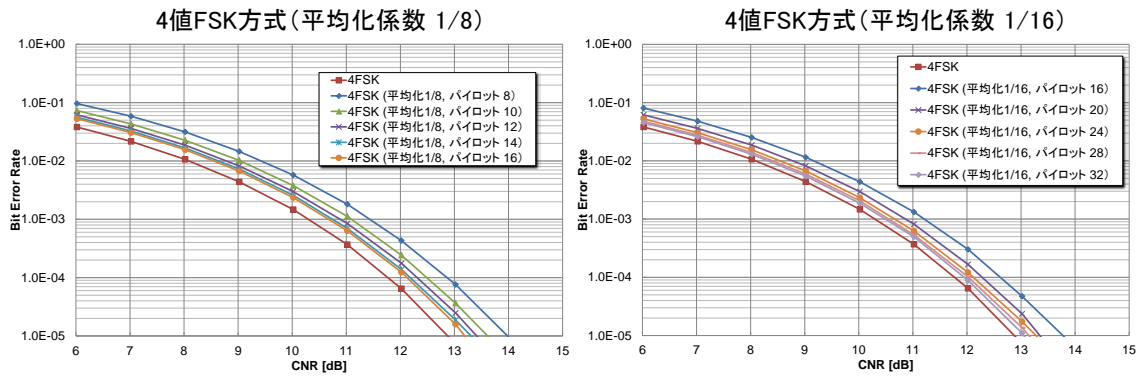
変調方式	理論周波数利用効率 [bps/Hz]	伝送レートの理論的上限 [kbps]		
		帯域幅 100kHz	帯域幅 200kHz	帯域幅 300kHz
4値FSK	0.5	50	100	150
QPSK	2	200	400	600
16QAM	4	400	800	1200

各一次変調方式に関する伝送レートの理論的上限值に関しては、4 値 FSK、QPSK、16QAM の順に優位となる。

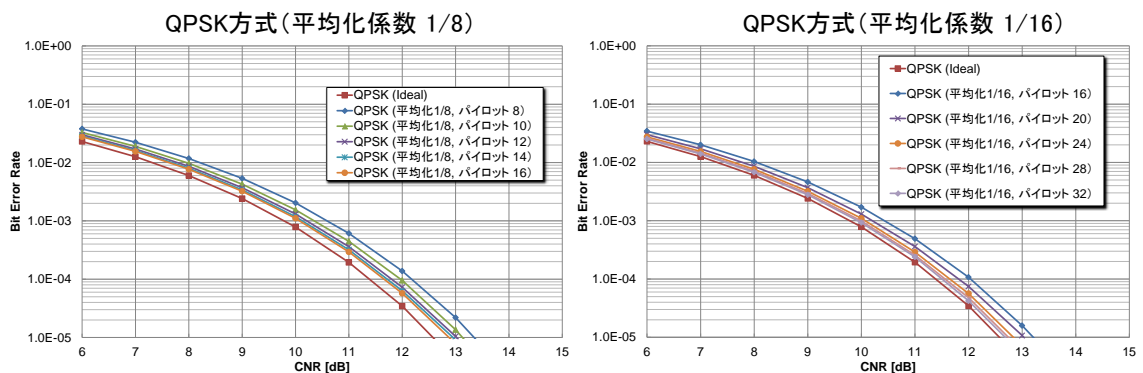
また、フィールド試験環境にて生じるマルチパスフェージング対策として、伝送路推定のための固定パイロットシンボルの挿入方法に関して検討を行った。具体的には、各変調方式において、フレーム内に固定パイロットシンボルを挿入し IIR 型平均化を適用した伝送路推

定を行った場合のビット誤り率特性の計算機シミュレーションを行った(本検討では無線局の移動速度を比較的低速としており、1/8 より大きな平均化係数は対象外とし、固定パイロットブロック数=16 前後を基準として計算を行った)。シミュレーション結果より、平均化係数を小さく設定すると理想性能からの劣化量を小さく抑えられるが、収束するために必要な固定パイロットブロック数は多く必要となる傾向が確認できた。

＜4値FSK方式のビット誤り率特性＞



＜QPSK方式のビット誤り率特性＞



＜16QAM方式のビット誤り率特性＞

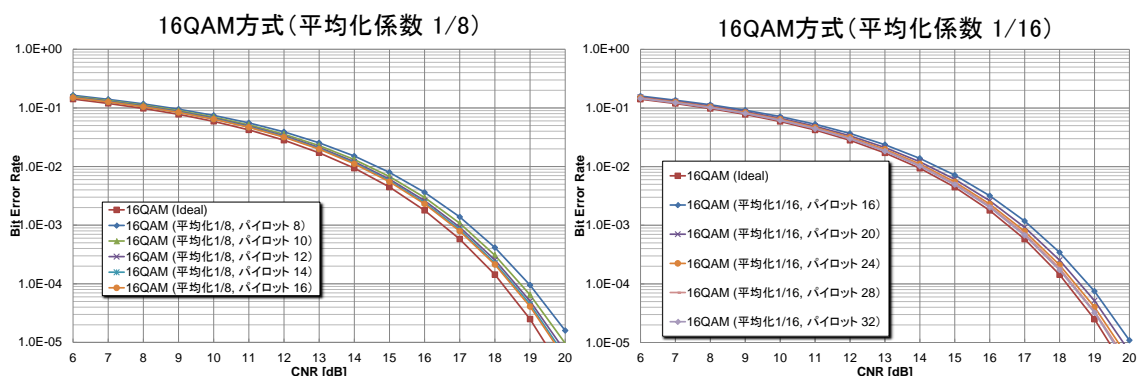


図 3-10 フレーム内に固定パイロットシンボルを挿入し IIR 型平均化を適用した伝送路推定を行った場合のビット誤り率特性結果

各種変調方式の検討結果より、1次及び2次変調方式に関して、以下の結論を得た。

● 1次変調方式

周波数利用効率、伝送レート、及び長距離通信の観点より各1次変調方式の比較結果を表3-4に示す。

表 3-4 各変調方式の検討結果 (1次変調方式)

変調方式	周波数利用効率	伝送レート	長距離通信(PAPR)	判定
4値FSK	0.5bps/Hz: △	150kbps: △	基準: ◎	△
QPSK	2.0bps/Hz: ○	600kbps: ○	約+3dB: ○	○
16QAM	4.0bps/Hz: ◎	1200kbps: ◎	約+6dB: △	△

◎:優れる ○:普通 △:劣る

- ✓ 4値FSK方式は、長距離通信の性能に影響を与えるPAPRは優れているが、周波数利用効率が低くまた伝送レートが低いいため画像伝送を行うことは難しいと判断される。
 - ✓ 16QAM方式は、周波数利用効率、画像伝送に必要な伝送レートは優れているが、長距離通信を行うことは難しいと判断される。
 - ✓ QPSK方式は全項目に不適となる項目は無い。
- 以上より、1次変調方式としてはQPSK方式の選定が妥当である。

● 2次変調方式

遅延波対策に要する処理量及び送信スペクトルの狭帯域化の観点から、シングルキャリアアブロック伝送方式が優れており、本方式の選定が妥当である。

3.3.3 帯域幅毎の特性検討

帯域幅をはじめ、符号化率、フレーム長等の各種パラメータについて、机上検討（計算機シミュレーション）により最適パラメータを抽出するとともに、計算機シミュレーションで導出したパラメータを適用した試験機を用いたラボでの伝送試験により、机上検討結果との比較を行った。

(1) 試験条件

帯域幅毎の特性検討における検討項目を表 3-5 に示す。また環境／ラボ試験における試験系統を図 3-11 に示す。

表 3-5 帯域幅毎の特性検討：検討項目

検討項目	検討内容
帯域幅	100kHz／200kHz／300kHz の帯域幅での通信品質（BER）の比較を行った。
符号化率	伝送レート／通信品質／距離の観点で評価した。
フレーム長	試験機で採用するフレーム長を検討した。
変調方式	変調方式毎の通信品質と電力効率（PAPR）を比較した。
環境	机上検討：計算機シミュレーションにより CNR 対ビット誤り率特性を評価した。
	ラボ試験：試験機による CNR 対ビット誤り率特性を評価した。

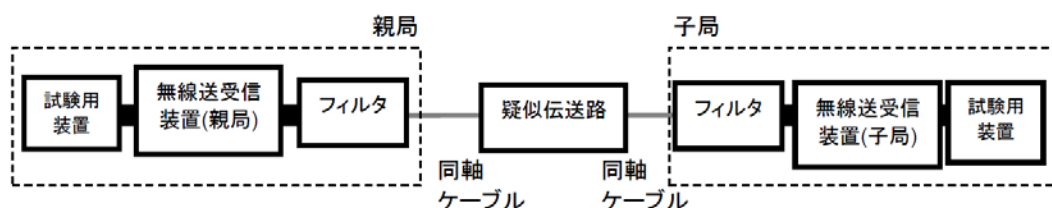


図 3-11 帯域幅毎の特性検討／環境（ラボ試験）：試験系統

(2) 試験手順

1) 帯域幅

自由空間モデル及び奥村・秦モデル（開放地型）を用いた距離対受信信号強度特性から CNR を算出（親局無線機のノイズ指数=8dB を仮定）し、AWGN 環境下でのビット誤り率特性を計算機シミュレーションで評価した。

2) 符号化率

拘束長 $K=7$ 、符号化率 $R=1/2$ の畳込み符号を適用した場合の QPSK 方式に関するビット誤り率特性と通信距離の変化を計算機シミュレーションで評価し、符号化無しの QPSK 方式および 4 値 FSK 方式と比較した。

3) フレーム長

拘束長 $K=7$ 、符号化率 $R=1/2$ の畳込み符号を適用した場合の QPSK 方式に関するフレーム誤り率特性を計算機シミュレーションで評価した。

4) 変調方式

4 値 FSK 方式、QPSK 方式、16QAM 方式の通信品質 (BER) と電力効率 (PAPR) を計算機シミュレーションで評価した。

5) 環境

机上検討において選定した QPSK 方式について、試験機子局と親局を同軸ケーブルで接続し、CNR 対ビット誤り率特性について、机上計算 (計算機シミュレーション) との比較を行った。また参考として 4 値 FSK 方式についても評価した。

(3) 試験結果と考察

1) 帯域幅

自由空間モデル及び奥村・秦モデル (開放地型) を用いた距離対受信信号強度特性の机上検討結果を図 3-12 に、また距離対受信信号強度特性から CNR を算出し (親局無線機のノイズ指数=8dB を仮定)、AWGN 環境下における距離対ビット誤り率特性の計算機シミュレーションで評価した結果を図 3-13 に示す。なお、シミュレーションに用いたパラメータは表 3-6 の通りである。

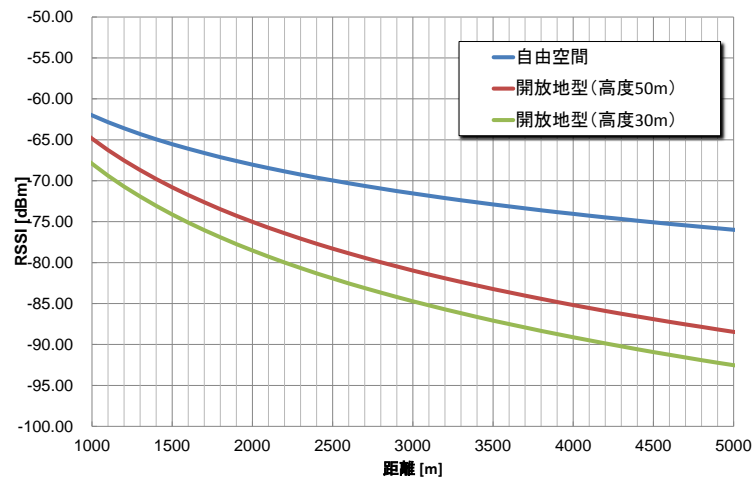


図 3-12 帯域幅毎の特性検討結果／帯域幅：距離対受信信号強度特性

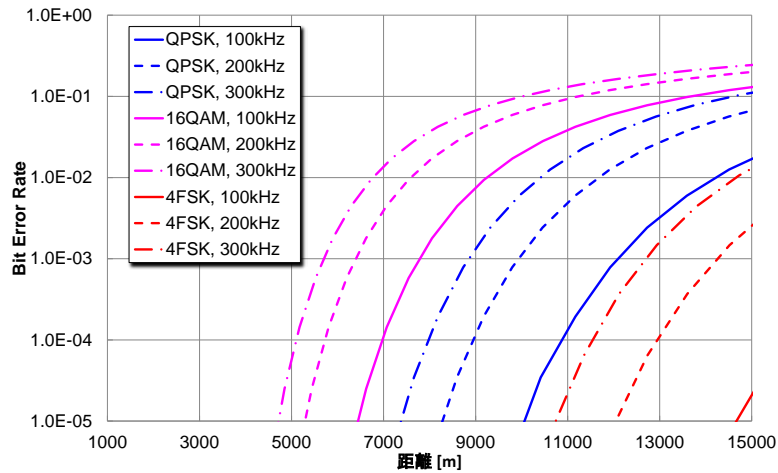


図 3-13 帯域幅毎の特性検討結果／帯域幅：距離対ビット誤り率特性
*奥村・秦モデル開放地型・高度 30m

表 3-6 帯域幅毎の特性検討結果／帯域幅：パラメータ設定

項目	パラメータ
子局送信電力	10dBm
子局送信アンテナ	0dBi
親局受信アンテナ	5dBi
子局アンテナ高	30m/50m
親局アンテナ高	2m

結果より、所要 CNR が高い 16QAM 方式は通信距離の観点から不利であることが確認できた。また、3.3.2 でも記述の通り、PAPR 特性において 16QAM 方式は、送信機に実装されるパワーアンプの直線性の問題から、4 値 FSK 方式や QPSK 方式に比べより大きなバックオフが必要となり、相対的な通信距離は更に低減するものと考えられる。

2) 符号化率

拘束長 $K=7$ 、符号化率 $R=1/2$ の畳込み符号を適用した場合の QPSK 方式に関して、CNR 対ビット誤り率特性の計算機シミュレーション結果を図 3-14 に、距離対ビット誤り率特性の計算機シミュレーション結果を図 3-15 に示す。

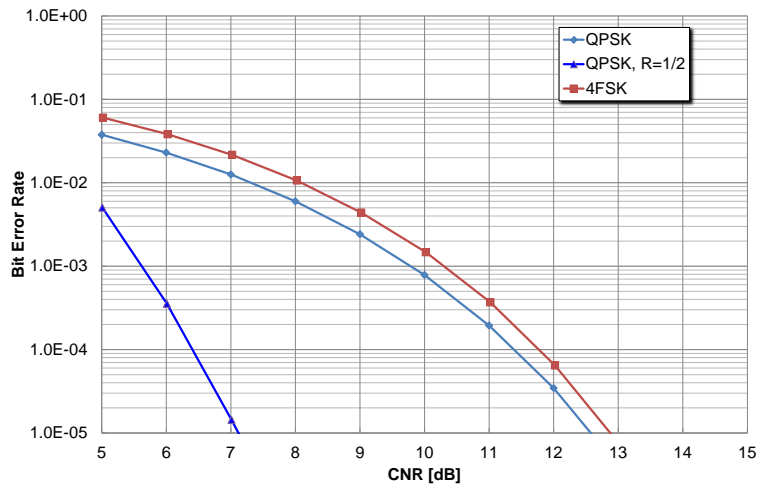


図 3-14 帯域幅毎の特性検討結果／符号化率：CNR 対ビット誤り率特性

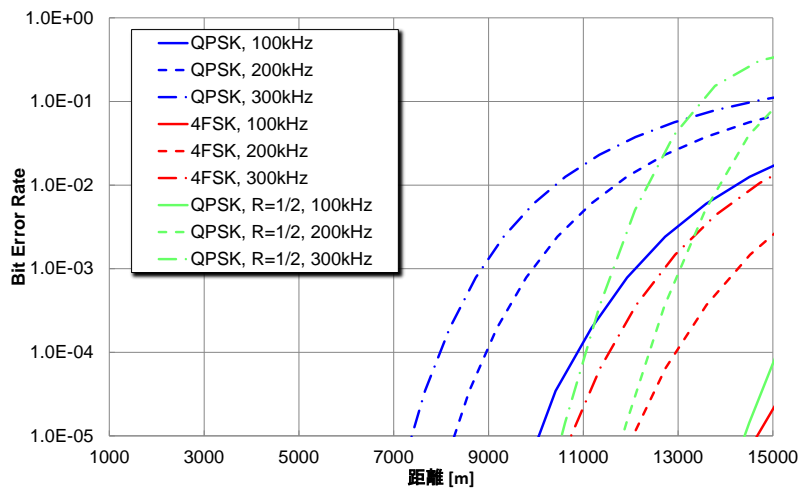


図 3-15 帯域幅毎の特性検討結果／符号化率：距離対ビット誤り率特性

結果より、誤り訂正を適用することで QPSK 方式の通信距離が拡大し、4 値 FSK 方式に近づくことが確認できた。

3) フレーム長

拘束長 $K=7$ 、符号化率 $R=1/2$ の畳込み符号を適用した場合の QPSK 方式に関して、CNR 対フレーム誤り率特性の計算機シミュレーション結果を図 3-16 に示す。

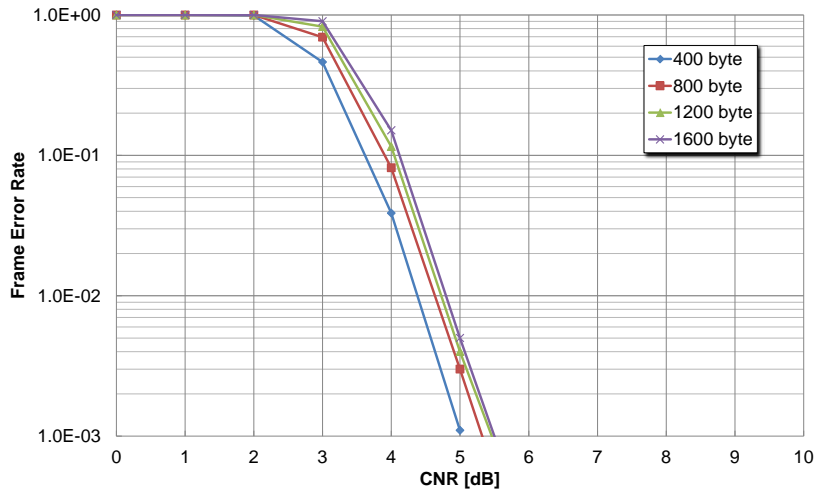


図 3-16 帯域幅毎の特性検討結果／フレーム長：CNR 対フレーム誤り率特性

400byte/フレームを基準にフレーム長を変えて評価した結果、フレーム長を 400byte とした場合が最も良好な特性となることが確認できた。

4) 変調方式

4 値 FSK 方式、QPSK 方式、16QAM 方式に関して、各変調方式における PAPR 特性の計算機シミュレーション結果を図 3-17 に示す。

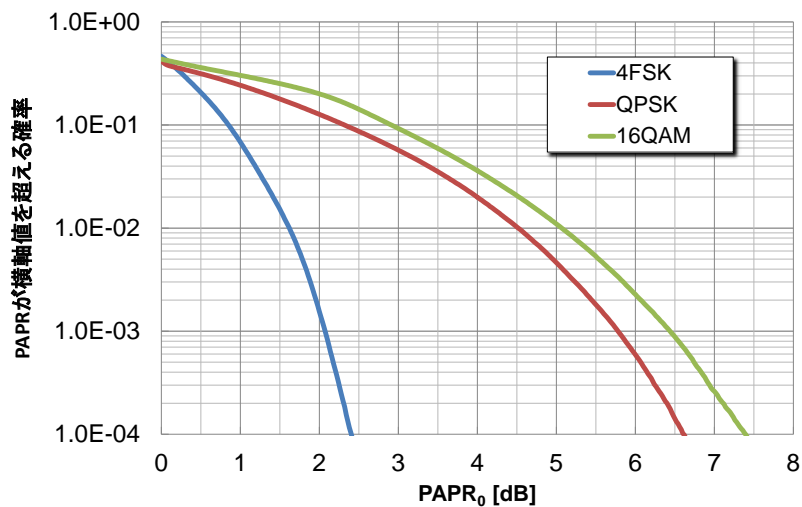


図 3-17 帯域幅毎の特性検討結果／変調方式：各変調方式における PAPR 特性

4 値 FSK 方式、QPSK 方式、16QAM 方式の PAPR を評価した結果（PAPR=0dB は定包絡線波形に相当する）、PAPR が小さいほど電力増幅器の非線形性の影響を受けにくくなることが確認できた。

5) 環境

机上検討において選定した QPSK 方式に関する CNR 対ビット誤り率特性について、計算機シミュレーション結果と試験機子局・親局を同軸ケーブルで接続したラボにおける測定結果の比較を図 3-18 に示す。また参考として 4 値 FSK 方式に関する結果を図 3-19 に示す。

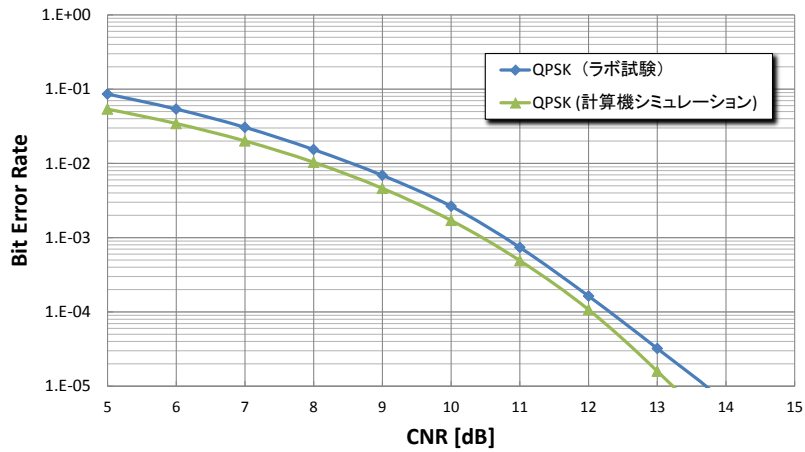


図 3-18 帯域幅毎の特性検討結果／環境：CNR 対ビット誤り率特性（QPSK 方式）

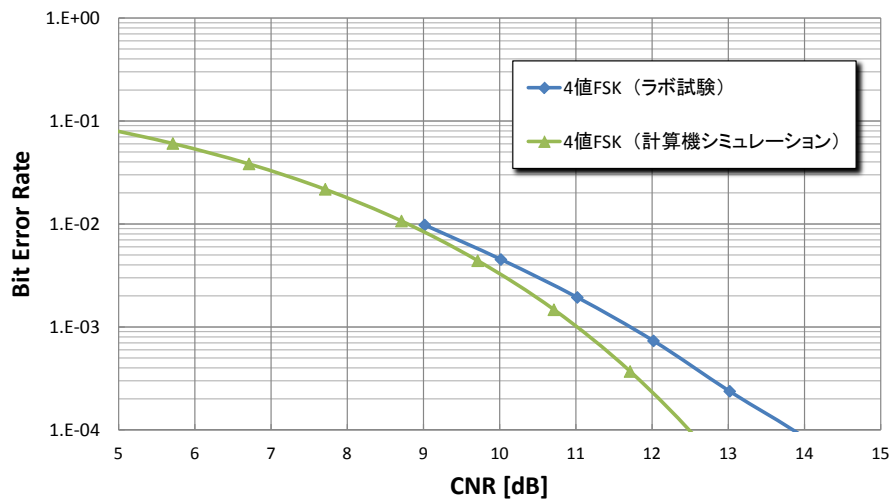


図 3-19 帯域幅毎の特性検討結果／環境：CNR 対ビット誤り率特性（4 値 FSK 方式）

QPSK・4 値 FSK の両変調方式共に、試験機子局・親局を用いた測定結果は、机上検討による計算機シミュレーション結果と大方同等の傾向を示すことが確認できた。計算機シミュレーションとラボ試験結果との特性差は、計算機シミュレーションでは理想条件として評価しているアナログ部の歪みによるものと考えられる。

3.3.4 伝搬環境を模擬した検討

QPSK 方式及び 4 値 FSK 方式に関して、レイリーフェージング伝搬環境を模擬した計算機シミュレーションを行った。また QPSK 方式については、ラボにおいて疑似伝送路を介して試験機子機と親機を接続、計算機シミュレーションで導き出されたパラメータを適用して CNR 対ビット誤り率特性を測定し、計算機シミュレーション結果との比較を行った。

(1) 試験条件

レイリーフェージング伝搬環境における遅延波の条件について、平成 19,20 年度に実施された「公共・公益分野における移動無線システムのブロードバンド化等に関する調査検討」* におけるパラメータ設定を参考に、表 3-7 として設定した。移動速度は 5km/h とした。

また、ラボにおける試験系統を図 3-20 に示す。

表 3-7 伝搬環境を模擬した検討：遅延プロファイル

遅延波	遅延波到来時刻	遅延波受信レベル
先行波	0usec	0dB
遅延波 1	10usec	-20dB
遅延波 2	30usec	-40dB

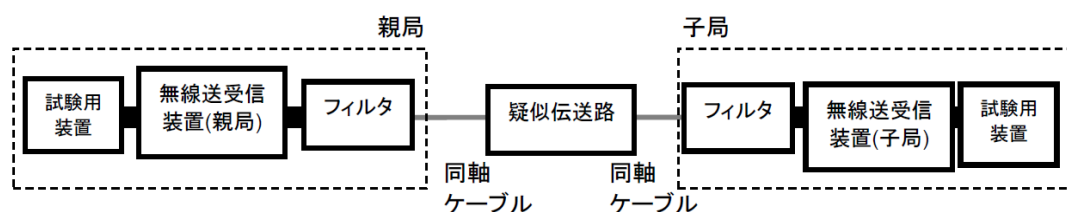


図 3-20 伝搬環境を模擬した検討：試験系統

(2) 試験手順

1) 机上検討

QPSK 方式及び 4 値 FSK 方式に関して、試験条件で規定のレイリーフェージング伝搬環境における CNR 対ビット誤り率特性の計算機シミュレーションを行った。

2) ラボ試験

QPSK 方式について、疑似伝送路を介して試験機子機と親機を接続し、計算機シミュレーションで導き出されたパラメータを適用して CNR 対ビット誤り率特性を測定し、計算機シミュレーション結果との比較を行った。なお伝搬環境の条件は移動速度 5km/h の 1 パスとした。

* http://www.soumu.go.jp/main_content/000028213.pdf

(3) 試験結果と考察

1) 机上検討

レイリーフェージング伝搬環境を模擬した計算機シミュレーション結果として、QPSK 方式及び 4 値 FSK 方式の CNR 対ビット誤り率特性を、それぞれ図 3-21、図 3-22 に示す。

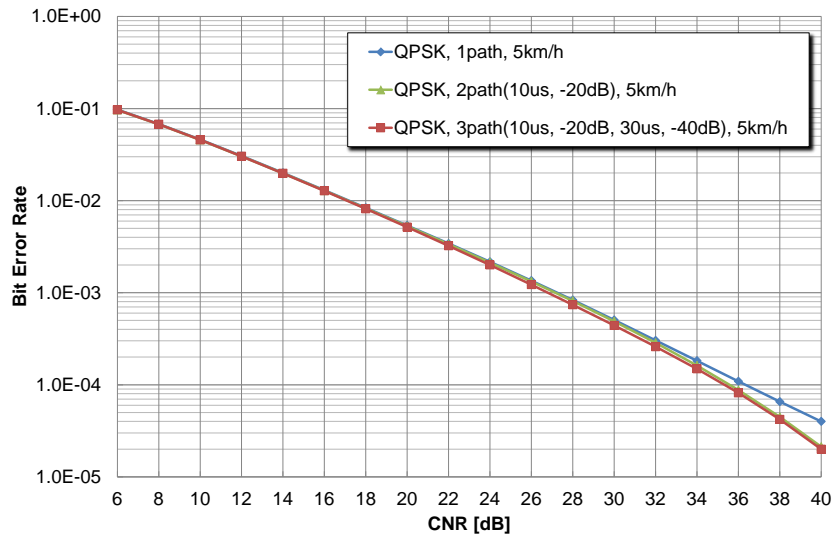


図 3-21 伝搬環境を模擬した検討／机上検討：CNR 対ビット誤り率特性（QPSK 方式）

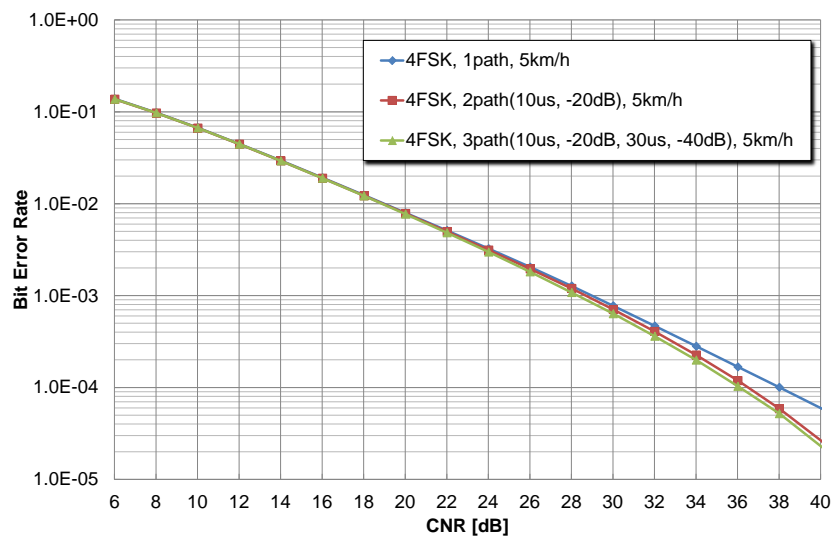


図 3-22 伝搬環境を模擬した検討／机上検討：CNR 対ビット誤り率特性（4 値 FSK 方式）

QPSK 方式、4 値 FSK 方式ともに CNR が低い環境では伝搬環境に依らず同等の性能を示し、CNR が高くなると遅延波が存在している環境の方が高い性能となる傾向を示した。これは、遅延波の受信レベルが雑音より高くなり、パスダイバーシチ効果が得られたためと考えられる。

2) ラボ試験

QPSK 方式について、疑似伝送路を介して試験機子機と親機を接続し、計算機シミュレーションで導き出されたパラメータを適用した CNR 対ビット誤り率特性について、計算機シミュレーション結果との比較を図 3-23 に示す。

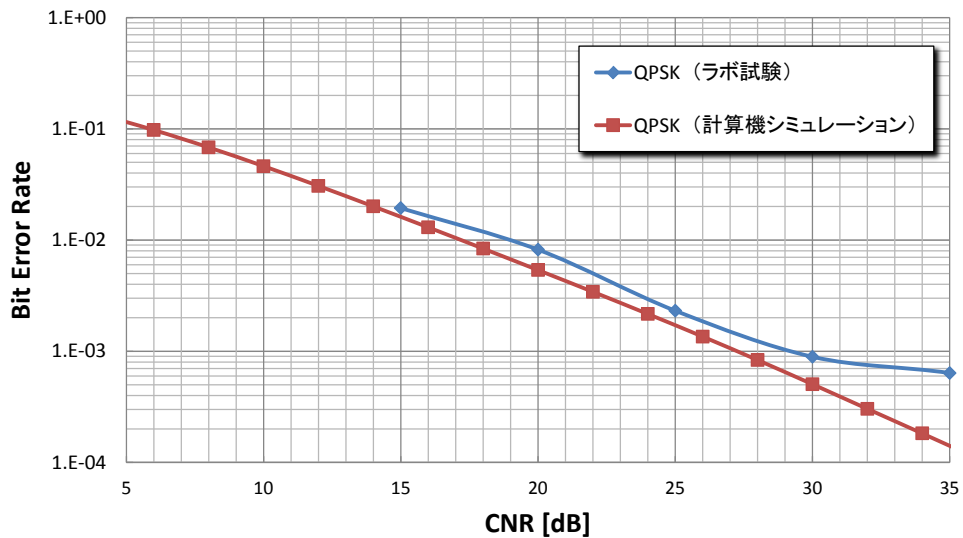


図 3-23 伝搬環境を模擬した検討／ラボ試験：CNR 対ビット誤り率特性（QPSK 方式）

測定結果より、CNR > 30dB 付近までは計算機シミュレーション結果と同等の傾向を示すことが確認できた。計算機シミュレーションとラボ試験結果との特性差は、計算機シミュレーションでは理想条件として評価しているが、ラボ試験では、無線機のアナログ部の歪みによる劣化が発生しているものと考えられる。

3.3.5 静止画・動画伝送試験

本試験はテレメーター機能試験及びテレコントロール機能試験より構成され、テレメーター機能試験では、試験機子局と親局を同軸ケーブルで接続し、子局画像伝送装置により収集したカメラ1～3の映像および画像を親局画像伝送装置で表示できることを確認した。またテレコントロール機能試験では、子局に接続したカメラ1～3の内の所定の1台を選択し、親局が切り替えるテレコントロール機能の検証を実施した。

(1) 試験条件

転送する動画フォーマットとしてはH.264フォーマットを用い、動画品質を鑑みて、設定は表3-8とした。

表 3-8 静止画・動画伝送試験：転送動画設定

動画フォーマットH.264	基本ビットレート	動画サイズ	フレームレート	I-Frame間隔
設定値	120kbps	320×240	5fps	200ms

一方、試験機においては、データ伝送を行うため、パケット化（プリアンブル、パイロット挿入）、誤り訂正（畳込み符号：拘束長 $K=7$ 、符号化率 $R=1/2$ ）を導入した。実使用周波数帯域幅は、99%電力帯域が300kHzに収まるよう275kHzと設定した。

各変調方式による実伝送レートを表3-9に示す。動画の基本ビットレートが120kbpsのため、静止画・動画伝送においては、QPSK及びQPSK（畳込み符号有）の2モードが有効であることより、試験においては、ビット誤り率特性に優れたQPSK（畳込み符号有）を用いて静止画・動画伝送を実施した。試験システムを図3-24に示す。

表 3-9 静止画・動画伝送試験：変調方式による実伝送レート

変調方式	理論周波数 利用効率 [bps/Hz]	実使用周波数 帯域 [kHz]	パケット 効率[%]	畳込み符号 効率[%]	実伝送レート [kbps]
4値FSK	0.5	275	69.6%	なし	95.7
QPSK	2	275	69.6%	なし	382.8
QPSK (畳込み符号有)	2	275	69.6%	49.9%	190.9

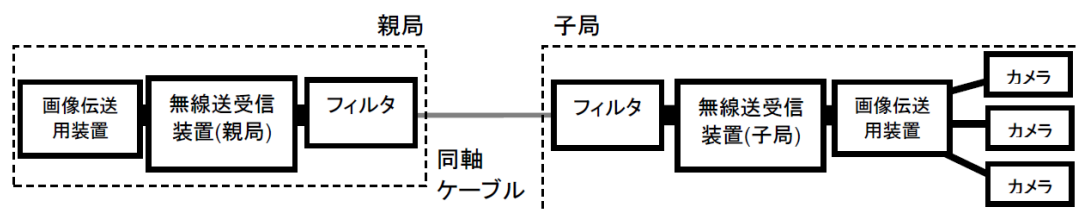


図 3-24 静止画・動画伝送試験：試験システム

(2) 試験手順

1) テレメーター機能試験

試験機子局と親局を同軸ケーブルで接続し、子局画像伝送装置により収集したカメラ 1～3 の映像および画像を親局画像伝送装置で表示できることを確認するとともに、親局と子局の間の接続を減衰器側に切り替え、減衰量を-100dB～0dB まで 5dB 間隔で変化させ、CNR 対ビット誤り率特性と動画の途切れの有無を評価した。

2) テレコントロール機能試験

子局に接続したカメラ 1～3 の内の所定の 1 台を選択し、親局が切り替えるテレコントロール機能の検証を実施するとともに、固定減衰器の減衰量を、テレメーター機能試験の評価結果より求めた視聴可能限界値に設定し、テレコントロールコマンドの成功率を評価した。

(3) 試験結果と考察

1) テレメーター機能試験

CNR に対する画像伝送主観評価結果を表 3-10 に示す。主幹評価の項目としては、ブロックノイズ、ノイズ範囲、物体の識別、グレイアウト、再生アプリ停止の 5 項目とした。

表 3-10 静止画・動画伝送試験：画像伝送主観評価結果

CNR (dB)	ブロックノイズ	ノイズ範囲	物体の識別	グレイアウト	再生アプリ停止
10	なし	なし	可能	なし	なし
9	なし	なし	可能	なし	なし
8	なし	なし	可能	なし	なし
7	低頻度	部分的	可能	なし	なし
6	定常発生	全体的	可能だが難しい	なし	なし
5	定常発生	全体的	難しい	発生	発生
4	定常発生	全体的	不可	頻繁に発生	頻繁に発生
3	—	—	不可	—	起動せず

主観評価の結果より、CNR=7dB 以上において、良好な動画伝送が可能であることが確認できた。

続いて、主観評価結果とビット誤り率との比較を図 3-25 に示す。

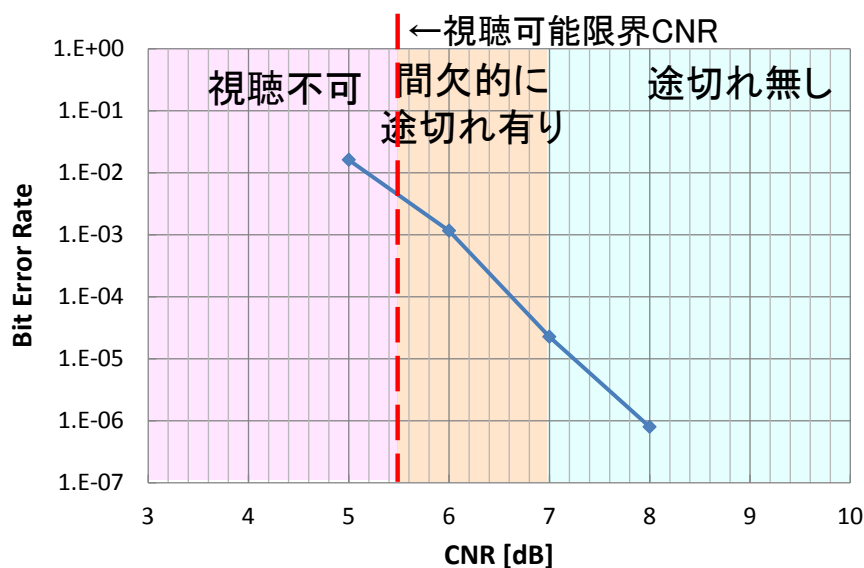


図 3-25 静止画・動画伝送試験：主観評価結果とビット誤り率との比較

BER 誤り率 2×10^{-5} 以下の性能が得られる場合、途切れの無い高品質な動画伝送が可能である。また、視聴可能限界となる CNR は約 5.5dB となる。この際のビット誤り率は 5×10^{-3} 程度であり、間欠的に途切れ、ブロックノイズが発生することを許容する必要がある。

2) テレコントロール機能試験

テレメーター機能試験における視聴可能限界 CNR のもとの、テレコントロール機能試験結果を表 3-11 に示す。

表 3-11 静止画・動画伝送試験：テレコントロール機能試験結果

コマンド送出回数	正常受信回数	受信失敗回数	成功確率	備考
100	100	0	100%	

動画伝送の視聴可能限界 CNR は約 5.5dB であり、ビット誤り率は 5×10^{-3} の回線品質であるが、この品質において、テレコントロールコマンド伝送を評価した結果、100%の確率でコマンド伝送が行えることが確認できた。

3.4 フィールド試験

3.4.1 フィールド試験の概要

本試験では、複数の変復調方式による特性を比較するために、複数の変復調方式の実装が容易なソフトウェア無線機を用いた。

今回使用したソフトウェア無線機及び空中線の諸元を表 3-12 に示す。

表 3-12 フィールド試験：ソフトウェア無線機及び空中線の諸元

仕様	諸元	
	中継局	親局・子局
送信出力	QPSK : 7dBm(5mW)	4 値 FSK : 10dBm(10mW) QPSK/16QAM : 7dBm(5mW)
周波数	169.200MHz	
帯域幅	300kHz	
受信感度 (BER:1×10 ⁻²)	4 値 FSK : 10dB μV QPSK : 10dB μV 16QAM : 16dB μV	
空中線利得	2.14dBi	5.12dBi

フィールド試験検証では、テレメーター・テレコントロールのあらゆる場面での使用を想定して、郊外型の都市と開放型で平野や山林が広がる地域にて調査を行った。いわみざわ公園を起点とし、郊外型の都市モデルをエリア A、開放地見通し環境のモデルをエリア B、山林等の遅延波環境のモデルをエリア C として、各測定ポイントは約 1km 毎に設け、最長 6km 付近まで測定を行った。各測定ポイントの配置を図 3-26 に示す。

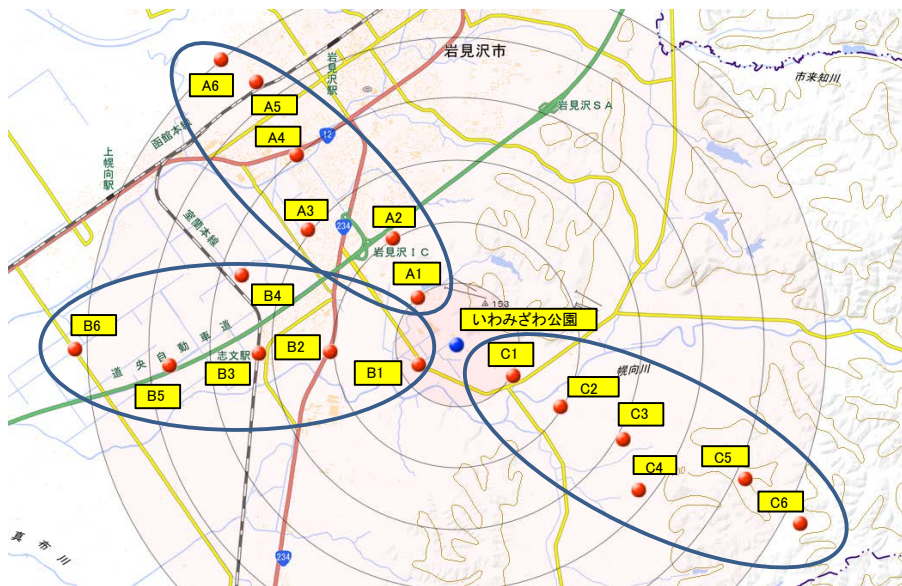


図 3-26 フィールド試験：測定ポイント配置

3.4.2 地上での電波伝搬特性

(1) 試験系統

地上での電波伝搬特性の測定における試験系統を以下に示す。

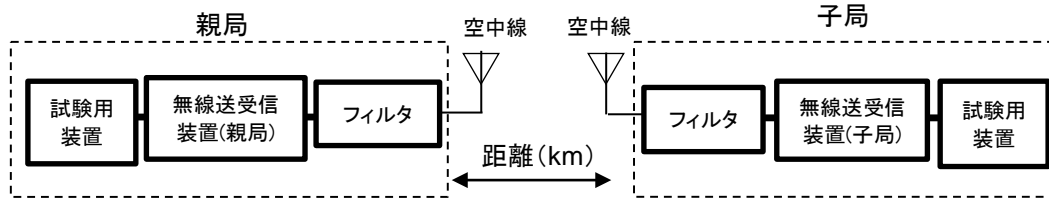


図 3-27 フィールド試験：試験系統：地上での電波伝搬特性

(2) 試験条件

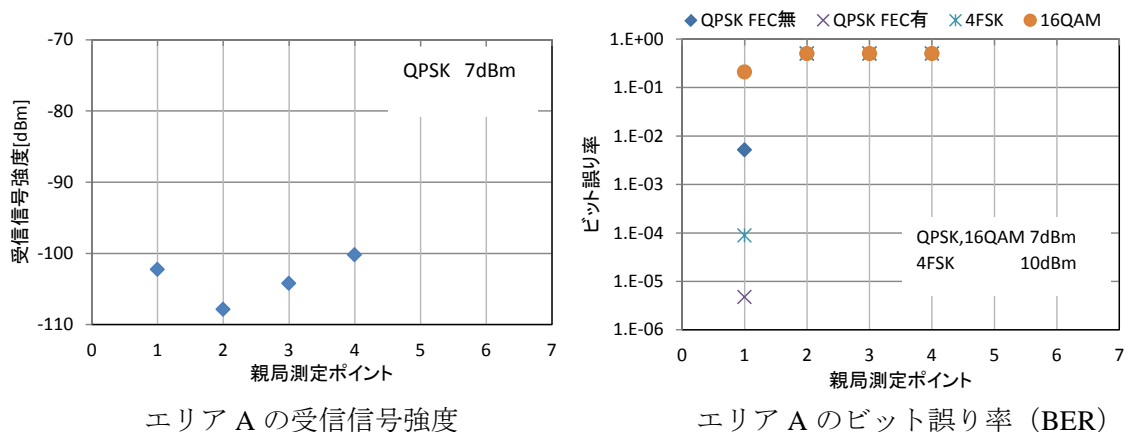
子局を設置した場所から、子局の無線機出力一定として親局を段階的に離し、各測定ポイントにおいて BER と受信信号強度の測定を行った。また親局の各測定ポイントにおける電波伝搬環境の測定を行った。

(3) 試験手順

いわみざわ公園に設置した子局の無線送受信装置（空中線地上高 2m）から、QPSK 方式の試験電波を発射し、各測定ポイントに設置した親局の無線送受信装置（空中線地上高 3m）における、BER、受信信号強度、遅延プロファイルの測定を行った。なお参考として、4 値 FSK 方式、16QAM 方式についても BER 特性を測定した。

(4) 試験結果と考察

各測定ポイントにおける受信信号強度と BER の測定結果を図 3-28 に示す。



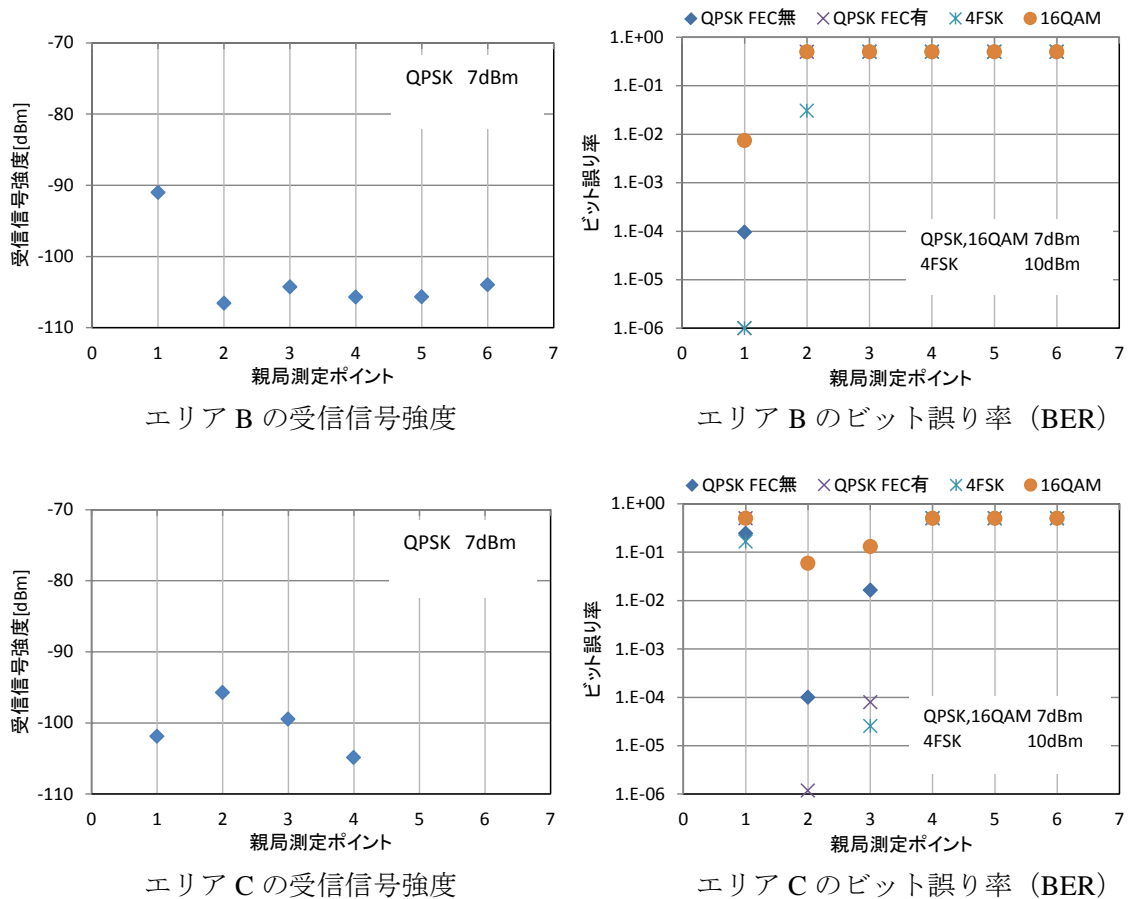
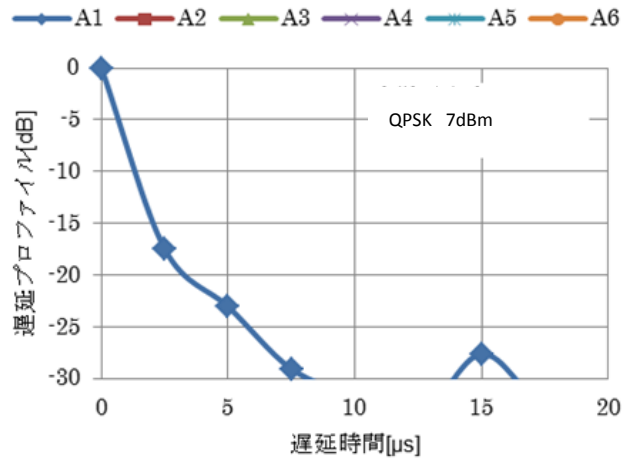


図 3-28 フィールド試験/地上での電波伝搬特性：受信信号強度と BER 測定結果

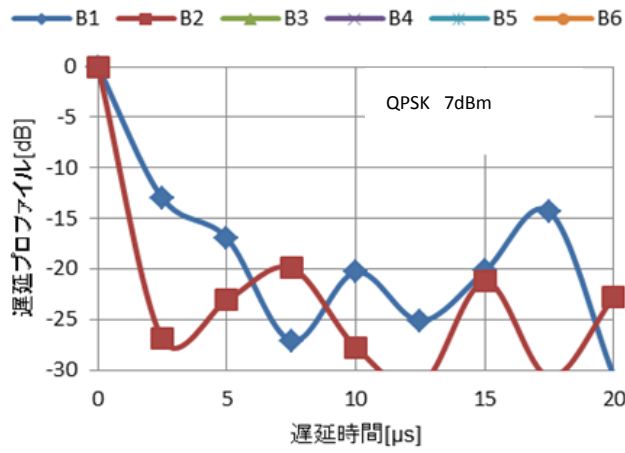
測定結果より、子局及び親局の空中線がそれぞれ地上高 2m 及び 3m の場合、エリア A、エリア B ともに 1km のポイントのみで BER の測定が可能であり、2km 以上離れたポイントでは、BER の測定が行えなかった。これは、子局及び親局の空中線高がほぼ同じでかつ低いいため、周辺の建造物などの影響により遮蔽損失が増大した結果と考えられる。

また、エリア C においては、1km ポイントでは BER 測定が行えなかったが、2km、3km のポイントでは受信が可能との結果が得られた。これはエリア C が山間部のため、いわみざわ公園から 2km、3km 離れた地域では親局の標高が高くなり、この結果、見通しに近い状態が得られたことから受信可能になったものと考えられる。

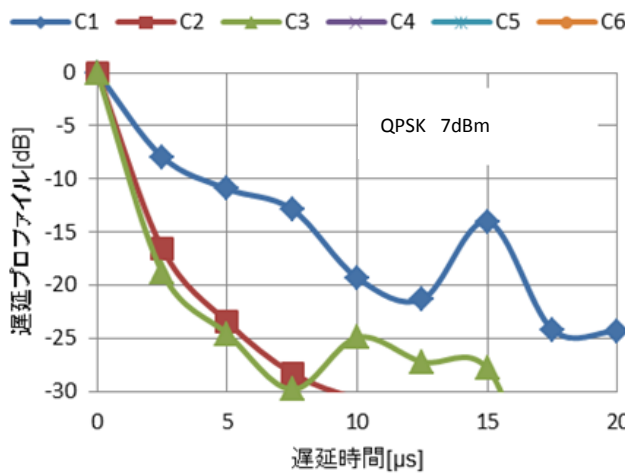
また、周波数伝達関数から 44pt DFT (方形窓) にて遅延プロファイル算出した。各エリアの遅延プロファイルを図 3-29 に示す。



エリア A の遅延プロファイル



エリア B の遅延プロファイル



エリア C の遅延プロファイル

図 3-29 フィールド試験/地上での電波伝搬特性：遅延プロファイル

データは、先行波を 0dB に正規化し、周波数領域の不連続性より時間解像度は±2.5us 程度である。長遅延波として見えているものは、先行波のレベルが小さいことに伴う、雑音信号と推定される。

3.4.3 上空からの電波伝搬特性

(1) 試験系統

上空からの電波伝搬特性の測定における試験系統を以下に示す。

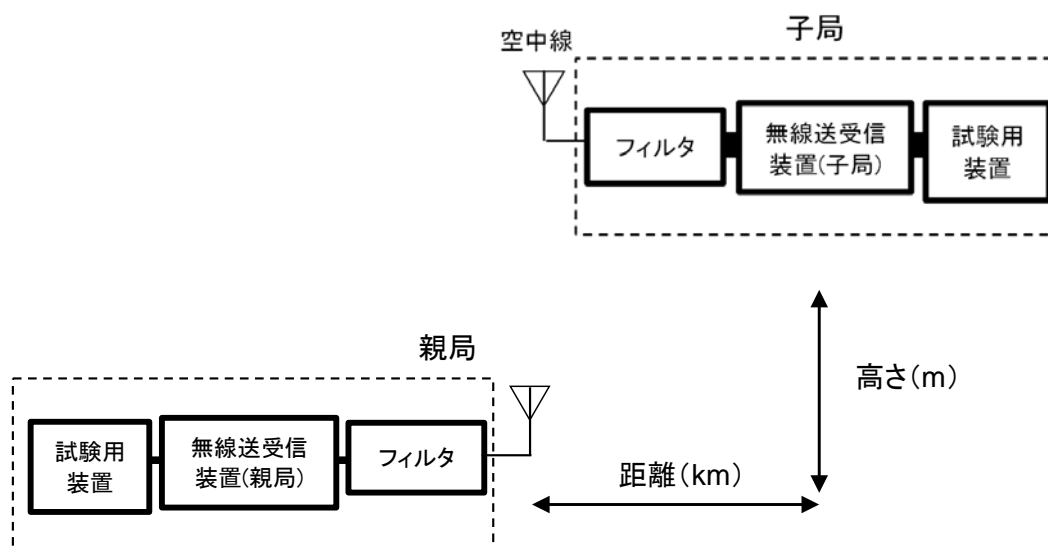


図 3-30 フィールド試験：試験系統：上空からの電波伝搬特性

(2) 試験条件

子局を設置した場所から、子局の無線機出力一定として親局を段階的に離すとともに、高所作業車を用いて子局の高さを段階的に変化させ、各測定ポイントにて BER と受信信号強度の測定を行った。また親局の各測定ポイントにおける電波伝搬環境の測定を行った。

(3) 試験手順

いわみざわ公園において子局の無線送受信装置を高所作業車に取付け、地上高 22m に上昇させ、そこから 5m ごとに下降させるとともに、最大離隔距離を 6km とする各測定ポイントの親局（空中線地上高 3m）において、BER、受信信号強度、及び遅延プロファイルを測定した。なお参考として、4値 FSK 方式、16QAM 方式についても、子局地上高 22m で BER を測定した。

(4) 試験結果と考察

各高度及び各測定ポイントにおける受信信号強度と BER の測定結果を図 3-31 に示す。

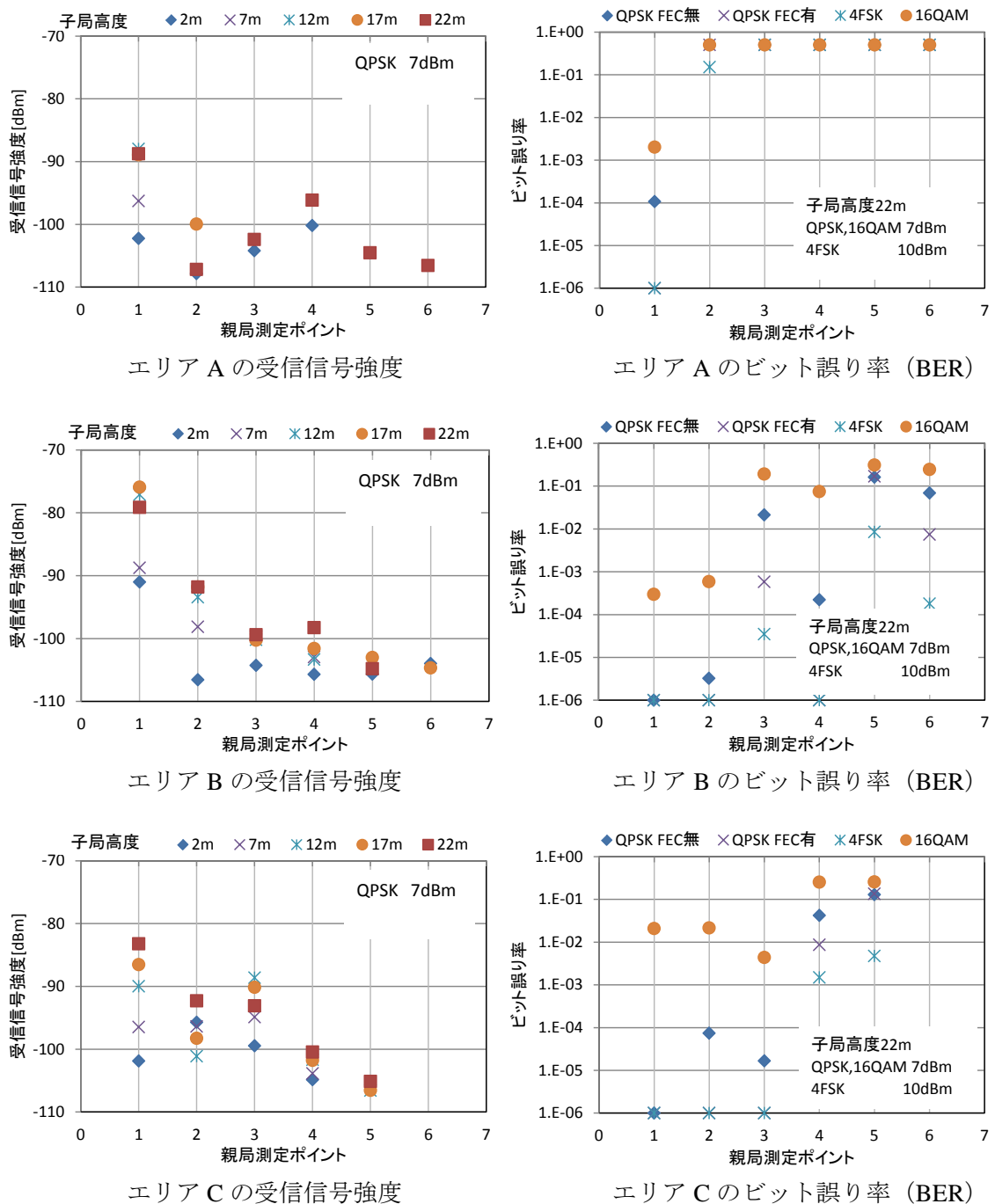
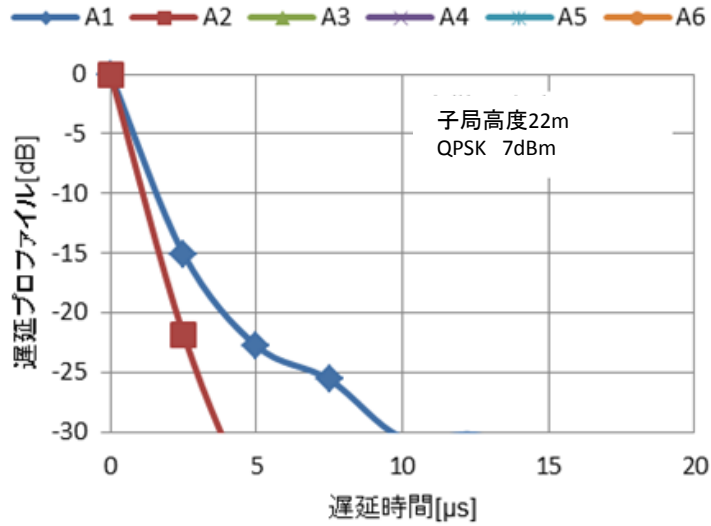


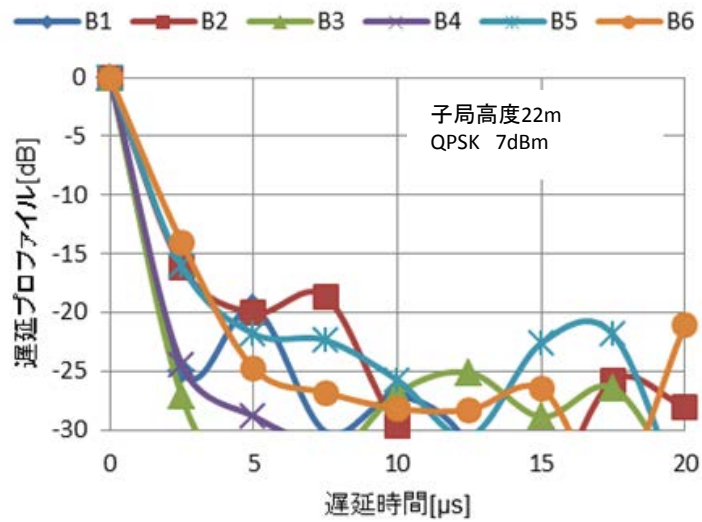
図 3-31 フィールド試験／上空からの電波伝搬特性：受信信号強度と BER 測定結果

測定結果より、エリア B の開放地、エリア C の山林等の両地形においては、3km から 4km のポイントまで BER 測定が可能となった。一方、エリア A においては、1km のポイントでは BER 測定が行えたが、2km 以降は測定が不可能であった。これは、2km のポイントでは地形的な影響によるもの、3km 以降のポイントでは、地形的な影響に加え、移動した親局の周辺の建造物などの影響により遮蔽損失が増大したことが要因と考えられる。

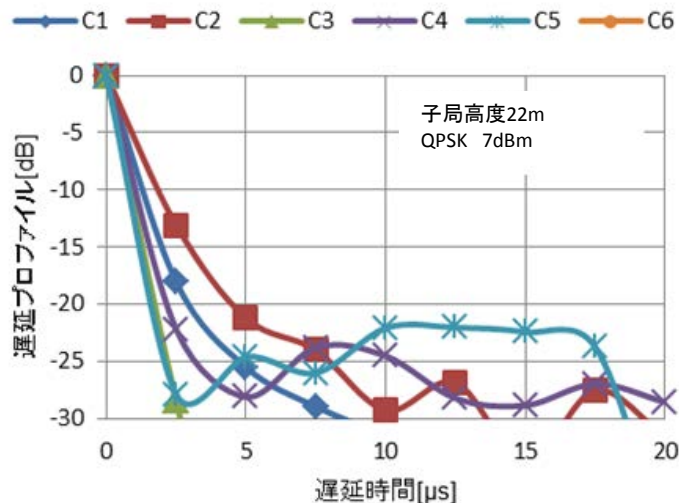
また 3.4.2 と同様に、周波数伝達関数から 44pt DFT（方形窓）にて遅延プロファイル算出した。3.4.2 の子局空中線地上高 2m の場合と同様、長遅延波として見えているものは、先行波のレベルが小さいことに伴う、雑音信号と推定される。



エリア A の遅延プロファイル



エリア B の遅延プロファイル



エリア C の遅延プロファイル

図 3-32 フィールド試験／上空からの電波伝搬特性：遅延プロファイル

3.4.4 静止画・動画伝送の実証確認

(1) 地上での実証確認

1) 試験系統

静止画・動画伝送の地上での実証確認における試験系統を以下に示す。

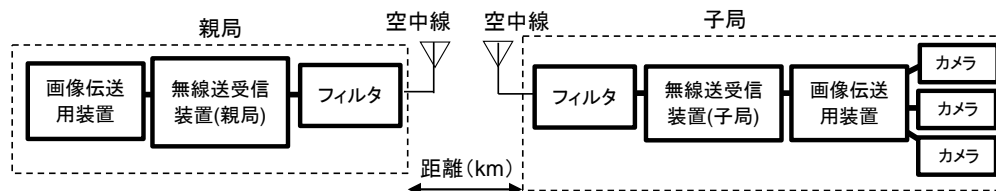


図 3-33 フィールド試験：試験系統：静止画・動画伝送／地上での実証確認

2) 試験条件

子局の画像伝送装置に接続されたカメラ 1～3 の静止画および動画が伝送できることを確認するために、親局と子局を段階的に離し、各測定ポイントで伝送状態を確認した。

3) 試験手順

親局（空中線地上高 3m）と子局（空中線地上高 2m）の距離を段階的に離し各測定ポイントにおいて、テレメーターの動作確認として、子局から親局に対してサイズ QVGA（320×240）の準動画の伝送が行えるかについて確認した。また、テレコントロールの動作確認は、親局の画像伝送用装置から子局の画像伝送用装置に接続された 3 台のカメラの切替制御が行えるかについて確認した。

4) 試験結果と考察

各測定ポイントにおける画像伝送状況の測定結果を表 3-13 に示す。

表 3-13 フィールド試験：静止画・動画伝送／地上での実証確認 測定結果

測定ポイント	エリアA	エリアB	エリアC
1	○/○	○/○	○/○
2	×/ー	○/○	○/○
3	×/ー	×/ー	△/ー
4	×/ー	×/ー	×/ー
5	×/ー	×/ー	×/ー
6	×/ー	×/ー	×/ー

※左側 (テレメーター) ○：視聴可能 △：ブロックノイズ有 ×：グレイアウト
 右側 (テレコントロール) ○：可能 ー：画像伝送できないため確認せず

各エリア共に地上での伝送については、1km 程度離れたポイント1 では、全てにおいて視聴が可能であったが、3km 以上離れた地域では、ブロックノイズがひどく、しばしばグレイアウトとなり、視聴できない状態であった。今回の測定結果より、地上対地上での伝送においては、送信出力 5mW ・ QPSK 方式 (誤り訂正あり) の無線送受信装置を使用した場合、伝送距離はおおよそ 1~2km 程度と推定される。

(2) 上空からの実証確認

1) 試験系統

静止画・動画伝送の上空からの実証確認における試験系統を以下に示す。

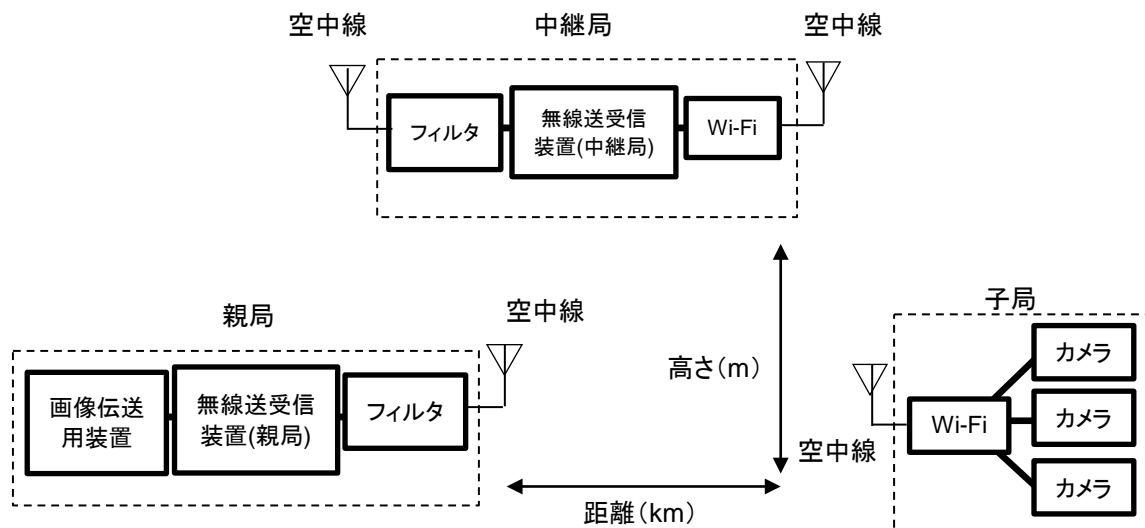


図 3-34 フィールド試験：試験系統：静止画・動画伝送／上空からの実証確認

2) 試験条件

上空の中継局に対して Wi-Fi で接続されたカメラ 1~3 の画像を伝送し、親局と子局の距離を段階的に離し、各測定ポイントにおける伝送状態を確認した。

3) 試験手順

地上での動画確認と同様に、地上に設置したカメラ画像を Wi-Fi を使用して空中線地上高 22m の中継局へ送信し、中継局から無線回線を通して画像が伝送できることを確認した。その際、中継局から親局を段階的に離し、各測定ポイントで画像伝送が行えるかを確認した。

なお伝送する画像は、サイズ QVGA (320×240) の準動画とし、テレメーターの動作確認としては、親局から指定したカメラの画像を子局の画像伝送用装置で選択し、指定されたカメラ画像を親局へ伝送できるかについて確認した。また、テレコントロールの動作確認としては、親局の画像伝送用装置から子局の画像伝送用装置に接続された 3 台のカメラの切替制御が行えるかについて確認した。

4) 試験結果と考察

各測定ポイントにおける画像伝送状況の測定結果を

表 3-14 に示す。

表 3-14 フィールド試験：静止画・動画伝送／上空からの実証確認 測定結果

測定ポイント	エリア A	エリア B	エリア C
1	○/○	○/○	○/○
2	×/ー	○/○	○/○
3	×/ー	△/○	○/○
4	×/ー	○/○	△/○
5	×/ー	×/ー	×/ー
6	×/ー	×/ー	×/ー

※左側 (テレメーター) ○：視聴可能 △：ブロックノイズ有 ×：グレーアウト
右側 (テレコントロール) ○：可能 ー：画像伝送できないため確認せず

郊外型都市部のエリア A においては、地上での伝送と同様、1km 程度離れたポイント 1 のみ視聴可能であり、2km 以上離れた地域では動画の視聴ができなかった。これは、エリア A の 2km 以上離れた場所では、周辺の建造物などの影響により遮蔽損失が増大し、動画伝送が視聴できない状態であったと想定される。

一方、開放地のエリア B、山林等のエリア C においては、3~4km 程度離れた地域でも視聴が行えることが確認された。

この結果から、開放地及び山林等においては、送信点の空中線地上高 22m が確保される環境であれば、送信出力 5mW ・ QPSK 方式 (誤り訂正あり) の無線送受信装置を使用した場合、伝送距離はおおよそ 3~4km 程度と推定され、開放地における画像伝送の使用は可能であるものと判断できる。

また、郊外型都市部で開放地及び山林等と同等の視聴可能距離を確保するためには、一般

的に郊外型の建造物においては10～15dB程度の遮蔽損失が想定されることから、開放地及び山林等における5mW出力に対して、100mW程度の出力が必要と推定される。

なお、公開実証試験（資料6を参照）においては、UAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機）を使用し、高度100mまで中継局の高さを挙げた場合には回線がほぼ見通しとなることから、約5.3kmの区間でブロックノイズの無い画像伝送を行えることが確認できており、地上高100mで送信電力が100mW程度の中継局を使用する場合は、見通しとなる郊外型の都市部環境において10km程度の通信距離は確保できるものと考えられる。

3.5 まとめ

実証試験を通して、変調方式の選定等の無線機諸元の基本要件から検討を行い、中・長距離のリアルタイムな通信が可能で、一定の静止画及び動画の画像伝送が行える程度の伝送速度をもち、小型・軽量かつ低価格で導入及び運用できるテレメーター・テレコントロールシステムについて、技術的な要件を確認することが出来た。

以下に、広帯域テレメーター・テレコントロール用の無線伝送に必要な基本要件についてまとめる。

3.5.1 変調方式の要件

今回の検討においては、机上検討・ラボ試験を通して、変調方式、帯域幅、通信速度の基本となる符号化率、フレーム長について基本的な特性の確認を行った。

本システムに適した変復調方式を選定するため、1次変調方式の候補として4値FSK方式、QPSK方式、16QAM方式の3種類を候補として選定を行った。また、2次変調方式として、シングルキャリア伝送方式と、シングルキャリアブロック伝送方式を用いた場合の特性比較を行い、理論検討にてそれぞれの特質を明らかにした。

(1) 1次変調方式の要件

1次変調方式においては、デジタル変調方式として代表的な4値FSK方式、QPSK方式、16QAM方式を候補として検討を行った。各変調方式に関して、計算機シミュレーションによってベースバンド信号波形について、位相遷移をPAPR (Peak to Average Power Ratio) を用いて比較検討した。結果より、コンスタレーションの比較検討では、4値FSK方式は情報ビットに応じて周波数を変化させる変調方式であるため、信号位相は単位円上を回転する軌跡を描き、PAPRとして特性的に優れている。また、送信機の要となるパワーアンプを設計する際にも、ピーク電力を考慮した設計が不要となることから、取扱が容易である。一方、QPSK方式と16QAM方式は情報ビットが多値化されており、QPSK方式は2ビットの情報位相を位相の変化とし、16QAM方式では4ビットの情報を位相と振幅に割り当てる方式であるため、信号位相の軌跡が大きく変動する。特に16QAM方式は取り得る信号位相と振幅の組合せが多く変動量も大きいため、パワーアンプの設計には考慮が必要となる。

また伝送速度を考えた場合、位相変調に加えて振幅にも信号情報を割り当てて多値化した情報を伝送できる16QAM方式は、同じ帯域幅における伝送容量が増加する優位性があり、4値FSK方式を基本とした場合、同じ帯域幅で伝送できるデータ量は、QPSK方式で4倍、16QAM方式では8倍となり、16QAM方式が優位となる。

以上の検討結果より、

- 4値FSK方式は、PAPRの点において優れているが、周波数利用効率が低くまた伝送レートが低いいため、画像伝送を行う際には非常に低レートな伝送となることが避けられない。
- 16QAM方式は、周波数利用効率に優れ、画像伝送に必要な伝送レートも十分に確保できる反面、PAPRの影響によりパワーアンプの設計や消費電力の問題から、小型・低消費電力化が難しいと判断される。

- QPSK 方式は、コンスタレーションの軌跡は振幅成分を含むものの、位相成分のみに情報を載せる方式となり、PAPR の観点においても 16QAM 方式に比べてパワーアンプの設計は容易となる。また伝送レートにおいても画像伝送を行うために必要となる速度が確保可能であることが確認された。

以上より、小型・軽量で準動画の送信に適した無線送受信装置のための 1 次変調方式としては、QPSK 方式の選定が妥当と考えられる。なお今回検討を行った、4 値 FSK 方式、16QAM 方式ともに長所もあるため、テレメーター・テレコントロール用の無線設備として、各々の得失を生かした無線設備の構築も可能と考えられる。

(2) 2 次変調方式の要件

2 次変調方式としては、シングルキャリア伝送方式とシングルキャリアブロック伝送方式の 2 種類から適する方式を選定した。

- シングルキャリア伝送方式は、遅延波の数に応じて処理量が指数関数的に増加することから、複数の遅延波が存在する環境で使用するにはハードウェアの構成が大規模となるため、テレメーター用の無線設備としては不向きであるものと判断される。
- 一方でシングルキャリアブロック伝送方式は、遅延等化に係る演算処理量が遅延波数に依存せず一定の処理量となり、屋外における運用を前提とした伝搬環境を考慮すると、シングルキャリア伝送方式に比べて有利であると考えられる。

以上より、2 次変調方式としては、屋外での利用が見込まれるテレメーター・テレコントロール用途として、伝搬環境の影響を受けにくいシングルキャリアブロック伝送方式の選定が妥当と考えられる。

3.5.2 画像伝送に必要な帯域幅

今回のテレメーター・テレコントロール用周波数の高度利用として、画像伝送が可能な伝送レートを確保できることが目的の 1 つとして挙げられている。

画像伝送においては大きく静止画と動画に大別される。静止画の場合は、時間を要してもデータを送ることが出来れば再現が可能であるが、動画の場合は、画像圧縮方式により異なるが、所定の伝送レートを確保しないと画像の駒落ちやブロックノイズが発生し、視聴に耐えない状態となる。これらの条件を克服し、動画の伝送が行える無線設備の実現を前提として、必要となる帯域幅を検証した。

(1) 動画伝送の要件

本システムでは、一般的に視聴されているテレビ画像の伝送を目的とするものではなく、あくまでテレメーターとして機能する程度の動画伝送を行えることを条件に検討を行った。

動画フォーマットとしては H.264 フォーマットとし、画像サイズは QVGA (320×240) を用いた。また動画の画像品質としては 1 秒間に 5 枚の画像を送り、画像の駒落ちは許容するが極力ブロックノイズによる画像の破綻を回避するため I フレームのみを送る方

式とした。なお、今回は 5fps の動画とするため基本ビットレートを 120kbps としたが、1 フレームの伝送枚数を低減しビットレートを下げることによって、低レートの伝送路でも伝送はできるものと考えられる。

(2) 動画伝送に必要な帯域幅

無線機においては、1 次変調方式を QPSK 方式とし、データ伝送を行うため、パケット化（プリアンブル、パイロット挿入）、誤り訂正（畳込み符号：拘束長 $K=7$ 、符号化率 $R=1/2$ ）を導入した。この際、実使用周波数帯域幅は、99%電力帯域が 300kHz に収まるよう 275kHz と設定した。

結果より、今回用いた動画フォーマットの基本ビットレート 120kbps に対して、QPSK 方式で実伝送レート 382.8kbps、QPSK+FEC（畳込み符号有）で実伝送レート 190.9kbps が確保できており、この 2 種類の方式において動画の伝送が可能となる。

また、複数チャネルの共用を考慮した場合、帯域幅を 300kHz から 200kHz もしくは 100kHz に狭めた運用も考慮する必要があるが、これらの帯域に狭めた際の実伝送レートは帯域に比例して低下し、QPSK 方式で帯域幅を 200kHz とした場合、実伝送レートは 255.2kbps となる。また QPSK+FEC で帯域幅を 100kHz とした場合、実伝送レートは 127.2kbps であり、今回用いた動画フォーマットは伝送できるものと想定される。

なお 4 値 FSK 方式では、実使用周波数帯域幅 275kHz において実伝送レートは 95.7kbps となり、今回用いた動画フォーマットは伝送できず、フレーム数を削減した動画フォーマットが必要となる。

3.5.3 通信可能エリア

(1) 通信エリアの選定

フィールド試験を行う電波伝搬環境の要件として、郊外型の都市及び平野・山林が広がる開放型の地域を調査した。その結果、これら要件を満足する地域として、岩見沢市のいわみざわ公園を起点とする地域を選定した。いわみざわ公園を起点とした際、北部には郊外型の都市モデルとして岩見沢市の市街があり、西部には開放地見通し環境のモデル、東部には山林等の遅延波環境のモデルが構築でき、電波伝搬特性を測定するうえで必要となる要件を満足している。

これらのモデルを 3 つのエリア A、B、C と区分し、起点となるいわみざわ公園からおおよそ 1km 毎に測定ポイントを設け、最長 6km 付近まで測定を行った。

- エリア A：郊外型の都市モデル
- エリア B：開放地見通し環境のモデル
- エリア C：山林等の遅延波環境のモデル

(2) 各エリアでの伝搬環境

各エリアの各測定ポイントにおいて、受信信号強度、BER、遅延プロファイルを確認した。（測定結果の詳細データは、参考資料 5：フィールド試験結果詳細を参照）

(3) 想定される送信出力

結果より、送信点の空中線地上高 2m のもと、送信出力 5mW ・変調方式 QPSK 方式（誤り訂正あり）の無線送受信装置を使用した場合、開放地見通し環境であるエリア B、及び山林等の遅延波環境となるエリア C において 2km 程度の伝送距離の確保が確認された。一方で、郊外型の都市部となるエリア A においては、周辺の建造物などの影響によりエリア B 及び C よりも短い伝送距離となることが確認された。

同様に、送信点の空中線地上高 22m のもとでは、エリア B 及びエリア C においては 3～4km 程度の伝送距離の確保が確認され、エリア A においては、周辺の建造物などの影響によりエリア B 及び C よりも短い伝送距離となることが確認された。

これらの結果から、広帯域テレメーターをエリア B の開放地見通し環境に近い圃場で使用する場合、今回の実証実験で使用した送信出力 5mW に対し、送信出力を 20mW 程度とすることにより、実運用環境において 5km 程度の伝送距離を確保できるものと考えられる。

なお本調査検討で実施した公開実証試験において、UAV を用いて空中線地上高を 100m 程度まで上げた場合には回線がほぼ見通しとなることから、エリア A 方向においても 5.3km 程の区間でブロックノイズの無い画像伝送を行えることが確認できている。よって送信電力が 100mW 程度あれば、上空で見通しとなる郊外型の都市部環境であれば 10km 程度の通信距離が確保できるものと考えられる。

以上の検討結果より、

- 一般に開放地で、家屋の屋上と圃場のトラクターなどの屋根に空中線を設置して使用する用途であれば、送信出力 20mW 以下が適当と考えられる。この場合、家屋の屋上に空中線地上高 10m 程度の親局用空中線を設置し、センサーとなる機器を子局としてトラクターなどの屋根に空中線地上高 3m 程度の子局用空中線を設置する条件とした場合、半径 5km 程度の範囲でデータの授受が可能となる。
- 郊外型の都市部環境での使用を想定する場合は、建造物などの影響により遮蔽損失が増大することが想定され、同じ伝送距離を得るためには、送信出力を 100mW 程度とすることが適当と考えられる。
- 非常災害時（火山の噴火状態、土砂災害現場等）における利用については、人が立ち入れない環境でもあり、遠距離で安定した通信状態を維持することが重要なため、この様な状況下においては、送信出力 1W での運用が適当と考えられる。なおこの際には、周囲の無線局への干渉等を広範囲に考慮する必要がある。

4. 周波数共用検討

4.1 検討の概要

テレメーター・テレコントロールの高度利用に向け、既存の 169MHz 帯における周波数共用条件について検討を行った。

169MHz 帯には、既に FM-FM 方式もしくは PCM 方式などを用いた広帯域テレメーターとして、計測用テレメーター用に、最大 400kHz の占有帯域幅、空中線電力 1W の 3 波が周波数割当てされている。今回、高度利用に向けた検討に当たり、これらの方式の運用条件内で運用することにより、占有帯域幅 300kHz のもと、既設割当周波数と同様の無線性能を実現し、かつ他のシステムとの共用が行えることを確認した。また、自帯域内運用を想定し、占有帯域幅を 100kHz とした際の帯域内での繰返し条件について検討を行った。

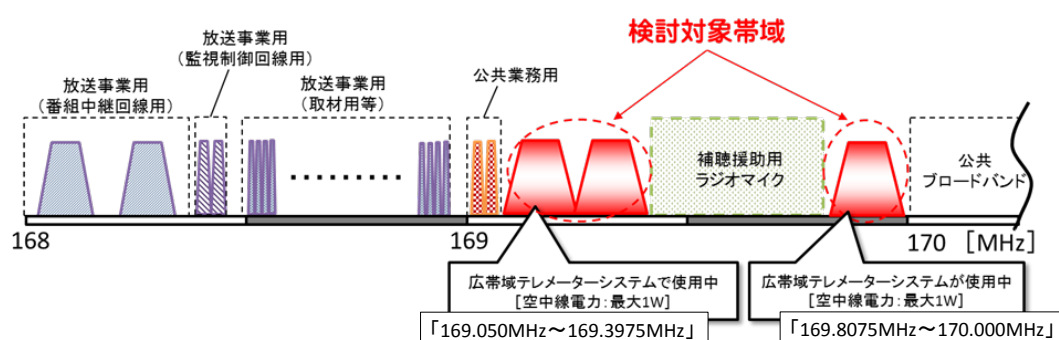


図 4-1 169MHz に近接する周波数帯の状況

4.2 隣接周波数帯を使用するシステムとの共用検討

4.2.1 対象とする周波数帯及び無線システム

今回対象とする周波数帯は、「169.050MHz～169.3975MHz」と「169.8075～170.000MHz」の帯域となる。また共用検討の対象となるシステムは以下のとおりである。

- 放送事業者用連絡無線（取材用等）

放送事業者用連絡無線は、報道取材や番組制作において使用されるものであって、取材内容等の伝達のほか、災害現場等においては取材中継要員の安全を守るための連絡（避難指示等）を行うためのものである。

- 公共業務用無線システム

169MHz 帯は、公共業務用無線システムにより使用されている。

- 広帯域テレメーターシステム

広帯域テレメーターシステムは、自動車や建設機械等の移動体の諸特性を計測する、最大で 1W 出力の工業計測用のテレメーターである。主な使用者は、自動車、オートバイ、建設機械等のメーカー等であり、通常は、研究所のテストコースや試験場等の特定の場所で使用されている。

- 補聴援助用ラジオマイク

補聴援助用ラジオマイクは、話者が装着したマイクロホンから補聴器に音声信号を伝送することで聴力を補うためのシステムである。ろう学校等において使用されるほか、聴覚障害者が個人で所有して、生活場面に応じて活用するものである。

- 公共ブロードバンド移動通信システム（公共用広帯域移動無線システム）

公共用広帯域移動無線システムは、交通事故や犯罪現場、火災や救急搬送などの緊急現場、水害や土砂崩れなどの災害現場といった非常時における現場の映像を遠隔にある対策本部等にリアルタイムで伝送することを可能とする無線システムである。

まず、既存の広帯域テレメーターシステムと本検討の広帯域テレメーターシステムは、同一周波数帯を共用する関係となるが、本検討システムから既存の広帯域テレメーターシステムへの影響は、現に運用されている既存の広帯域テレメーターシステム相互間の影響と同等程度であることから、共用は可能と考えられる。

また、補聴援助用ラジオマイクは、既存の広帯域テレメーターシステムと周波数を共用して運用されているシステムであるが、本検討の広帯域テレメーターシステムは、補聴援助用ラジオマイクとは周波数が重複しないことから、本検討システムから補聴援助用ラジオマイクへの影響は、現状共用して運用されている広帯域テレメーターシステムからの影響よりも少ないものと考えられ、共用は可能と考えられる。

よって以下では、下側隣接帯域との共用検討に関しては、デジタル方式の放送事業者用連絡無線の高群、及び公共業務用無線システムを対象とし、上側隣接帯域との共用検討に関しては、公共用広帯域移動通信システムを対象として検討した。なお上空での利用は、無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルールである飛行高度 150m^{*}を上限として検討した。

* 国土交通省令 航空法施行規則第二百三十六条の二

4.2.2 各システムのパラメータ

共用検討を実施した各無線システム（放送事業者用連絡無線、公共用広帯域移動通信システム、及び広帯域テレメーター）のパラメータを表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 放送事業者用連絡無線のパラメータ

干渉条件	パラメータ項目	基地局		移動局		
				車載機	携帯機	
与干渉	送信出力	50W(47dBm)		50W(47dBm)	5W(37dBm)	
	周波数	高群(168MHz 帯)		低群(166MHz 帯)		
	占有帯域幅	5.8kHz				
	損失	G: 空中線利得	G=10.2dBi	G=4.65dBi	G=2.15dBi	
		L: フィーダ損失	L=3.0dB	L=1.0dB	L=0.0dB	
		F: フィルタ損失	F=4.5dB	F=0.0dB	F=0.0dB	
	空中線高	50m	3m	1.5m		
	隣接チャンネル漏洩電力	-55dB	-55dB	-52dB		
	帯域外領域における スプリアス発射	2.5 μ W 以下又は 基本周波数の平均電力より 60dB 低い値				
スプリアス領域における 不要発射	2.5 μ W 以下又は 基本周波数の搬送波電力より 60dB 低い値					
被干渉	周波数	低群(166MHz 帯)		高群(168MHz 帯)		
	損失	G: 空中線利得	G=10.2dBi	G=4.65dBi	G=2.15dBi	
		L: フィーダ損失	L=3.0dB	L=1.0dB	L=0.0dB	
		F: フィルタ損失	F=4.5dB	F=0.0dB	F=0.0dB	
	空中線高	50m	3m	1.5m		
許容干渉レベル	-106.1dBm/MHz		-100.7dBm/MHz			

出所)「情報通信審議会情報通信技術分科会放送システム委員会 STL/TTL 作業班報告」(平成 27 年 5 月 28 日)

表 4-2 公共用広帯域移動無線システムのパラメータ

干渉条件	パラメータ項目	基地局	移動局		
			可搬型以外	可搬型	
与干渉	送信出力	20W (43dBm)	5W (37dBm)		
	周波数	175.0MHz			
	占有帯域幅	5MHz			
	損失	G: 空中線利得	G=10.0dBi	G=0.0dBi	G=10.0dBi
		L: フィーダ損失	L=2.0dB	L=0.0dB	L=0.0dB
		F: フィルタ損失	F=0.0dB	F=0.0dB	F=0.0dB
	空中線高	30m	1.5m	3m	
下側隣接周波数帯域 に対する最大漏洩電力	-44.0dBm/MHz	-20.0dBm/MHz			
被干渉	周波数	175.0MHz			
	損失	G: 空中線利得	G=10.0dBi	G=0.0dBi	G=10.0dBi
		L: フィーダ損失	L=2.0dB	L=0.0dB	L=0.0dB
		F: フィルタ損失	F=0.0dB	F=0.0dB	F=0.0dB
	空中線高	30m	1.5m	3m	
許容干渉レベル	-101.8dBm/MHz				

出所)「情報通信審議会情報通信技術分科会放送システム委員会 STL/TTL 作業班報告」(平成 27 年 5 月 28 日)

表 4-3 参考：広帯域テレメータのパラメータ (既設システム)

干渉条件	パラメータ項目	計測用テレメータ		騒音テレメータ		
与干渉	送信出力	1W		0.03W		
	周波数	169.25MHz/ 169.65MHz/ 169.81MHz		169.09MHz~ 169.81MHz		
	占有帯域幅	400kHz		30kHz		
	損失	G: 空中線利得	G=0.0dBi			
		L: フィーダ損失	L=0.0dB			
		F: フィルタ損失	F=0.0dB			
隣接チャンネル漏洩電力	-45dB					
被干渉	周波数	169.25MHz/ 169.65MHz/ 169.81MHz		169.09MHz~ 169.81MHz		
	損失	G: 空中線利得	G=0.0dBi			
		L: フィーダ損失	L=0.0dB			
		F: フィルタ損失	F=0.0dB			
	NF	8.0dB	5.0dB	8.0dB	5.0dB	
	ダイバシティ利得	0dB	0dB	0dB		
許容電界強度	55dB μ V/m					

表 4-4 広帯域テレメーターのパラメータ (本検討システム)

干渉条件	パラメータ項目		親局	子局	
与干渉	送信出力		1W (30dBm)		
	周波数		169MHz 帯		
	占有帯域幅		300kHz		
	損失	G: 空中線利得		G=5. 12dBi	
		L: フィーダ損失		L=1. 0dB	
		F: フィルタ損失		F=0. 0dB	
	空中線高		10m	3m(地上)/150m(上空)	
隣接チャネル漏洩電力		-45dB			
被干渉	周波数		169MHz 帯		
	損失	G: 空中線利得		G=5. 12dBi	
		L: フィーダ損失		L=1. 0dB	
		F: フィルタ損失		F=0. 0dB	
	空中線高		10m	3m(地上)/150m(上空)	
許容干渉レベル		-105. 3dBm/MHz*			

*人工雑音を 9.1dB (ITU-R 勧告 P.372 より)、NF を 8.0dB、マージンを 3dB とした。

4. 2. 3 環境条件

(1) 下側隣接システムとの共用条件 (放送事業者用連絡無線)

1) 被干渉モデル

放送事業者用連絡無線の高群の周波数を送信する基地局に、広帯域テレメーターの子局が接近した際の干渉影響を確認した。子局は地上及び上空のケースを対象とし、空間伝搬損失は、子局 (地上) については奥村・秦モデルの郊外型モデルを、子局 (上空) については自由空間伝搬モデルを使用した。

下側隣接システムから広帯域テレメーターへの被干渉モデルを図 4-2 に示す。

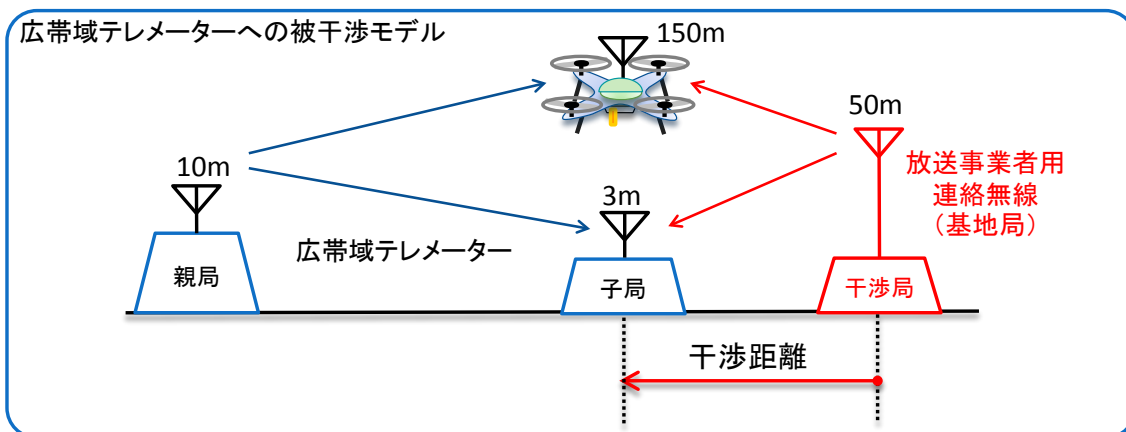


図 4-2 下側隣接システムから広帯域テレメーターへの被干渉モデル

2) 与干渉モデル

放送事業者用連絡無線の移動局（車載機）が、広帯域テレメータの親局または子局（上空）に接近した際の干渉影響を確認した。空間伝搬損失は、親局については奥村・秦モデルの郊外型モデルを、子局（上空）については自由空間伝搬モデルを使用した。

広帯域テレメータから下側隣接システムへの与干渉モデルを図 4-3 に示す。

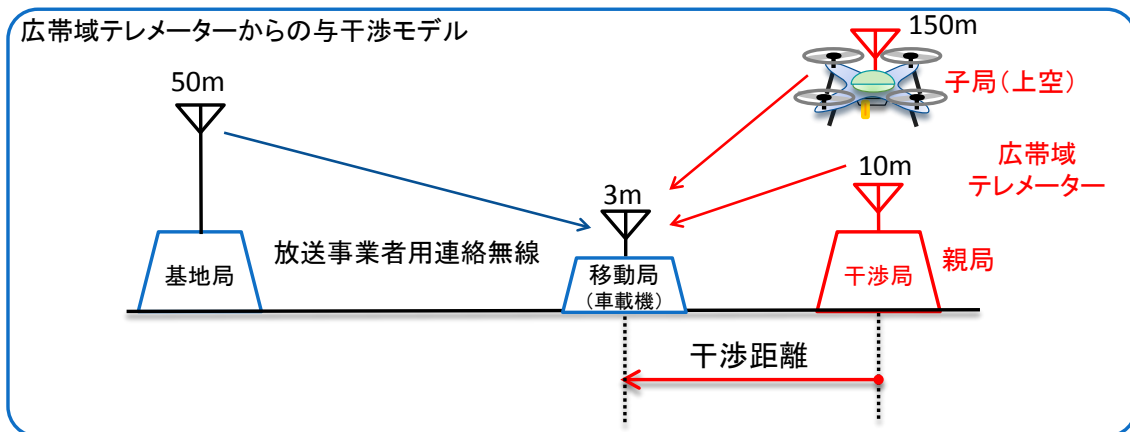


図 4-3 広帯域テレメータから下側隣接システムへの与干渉モデル

(2) 下側隣接システムとの共用条件（公共業務用無線システム）

1) 被干渉モデル

公共業務用無線システムに、広帯域テレメータの子局及び親局が接近した際の干渉影響を確認した。子局は上空のケースを対象とし、空間伝搬損失は、親局については奥村・秦モデルの郊外型モデルを、子局（上空）については自由空間伝搬モデルを使用した。

下側隣接システムから広帯域テレメータへの被干渉モデルを図 4-2 に示す。

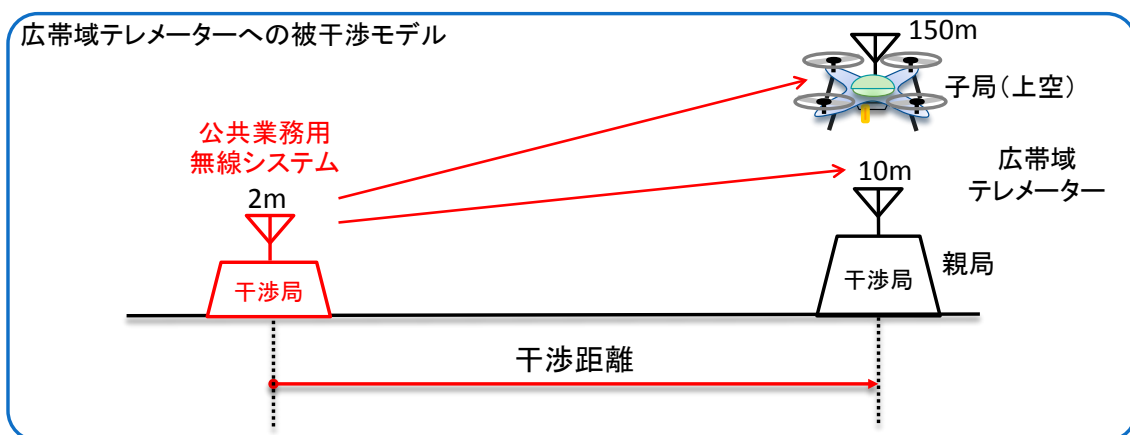


図 4-4 下側隣接システムから広帯域テレメータへの被干渉モデル

2) 与干渉モデル

公共業務用無線システムが、広帯域テレメーターの親局または子局（上空）に接近した際の干渉影響を確認した。空間伝搬損失は、親局については奥村・秦モデルの郊外型モデルを、子局（上空）については自由空間伝搬モデルを使用した。

広帯域テレメーターから下側隣接システムへの与干渉モデルを図 4-3 に示す。

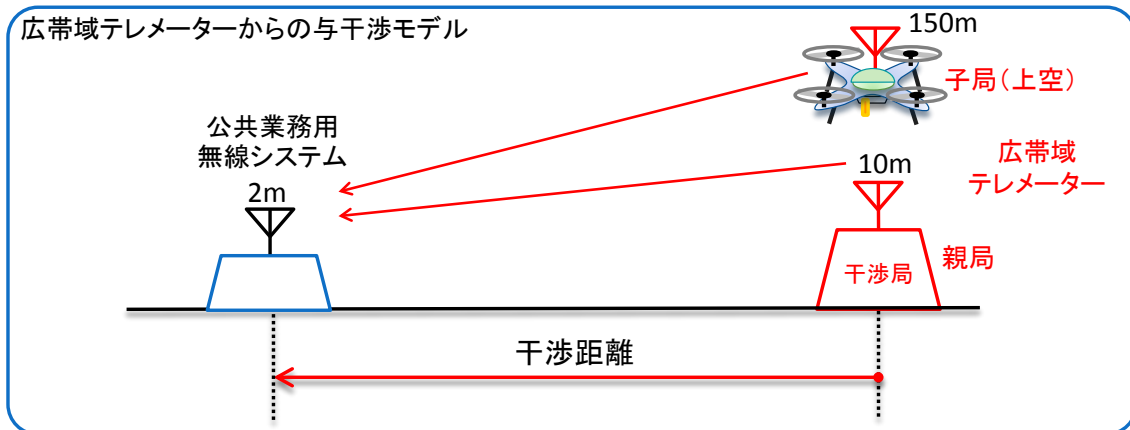


図 4-5 広帯域テレメーターから下側隣接システムへの与干渉モデル

(3) 上側隣接システムとの共用条件

1) 被干渉モデル

公共用広帯域移動無線システムの基地局に、広帯域テレメーターの子局が接近した際の干渉影響を確認した。子局は地上及び上空のケースを対象とし、空間伝搬損失は、子局（地上）については奥村・秦モデルの郊外型モデルを、子局（上空）については自由空間伝搬モデルを使用した。

上側隣接システムから広帯域テレメーターへの被干渉モデルを図 4-6 に示す。

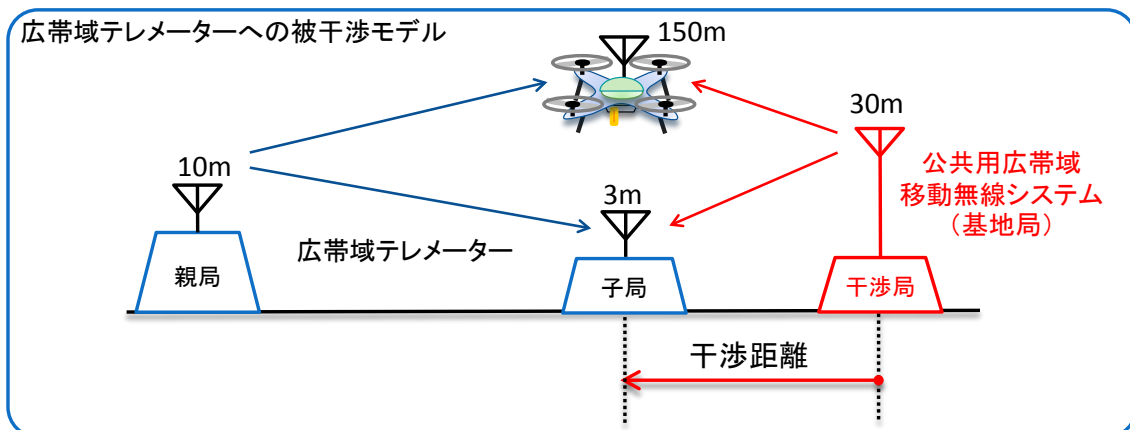


図 4-6 上側隣接システムから広帯域テレメーターへの被干渉モデル

2) 与干渉モデル

公共用広帯域移動無線システムの移動局（可搬型）が、広帯域テレメーターの親局または子局（上空）に接近した際の干渉影響を確認した。空間伝搬損失は、親局については奥村・秦モデルの郊外型モデルを、子局（上空）については自由空間伝搬モデルを使用した。

広帯域テレメーターから上側隣接システムへの与干渉モデルを図 4-7 に示す。

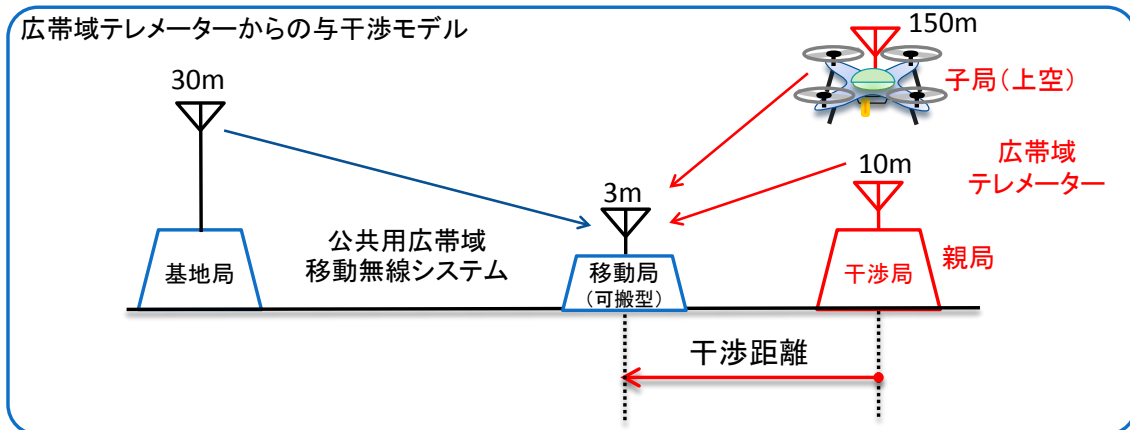


図 4-7 広帯域テレメーターから上側隣接システムへの与干渉モデル

4.2.4 計算結果

(1) 下側隣接システムとの共用条件（放送事業者用連絡無線）

1) 被干渉モデル

放送事業者用連絡無線：基地局から広帯域テレメーター：子局（地上）または子局（上空）への被干渉計算結果を表 4-5 に示す。計算結果より、与干渉局からの到達雑音電力が被干渉局の許容干渉量を下回る離隔距離は、子局（地上）については 3km 程度、子局（上空）については 50km 程度となる。

表 4-5 下側隣接システムから広帯域テレメーターへの被干渉計算結果

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰（奥村・秦）		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
連絡用無線 (基地局)	子局 (地上)	-3	10.2	7.5	5.1	1.0	0.1	61.4	-67.6	-105.3	47.7
							0.3	77.5	-83.7		31.6
							0.5	85.0	-91.2		24.1
							1	95.2	-101.4		13.9
							2	105.3	-111.5		3.8
							3	111.3	-107.5		-2.2

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰 (自由空間)		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
連絡用無線 (基地局)	ロボット (上空)	-3	10.2	7.5	5.1	1.0	1.0	77.0	-73.2	-105.3	32.1
							5.0	91.0	-87.2		18.1
							10	97.0	-93.2		12.1
							20	103.0	-99.2		6.1
							30	106.5	-102.7		2.6
							40	109.0	-105.2		0.1
							50	111.0	-107.2		-1.9

2) 与干渉モデル

広帯域テレメーター：親局または子局（上空）から放送事業者用連絡無線：移動局（車載機）への与干渉計算結果を表 4-6 に示す。計算結果より、与干渉局からの到達雑音電力が被干渉局の許容干渉量を下回る離隔距離は、与干渉局が親局の場合については 700m 程度、子局（上空）の場合については 7km 程度となる。

表 4-6 広帯域テレメーターから下側隣接システムへの与干渉計算結果

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰 (奥村・秦)		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
親局	連絡用無線 (車載機)	-15.0	5.1	1.0	4.7	1.0	0.05	54.9	-62.1	-100.7	38.6
							0.1	66.4	-73.6		27.1
							0.3	84.7	-91.9		8.8
							0.5	93.2	-100.4		0.3
							0.7	98.8	-106.0		-5.3
							1.0	104.7	-112		-11.3

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰 (自由空間)		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
子局 (上空)	連絡用無線 (車載機)	-15.0	5.1	1.0	4.7	1.0	1.0	77.0	-84.2	-100.7	16.5
							2.0	83.0	-90.2		10.5
							5.0	91.0	-98.2		2.5
							7.0	93.9	-101.1		-0.4
							8.0	95.1	-102.3		-1.6

(2) 下側隣接システムとの共用条件 (公共業務用無線システム)

1) 被干渉モデル

公共業務用無線システムから広帯域テレメーター：子局（上空）または親局への被干渉計算結果を表 4-5 に示す。計算結果より、与干渉局からの到達雑音電力が被干渉局の許容干

渉量を下回る離隔距離は、子局（上空）については 60km 程度、親局については 3km 程度となる。

表 4-7 下側隣接システムから広帯域テレメーターへの被干渉計算結果

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰（自由空間）		受信電力 (dBm)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
公共業務用無線局	子局（上空）	0	2.14	0.0	5.1	1	1	77.0	-70.8	-105.3	34.5
							3	86.5	-80.3		25.0
							5	91.0	-84.8		20.5
							10	97.0	-90.8		14.5
							20	103.0	-96.8		8.5
							30	106.5	-100.3		5.0
							40	109.0	-102.8		2.5
							50	111.0	-104.8		0.5
60	112.6	-106.4	-1.1								

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰（奥村・秦）		受信電力 (dBm)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
公共業務用無線局	親局	0	2.14	0.0	5.1	1	0.1	64.2	-57.0	-105.3	48.3
							0.3	81.1	-73.9		31.4
							0.5	88.9	-81.7		23.6
							0.7	94	-86.8		18.5
							1	99.4	-92.2		13.1
							2	110.1	-102.9		2.4
							3	116.2959	-109.1		-3.8

2) 与干渉モデル

広帯域テレメーター：親局または子局（上空）から公共業務用無線システムへの与干渉計算結果を表 4-6 に示す。計算結果より、与干渉局からの到達雑音電力が被干渉局の許容干渉量を下回る離隔距離は、与干渉局が親局の場合については 2km 程度、子局（上空）の場合については 15km 程度となる。

表 4-8 広帯域テレメーターから下側隣接システムへの与干渉計算結果

与干渉	被干渉	送信				受信		距離減衰（拡張秦）		受信電力 (dBm)	許容干渉量 (dBm)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	帯域換算 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
親局	公共業務用無線局	-15.0	-17.9	5.1	1.0	2.14	0.0	0.1	64.2	-90.8	-127	36.2
								0.3	81.1	-107.7		19.3
								0.5	88.9	-115.5		11.5
								0.7	94.0	-120.6		6.4
								1.0	99.4	-126		1
								2.0	110.0	-136.7		-9.7

与干渉	被干渉	送信				受信		距離減衰 (自由空間)		受信電力 (dBm)	許容干渉量 (dBm)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	帯域換算 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
子局 (上空)	公共業務用無線局	-15.0	-17.9	5.1	1.0	2.14	0.0	1	77.0	-103.7	-127	23.3
								2	83.0	-109.7		17.3
								5	91.0	-117.7		9.3
								10	97.0	-123.7		3.3
								15	100.5	-127.2		-0.2
								16	101.1	-127.8		-0.8
								17	101.6	-128.3		-1.3
								18	102.1	-128.8		-1.8

(3) 上側隣接システムとの共用条件

1) 被干渉モデル

公共用広帯域移動無線システム：基地局から広帯域テレメーター：子局（地上）または子局（上空）への被干渉計算結果を表 4-9 に示す。計算結果より、与干渉局からの到達雑音電力が被干渉局の許容干渉量を下回る離隔距離は、子局（地上）については 300m 程度、子局（上空）については 700m 程度となる。

表 4-9 上側隣接システムから広帯域テレメーターへの被干渉計算結果

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰 (自由空間)		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
公共 BB (基地局)	子局 (地上)	-44	10.0	2.0	5.1	1.0	0.01	27.7	-59.6	-105.3	45.7
							0.05	52.3	-84.2		21.1
							0.1	62.9	-88.9		10.5
							0.3	79.7	-98.4		-6.3
							0.5	87.6	-102.8		-14.2

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰 (自由空間)		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
公共 BB (基地局)	子局 (上空)	-44	10.0	2.0	5.1	1.0	0.1	57.0	-88.9	-105.3	16.4
							0.3	66.5	-98.4		6.9
							0.5	70.9	-102.8		2.5
							0.7	73.9	-105.8		-0.5
							1.0	77.0	-108.9		-3.6

2) 与干渉モデル

広帯域テレメーター：親局または子局（上空）から公共用広帯域移動無線システム：移動局（可搬型）への与干渉計算結果をに示す。計算結果より、与干渉局からの到達雑音電力が

被干渉局の許容干渉量を下回る離隔距離は、与干渉局が親局の場合については 1km 程度、子局（上空）の場合については 16km 程度となる。

表 4-10 広帯域テレメーターから上側隣接システムへの与干渉計算結果

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰 (奥村・秦)		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
親局	公共 BB 移動局 (可搬型)	-15.0	5.1	1.0	10.0	0.0	0.1	66.4	-67.3	-101.8	34.5
							0.3	84.7	-85.6		16.2
							0.5	93.2	-94.1		7.7
							0.7	98.8	-99.7		2.1
							1.0	104.7	-105.6		-3.8

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰 (自由空間)		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
子局 (上空)	公共 BB 移動局 (可搬型)	-15.0	5.1	1.0	10.0	0.0	1.0	77.0	-77.9	-101.8	23.9
							2.0	83.0	-83.9		17.9
							5.0	90.9	-91.8		10.0
							7.0	93.9	-94.8		7.0
							10.0	97.0	-97.9		3.9
							15.0	100.5	-101.4		0.4
							16.0	101.0	-101.9		-0.1
							17.0	101.6	-102.5		-1.7

4.2.5 検討結果と考察

(1) 下側隣接システムとの共用条件（放送事業者用連絡無線）

1) 被干渉モデル

広帯域テレメーターは、放送事業者用連絡無線の不要発射により影響を受けることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は地上利用で 3km 程度、空中利用で 50km 程度であるが、広帯域テレメーター及び放送事業者用連絡無線は双方共に移動業務であることを踏まえると、実運用環境下においては指向性減衰が見込まれること及び実力値による更なる減衰が見込まれることから、広帯域テレメーター側における継続的な被干渉が起こる可能性は低く、共用は可能と考えられる。

2) 与干渉モデル

放送事業者用連絡無線に対しては、広帯域テレメーターの不要発射が影響を与えることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（空中線電力 1W を上空で利用）で 7km 程度となる。一方で、広帯域テレメーターを上空で利用する場合には 10mW 程度の空中線電力でも十分な距離の伝搬が可能であることを踏まえれば、上空

利用の場合は 10mW で運用されることが想定され、この場合の所要の離隔距離は 700m 程度となる。広帯域テレメーター及び放送事業者用連絡無線は双方が移動業務であり、その運用状況を勘案すると継続した干渉が発生する確率は低いこと、また、離隔距離が必要となる 1W の空中線電力は主に地上での運用と考えられること、更に離調周波数が少ない既存の無線システムとの間でも共用が図られていることから、広帯域テレメーターとの共用は可能と考えられる。

なお、放送事業者用連絡無線については、災害現場等において、広帯域テレメーターと近接して使用されることが想定されることから、災害発生時等においては、広帯域テレメーター側において、放送事業者用連絡無線の運用状況に配慮しつつ、必要に応じて両者間で運用の調整を行う事により、共用することが可能と考えられる。

(2) 下側隣接システムとの共用条件（公共業務用無線システム）

1) 被干渉モデル

広帯域テレメーターは、公共業務用無線システムの不要発射により影響を受けることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は地上利用で 3km 程度、空中利用で 60km 程度であるが、広帯域テレメーター及び公共業務用無線システムは双方共に移動業務であることを踏まえると、継続した干渉が発生する確率は低いこと、また実力値による更なる減衰が見込まれることから、広帯域テレメーター側における継続的な被干渉が起こる可能性は低く、共用は可能と考えられる。

2) 与干渉モデル

公共業務用無線システムに対しては、広帯域テレメーターの不要発射が影響を与えることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（空中線電力 1W を上空で利用）で 15km 程度となる。一方で、広帯域テレメーターを上空で利用する場合には 10mW 程度の空中線電力でも十分な距離の伝搬が可能であることを踏まれば、上空利用の場合は 10mW で運用されることが想定され、この場合の所要の離隔距離は 2km 程度となる。広帯域テレメーター及び公共業務用無線システムは双方が移動業務であり、その運用状況を勘案すると継続した干渉が発生する確率は低いこと、また、離隔距離が必要となる 1W の空中線電力は主に地上での運用と考えられることから、ロボット用無線システムとの共用は可能と考えられる。

(3) 上側隣接システムとの共用条件

1) 被干渉モデル

公共用広帯域移動無線システムの不要発射により、広帯域テレメーターは影響を受けることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（広帯域テレメーターを上空で利用）でも 300m 程度であり、広帯域テレメーター側において、公共用広帯域移動無線システムの運用状況に配慮することで共用は可能と考えられる。

2) 与干渉モデル

公共用広帯域移動無線システムに対しては、広帯域テレメータの不要発射が影響を与えることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（空中線電力 1W を上空で利用）で 16km 程となる。一方で、広帯域テレメータを上空で利用する場合には 10mW 程度の空中線電力でも十分な距離の伝搬が可能であることを踏まえれば、上空利用の場合は 10mW で運用することが想定され、この場合の所要の離隔距離は 1~2km となる。このため、広帯域テレメータ側において、公共用広帯域移動無線システムの運用状況に配慮しつつ、災害現場等で公共用広帯域移動無線システムと広帯域テレメータが接近して運用される場合には必要に応じて両者間で運用の調整を行う事により、共用することが可能と考えられる。

4.3 自帯域内での繰返し条件の検討

4.3.1 検討方針

自帯域となる 169.250MHz を中心とした 400kHz の帯域内に占有帯域幅 100kHz の 2 波を配置する事を仮定し、繰返し条件として図 4-8 に示すように、2 波の周波数間隔を 100kHz とする「隣接チャンネル検討」と、200kHz とする「次隣接チャンネル検討」を実施した。検討に用いたパラメータを表 4-11 に示す。

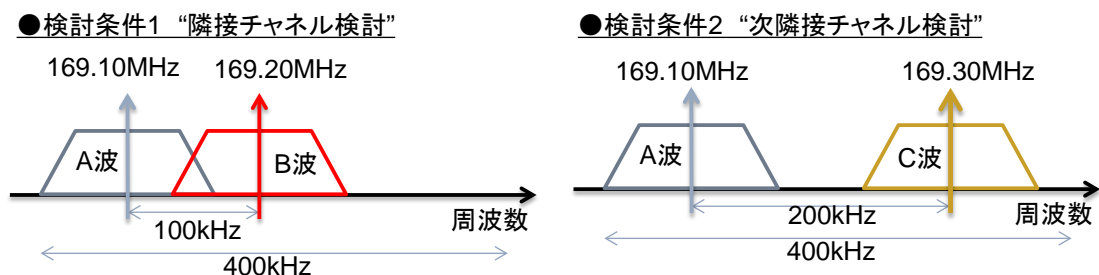


図 4-8 自帯域内での繰返し条件の検討における検討条件

表 4-11 自帯域内での繰返し条件の検討に用いたパラメータ

パラメータ項目	テレメータ
中心周波数	A 波: 169.10MHz B 波: 169.20MHz C 波: 169.30MHz
占有帯域幅	100kHz
シンボルレート	80kHz
所要 CINR	10 dB
ノイズフロア	-112dBm
環境劣化マージン	3dB

各検討条件の下で、計算機シミュレーションで取得したスペクトラムを図 4-9 に示す。自局チャンネルに対して、隣接チャンネル、または次隣接チャンネルから漏れこむ電力が干渉電力となる。干渉電力および自局からの電力は、各局との相対的な距離により変化する。

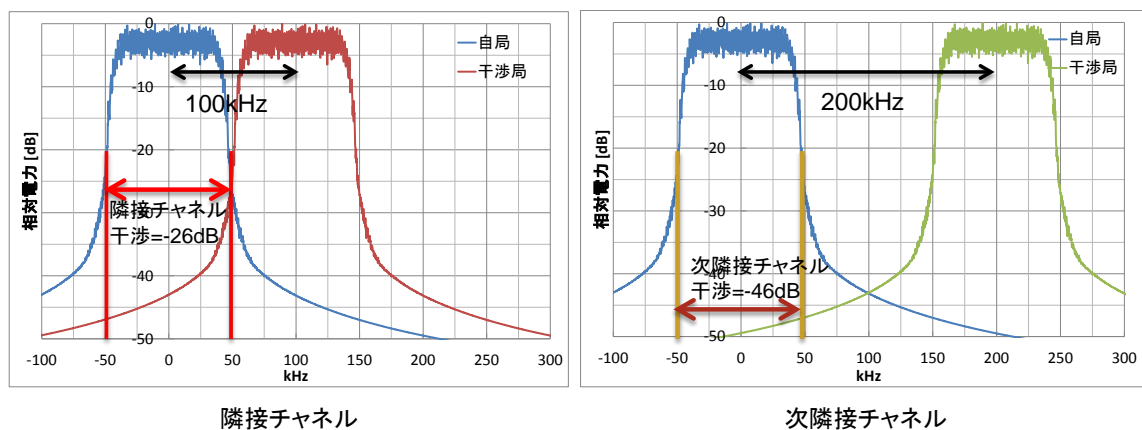


図 4-9 計算機シミュレーションで取得したスペクトラム

4.3.2 環境条件

本検討では、親局、子局及び干渉局について、3局すべてを陸上に開設した場合である「陸上利用時」と、子局のみ上空に開設した場合の「上空利用時」の2つの条件下で検討を実施した。

1) 陸上利用時

陸上に親局と子局及び干渉局が開設された場合を前提として検討を行った。環境条件の概要を図 4-10 に示す。干渉局と親局の離隔距離を 2km、6km、10km の3段階とし、子局の移動範囲を親局から干渉局までの間とした時の、親局・子局間の通信に対する干渉影響を確認した。空間伝搬損失には奥村・秦モデルの郊外型モデルを使用した。

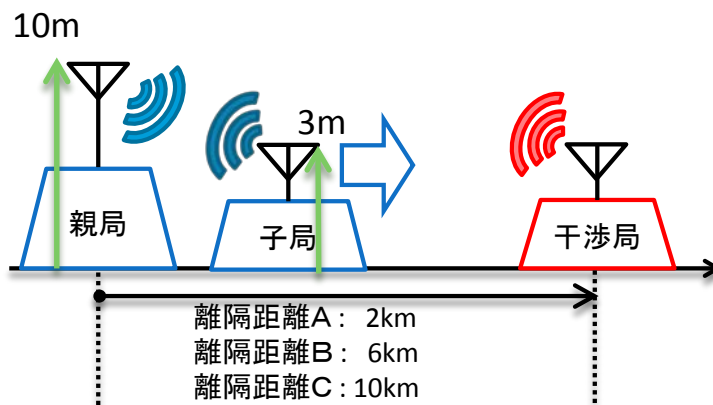


図 4-10 陸上利用時の環境条件

2) 上空利用時

陸上に親局と干渉局が開設され、上空に子局が開設された場合を前提として検討を行った。環境条件の概要を図 4-11 に示す。陸上利用時と同様に、干渉局と親局の離隔距離を 2km、6km、10km の 3 段階とし、子局の移動範囲を親局から干渉局までの間とした時の、親局・子局間の通信に対する干渉影響を確認した。空間伝搬損失には奥村・秦モデルの郊外型モデルを使用した。

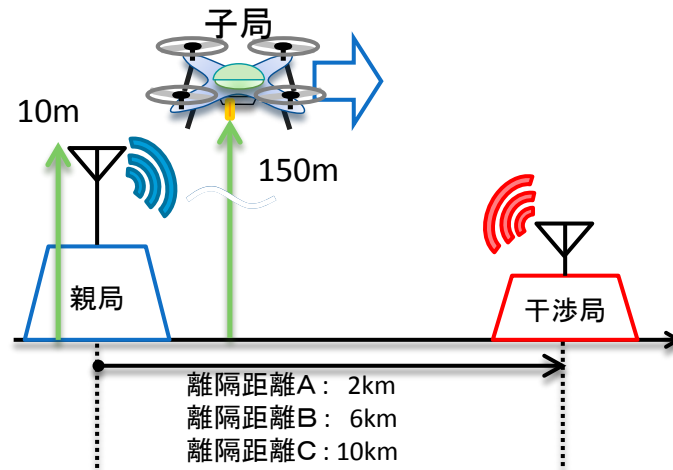


図 4-11 上空利用時の環境条件

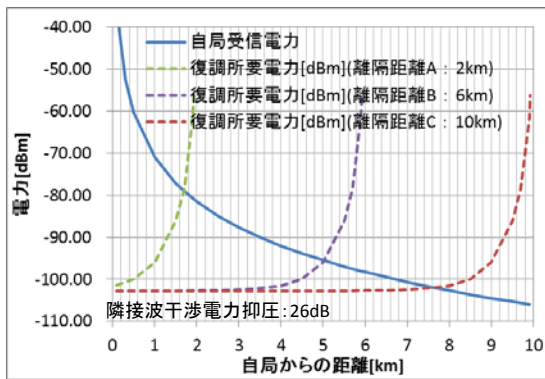
4.3.3 計算結果

1) 陸上利用時

「隣接チャネル検討」及び「次隣接チャネル検討」における計算結果を図 4-12 に示す。ここでは、青線は自局からの受信電力を示し、破線は復調に必要な受信電力を示し、無線局の間隔毎に緑線：2km、紫線：6km、赤線：10km としている。

自局から距離が離れるにしたがい受信電力が減衰し、一方で、干渉局の近傍になるに従い干渉電力が高くなるため、復調に必要な所要電力が高くなることがわかる。また、隣接波を使用した場合の方が、次隣接波を使用した場合に比べ、干渉電力が大きくなることがわかる。

検討条件1 隣接波との干渉



検討条件2 次隣接波との干渉

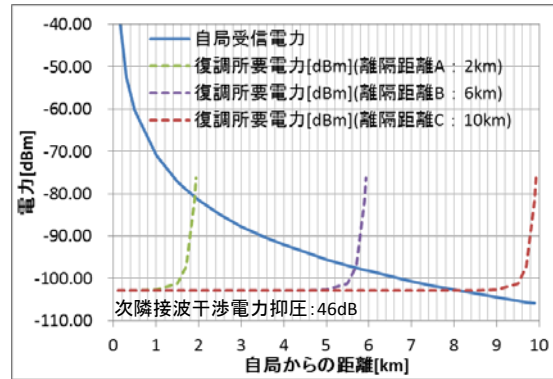


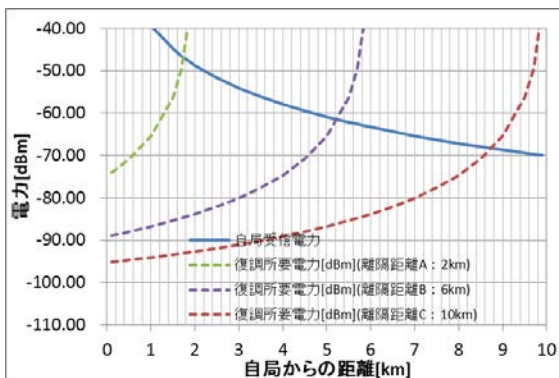
図 4-12 陸上利用時の計算結果

2) 上空利用時

「隣接チャネル検討」及び「次隣接チャネル検討」における計算結果を図 4-13 に示す。陸上利用時と同様に、青線は自局からの受信電力を示し、破線は復調に必要な受信電力を示し、無線局の間隔毎に緑線：2km、紫線：6km、赤線：10km としている。

陸上利用時と同傾向は同じであるが、損失が低下したことにより親局の受信電力は高くなっている。

検討条件1 隣接波との干渉



検討条件2 次隣接波との干渉

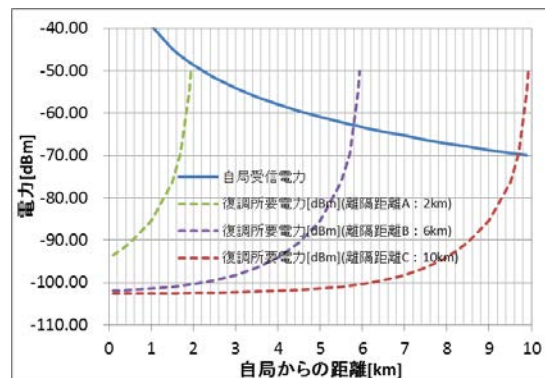


図 4-13 上空利用時の計算結果

4.3.4 検討結果と考察

1) 陸上利用時

a. 隣接チャネルからの干渉

親局と干渉局の距離が近くなるに従い、通信可能距離は短くなる。離隔距離が 10km の場合は、干渉電力に比べて親局の受信機における熱雑音が支配的となり、通信可能距離に影響はない。離隔距離が 6km まで近づくと、干渉局の影響により通信可能距離は短くなる。

b. 次隣接チャンネルからの干渉

希望波への漏洩電力が少ないため干渉波の影響は非常に軽微となる。離隔距離が 2km の場合においても、干渉局から 100m 以上離れた地域では干渉局の影響は無く、自帯域内における共用は可能といえる。

本検証により得られた各検討条件における通信可能距離を表 4-12 に示す。

表 4-12 陸上利用時における通信可能距離

検討条件	通信可能距離	
	隣接チャンネル (周波数間隔 100kHz)	次隣接チャンネル (周波数間隔 200kHz)
離隔距離 A (2km)	1.6km (干渉局から 0.4km は使用不可)	1.9km (干渉局から 0.1km は使用不可)
離隔距離 B (6km)	5.0km (干渉局から 1.0km は使用不可)	5.6km (干渉局から 0.4km は使用不可)
離隔距離 C (10km)	7.6km (ほぼ影響なし)	8.0km (影響なし)

2) 上空利用時

陸上利用時に比べ、全般的に使用可能範囲は拡大しているが、結果は陸上利用と同じ傾向を示しており、上空利用においても陸上利用と同じ共用条件で利用が可能と判断できる。

参考

上述の占有帯域幅 100kHz に対して、参考として、当該帯域での使用が 1 波となる占有帯域幅 300kHz の場合について、4.2 と同様に、陸上利用時の親局同士及び親局・子局間の許容干渉レベルを下回る離隔距離の計算結果を表 4-13 に示す。

当該帯域幅の場合には、親局同士の離隔距離は 2km、干渉側親局と子局間の離隔距離は 0.7km で共用可能となる。さらに、3.5.3 において農業用途等で適当とした送信電力 20mW の場合の計算結果を表 4-14 に示す。この場合には、親局同士の離隔距離は 0.7km、干渉側親局と子局間の離隔距離は 0.3km となる。以上より、想定される占有帯域幅及び送信電力のもとで、同一周波数の繰り返し利用を含み、実用上問題なく複数回線の同時利用は可能と考えられる。

表 4-13 広帯域テレメータ間の干渉計算結果

	周波数	169.0 MHz
テレメータ	送信電力	30.0 dBm
	送信空中線利得	5.1 dBi
	送信給電線損失	1.0 dB
	送信フィルタ損失	0.0 dB
	漏洩電力	-15.0 dBm/MHz
	送信高	10.0 m
テレメータ	受信空中線利得	5.1 dBi
	受信給電線損失	1.0 dB
	受信フィルタ損失	0.0 dB
	受信高	10.0 m
	許容干渉量	-105.3 dBm/MHz

【与干渉】
広帯域テレメータ：親局
【被干渉】
広帯域テレメータ：親局

与干渉	被干渉	許容干渉量 (dBm/MHz)	漏洩電力 (dBm/MHz)	距離減衰(郊外型)		到達雑音電力 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
				距離(km)	減衰量(dB)		
テレメータ	テレメータ	-105.3	-15	0.01	15.6	-22.4	82.9
		-105.3	-15	0.05	42.4	-49.2	56.1
		-105.3	-15	0.10	54.0	-60.7	44.6
		-105.3	-15	0.30	72.3	-79.0	26.3
		-105.3	-15	0.50	80.8	-87.6	17.7
		-105.3	-15	0.70	86.4	-93.2	12.1
		-105.3	-15	1.00	92.3	-99.1	6.2
		-105.3	-15	2.00	103.9	-110.6	-5.3
		-105.3	-15	3.00	110.6	-117.4	-12.1
		-105.3	-15	4.00	115.4	-122.2	-16.9
-105.3	-15	5.00	119.1	-125.9	-20.6		

	周波数	169.0 MHz
テレメータ	送信電力	30.0 dBm
	送信空中線利得	5.1 dBi
	送信給電線損失	1.0 dB
	送信フィルタ損失	0.0 dB
	漏洩電力	-15.0 dBm/MHz
	送信高	10.0 m
テレメータ	受信空中線利得	5.1 dBi
	受信給電線損失	1.0 dB
	受信フィルタ損失	0.0 dB
	受信高	3.0 m
	許容干渉量	-105.3 dBm/MHz

【与干渉】
広帯域テレメータ：親局
【被干渉】
広帯域テレメータ：子局(地上)

与干渉	被干渉	許容干渉量 (dBm/MHz)	漏洩電力 (dBm/MHz)	距離減衰(郊外型)		到達雑音電力 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
				距離(km)	減衰量(dB)		
テレメータ	テレメータ	-105.3	-15	0.01	28.0	-34.8	70.5
		-105.3	-15	0.05	54.9	-61.6	43.7
		-105.3	-15	0.10	66.4	-73.2	32.1
		-105.3	-15	0.30	84.7	-91.5	13.8
		-105.3	-15	0.50	93.2	-100.0	5.3
		-105.3	-15	0.70	98.8	-105.6	-0.3
		-105.3	-15	1.00	104.7	-111.5	-6.2
		-105.3	-15	2.00	116.3	-123.1	-17.8
		-105.3	-15	3.00	123.0	-129.8	-24.5
		-105.3	-15	4.00	127.8	-134.6	-29.3
-105.3	-15	5.00	131.6	-138.3	-33.0		

表 4-14 広帯域テレメータ間の干渉計算結果 (送信電力 20mW の場合)

	周波数	169.0 MHz
テレメータ	送信電力	13.0 dBm
	送信空中線利得	5.1 dBi
	送信給電線損失	1.0 dB
	送信フィルタ損失	0.0 dB
	漏洩電力	-32.0 dBm/MHz
	送信高	10.0 m
テレメータ	受信空中線利得	5.1 dBi
	受信給電線損失	1.0 dB
	受信フィルタ損失	0.0 dB
	受信高	10.0 m
	許容干渉量	-105.3 dBm/MHz

【与干渉】
広帯域テレメータ：親局
【被干渉】
広帯域テレメータ：親局

与干渉	被干渉	許容干渉量 (dBm/MHz)	漏洩電力 (dBm/MHz)	距離減衰(郊外型)		到達雑音電力 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
				距離(km)	減衰量(dB)		
テレメータ	テレメータ	-105.3	-32	0.01	15.6	-39.4	65.9
		-105.3	-32	0.05	42.4	-66.2	39.1
		-105.3	-32	0.10	54.0	-77.7	27.6
		-105.3	-32	0.30	72.3	-96.0	9.3
		-105.3	-32	0.50	80.8	-104.6	0.7
		-105.3	-32	0.70	86.4	-110.2	-4.9
		-105.3	-32	1.00	92.3	-116.1	-10.8
		-105.3	-32	2.00	103.9	-127.6	-22.3
		-105.3	-32	3.00	110.6	-134.4	-29.1
		-105.3	-32	4.00	115.4	-139.2	-33.9
		-105.3	-32	5.00	119.1	-142.9	-37.6

	周波数	169.0 MHz
テレメータ	送信電力	13.0 dBm
	送信空中線利得	5.1 dBi
	送信給電線損失	1.0 dB
	送信フィルタ損失	0.0 dB
	漏洩電力	-32.0 dBm/MHz
	送信高	10.0 m
テレメータ	受信空中線利得	5.1 dBi
	受信給電線損失	1.0 dB
	受信フィルタ損失	0.0 dB
	受信高	3.0 m
	許容干渉量	-105.3 dBm/MHz

【与干渉】
広帯域テレメータ：親局
【被干渉】
広帯域テレメータ：子局(地上)

与干渉	被干渉	許容干渉量 (dBm/MHz)	漏洩電力 (dBm/MHz)	距離減衰(郊外型)		到達雑音電力 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
				距離(km)	減衰量(dB)		
テレメータ	テレメータ	-105.3	-32	0.01	28.0	-51.8	53.5
		-105.3	-32	0.05	54.9	-78.6	26.7
		-105.3	-32	0.10	66.4	-90.2	15.1
		-105.3	-32	0.30	84.7	-108.5	-3.2
		-105.3	-32	0.50	93.2	-117.0	-11.7
		-105.3	-32	0.70	98.8	-122.6	-17.3
		-105.3	-32	1.00	104.7	-128.5	-23.2
		-105.3	-32	2.00	116.3	-140.1	-34.8
		-105.3	-32	3.00	123.0	-146.8	-41.5
		-105.3	-32	4.00	127.8	-151.6	-46.3
		-105.3	-32	5.00	131.6	-155.3	-50.0

5. 技術的条件の策定

広帯域テレメーター・テレコントロール用無線局に適した無線システムの技術的条件については、以下のとおり定めることが適当である。

5.1 一般的条件

5.1.1 周波数

「169.050MHz～169.3975MHz」及び「169.8075MHz～170.000MHz」であること。

5.1.2 通信方式

単向・同報・単信・複信の各方式とする。

5.2 無線設備の技術的条件

5.2.1 送信装置の条件

(1) 周波数の許容偏差

± 3.0×10^{-6} 以内であること。

(2) 占有周波数帯幅の許容値

300kHz 以内であること。

(3) スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値

無線設備規則別表第3号に定めるとおり、以下のとおりとすることが適切である。

帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値 : 100 μ W 以下

スプリアス領域における不要発射の強度の許容値 : 50 μ W 以下

(4) 空中線電力及びその許容偏差

空中線電力は、1W（等価等方輻射電力 3.25W）以下とし、その許容偏差は、上限 20%、下限 50%以下とすること。

(5) 隣接チャネル漏えい電力

(ア) 占有周波数帯幅が 100kHz 以内のものにあつては、搬送波の周波数から 100kHz 離れた周波数の（±）50kHz の帯域内に輻射される電力が、搬送波電力より 45 デシベル以上低いこと。

(イ) 占有周波数帯幅が 100kHz を超え 200kHz 以内のものにあつては、搬送波の周波

数から 200kHz 離れた周波数の (±) 100kHz の帯域内に輻射される輻射される電力が、搬送波電力より 45 デシベル以上低いこと。

- (ウ) 占有周波数帯幅が 200kHz を超え、300kHz 以内のものにあつては、搬送波の周波数から 300kHz 離れた周波数の (±) 150kHz の帯域内に輻射される輻射される電力が、搬送波電力より 45 デシベル以上低いこと。

(6) 送信空中線利得

5.12dBi 以下であること。

5.2.2 受信装置の条件

(1) 副次的に発する電波等の限度

4 nW 以下であること。

5.3 測定法

国内で一般的に適用されている VHF 帯無線設備等の測定法に準ずることが適当であるが、今後、国際電気標準会議 (IEC) 等の国際的な動向を踏まえて対応することが望ましい。

測定に用いる変調入力信号は、特別の規定がない限り、データ端子から与えた標準符号化試験信号 (符号長 511 ビット 2 値擬似雑音系列) とするか又は装置内で発生した標準符号化試験信号とする。また、専用の動作モード (テスト・モード) がある場合はそれによる。

なお、空中線接続端子がない場合の測定法は、試験時に測定用の空中線接続端子 (臨時に設ける試験用端子を含む。) を設けることが困難な場合にのみ適用すること。

5.3.1 送信装置

(1) 周波数の偏差

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷 (インピーダンス整合回路又は減衰器等) を接続し、無変調波 (搬送波) を送信した状態で周波数計を用いて平均値 (バースト波にあつてはバースト内の平均値) を測定すること。

イ 空中線接続端子がない場合

(ア) の条件又は適当な RF 結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

(ア) 測定条件

a 測定場所の条件

昭和 63 年郵政省告示第 127 号 (発射する電波が著しく微弱な無線局の電界

強度の測定方法) の条件に準じて、試験機器を木その他絶縁材料により作られた高さ 1.5 m の回転台の上に設置して測定することとし、測定距離 3 m 以上の電波暗室又は地面反射波を抑圧したテストサイトとすること。この場合において、テストサイトの測定用空中線は、指向性のものを用いること。また、試験機器の大きさが 60 cm を超える場合は、測定距離をその 5 倍以上として測定すること。

b 試験機器の条件

電源ケーブル、外部インターフェースケーブル等のケーブルが付属する場合、空中線の形状が変化する場合及び金属板等により放射特性が影響を受ける場合においては最大の放射条件となる状態を特定して測定すること。

(2) 占有周波数帯幅

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えたときに得られるスペクトル分布の全電力を、スペクトルアナライザ等を用いて測定し、スペクトル分布の上限及び下限部分におけるそれぞれの電力和が全電力の 0.5 % となる周波数帯幅を測定すること。

なお、標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち占有周波数帯幅が最大となる信号で変調をかける。

イ 空中線接続端子がない場合

(1) イ(ア)の条件又は適当な RF 結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

(3) スプリアス発射又は不要発射の強度

帯域外領域におけるスプリアス発射の強度及びスプリアス領域における不要発射の強度の測定は、以下のとおりとすることが適当である。この場合において、参照帯域幅は技術的条件で定められた値に設定すること。スプリアス領域における不要発射の強度の測定を行う周波数範囲については、可能な限り 9 kHz から 110 GHz までとすることが望ましい。ただし、当面の間は 9 kHz から第 10 次高調波までとすることができる。

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、帯域外領域におけるスプリアス発射測定の際は無変調状態、スプリアス領域における不要発射測定の際は標準符号化試験信号を入力信号として加えた変調状態に設定し、スプリアス発射成分又は不要発射成分の平均電力（バースト波にあっては、バースト内の平均電力）を、スペクトルアナライザ等を用いて測定すること。

なお、標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には通常運用に使用される信号で変調をかける。

試験用端子が空中線接続端子と異なる場合は、空中線接続端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により等価等方輻射電力を測定し、スプリアス発射周波数又は不要発射周波数における送信空中線利得(試験申込者申告値)を除いて送信装置出力点での強度に換算を行うものとする。

(4) 空中線電力の偏差

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えた変調状態(4値FSK変調方式にあつては、フレーム構造を含まない変調状態に設定してもよい。)とし、高周波電力計等を用いて平均電力を測定すること。

なお、標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち空中線電力が最大となる信号で変調をかける。

また、連続送信波によって測定することが望ましいが、バースト波にて測定する場合は、送信時間率(電波を発射している時間/バースト繰り返し周期)が最大となる値で一定の値としてバースト繰り返し周期よりも十分長い区間における平均電力を測定し、送信時間率の逆数を乗じてバースト内平均電力を算出する。

試験用端子が空中線接続端子と異なる場合は、空中線接続端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により等価等方輻射電力を測定し、送信空中線利得(工事設計書等に記載された値)を除いて送信装置出力点での空中線電力に換算を行うものとする。

ただし、偏波面の特定が困難な場合は、水平偏波及び垂直偏波にて求めた空中線電力の最大値に3dB加算すること。

(5) 隣接チャネル漏洩電力

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えた変調状態として、スペクトルアナライザ等を用いて搬送波の電力及び搬送波から隣接チャネル間隔離れた周波数において技術的条件で定められる帯域内の電力を測定し、搬送波の電力との比を求め隣接チャネル漏えい電力を算出すること。

なお、標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち占有周波数帯幅が最大となる信号で変調をかける。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

5.3.2 受信装置

(1) 副次的に発する電波等の限度

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、受信装置を連続受信状態として、スペクトルアナライザ等を用いて測定すること。

試験用端子が空中線接続端子と異なる場合は、空中線接続端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により副次発射の強度を測定し、副時発射周波数における受信空中線利得(試験申込者申告値)を除いて受信装置入力点での強度に換算を行うものとする。

6. テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用方法等の提言

テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用方法として想定される、農業分野、災害時等での利用を中心として以下にまとめる。

(1) 農業分野における高度利用方法について

近年我が国では平成 27 年までの 5 年間で基幹的農業従事者が 23 万人減少し、高齢化が進み平均年齢は 66.5 歳となっているなど、農業生産の深刻な労働力不足及び農業を基幹産業としている地方経済の疲弊と人口減、また農業大規模化への対応が喫緊の課題となっている。これらの課題に対するソリューションとして、トラクター等農業機械において GPS 等 GNSS を用いた自動走行システム等を活用することで作業の自動化を行い、作業能力の限界を打破し、これまでにない大規模・低コスト生産の実現が政府の重点分野とされている。トラクター等の自動化により、労働生産性の向上が図られ、人間の能力を超える作業精度、24 時間作業、複数台の協調作業による作業能率向上、さらには、作業履歴の自動収集・管理による生産物の低コスト化及び品質管理体制の向上が見込まれる。さらに鳥獣監視センサーによる情報、気象情報等を収集することにより、総合的に農業をバックアップする体制の整備が可能となることが想定される（図 6-1 参照）。

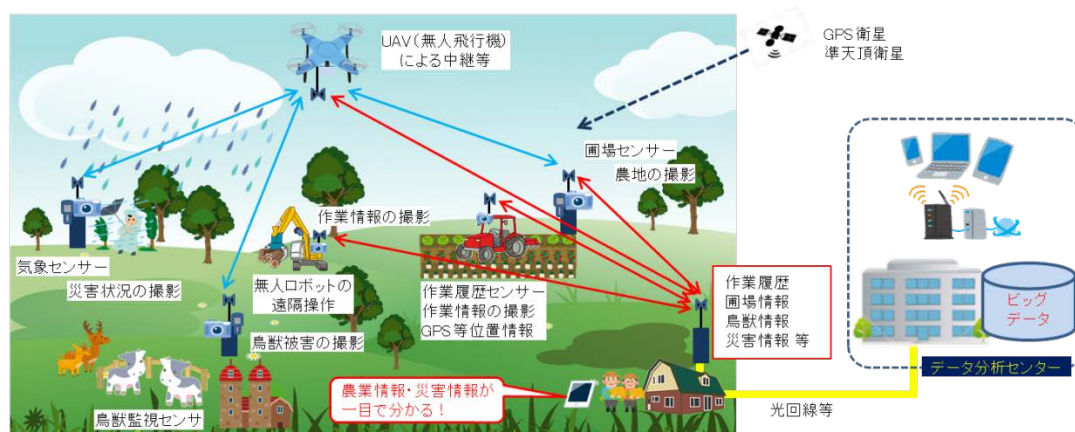


図 6-1 テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用方法例概略図

トラクター自動化の研究開発は、オートステアリングシステム、有人-無人協調作業システム、無人作業システム、完全無人のロボット農業といった発展のステップが想定されるが、この実現には電波が重要な要素となっている。GPS 等 GNSS 衛星からの情報と高精度測位補強信号の送信により自動化が実現されることに加え、圃場における夜間の自動作業状況や完全無人作業状況を自宅等の管制室から遠隔で監視を行うために、無線情報通信システムの整備が必須となっている。特に、丘陵地帯等では管制室から圃場が見通し外となる可能性があり、高度利用のニーズが存在するものと考えられる（図 6-2 参照）。



図 6-2 ロボット農業概略図

出所) 公開実証試験説明会資料「農業のロボット化と必要な電波利用」北海道大学 野口伸教授

農業分野における高度利用が普及した場合には、近隣にて同時に複数の回線利用の状況が想定されるが、4. の周波数共用検討の結果より、例えば 169.050MHz から 169.3975MHz において、占有帯域幅 100kHz かつ隣接チャネルの同時使用のもとでは、親局同士の離隔距離が 2km、干渉側親局と子局間の離隔距離が 0.1km の場合でも共用可能である。

また、当該帯域での使用が 1 波となる占有帯域幅 300kHz の場合にも、親局同士の離隔距離が 2km、干渉側親局と子局間の離隔距離が 0.7km で共用可能である。さらに、3.5.3 において農業用途等で適当とした送信電力 20mW 以下の場合には、親局同士の離隔距離は 0.7km、干渉側親局と子局間の離隔距離は 0.3km となる。以上より、想定される占有帯域幅及び送信電力のもとで、同一周波数の繰り返し利用を含み、実用上問題なく複数回線の同時利用は可能と考えられる。

(2) その他の分野における高度利用方法について

その他のテレメーター・テレコントロールの高度利用方法として、公共業務用等の各種センサーと併用した監視用途が挙げられる。例として、水門センサーによる水位上昇検知・自動水門遮蔽における障害停止時の現場状況映像送信等でのテレメーター・テレコントロールシステム利用の運用イメージを図 6-3 に示す。昨今では実際に東日本大震災において水門操作により被災した作業員が存在したため、現在、各自治体および国交省が中心となり、水門等の自動化・遠隔操作化が行われているが、その際、災害に強く、地震や津波でも断線しづらい無線回線の採用が求められている。ここで、画像・映像以外の監視制御データについては無線回線を利用している場合が多いものの、特に、水門の画像・映像データについては、現状において有線回線を用いている場合が多く、本調査で検討を行った画像伝送が可能な伝送レートを確保できる広帯域テレメーター・テレコントロールを用いた無線システムの導入ニーズが期待できるものと考えられる。

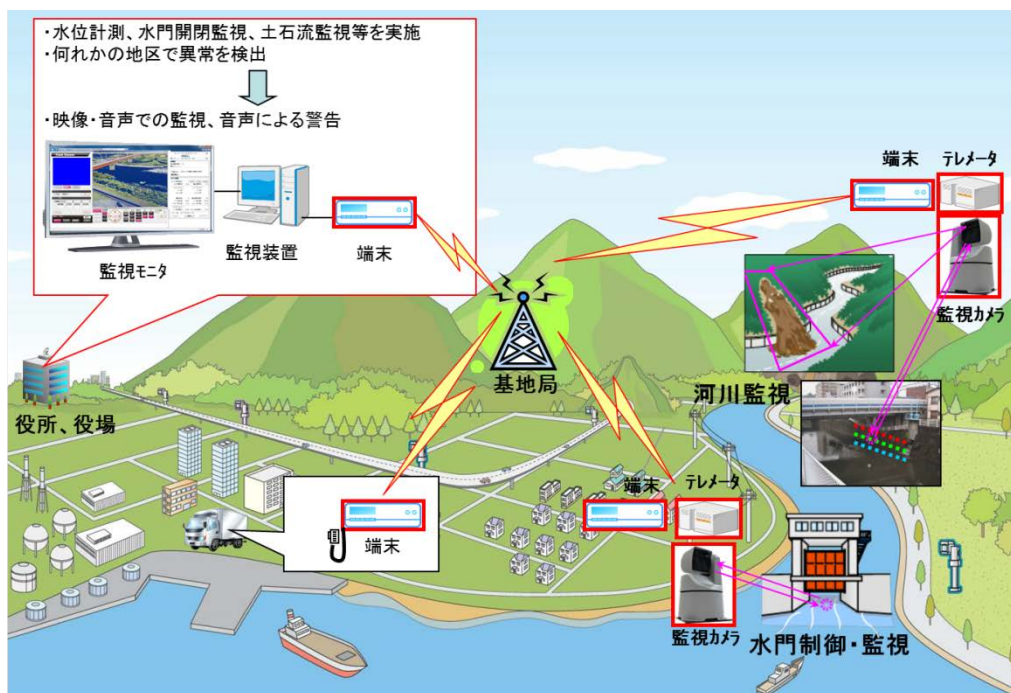


図 6-3 公共業務用等の各種センサーと併用した監視用途での運用イメージ
出所) 三菱電機

(3) 災害時等における高度利用方法について

現在、災害時及び緊急時に人が立ち入れない場所等において作業を行うためのロボットの重要性が認識されており、社会への普及が求められている。

平成 25 年 6 月に策定された日本再興戦略に日本が抱える課題解決の柱としてロボット革命の実現が提言されて以来、平成 27 年にはロボット新戦略により 2020 年までにロボット革命を実現する 5 か年計画の策定、ロボットの利活用を支える新たな電波利用システムの整備についての言及、近未来技術実証特区検討会の発足など、救助用ロボットをはじめとするロボット活用ニーズの高まりを受け、政府全体の動きとして、様々な分野へのロボット活用の可能性が認識されている。その中で、現在、ロボットにおける電波活用ニーズの高度化に応えるべく、電波利用に係る環境整備について技術的検討が行われている。現在でも、画像伝送、データ伝送、操縦コマンド等のロボットの運用に使用可能な周波数帯は複数存在するが、高画質や長距離画像伝送に対するニーズが高まってきており、使用可能な周波数の拡大等が情報通信審議会等で検討されている（図 6-4 参照）。メインの回線としては 2.4GHz 帯および 5.7GHz 帯が想定されているが、災害時等におけるバックアップ用回線として、人が容易に立ち入れない場所でロボットを運用する場合等における 169MHz 帯の利用が検討されている。これらの電波利用に関する検討体制としては、総務省が各産業界からのニーズや要求条件等の提案を集約する調査研究会と連携しており、ロボットの用途に応じた電波利用の要求条件、ロボットにおける電波利用の高度化に関する技術的条件の検討が進められている（図 6-5 参照）。

候補周波数帯	メインの回線		バックアップ用回線
	2.4GHz帯	5.7GHz帯	169MHz帯
伝送容量	3M~27Mbps	3M~54Mbps	100k~200kbps
通信距離	上空利用 : ~5km程度 地上利用 : ~1km程度 屋内利用 : ~200m程度		

※この他、ラジコンヘリ用のテレコントロール用周波数の増波を検討

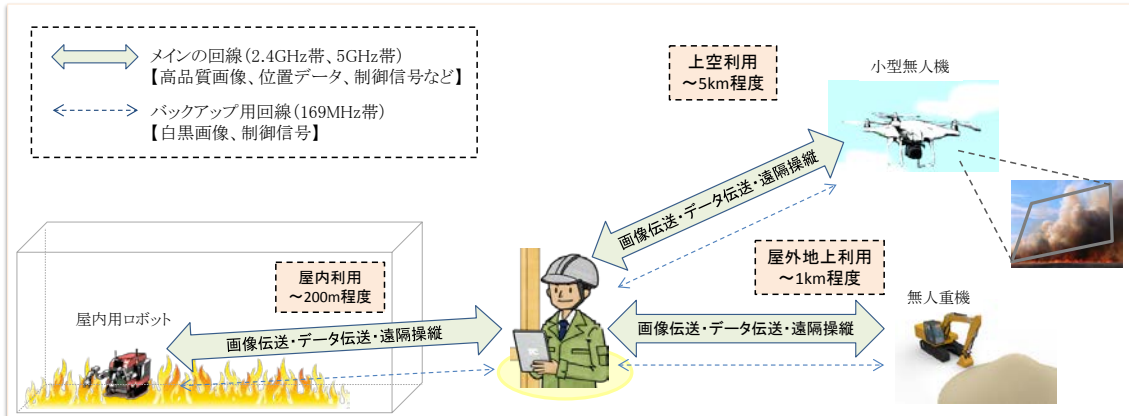


図 6-4 ロボットの利用イメージと電波の利用イメージ

出所) 第4回検討会資料「ロボットにおける電波利用の高度化に関する検討状況」総務省

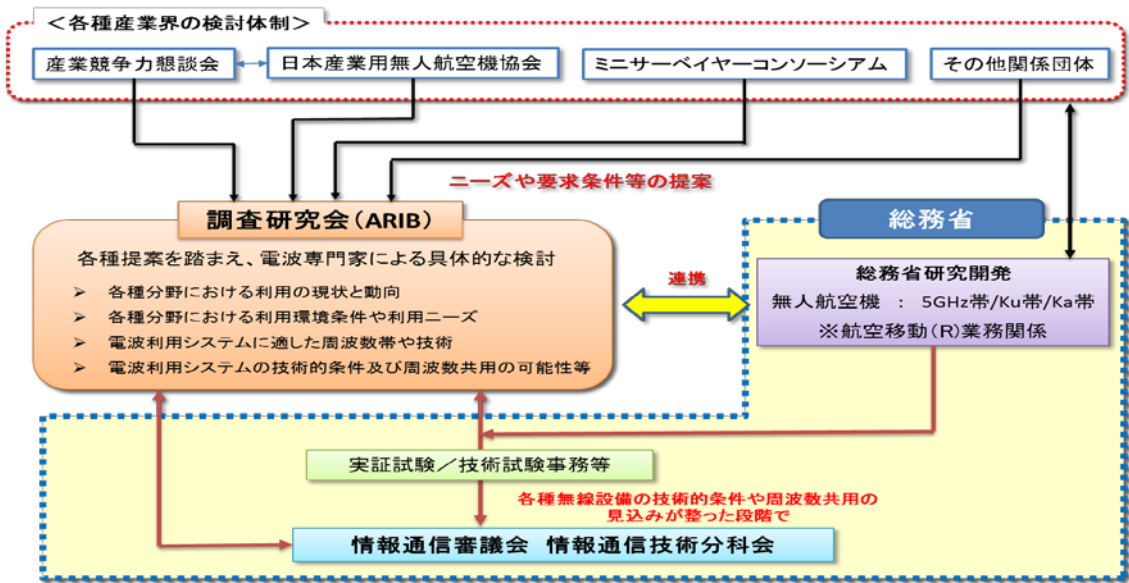


図 6-5 ロボットによる電波利用に関する検討体制

出所) 第1回検討会資料「ロボットの電波利用に向けた取組み」総務省

7. まとめ

本調査検討においては、高齢化や少子化に伴う労働力不足や国際競争の激化等の課題解決に資することを目的として、中・長距離のリアルタイムな通信が可能で、一定の静止画及び動画の画像伝送が行える程度の伝送速度をもち、小型・軽量かつ低価格で導入及び運用できるテレメーター・テレコントロールについて、現状と課題の整理及び高度利用方法の提言を行うとともに、実証試験の実施に基づく技術的条件、及び近接する周波数を使用する無線システムとの周波数共用条件の検討を実施した。

7.1 テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用のための技術的条件

広帯域テレメーター・テレコントロール用無線局に適した無線システムの技術的条件を以下にまとめる。

表 7-1 広帯域テレメーターの技術的条件のまとめ

区分	項目	内容	備考
一般的条件	無線周波数帯	「169.050MHz～169.3975MHz」及び「169.8075MHz～170.000MHz」であること。	
	通信方式	単向・同報・単信・複信の各方式とする。	
送信装置の条件	周波数の許容偏差	$\pm 3.0 \times 10^{-6}$ 以内であること	無線設備規則第五条別表第一号
	占有周波数帯幅の許容値	300kHz 以内であること。	無線設備規則第五条別表第二号
	スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値	無線設備規則別表第3号に定めるとおり、以下のとおりとすることが適切である。 <ul style="list-style-type: none"> ・帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値 : 100 μ W 以下 ・スプリアス領域における不要発射の強度の許容値 : 50 μ W 以下 	無線設備規則別表第3号
	空中線電力及びその許容偏差	空中線電力は、1W (等価等方輻射電力 3.25W) 以下とし、その許容偏差は、上限 20%、下限 50% 以下とすること。	空中線電力の許容偏差：無線設備規則第十四条
	隣接チャンネル漏えい電力	<ul style="list-style-type: none"> ・占有周波数帯幅が 100kHz 以内のものにあつては、搬送波の周波数から 100kHz 離れた周波数の (±) 50kHz の帯域内に輻射される電力が、搬送波電力より 45 デシベル以上低いこと。 ・占有周波数帯幅が 100kHz を超え 200kHz 以内のものにあつては、搬送波の周波数から 200kHz 離れた周波数の (±) 100kHz の帯域内に輻射される電力が、搬送波電力より 45 デシベル以上低いこと。 ・占有周波数帯幅が 200kHz を超え、300kHz 以内のものにあつては、搬送波の周波数から 300kHz 離れた周波数の (±) 150kHz の帯域内に輻射される電力が、搬送波電力より 45 デシベル以上低いこと。 	
	送信空中線利得	5.12dBi 以下であること。	
受信装置の条件	副次的に発する電波等の限度	4 ナノワット以下であること。	無線設備規則第二十四条

7.2 近接する周波数を使用する無線システムとの周波数共用条件

対象とした周波数帯「169.050MHz～169.3975MHz」及び「169.8075～170.000MHz」の、近接する周波数を利用する無線システムとの共用条件を以下にまとめる。

表 7-2 近接する周波数を使用する無線システムとの周波数共用条件のまとめ

対象無線システム	干渉区分	共用条件
放送事業者用 連絡無線	被干渉	広帯域テレメーターは、放送事業者用連絡無線の不要発射により影響を受けることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は地上利用で 3km 程度、空中利用で 50km 程度であるが、広帯域テレメーター及び放送事業者用連絡無線は双方共に移動業務であることを踏まえると、実運用環境下においては指向性減衰が見込まれること及び実力値による更なる減衰が見込まれることから、広帯域テレメーター側における継続的な被干渉が起こる可能性は低く、共用は可能と考えられる。
	与干渉	放送事業者用連絡無線に対しては、広帯域テレメーターの不要発射が影響を与えることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（空中線電力 1W を上空で利用）で 7km 程度となる。一方で、広帯域テレメーターを上空で利用する場合には 10mW 程度の空中線電力でも十分な距離の伝搬が可能であることを踏まえれば、上空利用の場合は 10 mW で運用されることが想定され、この場合の所要の離隔距離は 700m 程度となる。広帯域テレメーター及び放送事業者用連絡無線は双方が移動業務であり、その運用状況を勘案すると継続した干渉が発生する確率は低いこと、また、離隔距離が必要となる 1W の空中線電力は主に地上での運用と考えられること、更に離調周波数が少ない既存の無線システムとの間でも共用が図られていることから、広帯域テレメーターとの共用は可能と考えられる。 なお、放送事業者用連絡無線については、災害現場等において、広帯域テレメーターと近接して使用されることが想定されることから、災害発生時等においては、広帯域テレメーター側において、放送事業者用連絡無線の運用状況に配慮しつつ、必要に応じて両者間で運用の調整を行う事により、共用することが可能と考えられる。
公共業務用 無線システム	被干渉	広帯域テレメーターは、公共業務用無線システムの不要発射により影響を受けることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は地上利用で 3km 程度、空中利用で 60km 程度であるが、広帯域テレメーター及び公共業務用無線システムは双方共に移動業務であることを踏まえると、継続した干渉が発生する確率は低いこと、また実力値による更なる減衰が見込まれることから、広帯域テレメーター側における継続的な被干渉が起こる可能性は低く、共用は可能と考えられる。
	与干渉	公共業務用無線システムに対しては、広帯域テレメーターの不要発射が影響を与えることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（空中線電力 1W を上空で利用）で 15km 程度となる。一方で、広帯域テレメーターを上空で利用する場合には 10mW 程度の空中線電力でも十分な距離の伝搬が可能であることを踏まえれば、上空利用の場合は 10 mW で運用されることが想定され、この場合の所要の離隔距離は 2km 程度となる。広帯域テレメーター及び公共業務用無線システムは双方が移動業務であり、その運用状況を勘案すると継続した干渉が発生する確率は低いこと、また、離隔距離が必要となる 1W の空中線電力は主に地上での運用と考えられることから、ロボット用無線システムとの共用は可能と考えられる。

<p>公共用広帯域 移動通信 システム</p>	<p>被干渉</p>	<p>公共用広帯域移動無線システムの不要発射により、広帯域テレメーターは影響を受けることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（広帯域テレメーターを上空で利用）でも 300m 程度であり、広帯域テレメーター側において、公共用広帯域移動無線システムの運用状況に配慮することで共用は可能と考えられる。</p>
	<p>与干渉</p>	<p>公共用広帯域移動無線システムに対しては、広帯域テレメーターの不要発射が影響を与えることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（空中線電力 1W を上空で利用）で 16km 程となる。一方で、広帯域テレメーターを上空で利用する場合には 10mW 程度の空中線電力でも十分な距離の伝搬が可能であることを踏まえれば、上空利用の場合は 10mW で運用することが想定され、この場合の所要の離隔距離は 1~2km となる。このため、広帯域テレメーター側において、公共用広帯域移動無線システムの運用状況に配慮しつつ、災害現場等で公共用広帯域移動無線システムと広帯域テレメーターが接近して運用される場合には必要に応じて両者間で運用の調整を行う事により、共用することが可能と考えられる。</p>

資料編

資料1 テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会 開催趣旨

北海道の主要産業である農林水産業は、北海道ならではの広大な面積を有するが故の課題や担い手不足、高齢化、また、国際競争力の激化など多くの課題を抱えている。これらの解決のためにICTを有効利用した産業の効率化と高度化に向けた取組が進められており、各種センサーやカメラ画像により収集したデータの活用や様々な機器の遠隔制御等、カバーエリアが広く、低価格で導入できる小型・軽量のテレメーター・テレコントロールの実現が期待されている。

今日、テレメーター・テレコントロールは、無線局免許が必要なものと無線局免許を要しないものがある。前者は、主にダムや河川管理等の業務用として古くから利用されているが、情報量が少ない狭帯域のものがほとんどで、広帯域なものは、一定の構内での使用に限るなど厳しく制限され、工業用計測等の分野以外ではあまり利用されていない。一方、後者は、近年、小電力のシステムやWi-Fiなどを利用し、身近なシステムとして国民生活の多様な場面で狭帯域及び広帯域で普及してきているが、カバーエリアを広く利用する場合等は、複数の無線機器を設置しなければならないため、費用が嵩むことによる利用者の負担となっている。

このようなことから、様々なフィールドで活用されているテレメーター・テレコントロールについて、現状と課題を明らかにした上で、陸上及び上空での高度利用のための技術的検証を交えた調査検討を行い、農林水産業での活用はもとより、非常災害時での活用を含めた高度利用方法を提言し、電波の有効利用の促進に資することとする。

資料2 テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会 設置要領

1 名称

本調査検討会は、「テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会（以下「調査検討会」という。）」と称する。

2 目的

様々なフィールドで活用されているテレメーター・テレコントロールについて、現状と課題を明らかにした上で、陸上及び上空での高度利用のための技術的検証を交えた調査検討を行い、農林水産業での活用はもとより、非常災害時での活用を含めた高度利用方法を提言し、電波の有効利用の促進に資することとする。

3 検討項目

調査検討会の目的を遂行するために、テレメーター・テレコントロールシステムに関する次の項目について、調査検討する。

- (1) テレメーター・テレコントロールシステムの現状と課題
- (2) テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用のための技術的条件等
- (3) 近接する周波数を使用する無線システムとの周波数共用条件
- (4) テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用方法等の提言
- (5) その他必要な事項

4 構成

調査検討会の構成は、次のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、北海道総合通信局長が委嘱した委員により構成する。
- (2) 調査検討会に、座長1名を置く。
- (3) 座長は、委員の互選により選出する。
- (4) 座長は、調査検討会を代表し、会務を総理する。
- (5) 座長は、委員の中から副座長1名を指名する。
- (6) 副座長は、座長を補佐し、座長に事故あるとき又は座長が欠けたときは、その職務を代理する。
- (7) 調査検討会には、具体的な検討を行う作業班（WG）を置くことができる。
- (8) 作業班の構成は、調査検討会で定める。
- (9) 調査検討会には、必要に応じて専門家の参加を認めることができる。
- (10) 調査検討会の事務局は、北海道総合通信局無線通信部企画調整課に置く。

5 運営

調査検討会の運営は、次のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、座長が招集し、主宰する。
- (2) 調査検討会は、必要に応じ電子メール等による運営を行う。
- (3) 作業班の開催に必要な事項は、別途定める。
- (4) その他運営に関して必要な事項は、調査検討会において定める。

6 開催期間

(案)

設置の日から平成28年3月31日までの間で、報告書を取りまとめる日までとする。

7 その他

- (1) 調査検討会における調査検討事項に関する成果を公表するときは、あらかじめ北海道総合通信局の承認を得るものとする。
- (2) 調査検討会の成果物に関する権利（例えば、調査検討結果を記した著作物等）は、原則として北海道総合通信局に帰属する。

資料3 テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会 委員構成

(敬称略・五十音順)

	氏名	所属・役職
	石垣 悟	日本無線株式会社 事業本部 事業統括部 副参与
◎	大鐘 武雄	北海道大学 大学院情報科学研究科 インテリジェント情報通信研究室 教授
○	岡本 博史	北海道大学 大学院農学研究院 ビークルロボティクス研究室 准教授
	加藤 数衛	株式会社日立国際電気 映像・通信事業部 技師長
	黄瀬 信之	岩見沢市 企画財政部 企業立地情報化推進室 室長
	小林 伸行	株式会社スマートリンク北海道 常務取締役
	武内 公一	八重洲無線株式会社 札幌営業所 所長
	田向 忠雄	北海道総合通信局 無線通信部 部長
○	筒井 弘	北海道大学 大学院情報科学研究科 情報通信ネットワーク研究室 准教授
	中山 直樹	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ北海道 第一ビジネス事業部 ネットワークソリューション部 課長
	名取 一也	北海道 農政部 生産振興局 技術支援担当局長
	西谷内 智治	いわみざわ地域 ICT (GNSS等) 農業利活用研究会 会長
	根本 学	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 生産環境研究領域 主任研究員
	長谷川 和一	富士通株式会社 公共営業本部 社会ネットワーク第二統括営業部 北海道社会ネットワーク営業部 主任
	福田 裕樹	株式会社オーレンス 札幌支社 システム部 マネージャー
	道下 勝志	東日本電信電話株式会社 ビジネス&オフィス営業推進本部 北海道法人営業部 企画部門 部門長
	宮崎 俊之	地方独立行政法人北海道立総合研究機構 産業技術研究本部 工業試験場情報システム部 計測・情報技術グループ 研究主査
	山崎 高日子	三菱電機株式会社 通信システムエンジニアリングセンター 技術担当部長

◎：座長、○：副座長

資料4 検討経過報告

No	開催日時	開催会場	議題
第1回	平成27年5月15日 10:00~12:00	北海道総合通信局 第1会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・調査検討会の設置について ・座長選出・副座長指名について ・調査検討概要等について
第2回	平成27年7月15日 10:00~12:00	北海道総合通信局 第1会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・経過報告について ・最新情報の提供について ・机上検討・ラボ試験・フィールド試験計画(案)について
第3回	メール審議(その1) 平成27年9月2日	—	<ul style="list-style-type: none"> ・経過報告について ・フィールド試験の実施場所について ・公開実証試験の実施について
	メール審議(その2) 平成27年10月9日	—	<ul style="list-style-type: none"> ・経過報告について ・周波数共用条件について ・実証試験結果(中間報告)について
第4回	平成27年10月21日 16:00~18:00	岩見沢市自治体ネットワークセンター研修・AV会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・経過報告について ・机上検討・ラボ試験の結果報告について ・フィールド試験の中間報告について ・テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討報告書骨子(案)について ・最新情報の提供について
第5回	メール審議(その1) 平成27年12月1日	—	<ul style="list-style-type: none"> ・経過報告について ・フィールド試験の結果報告(案)について
	メール審議(その2) 平成28年1月20日	—	<ul style="list-style-type: none"> ・経過報告について ・第3回及び第4回会合審議事項「周波数共用条件」の修正案について ・テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討報告書(修正案)について
第6回	平成28年2月22日 16:00~(予定)	北海道総合通信局 第1会議室	<ul style="list-style-type: none"> ・経過報告について ・テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討報告書(案)について

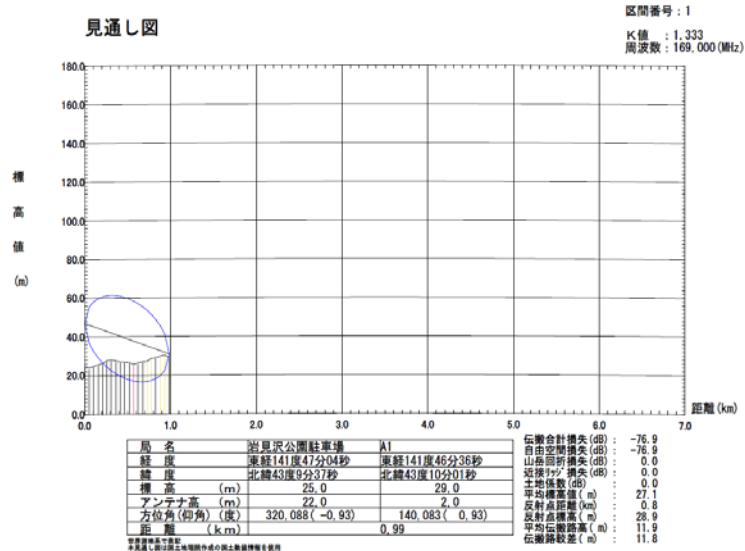
資料5 フィールド試験結果詳細

電波伝搬調査記録表

実験機:

日時	10月 19日 時 分	天候	晴	測定場所	A1	測定者	
対向局	岩見沢公園駐車場			緯度・軽度	N: 43° 10' 01"	E: 141° 46' 35.5"	
送信出力	W (dBm)	対局方向	TN	140	度		
送信空中線	スリーブ 利得 2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得 5.12 dB			

見通し図



写真



測定データ

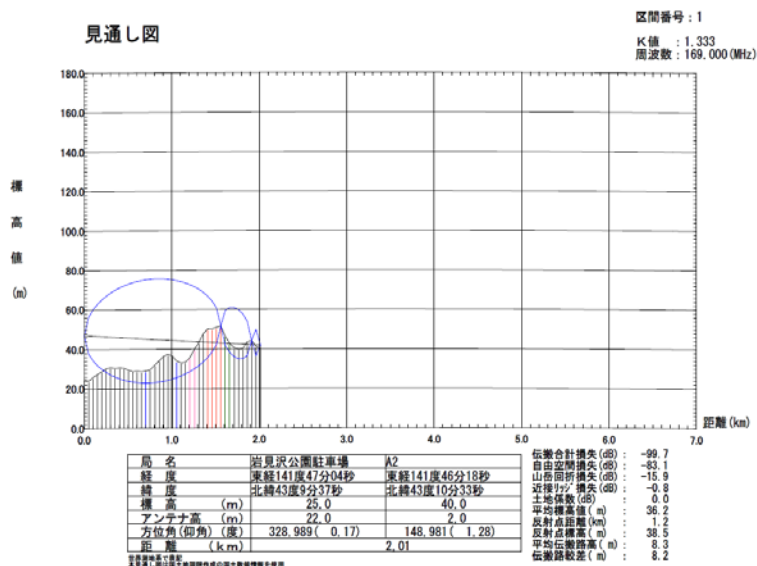
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	12.04	/	/	/	27.11	/
	BER	8.9×10^{-5}	/	/	/	1.0×10^{-6}	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	10.74	16.7	25.02	24.08	24.25	○
	BER	5.2×10^{-3}	9.0×10^{-2}	5.4×10^{-2}	1.2×10^{-2}	1.1×10^{-4}	/
	BER(FEC)	4.8×10^{-6}	1.1×10^{-3}	EF	EF	EF	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	10.59	/	/	/	24.53	/
	BER	2.1×10^{-1}	/	/	/	2.0×10^{-3}	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日 時	10月 20日 時 分	天候 雨	測定場所	A2	測定者
対 向 局	岩見沢公園駐車場		緯度・経度	N: 43° 10' 32.5"	E: 141° 46' 17.5"
送 信 出 力	W (dBm)	対局方向	TN	149	度
送信空中線	スリーブ 利得 2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得 5.12	dB

見通し図



写真



測定データ

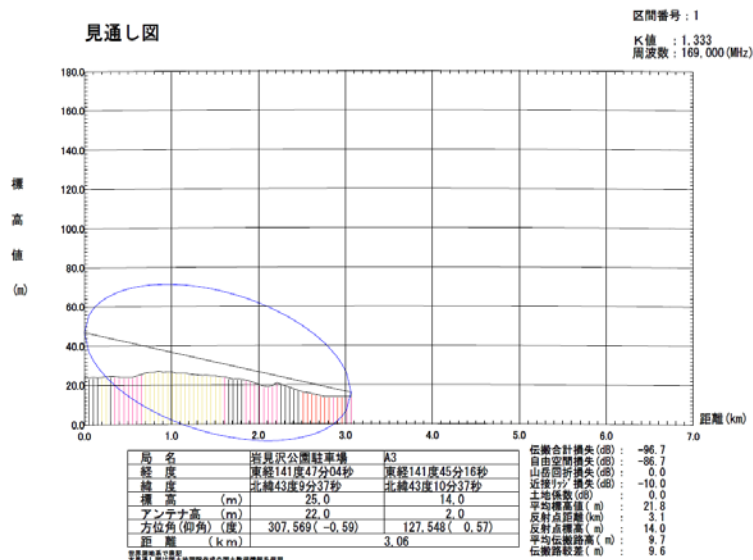
	地上高(m)	2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	5.3	/	/	/	6.27	/
	BER	測定不可	/	/	/	1.5 × 10 ⁻¹	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	5.16	測定不可	測定不可	13.04	5.81	×
	BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可	/	/	/	測定不可	/
	BER	測定不可	/	/	/	測定不可	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日時	10月 23日 時 分	天候	晴	測定場所	A3	測定者	
対向局	岩見沢公園駐車場			緯度・経度	N: 43° 10' 37"	E: 141° 45' 16"	
送信出力	W (dBm)	対局方向	TN	128	度		
送信空中線	スリーブ	利得	2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得	5.12 dB

見通し図



写真



測定データ

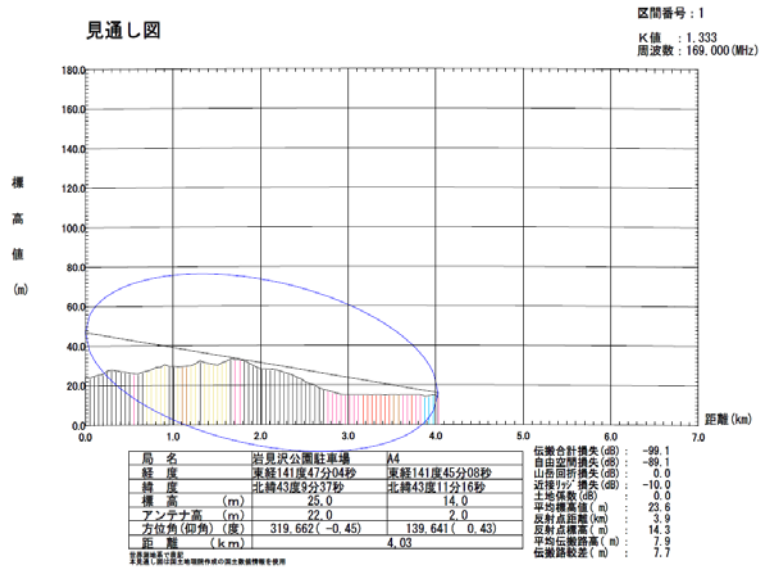
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	9.6	/	/	/	10.4	/
	BER	測定不可	/	/	/	測定不可	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	8.78	測定不可	測定不可	測定不可	10.59	×
	BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	9.96	/	/	/	10.64	/
	BER	測定不可	/	/	/	測定不可	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日 時	10月 23日	時 分	天候 晴	測定場所	A4	測定者	
対 向 局	岩見沢公園駐車場			緯度・経度	N: 43° 11' 16"	E: 141° 45' 8"	
送 信 出 力	W	(	dBm)	対局方向	TN	140	度
送信空中線	スリーブ	利得	2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得	5.12 dB

見通し図



写真



測定データ

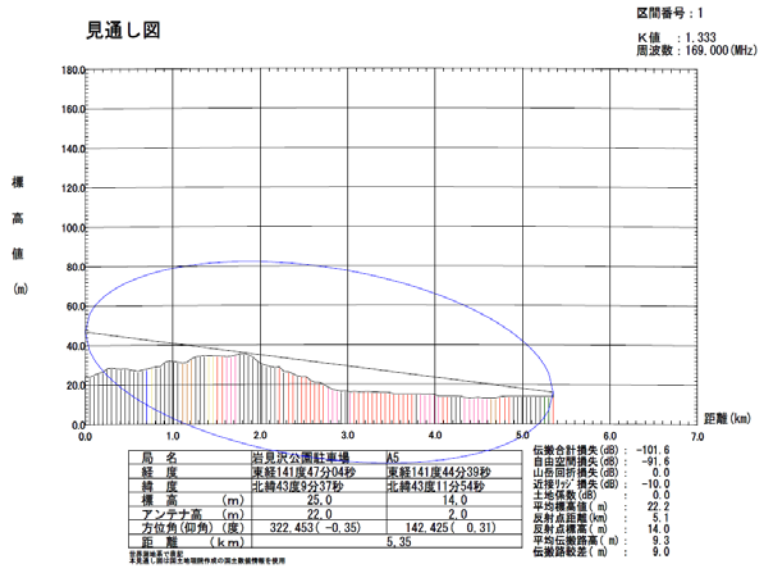
		地上高(m)	2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	13.47	/	/	/	/	11.34	/
	BER	測定不可	/	/	/	/	測定不可	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	16.84	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	12.79	×
	BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	13.96	/	/	/	/	12.51	/
	BER	測定不可	/	/	/	/	測定不可	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日 時	10月 27日	時 分	天候 曇	測定場所	A5	測定者	
対 向 局	岩見沢公園駐車場			緯度・経度	N: 43° 11' 54"	E: 141° 44' 39"	
送 信 出 力	W	(	dBm)	対局方向	TN	142	度
送信空中線	スリーブ	利得	2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得	5.12 dB

見通し図



写真



測定データ

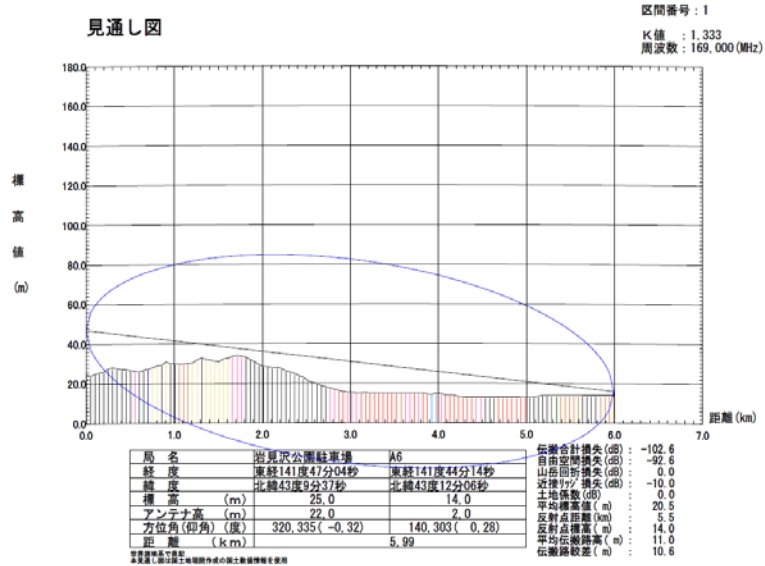
		地上高(m)	2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	/	/	/	/	8.52	/
	BER	測定不可	/	/	/	/	測定不可	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	8.45	×
	BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可	/	/	/	/	8.77	/
	BER	測定不可	/	/	/	/	測定不可	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日 時	10月 26日 時 分	天候 曇	測定場所	A6	測定者	
対 向 局	岩見沢公園駐車場		緯度・経度	N: 43° 12' 06"	E: 141° 44' 14"	
送 信 出 力	W (dBm)	対局方向	TN	140	度	
送信空中線	スリーブ 利得 2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得 5.12	dB	

見通し図



写真



測定データ

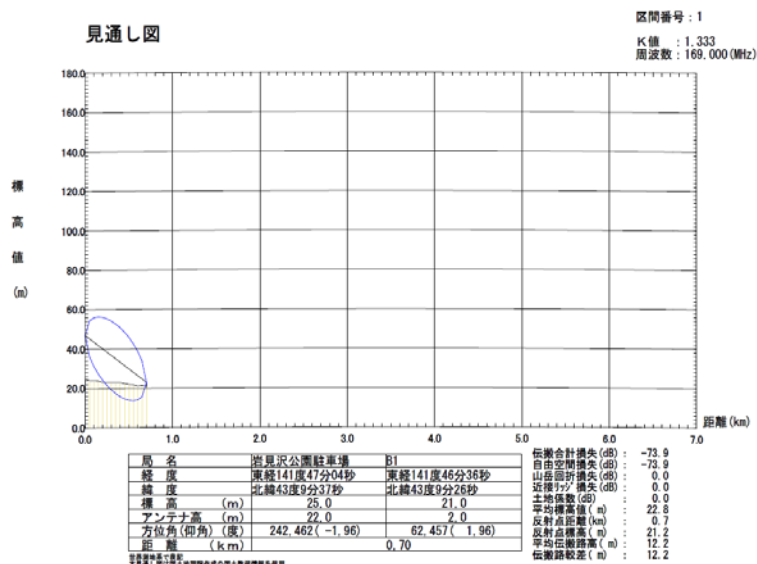
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	/	/	/	7.78	/
	BER	測定不可	/	/	/	測定不可	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	6.45	×
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可	/	/	/	6.97	/
	BER	測定不可	/	/	/	測定不可	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日 時	10月 22日 時 分	天候 晴	測定場所	B1	測定者
対 向 局	岩見沢公園駐車場		緯度・経度	N: 43° 09' 26"	E: 141° 46' 36"
送 信 出 力	W (dBm)	対局方向	TN	62	度
送信空中線	スリーブ 利得 2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得 5.12	dB

見通し図



写真



測定データ

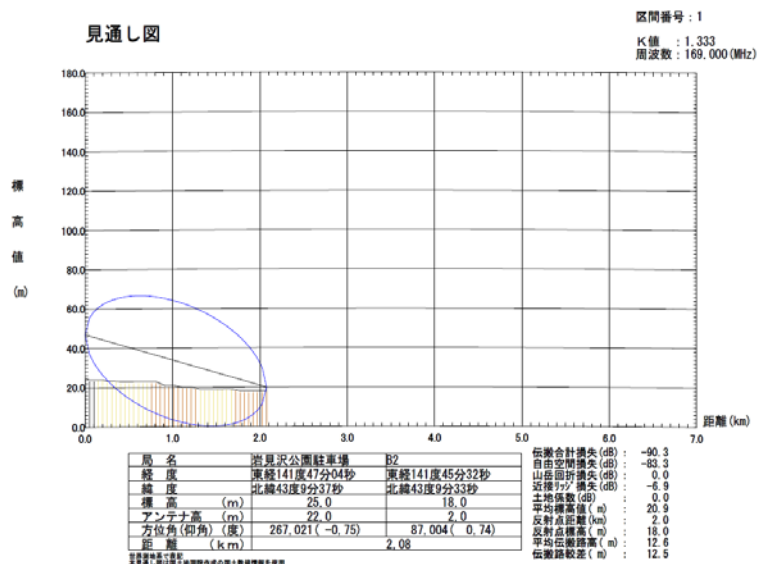
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	24.77	/	/	/	36.74	/
	BER	1.0×10^{-6}	/	/	/	1.0×10^{-6}	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	22	24.23	35.89	37.08	33.86	○
	BER	9.6×10^{-5}	1.3×10^{-3}	2.2×10^{-5}	1.4×10^{-6}	EF	/
	BER(FEC)	EF	3.5×10^{-4}	EF	EF	EF	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	20.91	/	/	/	34.39	/
	BER	7.4×10^{-3}	/	/	/	3.0×10^{-4}	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日時	10月 23日 時 分	天気	晴	測定場所	B2	測定者	
対向局	岩見沢公園駐車場			緯度・経度	N: 43° 09' 33"	E: 141° 45' 32"	
送信出力	W (dBm)	対局方向	TN	87	度		
送信空中線	スリーブ	利得	2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得	5.12 dB

見通し図



写真



測定データ

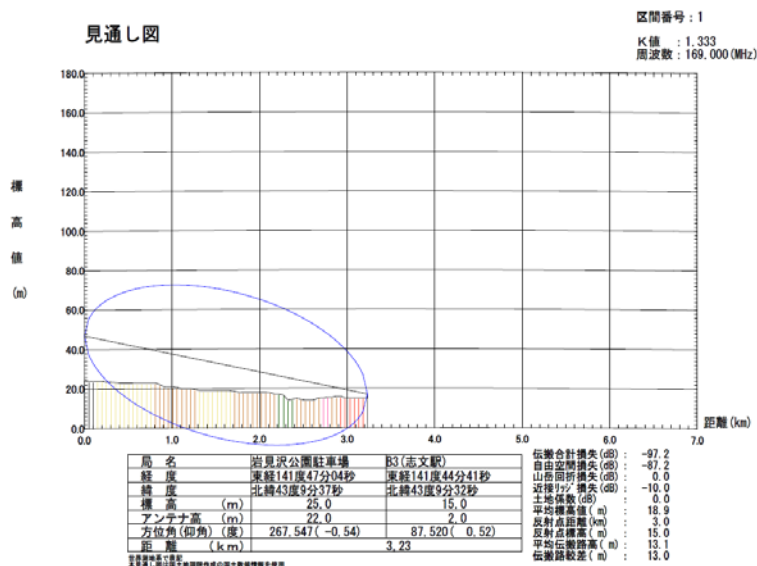
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	9.7	/	/	/	23.56	/
	BER	3.0×10^{-2}	/	/	/	1.0×10^{-6}	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	6.45	14.87	19.56	21.2	21.2	○
	BER	測定不可	1.8×10^{-2}	2.1×10^{-4}	1.2×10^{-4}	3.2×10^{-6}	/
	BER(FEC)	測定不可	1.7×10^{-2}	EF	EF	EF	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	8.3	/	/	/	22.88	/
	BER	測定不可	/	/	/	5.9×10^{-4}	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日 時	10月 23日 時 分	天候 晴	測定場所	B3	測定者	
対 向 局	岩見沢公園駐車場		緯度・経度	N: 43° 09' 32"	E: 141° 44' 41"	
送 信 出 力	W (dBm)	対局方向	TN	88	度	
送信空中線	スリーブ 利得 2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得 5.12	dB	

見通し図



写真



測定データ

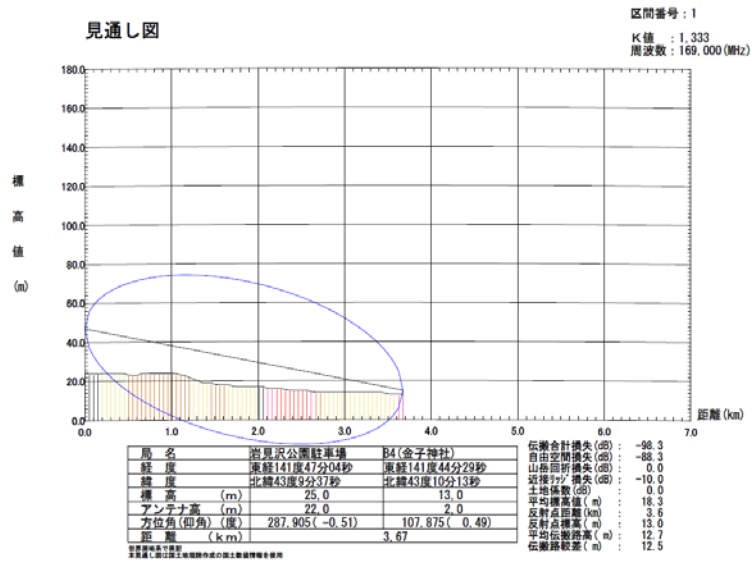
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	9.18	/	/	/	16.28	/
	BER	測定不可	/	/	/	3.5×10^{-5}	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	8.72	13.31	12.8	12.74	13.6	△
	BER	測定不可	測定不可	8.8×10^{-2}	1.5×10^{-1}	2.1×10^{-2}	/
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	6.0×10^{-2}	1.7×10^{-1}	5.8×10^{-4}	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	10.86	/	/	/	14.03	/
	BER	測定不可	/	/	/	1.9×10^{-1}	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日時	10月 23日 時 分	天候	晴	測定場所	B4	測定者	
対向局	岩見沢公園駐車場			緯度・経度	N: 43° 10' 13"	E: 141° 44' 29"	
送信出力	W (dBm)	対局方向	TN	108 度			
送信空中線	スリーブ 利得 2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得 5.12 dB			

見通し図



写真



測定データ

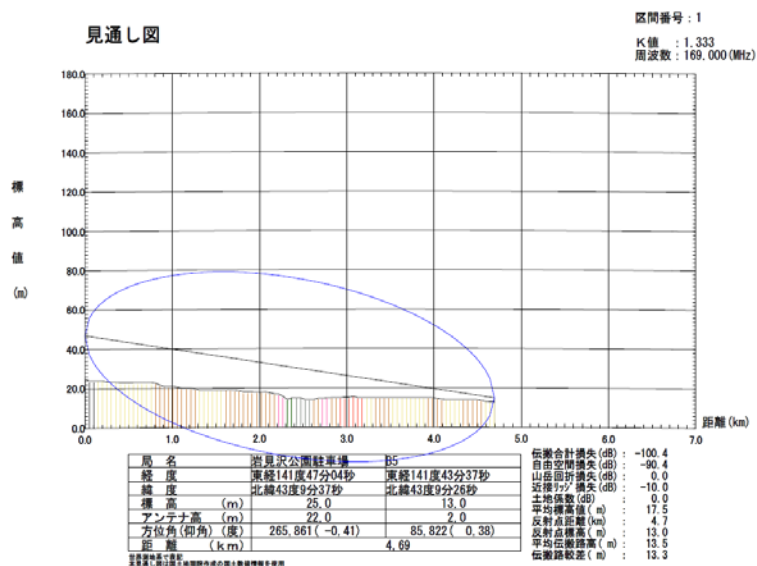
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像伝送
4値FSK	受信電圧(dBμV)	9.03	/	/	/	17.3	/
	BER	測定不可	/	/	/	1.0×10^{-6}	/
QPSK	受信電圧(dBμV)	7.3	10.04	9.67	11.41	14.73	○
	BER	測定不可	測定不可	1.0×10^{-1}	1.3×10^{-1}	2.2×10^{-4}	/
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	1.9×10^{-1}	2.4×10^{-1}	EF	/
16QAM	受信電圧(dBμV)	10.48	/	/	/	15.11	/
	BER	測定不可	/	/	/	7.5×10^{-2}	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日 時	10月 23日 時 分	天候	晴	測定場所	B5	測定者	
対 向 局	岩見沢公園駐車場			緯度・経度	N: 43° 09' 25.5"	E: 141° 43' 37"	
送 信 出 力	W (dBm)	対局方向	TN	86	度		
送信空中線	スリーブ	利得	2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得	5.12 dB

見通し図



写真



測定データ

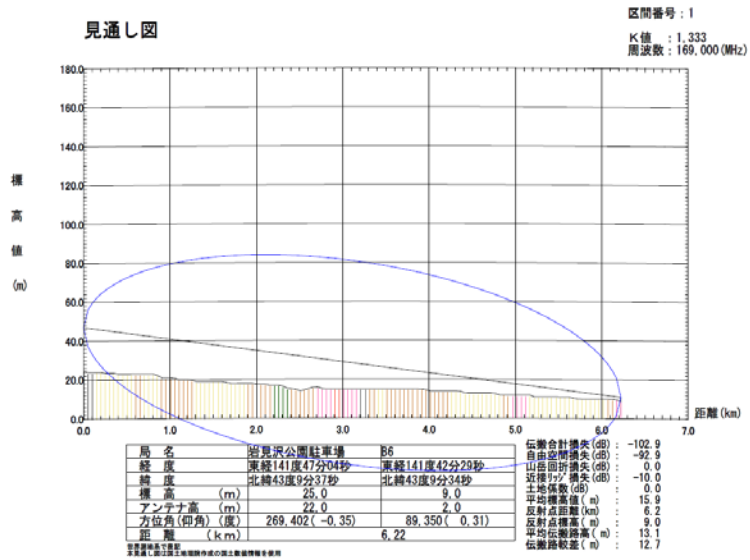
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	5.91	/	/	/	9.85	/
	BER	測定不可	/	/	/	8.5×10^{-3}	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	7.33	測定不可	測定不可	9.98	8.21	×
	BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	1.6×10^{-1}	/
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	1.7×10^{-1}	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	8.79	/	/	/	8.44	/
	BER	測定不可	/	/	/	3.1×10^{-1}	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日時	10月 23日 時 分	天候	晴	測定場所	B6	測定者	
対向局	岩見沢公園駐車場			緯度・経度	N: 43° 09' 34.3"	E: 141° 42' 29"	
送信出力	W	(		dBm)	対局方向	TN	89 度
送信空中線	スリーブ	利得	2.15	dB	受信空中線1	ブラウン	利得 5.12 dB

見通し図



写真



測定データ

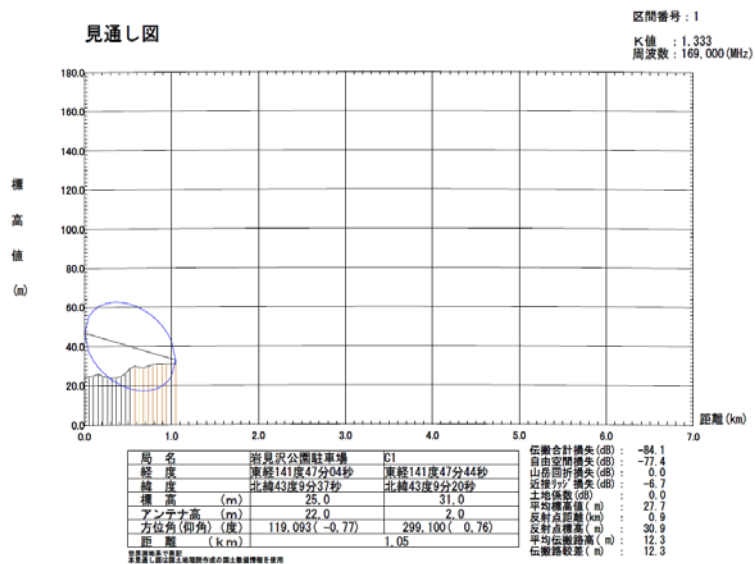
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	7.88				12.22	
	BER	測定不可				1.8×10^{-4}	
QPSK	受信電圧(dB μV)	9.04	測定不可	測定不可	8.34	測定不可	×
	BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	6.9×10^{-2}	
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	7.4×10^{-3}	
16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可				9.96	
	BER	測定不可				2.4×10^{-1}	

電波伝搬調査記録表

実験機:

日時	10月 26日 時 分	天候 曇	測定場所	C1	測定者	
対向局	岩見沢公園駐車場		緯度・経度	N: 43° 09' 20"	E: 141° 47' 44"	
送信出力	W (dBm)		対局方向	TN 299 度		
送信空中線	スリーブ 利得 2.15 dB		受信空中線1	ブラウン 利得 5.12 dB		

見通し図



写真



測定データ

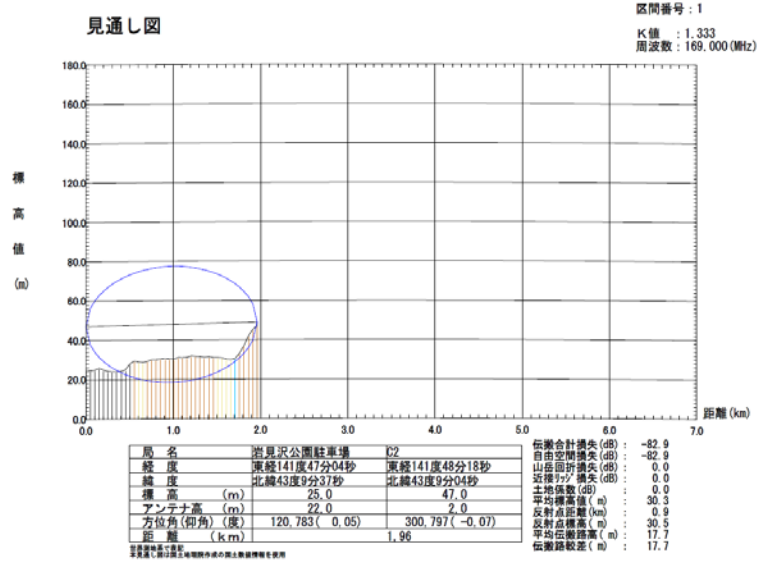
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	12.36	/	/	/	26.93	/
	BER	1.6×10^{-1}	/	/	/	1.0×10^{-6}	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	11.11	16.53	23.02	26.46	29.79	○
	BER	測定不可	1.1×10^{-2}	9.8×10^{-3}	EF	EF	/
	BER(FEC)	測定不可	1.4×10^{-2}	1.5×10^{-6}	EF	EF	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	12	/	/	/	24.57	/
	BER	測定不可	/	/	/	2.1×10^{-2}	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日 時	10月 26日 時 分	天候 曇	測定場所	C2	測定者	
対 向 局	岩見沢公園駐車場		緯度・経度	N: 43° 09' 04"	E: 141° 48' 18"	
送 信 出 力	W (dBm)		対局方向	TN 301 度		
送信空中線	スリーブ	利得 2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得 5.12 dB	

見通し図



写真



測定データ

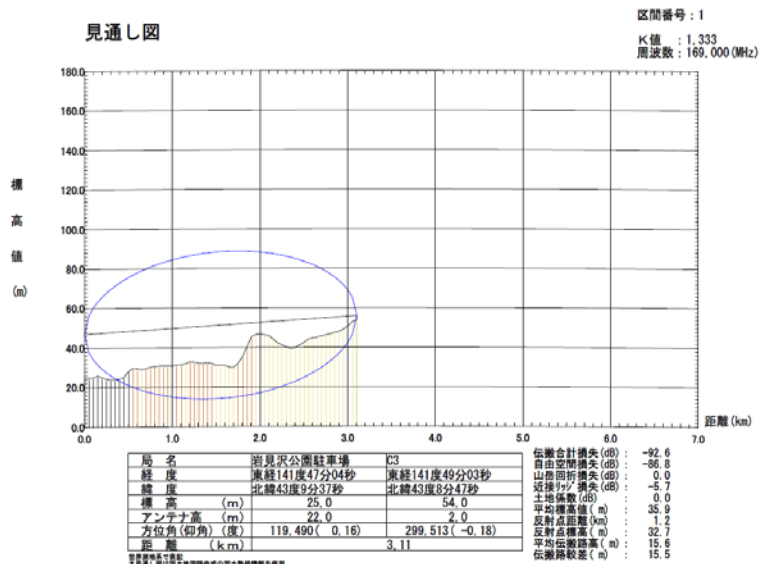
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	20.1	/	/	/	15.28	/
	BER	6.6×10^{-7}	/	/	/	1.0×10^{-6}	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	17.28	16.62	11.89	14.73	20.7	○
	BER	1.0×10^{-4}	8.6×10^{-6}	1.2×10^{-2}	1.7×10^{-6}	7.4×10^{-5}	/
	BER(FEC)	1.2×10^{-6}	EF	1.5×10^{-3}	EF	EF	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	15.16	/	/	/	13.69	/
	BER	5.9×10^{-2}	/	/	/	2.1×10^{-2}	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日 時	10月 26日 時 分	天候 曇	測定場所	C3	測定者	
対 向 局	岩見沢公園駐車場		緯度・経度	N: 43° 08' 47"	E: 141° 49' 03"	
送信出力	W (dBm)		対局方向	TN	300	度
送信空中線	スリーブ	利得 2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得 5.12	dB

見通し図



写真



測定データ

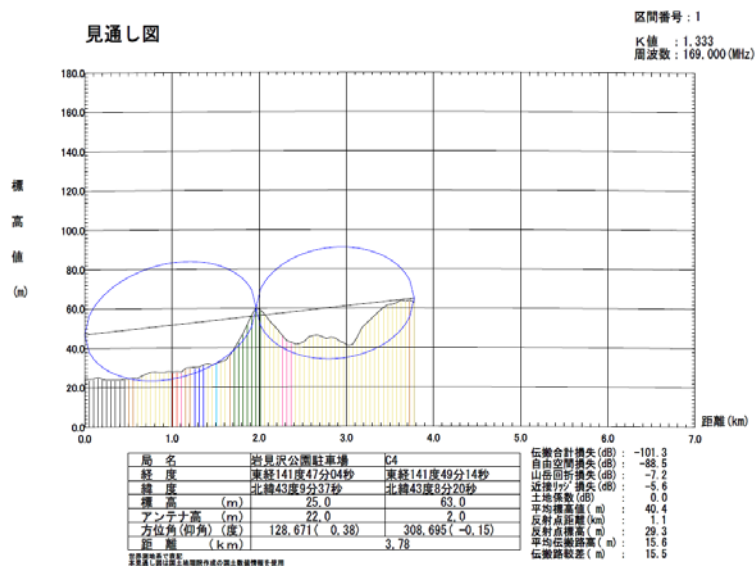
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	16.1	/	/	/	22.22	/
	BER	2.5×10^{-5}	/	/	/	1.0×10^{-6}	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	13.52	18.1	24.38	22.84	19.91	○
	BER	1.6×10^{-2}	1.3×10^{-4}	1.8×10^{-6}	1.2×10^{-5}	1.7×10^{-5}	/
	BER(FEC)	7.9×10^{-5}	3.2×10^{-6}	EF	EF	EF	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	13.95	/	/	/	20.16	/
	BER	1.3×10^{-1}	/	/	/	4.4×10^{-3}	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日 時	10月 26日 時 分	天候 曇	測定場所	C4	測定者	
対 向 局	岩見沢公園駐車場		緯度・経度	N: 43° 08' 20"	E: 141° 49' 14"	
送 信 出 力	W (dBm)		対局方向	TN 309 度		
送信空中線	スリーブ	利得 2.15 dB	受信空中線1	ブラウン	利得 5.12 dB	

見通し図



写真



測定データ

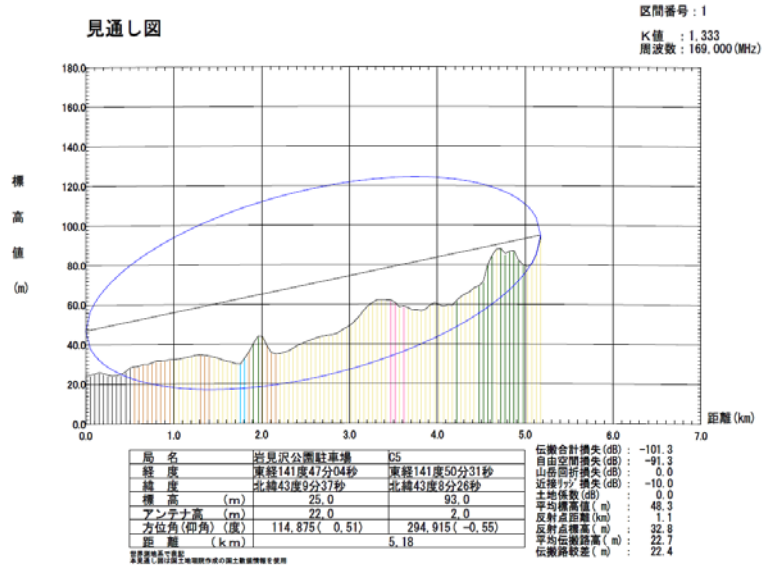
地上高(m)		2	7	12	17	22	画像伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	9.63	/	/	/	14.74	/
	BER	測定不可	/	/	/	1.5 × 10 ⁻³	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	8.12	9.12	11.31	11.2	12.54	△
	BER	測定不可	測定不可	3.4 × 10 ⁻²	1.5 × 10 ⁻²	4.2 × 10 ⁻²	/
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	8.9 × 10 ⁻³	3.2 × 10 ⁻⁴	8.7 × 10 ⁻³	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	8.85	/	/	/	12.79	/
	BER	測定不可	/	/	/	2.5 × 10 ⁻¹	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日時	10月 22日 時 分	天気	晴	測定場所	C5	測定者	
対向局	岩見沢公園駐車場			緯度・経度	N: 43° 08' 26"	E: 141° 50' 31"	
送信出力	W	(	dBm)	対局方向	TN	295	度
送信空中線	スリーブ	利得	2.15 dB	受信空中線	ブラウン	利得	5.12 dB

見通し図



写真



測定データ

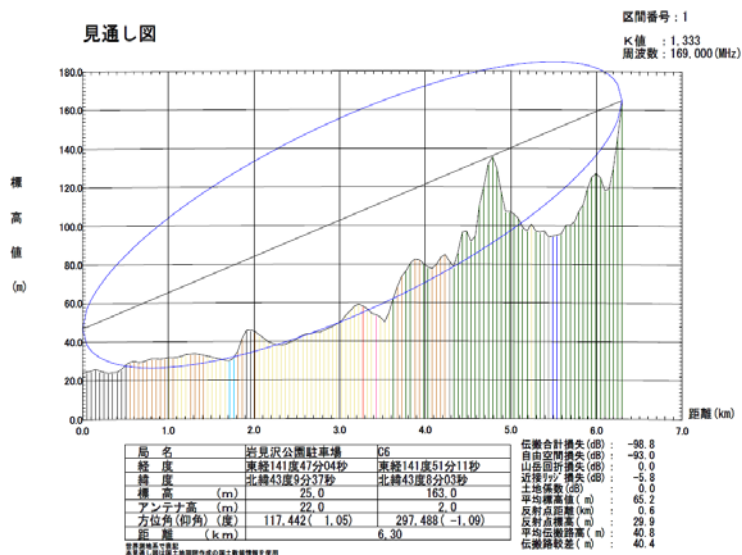
		地上高(m)	2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	/	/	/	/	8.93	/
	BER	測定不可	/	/	/	/	4.8×10^{-3}	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	測定不可	6.4	6.45	7.87		×
	BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	1.3×10^{-1}	/
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	1.4×10^{-1}	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可	/	/	/	/	7.24	/
	BER	測定不可	/	/	/	/	2.6×10^{-1}	/

電波伝搬調査記録表

実験機:

日時	10月 22日 時 分	天気 晴	測定場所	C6	測定者	
対向局	岩見沢公園駐車場		緯度・経度	N: 43° 08' 2.5"	E: 141° 51' 10.5"	
送信出力	W (dBm)		対局方向	TN 297 度		
送信空中線	スリーブ 利得 2.15 dB		受信空中線	ブラウン 利得 5.12 dB		

見通し図



写真



測定データ

地上高(m)		2	7	12	17	22	画像 伝送
4値FSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	/	/	/	6.76	/
	BER	測定不可	/	/	/	測定不可	/
QPSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	×
	BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
	BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	/
16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可	/	/	/	測定不可	/
	BER	測定不可	/	/	/	測定不可	/

資料 6 公開実証試験（デモンストレーション）

(1) 目的

農林水産業等様々なフィールドで活用が期待される広帯域テレメーター・テレコントロールを体験いただくため、実証試験を公開により実施する。

(2) 日程

平成 27 年 10 月 21 日（水）13:00～15:30

(3) 場所

- 実演会場
いわみざわ公園（バラ園）
北海道岩見沢市志文町 794 番地
- 説明会場
岩見沢市自治体ネットワークセンター マルチメディアホール
北海道岩見沢市有明町南 1 番地 20

(4) 内容

- 実演会
 - 1) 概要説明
 - ・実演内容及び無線機（親局、子局及び中継局）の設置状況等の概要について
 - ・子局（農場内のトラクター等へ設置）について
 - ・無線中継局として使用する UAV について
 - 2) 実演
 - ・子局—親局間の Wi-Fi 通信の確認
 - ・子局—親局間の VHF 帯（169MHz）通信の確認
 - ・UAV に搭載した無線中継局による映像送信の確認
- 説明会
 - 1) 主催者挨拶・調査検討会概要説明
座長：北海道大学大学院情報科学研究科インテリジェント情報通信研究室
教授 大鐘 武雄
 - 2) 調査検討会 検討状況等報告
 - 3) 農業のロボット化と必要な電波利用
北海道大学大学院農学研究員 ビークルロボティクス研究室
教授 野口 伸 氏
 - 4) 岩見沢市における ICT 農業の利活用について
調査検討会委員（岩見沢市企業立地情報化推進室 室長）
黄瀬 信之

(5) 主催等

- 主催
テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会
- 実験
株式会社三菱総合研究所、三菱電機株式会社
- 協力
岩見沢市企画財政部 企業立地情報化推進室
北海道大学 大学院農学研究院 生物資源生産学部門生物生産工学分野 ビークル
ロボティクス研究室

(6) 参加者

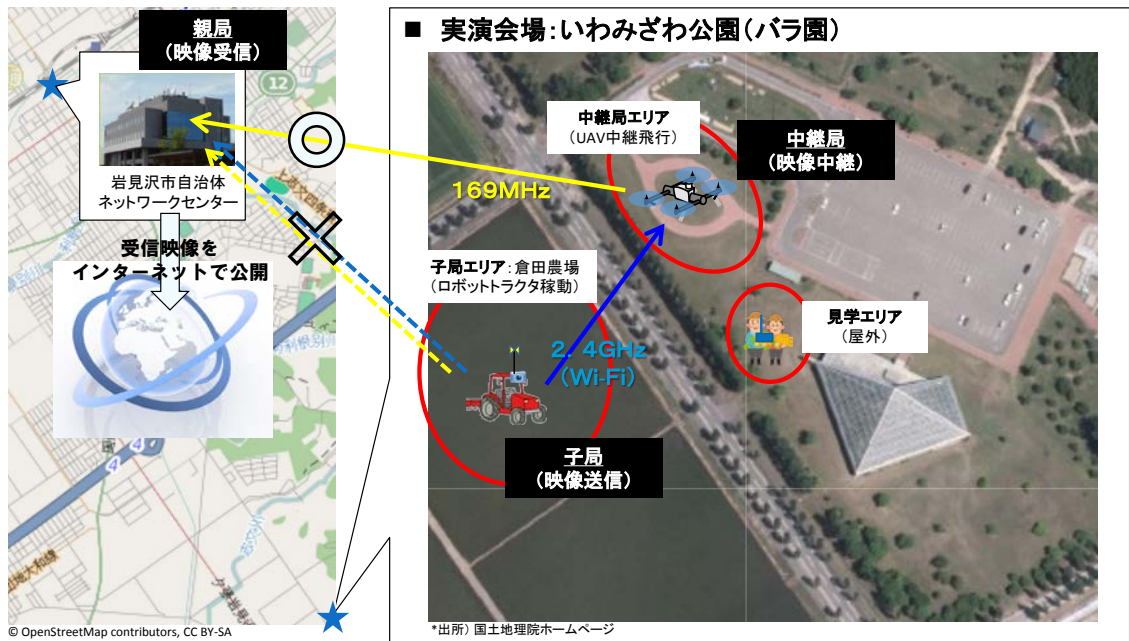
農業関係者、無線機メーカー、メディア関係者等 112 名

(7) 結果

実演会では、距離約 5.3km の見通し外に配置された親局と子局（ロボットトラクタ）間の通信を、UAV 中継局を用いることにより、169MHz 通信を用いた映像伝送が可能となることが確認された。

説明会では、実証試験や共用検討結果等の概要の説明が行われ、また、説明会場に展示された UAV 中継局に関する参加者からご質問やご意見も聞かれ、テレメーター・テレコントロールシステムの高度利用に対する関心の高さや期待が伺えた。

(8) 公開実証試験の様子



資料7 用語集

- 奥村・秦モデル
実測データに基づく代表的な伝搬損失計算式の一つ。
- 時間領域等化
時間軸上の信号を用いて、遅延波による符号間干渉を補償する方式。
- 周波数領域等化
周波数軸上の信号を用いて、遅延波による符号間干渉を補償する方式。
- シングルキャリア伝送方式 (SC 方式)
単一の搬送波を用いて通信を行う方式。
- 畳込み符号
過去の符号器入力ビットとの論理和を計算することで符号化出力を決定する誤り訂正符号方式。
- 遅延波
直接波に対して時間的に遅れて到来する通信波のこと。
- 伝送レート
単位時間あたりに伝送できる情報ビット数のこと。
- ナイキストフィルタ
符号間干渉がゼロとなるような特性を持つフィルタのこと。
- マルチパスフェージング
通信波が空間で反射・回折・散乱を受け、複数の異なる経路を通過して受信機へ到来する電波伝搬環境のこと。
- レイリーフェージング
信号振幅の変動がレイリー分布に従う伝搬環境のこと。
- AWGN
加法性白色ガウス雑音が存在する通信環境のこと。加法性白色ガウス雑音は周波数的には全帯域に渡って等しい電力密度の白色雑音であり、時間軸で見ると雑音振幅レベルの出現分布がガウス分布になっているランダムな無相関信号である。
- CNR
信号電力(C)と雑音電力(N)の比のこと。

○ CP (Cyclic Prefix)

巡回性を持たせるためにブロック先頭に付加される信号のこと。ブロック最後尾の信号のコピーをブロック先頭に付加する。

○ FSK 方式

Frequency Shift Keying の略。情報ビットに応じて搬送波の周波数を変化させる変調方式。2 ビットを 4 つの周波数に対応させる。

○ GNSS (Global Navigation Satellite System)

GNSS (全地球測位システム) とは、人工衛星を使用して地上の現在位置を計測する「衛星測位システム」のうち、全地球を測位対象とすることができるシステムのこと。

○ MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimation) 方式

受信信号と、候補シーケンスから作られるレプリカ信号との誤差が最小になる系列を推定する等化方式。

○ OFDM 方式

Orthogonal Frequency Division Multiplexing の略。マルチキャリア方式の一種で、複数の直交搬送波を用いて信号を伝送する。振幅変動：信号波形の振幅が時間的に変化すること。

○ PAPR (Peak to Average Power Ratio)

信号の瞬時電力と平均電力との比： $PAPR[dB]=10\log_{10}(\text{瞬時信号電力}/\text{平均信号電力})$ 。値が大きいほど信号の振幅変動が大きいことを示す。

○ QAM 方式

Quadrature Amplitude Modulation の略。直交振幅変調。情報ビットに応じて搬送波の振幅と位相を同時に変化させる変調方式で、変調シンボルは複素平面上で格子状の信号配置を取る。

○ QPSK 方式

Quaternary Phase Shift Keying の略。情報ビットに応じて搬送波の位相を変化させる変調方式。2 ビットを 4 つの位相に対応させる。

平成28年1月

テレメーター・テレコントロール
の高度利用に関する調査検討
報告書

テレメーター・テレコントロールの高度利用に関する調査検討会

事務局：北海道総合通信局 無線通信部企画調整課

〒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 4622）

FAX 011-700-5463

HP <http://www.soumu.go.jp/soutsu/hokkaido/>

この冊子は古紙を40%以上原料に使用しています