

150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信システムの

技術的条件に関する調査検討 報告書

令和 8 年 3 月

150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信システムの技術的条件に関する調査検討会

LoRa は Semtech Corporation の登録商標である。

目次

- 第1章 調査検討の概要 1
 - 1. 1 調査検討の目的 1
 - 1. 2 調査検討結果概要 2

- 第2章 150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムへのニーズ 9
 - 2. 1 令和5年度に実施した調査検討 9
 - 2. 2 400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムへ寄せられたニーズ 14

- 第3章 150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムの技術的条件に関する調査検討 検討項目 20
 - 3. 1 調査検討での実施項目 20
 - 3. 2 調査検討で目指す方向 25

- 第4章 実証実験 28
 - 4. 1 実証実験の概要 28
 - 4. 2 使用機器 28
 - 4. 3 屋内実証実験結果 32
 - 4. 4 屋外実証実験結果 67

- 第5章 他の無線システムとの共用検討 128
 - 5. 1 実施内容 128
 - 5. 2 150MHz帯における他の無線システムの諸元等調査 129
 - 5. 3 400MHz帯における他の無線システムの諸元等調査 136
 - 5. 4 到達距離、離隔距離の算出 141

- 第6章 諸元・運用条件案 168
 - 6. 1 諸元・運用条件案の検討 168
 - 6. 2 400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システム諸元・運用条件案 168
 - 6. 3 400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システム諸元・運用条件案の修正詳細 170

6. 4	150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム諸元・運用条件案	177	
6. 5	150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム諸元・運用条件案の修正詳細	178	
6. 6	150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム諸元・運用条件案の課題	191	
第7章 技術的条件案			192
7. 1	150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム技術的条件案	192	
7. 2	400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム技術的条件案	202	
第8章 各ニーズへの適用方法案			210
8. 1	150MHz 帯と 400MHz 帯それぞれが適する用途について	210	
8. 2	各システムへの適用可否と課題	212	
おわりに			222
参考資料1	用語解説	223	
参考資料2	参考資料	226	

第1章 調査検討の概要

1.1. 調査検討の目的

四国総合通信局が令和5年度に実施した「中山間地域に有効な400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの導入に係る調査検討」(以下「令和5年度調査検討」という)では、中山間地域に点在する圃場のデータを効率的に収集するための手段として、400MHz帯に狭帯域LoRa®システムを免許局として導入することを視野に、無線システムの試作・実証を行い、400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの技術的条件をとりまとめた。当該調査検討後も、特に通信コストを要しないかつ安価な自営系通信システムへの期待から、瀬戸内海沿岸地域での造船業における在庫管理や船舶衝突防止ソリューションへの活用、中山間地域における林業への活用、山間部の集落地域等における見守りソリューションへの活用等、様々な用途が見込まれた。また、特に中山間地域での利用においては、400MHzよりも伝搬特性に優れた150MHz帯の利用可能性についての期待があった。

そこで、本調査検討では上記のような様々な用途を見据え、150MHz帯及び400MHz帯の利用について令和5年度に実施した調査検討結果の諸条件の見直しや中山間地域以外への適用エリアの拡大に対する検討を行い、150MHz帯/400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの技術的条件(案)を検討した(図1-1)。

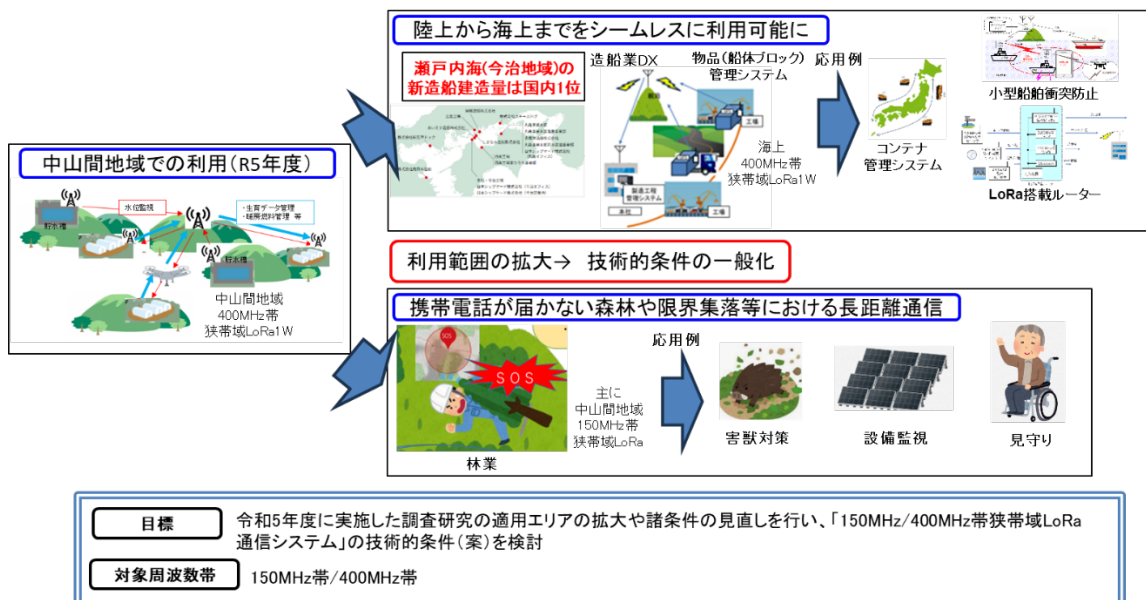


図 1-1 調査検討の概要

1.2. 調査検討結果概要

本調査検討の調査検討結果概要を以下に示す。

(1) 調査検討会の運営

本調査検討を効果的に実施するため、学識経験者、150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムの開発/販売を行うことが見込まれるメーカーやサービス提供者、実際に利用が想定される者、共用検討の相手方となる当該周波数帯における既存無線システムを取り扱う通信機器製造者等から、13名を構成員とする調査検討会を設置し、開催に係る日程調整、使用する資料作成、構成員への照会、議事録の作成等を含めたすべての運営を行った。なお、調査検討会の構成員については、事前に主管課と相談の上で決定した。調査検討会は3回、対面形式にて開催し、開催地は事前に主管課と相談の上で決定した。構成員に対しては請負者の規定又は国の基準等に従い旅費及び謝金を支払った。

● 調査検討会概要

各時点での検討結果について報告を行い、御指摘やご助言についてお伺いし、諸元・運用条件案への反映を行い、本調査検討を効果的に実施するため、調査検討会を設置し、会合を3回、対面とオンライン併用で開催を行った。調査検討会構成員およびオブザーバーを以下に示す。

構成員

【主査】

福本 昌弘 高知工科大学 情報学群 教授

【副主査】

都築 伸二 愛媛大学 大学院理工学研究科 教授

【構成員】

岩尾 忠重 高知大学 総合科学系複合領域科学部門 教授

清水 鏡介 愛媛大学 工学部社会基盤工学コース 助教

中畑 和之 愛媛大学 大学院理工学研究科 教授

不破 泰 信州大学 DX推進センター特任教授

小池 幸永 株式会社サーキットデザイン 最高技術顧問

小宮山 真康 一般社団法人電波産業会規格会議小電力無線局作業班構成員（株式会社サーキットデザイン）

高橋 完 株式会社アイエスイー 代表取締役

伴 憲之 一般社団法人電波産業会規格会議小電力無線局作業班構成員（アイコム株式会社）

藤本 晶史 株式会社フォレストシー IoT 通信事業部課長

和田 成登 一般社団法人全国陸上無線協会 四国支部支部長

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無線システム開発部シニアマネジャー

【オブザーバー】

森山 徹 今治市産業部産業政策局 海事都市今治推進課長

山内 智博 今治造船株式会社 設計本部特殊船設計グループ兼経営企画本部 DX 推進室専任副部長

吉田 一志 国立研究開発法人情報通信研究機構

田野 正行 総務省総合通信基盤局電波部移動通信課 課長補佐

福川 優治 総務省総合通信基盤局電波部基幹・衛星移動通信課重要無線室課長補佐

佐々木 信行 総務省四国総合通信局 無線通信部長

※敬称略、五十音順

【事務局】電気興業株式会社

- 調査検討会会合

以下の日時に合計 3 回開催を行った。また、実証実験公開を 1 回実施している。

- 第一回会合 令和 7 年（2025 年）7 月 25 日 15:00～17:00 オンライン開催と実地開催を併用 実地 四国総合通信局 会議室
議事 （1）「150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの技術的条件に関する調査検討」調査検討の進め方について
- 第二回会合 令和 7 年（2025 年）12 月 4 日 10:00～12:00 オンライン開催と実地開催を併用 実地 今治造船株式会社 現場事務所南館大会議室

- 議事 (1) 第一回調査検討会 議事録の確認
- (2) 「150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの技術的条件に関する調査検討」検討状況について

- 屋外実証実験公開 令和7年(2025年)12月4日 13:00~15:00 オンライン開催と実地開催を併用 実地 今治造船株式会社 現場事務所南館大会議室

公開内容：150MHz 帯/400MHz 帯 LoRa®通信システム伝搬調査状況を公開
NICT 実証事業「造船工場のデジタルツイン構築による屋外ブロックの自動把握システムの実証型研究開発」の実証公開と合わせて開催。

- 第三回会合 令和8年(2026年)3月17日 14:00~16:00 オンライン開催と実地開催を併用 実地 四国総合通信局 会議室

議事 (1) 第二回調査検討会 議事録の確認
(2) 報告書案について

- (2) 150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの技術的条件案・報告書案のとりまとめ

150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの技術的条件案・報告書案をとりまとめた。測定したデータ等については、第三者が利用・検証可能な状態に整理し、報告書に沿って取りまとめた。技術的条件案等の諸元は、令和5年度調査検討報告書¹と同等以上の諸元について検討を行った。具体的な検討結果は、第6章、第7章に記載している。

- (3) 150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの利用用途にあわせた諸元・運用条件等の検討

技術的条件案の検討にあたっては、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信シス

¹ 「中山間地域に有効な 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの導入に係る調査検討」報告書 https://www.soumu.go.jp/main_content/000942362.pdf

テムの利用用途について利用が想定される者へのヒアリング調査等を行った上で、具体的な利用用途を整理し、それぞれの利用用途に応じた諸元や運用条件等を検討した。検討にあたっては、以下の検討を行った。

ア 利用範囲の拡大検討

令和5年度調査検討に加えて、沿岸地域（沿岸における海上伝搬も考慮した。以下同じ）及び中山間地域（山間部の集落地域も考慮した。以下同じ）での利用検討を行い、陸上から海上までシームレスに利用可能な技術的条件案を検討した。具体的な検討結果は、第6章、第7章に記載している。

イ 150MHz と 400MHz の効果的な利用手法の検討

活用する周波数帯は、令和5年度調査検討で使用した400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムに加えて150MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの活用検討を行い、利用用途や利用場所によって効果的な利用方法を検討した。具体的な検討結果は、第8章に記載している。

ウ 令和5年度調査検討の技術的条件案の見直し

400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの検討については、送信データ量の増加を見込んだ占有周波数帯幅の見直し等、令和5年度調査検討の技術的条件の諸元を見直した。150MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの検討については、選定した周波数帯における既存の技術的条件をもとに、400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムでの検討状況と整合を図りながら技術的条件案を策定した。具体的な検討結果は、第6章、第7章に記載している。

エ 収容局数を確保できる周波数共用手法の検討

アからウを踏まえて想定される必要な収容局数等を決定し、900MHz帯特定小電力のLDC（Low Duty Cycle）方式のように、キャリアセンスを無くし、送信時間制限や送信時間総和制限など簡易な手法の周波数共用機能を検討した。具体的な検討結果は、第6章に記載している。

（4）他の無線システムとの共用検討

ア 150MHz/400MHz帯における他の無線システムの諸元等調査

150MHz帯/400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの利用が想定される周波数帯

における割当て状況（無線局データベース）、周波数割当表、過去の情報通信審議会の委員会報告等を調査し、150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムの導入にあたって共用検討が必要となる既存の無線システム（同一チャンネル及び隣接チャンネルについて検討する）を選定し、その諸元（次項に示す共用検討に必要な諸元等とする。）を調査しとりまとめた。具体的な検討結果は、第5章、第6章に記載している。

イ 共用検討（机上検討）

自由空間伝搬損失にて、150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムとアで調査した既存の無線システムとの共用検討を実施し、150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムを導入するために必要な共用条件案をとりまとめた。その際、（3）において検討した条件に従って与干渉及び被干渉の机上検討・シミュレーション評価を実施して所要改善量と必要離隔距離を算出して、150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムの共用条件案をとりまとめた。具体的な検討結果は、第5章に記載している。

ウ 提案システムの周波数選定

ア及びイの検討結果を踏まえて、（6）に示す実証試験を実施するために、最適な地域割当可能な周波数を選定した。周波数の選定にあたっては主管課と協議しながら検討した。具体的な検討結果は、第5章、第6章に記載している。

（5）150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムの試作

（2）から（4）までの検討結果を踏まえた150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムの試作を行った。特に（3）アからエにおいて検討した機能を実装した。試作システムの構成・局数は、（6）に示す実証試験を実施するために必要な構成とした。具体的な検討結果は、第4章に記載している。

（6）実証試験

（2）から（5）までにおいて実施した結果を確認・分析・評価するため、以下のとおり屋内実証及び屋外実証を実施した。なお、効率的かつ効果的な実証試験を実施するために、適切な実施体制及び試験環境を構築した。実証を行うために必要

な無線局免許の取得、無線局免許の取得に必要な無線機特性の測定・書類作成・申請、実証場所及びその使用交渉、測定に必要な測定機器類（データ取得に必要なログ取得用ソフトウェアの製作を含む）・共用検討に使用する既存無線システム・その他実証に必要な資材の調達等の対応を行った。

ア 屋内実証

屋内の実証については、実験室内（ケーブル接続、減衰器等を利用）にて、以下を実施した。具体的な検討結果は、第4章に記載している。

（ア）（5）において試作した試作システムの電波伝搬特性を測定し、設計どおりの性能を有することを確認した。なお、測定に際しては（3）において検討した運用条件に対応する条件で受信感度及び伝送速度を計測した。このほか、技術的条件案のとりまとめに必要な諸元等についても測定を行った。

（イ）150MHz帯狭帯域LoRa®通信システムについては、（5）において試作した試作システムと（4）において共用検討を実施した既存無線システムの実機を用意して実際の被干渉及び与干渉について測定して（4）においてとりまとめた共用条件の案に対する確認・分析・評価を実施し、（1）において設置する調査検討会委員の合意が得られる共用条件をとりまとめた。400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムについては、令和5年度調査検討結果を活用した。

イ 屋外実証

試作システムにて、四国管内において実際に電波を発射し、以下の実証を実施した。実証期間内に調査検討会の構成員や展開先として想定される者等を対象として実証視察会を開催した。視察会の実施内容、開催日時等の詳細は主管課と協議しながら検討した。具体的な検討結果は、第4章に記載している。

（ア）試作システムを使用して（3）においてとりまとめたそれぞれの利用用途に応じた諸元や運用条件等に対応して、次に示す3つの条件での実証を実施し、（2）の技術的条件案に対する確認・分析・評価を実施した。

- a 技術的条件案の検討にあたって理想的な伝搬状況を検討するために、山頂等の高所から送信し、平野、市街地、海上、山間地における伝搬状況を調査し、技術的条件案に必要な各種の諸元を測定した。
- b 中山間地域での実利用を想定して、令和5年度調査検討と同様に中山間地域の低所から送信し、山を越えた先の低所における伝搬状況を調査し、

技術的条件案に必要な各種の諸元を測定した。

- c 沿岸部における実利用を想定して、実際にアンテナの設置が見込まれる比較的低位となる施設の屋上等から送信し、沿岸部、対岸、船上等での伝搬状況を調査し、技術的条件案に必要な各種の諸元を測定した。
- (イ) 429MHz 帯特定小電力システム及び 900MHz 帯特定小電力システムも用いて実証を行い、試作システムとの比較検証を実施した。
- (ウ) 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム及び 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムそれぞれ、利用用途を想定した条件にて 2 週間程度運用してデータを取得し、調査検討終了後の実運用に向けた検討を行った。
- (エ) LoRa®通信システムの利用にあたっては、都市雑音の影響を大きく受けることが想定されることから、屋外の実証試験時には、都市雑音の計測と分析もあわせて行った。

第2章 150MHz帯/400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムへのニーズ

2.1. 令和5年度に実施した調査検討

令和5年度に総務省四国総合通信局において、中山間地域に有効な400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの導入に係る調査検討を実施している。その概要を以下に示す。

2.1.1. 令和5年度の検討内容

高知県内農家の皆様から、廉価で、中山間地域でも飛ぶ無線通信システムがほしいというニーズ、お困りごとが寄せられたことが検討開始の起点となっている（図2-1）。解決のために、920MHz帯よりも伝搬距離が期待できる400MHz帯に狭帯域LoRa®通信システムを導入することを目的として、特に高知県において検討が進んでいる中山間地域に点在する圃場や貯水槽のデータを集約可能な「400MHz帯農業用地域インフラ間通信システム」を活用した実証試験を実施し、400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの最適諸元等を検討し、技術的条件をとりまとめた（図2-2）。



図 2-1 高知県内農家の皆様からのニーズ、お困りごと

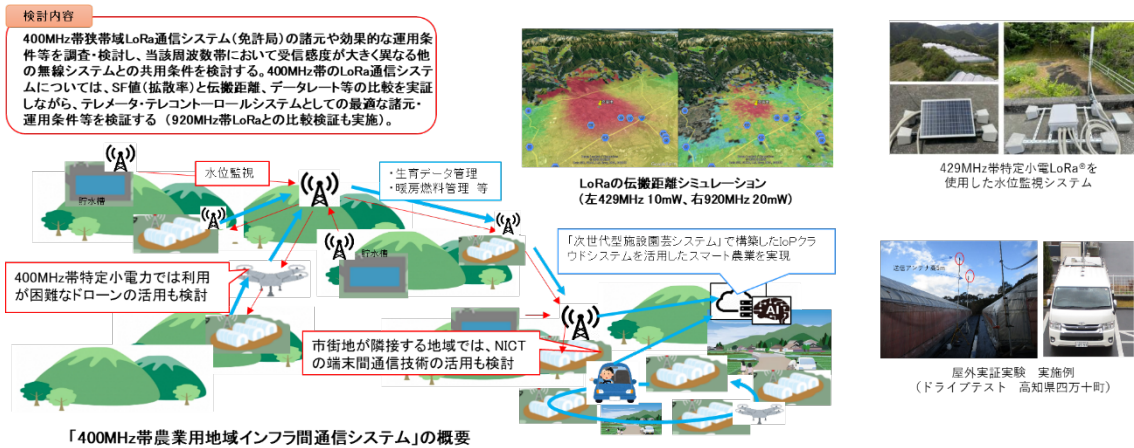


図 2-2 令和5年度の検討内容

2.1.2. 令和5年度の実証実験結果

400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの試作を行い、高知県内の中山間地域（屋外）にて実際に電波を発射し、受信電力やパケットエラーレート（PER）の測定を行う伝搬調査を実施した。広範囲の受信状態を把握するために、送信は固定、受信は車両で移動した状態にて測定するドライブテストを実施している（図 2-3）。また、400MHz帯狭帯域LoRa®の他に、429MHz帯特定小電力LoRa®及び920MHz帯特定小電力LoRa®についても同時に測定を行い、比較検証を実施した。測定条件を表 2-1 に示す。

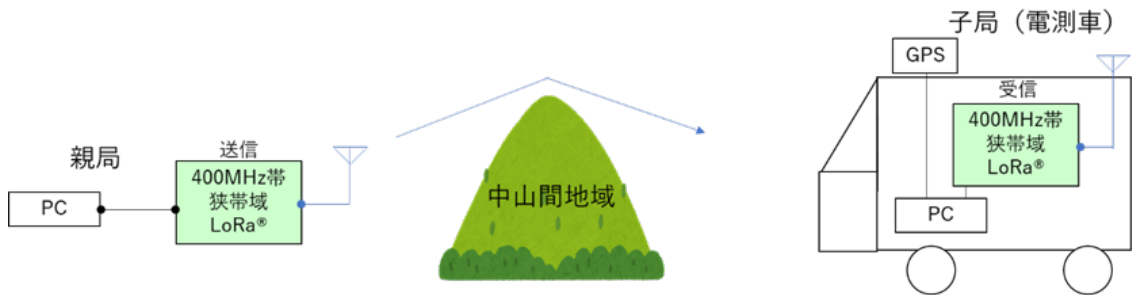


図 2-3 ドライブテスト概要

表 2-1 ドライブテストの測定条件

周波数	414.8MHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 429.5MHz (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 920.6MHz (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
空中線電力	1W (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 10mW (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 20mW (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
送信アンテナ高	5m
受信アンテナ高	2m (電測車屋根に設置)
送信アンテナ利得	2dBi (無指向性)
受信アンテナ利得	2dBi
送信ケーブル損失	2.6dB (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 2.6dB (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 8.5dB (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
受信ケーブル損失	1.0dB (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1.0dB (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 1.6dB (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
偏波面	垂直
電測車走行速度	時速約 40km
送信場所	高知県四万十町内の圃場
測定項目	受信電力

ドライブテスト測定結果を、図 2-4～図 2-6 に示す。地図上に受信レベルを色分けして表示している。

図 2-4 親局 (圃場) から送信 400MHz 帯狭帯域 LoRa®414.8MHz1W 拡散係数 SF=7

図 2-5 親局 (圃場) から送信 429MHz 帯特定小電力 LoRa®429.5MHz10mW
拡散係数 SF=7

図 2-6 親局 (圃場) から送信 920MHz 帯特定小電力 LoRa®920.6MHz20mW
拡散係数 SF=7

ドライブテスト測定結果から、400MHz 帯狭帯域 LoRa®は、一山超えた先、さらにその先まで電波が到達していた。429MHz 帯特定小電力 LoRa®は、見通し範囲内に加えて、電波は弱いが一山超えて電波が到達していた場所が見られた。920MHz 帯特定小電力 LoRa®は、見通し範囲内のみ到達しており、山を越えて伝搬することは難しい結果となった。

中山間地域で一山超えた先と通信するためには、400MHz 帯狭帯域 LoRa[®]が有用であることを示す結果となった。

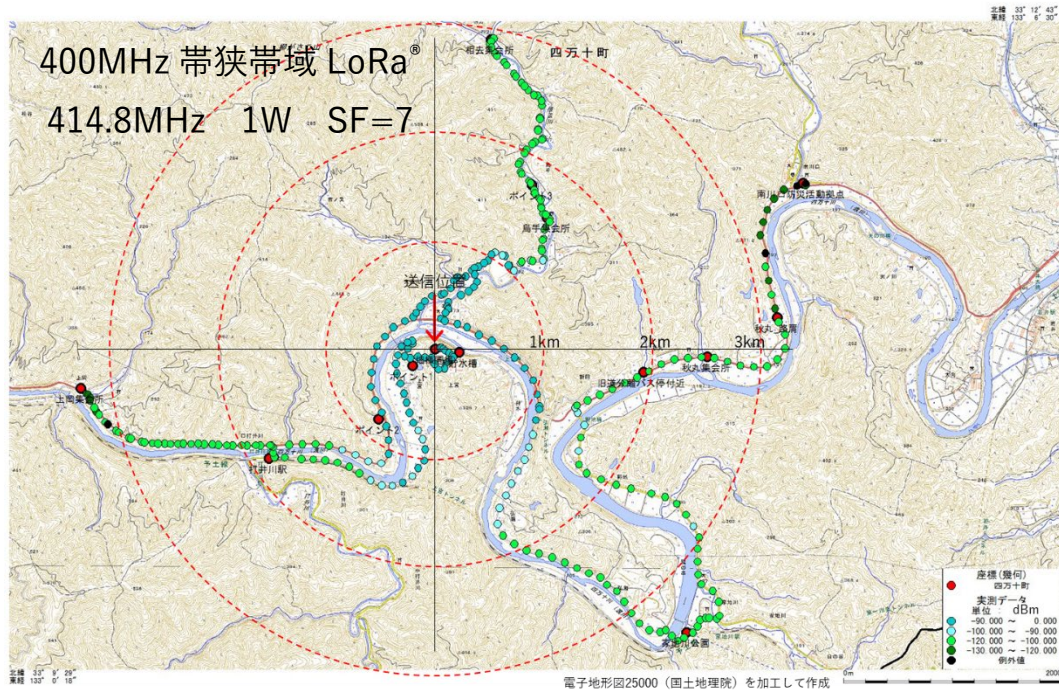


図 2-4 ドライブテスト結果 400MHz 帯狭帯域 LoRa[®]

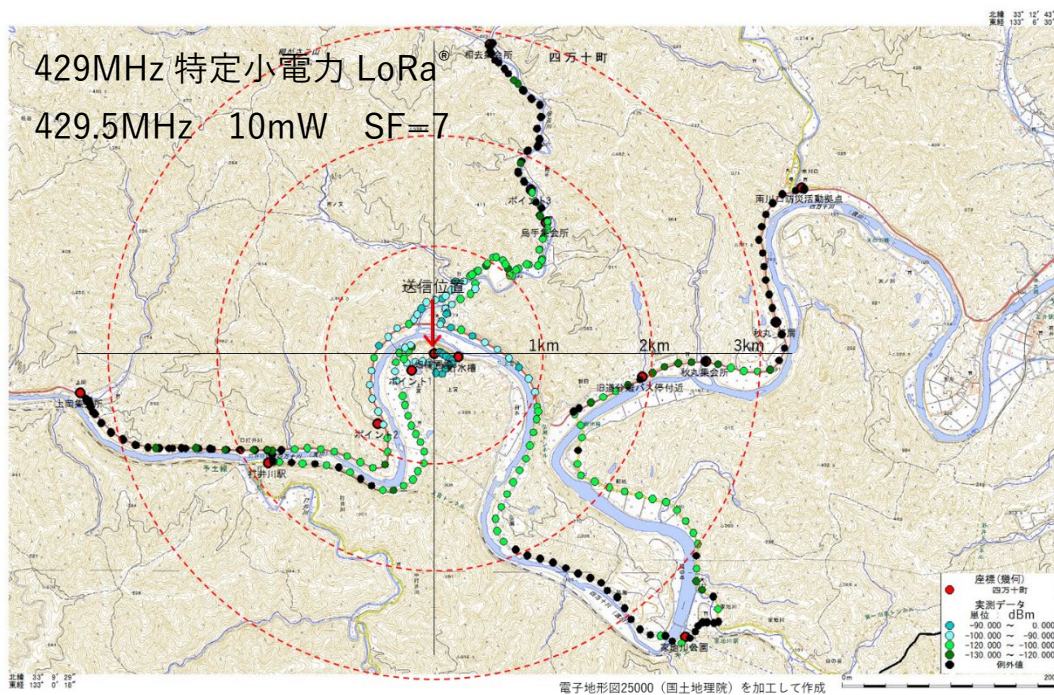


図 2-5 ドライブテスト結果 429MHz 帯特定小電力 LoRa[®]

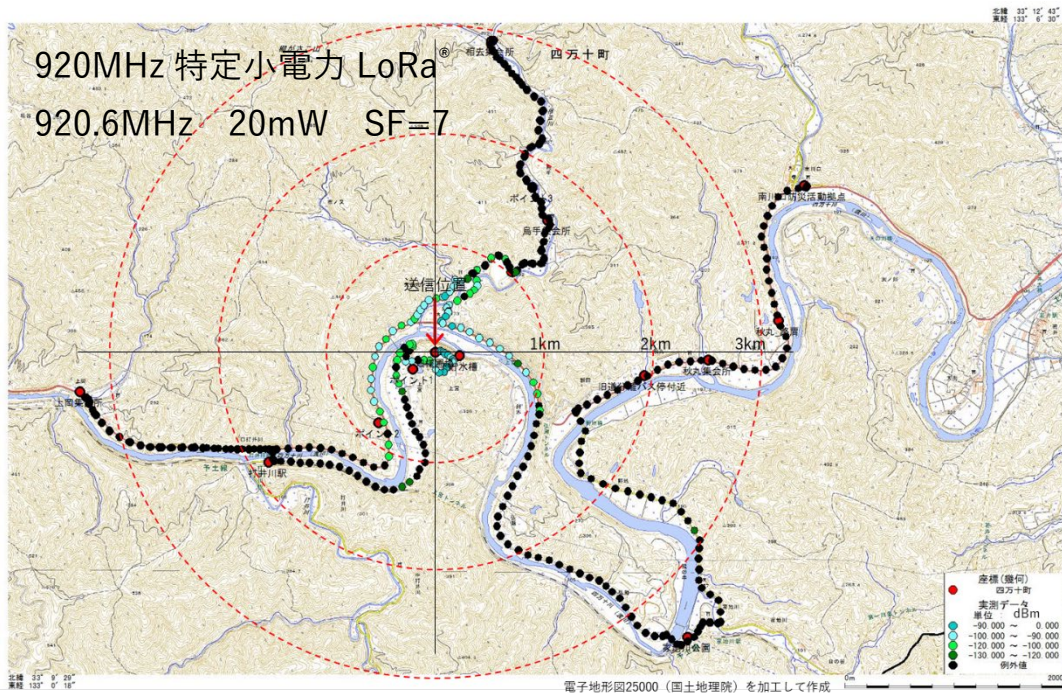


図 2-6 ドライブテスト結果 920MHz 帯特定小電力 LoRa®

2.1.3. 令和 5 年度の諸元・運用条件案

各種実証実験や共用検討の結果を受けて、令和 5 年度の調査検討において制定した 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの諸元・運用条件案を表 2-2 に示す。

表 2-2 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの諸元・運用条件案

システム名	400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム
周波数	400MHz 帯
出力	1W
占有周波数帯域幅	最大 8.5kHz
必要チャネル数	3 チャネル
キャリアセンス	あり または なし
キャリアセンスレベル	-96dBm
	LoRa®の電波を受信しているか否かで判断を行うキャリアセンス機能を合わせて搭載することが推奨される
送信時間制限	30 秒以下

送信休止時間	2 秒以上
1 時間あたりの送信時間総和	キャリアセンスなし：180 秒以下 (Duty5%) キャリアセンスあり：制限なし
局数 データ量 通信頻度	上記条件は以下の前提で算出している 局数 半径 1 k m (3.14km ²) あたり 30 局 (中山間地域では、1km 範囲内に山があり、見通し外になると考えられる) データ量 100Byte 通信頻度 10 分に 1 回
送信時間、送信時間総和の制限方法	無線機内に制限を行う機能を内蔵するか、無線従事者が運用時に適切に設定して運用を行うかのいずれか
混信防止機能	通信する相手方を識別するための符号 (識別符号) を自動的に送信し、又は受信する機能を備える
変調方式	LoRa [®] (429MHz 特定小電力 LoRa [®] と同じ)
電波の型式	F1D
通信方向	単方向を基本とし、双方向も可能とする
上空利用	上空での受信は可能、送信は不可
端末間通信	キャリアセンスなし時 適用は困難 キャリアセンスあり時 適用可能
中山間地域以外での使用	中山間地域とは別の諸元・運用条件案が必要
無線局免許、無線従事者電波利用料	無線局免許 必要、無線従事者 必要、 陸上移動局 200 円/年
到達距離	中山間地域で、ひと山を超える距離 1~2km 程度を想定
無線局の目的	一般業務用小容量テレメータシステム 中距離自営回線を想定 親局 1 局⇔子局 1~3 局

400MHz 帯狭帯域 LoRa[®]通信システムは、特徴として、水位計など小容量で低頻度の通信に特化し、中山間地域で、ひと山を超える到達距離を確保できるシステムとなっている。ただし、迅速に使用できるようにするために、現行の枠組み内で実施する方向で検討を行っており、無線局免許が必要で、無線従事者免許も必要となる。

2.2. 400MHz 帯狭帯域 LoRa[®]通信システムへ寄せられたニーズ

令和 5 年度の調査検討会内や、調査検討会終了後、400MHz 帯狭帯域 LoRa[®]通信システ

ムに対して、中山間地域の農業用向けに限らず、他分野への適用についてニーズが寄せられた。主なものを以下に示す。

2.2.1. 造船業 DX に対するニーズ

新造船建造量で見ると、日本の造船業は 1990 年代には世界の 4 割近くのシェアを占め、現在でも中国、韓国に次いで世界トップシェアを誇っており、その 7 割近くが瀬戸内海地域に集中している。この造船業においては DX（デジタル トランスフォーメーション）化に注力し、物流システムのデジタル化・高度化を進められている。

船体の建造は、一カ所で一度に建造するのではなく、船体を複数の部分（船体ブロック）に分けて離れた工場で作成し、最後に造船所に集めてつなぎ合わせるブロック工法が採用されている。船体ブロックは、陸地や島しょに分散された工場を移動しながら製作されるため、陸上間での移動にはトレーラーに、島しょ間での移動にはタグボートに、クレーンによって載せ替えて移動させる。造船業 DX の一環として、この船体ブロックがどこにあるのか、どのような状態なのか一括管理したいが、船体ブロックは広範囲に離れた工場にて分散している。船体ブロックを一元管理するため、400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムを使用した船体ブロック位置管理システムに期待が持てること、聞き取り調査により判明した（図 2-7）。

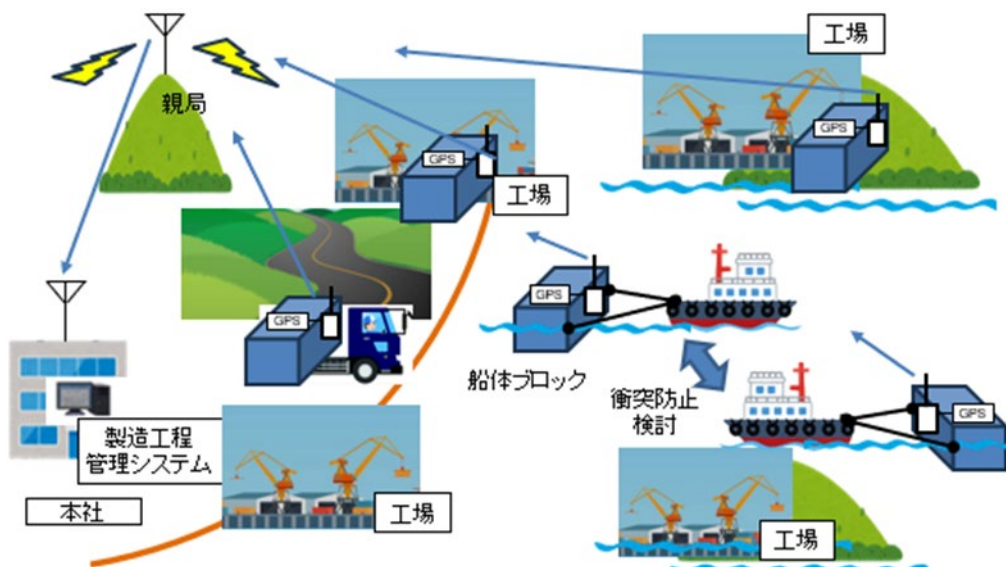


図 2-7 船体ブロック位置管理システムの概要

瀬戸内海には離島が点在するため、島影になるエリアをカバーしつつ、離れた造船所との通信を可能とするためには、400MHz 帯よりも 150MHz 帯など低い周波数の使用が有効で

あると考えられる。一方で、令和5年度調査検討では、山間部に囲まれた限定的なエリアの中での利用を想定し、なるべくキャリアセンスを使用しない安価なシステム構築を目指した技術的条件案を取りまとめる方向で検討を進めてきたことから、海上に向けて視野の開けた沿岸部で伝搬距離が大幅に伸び、収容する子局の局数が大幅に増加することが見込まれる環境においては、あらためて運用条件を明確にし、実現可能性や効果について検討を行う必要がある。

2.2.2. 船舶の衝突防止対策に対するニーズ

知床遊覧船沈没事故を契機として、小型船舶の安心・安全の確保は喫緊の課題である中で、瀬戸内海においても小型船舶の衝突事故が多発しており、小型船舶の衝突防止対策として400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムに期待が持てることが、聞き取り調査により判明した(図2-8)。電波によって位置情報を周りの船舶に向けて送信し、接近時には警報を発する小型船舶衝突防止システムとなっている。瀬戸内地域という限定エリア内で、造船関係や漁業関係者等の小型船舶でこのシステムを共有することで、地域の船舶の安全航行に期待が持てる。

一方で、2.2.1と同様に沿岸部での利用となること、安全確保に関する諸々の条件に適合させる必要があるか等の検討等が必要と考えられることから、今後の導入に向けては、あらためて運用条件を明確にし、実現可能性や効果について検討を行う必要がある。

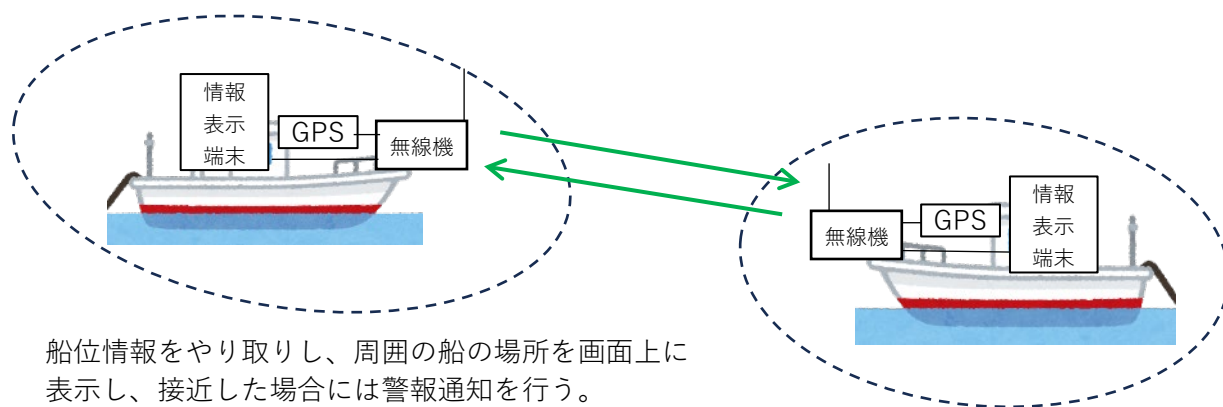


図 2-8 小型船舶衝突防止システムの例

また、小型船舶衝突防止システムにおいては、船舶が常に移動するため、位置を頻繁に送信する必要がある。船舶におけるスマートフォンアプリ活用のためのガイドライン(平成29

年3月国土交通省海事局)¹によると、海上交通の安全性向上のためのアプリには、自船・他船の位置情報をサーバーと送受信する間隔は、3秒以下とすることを求められている。このため、電波での位置情報の送信は3秒以下の間隔とする必要がある。また、送信するデータ量は緯度経度情報等で30~40Bytes程度となる。農業用の水位計用途であれば、1日に1~2回程度の通信であっても十分な場合があるため、400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムが、通信頻度を多くした場合へ対応可能か検討が必要となる。

2.2.3. 林業に対するニーズ

令和5年度の検討成果を四国総合通信局主催のICT技術勉強会（令和6年2月22日、愛媛県松山市）に出展・展示を行ったところ、林業等への活用を目的として現在運用されている山間部での920MHz帯LPWAを活用した通信ネットワークの設備更改に対して、本システムの有効性に関心が寄せられた。携帯電話不感地域で緊急事態が発生した場合に通報するシステム（図2-9）や、林業従事者の位置を通報するシステム（図2-10）であり、中山間地域で伝搬距離の確保が必要なため、400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムが適用できる可能性がある。また、中山間地域でも通信可能な特性を生かして、林業に限らず中山間地域での設備監視（電気柵監視など）や見守りにも、適用可能と考えられる。

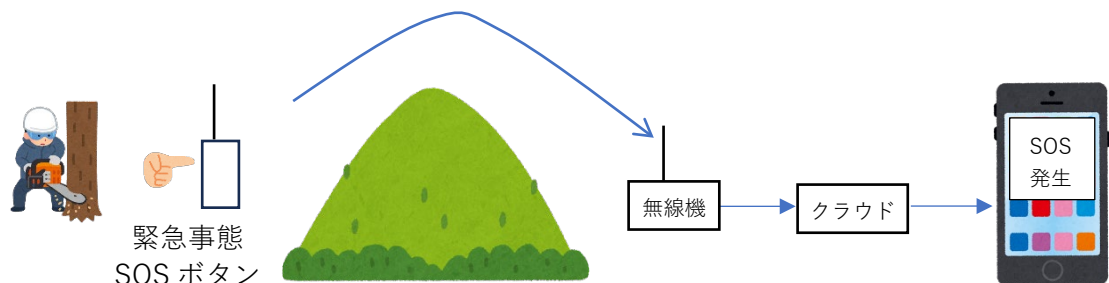


図 2-9 林業での緊急通報システムの例

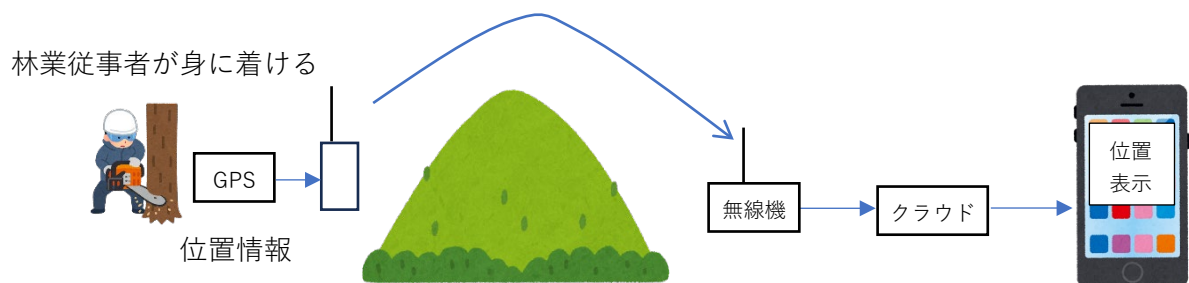


図 2-10 林業従事者位置通報システムの例

¹ <https://www.mlit.go.jp/common/001176064.pdf>

2.2.4. 電気柵監視に対するニーズ

サル、イノシシ、クマなどの野生鳥獣が畑などの進入を防止するため、電気柵が設置されている。柵を電線で構成して4,000V程度の電圧を印加し、動物が柵に触れた場合、電気ショックを与えて進入を防ぐ装置である。電気柵は、断線や雑草や木などの接触によって印加電圧が下がることがあり、電圧低下時には電気柵としての機能が低下してしまう。また、ソーラーパネルやバッテリーで動作させる場合もあり、バッテリー切れの際も動作しない。このため、電気柵の電圧を監視し、電圧低下時にはメール等で異常を知らせる電気柵電圧監視システムが導入されている。

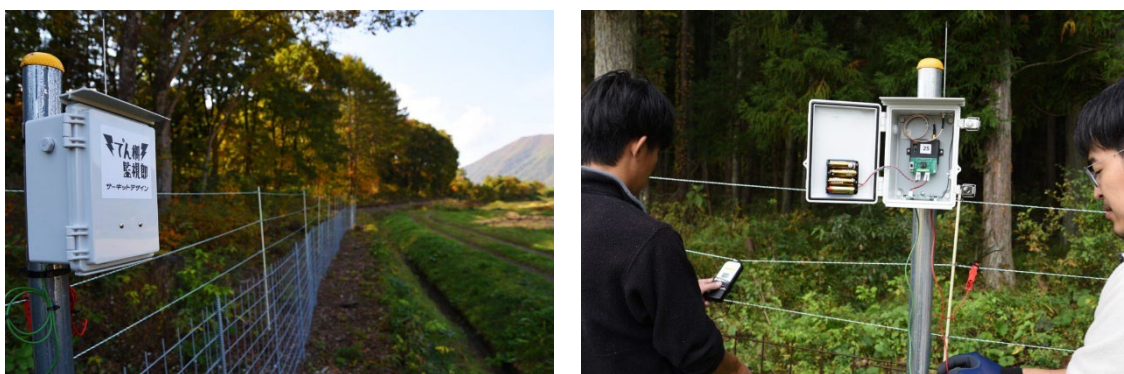


図 2-11 電気柵電圧監視システム²

例に挙げた電気柵電圧監視システムにおいては、429MHz 帯特定小電力 LoRa®を使用し、電圧低下情報の送信を行っているが、中山間地域でさらに長距離の通信距離を確保したいニーズがあり、400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムが適用できる可能性がある。

2.2.5. その他のニーズ

令和5年度の本調査検討会会合において、構成員・オブザーバーから以下のようなニーズに400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムが使用できるのではないかと御指摘を頂いている。

- 中山間地域の防災、災害対策、防災行政無線の代替、インフラ管理点検
- 人流測定（センサを設置してカウント結果を LoRa®にて送る）
- 水田の水位測定、果樹の水分状態に応じて水を遠隔で与える仕組み
- 狭い中山間道路の対向車表示の信号伝達

² <https://www.tracking21.jp/news/2023-12-01-efence/>

2.2.6. 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムへ寄せられたニーズのまとめ

令和5年度の調査検討会にて検討した400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムについては、以下のような特徴を有している（図2-12）。

中山間地域において 低容量 + 低頻度 + 長距離

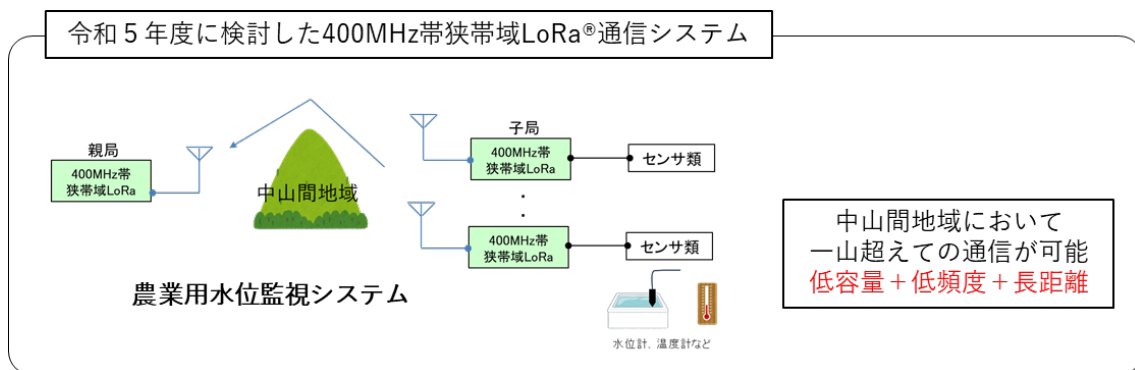


図2-12 400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの特徴

新たに寄せられているニーズをまとめると、この特徴をさらに拡大したものと考えられる。具体的には、以下のような通信システムが求められていると考えられる（図2-13）。

山間部に限らず海上や平野部において 低容量 + 低頻度～中頻度 + 長距離

中山間地域において 低容量 + 低頻度 + さらに長距離

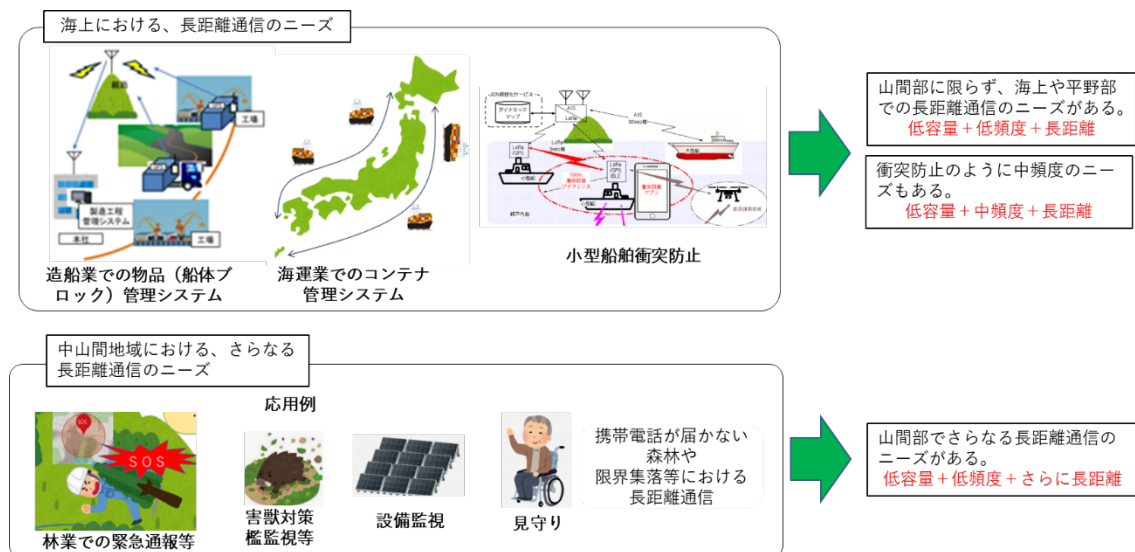


図2-13 新たに寄せられているニーズまとめ

第3章 150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムの 技術的条件に関する調査検討 実施項目

3.1. 調査検討での実施項目

第2章で示した新たなニーズに応えるため、下記に示した調査検討を実施し、150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®通信システムの導入を目指す。

1) 利用範囲の拡大

陸上内での移動や沿岸部での活用を視野に、陸上から海上までシームレスに利用可能な技術的条件案を検討。

2) 150MHzと400MHzの効果的な利用手法の検討

400MHz帯に加えて150MHz帯(150MHz帯人・動物検知通報システム)を活用した効果的な利用方法を検討。

3) 収容局数を確保できる周波数共有手法の検討

900MHz帯特定小電力のLDC(Low Duty Cycle)方式のように、キャリアセンスを無くし、送信時間制限や送信時間総和制限など簡易な手法の周波数共有機能を検討。

4) 占有周波数帯幅の検討

収容効率向上のために最適な占有周波数帯幅を検討(16kHz程度までを想定)。

5) 隣接システムとの共用検討

6) 「LoRa®搭載ルーター」の検討

利用促進につながる「LoRa®搭載ルーター」の試作・評価(150/400MHz狭帯域 LoRa®、LPWA、Wi-Fi等を搭載したルーター)。

以上の調査検討の結果、明らかになった事項について、令和5年度調査検討の技術的条件の見直しを行う。各検討項目の詳細を以下に示す。

3.1.1. 利用範囲の拡大

陸上内での移動や沿岸部での活用を視野に、陸上から海上までシームレスに利用可能な技術的条件案の検討を行う(図 3-1)。令和5年度は中山間地域のみでの検討であったが、今回、海上伝搬調査を実施し、400MHz 帯狭帯域 LoRa®を海上で使用する場合の技術的条件案を検討する。また、令和5年度と今年度の検討結果をもとに、400MHz 帯狭帯域 LoRa®を海上から陸上までシームレスに利用可能な技術的条件案の検討を行う。

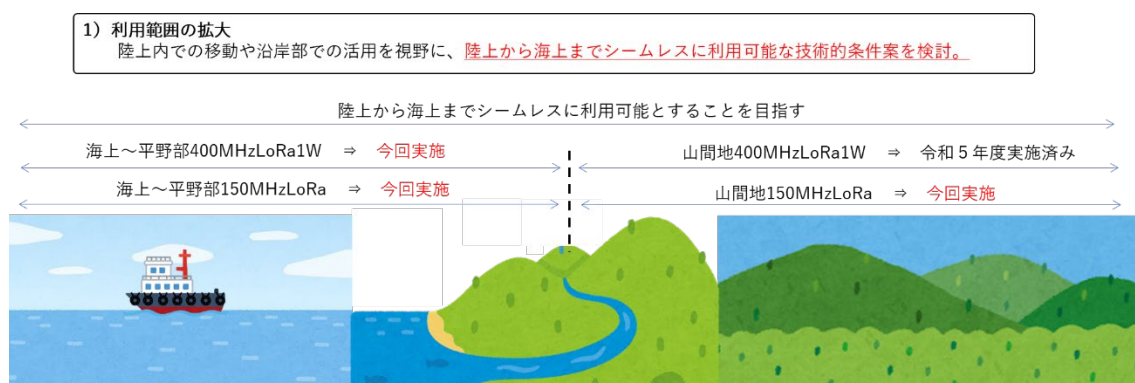


図 3-1 利用範囲の拡大

3.1.2. 150MHz と 400MHz の効果的な利用手法の検討

400MHz 帯に加えて 150MHz 帯 (150MHz 帯人・動物検知通報システム) を活用した効果的な利用方法の検討を行う。150MHz 帯については、400MHz 帯よりも周波数が低いため、中山間地域では回折や山に回り込むことで、長距離の通信が可能になると思われる。しかし、海上では障害物がない場合は、長距離伝搬するため、他局へ干渉を与える場合が考えられる。また、波長が長くなるため小型のアンテナでは利得が低下し、通信距離を確保できないことも考えられる。また、周波数が低くなるに従い、周囲の環境ノイズのレベルが高くなるため、受信感度に影響することも考えられる。これら伝搬距離や他局への干渉、小型化した際のアンテナ利得、環境ノイズ等を考慮に入れながら、例えば、使用場所や使用目的ごとに、150MHz 帯か 400MHz 帯なのか、適する用途例を提示しつつ、効果的な利用手法の検討を行う(図 3-2)。

150MHz帯と400MHz帯の差のイメージ

	150MHz帯	400MHz帯
海上での伝搬距離	長（飛びすぎ?）	中
平野での伝搬距離	中～長	中
市街地での伝搬距離	中	中
山間部での伝搬距離	中	短～中
アンテナ	大型になる 小型アンテナでは利得が低い	中型 小型アンテナでも利得が確保できる
環境ノイズ	大	小

効果的な利用手法の検討

伝搬距離や他局への干渉、小型化した際のアンテナ利得、環境ノイズ等を考慮に入れながら、例えば、使用場所や使用目的ごとに、150MHzと400MHzなのか、適する周波数帯の提案を行う。

図 3-2 150MHz 帯と 400MHz 帯の差のイメージ

150MHz 帯人・動物検知通報システムは、特定小電力無線局であるため、免許不要で使用できる。150MHz 帯で空中線電力 1W まで使用可能なため、中山間地域で伝搬距離を確保したい場合に適したシステムである。しかし、通信の内容が、「主として人又は動物の行動及び状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御を行うものであること」とされているため、使用できるシステムには制限がある。例えば第 2 章で上げたニーズのうち、使用可能なニーズとそうでないものの区分は表 3-1 の通りと考えられる。人又は動物の行動及び状態に関する情報を伝送するシステムは使用可能だが、物の位置情報や農業の水位、温度湿度などの伝送には使用できないと考えられる。これらニーズにおいて使用可能とするためには、通信の内容の範囲を拡大する必要がある。

表 3-1 150MHz 帯人・動物検知通報システムの使用可否

150MHz 帯人・動物検知通報システムを使用可能	150MHz 帯人・動物検知通報システムを使用できない
林業での緊急通報システム	造船業での船体ブロック位置管理システム
林業従事者位置通報システム	小型船舶衝突防止システム
人流測定（センサを設置してカウント結果を LoRa®にて送る）	中山間地域の防災、災害対策、防災行政無線の代替、インフラ管理点検
	水田の水位測定、果樹の水分状態に応じて水を遠隔で与える仕組み
	狭い中山間道路の対向車表示の信号伝達
電気柵電圧監視システム（動物の行動及び状態に関する情報を伝送する場合）	電気柵電圧監視システム（例えば、追加機能として周囲の温度湿度や水路水位等を伝送する場合）

3.1.3. 収容局数を確保できる周波数共有手法の検討

周波数を他の無線局と共用する場合、周波数共有手法を実施する必要がある。例えば、無線局間で同期をとって送受信を制御したり、キャリアセンスや送信時間制限、送信時間総和制限をしたりする手法がある。収容しなければならない無線局の数も、手法の検討の際には考慮する必要があり、局数が多い場合は、厳しめの送信制限を課す必要が出てくる。また、周波数共有手法を実装した場合、無線機の価格上昇につながる手法もあり、できるだけ簡易で安価な手法が望ましい。例えば 920MHz 帯特定小電力無線局において導入された LDC (Low Duty Cycle) 方式のように、キャリアセンスを無くし、送信時間制限や送信時間総和制限といった簡易な手法を採用した例もあるため、これら他システムの手法を参考にしながら検討を行う。

表 3-2 920MHz 帯特定小電力での周波数共有手法

空中線電力	1 時間あたりの送信時間総和	送信時間	休止時間	チャンネル数	キャリアセンス
20mW	制限なし	4 秒以下	50m 秒	15ch 分 (200kHz 幅)	必要
20mW	360 秒以下 (Duty10%)	0.4 秒以下	送信時間の 10 倍または 2m 秒	29ch 分 (200kHz 幅)	必要
20mW (LDC)	36 秒以下 (Duty1%)	4 秒以下	50m 秒	15ch 分 (200kHz 幅)	不要
20mW (FH)	720 秒以下 (Duty20%) 周波数 ホッピングあり	0.4 秒以下	4 秒	23ch 分 (200kHz 幅)	不要
1mW	3.6 秒以下 (Duty0.1%)	0.1 秒以下	100m 秒	34ch 分 (200kHz 幅)	不要
1mW	制限なし	0.05 秒 以下	50m 秒	16ch (100kHz 幅)	不要

3.1.4. 占有周波数帯幅の検討

占有周波数帯幅について、令和 5 年度の 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムにおいては 8.5kHz としたが、これを広げると、伝送速度（ビットレート）が速くなり、送信時間を短くすることが可能となる。これにより、小型船舶衝突防止のような中頻度な送信頻度へのニーズに対応が可能となる。また、電波のエネルギー密度が薄くなり、送信時間が短くなる

ため、他局への干渉が小さくなり、収容効率の向上につながる可能性がある（図 3-3）。通信速度測定結果等をもとに収容効率向上のために最適な占有周波数帯幅について検討を行う（16kHz 程度までを想定）。

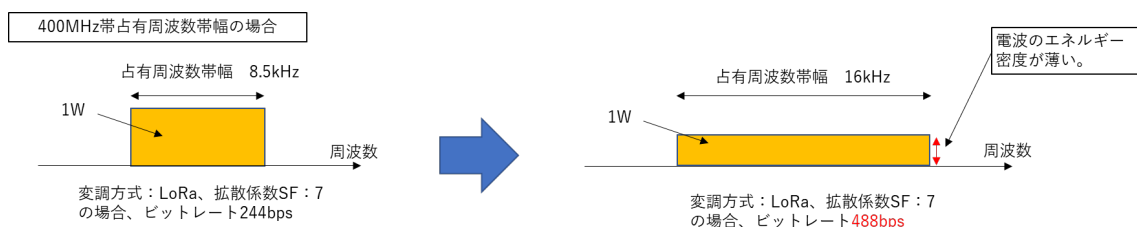


図 3-3 占有周波数帯幅の検討

3.1.5. 隣接システムとの共用検討

150MHz 帯および 400MHz 帯の隣接システムの状況を図 3-4 に示す。干渉測定結果をもとに、既存システムとの所要改善量と必要離隔距離を算出する。干渉測定については、令和 5 年度に 400MHz 帯について実施しているため、今回は 150MHz 帯について実施する。隣接システムや同一周波数を使用するシステム（デジタル小電力コミュニティ無線システム）において使用されており、代表的な変調方式である 4-FSK との共用検討を行う。算出結果を技術的条件の検討に反映する

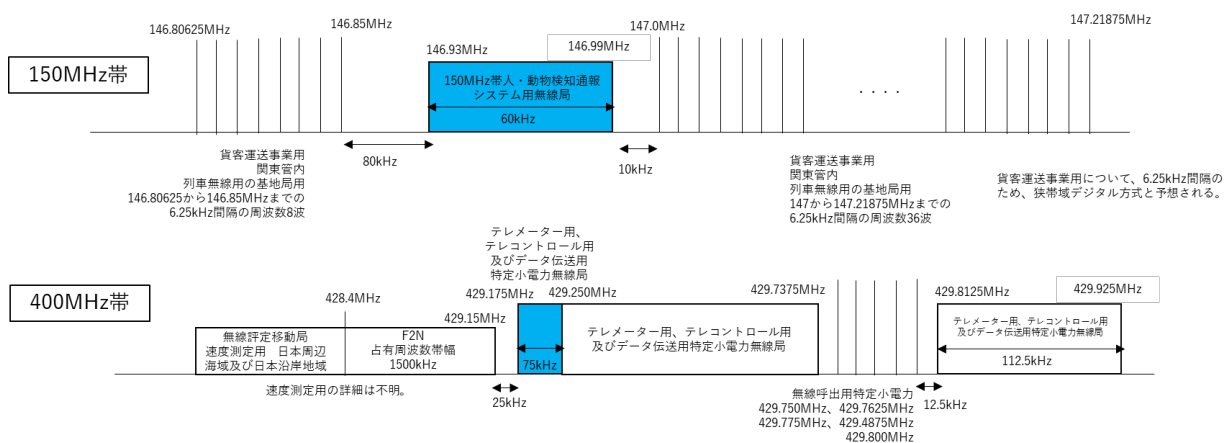


図 3-4 隣接システムの状況

3.1.6. 「LoRa®搭載ルーター」の検討

150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムが利用可能となった際、対応した無線

機が市場に無いため、すぐに普及が進まないことが考えられる。普及促進につなげるため「LoRa®搭載ルーター」について、実現性を机上検討する。LoRa®搭載ルーターは、150/400MHz 狭帯域 LoRa®や、LPWA、Wi-Fi、Bluetooth 等を搭載したルーターであり、既存の LPWA や Wi-Fi、Bluetooth を搭載したセンサからのデータを受信し、相手方の距離に応じて 150/400MHz 狭帯域 LoRa®や、LPWA、Wi-Fi を選択して送信するルーターである（図 3-5）。これにより、1 個 1 個のセンサが 150/400MHz 狭帯域 LoRa®に対応していない場合でも、LoRa®搭載ルーターを設置することで、長距離通信が可能となるため、普及促進につながると考えられる。

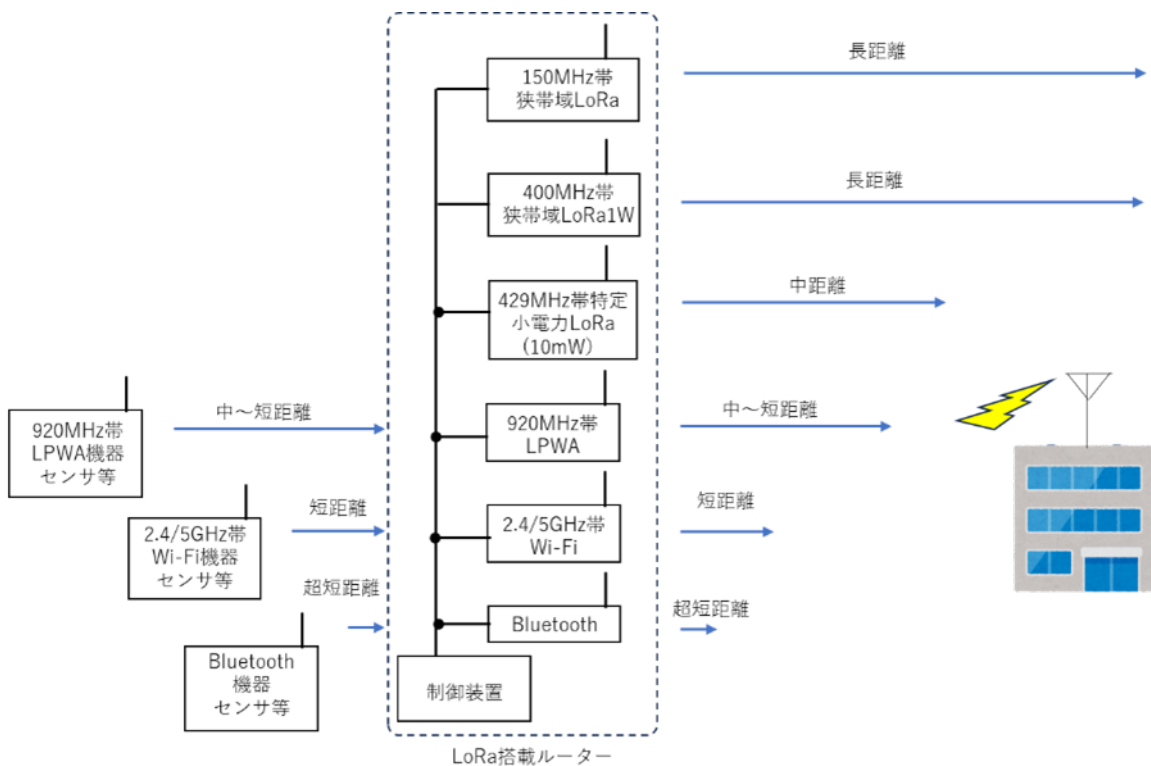


図 3-5 LoRa®搭載ルーター構成案

3.2. 調査検討で目指す方向

今回の調査検討においては、第 2 章で示した新たなニーズに応えるために、3.1 で示した検討を行いながら目指す方向を以下に示す。

① 150MHz 帯 (図 3-6)

- 150MHz 帯人・動物検知通報システムのように、免許不要の特定小電力無線局の制度内でも実現可能としたい。
- 空中線電力は 150MHz 帯人・動物検知通報システムと同じく 1W 以下としたい。
- 人又は動物の行動及び状態に関する情報に限らず、物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするためにも使用できるようにしたい。
- 伝送速度が低速な LoRa®でも 3 チャネル同時使用ができるようにし、さらに 146.93~146.99MHz でも、3 チャネル同時使用ができるようにしたい。
- 周波数共用機能は、簡易な手法としたい。キャリアセンスなしが適用可能か検討を行う。

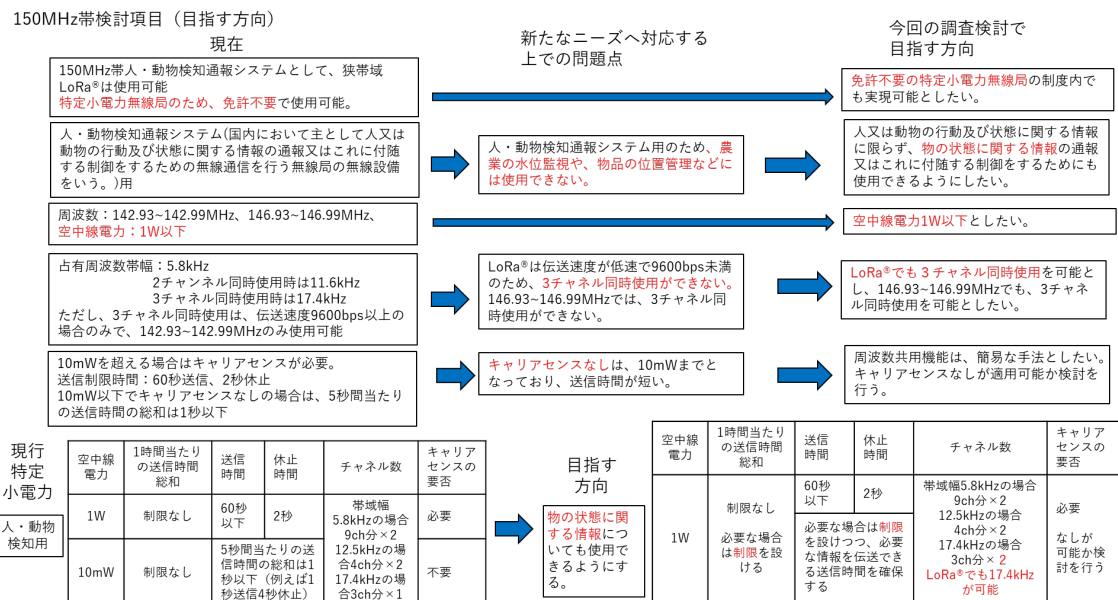


図 3-6 調査検討で目指す方向 (150MHz 帯)

②400MHz 帯 (図 3-7)

- 令和 5 年度に検討した 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムは免許が必要となっているが、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用の空中線電力を、電波法上、特定小電力無線局の上限とされる 1W とすることで、免許不要としたい。
- 陸上から海上までシームレスに利用可能としたい。

- 占有周波数帯幅をアナログFMと同等の16kHzまで広げたい。
- 周波数共用機能は、簡易な手法としたい。キャリアセンスなしが可能な検討を行う。

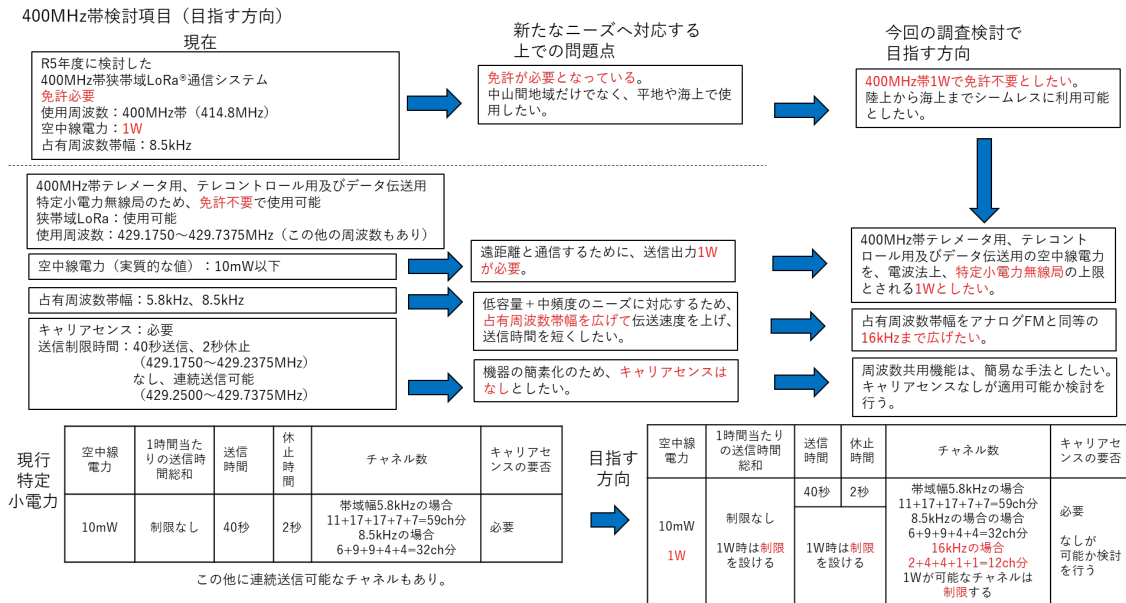


図 3-7 調査検討で目指す方向（400MHz帯）

第4章 実証実験

4.1 実証実験の概要

150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの特性を明らかにするために、屋内実証実験と屋外実証実験を実施した。各実証実験での実施内容を表 4-1 に示す。なお、屋内実証実験について、400MHz 帯狭帯域 LoRa®については令和5年度に実施しているため、150MHz 帯狭帯域 LoRa®を対象に実施している。

表 4-1 実証実験実施内容

	実施内容
屋内実証実験	① 受信感度測定 ②通信速度測定 ③ 同一チャネル干渉測定 ④隣接チャネル干渉測定
屋外実証実験	① ドライブテスト ②環境ノイズ測定

4.2 使用機器

本実験で使用するために試作した 150MHz 帯狭帯域 LoRa®無線機と 400MHz 帯狭帯域 LoRa®無線機の諸元を表 4-2、表 4-3、外観を図 4-1、図 4-2 に、送受信系統図を図 4-3、図 4-4 に、使用している無線モジュールの系統図を図 4-5 に示す。

表 4-2 150MHz 帯狭帯域 LoRa®無線機諸元

項目	諸元
周波数	146.9625MHz (占有周波数帯域幅 11.6kHz 時) 146.959375MHz (占有周波数帯幅 17.4kHz 時)
空中線電力	1W
変調方式	LoRa® (設定可能拡散係数 7、8、9、10、11、12) (電波の型式 F1D)
占有周波数帯幅	11.6kHz (実測値 約 7.8kHz) 17.4kHz (実測値 約 15.6kHz)
受信回路 NF	4dB (送受信 IC のカタログ値)
誤り訂正	前方誤り訂正コーディングレート 4/5
アンテナ	ダイポールアンテナ (利得 2dBi)
備考	市販の 150MHz 帯特定小電力用モジュールを変更し、 外部アンプを接続して構成している。 実験試験局免許を取得。 識別信号 でんこうろーらじっけん 11、12

表 4-3 400MHz 帯狭帯域 LoRa®無線機諸元

項目	諸元
周波数	429.2MHz
空中線電力	1W
変調方式	LoRa® (設定可能拡散係数 7、8、9、10、11、12) (電波の型式 F1D)
占有周波数帯幅	8.5 k Hz (実測値 約 7.8kHz) 16kHz (実測値 約 15.6kHz)
受信回路 NF	5.5dB (送受信 IC のカタログ値)
誤り訂正	前方誤り訂正コーディングレート 4/5
アンテナ	ダイポールアンテナ (利得 2dBi)
備考	市販の 429MHz 帯特定小電力用モジュールの周波数を変更し、外部アンプを接続して構成している。 実験試験局免許を取得。 識別信号 でんこうろーらじっけん 13、14

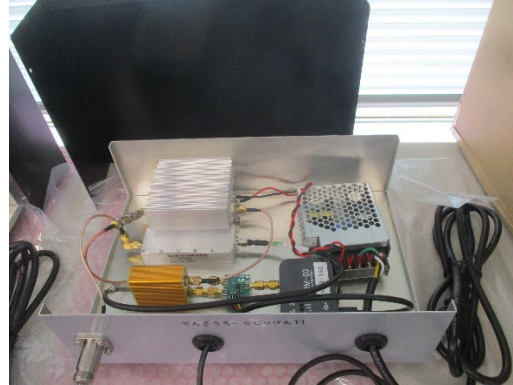


図 4-1 150MHz 帯狭帯域 LoRa®無線機 外観

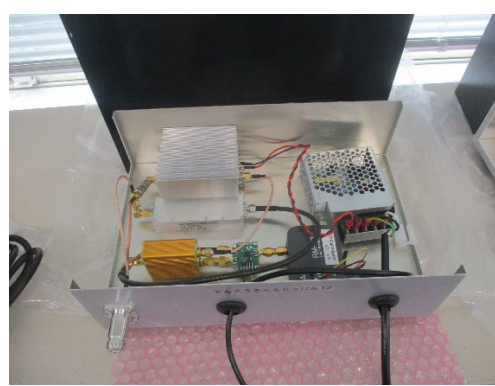


図 4-2 400MHz 帯狭帯域 LoRa®無線機 外観

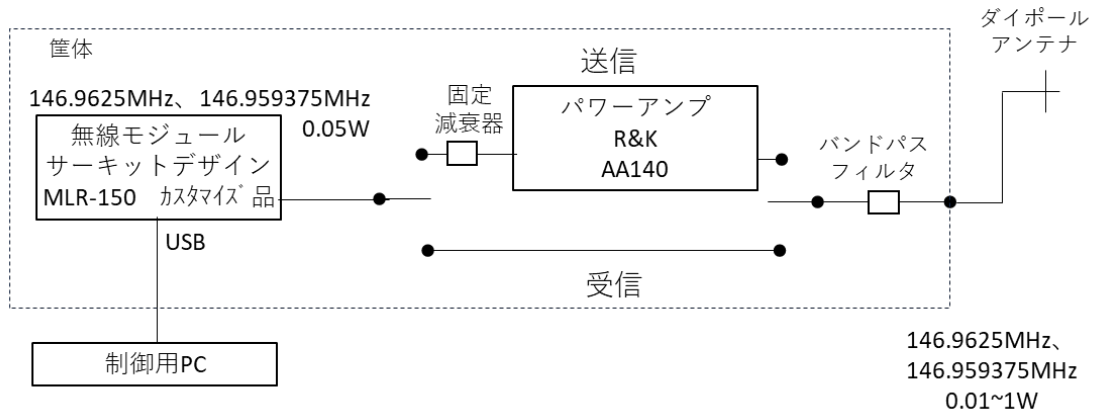


図 4-3 150MHz 帯狭帯域 LoRa®無線機 送受信系統図

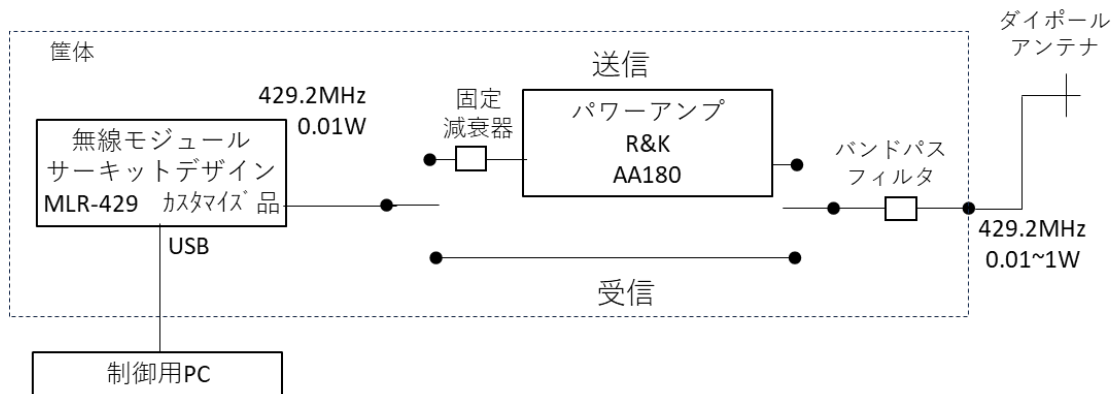


図 4-4 400MHz 帯狭帯域 LoRa®無線機 送受信系統図

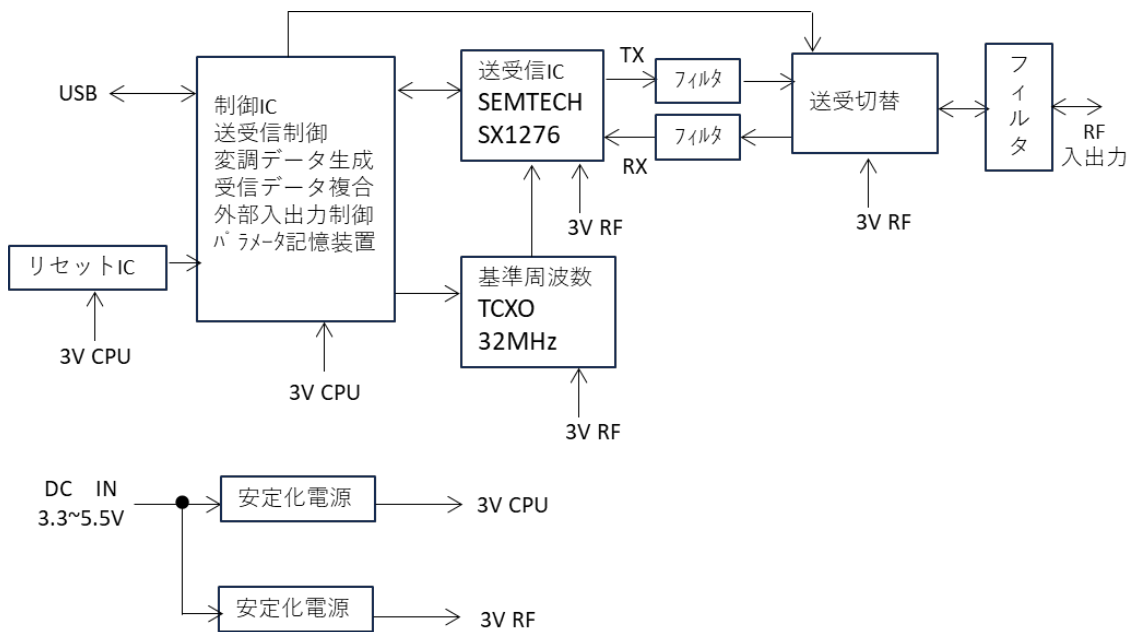


図 4-5 無線モジュール系統図

使用した 400MHz 帯アンテナの指向性実測値を図 4-6 に示す。なお、150MHz 帯アンテナについても、構造が同じため、400MHz 帯と同等の指向性となる。

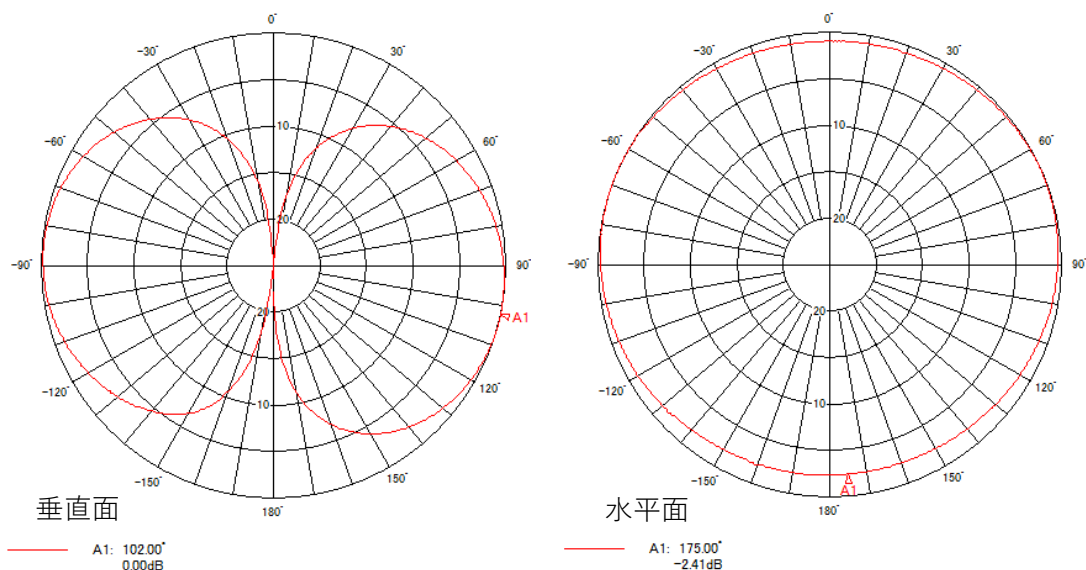


図 4-6 400MHz 帯アンテナ指向性実測値

各無線機の周波数について、特定小電力無線局として免許不要で使用可能とすることを目指しているため、特定小電力無線局へ割り当てられている周波数とし、特定小電力無線局として使用可能となった場合のデータが取得できるようにしている。また、占有周波数帯幅については、無線機へコマンドを送ることによって切り替え可能な構造としている。

干渉検討用の既存システム無線機は、表 4-4 に示すデジタル小電力コミュニティ無線システムの無線機をアイコム株式会社殿の協力を得て貸し出しを受けて使用した。

表 4-4 既存システム無線機諸元

項目	諸元
周波数	150MHz 帯 (中心周波数 142.934375MHz から 142.984375MHz の 6.25kHz ステップの 9 チャンネル および 中心周波数 146.934375MHz から 146.984375MHz の 6.25kHz ステップの 9 チャンネル)
空中線電力	500mW
変調方式	4-FSK (電波の型式 F1D、F1E)
占有周波数帯幅	5.8 k Hz
型番	IC-DRC1MK II

備考	機器提供協力 アイコム株式会社
外観	

4.3 屋内実証実験結果

屋内実証実験の結果を以下に示す。

4.3.1 受信感度測定

本実験で使用した各無線機に対して、図 4-7 の構成で受信感度の測定を行った。アッテナを調整し、送信機からの電波強度を変化させて送受信を行い、下記の状態となった時の受信レベルを基準感度とした。

150MHz 帯狭帯域 LoRa® : PER (パケットエラーレート) 1%

デジタル小電力コミュニティ無線システム (4-FSK) : BER (ビットエラーレート) 1%

なお、150MHz 帯狭帯域 LoRa®については、帯域幅 7.8kHz と 15.6kHz に対して拡散係数 7、8、9、10、11、12 のそれぞれに対して測定を行った。測定時の設定を表 4-5 に、測定状況を図 4-8 に示す。なお、送信しながらアッテナ（ロータリースイッチ式）を操作すると瞬断が発生するため、アッテナ操作 ⇒ 送信開始 ⇒ 送信終了 ⇒ アッテナ操作 ⇒ 送信開始 以下繰り返し という方法で測定を実施している。表 4-6 に基準感度測定結果を示す。

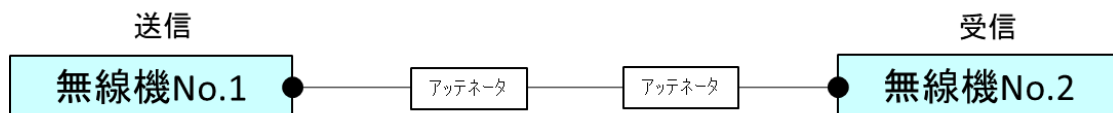


図 4-7 受信感度 測定構成

表 4 -5 受信感度測定時の設定

システム	周波数、拡散係数 SF
150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム 帯域幅 7.8kHz	146.9625MHz 拡散係数 SF=7、8、9、10、11、12
150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム 帯域幅 15.6kHz	146.959375MHz 拡散係数 SF=7、8、9、10、11、12
デジタル小電力コミュニティ無線システム (150MHz 帯 4-FSK)	146.959375MHz



図 4 -8 測定状況

表 4 -6 基準感度測定結果

変調方式	基準感度	
150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz	拡散係数 SF=7	-137dBm
	拡散係数 SF=8	-139dBm
	拡散係数 SF=9	-143dBm
	拡散係数 SF=10	-146dBm
	拡散係数 SF=11	-147dBm
	拡散係数 SF=12	-149dBm
150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz	拡散係数 SF=7	-133dBm
	拡散係数 SF=8	-137dBm
	拡散係数 SF=9	-139dBm
	拡散係数 SF=10	-142dBm
	拡散係数 SF=11	-144dBm
	拡散係数 SF=12	-147dBm
デジタル小電力コミュニティ無線システム (150MHz 帯 4-FSK)	-117dBm	

150MHz 帯狭帯域 LoRa®については、基準感度レベルが低く、受信電力が小さい場合でも受信可能な傾向が出ている。また、LoRa®の拡散係数を大きくすると、感度がよくなる傾向が出ている。ただし、拡散係数を大きくすると伝送速度が遅くなることに注意が必要である。また、LoRa®の帯域幅が 7.8kHz から 15.6kHz にすると、感度は約 3dB 程度悪くなる傾向が出ている。

参考として、「令和 5 年度調査検討にて測定した 400MHz 帯狭帯域 LoRa®等の基準感度を表 4-7 に示す。

表 4-7 令和 5 年度調査検討での基準感度測定結果

変調方式		基準感度
400MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz	拡散係数 SF=7	-134dBm
	拡散係数 SF=8	-137dBm
	拡散係数 SF=9	-139dBm
	拡散係数 SF=10	-142dBm
	拡散係数 SF=11	-144dBm
	拡散係数 SF=12	-146dBm
4 - F S K		-117dBm
$\pi / 4$ シフト Q P S K		-116dBm
アナログ F M		-124dBm

4.3.2 伝送速度測定

本実験で使用した各無線機に対して、図 4-9 の構成で伝送速度の測定を行った。アッテネータを調整し、信号レベルを基準感度+30dB とし、一定の Byte のデータを送信し、送信時間を計測する。送信した Byte と送信時間から、伝送速度（1 秒間あたりの伝送 Bit 数）を求める。今回使用している無線機においては、送信するデータにヘッダー等を付加して送信を行っている。計測した送信時間は、ヘッダー等の送信時間も含んでいる。また、送信データと送信時間について、直線的な関係ではなく、2~3Bytes ごとに送信時間が増える階段状の関係となっている。このため、送信データ量を変化させた場合、伝送速度も変化している。また、ある一定以上の送信データ量となった場合は送信できない動作となっている。

150MHz 帯狭帯域 LoRa®について、帯域幅 7.8kHz と 15.6kHz に対して拡散係数 7、8、9、10、11、12 のそれぞれに対して測定を行った。測定時の設定を表 4-8 に示す。表 4-9、表 4-10 に伝送速度測定結果を示す。測定結果を元に、拡散係数と送信時間の関係と、拡散係数と伝送速度の関係をグラフにしたものを図 4-10~図 4-13 に示す。

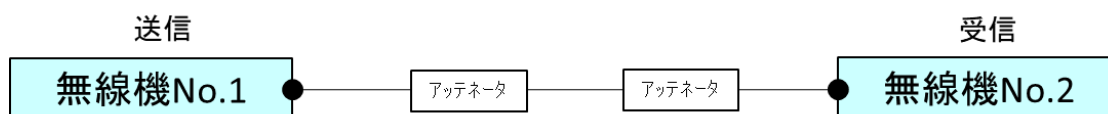


図 4-9 伝送速度 測定構成

表 4-8 伝送速度測定時の設定

システム	周波数、拡散係数 SF
150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム 帯域幅 7.8kHz	146.9625MHz 拡散係数 SF=7、8、9、10、11、12
150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム 帯域幅 15.6kHz	146.959375MHz 拡散係数 SF=7、8、9、10、11、12

表 4-9 伝送速度測定結果 (帯域幅 7.8kHz)

送信データ量	32	Byte
	256	bit
拡散係数 SF	送信時間(s)	bit/s
7	2.1	121.9
8	3.6	71.1
9	6	42.7
10	10.6	24.2
11	19.8	12.9
12	36.9	6.9

送信データ量	64	Byte
	512	bit
拡散係数 SF	送信時間(s)	bit/s
7	3.2	160.0
8	5.2	98.5
9	9	56.9
10	15.9	32.2
11	29.1	17.6
12	—	—

送信データ量	128	Byte
	1024	bit
拡散係数 SF	送信時間(s)	bit/s
7	5.3	193.2
8	8.9	115.1
9	15.3	66.9
10	26.5	38.6
11	47.5	21.6
12	—	—

送信データ量	255	Byte
	2040	bit
拡散係数 SF	送信時間(s)	bit/s
7	10.3	198.1
8	17.1	119.3
9	29.6	68.9
10	52.2	39.1
11	—	—
12	—	—

表 4 -10 伝送速度測定結果 (帯域幅 15.6kHz)

送信データ量	32	Byte
	256	bit
SF	送信時間(s)	bit/s
7	0.8	320.0
8	1.5	170.7
9	2.6	98.5
10	4.7	54.5
11	8.7	29.4
12	15.9	16.1

送信データ量	64	Byte
	512	bit
SF	送信時間(s)	bit/s
7	1.3	393.8
8	2.2	232.7
9	3.8	134.7
10	6.7	76.4
11	12.6	40.6
12	—	—

送信データ量	128	Byte
	1024	bit
SF	送信時間(s)	bit/s
7	2.1	487.6
8	3.6	284.4
9	6.1	167.9
10	11	93.1
11	19.9	51.5
12	—	—

送信データ量	255	Byte
	2040	bit
SF	送信時間(s)	bit/s
7	5.3	384.9
8	8.7	234.5
9	14.9	136.9
10	26.3	77.6
11	—	—
12	—	—

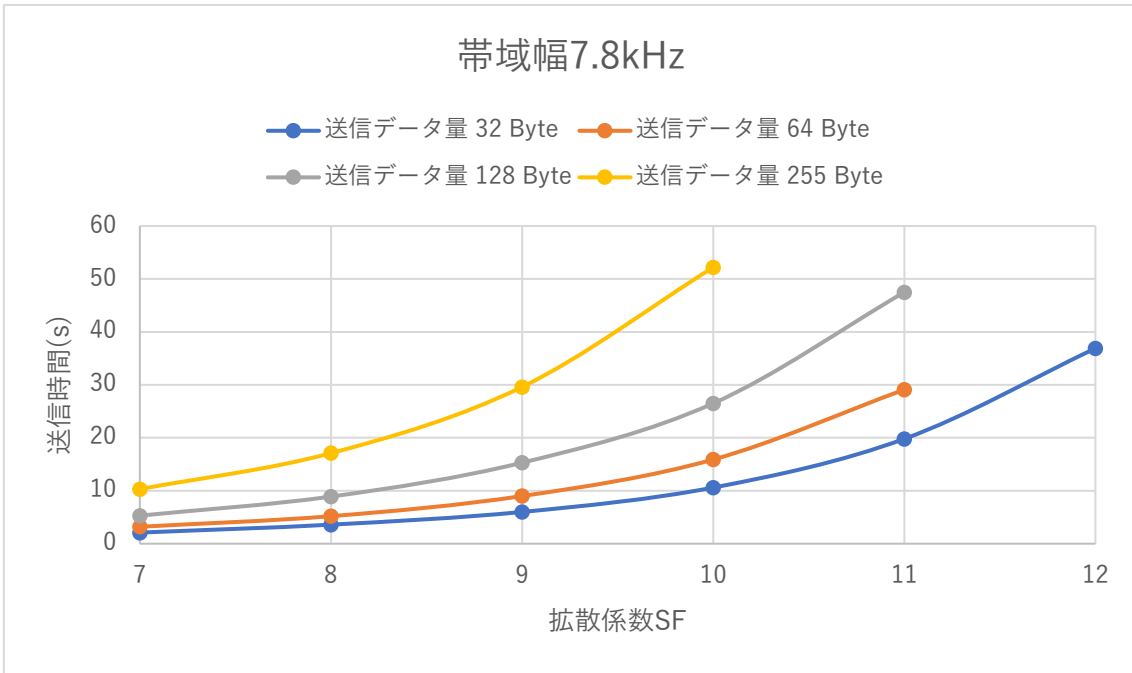


図 4 -10 拡散係数と送信時間の関係(帯域幅 7.8kHz)

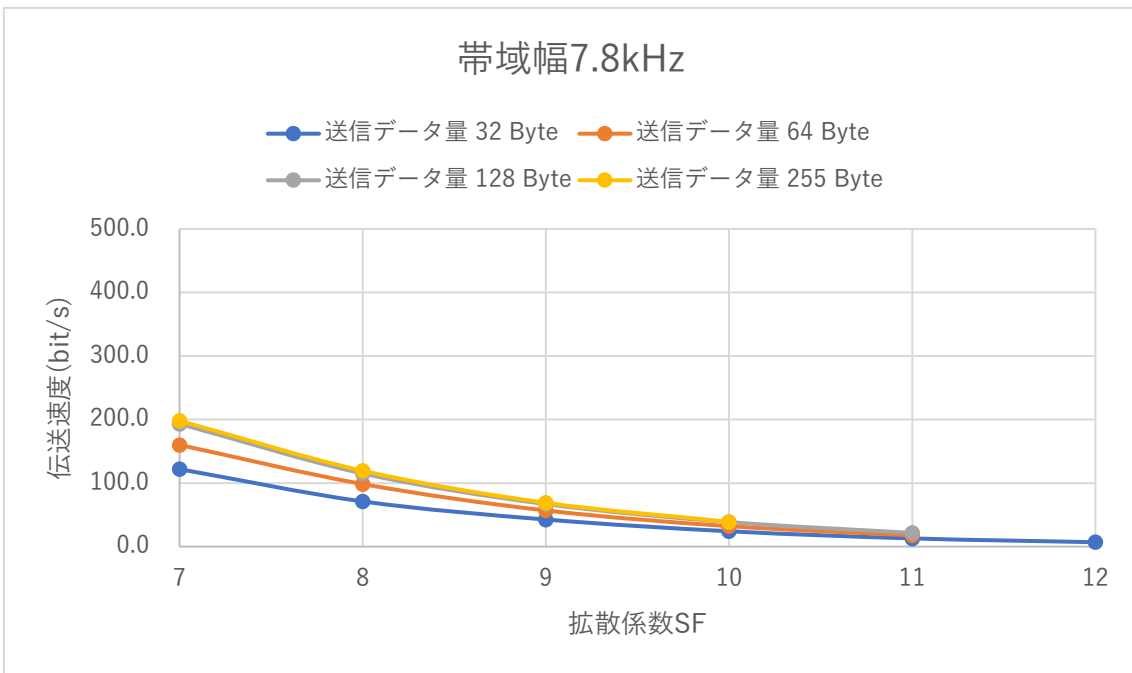


図 4 -11 拡散係数と伝送速度の関係(帯域幅 7.8kHz)

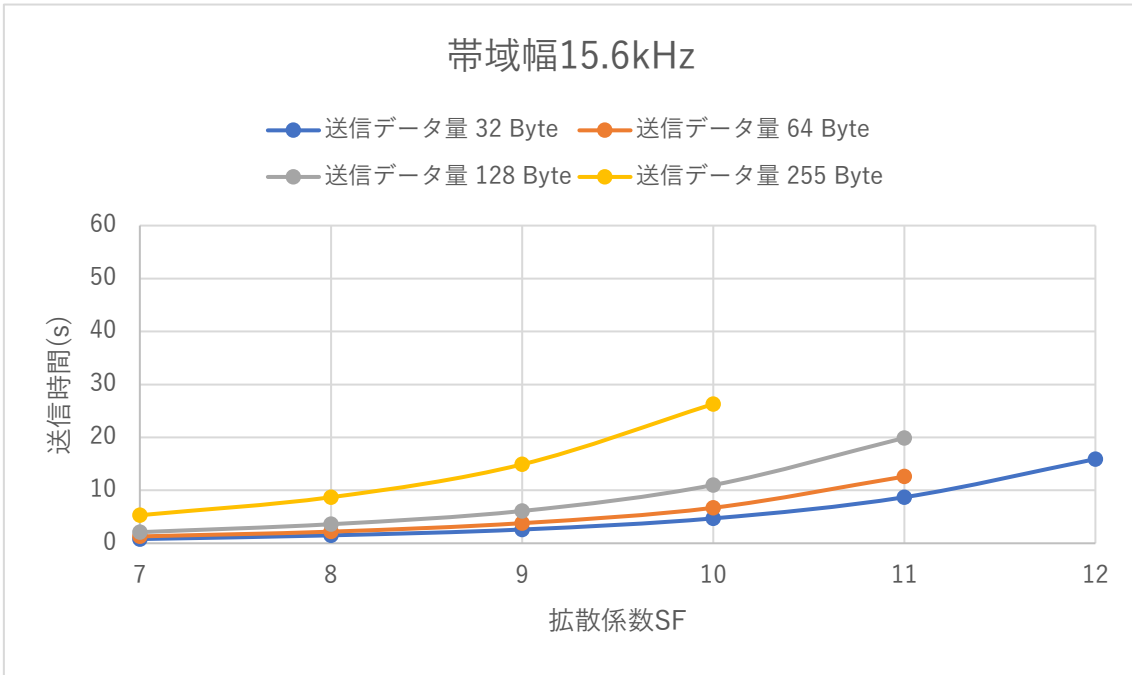


図 4 -12 拡散係数と送信時間の関係(帯域幅 15.6kHz)

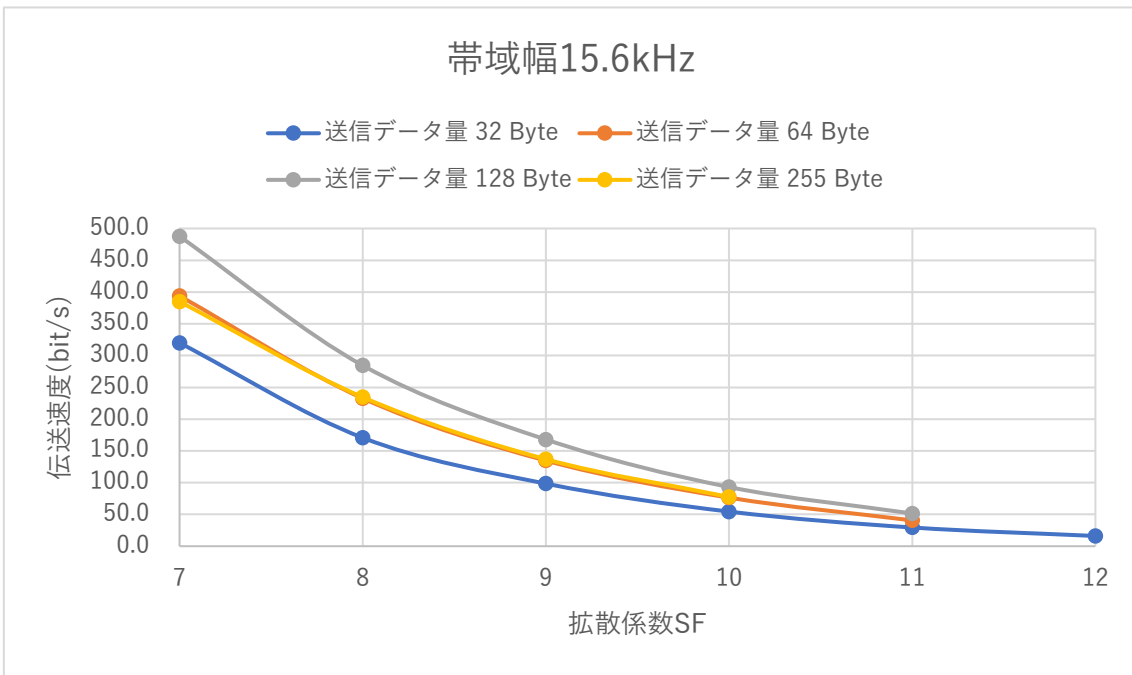


図 4 -13 拡散係数と伝送速度の関係(帯域幅 15.6kHz)

LoRa®の帯域幅を 7.8kHz から 15.6kHz にすると、伝送速度は約 2 倍となっている。

例. 送信データ量 128Bytes、拡散係数 SF=7 の場合

帯域幅 7.8kHz：送信時間 5.3s 193.2bit/s

帯域幅 15.6kHz：送信時間 2.1s 487.6bit/s

帯域幅を広げることによって、電波の送信時間を短くすることが可能となる。また、同じ送信時間で送信データ量を多くすることが可能となる。

4.3.3 同一チャネル干渉測定

150MHz 帯狭帯域 LoRa®について、図 4-14 の構成で同一チャネル干渉の測定を行った。妨害波のレベルを調整し、PER1%となるレベルを記録する。希望波電力と妨害波電力から D/U を求める。

なお、150MHz 帯狭帯域 LoRa®については、希望波の拡散係数を 7 とし、妨害波の拡散係数を 7、10、12 として測定を行った。希望波、妨害波の帯域幅 7.8kHz と 15.6kHz それぞれにおいて測定し、希望波信号レベルは、基準感度+30dB とした。また、希望波が先に送信を開始し、後から妨害波を送信する順番にて測定を実施した。結果を表 4-11 に示す。

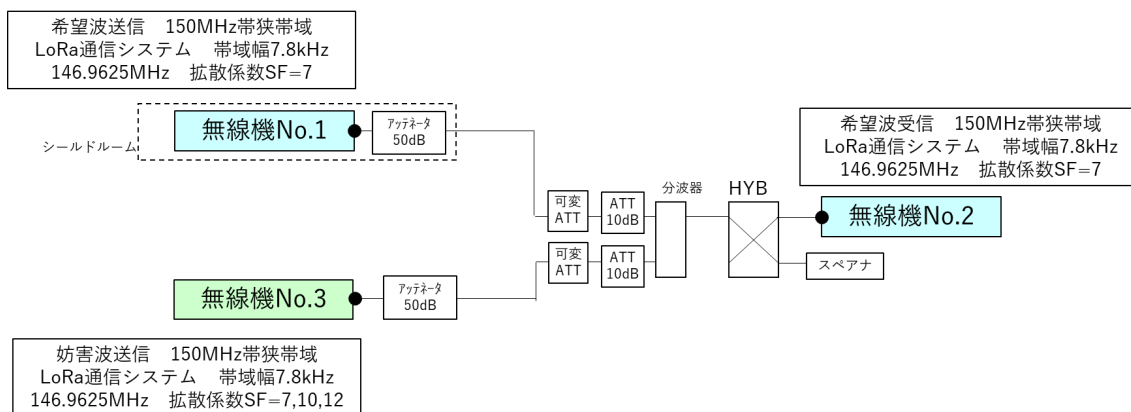


図 4-14 同一チャネル干渉測定 構成

表 4-11 同一チャネル干渉測定結果 (150MHz 帯狭帯域 LoRa®)

希望波 変調方式		妨害波 変調方式		同一チャネル D/U
150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 146.9625MHz	拡散係数 SF=7	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 146.9625MHz	拡散係数 SF=7	2dB
			拡散係数 SF=10	-9dB
			拡散係数 SF=12	-9dB
希望波 変調方式		妨害波 変調方式		同一チャネル D/U
150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 146.959375MHz	拡散係数 SF=7	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 146.959375MHz	拡散係数 SF=7	1dB
			拡散係数 SF=10	-11dB
			拡散係数 SF=12	-11dB

表 4-11 の結果は、希望波が先に送信を開始し、後から妨害波を送信する順番にて測定を実施したが、逆に、妨害波が先に送信を開始し、後から希望波を送信する順番にて測定を実施した結果を表 4-12 に示す。

表 4-12 同一チャネル干渉測定結果 (150MHz 帯狭帯域 LoRa®)

(妨害波が先に送信を開始し、後から希望波を送信した場合)

希望波 変調方式		妨害波 変調方式		同一チャネル D/U
150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 146.9625MHz	拡散係数 SF=7	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 146.9625MHz	拡散係数 SF=7	30dB
希望波 変調方式		妨害波 変調方式		同一チャネル D/U
150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 146.959375MHz	拡散係数 SF=7	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 146.959375MHz	拡散係数 SF=7	32dB

150MHz 帯狭帯域 LoRa[®]は、既存システムの同一チャンネル D/U（表 4-13）と比べて、特に希望波と妨害波の拡散係数が異なる場合は、D/U が小さく、マイナスとなっており、妨害波に対して強い（耐性がある）結果となっている。D/U がマイナスということは、希望波よりも妨害波が強い状況でも通信可能であることを示している。

ただし、希望波と妨害波の拡散係数が同じ場合、D/U は劣化した。また、希望波と妨害波のどちらが先に送信を開始するか（図 4-15）でも、測定結果が異なっており、特に、妨害波が先に送信を開始し、後から希望波を送信した場合は、D/U は大きな値となった。このことは、拡散係数が同じ電波が先に送信されている場合は、後から送信した電波は受信されないこととなるため、考慮が必要なことを示している。

表 4-13 既存システムの同一チャンネル D/U

希望波	変調方式	妨害波	変調方式	同一チャンネル D/U
4-FSK	チャンネル間隔 6.25kHz	4-FSK	チャンネル間隔 6.25kHz	11.5dB
QPSK	チャンネル間隔 6.25kHz	QPSK	チャンネル間隔 6.25kHz	12dB
FM	チャンネル間隔 12.5kHz	FM	チャンネル間隔 12.5kHz	4dB

平成 20 年 3 月 情報通信審議会情報通信技術分科会小電力無線システム委員会「小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件」 資料 3 表 3-2 より抜粋 資料集 P22

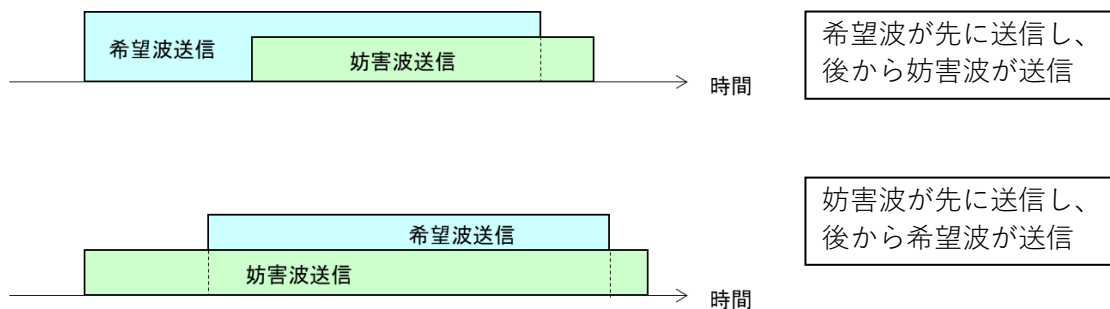


図 4-15 送信順番

希望波と妨害波のどちらが先に送信を開始するかで D/U の値が異なった理由について、今回使用した LoRa®無線モジュールは、送信時にプリアンブルを送信している(図 4-16)。受信側がこのプリアンブルを受信し、同期を取る動作となっている。希望波を先に送信した場合、希望波に対して同期が取れるために、妨害波への耐性が高くなると考えられる。逆に妨害波が先に送信した場合、妨害波に対して同期を取ってしまうため、希望波の受信が困難になっていると考えられる。

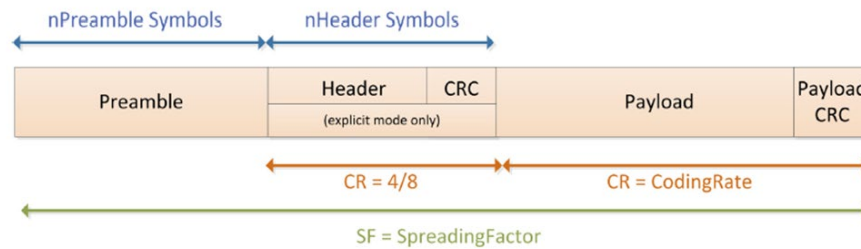


Figure 6. LoRa™ Packet Structure

SX1276/77/78/79 DATASHEET SEMTECH

図 4-16 LoRa® Packet Structure

なお、これ以降の測定については、希望波が先に送信を開始し、後から妨害波が送信する手順を基本として実施した。

4.3.4 隣接チャネル干渉測定

150MHz 帯狭帯域 LoRa[®]被干渉 - 150MHz 帯狭帯域 LoRa[®]与干渉

150MHz 帯狭帯域 LoRa[®]が被干渉で 150MHz 帯狭帯域 LoRa[®]が与干渉の場合について、
図 4-17 の構成で測定を行った。アッテネータを調整し、PER（パケットエラーレート）
が 1%の状態となった時の希望波電力と妨害波電力から D/U を求めた。

なお、被干渉側の 150MHz 帯狭帯域 LoRa[®]については、希望波の拡散係数を 7 とし、妨
害波の拡散係数を 7、10、12 とし測定を行った。希望波、妨害波の帯域幅 7.8kHz と 15.6kHz
それぞれにおいて測定し、希望波信号レベルは、基準感度+30dB とした。また、希望波が
先に送信を開始し、後から妨害波を送信する順番にて測定を実施した。結果を図 4-18～図
4-29 に示す。

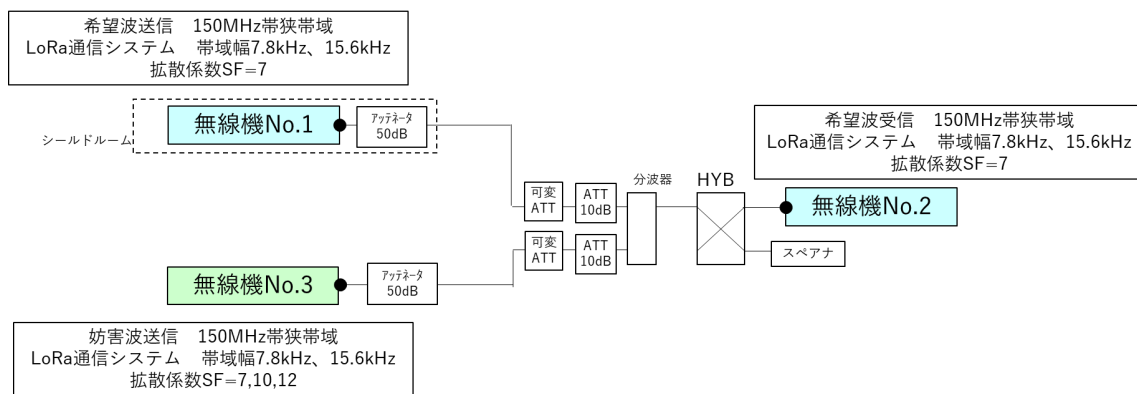


図 4-17 隣接チャネル干渉測定 提案システム被干渉 測定構成

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=7	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=7

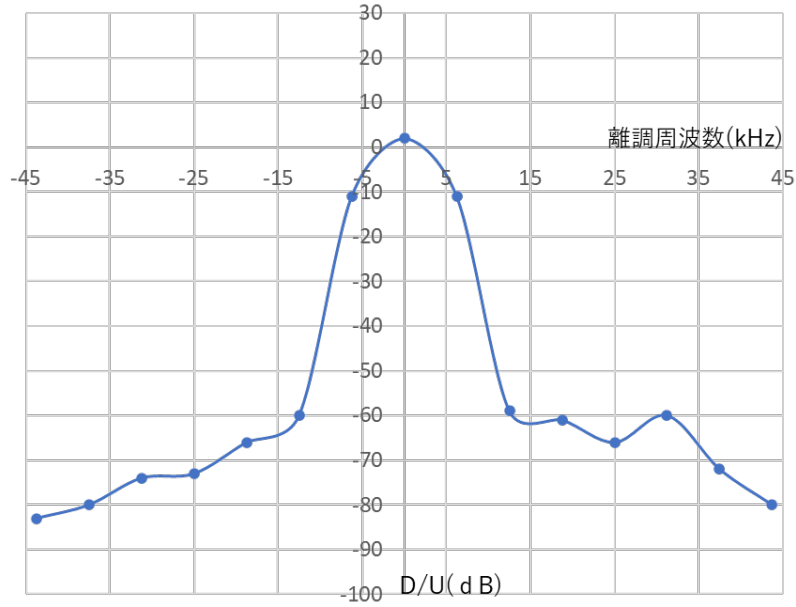


図 4 -18 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®7.8kHzSF=7

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=7	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=7

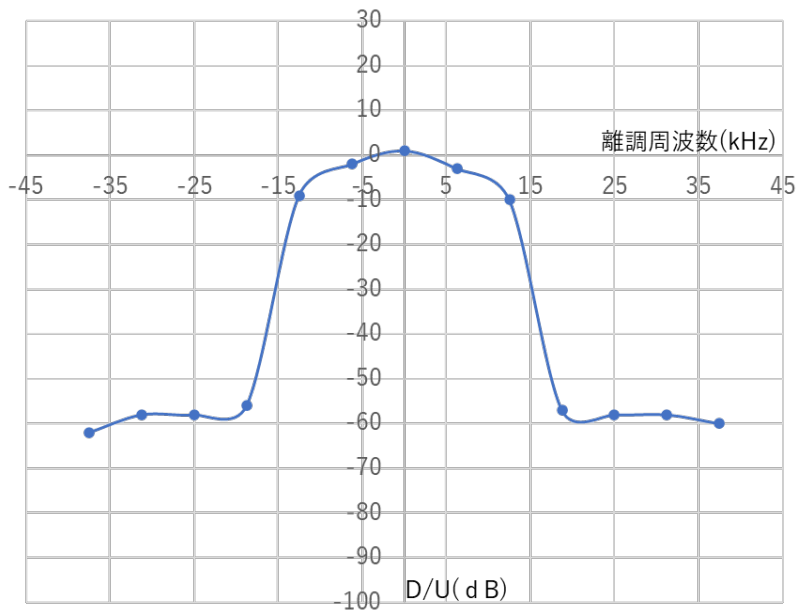


図 4 -19 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®15.6kHzSF=7

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=7	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=7

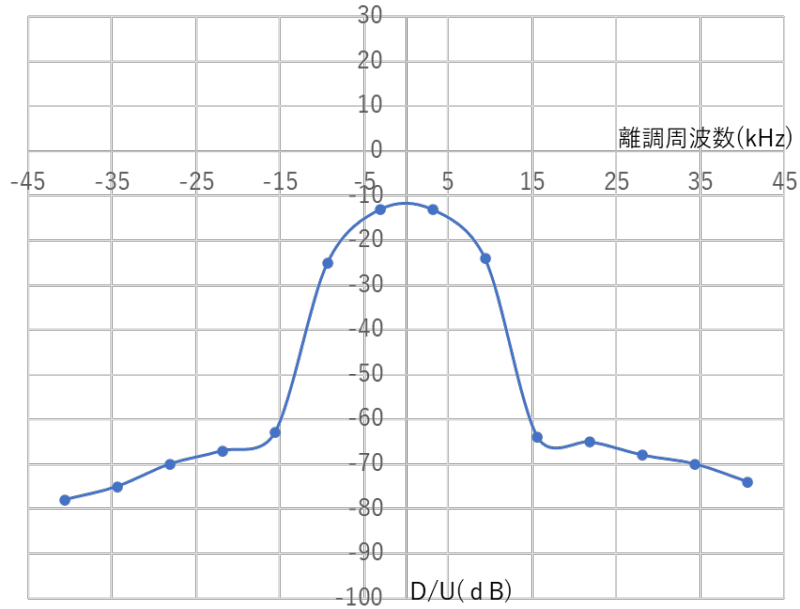


図 4 -20 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®15.6kHzSF=7

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=7	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=7

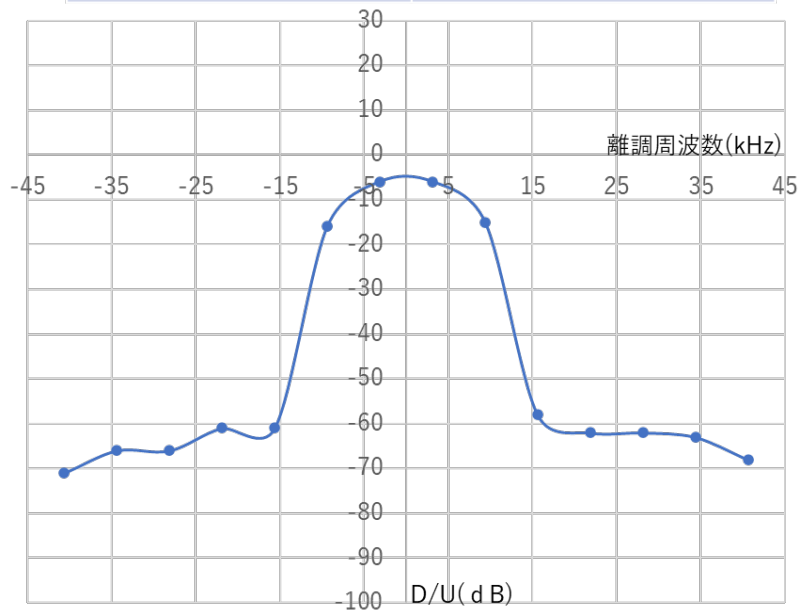


図 4 -21 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®7.8kHzSF=7

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=7	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=10

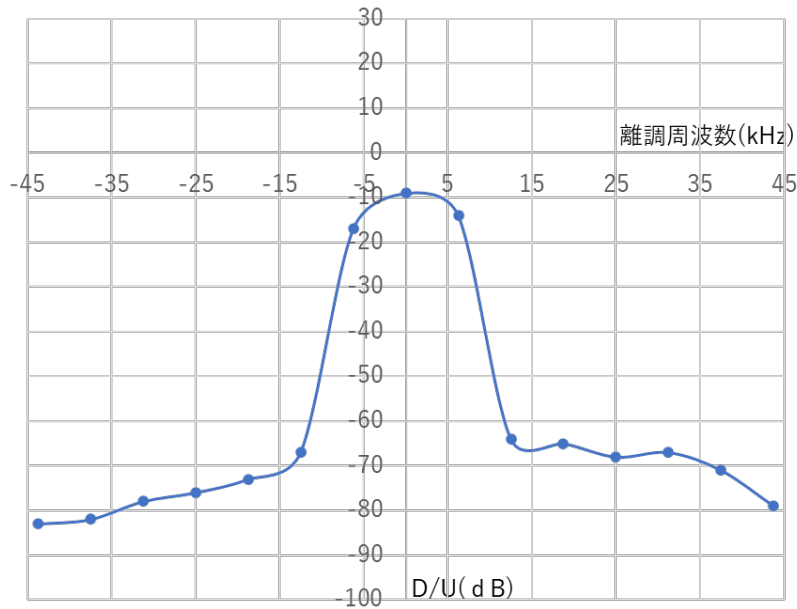


図 4 -22 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®7.8kHzSF=10

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=7	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=10

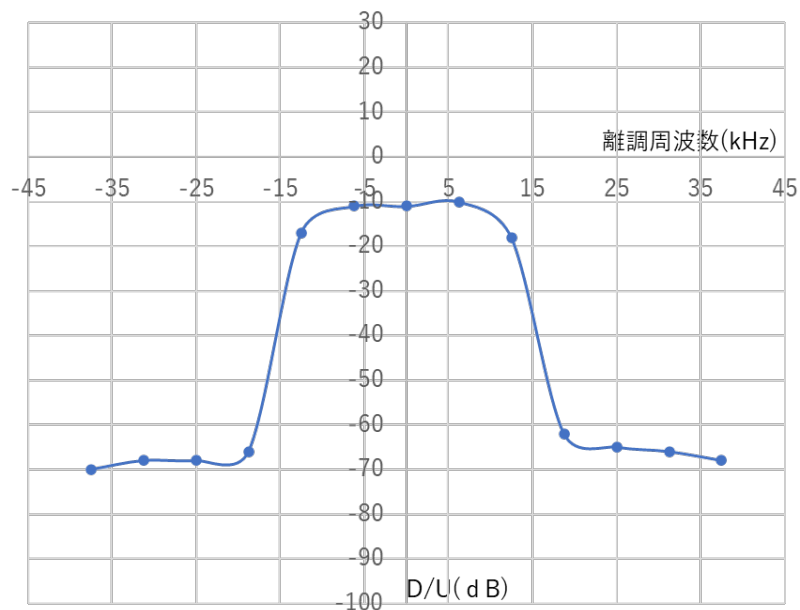


図 4 -23 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®15.6kHzSF=10

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=7	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=10

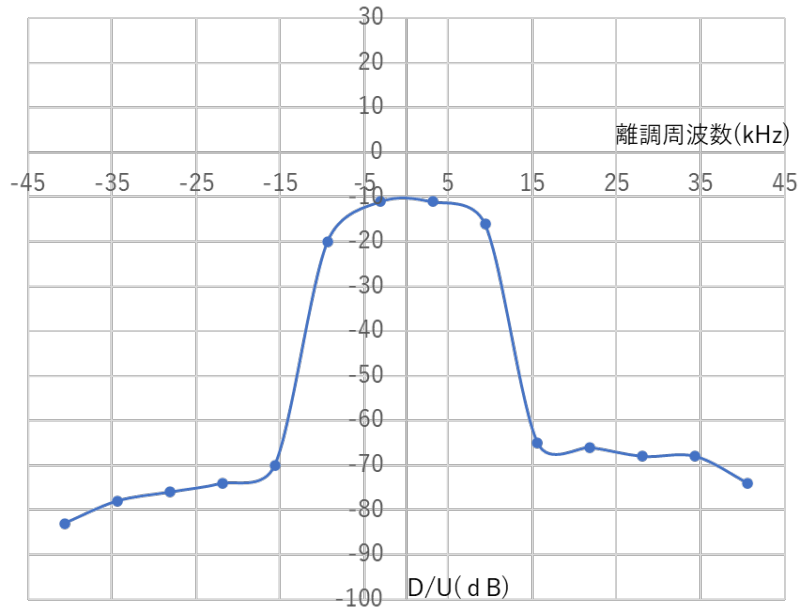


図 4 -24 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®15.6kHzSF=10

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=7	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=10

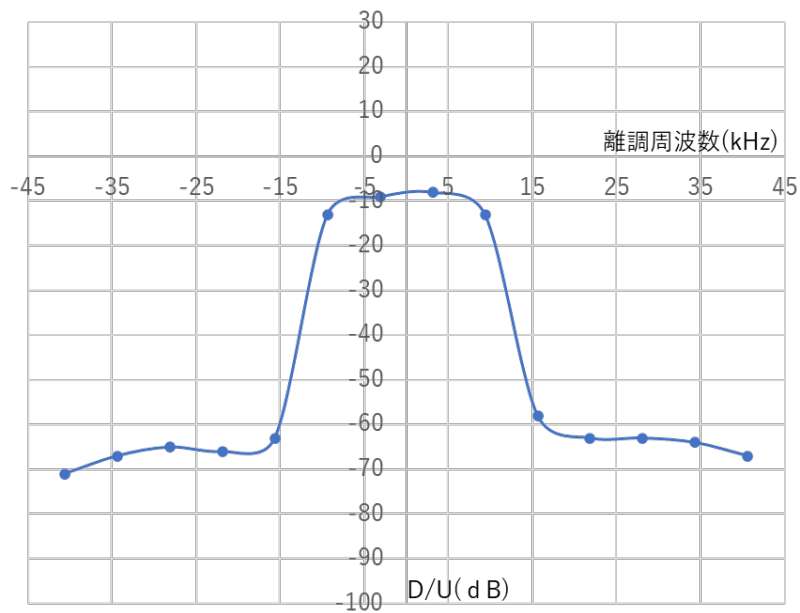


図 4 -25 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®7.8kHzSF=10

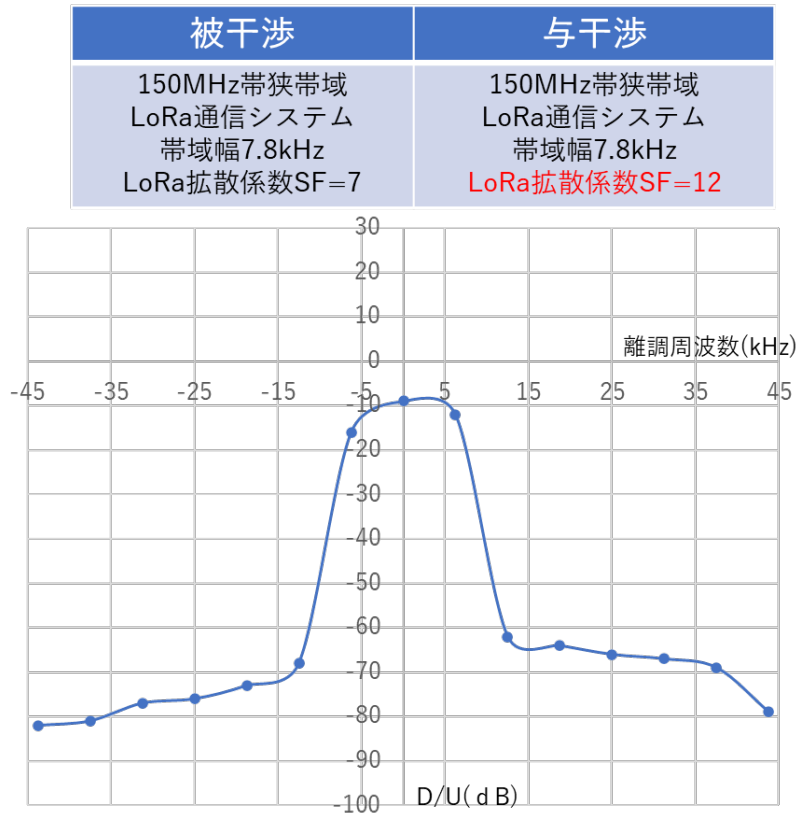


図 4 -26 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®7.8kHzSF=12

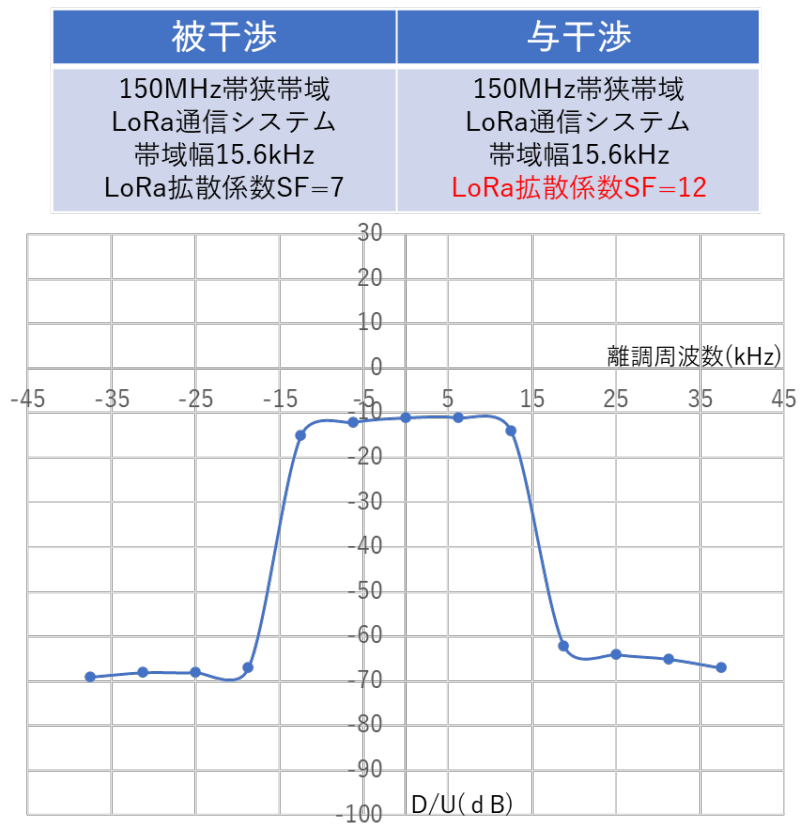


図 4 -27 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®15.6kHzSF=12

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=7	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=12

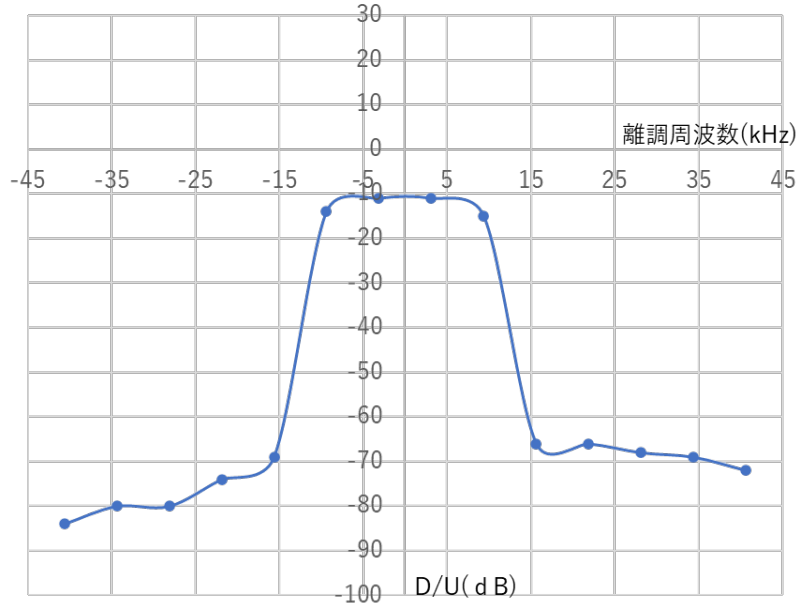


図 4 -28 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®15.6kHzSF=12

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=7	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=12

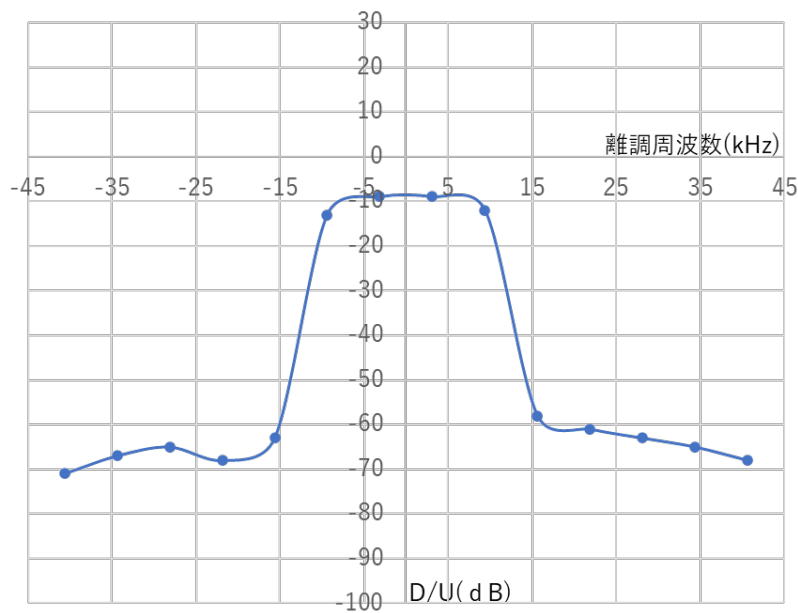


図 4 -29 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®7.8kHzSF=12

参考として、150MHz 帯狭帯域 LoRa®被干渉 - 150MHz 帯狭帯域 LoRa®与干渉の隣接チャンネル干渉測定において、妨害波を先に送信を開始し、後から希望波を送信する順番にて測定を実施した場合の結果を図 4-30～図 4-31 に示す。希望波、妨害波とも拡散係数 SF は 7 としている。

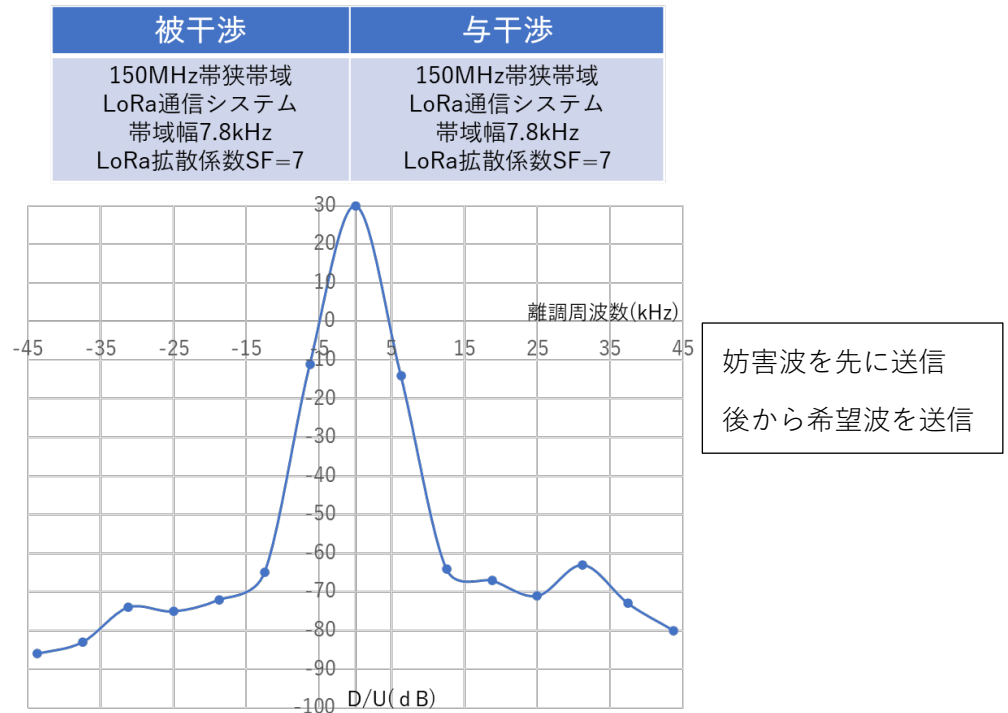


図 4-30 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®7.8kHzSF=7

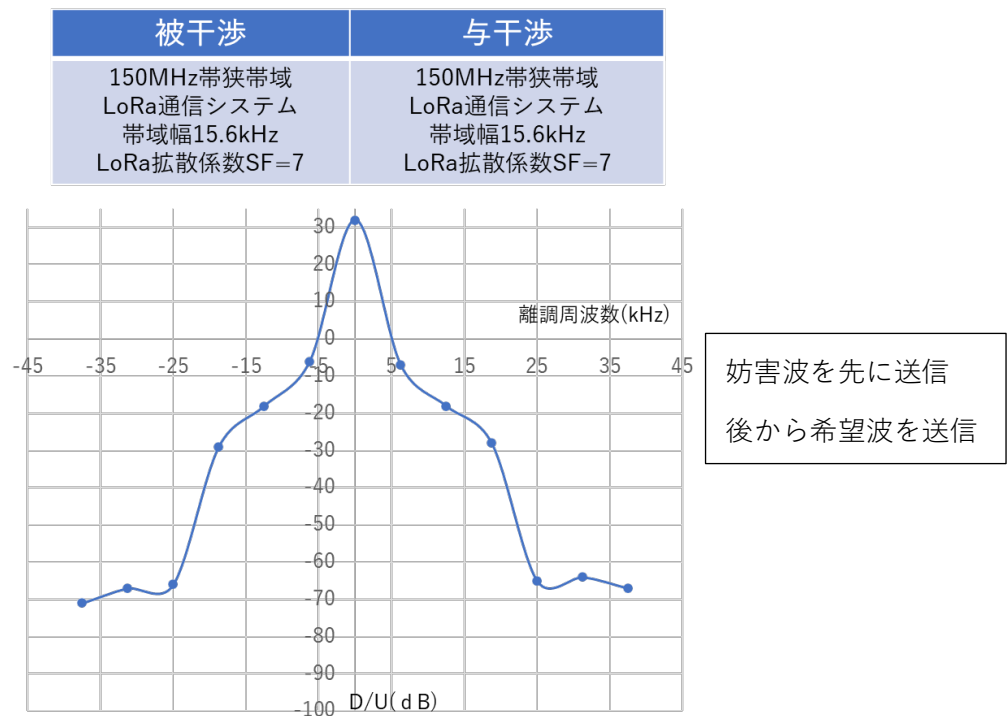


図 4-31 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=7、与干渉(妨害波)LoRa®15.6kHzSF=7

150MHz 帯狭帯域 LoRa®については、周波数設定の制約上、帯域幅 7.8kHz と帯域幅 15.6kHz を同じ周波数に設定できないため、参考として、400MHz 帯狭帯域 LoRa®帯域幅 7.8kHz 被干渉 - 400MHz 帯狭帯域 LoRa®帯域幅 15.6kHz 与干渉の隣接チャネル干渉測定結果を図 4 -32 に示す。希望波、妨害波とも拡散係数 SF は 7 としている。

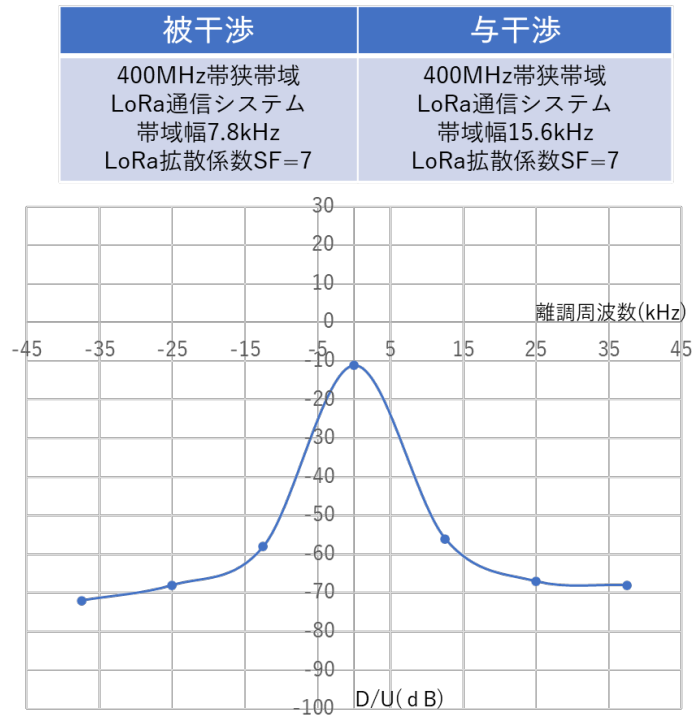


図 4 -32 被干渉(希望波)400MHzLoRa®7.8kHzSF=7、
与干渉(妨害波)400MHzLoRa®15.6kHzSF=7

4.3.5 隣接チャネル干渉測定

150MHz 帯狭帯域 LoRa®被干渉 - 150MHz 帯 4-FSK 与干渉

150MHz 帯狭帯域 LoRa®が被干渉で 150MHz 帯 4-FSK が与干渉の場合について、図 4-33 の構成で測定を行った。アッテネータを調整し、PER (パケットエラーレート) が 1% の状態となった時の希望波電力と妨害波電力から D/U を求めた。

なお、被干渉側の 150MHz 帯狭帯域 LoRa®については、希望波の拡散係数を 7、10、12 として測定を行った。希望波の帯域幅 7.8kHz と 15.6kHz それぞれにおいて測定し、希望波信号レベルは、基準感度+30dB とした。また、希望波が先に送信を開始し、後から妨害波を送信する順番にて測定を実施した。結果を図 4-34～図 4-39 に示す。

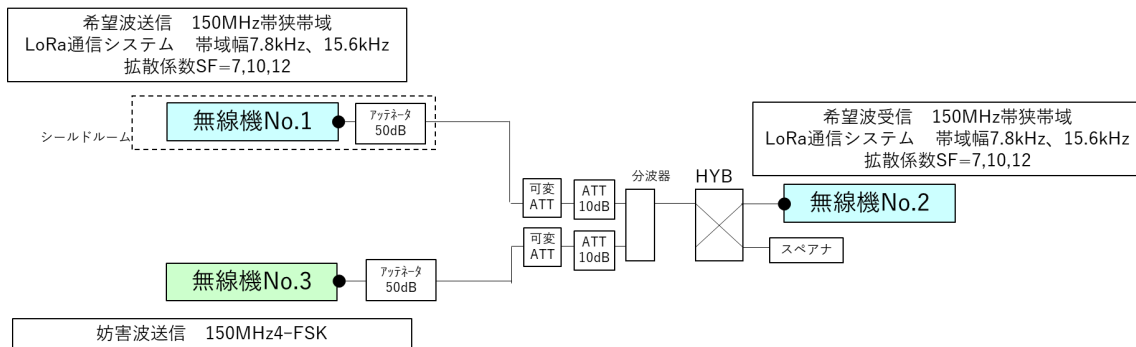


図 4-33 隣接チャネル干渉測定 提案システム被干渉 測定構成

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=7	4値FSK

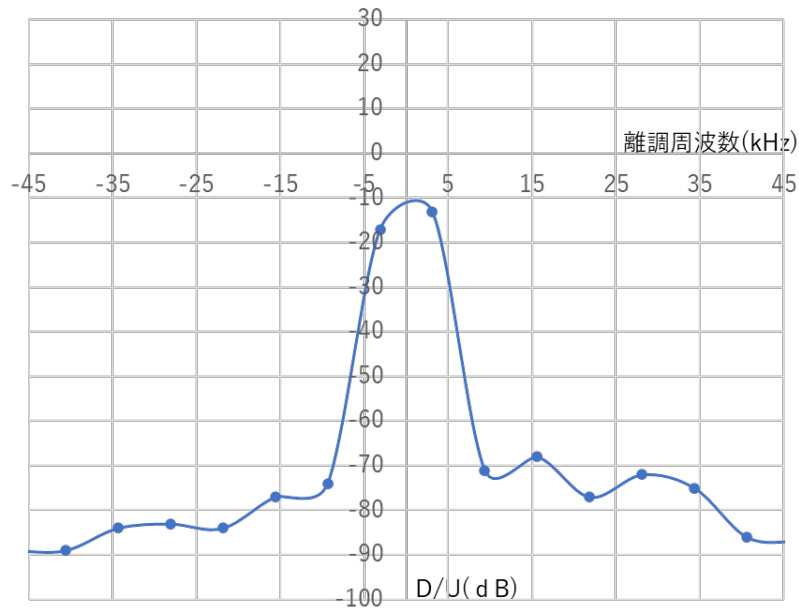


図 4 -34 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=7、与干渉(妨害波)150MHz 帯 4-FSK

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=7	4値FSK

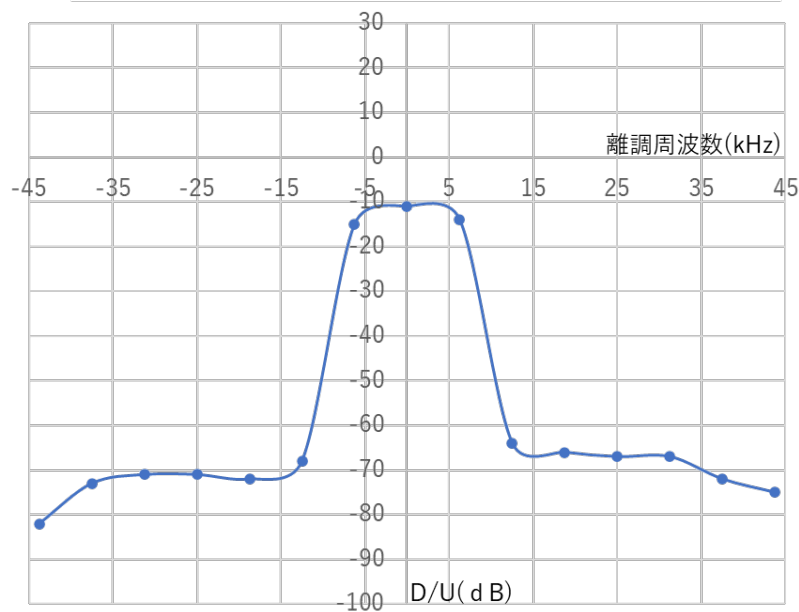


図 4 -35 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=7、与干渉(妨害波)150MHz 帯 4-FSK

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=10	4値FSK

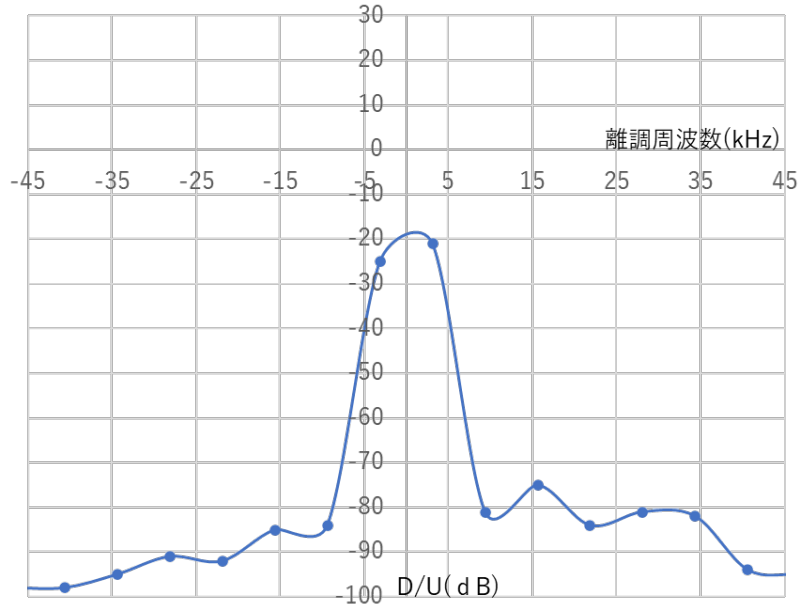


図 4-36 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=10、与干渉(妨害波)150MHz帯 4-FSK

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=10	4値FSK

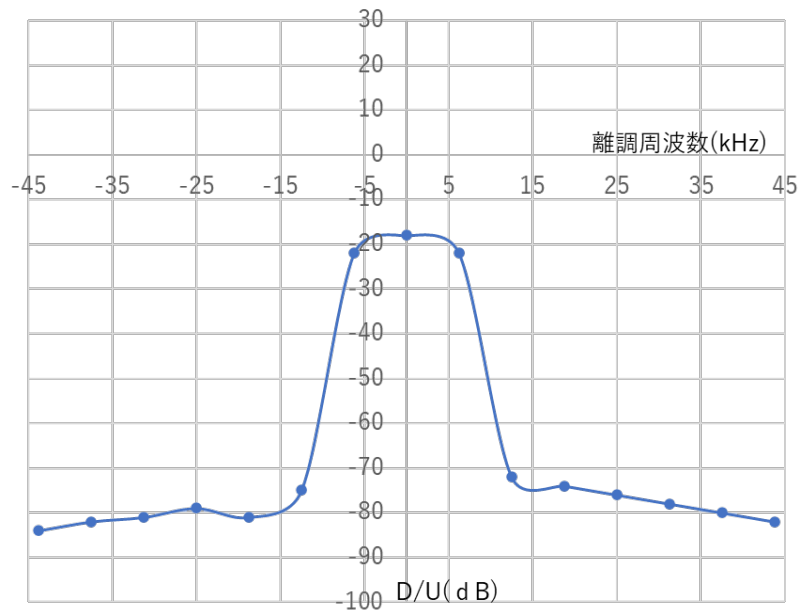


図 4-37 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=10、与干渉(妨害波)150MHz帯 4-FSK

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=12	4 値FSK

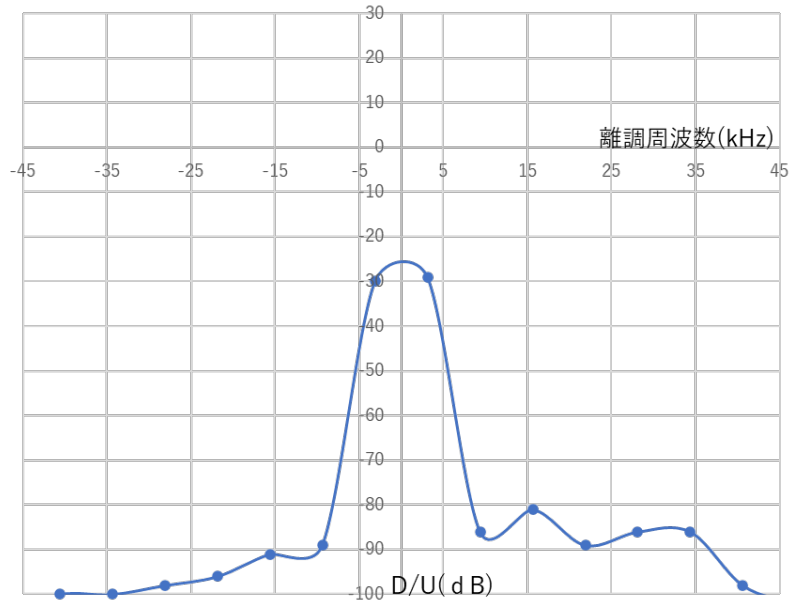


図 4 -38 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=12、与干渉(妨害波)150MHz 帯 4-FSK

被干渉	与干渉
150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=12	4 値FSK

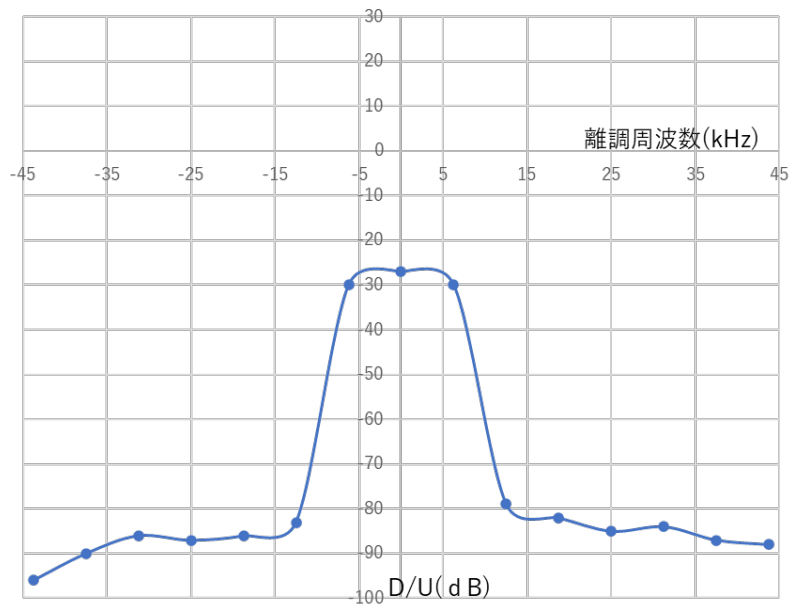


図 4 -39 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=12、与干渉(妨害波)150MHz 帯 4-FSK

150MHz 帯狭帯域 LoRa®被干渉 - 150MHz 帯 4 - FSK 与干渉の隣接チャンネル干渉測定において、妨害波を先に送信を開始し、後から希望波を送信する順番にて測定を実施した場合の結果を図 4 -40～図 4 -41 に示す。希望波の拡散係数 SF は 7 としている。

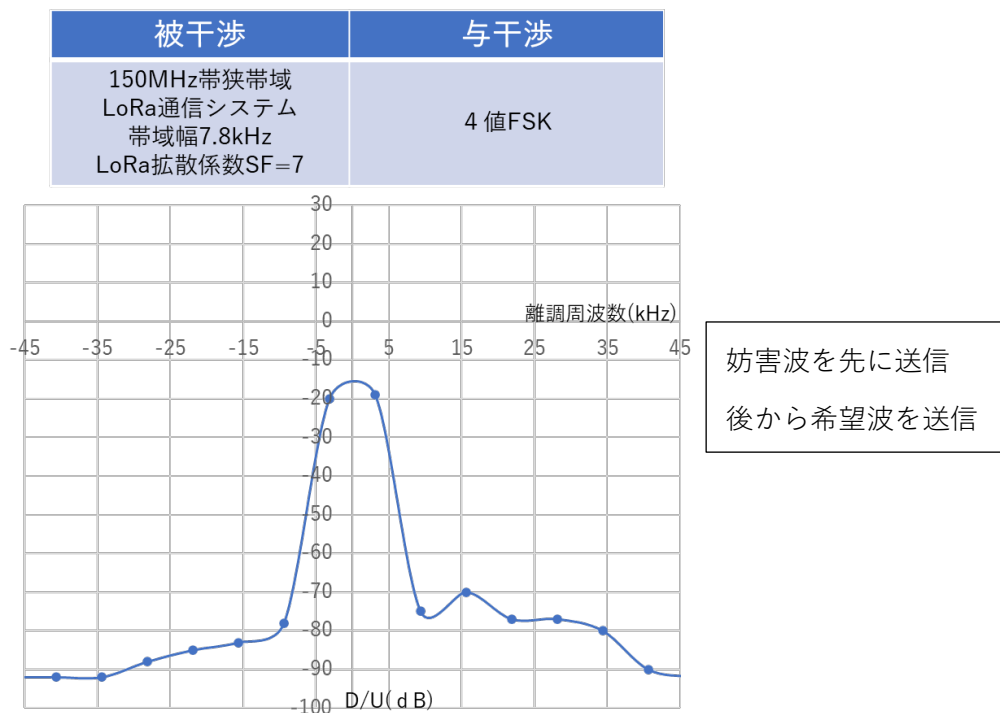


図 4 -40 被干渉(希望波)LoRa®7.8kHzSF=7、与干渉(妨害波)150MHz 帯 4-FSK

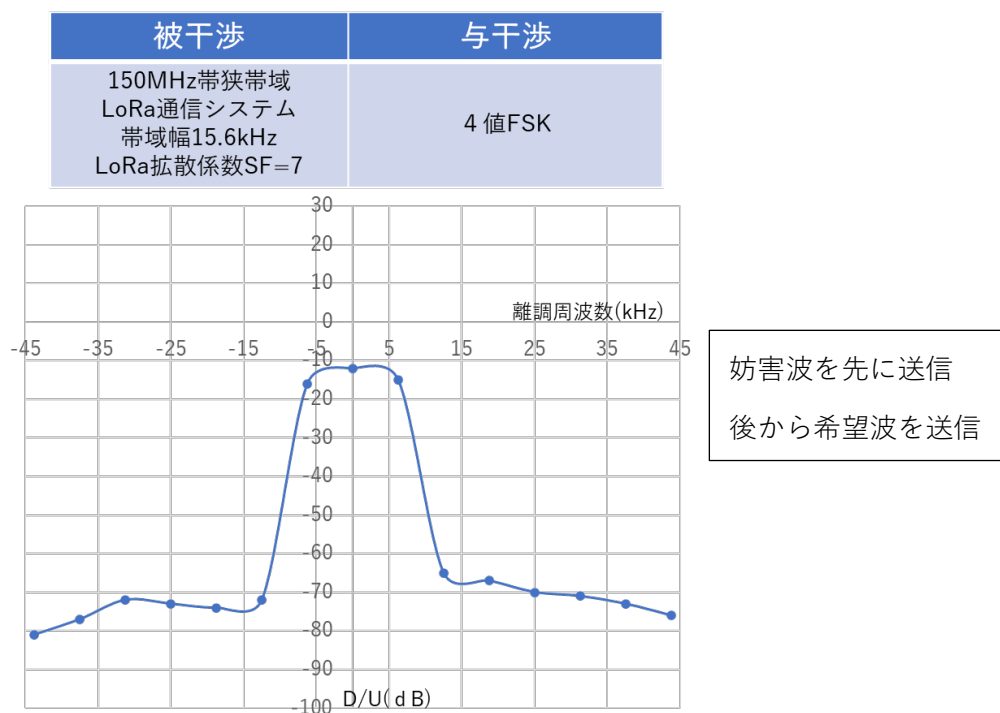


図 4 -41 被干渉(希望波)LoRa®15.6kHzSF=7、与干渉(妨害波)150MHz 帯 4-FSK

4.3.6 隣接チャネル干渉測定 提案システム与干渉

150MHz 帯狭帯域 LoRa[®]が与干渉の場合について、図 4-42 の構成で測定を行った。アッテネータを調整し、BER（ビットエラーレート）が1%の状態となった時の希望波電力と妨害波電力から D/U を求めた。

なお、150MHz 帯狭帯域 LoRa[®]については、拡散係数 7、10、12 のそれぞれに対して測定を行った。希望波信号レベルは、基準感度+30dB とした。また、希望波が先に送信を開始し、後から妨害波を送信する順番にて測定を実施した。結果を図 4-43～図 4-48 に示す。

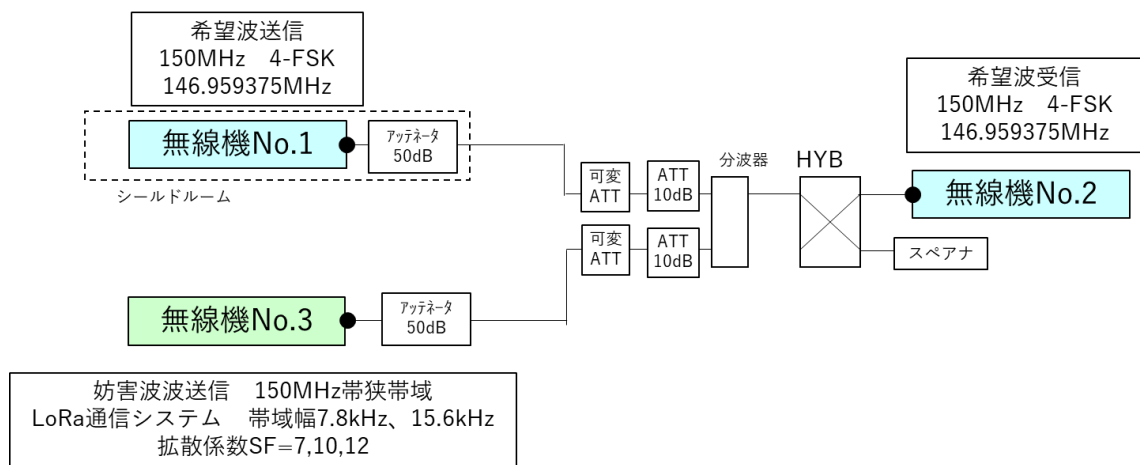


図 4-42 隣接チャネル与干渉測定 提案システム与干渉 測定構成

被干渉	与干渉
4 値FSK	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=7

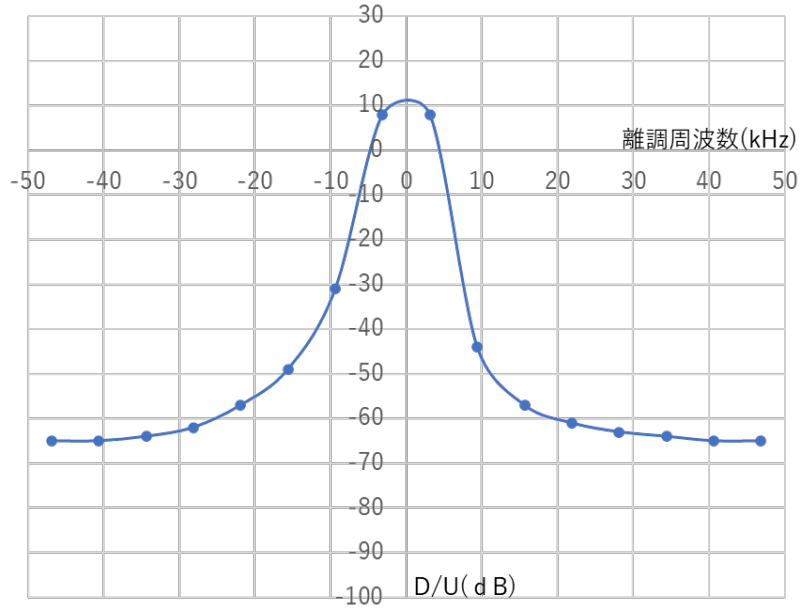


図 4-43 被干渉(希望波) 150MHz 帯 4-FSK、与干渉(妨害波) LoRa®7.8kHzSF=7

被干渉	与干渉
4 値FSK	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=7

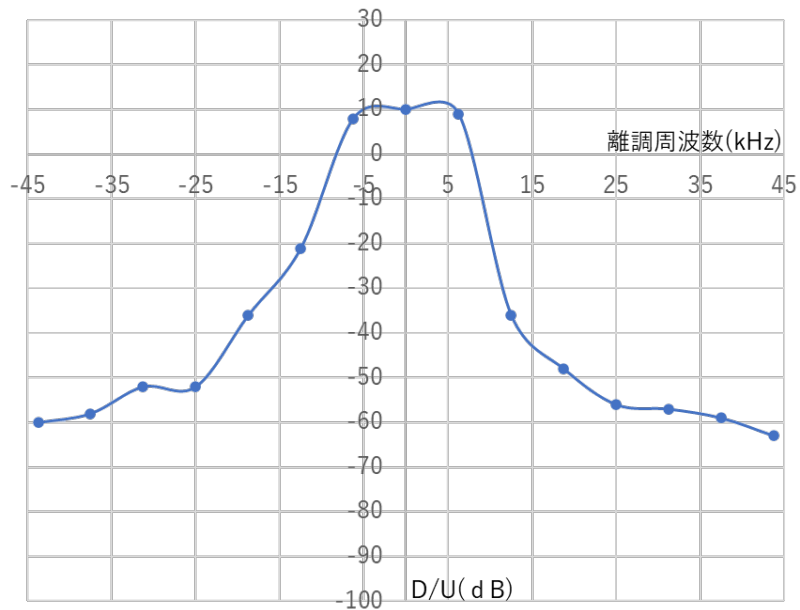


図 4-44 被干渉(希望波) 150MHz 帯 4-FSK、与干渉(妨害波) LoRa®15.6kHzSF=7

被干渉	与干渉
4 値FSK	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=10

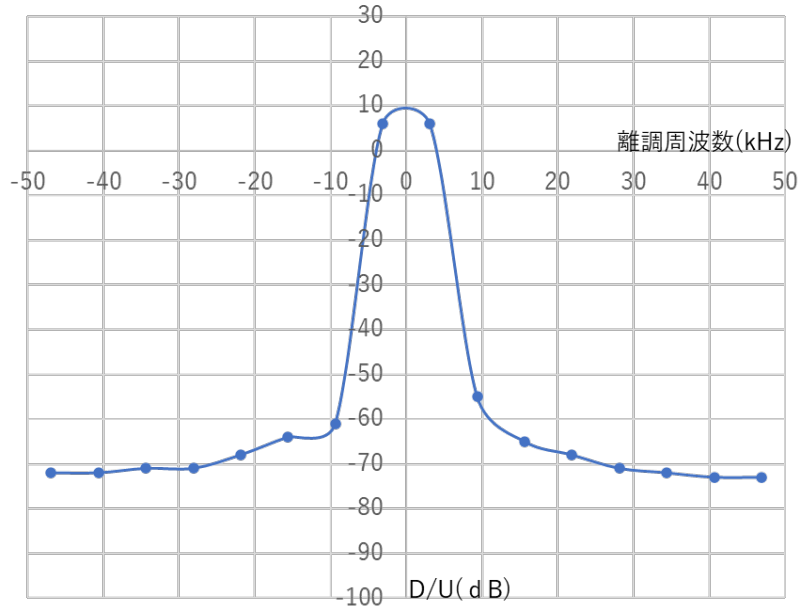


図 4 -45 被干渉(希望波) 150MHz 帯 4-FSK、与干渉(妨害波) LoRa®7.8kHzSF=10

被干渉	与干渉
4 値FSK	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=10

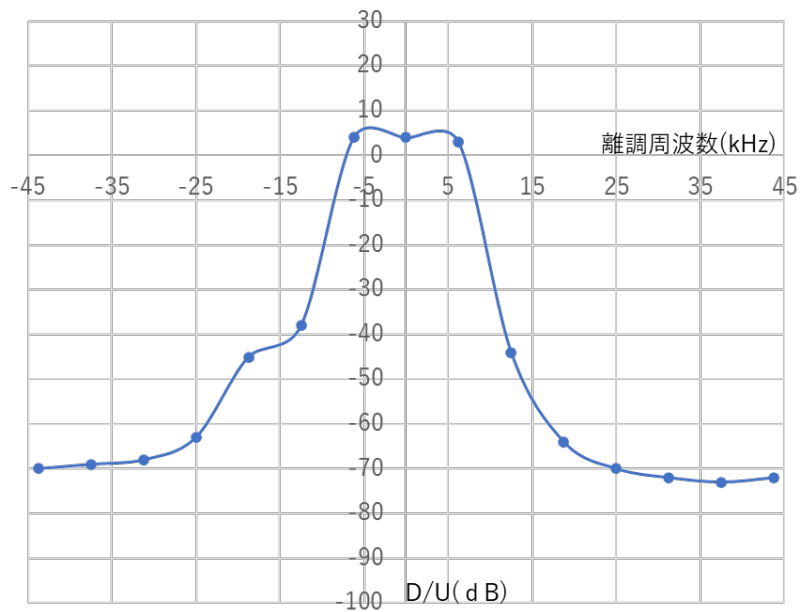


図 4 -46 被干渉(希望波) 150MHz 帯 4-FSK、与干渉(妨害波) LoRa®15.6kHzSF=10

被干渉	与干渉
4 値FSK	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅7.8kHz LoRa拡散係数SF=12

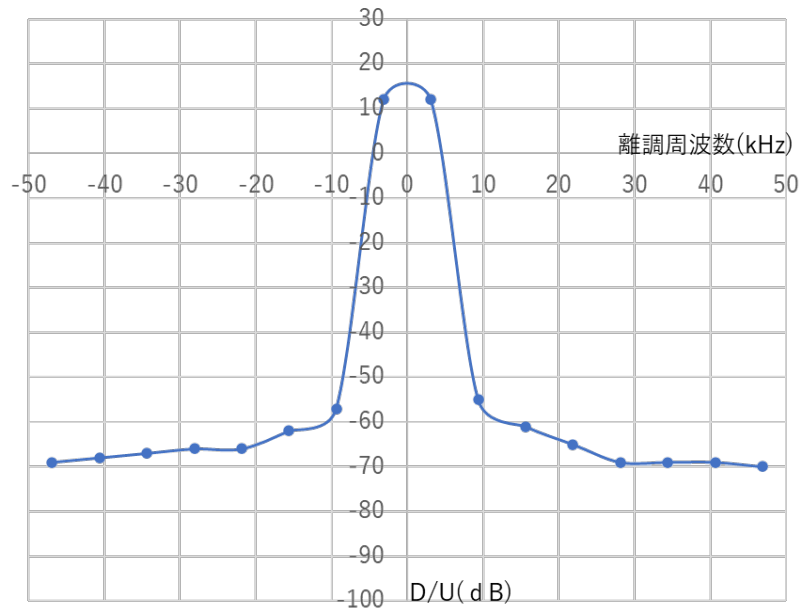


図 4 -47 被干渉(希望波) 150MHz 帯 4-FSK、与干渉(妨害波) LoRa®7.8kHzSF=12

被干渉	与干渉
4 値FSK	150MHz帯狭帯域 LoRa通信システム 帯域幅15.6kHz LoRa拡散係数SF=12

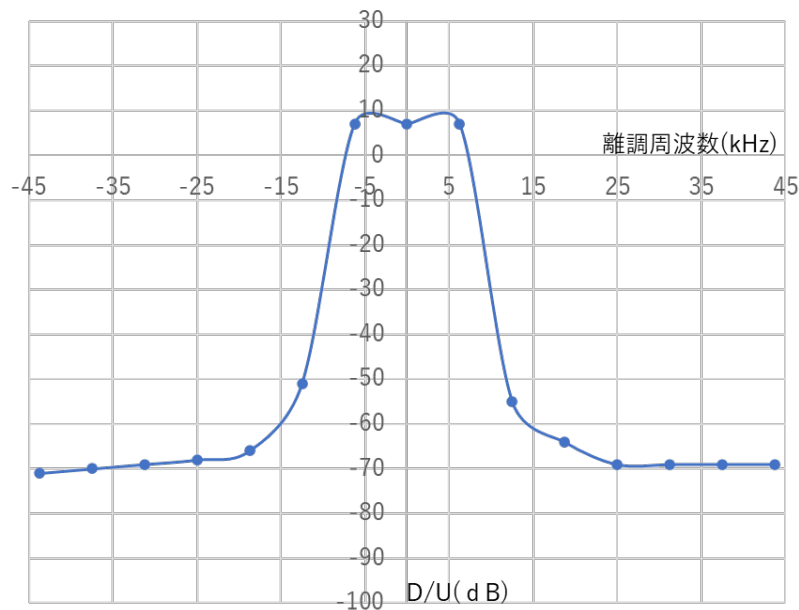


図 4 -48 被干渉(希望波) 150MHz 帯 4-FSK、与干渉(妨害波) LoRa®15.6kHzSF=12

150MHz 帯 4 - FSK 被干渉 - 150MHz 帯狭帯域 LoRa®与干渉の隣接チャネル干渉測定において、妨害波を先に送信を開始し、後から希望波を送信する順番にて測定を実施した場合の結果を図 4 -49～図 4 -50 に示す。妨害波の拡散係数 SF は 7 としている。

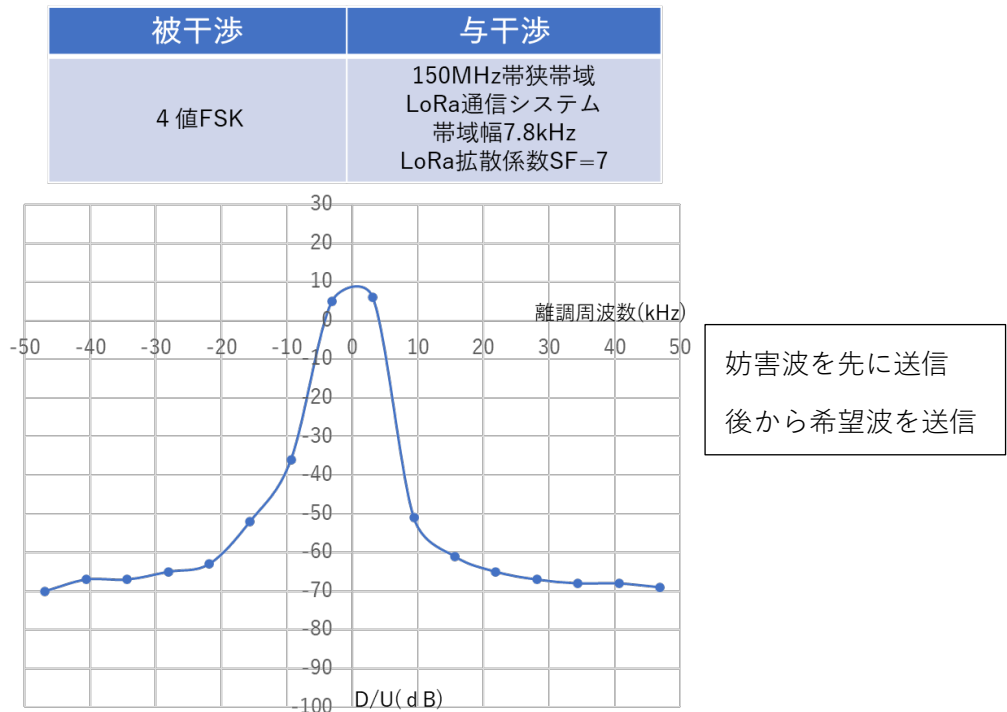


図 4 -49 被干渉(希望波) 150MHz 帯 4-FSK、与干渉(妨害波) LoRa®7.8kHzSF=7

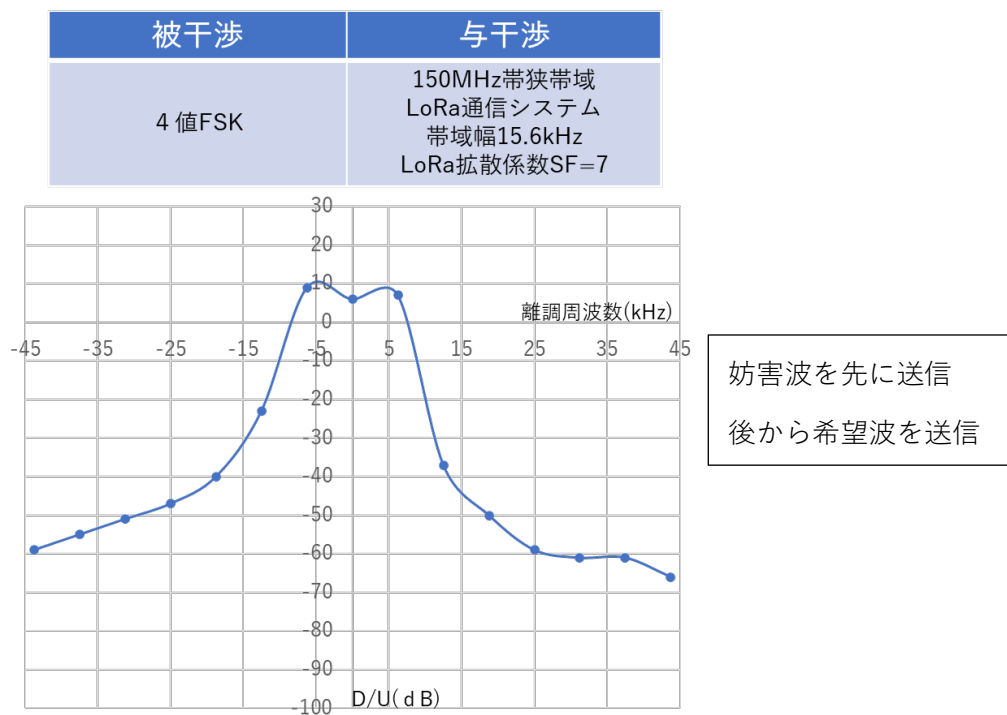


図 4 -50 被干渉(希望波) 150MHz 帯 4-FSK、与干渉(妨害波) LoRa®15.6kHzSF=7

同一チャンネル干渉測定結果および隣接チャンネル干渉測定結果から抽出した、干渉・被干渉パターンごとの D/U を表 4-14～表 4-16 に示す。希望波信号レベルは、基準感度+30dB とし、希望波が先に送信を開始し、後から妨害波を送信する順番にて測定を実施した。なお、上隣接と下隣接の測定結果のうち、悪い方の値を示している。

表 4-14 干渉・被干渉パターンごとの D/U

希望波 変調方式	妨害波 変調方式	D/U	
150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 146.9625MHz	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 同一周波数	拡散係数 SF=7	2dB
		拡散係数 SF=10	-9dB
		拡散係数 SF=12	-9dB
	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 6.25kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-11dB
		拡散係数 SF=10	-14dB
		拡散係数 SF=12	-12dB
	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 12.5kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-59dB
		拡散係数 SF=10	-64dB
		拡散係数 SF=12	-62dB
	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 3.125kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-13dB
		拡散係数 SF=10	-11dB
		拡散係数 SF=12	-11dB
	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 9.375kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-24dB
		拡散係数 SF=10	-16dB
		拡散係数 SF=12	-14dB
	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 15.625kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-63dB
		拡散係数 SF=10	-65dB
		拡散係数 SF=12	-66dB
150MHz 帯	4-FSK 3.125kHz 離隔	-13dB	
150MHz 帯	4-FSK 9.375kHz 離隔	-71dB	

希望波 変調方式	妨害波 変調方式	D/U
400MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 429.2MHz	400MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 同一周波数	-11dB

表 4 -15 干渉・被干渉パターンごとの D/U

希望波 変調方式		妨害波 変調方式		D/U
150MHz 帯 狭帯域 LoRa [®] 帯域幅 15.6kHz 146.959375MHz	拡散係数 SF=7	150MHz 帯 狭帯域 LoRa [®] 帯域幅 15.6kHz 同一周波数	拡散係数 SF=7	1dB
			拡散係数 SF=10	-11dB
			拡散係数 SF=12	-11dB
		150MHz 帯 狭帯域 LoRa [®] 帯域幅 15.6kHz 6.25kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-2dB
			拡散係数 SF=10	-10dB
			拡散係数 SF=12	-11dB
		150MHz 帯 狭帯域 LoRa [®] 帯域幅 15.6kHz 12.5kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-9dB
			拡散係数 SF=10	-17dB
			拡散係数 SF=12	-14dB
		150MHz 帯 狭帯域 LoRa [®] 帯域幅 15.6kHz 18.75kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-56dB
			拡散係数 SF=10	-62dB
			拡散係数 SF=12	-62dB
		150MHz 帯 狭帯域 LoRa [®] 帯域幅 7.8kHz 3.125kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-6dB
			拡散係数 SF=10	-8dB
			拡散係数 SF=12	-9dB
		150MHz 帯 狭帯域 LoRa [®] 帯域幅 7.8kHz 9.375kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-15dB
			拡散係数 SF=10	-13dB
			拡散係数 SF=12	-12dB
		150MHz 帯 狭帯域 LoRa [®] 帯域幅 7.8kHz 15.625kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-58dB
			拡散係数 SF=10	-58dB
			拡散係数 SF=12	-58dB
150MHz 帯	4-FSK	同一周波数	-11dB	
150MHz 帯	4-FSK	6.25kHz 離隔	-14dB	
150MHz 帯	4-FSK	12.5kHz 離隔	-64dB	

表 4-16 干渉・被干渉パターンごとの D/U

希望波 変調方式	妨害波 変調方式		D/U	
150MHz 帯 4-FSK	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 3.125kHz 離隔	拡散係数 SF=7	8dB	
		拡散係数 SF=10	6dB	
		拡散係数 SF=12	12dB	
	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz 9.375kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-31dB	
		拡散係数 SF=10	-55dB	
		拡散係数 SF=12	-55dB	
	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 同一周波数	拡散係数 SF=7	10dB	
		拡散係数 SF=10	4dB	
		拡散係数 SF=12	7dB	
	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 6.25kHz 離隔	拡散係数 SF=7	9dB	
		拡散係数 SF=10	4dB	
		拡散係数 SF=12	7dB	
	150MHz 帯 狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz 12.5kHz 離隔	拡散係数 SF=7	-21dB	
		拡散係数 SF=10	-38dB	
拡散係数 SF=12		-51dB		

4.3.7 屋内実証実験結果 考察

干渉・被干渉パターンごとの D/U から、以下の傾向があると考えられる。

- 150MHz 帯狭帯域 LoRa®同士については、同一周波数で同じ拡散係数 SF の場合でも D/U は 1~2dB であり、干渉に対する耐性が高い。
同一周波数で、異なる拡散係数 SF の場合、D/U は -9~-11dB と、さらに干渉に対する耐性が高くなる。これより、他局と異なる拡散係数 SF を使用することは、干渉低減の効果があると考えられる。
- 150MHz 帯狭帯域 LoRa®帯域幅 7.8kHz は、LoRa®帯域幅 7.8kHz に対しては 12.5kHz、LoRa®帯域幅 15.6kHz に対しては 15.625kHz 離調すれば、干渉の影響は受けないと考えられる。150MHz 帯狭帯域 LoRa®帯域幅 15.6kHz は、LoRa®帯域幅 15.6kHz に対しては 18.75kHz 離調すれば、干渉の影響は受けないと考えられる。
- 4-FSK 与干渉の場合、150MHz 帯狭帯域 LoRa®帯域幅 7.8kHz は 9.375kHz 離調、150MHz 帯狭帯域 LoRa®帯域幅 15.6kHz は 12.5kHz 離調すれば、干渉の影響を受

けないと考えられる。

- 4-FSK 被干渉の場合、150MHz 帯狭帯域 LoRa®帯域幅 7.8kHz は 9.375kHz 離調しても、拡散係数 SF=7 の場合は、D/U が十分でなく、干渉の影響を受ける恐れがあると考えられる。150MHz 帯狭帯域 LoRa®帯域幅 15.6kHz は 12.5kHz 離調しても、拡散係数 SF=7 の場合は、D/U が十分でなく、干渉の影響を受ける恐れがあると考えられる。下隣接と上隣接で D/U の値が異なっている傾向も見られ、使用した 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムのスプリアス放射レベルが、4-FSK よりも高いことが考えられる。

4.4 屋外実証実験結果

屋外実証実験の結果を以下に示す。

4.4.1 ドライブテスト

試作システムにて、実際に電波を発射し、受信電力の測定を行う伝搬調査を実施した(図 4-51)。広範囲の受信状態を把握するために、送信は固定、受信は車両で移動した状態にて測定(ドライブテスト)を実施した。ドライブテストにおいては、車両を走行しながら、搭載した無線機で受信レベルを測定しながら、同時に GPS からの緯度経度情報を記録する(図 4-52)。これによって、各地点の受信レベルを測定することができ、広範囲の伝搬状況の把握が可能となる。

ドライブテストの走行ルートについて、伝搬状況を正確に把握するため、条件の異なる 3 ルートについて測定を実施している(表 4-17)。

また、150MHz 帯狭帯域 LoRa®と 400MHz 帯狭帯域 LoRa®の他に、429MHz 帯特定小電力 LoRa®及び 920MHz 帯特定小電力 LoRa®についても同時に測定を行い、比較検証を実施した。さらに、150MHz 帯狭帯域 LoRa®と 400MHz 帯狭帯域 LoRa®については、帯域幅 7.8kHz と 15.6kHz のそれぞれについて実施している。

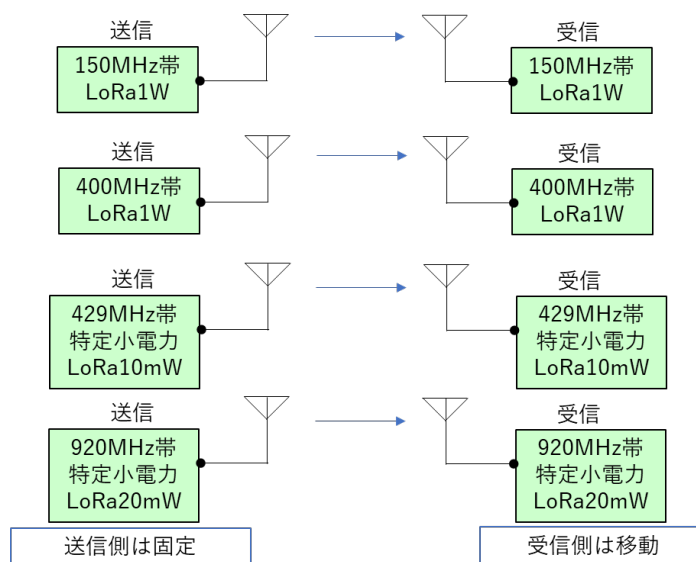


図 4-51 伝搬調査 概要図



図 4-52 ドライブテスト概要

表 4-17 ドライブテストの走行ルート

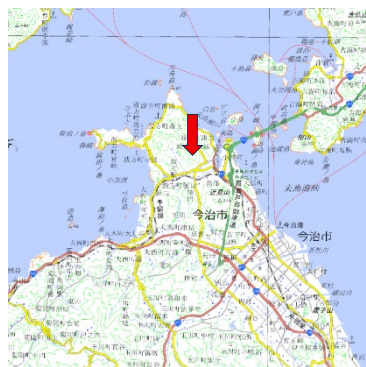
No.	走行ルート	目的
1	高所送信～平野、市街地、海上、山間地受信	理想に近い環境で、伝搬状況を把握する。
2	低所送信～海上受信	造船所での使用時に近い環境で、伝搬状況を把握する。
3	山間部低所送信～山間部低所受信	中山間地域での使用時に近い環境で伝搬状況を把握する。

4.4.1.1 走行ルート1（高所送信～平野、市街地、海上、山間地受信）ドライブテスト

走行ルート1（高所送信～平野、市街地、海上、山間地受信）において実施したドライブテストでの測定条件を表 4-18 に、測定状況を図 4-53、車両走行ルートを図 4-54 に示す。

表 4-18 走行ルート1 ドライブテスト測定条件

周波数	146.9625MHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz) 146.959375MHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz) 429.2MHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz) 429.2MHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz) 429.7375MHz (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 920.6MHz (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
空中線電力	1W (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1W (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 10mW (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 20mW (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
帯域幅	7.8kHz および 15.6kHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 7.8kHz または 15.6kHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 7.8kHz (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 125kHz (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
LoRa®拡散係数	SF=7
送信アンテナ高	3m (標高 155m)
受信アンテナ高	1.5m (車の屋根に設置)
送信アンテナ利得	2dBi (無指向性)
受信アンテナ利得	2dBi
送信ケーブル損失	0.4dB (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 0.7dB (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1.3dB (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 8.5dB (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
受信ケーブル損失	0.7dB (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1.2dB (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1.2dB (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 1.7dB (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
偏波面	垂直
送信間隔	10 秒ごと、データ量 6Byte
送信場所	海山城展望公園 (標高 (地表) 152m)
測定項目	受信電力と GPS からの緯度経度情報を合わせて記録する。



今治市海山城展望台



標高（地表）152m

使用許可を今治市役所様から取得して実施。

海山城展望台からの風景



今治市街地～西条市方面の見通しが確保されている
しまなみ方面も見通しあり



親局
(送信側)



車（受信側）

図 4-53 走行ルート1 ドライブテスト測定状況

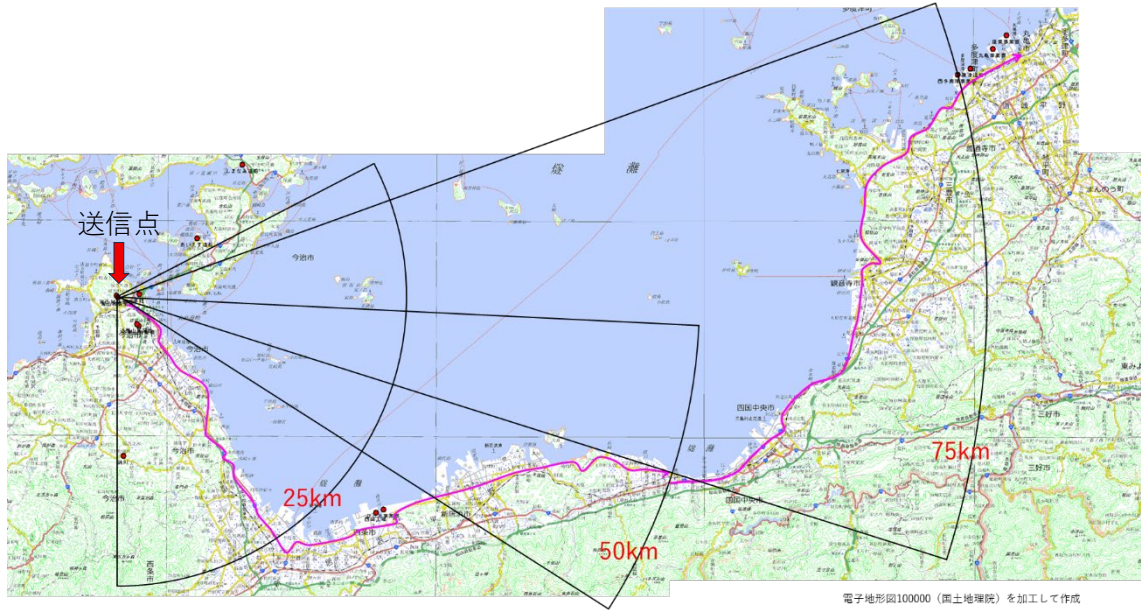


図 4-54 走行ルート1 ドライブテスト 車両走行ルート

ドライブテスト測定結果を以下に示す。地図上に受信レベルを色分けして表示している。

No	走行ルート1 ドライブテスト測定結果	
1	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-55
2	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-56
3	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-57
4	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-58
5	429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-59
6	920MHz 帯狭帯域 LoRa®20mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 125kHz	図 4-60

ルート1でのドライブテスト測定結果とエリアシミュレーション結果を同時に作図し、双方の比較を行った。エリアシミュレーションのソフトウェアは、DenpaPro Ver4.1.0.11 アジア航測製を使用し、伝搬モデルは自由空間伝搬を使用している。

なお、エリアシミュレーションについては、帯域幅はシミュレーション結果には影響しないため、帯域幅のみが異なる場合は、同じ結果を作図している。

No	走行ルート1 ドライブテスト測定結果 エリアシミュレーションとの比較	
1	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-61
2	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-62
3	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-63
4	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-64
5	429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-65
6	920MHz 帯狭帯域 LoRa®20mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 125kHz	図 4-66

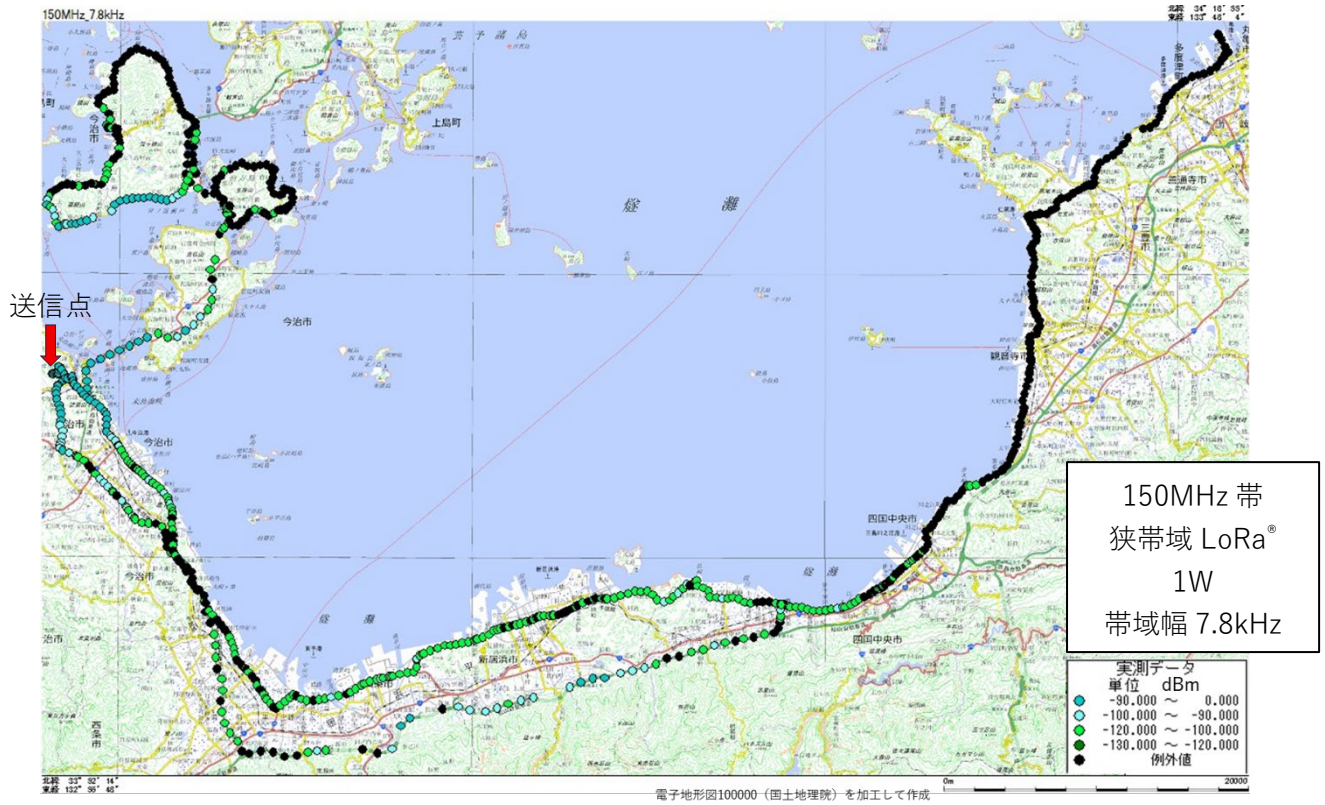


図 4-55 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz

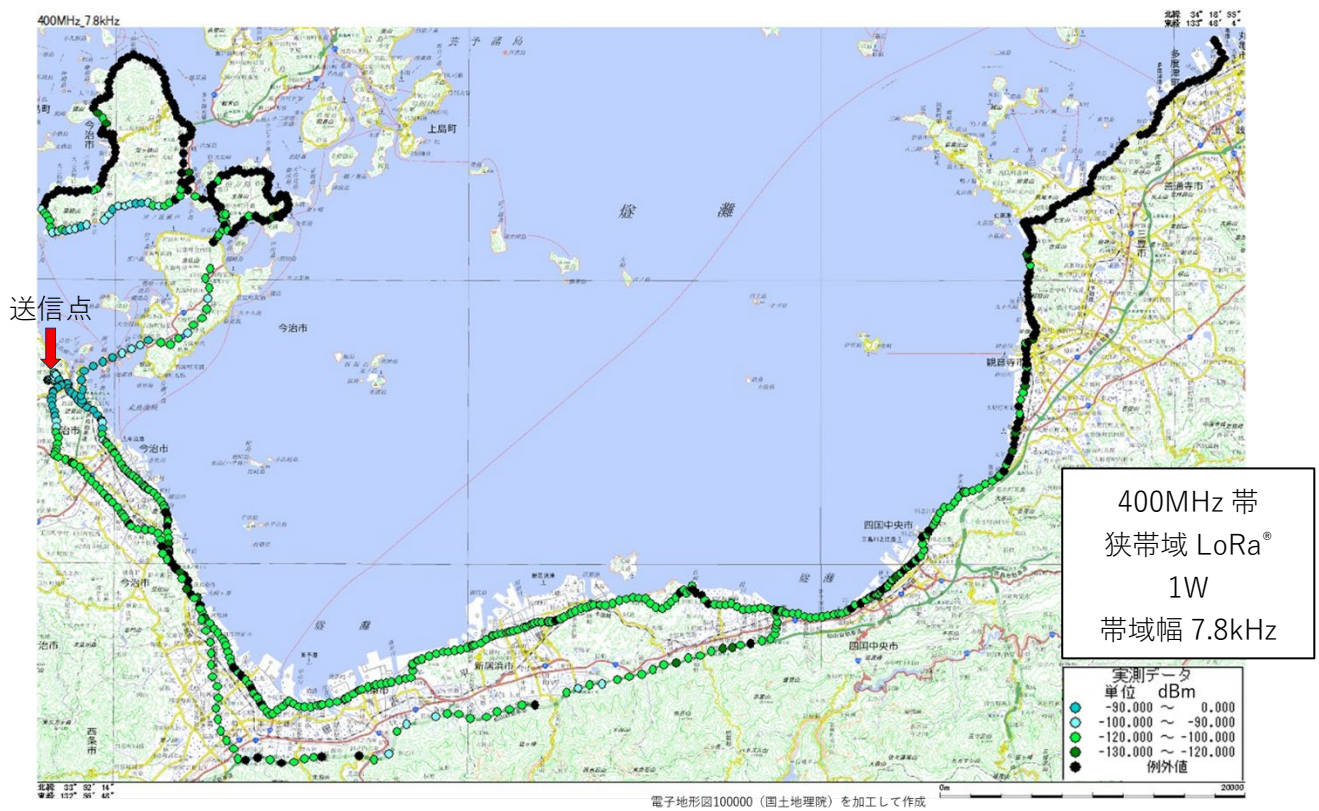


図 4-56 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz

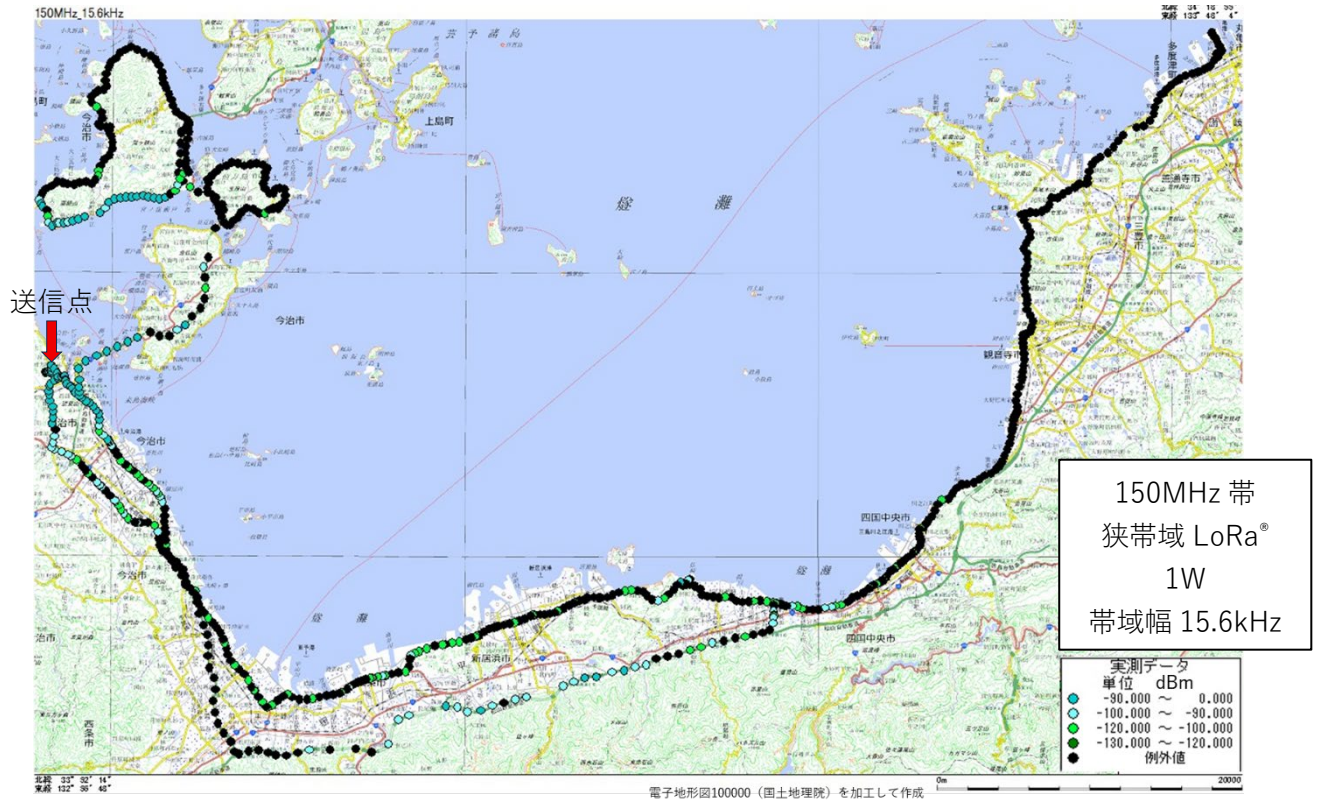


図 4-57 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz

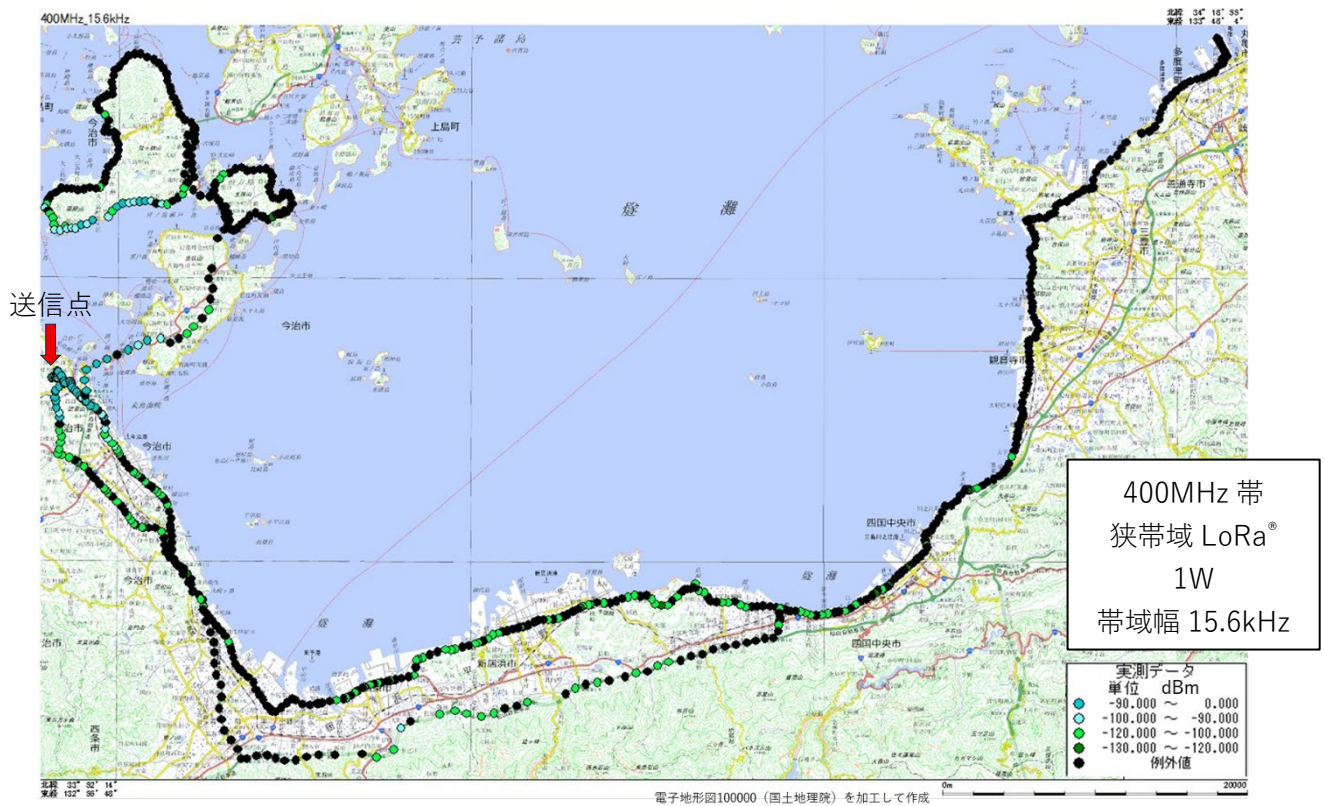


図 4-58 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz

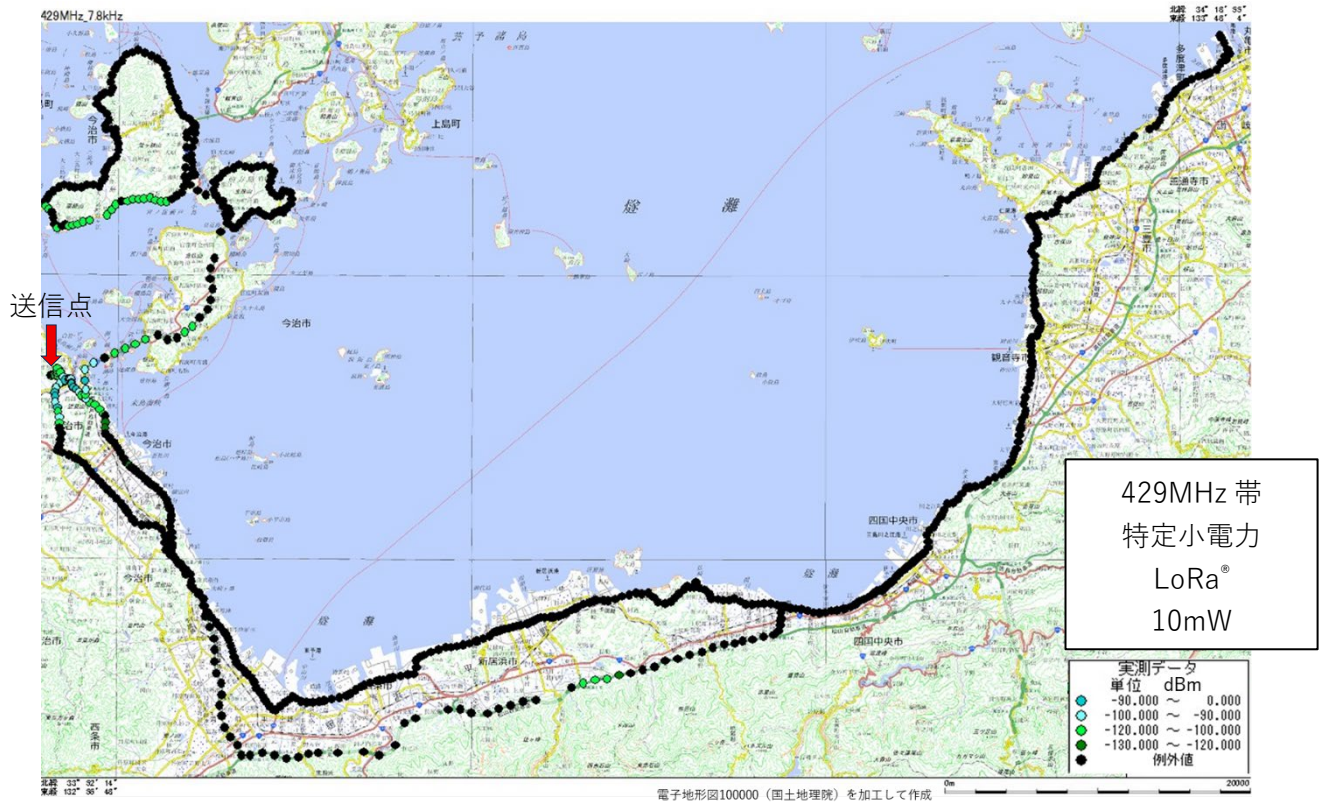


図 4-59 429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz

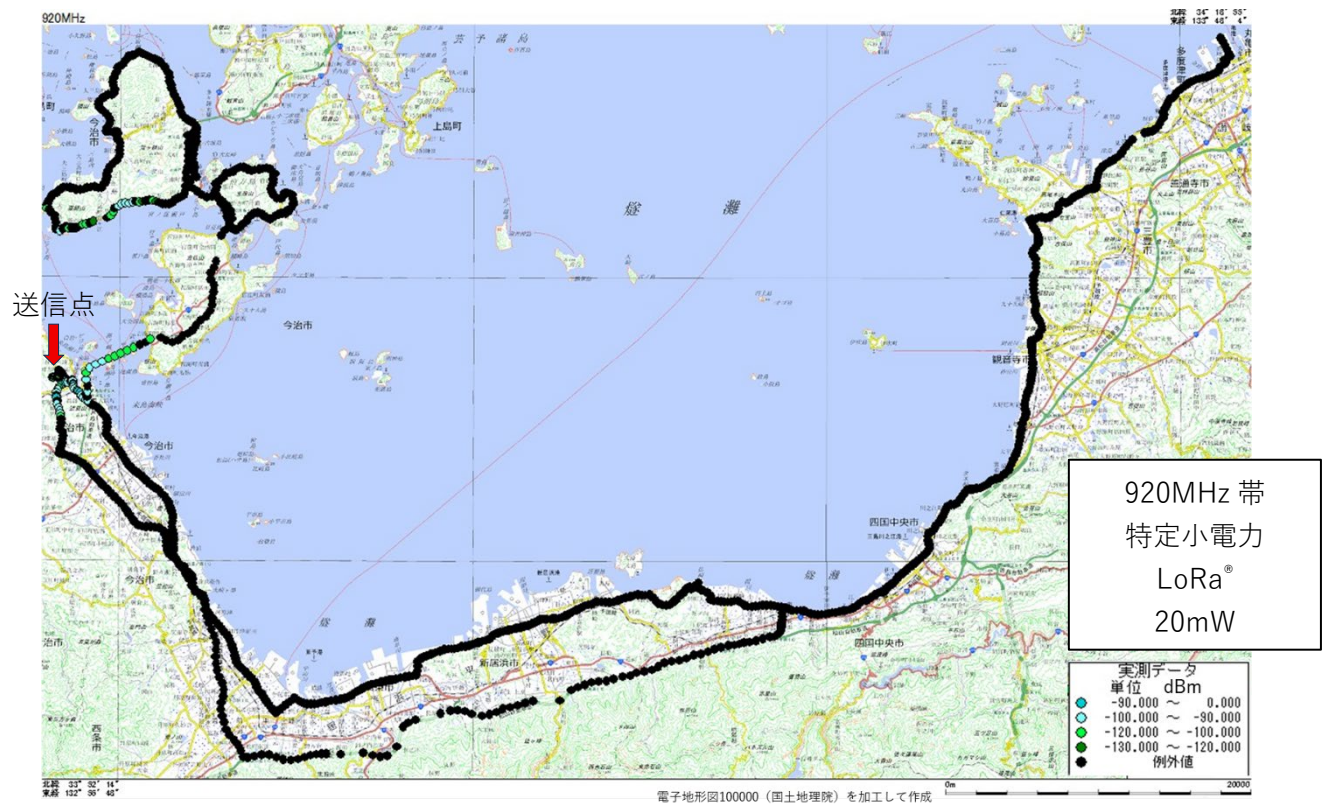


図 4-60 920MHz 帯 LoRa®20mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 125kHz

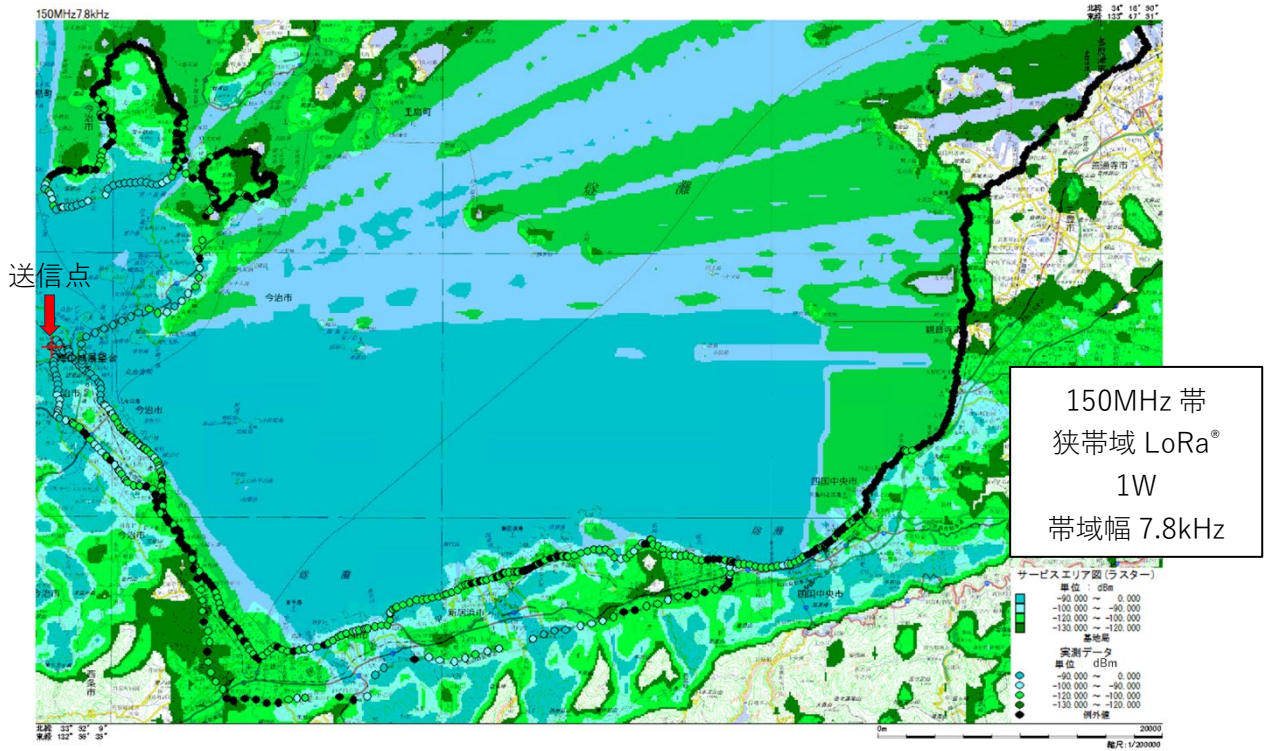


図 4-61 エリアシミュレーションとの比較 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 7.8kHz

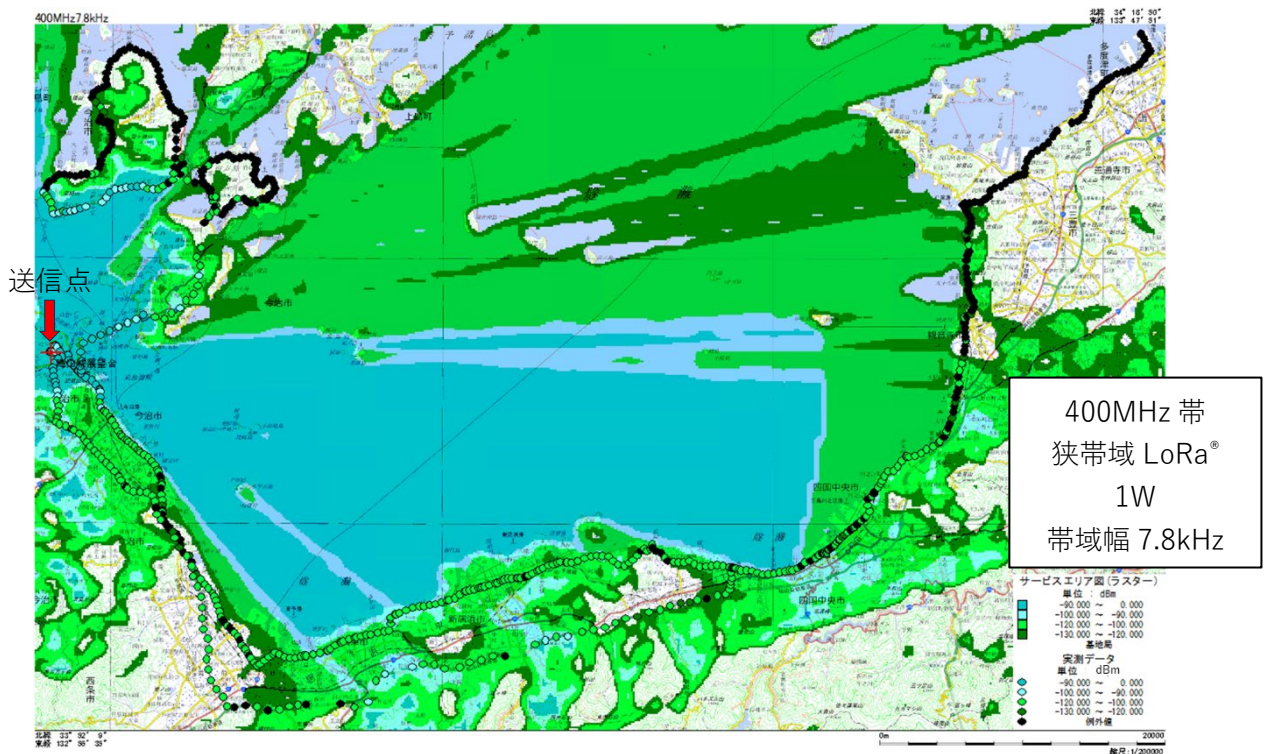


図 4-62 エリアシミュレーションとの比較 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 7.8kHz

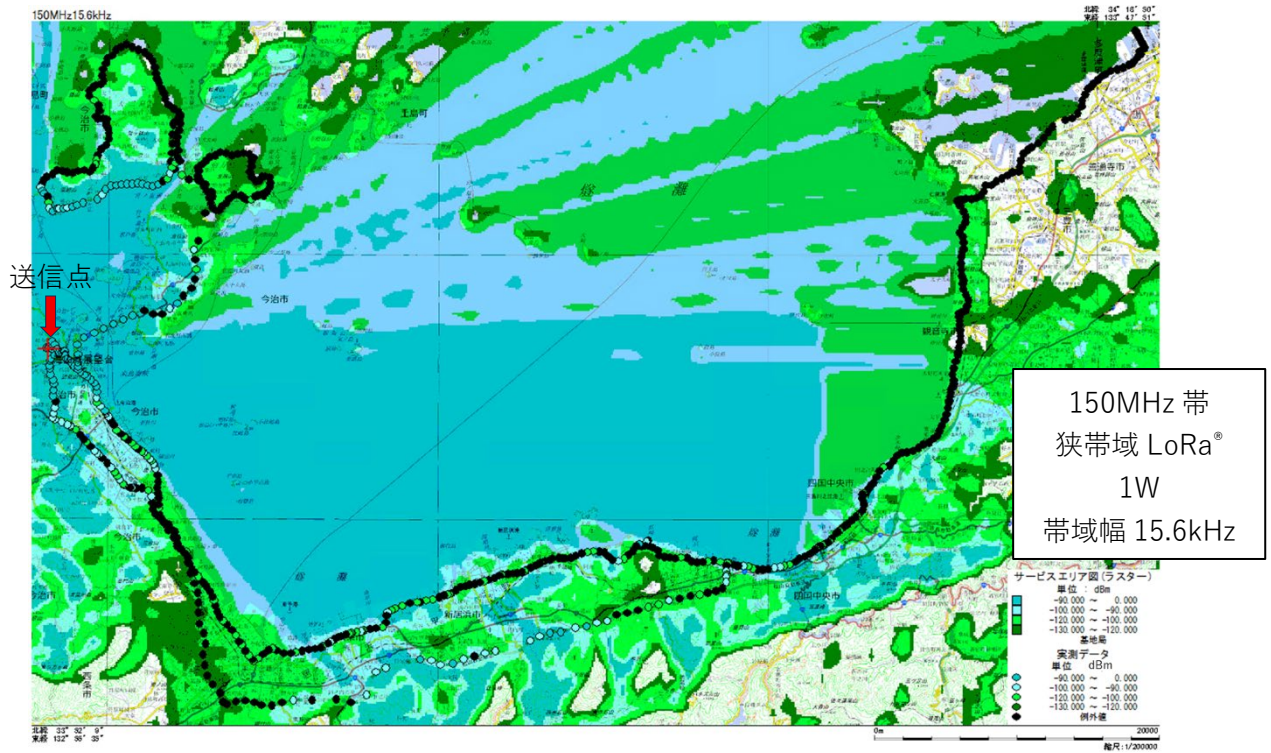


図 4-63 エリアシミュレーションとの比較 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 15.6kHz

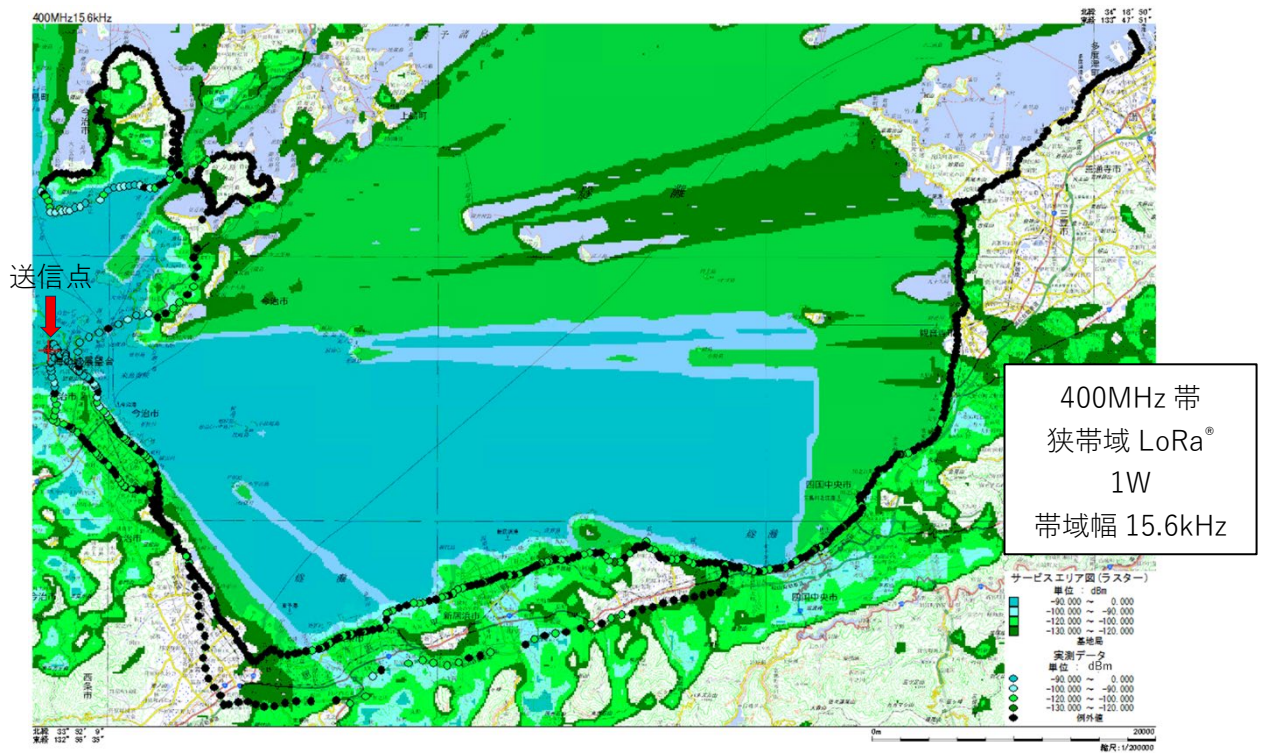


図 4-64 エリアシミュレーションとの比較 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 15.6kHz

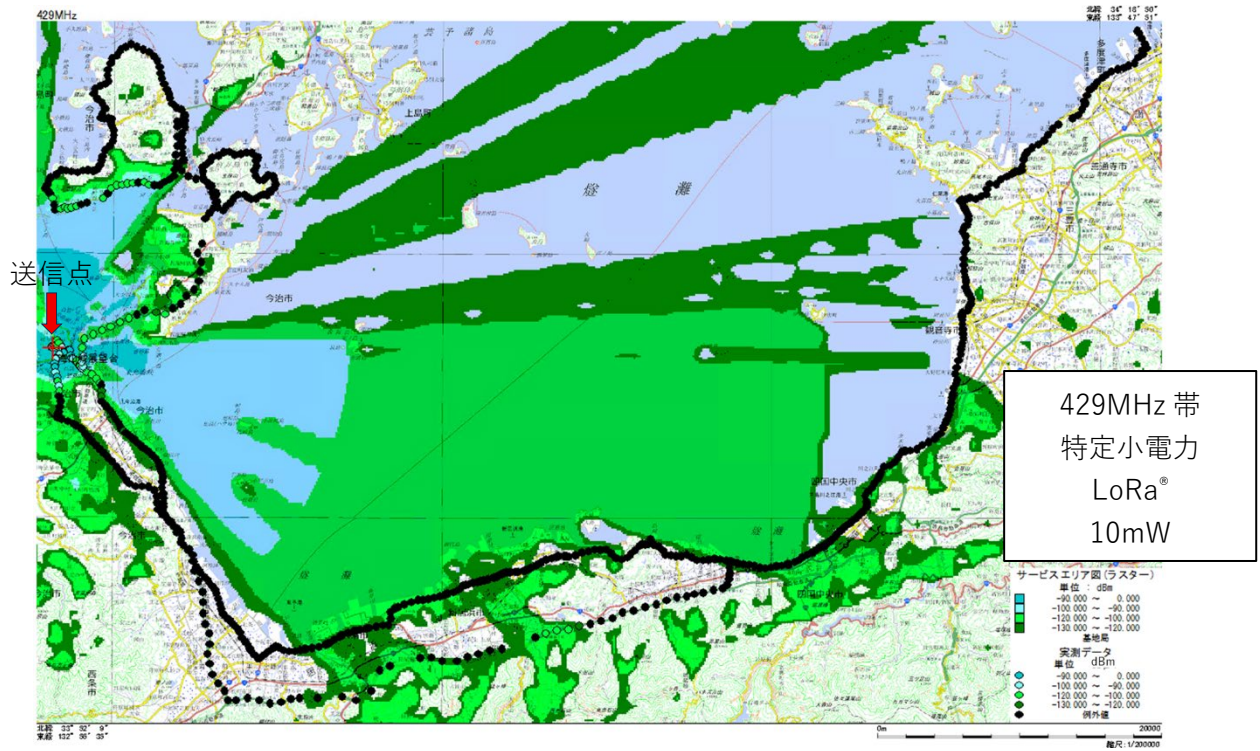


図 4-65 エリアシミュレーションとの比較 429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 帯域幅 7.8kHz

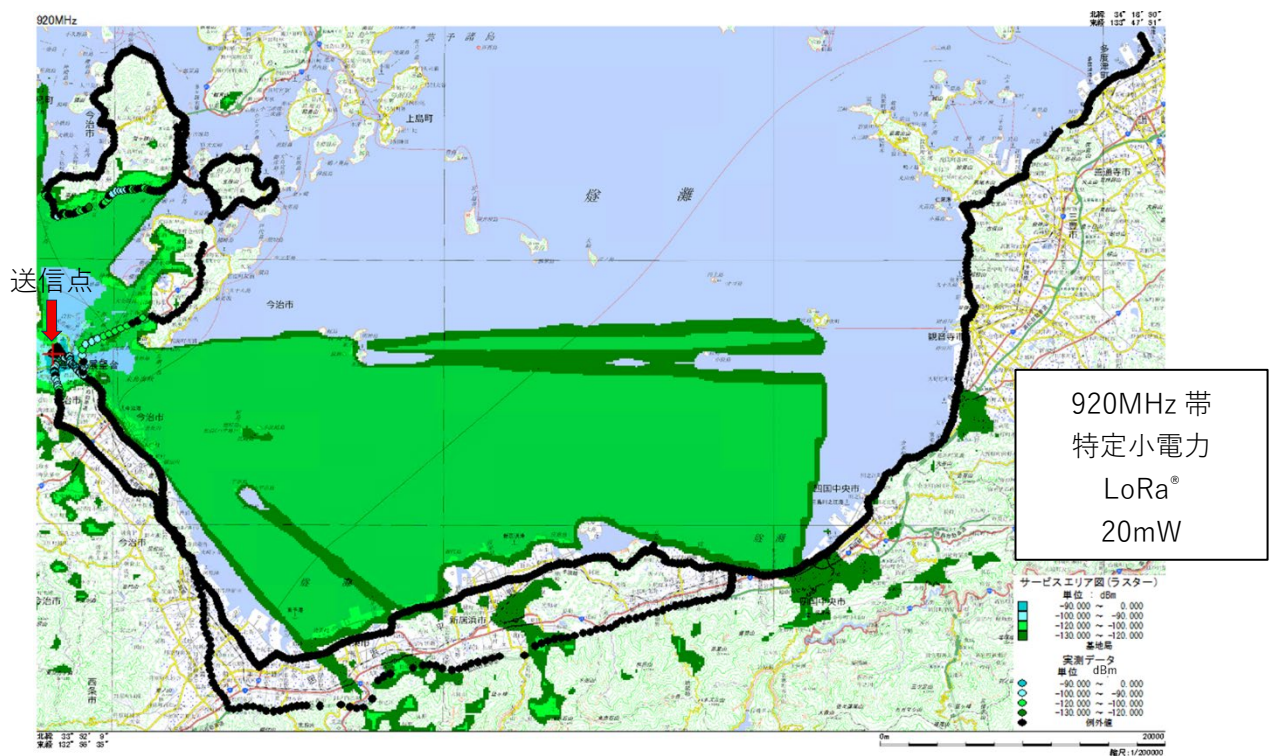


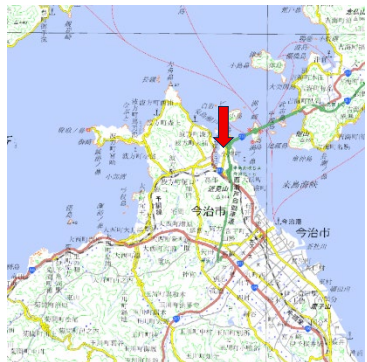
図 4-66 エリアシミュレーションとの比較 920MHz 帯 LoRa®20mW 帯域幅 125kHz

4.4.1.2 走行ルート2（低所送信～海上受信）ドライブテスト

走行ルート2（低所送信～海上受信）において実施したドライブテストでの測定条件を表4-19に、測定状況を図4-67、車両走行ルートを図4-68に示す。海上受信については、沿岸を車で走行することによって測定を行っている。

表 4-19 走行ルート2 ドライブテスト測定条件

周波数	146.9625MHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz) 146.959375MHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz) 429.2MHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz) 429.2MHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz) 429.7375MHz (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 920.6MHz (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
空中線電力	1W (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1W (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 10mW (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 20mW (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
帯域幅	7.8kHz および 15.6kHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 7.8kHz または 15.6kHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 7.8kHz (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 125kHz (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
LoRa®拡散係数	SF=7
送信アンテナ高	25m
受信アンテナ高	1.5m (車の屋根に設置)
送信アンテナ利得	2dBi (無指向性)
受信アンテナ利得	2dBi
送信ケーブル損失	0.4dB (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 0.7dB (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1.3dB (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 8.5dB (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
受信ケーブル損失	0.7dB (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1.2dB (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1.2dB (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 1.7dB (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
偏波面	垂直
送信間隔	10 秒ごと、データ量 6Byte
送信場所	今治造船本社屋上 (標高 (地表) 4m)
測定項目	受信電力と GPS からの緯度経度情報を合わせて記録する。

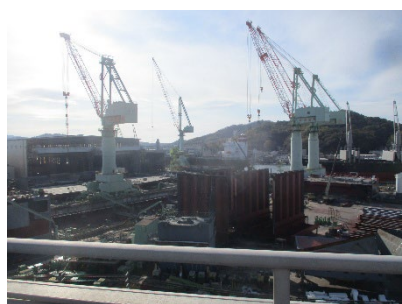


今治造船本社



標高（地表）4m

屋上からの風景



今治市街地～西条市方面の見通しはなし。しまなみ方面は見通しあり。



親局
(送信側)



車
(受信側)

図 4-67 走行ルート2 ドライブテスト測定状況

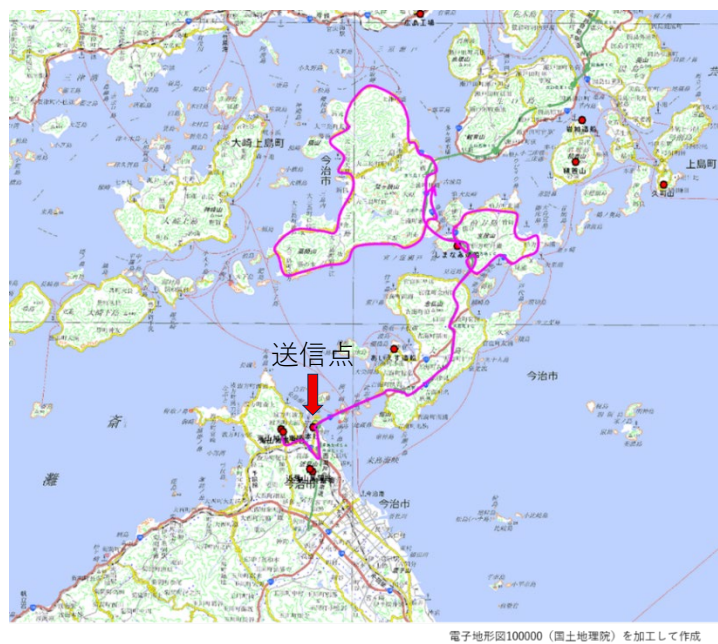
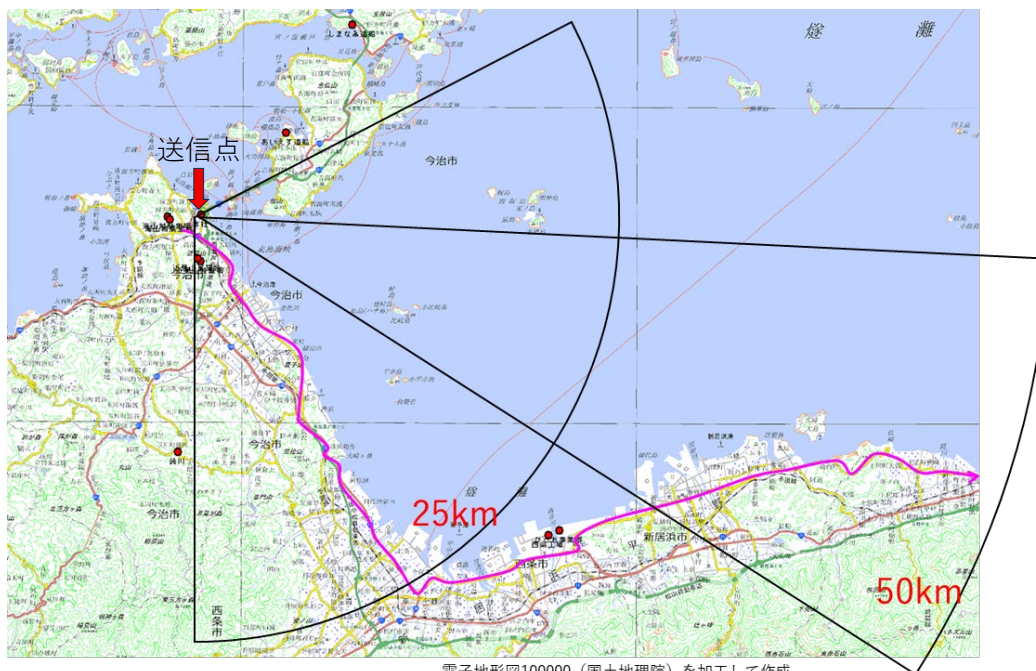


図 4-68 走行ルート2 ドライブテスト 車両走行ルート

ドライブテスト測定結果を以下に示す。地図上に受信レベルを色分けして表示している。

No	走行ルート2 ドライブテスト測定結果	
1	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-69
2	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-70
3	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-71
4	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-72
5	429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-73
6	920MHz 帯狭帯域 LoRa®20mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 125kHz	図 4-74

ルート2でのドライブテスト測定結果とエリアシミュレーション結果を同時に作図し、双方の比較を行った。エリアシミュレーションのソフトウェアは、DenpaPro Ver4.1.0.11 アジア航測製を使用し、伝搬モデルは自由空間伝搬を使用している。

なお、エリアシミュレーションについては、帯域幅はシミュレーション結果には影響しないため、帯域幅のみが異なる場合は、同じ結果を作図している。

No	走行ルート2 ドライブテスト測定結果 エリアシミュレーションとの比較	
1	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-75
2	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-76
3	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-77
4	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-78
5	429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-79
6	920MHz 帯狭帯域 LoRa®20mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 125kHz	図 4-80

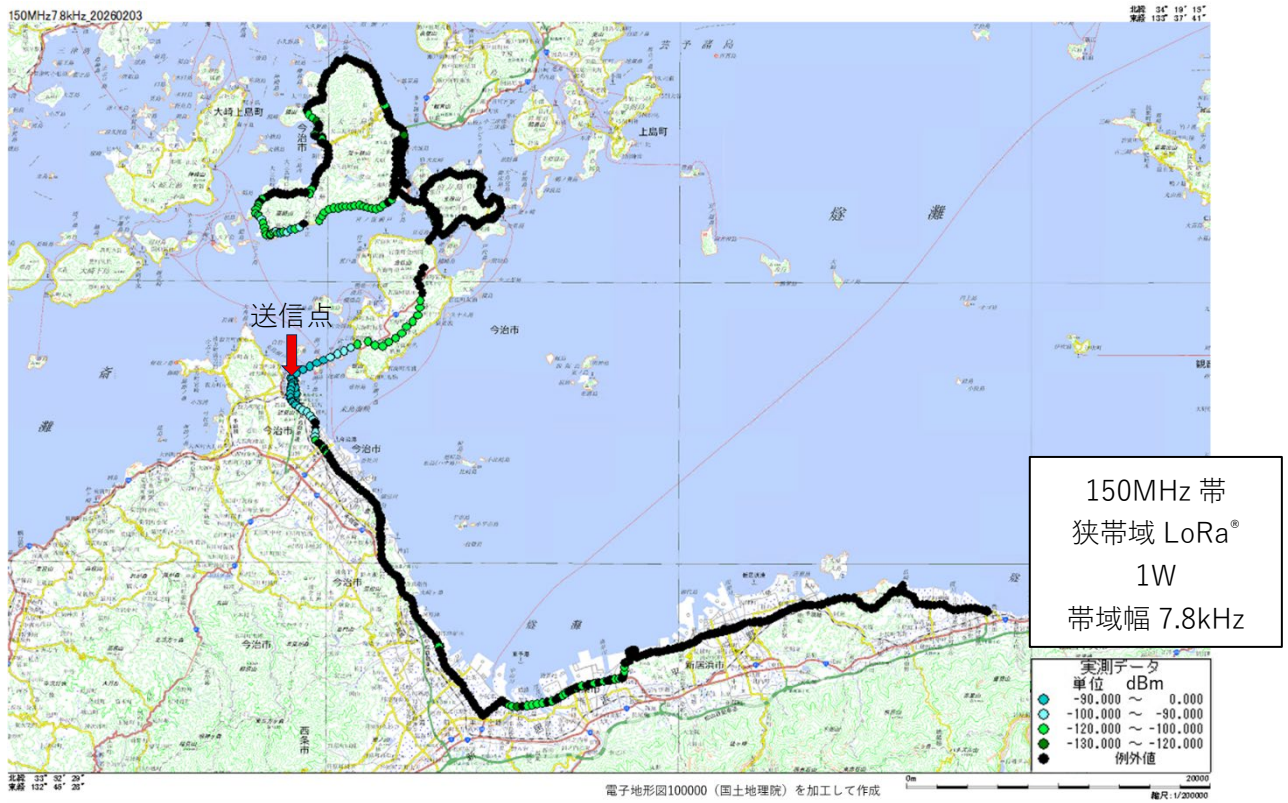


図 4-69 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz

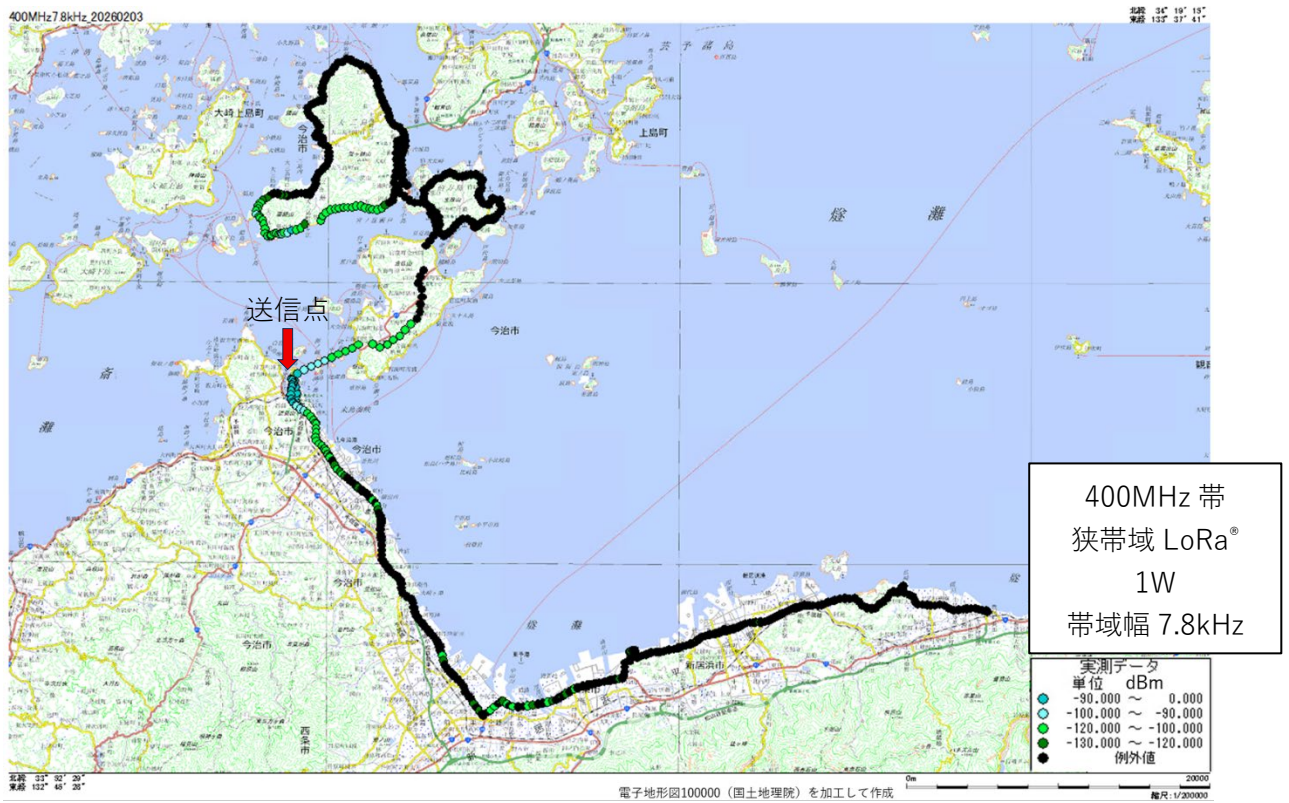


図 4-70 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz

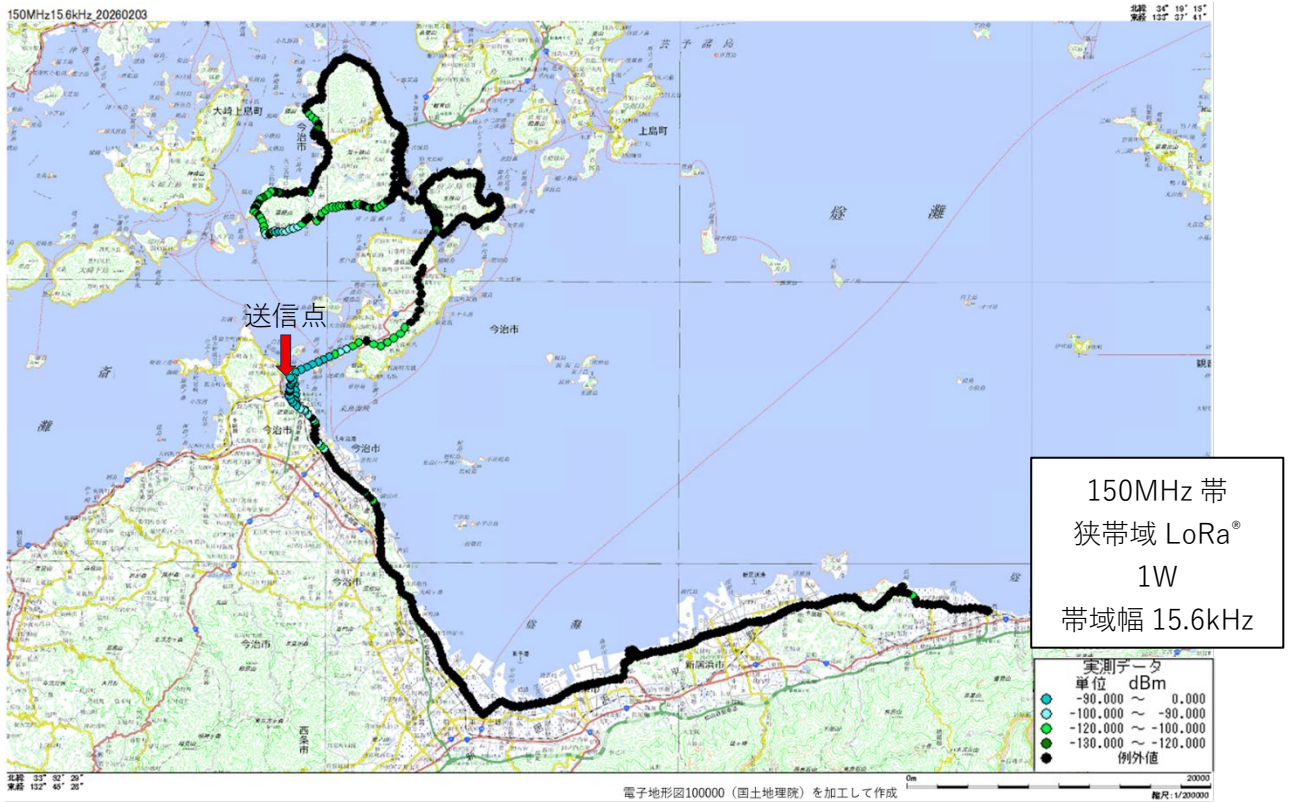


図 4-71 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz



図 4-72 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz

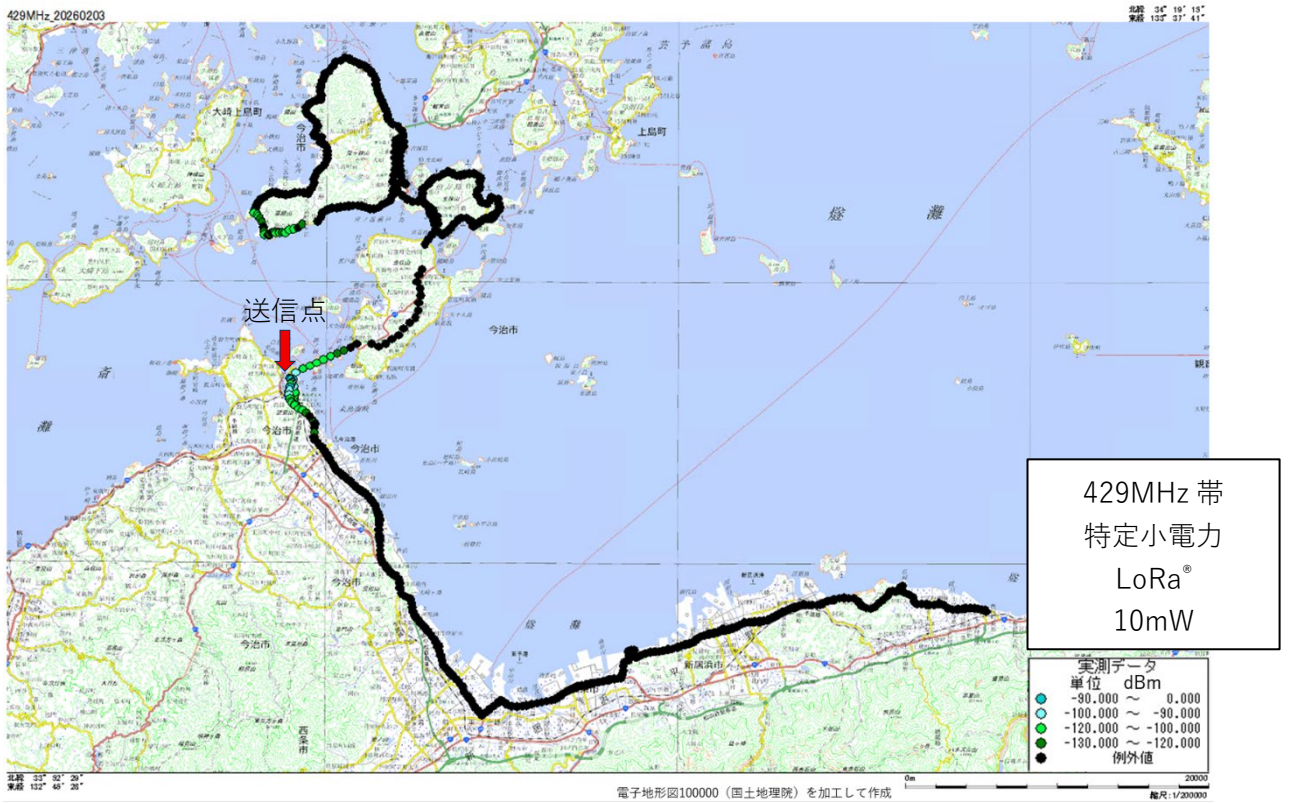


図 4-73 429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz

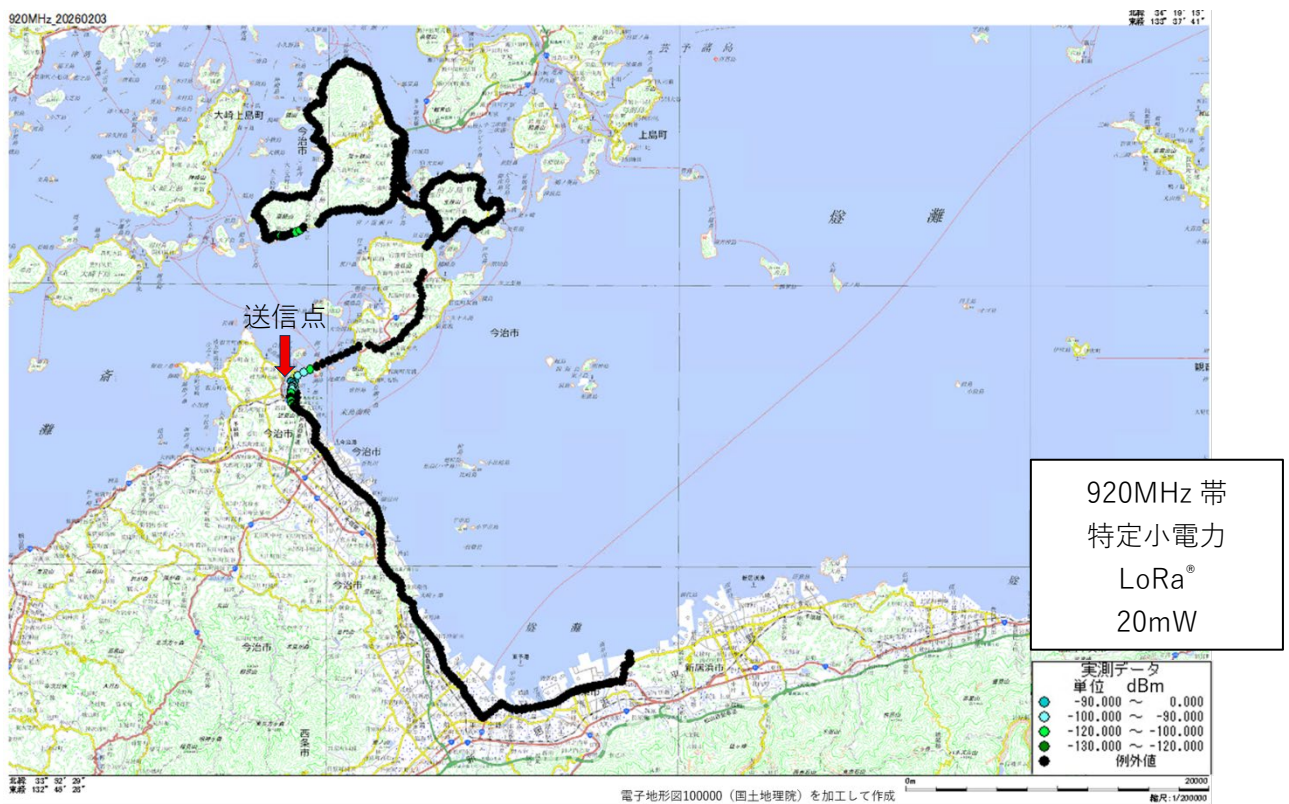


図 4-74 920MHz 帯 LoRa®20mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 125kHz

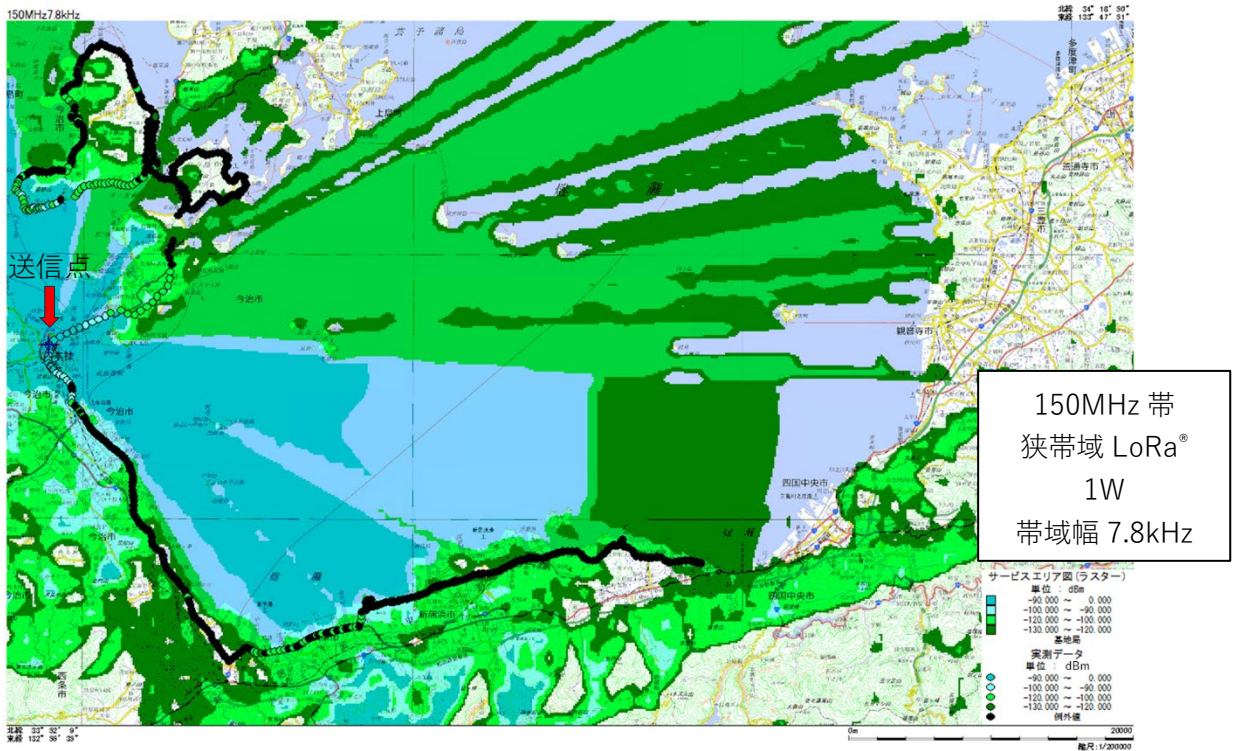


図 4-75 エリアシミュレーションとの比較 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 7.8kHz

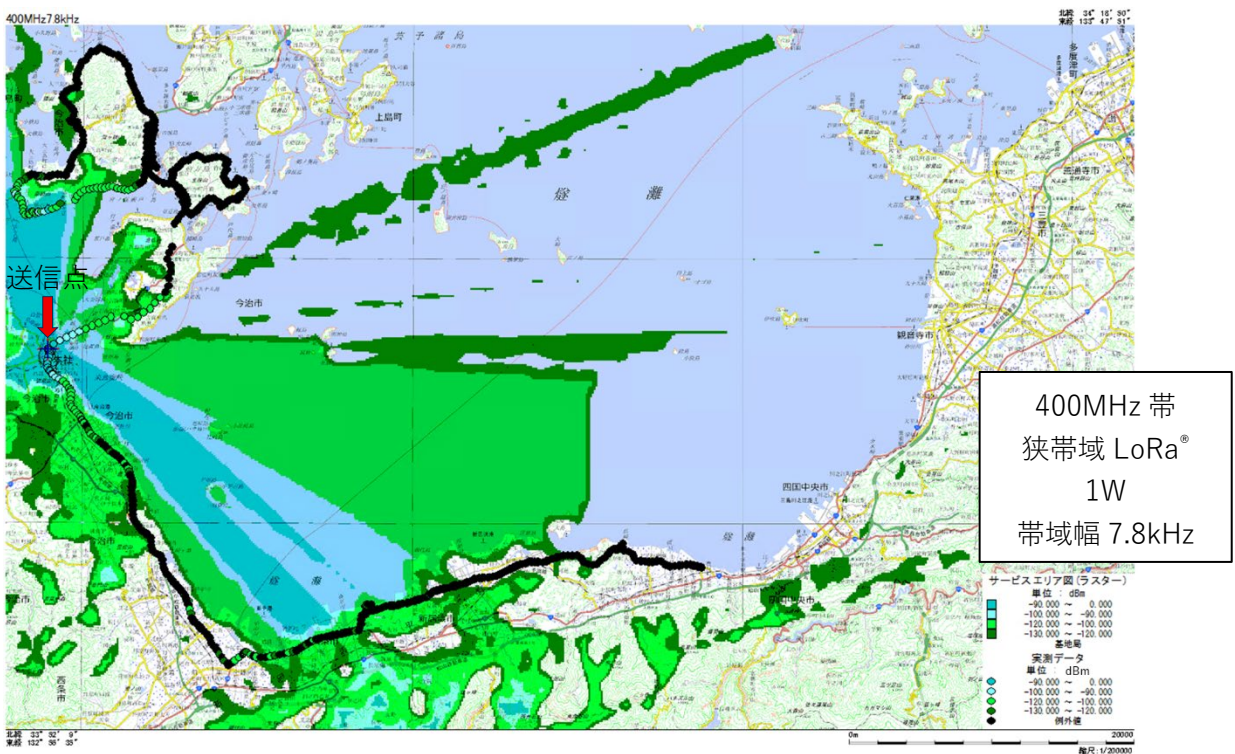


図 4-76 エリアシミュレーションとの比較 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 7.8kHz

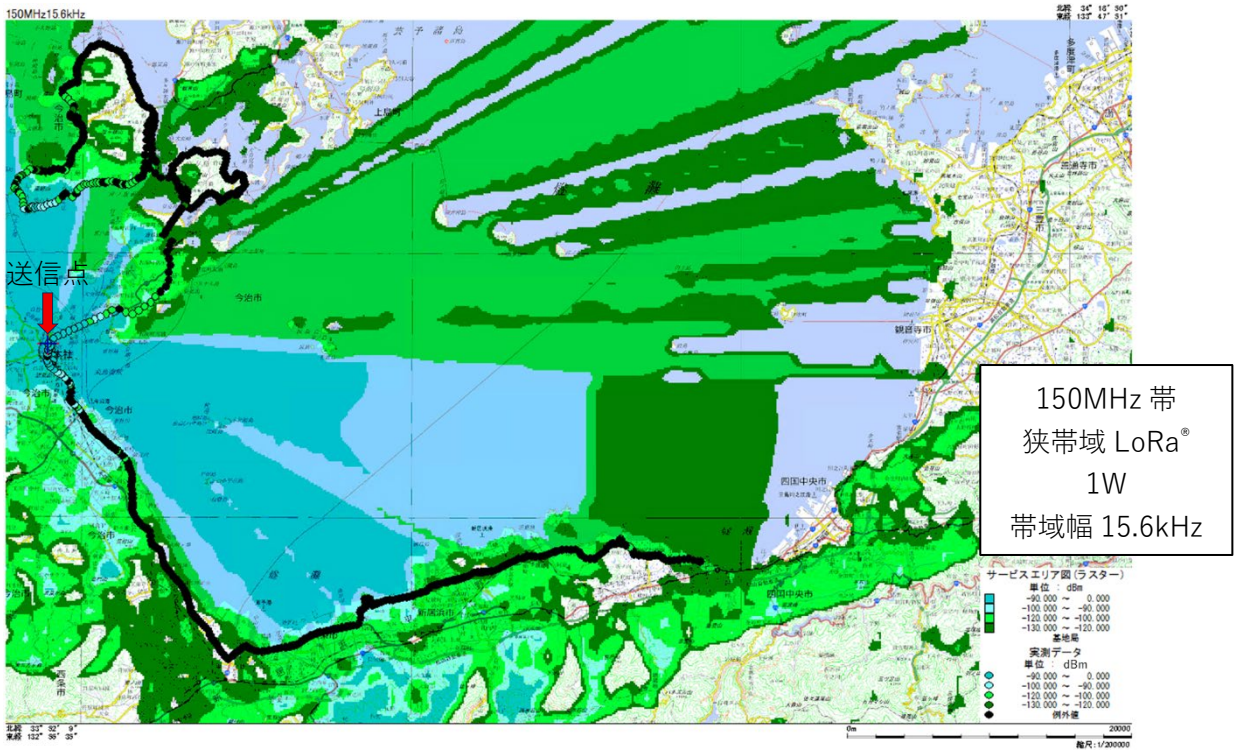


図 4-77 エリアシミュレーションとの比較 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 15.6kHz

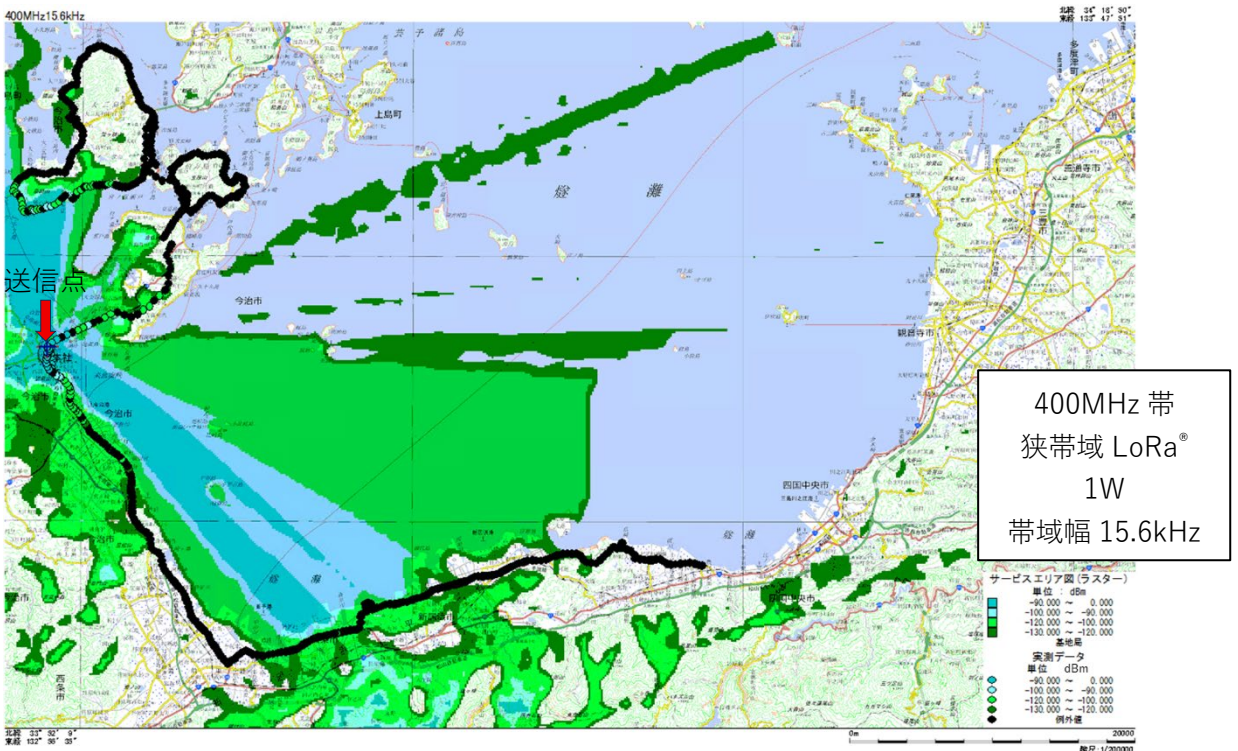


図 4-78 エリアシミュレーションとの比較 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 15.6kHz

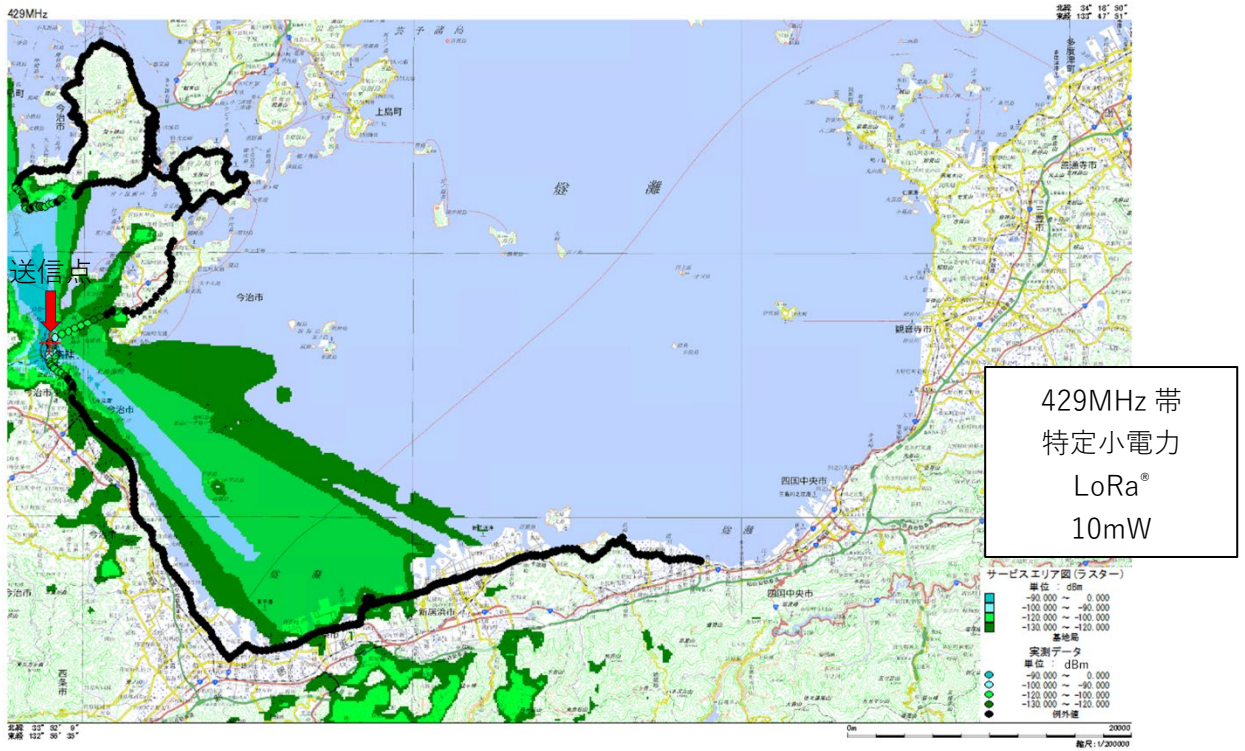


図 4-79 エリアシミュレーションとの比較 429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 帯域幅 7.8kHz

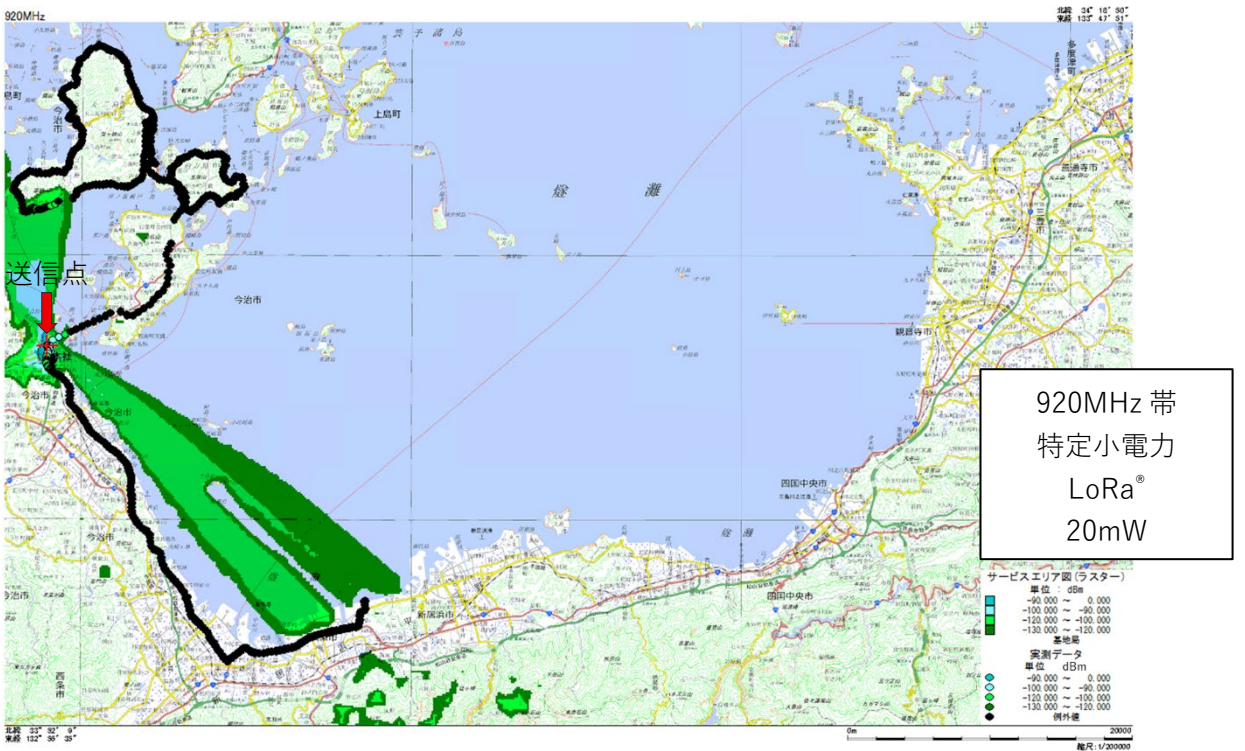


図 4-80 エリアシミュレーションとの比較 920MHz 帯 LoRa®20mW 帯域幅 125kHz

4.4.1.3 走行ルート3（山間部低所送信～山間部低所受信）ドライブテスト

走行ルート3（山間部低所送信～山間部低所受信）において実施したドライブテストでの測定条件を表 4-20 に、測定状況を図 4-81、車両走行ルートを図 4-82 に示す。

表 4-20 走行ルート3 ドライブテスト測定条件

周波数	146.9625MHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz) 146.959375MHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz) 429.2MHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz) 429.2MHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz) 429.7375MHz (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 920.6MHz (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
空中線電力	1W (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1W (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 10mW (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 20mW (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
帯域幅	7.8kHz および 15.6kHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 7.8kHz または 15.6kHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 7.8kHz (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 125kHz (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
LoRa®拡散係数	SF=7
送信アンテナ高	3m
受信アンテナ高	1.5m (車の屋根に設置)
送信アンテナ利得	2dBi (無指向性)
受信アンテナ利得	2dBi
送信ケーブル損失	0.4dB (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 0.7dB (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1.3dB (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 8.5dB (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
受信ケーブル損失	0.7dB (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1.2dB (400MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1.2dB (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 1.7dB (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
偏波面	垂直
送信間隔	10 秒ごと、データ量 6Byte
送信場所	今治市旧玉川町内 (標高 (地表) 193m)
測定項目	受信電力と GPS からの緯度経度情報を合わせて記録する。



今治市旧玉川町内

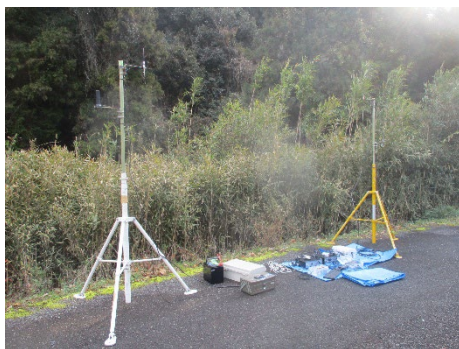


標高（地表）193m

親局（送信側）周辺の風景



周囲の見通しはなし。

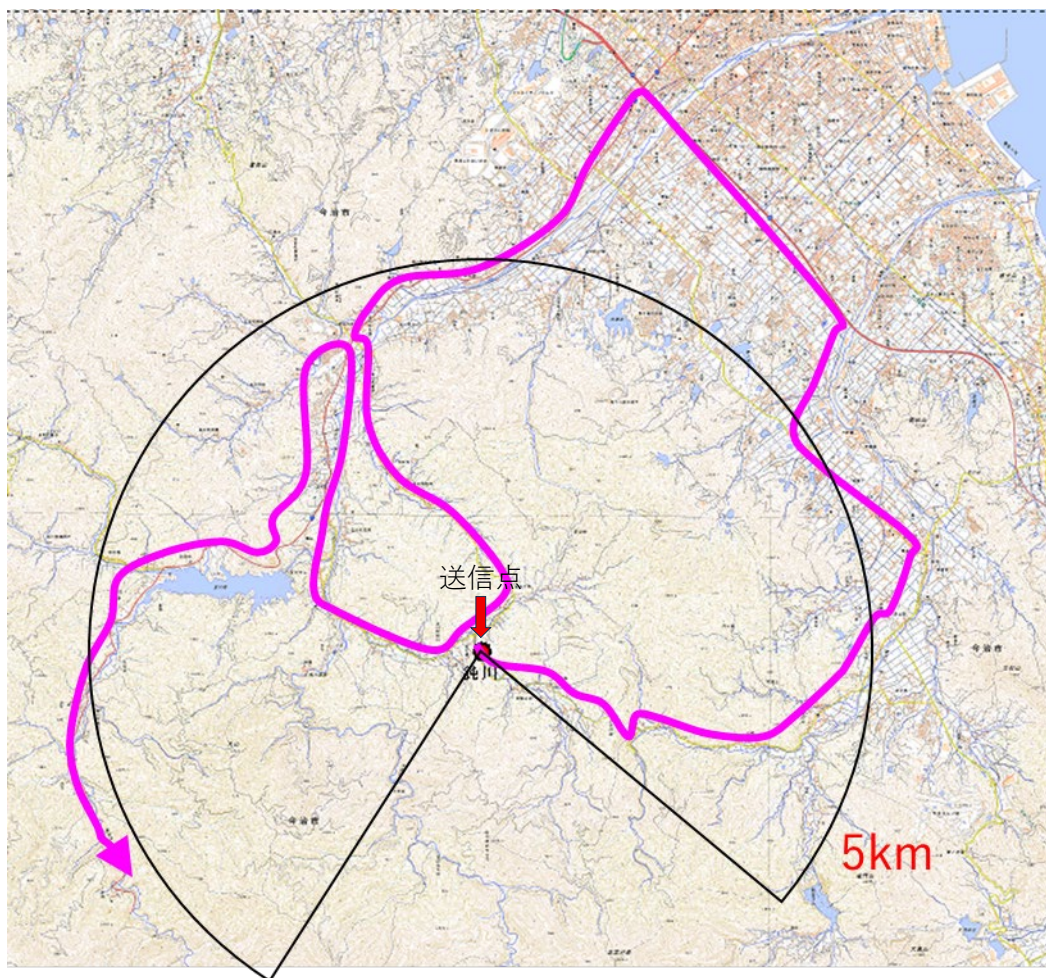


親局
（送信側）



車
（受信側）

図 4-81 走行ルート3 ドライブテスト測定状況



電子地形図25000（国土地理院）を加工して作成

図 4-82 走行ルート 3 ドライブテスト 車両走行ルート

ドライブテスト測定結果を以下に示す。地図上に受信レベルを色分けして表示している。

No	走行ルート3 ドライブテスト測定結果	
1	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-83
2	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-84
3	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-85
4	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-86
5	429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-87
6	920MHz 帯狭帯域 LoRa®20mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 125kHz	図 4-88

ルート3でのドライブテスト測定結果とエリアシミュレーション結果を同時に作図し、双方の比較を行った。エリアシミュレーションのソフトウェアは、DenpaPro Ver4.1.0.11 アジア航測製を使用し、伝搬モデルは自由空間伝搬を使用している。

なお、エリアシミュレーションについては、帯域幅はシミュレーション結果には影響しないため、帯域幅のみが異なる場合は、同じ結果を作図している。

No	走行ルート3 ドライブテスト測定結果 エリアシミュレーションとの比較	
1	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-89
2	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-90
3	150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-91
4	400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz	図 4-92
5	429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz	図 4-93
6	920MHz 帯狭帯域 LoRa®20mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 125kHz	図 4-94

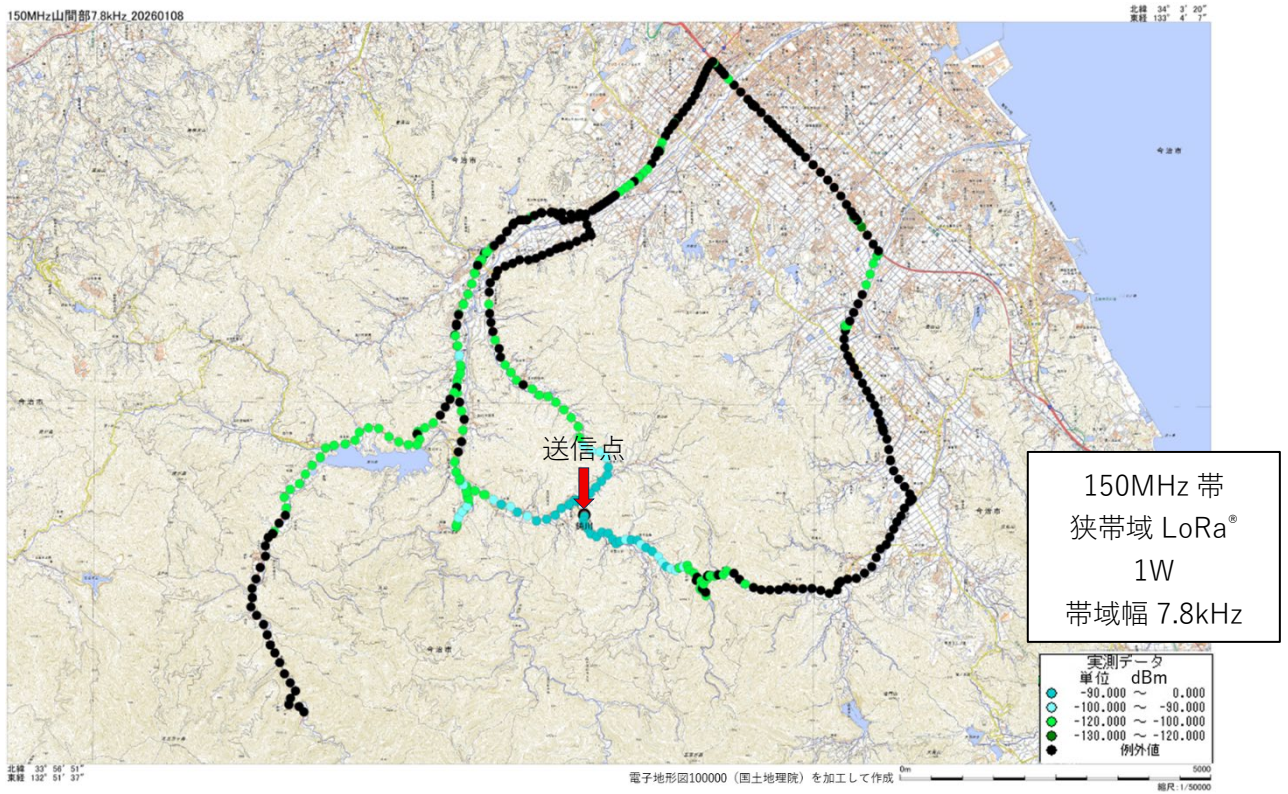


図 4-83 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz

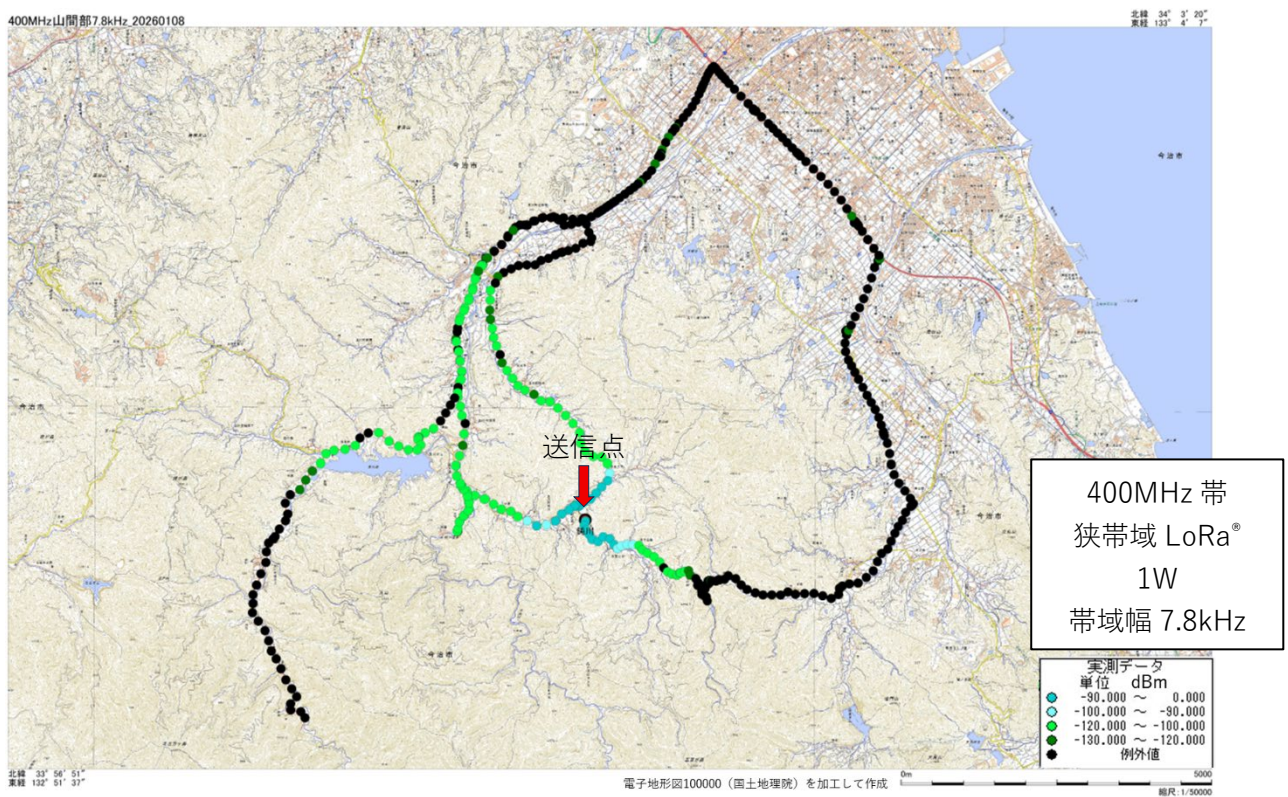


図 4-84 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz

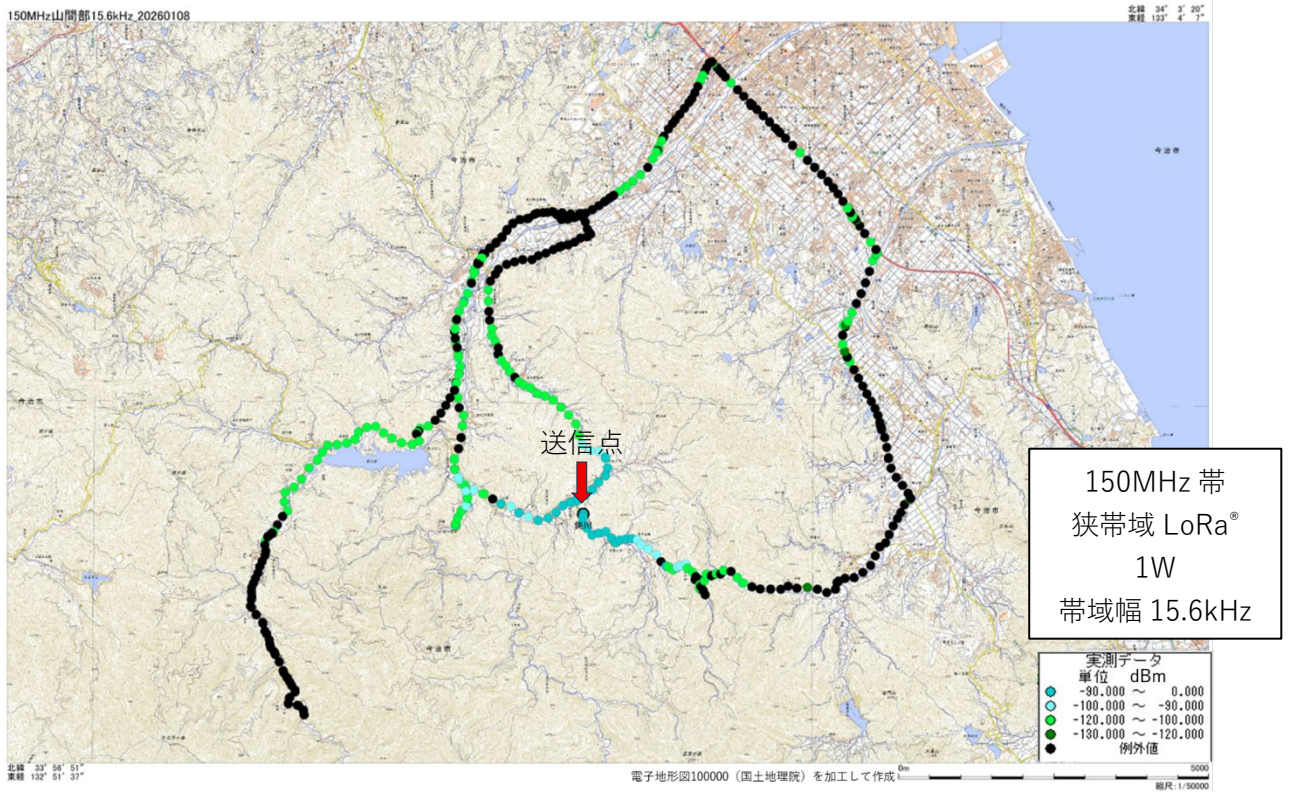


図 4-85 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz

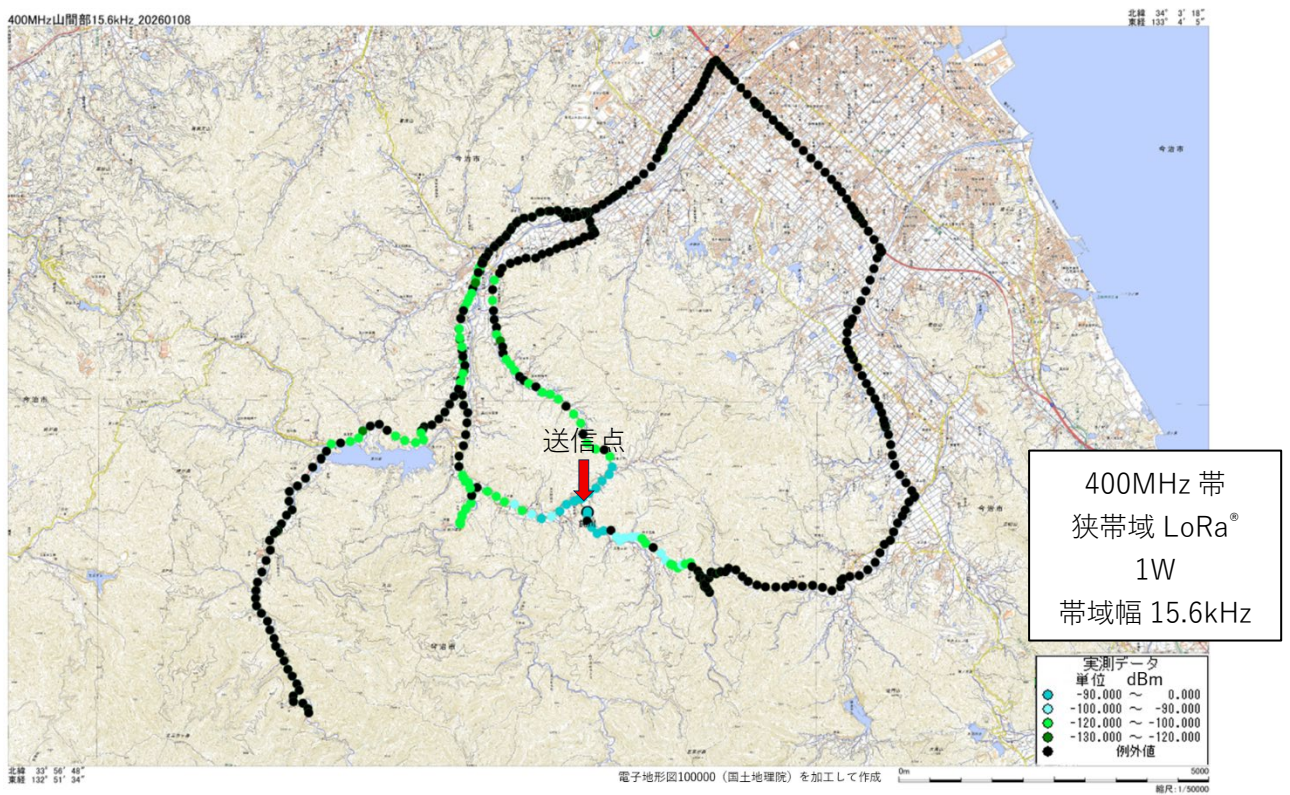


図 4-86 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 拡散係数 SF=7 帯域幅 15.6kHz

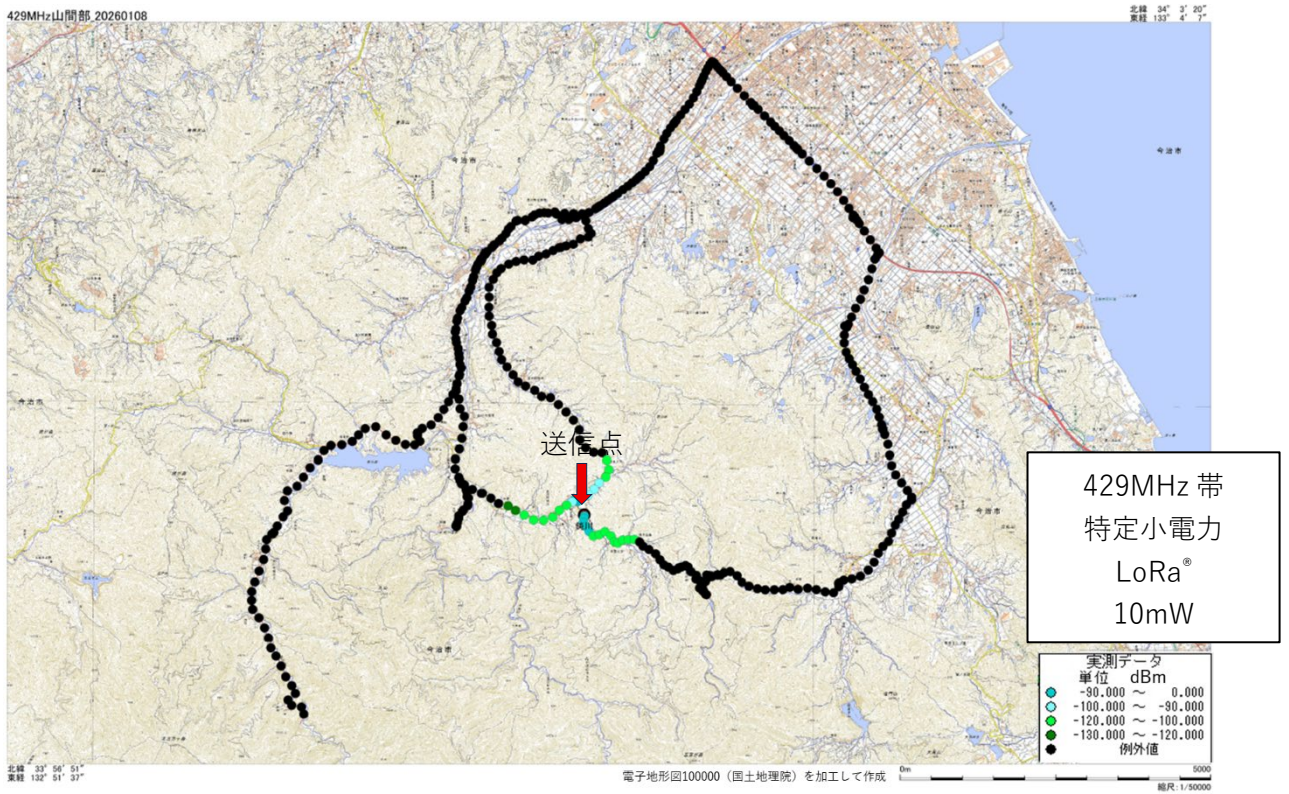


図 4-87 429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 7.8kHz

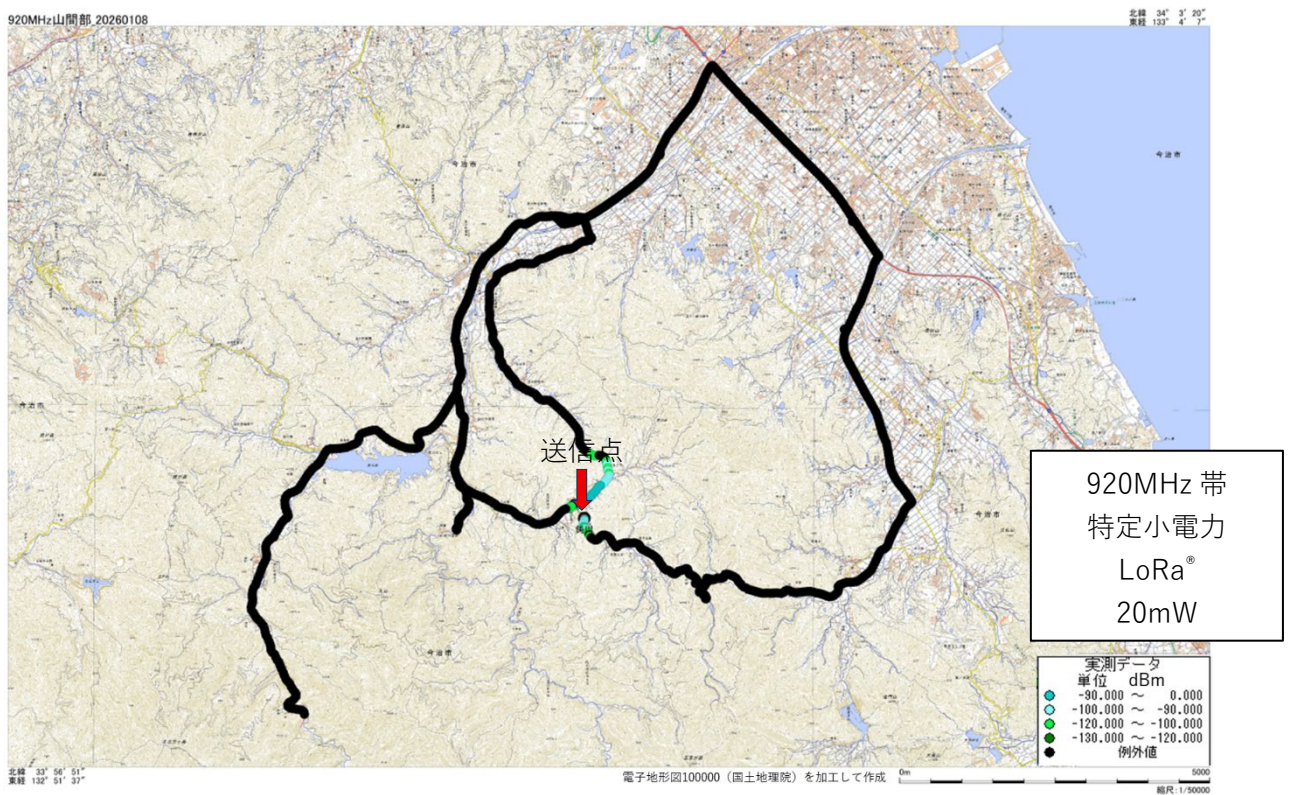


図 4-88 920MHz 帯 LoRa®20mW 拡散係数 SF=7 帯域幅 125kHz

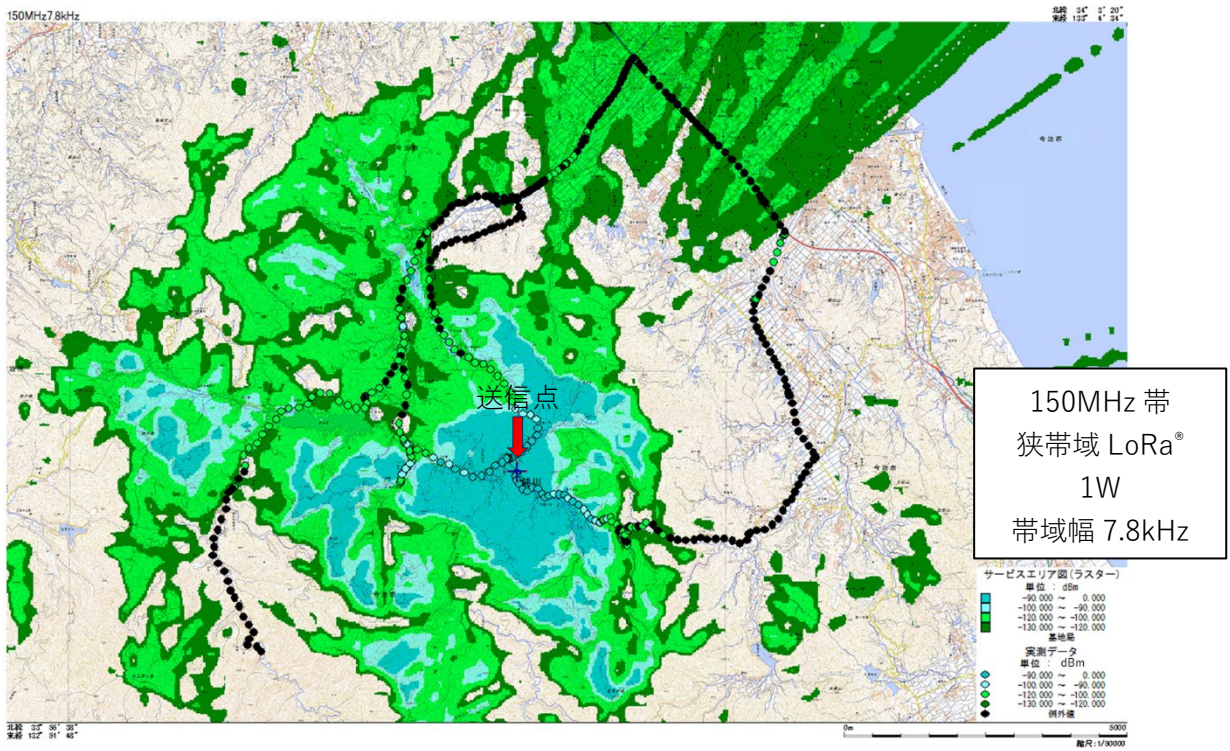


図 4-89 エリアシミュレーションとの比較 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 7.8kHz

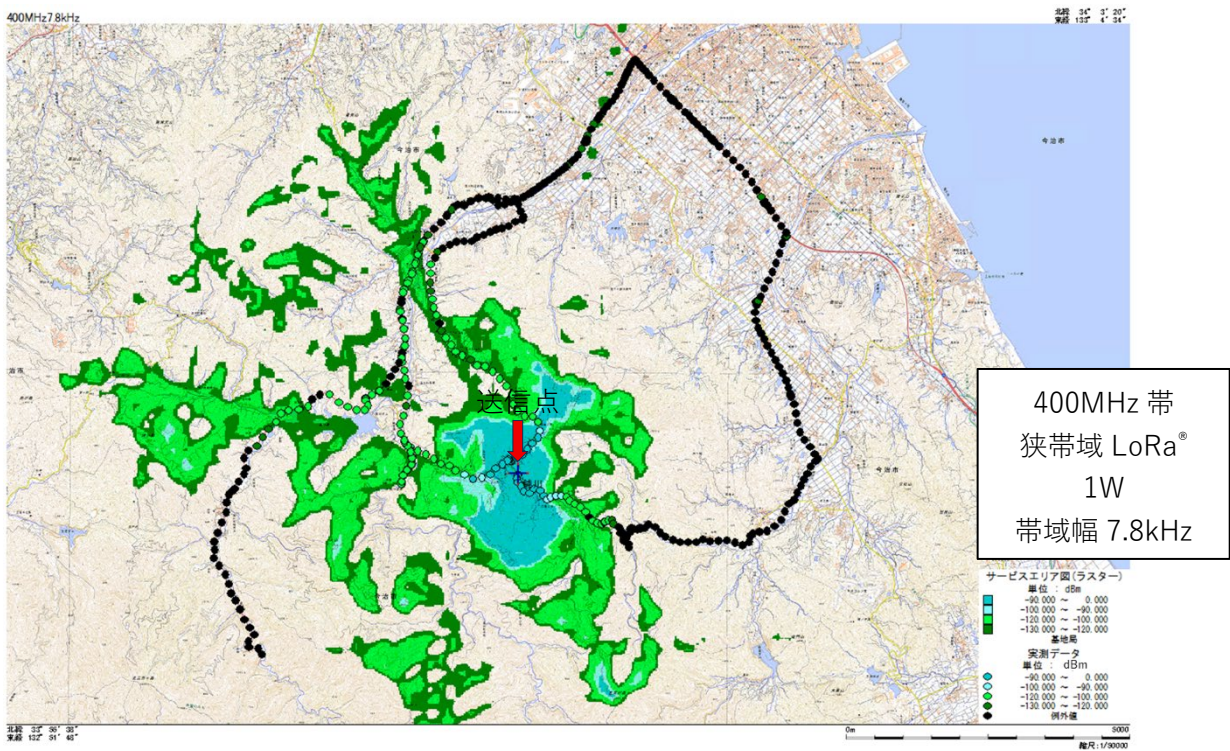


図 4-90 エリアシミュレーションとの比較 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 7.8kHz

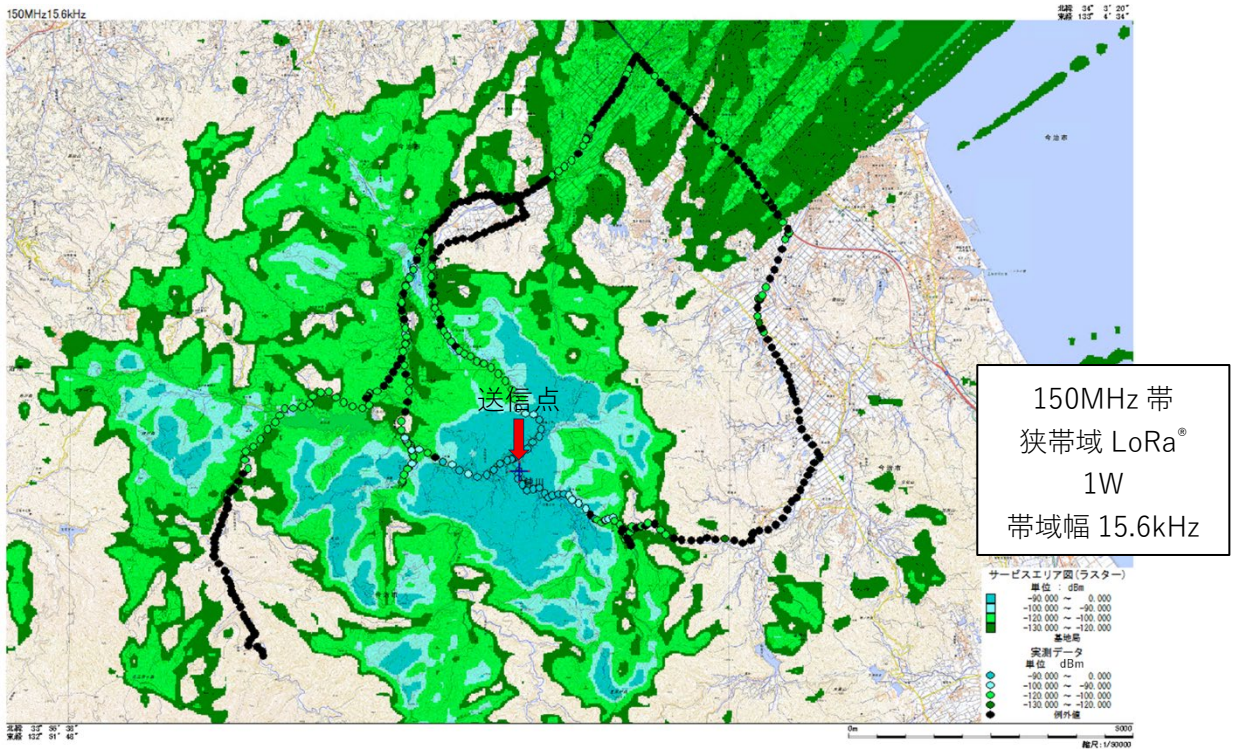


図 4-91 エリアシミュレーションとの比較 150MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 15.6kHz

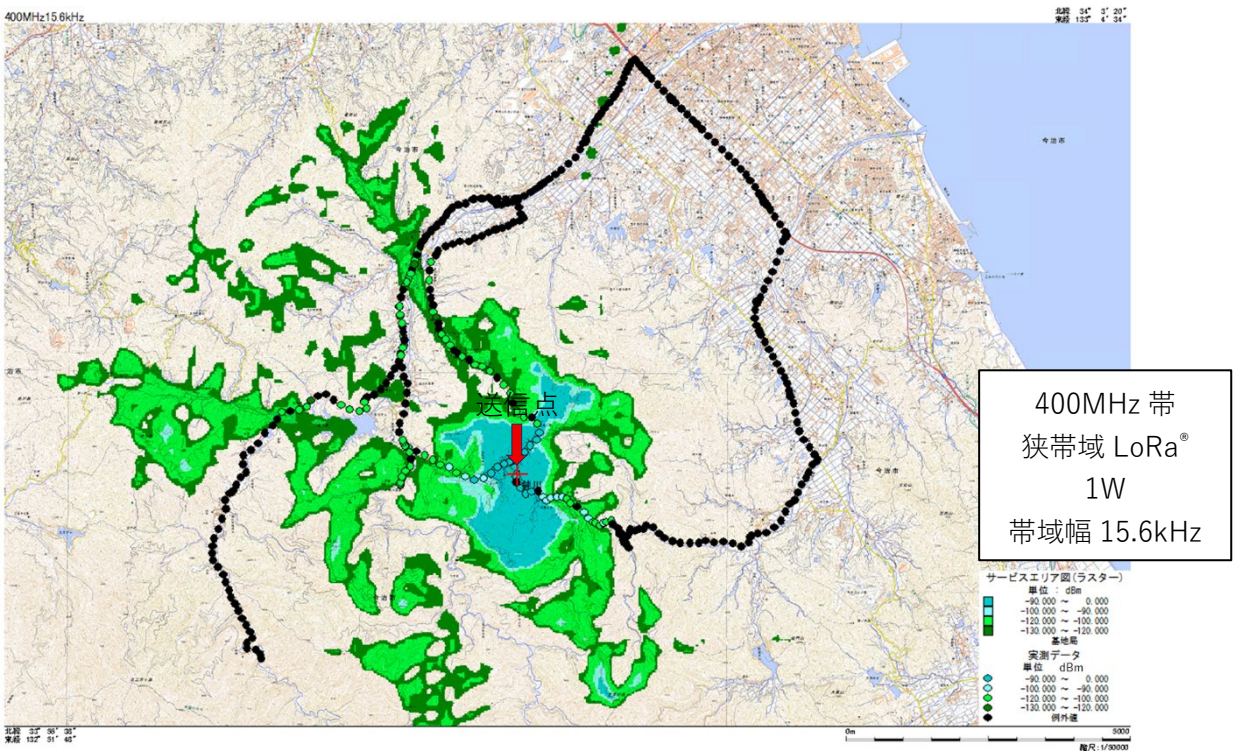


図 4-92 エリアシミュレーションとの比較 400MHz 帯狭帯域 LoRa®1W 帯域幅 15.6kHz

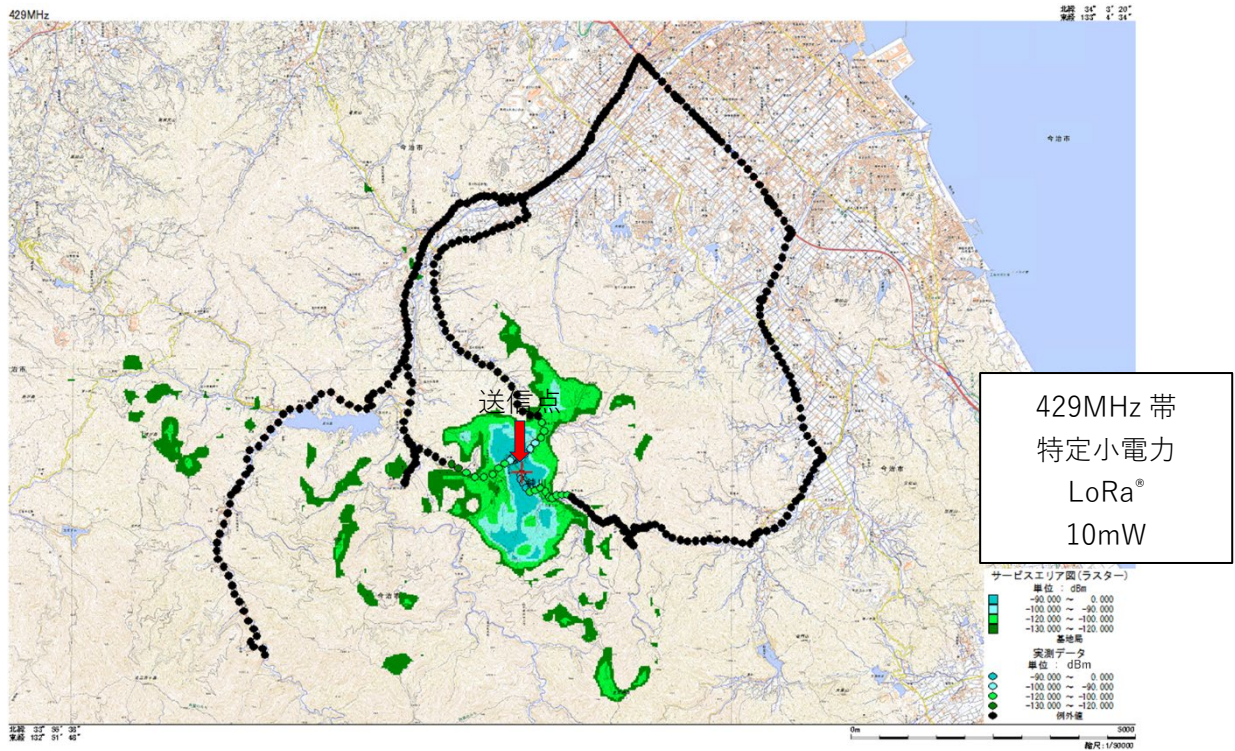


図 4-93 エリアシミュレーションとの比較 429MHz 帯狭帯域 LoRa®10mW 帯域幅 7.8kHz

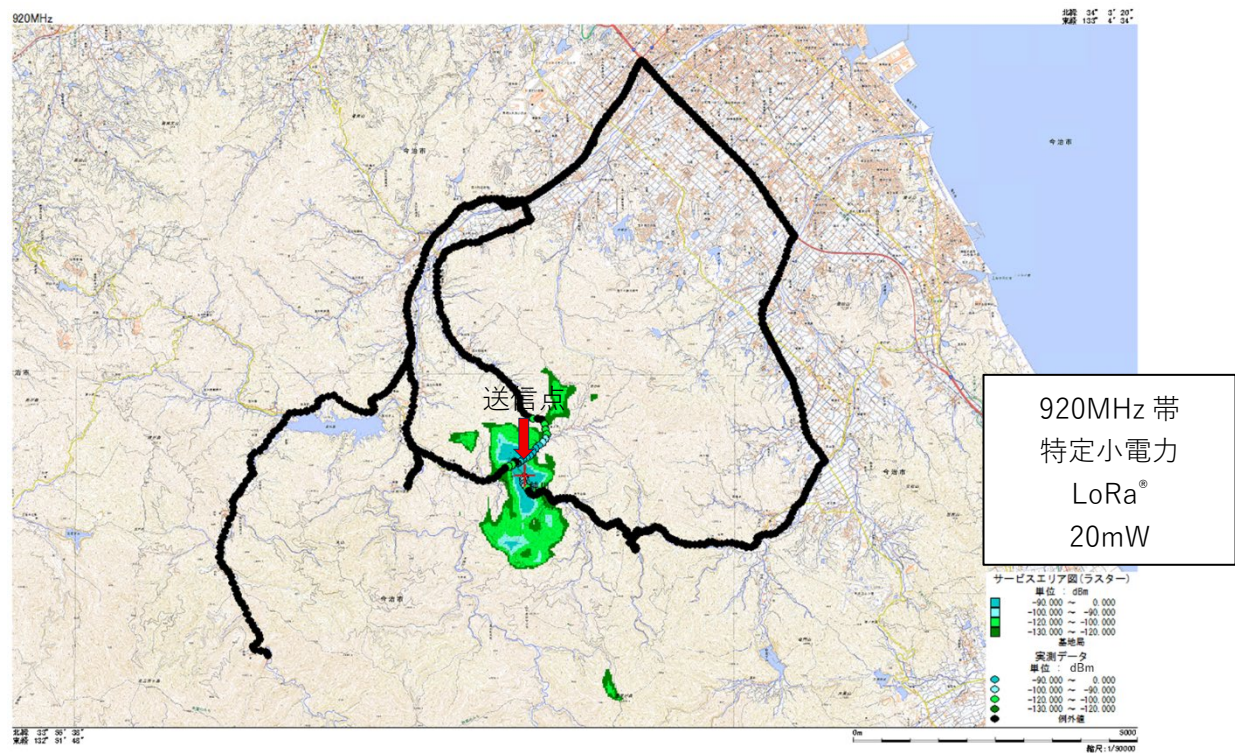


図 4-94 エリアシミュレーションとの比較 920MHz 帯 LoRa®20mW 帯域幅 125kHz

4.4.1.4 ドライブテスト結果の解析

ドライブテスト結果について、地図上に受信レベルをプロットした結果を示したが、周波数ごとや帯域幅ごとの傾向を明らかにするため、結果の解析を行った。解析の対象は、150MHz 帯狭帯域 LoRa®と 400MHz 帯狭帯域 LoRa®としている。

A) 距離と受信電力の関係

走行ルート1の今治から丸亀までの測定結果について、送信位置からの距離と受信電力の関係をグラフにまとめた。この走行ルート（図 4-95）は、比較の見通しが確保しやすい地点が多い。

各測定ポイントの緯度経度から送信点からの直線距離を求めて横軸とし、縦軸を受信レベルとしてプロットしている（図 4-96～図 4-100）。合わせて、自由空間伝搬損失、2波モデル、球面大地回折、および奥村秦式にて計算した受信電力計算値をプロットしている（図 4-97～図 4-98）。計算式の詳細は参考資料 2 に示す。なお、各受信電力計算値については、送信位置からの距離のみで計算しており、途中の山や建物による損失などは考慮されていない。

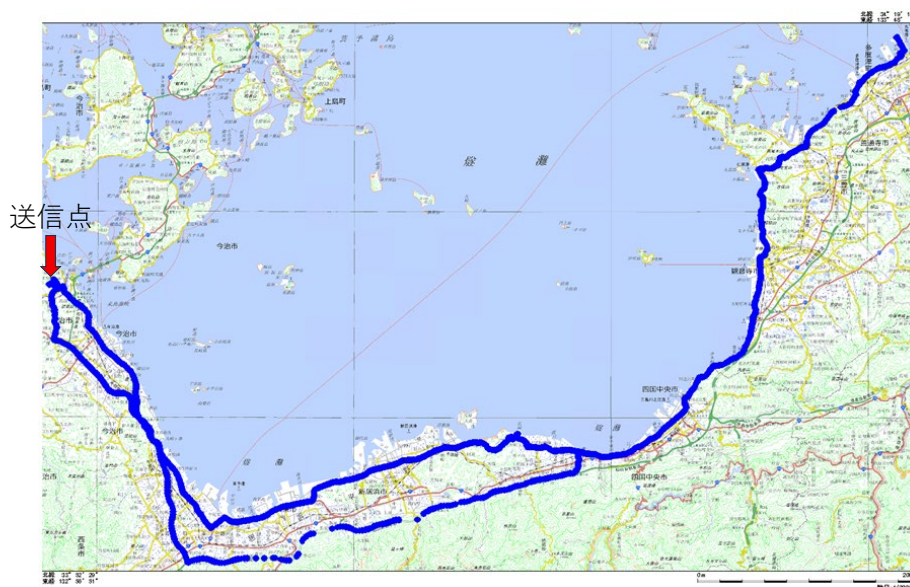


図 4-95 走行ルート1 今治から丸亀

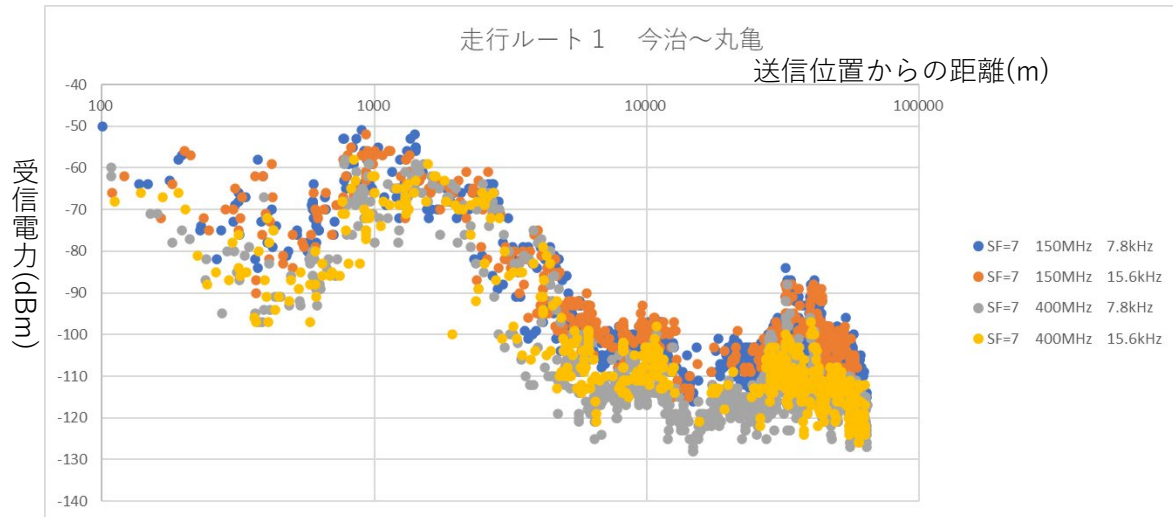


図 4-96 距離と受信電力の関係 (全データ)

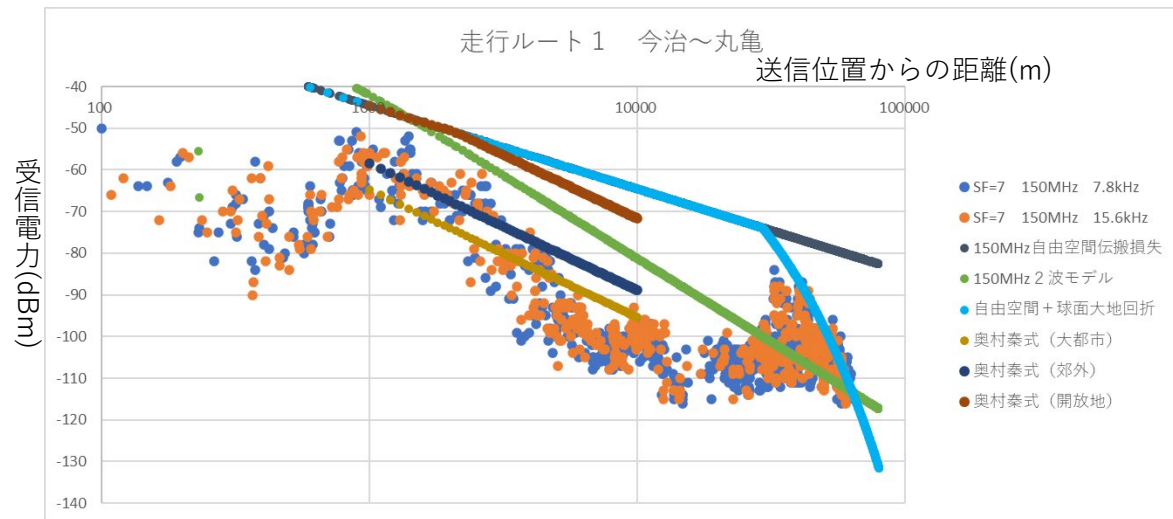


図 4-97 距離と受信電力の関係 (走行ルート1 今治～丸亀 150MHz 帯)

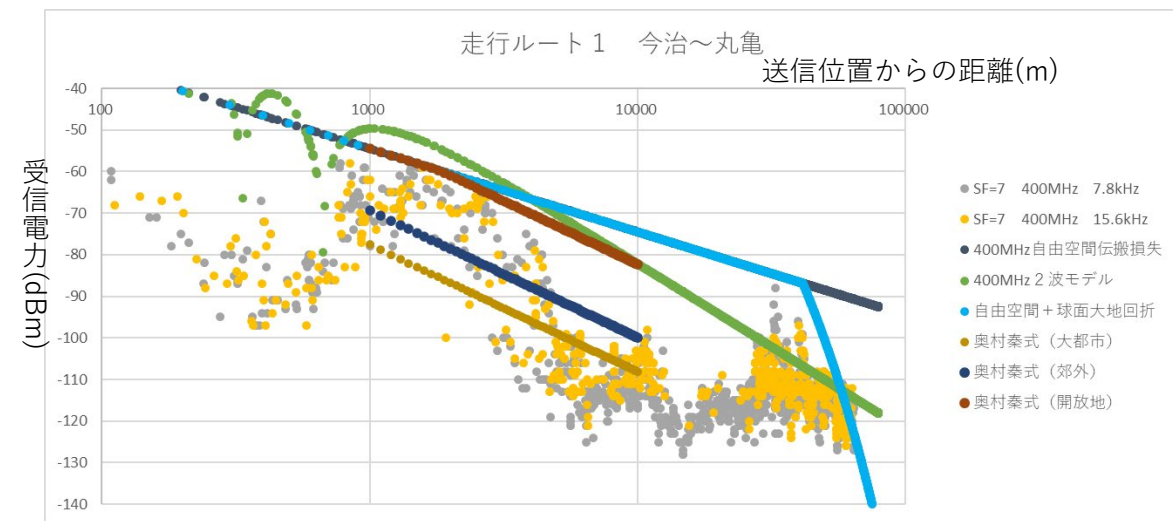


図 4-98 距離と受信電力の関係 (走行ルート1 今治～丸亀 400MHz 帯)

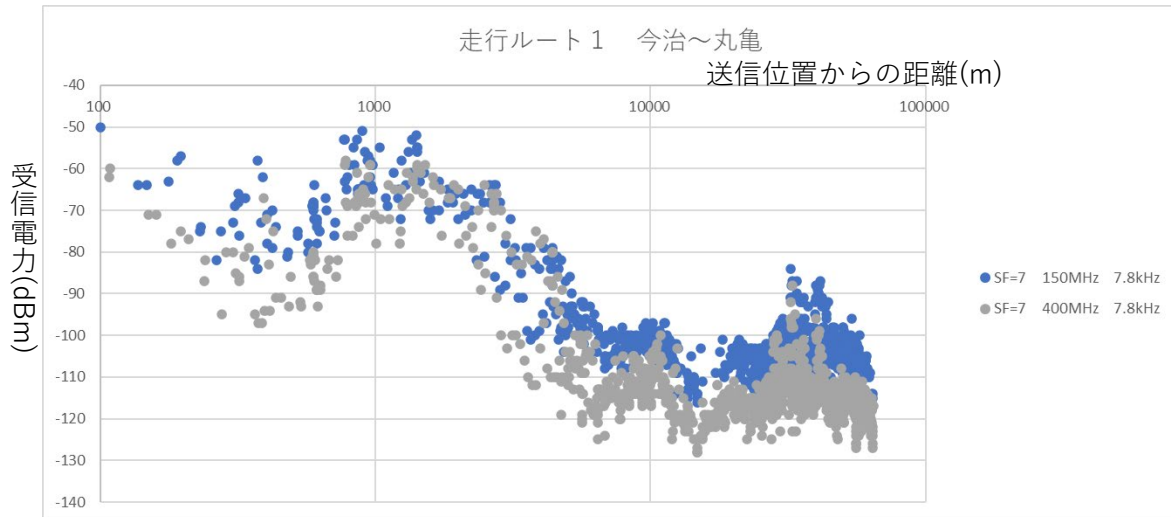


図 4-99 距離と受信電力の関係（帯域幅 7.8kHz、150MHz 帯と 400MHz 帯の比較）

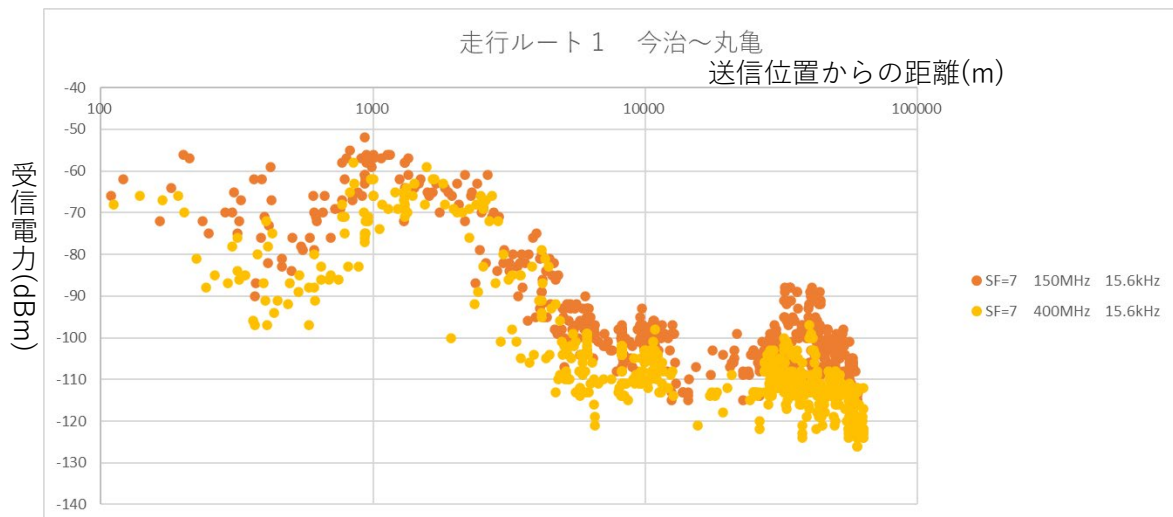


図 4-100 距離と受信電力の関係（帯域幅 15.6kHz、150MHz 帯と 400MHz 帯の比較）

B) 車両速度と受信電力の関係

走行ルート1の今治から丸亀までの測定結果について、受信側の車両速度ごとの受信レベルについてグラフにプロットを行った。各測定ポイントの緯度経度から送信点からの直線距離を求めて横軸とし、縦軸を受信レベルとしてプロットする際に、車両速度ごとに色分けしてプロットしている。各周波数、帯域幅ごとにプロットしている(図 4-101~図 4-104)。

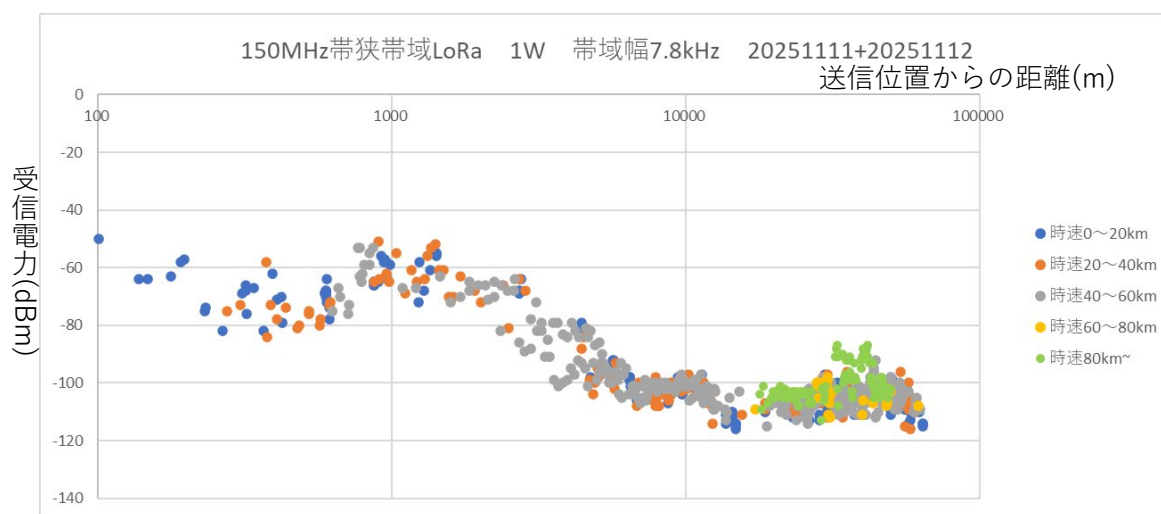


図 4-101 距離と受信電力の関係 (150MHz 帯 LoRa、帯域幅 7.8kHz、速度の比較)

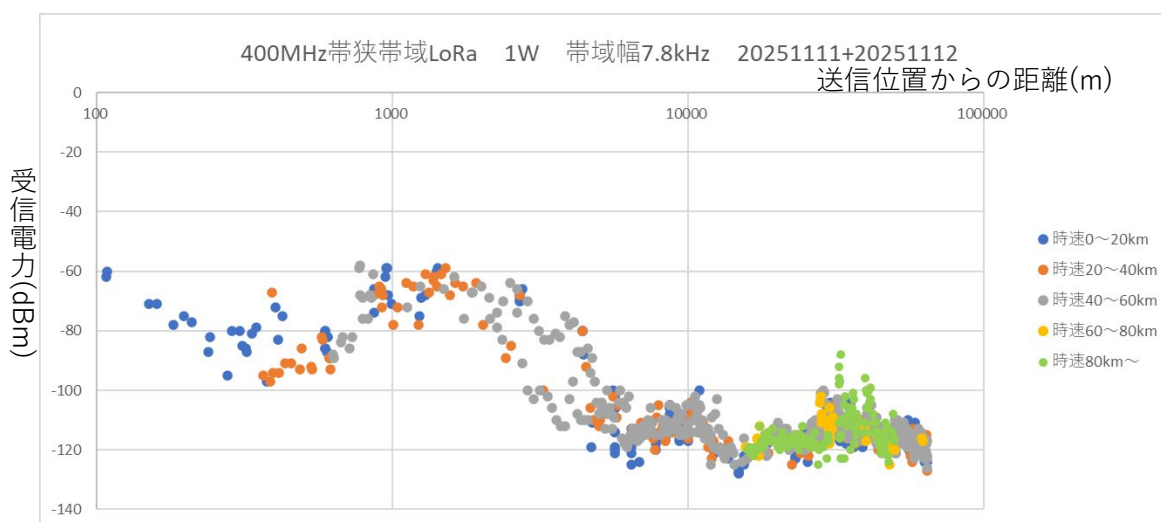


図 4-102 距離と受信電力の関係 (400MHz 帯 LoRa、帯域幅 7.8kHz、速度の比較)

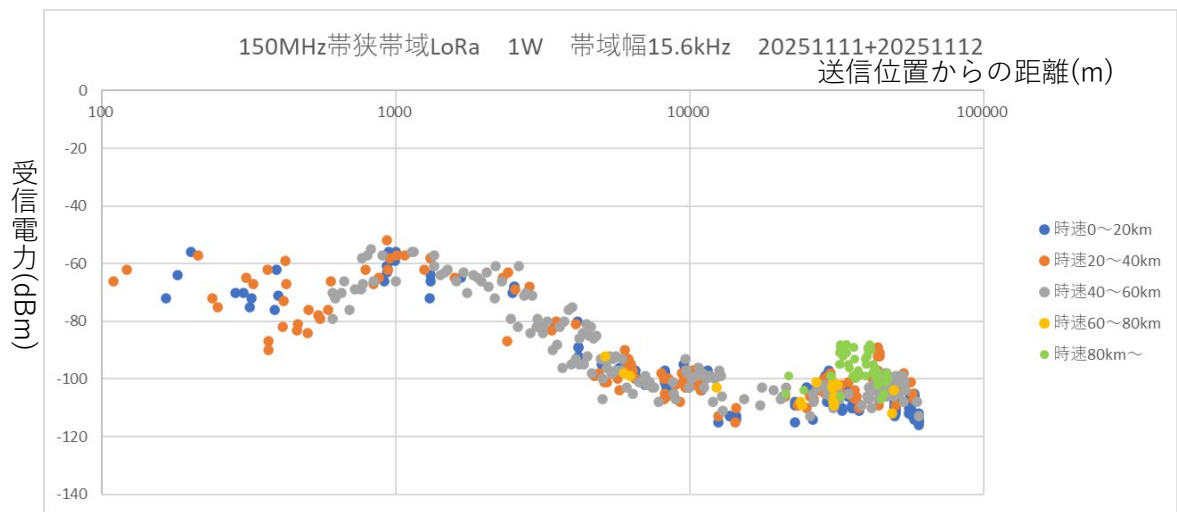


図 4-103 距離と受信電力の関係 (150MHz 帯 LoRa、帯域幅 15.6kHz、速度の比較)

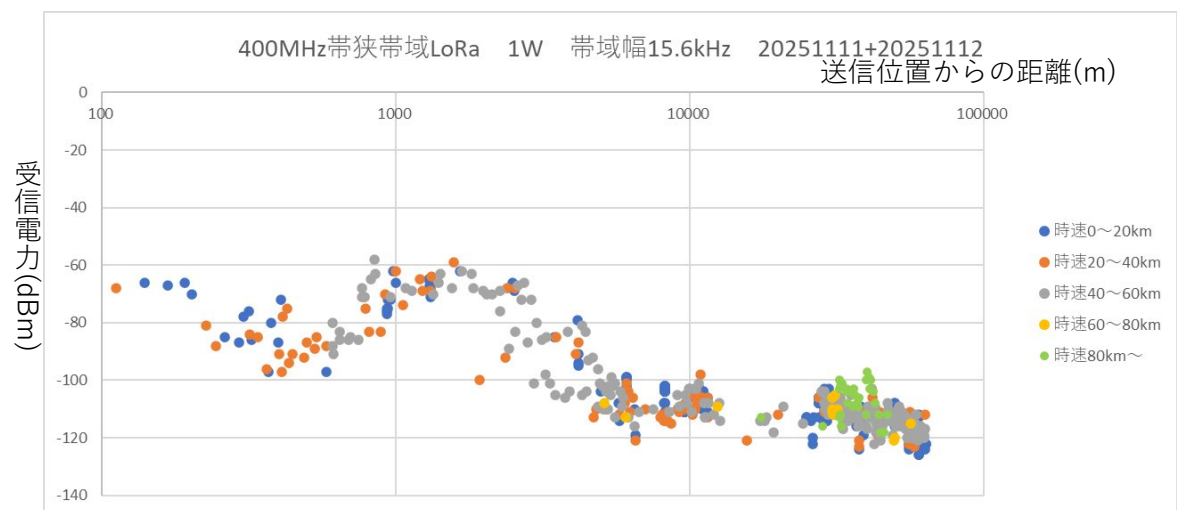


図 4-104 距離と受信電力の関係 (400MHz 帯 LoRa、帯域幅 15.6kHz、速度の比較)

時速 80km 以上は高速道路走行となるが、送信点から離れた場所のみ高速道路走行を行っているため、限られた距離範囲のみプロットされている。

距離と受信電力の関係について、プロットを見る限り、速度が高くなると受信電力が低下するような傾向は見られず、大きな相関はない印象を受ける。なお、時速 80km 以上は受信レベルが高くなっている印象を受けるが、高速道路が、比較的標高が高い見通しのある場所を通っていることも影響していると考えられる。

C) 受信電力の累積相対度数

走行ルート1、2、3それぞれの測定結果について、受信レベルごとの度数（各受信レベルを測定した回数）について、累積相対度数をグラフへプロットを行った。横軸を受信レベルとし、縦軸を累積相対度数としてプロットしている。各走行ルートにおいて、図 4-105～図 4-107 に示す範囲をプロットしている。なお、電波を復調できず、受信レベルを測定できなかった回数も含んでいるため、以下に示すグラフにおいて累積相対度は最終的に 1.0 にはなっていない（図 4-108～図 4-112）。

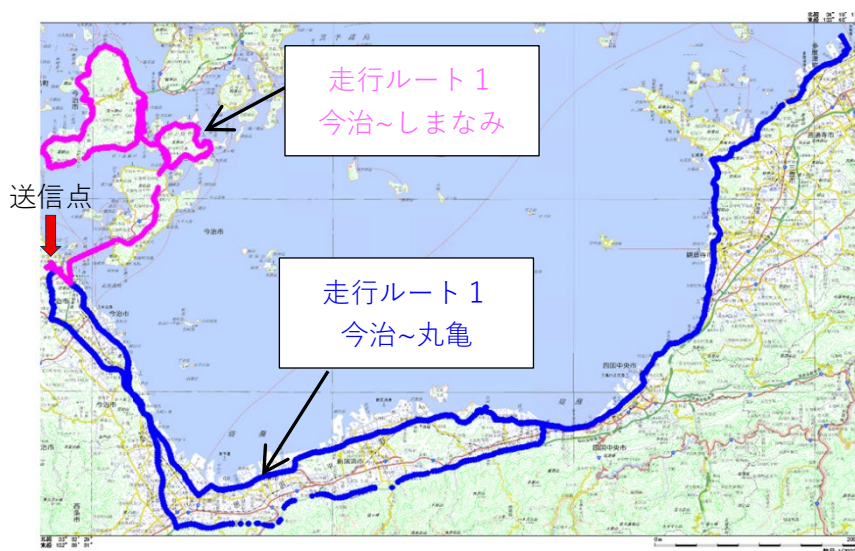


図 4-105 走行ルート1 プロット範囲



図 4-106 走行ルート2 プロット範囲



図 4-107 走行ルート3 プロット範囲

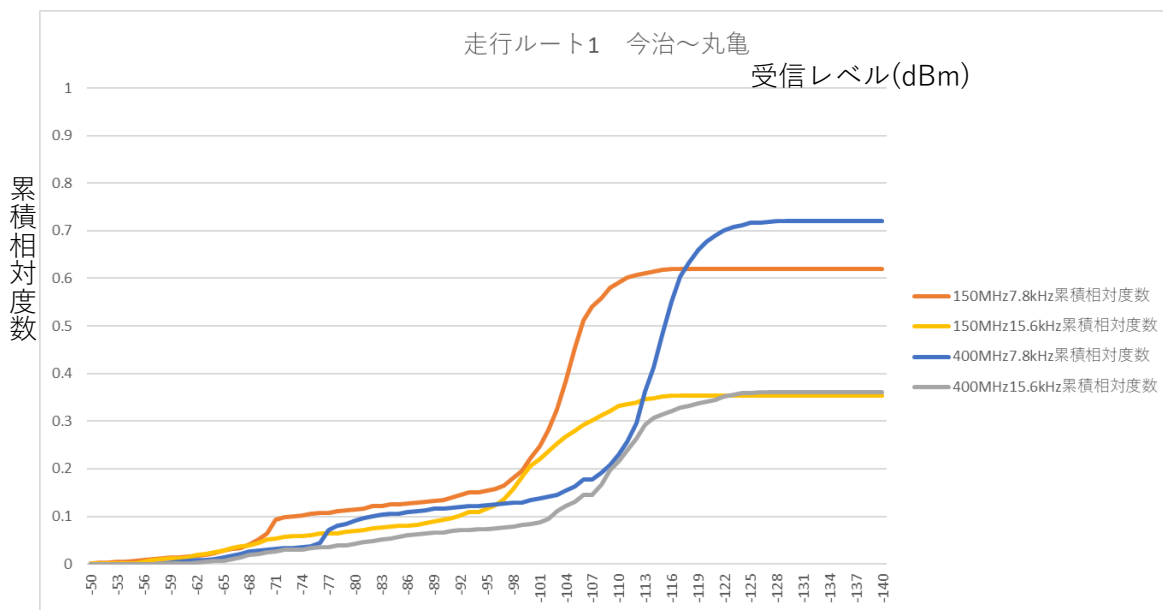


図 4-108 距離と受信電力 累積相対度数 走行ルート1 今治～丸亀

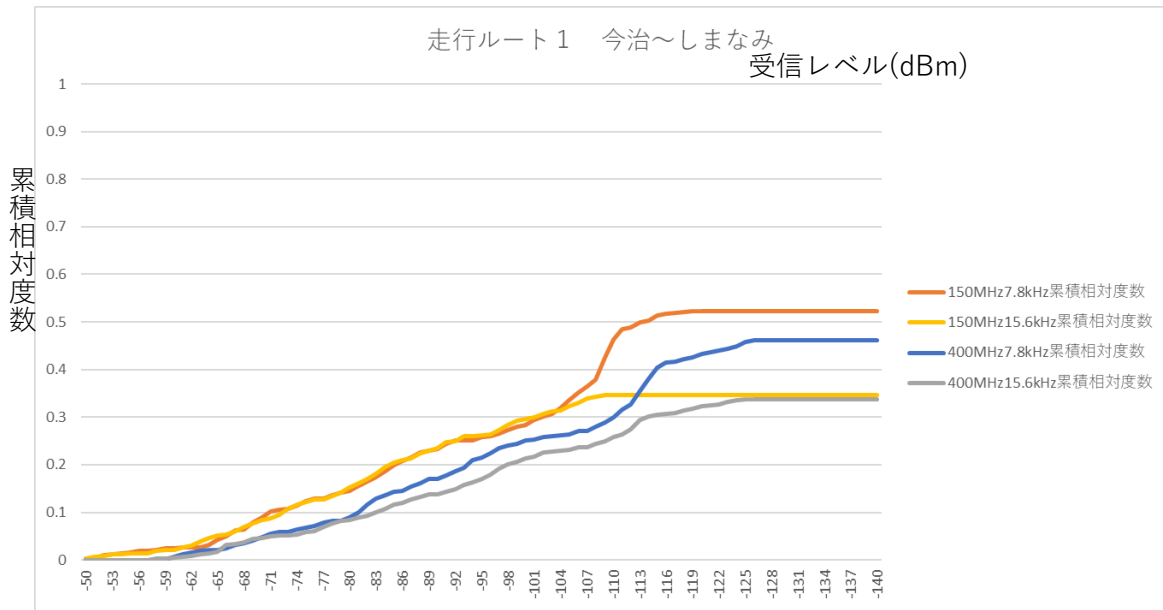


図 4-109 距離と受信電力 累積相対度数 走行ルート1 今治～しまなみ

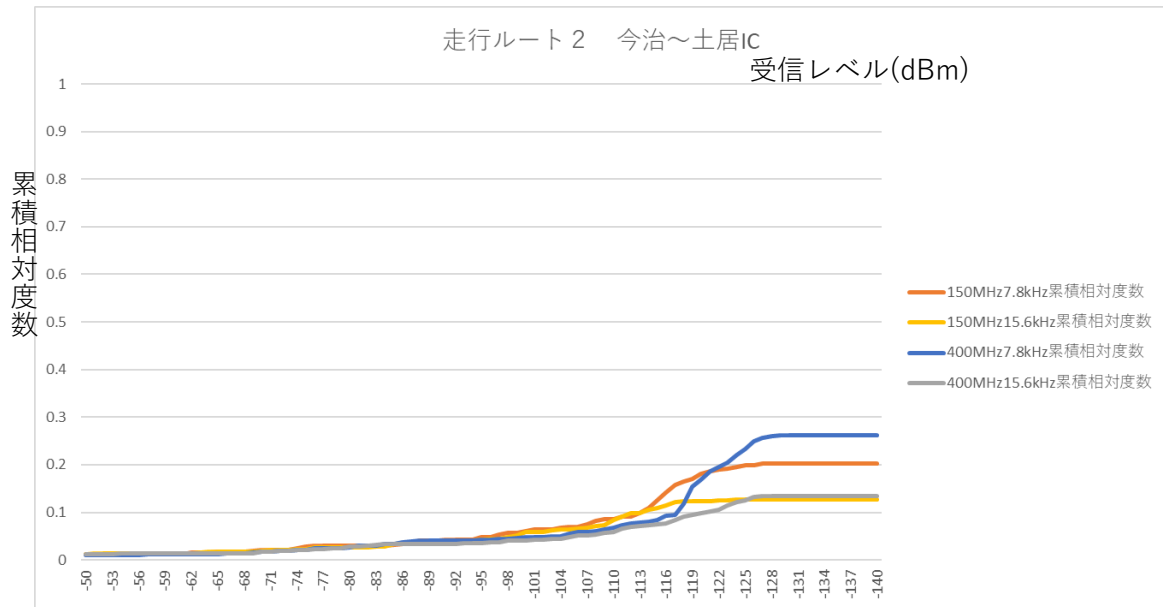


図 4-110 距離と受信電力 累積相対度数 走行ルート2 今治～土居IC

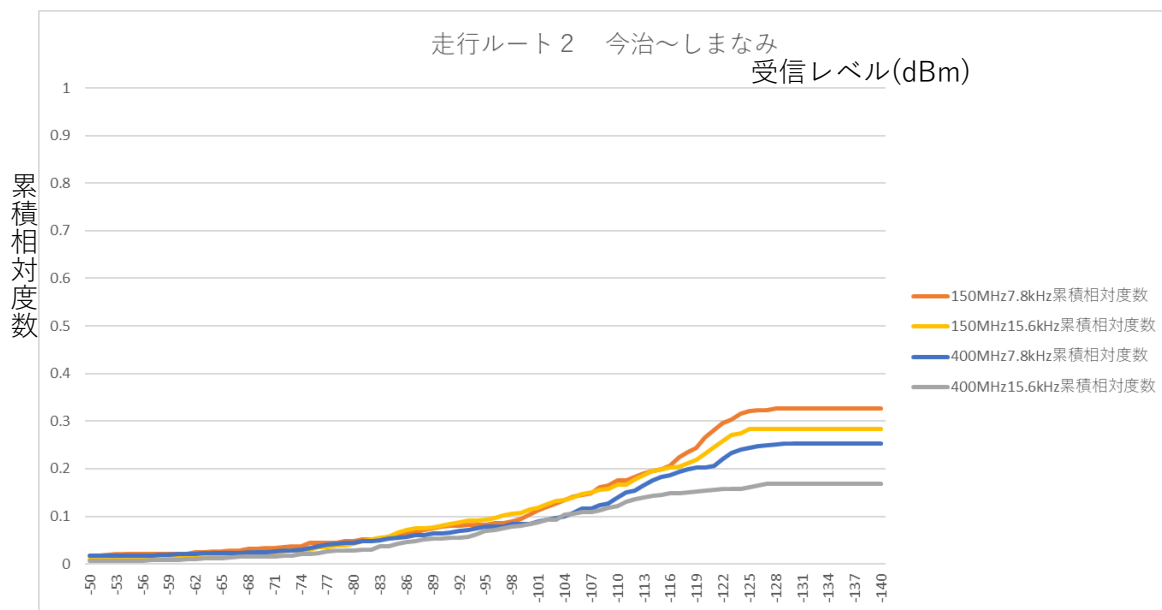


図 4-111 距離と受信電力 累積相対度数 走行ルート2 今治～しまなみ

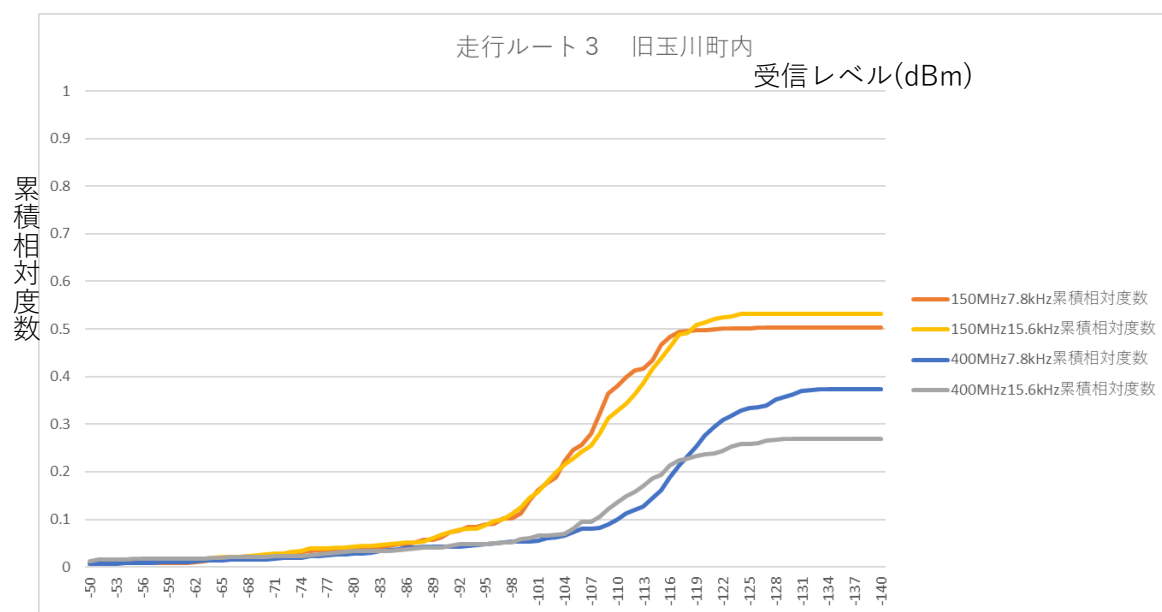


図 4-112 距離と受信電力 累積相対度数 走行ルート3 旧玉川町内

4.4.2 環境ノイズ測定

通信を行う際、周囲の環境ノイズによって、受信感度低下が発生する（図 4-113）。都市部ではノイズレベルが高く、周波数が低くなると、ノイズレベルが高くなるとされる（表 4-21）。

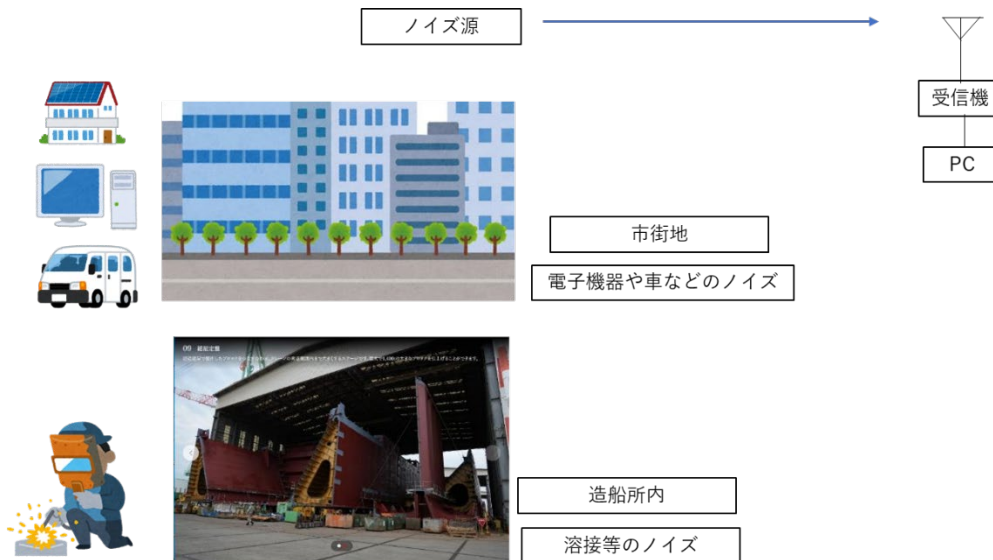


図 4-113 ノイズの発生

表 4-21 人工ノイズレベルの測定例

TABLE 3

Outdoor man-made noise measurements in Europe

Frequency (MHz)	Median noise figure F_a (dB rel kT_0b)			Upper decile deviation			Lower decile deviation		
	City	Residential	Rural	City	Residential	Rural	City	Residential	Rural
35	23	17	16	7	5	1	1.5	2	2
140	12	8	6	4	2	2	3	3.5	2
210	16	8	5	1	2	1	2	1	2
270	6	4	4	2	2	1	2	1	1
425	6	4	3	1	2	1	1	1	1

ITU-R P.372-9 Radio noise

都市部において、140MHz のノイズレベルは 425MHz と比べて 6dB 高い。

今回、ドライブテストで走行したルートについて、車両を走行しながら、搭載した無線機でノイズレベルを測定しながら、同時に GPS からの緯度経度情報を記録することで、各地点の環境ノイズレベルの測定を実施した（図 4-114）。なお、ノイズ測定の実施はドライブ

テスト実施日とは別の日に実施している。測定条件を表 4-22 に、測定状況を図 4-115 に示す。車両走行ルートは、図 4-54 に示すルート 1 と、図 4-82 に示すルート 3 にて実施している。測定結果を図 4-116～図 4-121 に示す。

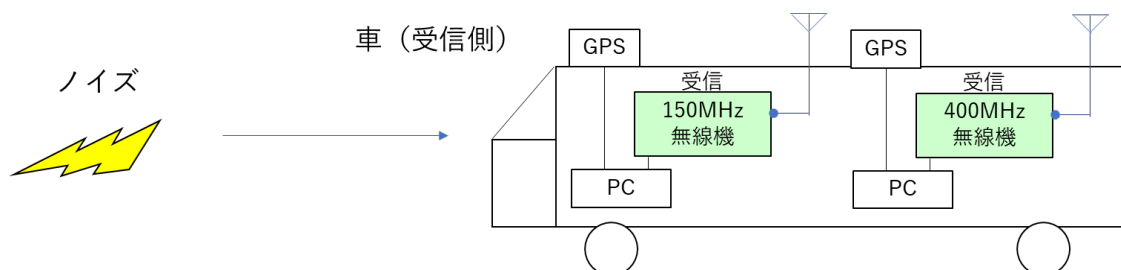


図 4-114 ノイズ測定概要

表 4-22 ノイズ測定 測定条件

周波数	146.94375MHz (150MHz 帯) 414.8125MHz (400MHz 帯)
帯域幅	7.8kHz (150MHz 帯) 7.8kHz (400MHz 帯)
受信アンテナ高	1.5m (車の屋根に設置)
受信アンテナ利得	2dBi
受信ケーブル損失	0.7dB (150MHz 帯) 1.2dB (400MHz 帯)
偏波面	垂直
測定間隔	5 秒ごと
測定項目	ノイズレベルと GPS からの緯度経度情報を合わせて記録する。



図 4-115 ノイズ測定 実施状況

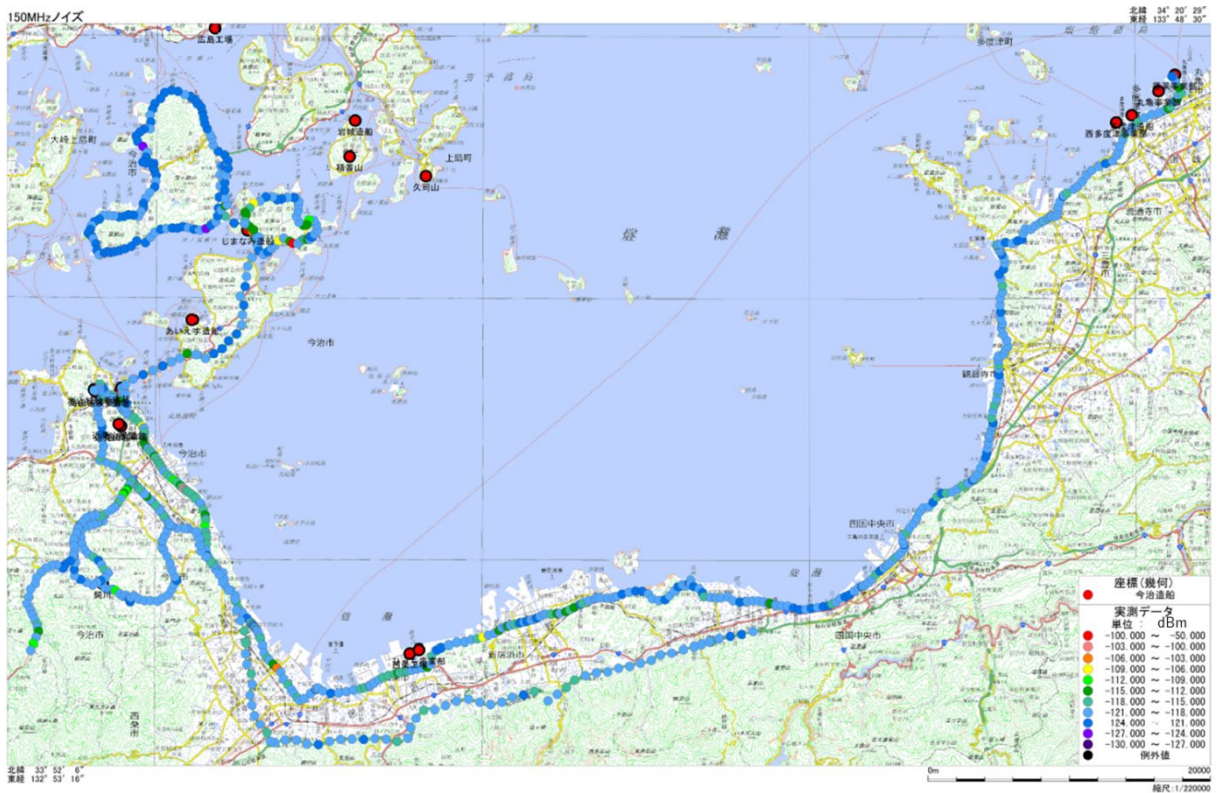


図 4-116 ノイズ測定結果 150MHz 帯 (走行ルート全体)

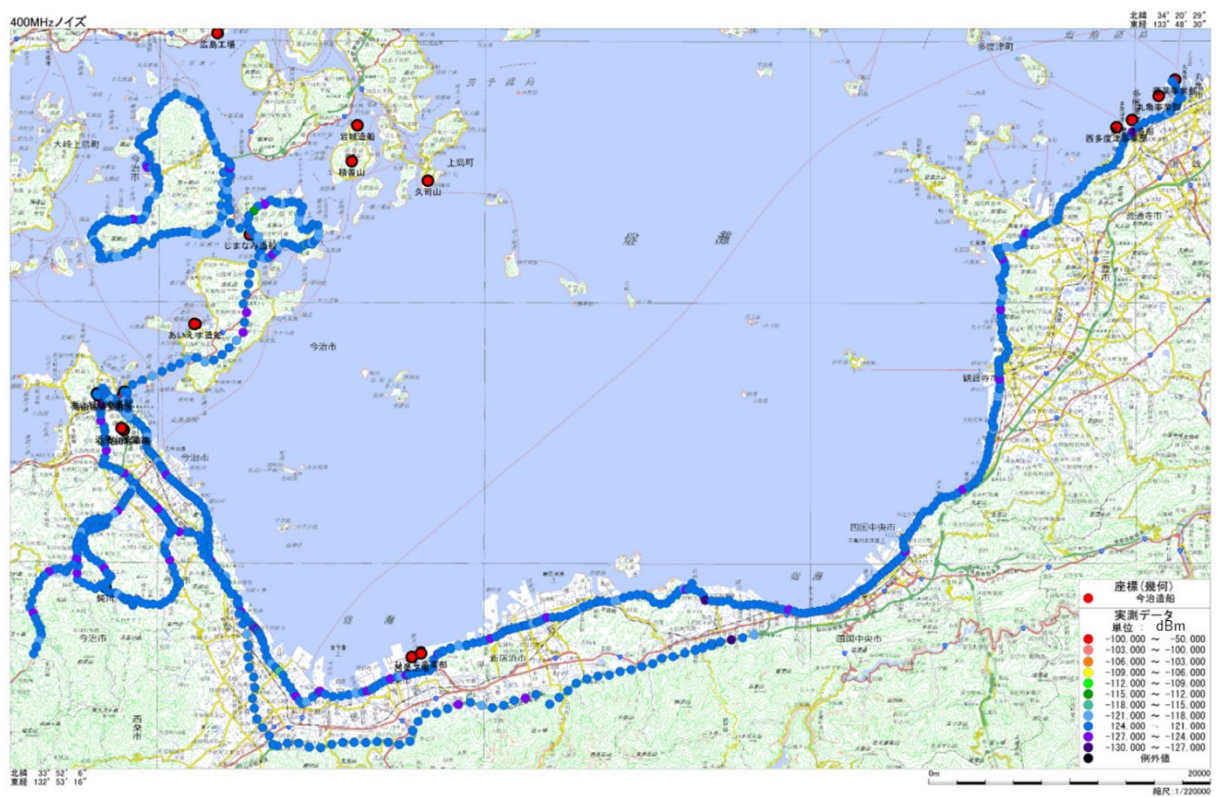


図 4-117 ノイズ測定結果 400MHz 帯 (走行ルート全体)

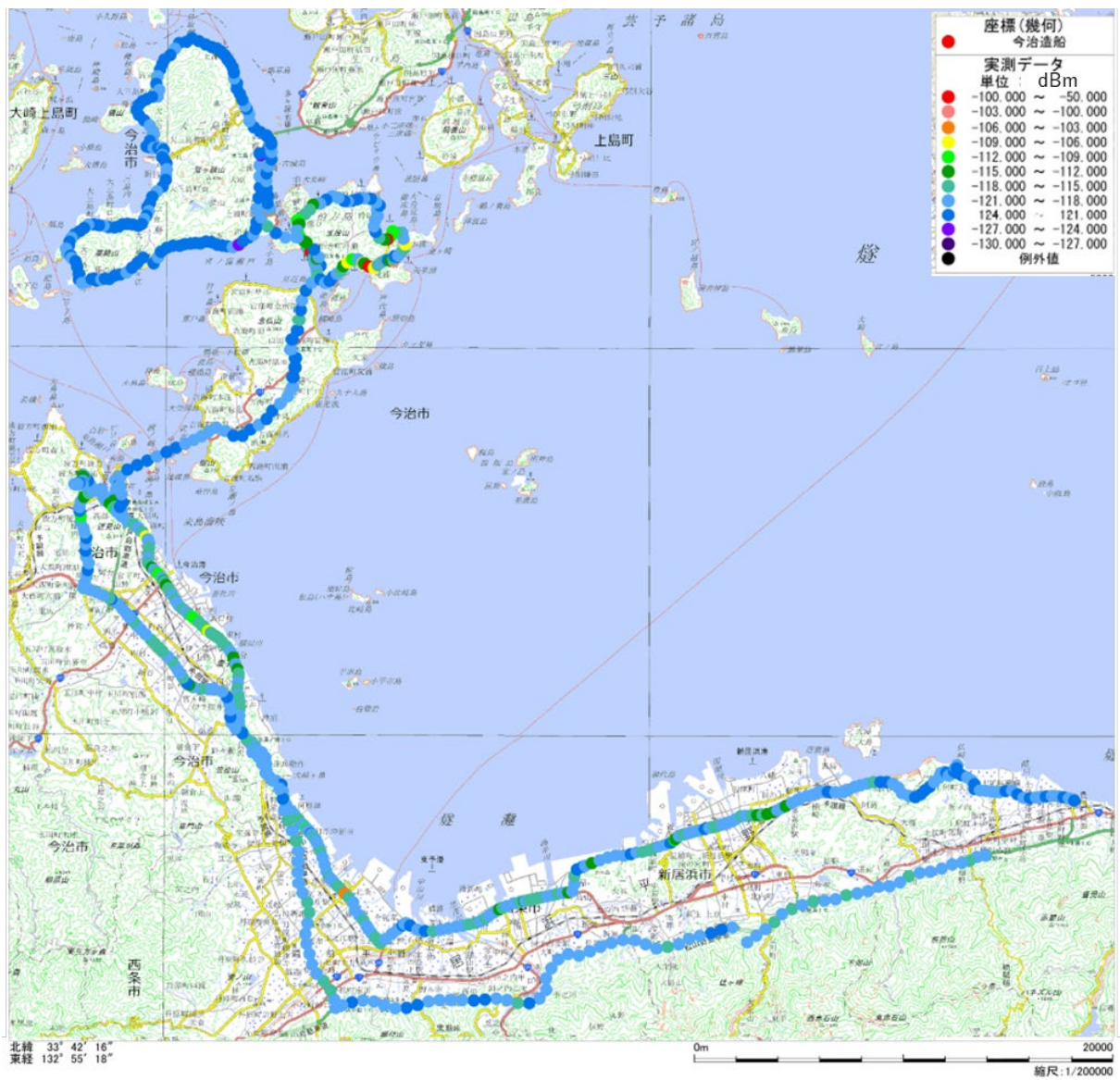


図 4-118 ノイズ測定結果 150MHz 帯 (今治市~土居 IC 拡大)

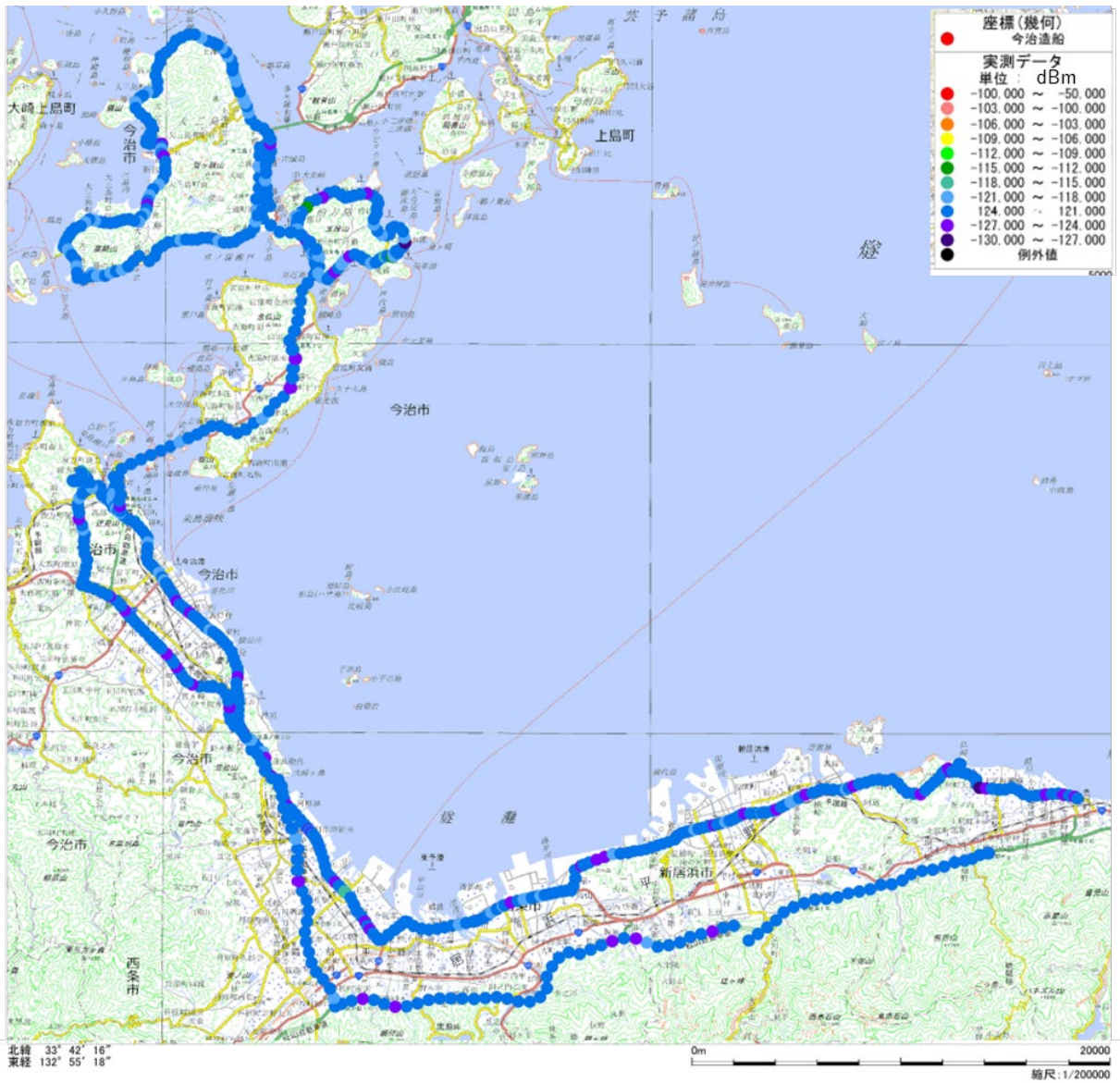


図 4-119 ノイズ測定結果 400MHz 帯 (走行ルート1 今治市~土居 IC 拡大)

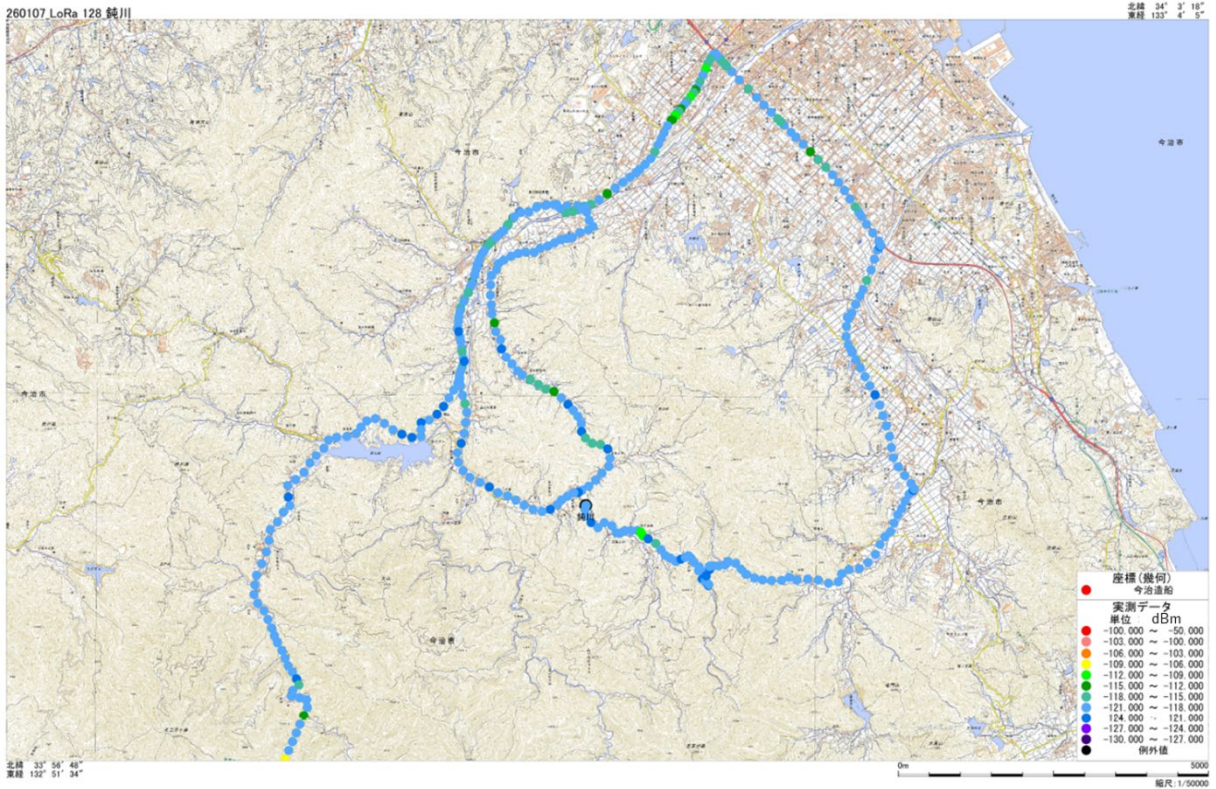


図 4-120 ノイズ測定結果 150MHz 帯 (走行ルート 3 旧玉川町 拡大)

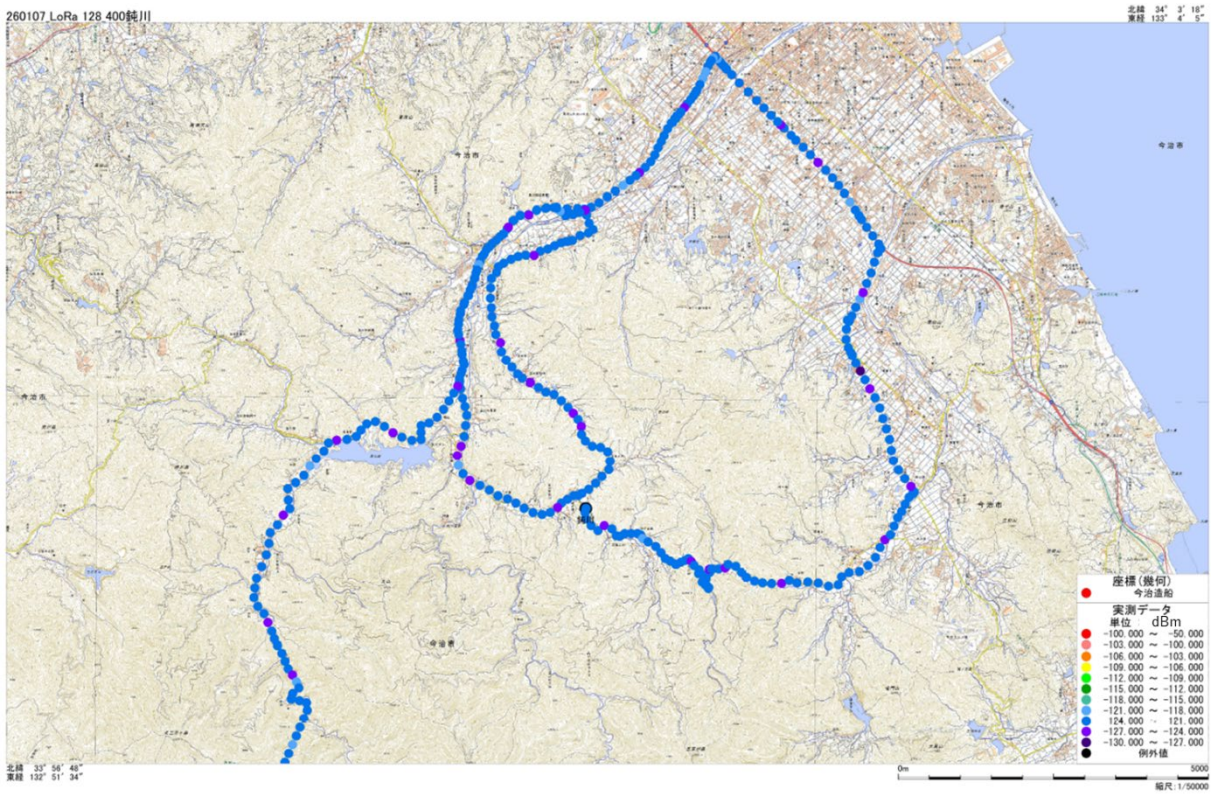


図 4-121 ノイズ測定結果 400MHz 帯 (走行ルート 3 旧玉川町 拡大)

図 4-122 に示す走行場所ごとのノイズ測定値平均値を表 4-23 に、ノイズ測定値最大値を表 4-24 に示す。

表 4-23 走行場所ごとのノイズ測定値平均値

ノイズ測定値 平均	150MHz 帯	400MHz 帯
走行ルート 1 今治市⇒土居 IC	-118.8dBm	-123.0dBm
走行ルート 1 土居 IC⇒丸亀	-119.9dBm	-123.2dBm
走行ルート 1 丸亀⇒入野 PA	-120.1dBm	-122.8dBm
走行ルート 1 入野 PA⇒今治市	-119.7dBm	-123.0dBm
走行ルート 1 今治市⇒しまなみ方面	-118.0dBm	-122.3dBm
走行ルート 3 旧玉川町	-119.6dBm	-123.2dBm

表 4-24 走行場所ごとのノイズ測定値最大値

ノイズ測定値 最大	150MHz 帯	400MHz 帯
走行ルート 1 今治市⇒土居 IC	-102.0dBm	-112.0dBm
走行ルート 1 土居 IC⇒丸亀	-107.0dBm	-118.0dBm
走行ルート 1 丸亀⇒入野 PA	-100.0dBm	-114.0dBm
走行ルート 1 入野 PA⇒今治市	-111.0dBm	-114.0dBm
走行ルート 1 今治市⇒しまなみ方面	-92.0dBm	-113.0dBm
走行ルート 3 旧玉川町	-109.0dBm	-120.0dBm

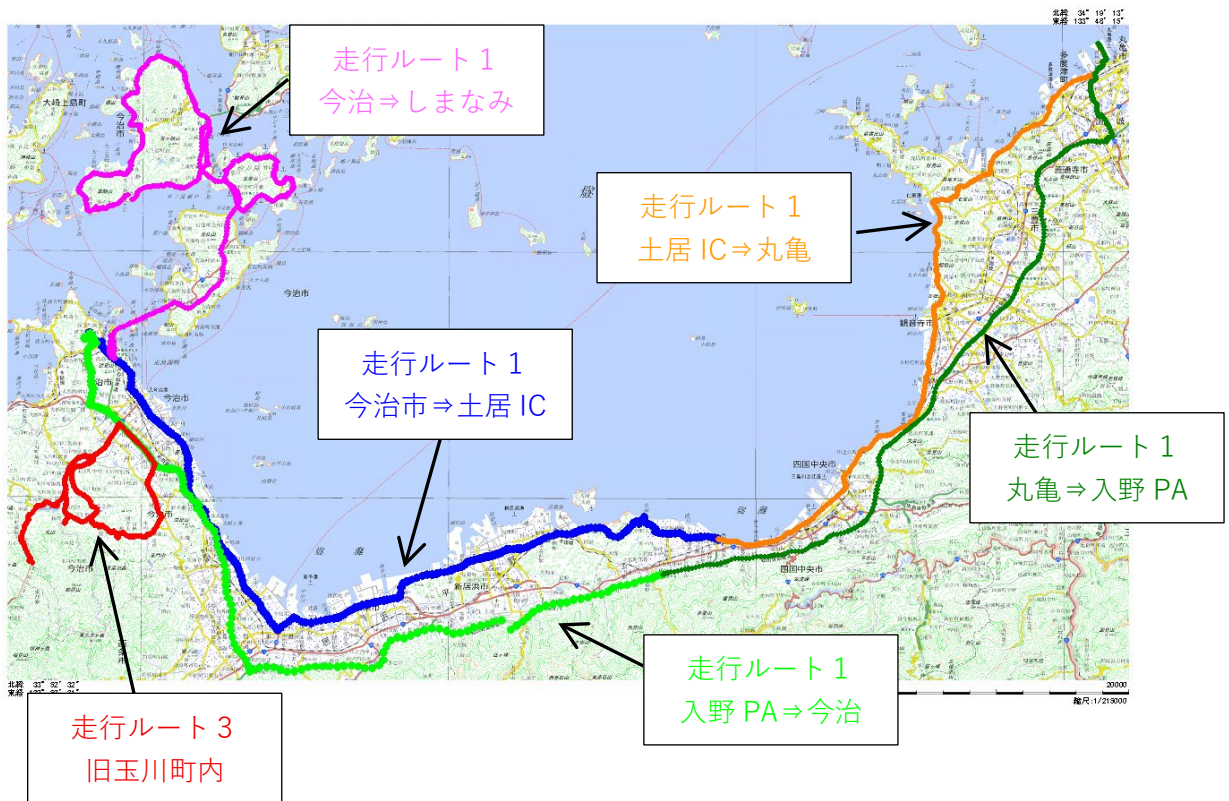


図 4-122 ノイズ測定 走行ルート

加えて、同じ測定装置を使用し、手で装置やアンテナを持って今治造船本社工場内を歩行しながら、無線機でノイズレベルの測定を実施した。測定結果を図 4-123、表 4-25 に示す。

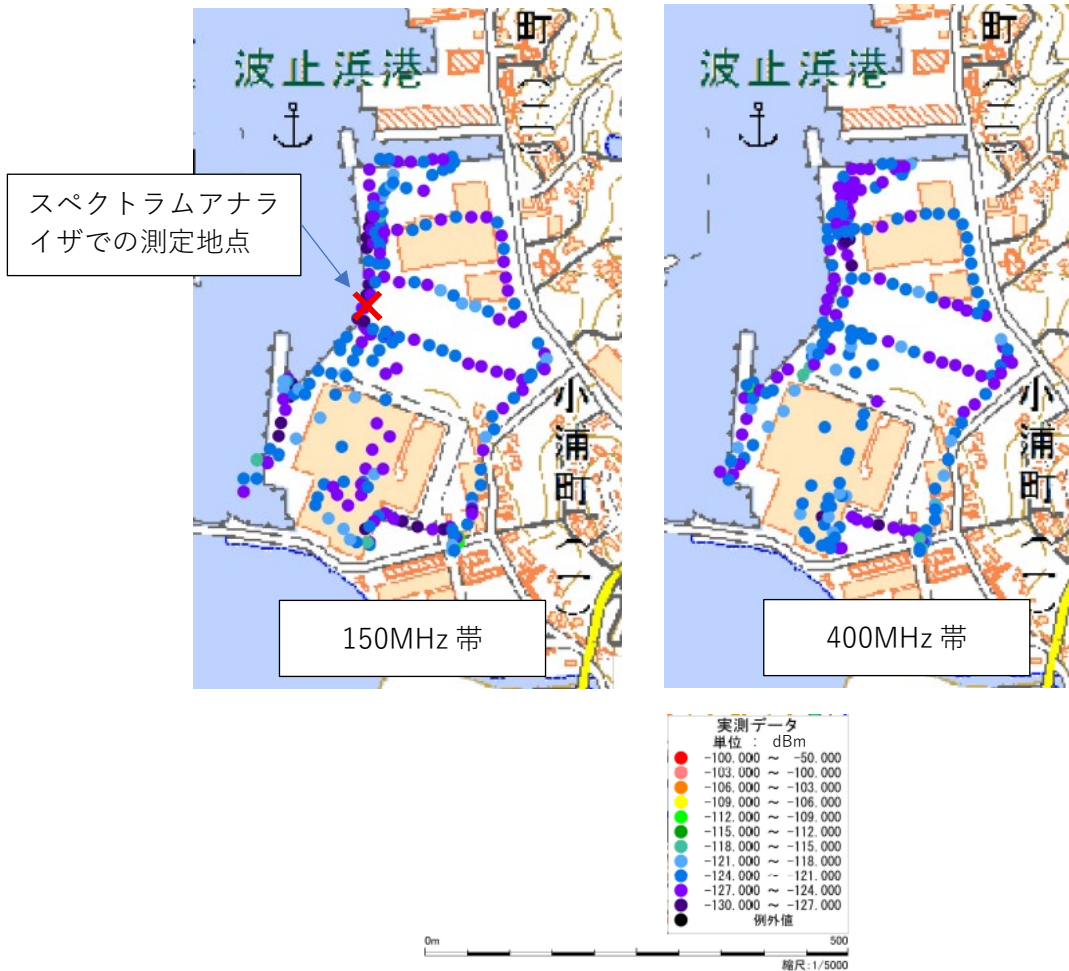


図 4-123 ノイズ測定結果（今治造船本社工場内）

表 4-25 ノイズ測定結果（今治造船本社工場内）

ノイズ測定値	150MHz帯	400MHz帯
平均	-123.8dBm	-123.6dBm
最大	-109.0dBm	-112.0dBm

表 4-25 の結果については、測定周波数 146.94375MHz（150MHz帯）、414.8125MHz（400MHz帯）でのピンポイントのノイズレベルであり、造船所内のノイズ環境を反映していないことが考えられる。このため、造船所内の1地点だけであるがスペクトラムアナ

ライザでのノイズ測定も実施した。携帯型簡易スペクトラムアナライザを使用し、図 4-123 に示す地点で測定を行った。測定状況を図 4-124 に示す。測定結果を図 4-125 に示す。外部アッテネータ 10dB を使用しているため、実際のレベルは画面表示よりも 10dB 高い。



携帯型簡易スペクトラムアナライザ tinySA
アンテナ：ロッドアンテナ約 30cm
外部アッテネータ 10dB あり
地上に置いた状態で測定を実施。

図 4-124 スペクトラムアナライザでのノイズ測定状況

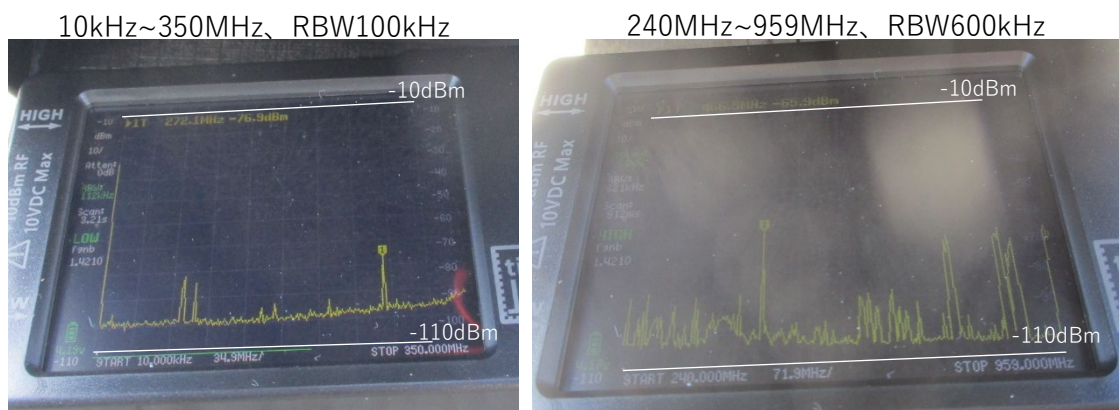


図 4-125 スペクトラムアナライザでのノイズ測定結果

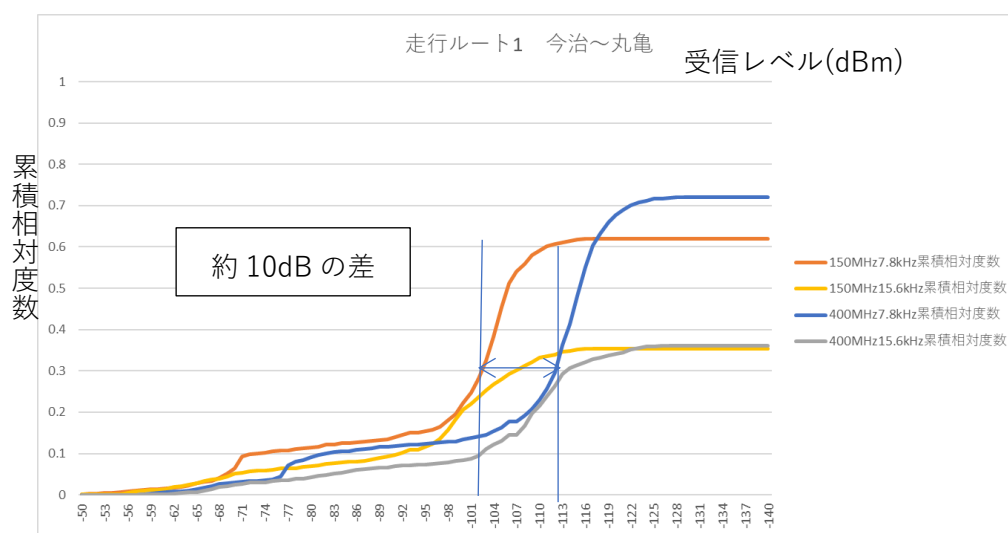
ノイズレベルについて、ノイズフロアが全体的に上昇するのではなく、スポット的なノイズが多数見られ、造船所クレーンの動作状況によって変動が見られた。クレーンからは 20m 程度離れていたが、例えば 466MHz 付近では最大 -30dBm 程度となることがあり、周囲の無線機の動作に影響を与える可能性があるレベルとなっていた（ただし、この 466MHz 付近については船上通信局の可能性もある）。造船所内では、これらノイズが多数発生あるいは無線局が運用されている可能性があり、無線機動作に影響を与えることを防ぐために、設置前の事前調査やノイズ対策の実施が必要と考えられる。

4.4.3 屋外実証実験結果 考察

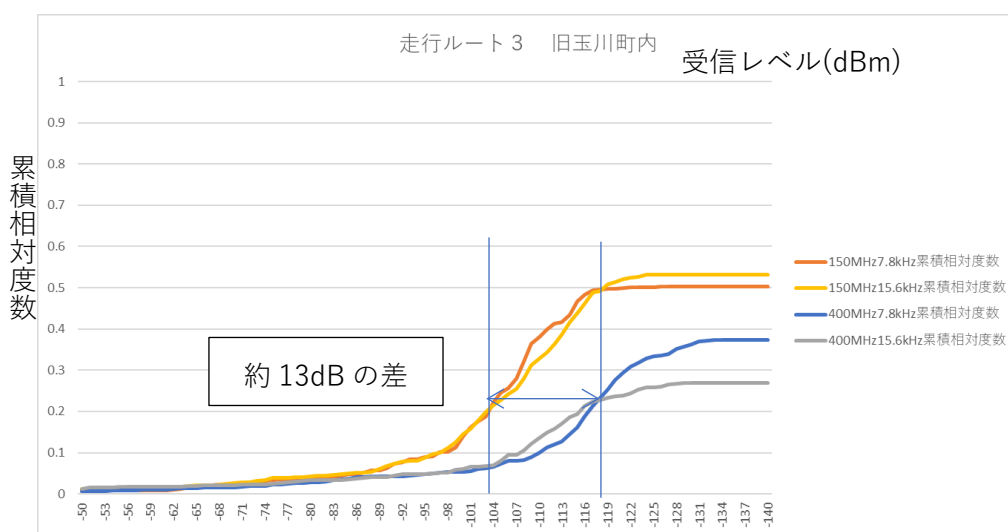
ルート1ドライブテスト測定結果から、150MHz 帯狭帯域 LoRa[®]、400MHz 帯狭帯域 LoRa[®]ともに、高所送信時は50km以上の地点とも通信可能な結果が得られた(図4-55、図4-56)。項目ごとに考察を以下に示す。

A) 150MHz 帯狭帯域 LoRa[®]と400MHz 帯狭帯域 LoRa[®]の伝搬(周波数差)

150MHz帯と400MHz帯の伝搬の差について、累積相対度数(図4-108、図4-112)から走行ルートによって差は見られるが、10~13dB程度150MHz帯の方が受信レベルは高い傾向が見られた。このため基本的には150MHz帯の方が長距離通信に適すると考えられる。



再掲 図4-108 距離と受信電力 累積相対度数 走行ルート1 今治~丸亀



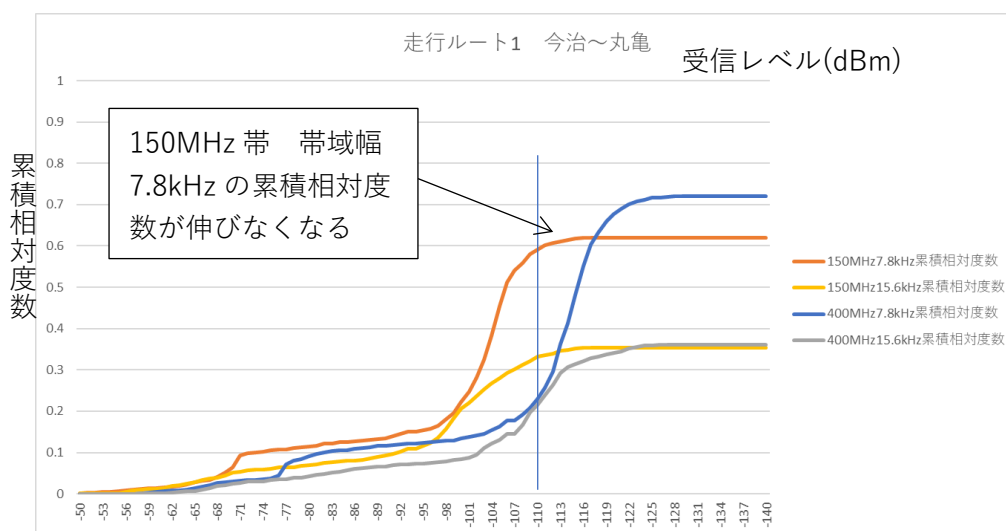
再掲 図4-112 距離と受信電力 累積相対度数 走行ルート3 旧玉川町内

なお、累積相対度数（図 4-108）においては、受信レベルが-110dBm よりも低くなると、150MHz帯 LoRa 帯域幅 7.8kHzの累積相対度数が伸びなくなる傾向が見られた。このため、-117dBm 以下は 400MHz 帯 LoRa 帯域幅 7.8kHz の方が累積相対度数は高くなった。

この原因について、今回使用した無線機については、復調に成功した場合のみ受信レベルを出力する動作となっており、受信できなかった場合、測定回数にカウントされるが、測定値の度数にはカウントされない。このため、150MHz 帯については、受信はしたものの復調できず測定値の度数にカウントされず、累積相対度数が伸びない結果になったことが考えられる。

150MHz 帯については、受信はしたものの復調できなかった原因として、ノイズの影響が考えられる。ノイズ測定値平均値 表 4-23 より、150MHz 帯は 400MHz 帯よりも平均値で 3~4dB、最大値で 10dB 以上ノイズレベルが高い結果となっている。ノイズレベルが高いため、特に低いレベルの受信信号が復調できず、このような結果になったと考えられる。

なお、特に 150MHz 帯においては、周囲のパソコンなどからと思われるノイズの影響を受けており、今回は、ケーブルにフェライトコアを挿入してノイズ対策を行っている。実装の際にも、フェライトコア挿入やシールドなどのノイズ対策が必要と考えられる。400MHz 帯については、150MHz 帯ほどパソコンなどからのノイズの影響は高くない傾向であったため、環境ノイズが高い場所においては、400MHz 帯を使用した方が通信を確保できることも起こりうると考えられる。



再掲 図 4-108 距離と受信電力 累積相対度数 走行ルート 1 今治～丸亀

ここで、ノイズと受信感度の関係について、補足説明を行う。

LoRa®の受信感度 S は次式で与えられる。

$$S(\text{dBm}) = -174 + 10 \log_{10} BW + NF + SNR$$

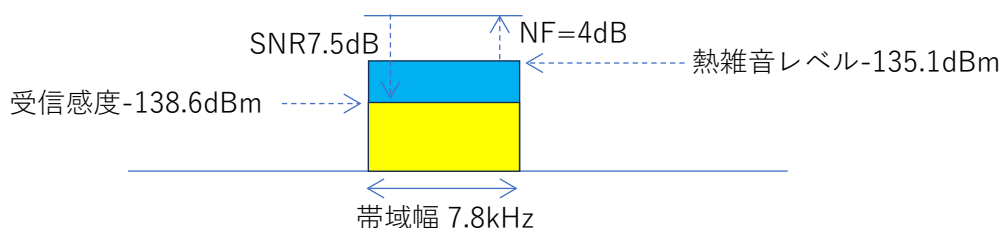
BW：帯域幅(Hz) 今回の LoRa®の場合、7800Hz または 15600Hz となる。

NF：受信機の雑音指数(dB) 150MHz 帯は 4dB、400MHz 帯は 5.5dB (使用 IC のカタログ値)

SNR：信号対雑音比(dB) 今回の LoRa®の場合、拡散係数 SF によって決まる次の数値となる SF=7 の場合-7.5dB、SF=10 の場合-15dB、SF=12 の場合-20dB (使用 IC のカタログ値)

$-174 + 10 \log_{10} BW$ は、熱雑音のレベルを計算しており、ここに NF を加えることで、熱雑音と受信機で発生する雑音を合わせた全雑音レベルを計算している。この全雑音レベルに SNR を加えることで受信感度を求めることができる。150MHz 帯、帯域幅 7.8kHz、SF=7 の場合、

$$S = -174 + 10 \log_{10}(7800) + 4 + (-7.5) \approx -135.1 + 4 + (-7.5) = -138.6 \text{ dBm} \quad \text{となる。}$$



この時求めた受信感度-138.6dBm は、環境ノイズがない状態の感度であるが、熱雑音よりも低いレベルの信号でも受信可能なことを示している。

実際の運用時は、環境ノイズがあるためノイズレベルが高くなり、その分、受信感度も劣化する。例えば、今回測定したノイズ測定値最大値 (表 4-24 走行ルート 150MHz 帯) -102.0dBm を使用すると受信感度は、

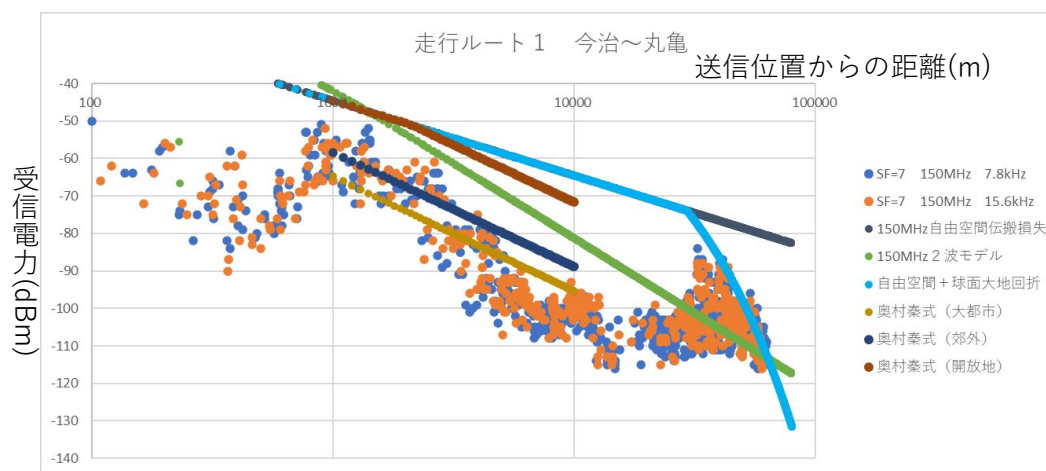
$S = -102.0 + 4 + (-7.5) = -105.5 \text{ dBm}$ となり、環境ノイズがない状態と比べ、大幅に受信感度が劣化する。

今回の電測時、使用した制御用 PC からノイズが発生しており、USB ケーブルを伝って受信機のノイズレベルが高くなる現象が、特に 150MHz 帯において見られた。クランプフィルタを使用するなどして対策を実施したが、実運用時もノイズ対策を実施しなければ、思ったほどは電波が飛んでいないという現象が発生しうるため、注意が必要である。

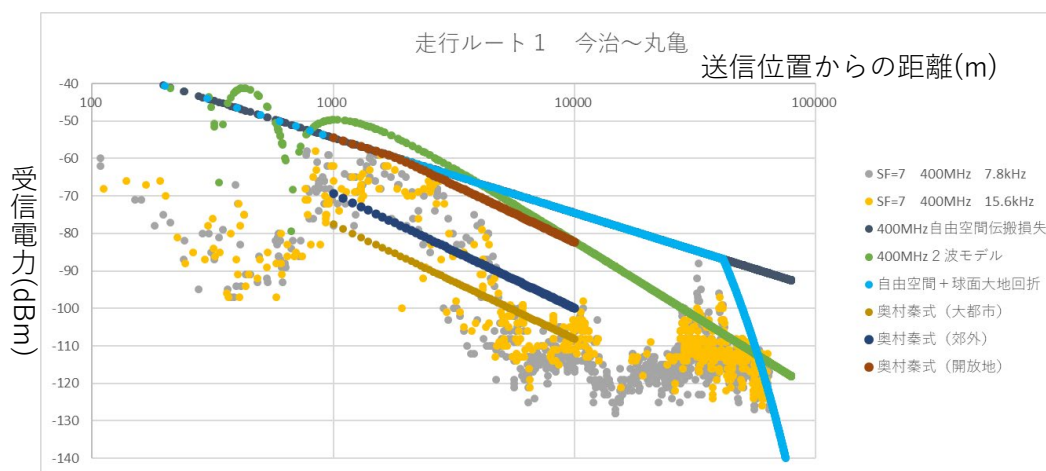
B) 150MHz 帯狭帯域 LoRa®と 400MHz 帯狭帯域 LoRa®の伝搬（伝搬式との比較）

150MHz 帯と 400MHz 帯のドライブテスト結果について、自由空間伝搬損失、2波モデル、球面大地回折、奥村秦式の各伝搬式を使用した際の受信レベル計算値との比較を図 4-97、図 4-98 にて実施した。

特に送信位置からの距離 20km 以上において、ドライブテスト結果は2波モデルに近い傾向となっている。距離 20km 未満については、2波モデルから 10~20dB 程度低いドライブテスト結果となっている。これについては、20km 未満については今治市街地の走行が含まれており、海岸から離れたところを走行している影響も考えられ、奥村秦式（大都市、郊外）に近くなっている。なお、球面大地回折による損失が生じ始める 40~50km 以上においては、球面大地回折の伝搬式の傾向に近いと考えられる。



再掲 図 4-97 距離と受信電力の関係（走行ルート1 今治～丸亀 150MHz 帯）



再掲 図 4-98 距離と受信電力の関係（走行ルート1 今治～丸亀 400MHz 帯）

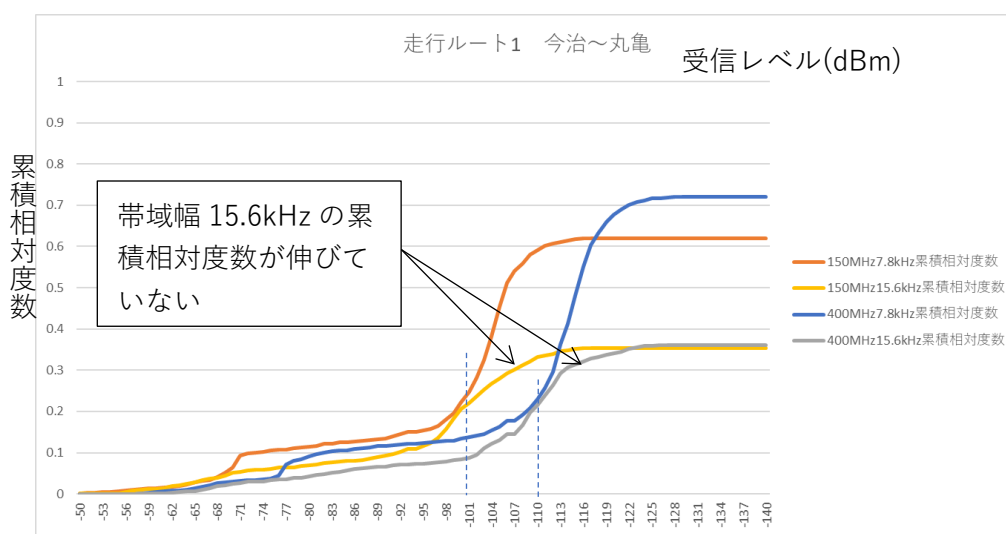
C) 占有周波数帯幅の差

占有周波数帯幅 7.8kHz と 15.6kHz が異なっても、理論上は伝搬特性に差はないが、累積相対度数 (図 4-108) において、150MHz 帯は-100dBm 付近、400MHz 帯は-110dBm 付近は、帯域幅 7.8kHz と 15.6kHz ではほぼ同じような累積相対度数となっているものの、それよりも受信レベルが低い場合は、帯域幅 15.6kHz の累積相対度数が伸びない傾向がみられる。

150MHz 帯は-100dBm 付近、400MHz 帯は-110dBm 付近において、帯域幅 7.8kHz と 15.6kHz ではほぼ同じような累積相対度数となったことから、帯域幅 7.8kHz と 15.6kHz で伝搬特性に差はないと考えられる。ただし、今回使用した無線機については、復調に成功した場合のみ受信レベルを出力する動作となっており、受信できなかった場合、測定回数にはカウントされるが、測定値の度数にはカウントされない。このため、帯域幅 15.6kHz については、復調可能な受信レベルが帯域幅 7.8kHz よりも高くなっており (感度が悪くなっており)、受信はしたものの復調できず測定値の度数にカウントされず、累積相対度数が伸びない結果になっていたと考えられる。

帯域幅 15.6kHz について、復調可能な受信レベルが帯域幅 7.8kHz よりも高くなった原因は以下が考えられる。

- ① 基準感度の差：基準感度測定結果より、拡散係数 SF=7 の場合、帯域幅 15.6kHz は、帯域幅 7.8kHz と比べて基準感度が 4dB 低い。
- ② ノイズ：帯域幅 15.6kHz は、帯域幅 7.8kHz と比べて帯域幅が 2 倍のため、ノイズレベルは 2 倍となる (3dB 高くなる)。



再掲 図 4-108 距離と受信電力 累積相対度数 走行ルート1 今治～丸亀

4.4.4 船体ブロック位置管理システムの運用

ニーズとしてあげられている船体ブロック位置管理システムについて試作を実施し、実際に船舶に搭載して運用を行って動作確認を実施した。船体ブロック位置管理システムの概要を図 4-126 に示す。離れた造船所で製作される船体ブロックの位置把握を行うシステムであり、船体ブロックに取り付けた GPS の位置情報を 150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®で送信を行う。船体ブロックは海上を船によって運搬されるため、今回は船舶に当該システムを搭載して動作確認を実施した。試作した装置の概要を図 4-127、図 4-128、表 4-26 に示す。今治造船株式会社殿の協力を得て、位置送信装置は、建造後試験を実施する船舶（貨物船）のデッキに設置し、位置受信装置は今治造船株式会社本社屋上へ設置を行った（図 4-129）。

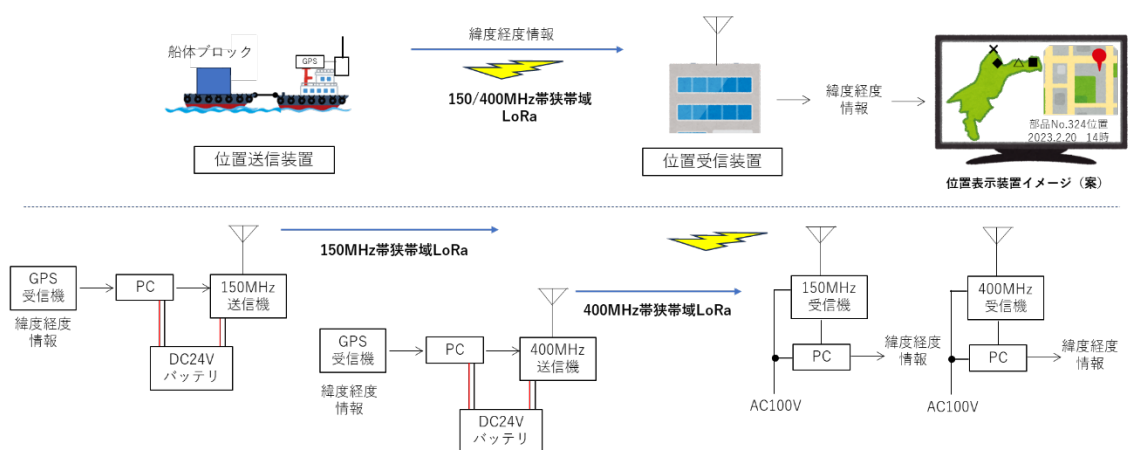


図 4-126 船体ブロック位置管理システムの概要

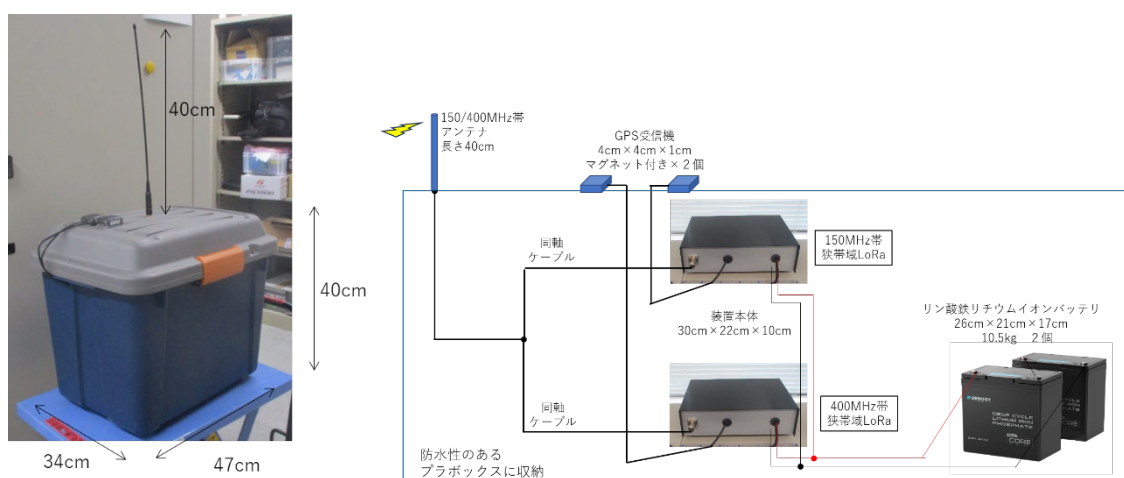


図 4-127 試作した装置の概要（位置送信装置）

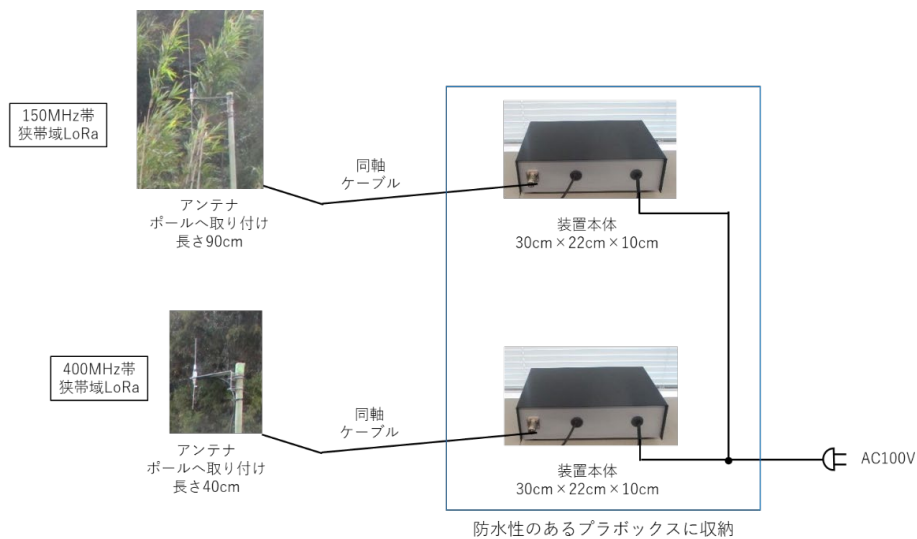


図 4-128 試作した装置の概要（位置受信装置）

表 4-26 船体ブロック位置管理システム 測定条件

周波数	146.9625MHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz) 429.2MHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz)
空中線電力	1W (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 1W (400MHz 帯狭帯域 LoRa®)
帯域幅	7.8kHz (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 7.8kHz (400MHz 帯狭帯域 LoRa®)
LoRa®拡散係数	SF=7
送信アンテナ高	海上約 30m (船舶デッキ上)
受信アンテナ高	25m (屋上に設置)
送信アンテナ利得	公称 2dBi
受信アンテナ利得	2dBi
送信ケーブル損失	0.4dB (150MHz 帯狭帯域 LoRa®) 0.7dB (400MHz 帯狭帯域 LoRa®)
受信ケーブル損失	1.2dB (429MHz 帯特定小電力 LoRa®) 1.7dB (920MHz 帯特定小電力 LoRa®)
偏波面	垂直
送信間隔	10 分休止 ⇒ 5 分間 30 秒間隔で送信 ⇒ 10 分休止を繰り返し、 データ量 6Byte
測定項目	受信電力と船舶からの緯度経度情報を合わせて記録する。

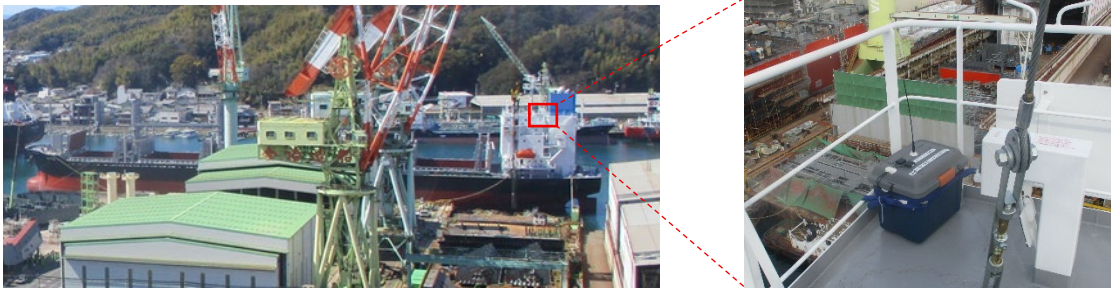


図 4-129 装置の設置状況（上段：船舶、下段：屋上）

地図上にプロットした動作確認結果を図 4-130、図 4-131 に示す。

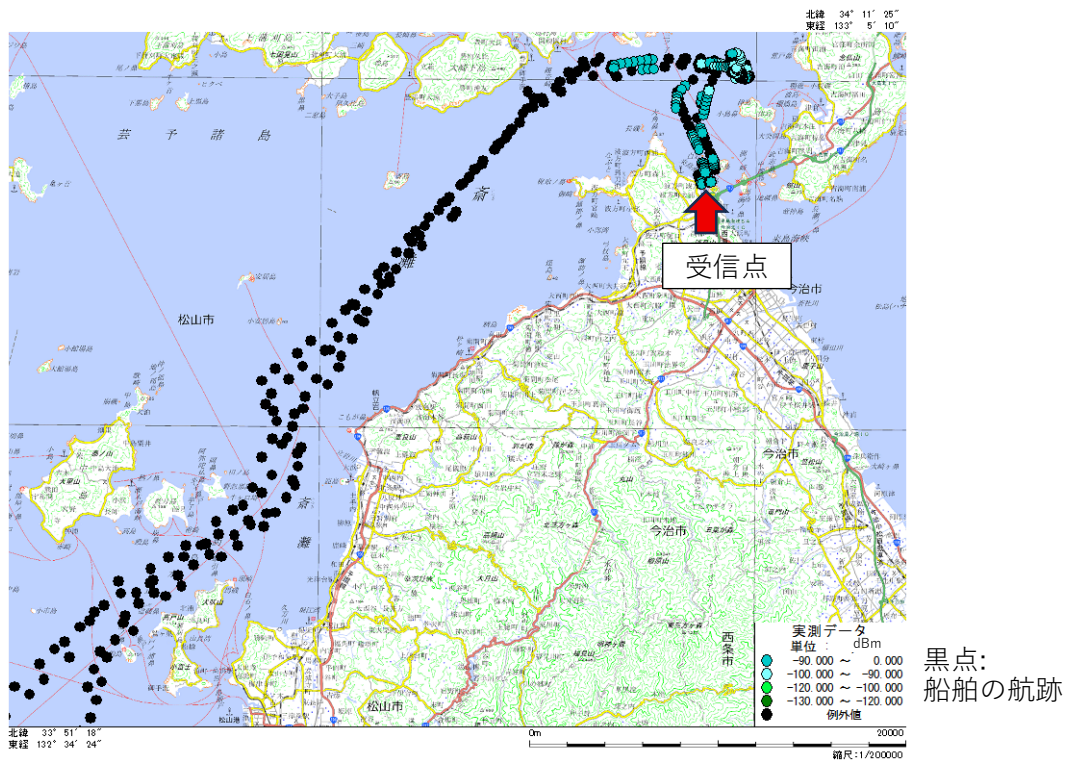


図 4-130 船体ブロック位置管理システム 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 動作確認結果



図 4-131 船体ブロック位置管理システム 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 動作確認結果

動作確認結果より、本システムで、船舶の位置把握が可能と考えられる。400MHz 帯狭帯域 LoRa®においては、旧北条市沖の直線距離で約 27km の海上からの電波を受信できている。ここより以遠は、受信できなくなることが多くなるが、わずかに受信できた地点もある。しかし、150MHz 帯狭帯域 LoRa®については、受信点から近い範囲の位置把握しかできていない。受信データを確認した結果、-100dBm 以下は受信できていなかった。対して 400MHz 帯狭帯域 LoRa®については、-130dBm の信号も受信できていた。150MHz 帯狭帯域 LoRa®が受信できなかった原因について、受信地点においてノイズレベルが相当高い、あるいは 150MHz 帯機器の異常等考えられるが、現時点では特定できていない。

第5章 他の無線システムとの共用検討

5.1 実施内容

実証実験の結果を受けて、他の無線システムとの共用検討を行った。以下の項目について実施した。

ア 150MHz/400MHz 帯における他の無線システムの諸元等調査

150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの利用が想定される周波数帯における割当て状況、周波数割当表、過去の情報通信審議会の委員会報告等を調査し、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの導入にあたって共用検討が必要となる既存の無線システム（同一チャンネル及び隣接チャンネルについて検討すること）を選定し、共用検討に必要な諸元等を調査し、とりまとめを行った。

イ 共用検討（机上検討）

自由空間伝搬損失にて、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムと、アで調査した既存の無線システムとの共用検討を実施し、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムを導入するために必要な共用条件案をとりまとめた。その際、諸元・運用条件等の検討において検討した条件に従って与干渉及び被干渉の机上検討・シミュレーション評価を実施して所要改善量と必要離隔距離を算出して、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの共用条件案のとりまとめを行った。

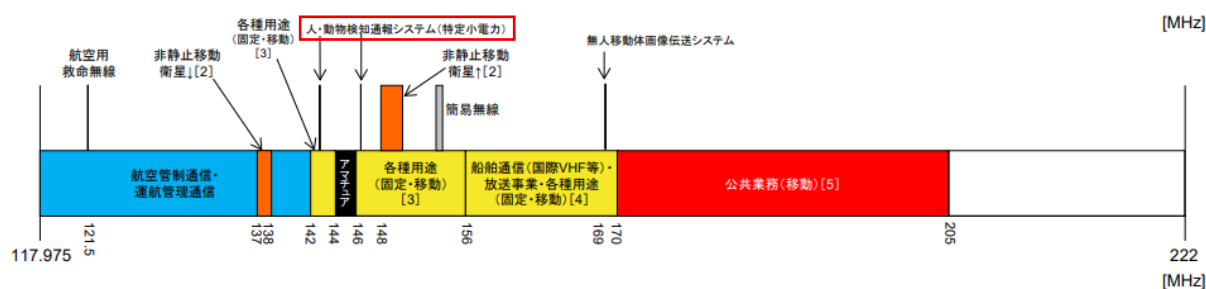
ウ 提案システムの周波数選定

ア及びイの検討結果を踏まえて、実証試験を実施するために、最適な地域割当可能な周波数の選定を行った。周波数の選定にあたっては主管課と協議しながら検討を行った。

5.2 150MHz 帯における他の無線システムの諸元等調査

5.2.1 対象周波数範囲

今回の検討に当たっては、将来的に特定小電力無線局への適用を目指し、図 5-1 に示す 150MHz 帯人・動物検知通報システムの周波数帯を検討対象周波数範囲とした。

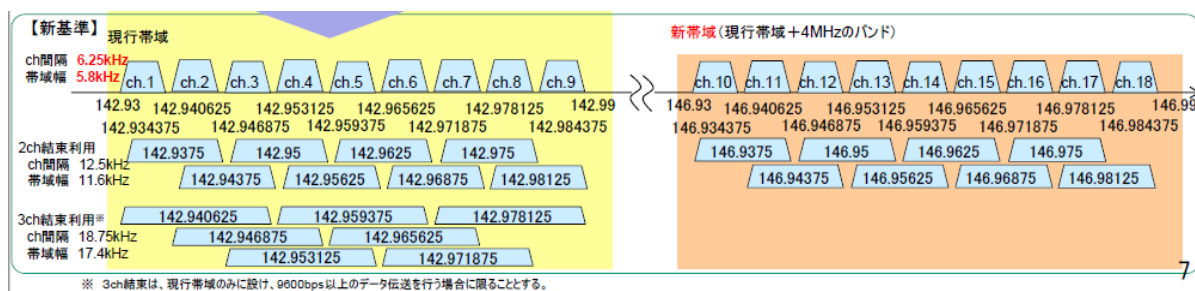


<https://www.tele.soumu.go.jp/resource/search/myuse/use/50m.pdf> より抜粋

図 5-1 150MHz 帯対象周波数範囲

5.2.2 候補周波数

150MHz 帯人・動物検知通報システムは、142.93～142.99MHz および 146.93～146.99MHz が割り当てられている (図 5-2)。従来は 142.93～142.99MHz のみであったが、平成 28 年 8 月に 146.93～146.99MHz が新たに追加されている。



https://www.soumu.go.jp/main_content/000411571.pdf より抜粋

図 5-2 150MHz 帯人・動物検知通報システム周波数割り当て状況

142.93～142.99MHz については、例えば図 5-3 に示した狩猟用ドッグマーカーにおいて使用されている。猟犬に取り付け、位置情報や犬の鳴き声を伝送する無線機となっている。

FURUNO

免許・登録不要!

電波法適合のGPSマーカー

通信距離が拡大!地図も詳細に!

ドッグ ナビ

Dog Navi™

狩猟者端末
型式 HT-01
猟犬端末
型式 DG-01



- ▶国内電波法適合のGPSマーカー
- ▶免許・登録不要で安心して使用可能(技適マーク付*)
- ▶猟犬の位置情報(GPS)と鳴き声(音声)がわかる一体型
- ▶中継機能の搭載で、使用人数が増えるほど通信範囲が拡大
- ▶5mまでの拡大表示や、鳥獣保護区に対応した地図搭載

*電波法令で定めている技術基準に適合している無線機であることを証明するマーク



www.furuno.com

仕様

無線規格	特定小電力無線 ARIB STD-T99準拠 (免許不要)	複数犬対応	最大15頭
周波数	142.94~142.98MHz (5ch)、1W出力	温度・湿度範囲	【動作時】-10℃~+50℃ 【保存時】-20℃~+60℃ 【充電時】0℃~+40℃ 相対湿度 20~90%以下、但し結露無きこと
伝達情報	猟犬の位置、音声	電源	リチウムイオン2次電池(充電方式)
表示方法	地図表示、方位表示		
地図	日本全国版		

<https://www.furuno.com/files/Brochure/230/upload/DogNavi.pdf>

図 5-3 ドッグマーカーの例

今回の実証においては、新たに追加された帯域であるため、ドッグマーカー等での使用局数が少ないと考えられた 146.93~146.99MHz 内の周波数を使用することとした。この範囲内で、占有周波数帯幅 11.6kHz 時には 146.9625MHz、17.4kHz 時には 146.959375MHz を実証用周波数として選定した(図 5-4)。なお、現在の制度では 150MHz 帯人・動物検知通報システムの 146.93~146.99MHz においては、3ch 結束利用である占有周波数帯幅

17.4kHz は使用できない。今回の実証においては、収容効率向上のために最適な占有周波数帯幅について検討を行うため、占有周波数帯幅 17.4kHz においても特別に実験試験局免許を取得し、実証を行う。

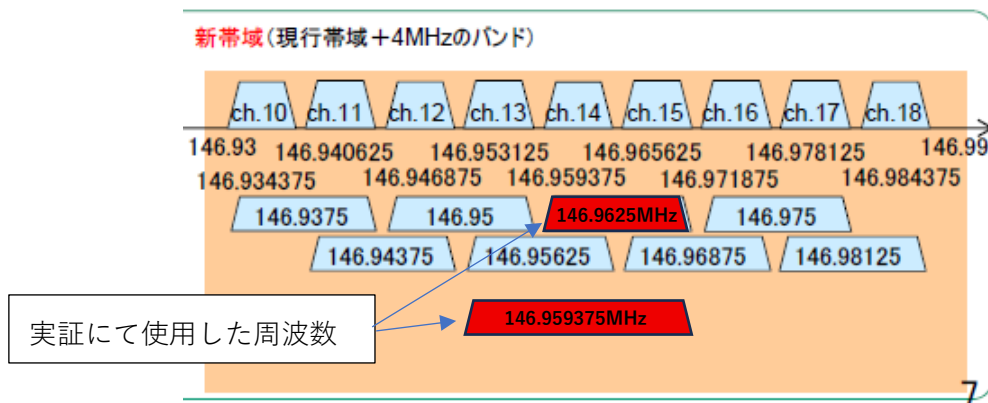


図 5-4 実証にて使用した周波数

5.2.3 既存無線システム

選定した周波数近傍にて使用されている無線局について、地域周波数利用計画策定基準一覧表や総務省電波利用ホームページ無線局等情報検索等から調査を行った。地域周波数利用計画策定基準一覧表に規定されている隣接既存システムの状況を図 5-5 に示す。

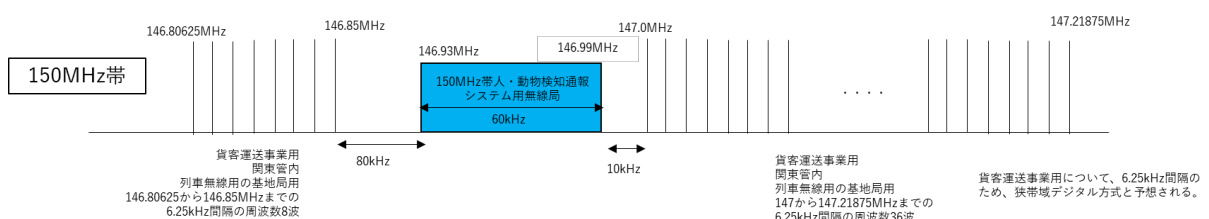


図 5-5 隣接システムの使用状況

図 5-5 の周波数範囲について、総務省電波利用ホームページ無線局等情報検索から無線局等情報を検索したが、具体的な周波数や電波の型式等は公表されていなかった。なお、周波数割り当て間隔が 6.25kHz となっているため、狭帯域デジタル方式である 4-FSK または $\pi/4$ シフト QPSK が使用されていると考えられる。

同一周波数帯を使用する 150MHz 帯人・動物検知通報システムについて、一般社団法人電波産業会にて標準規格 特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の無線設備 ARIB STD-T99 が制定されている。ARIB STD-T99 の概要を表 5-1 に示す。ARIB STD-T99 において、電波形式は特に規定されていない。応用分野への適用として ARIB STD-T99 付録 1 に記載されている登山者検知通報システムにおいても、変調方式は特に規定しないとされているが、相互接続性を高めるために 2 値 GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) を適用する場合について記載されている。ARIB STD-T99 付録 2 に記載されているデジタル小電力コミュニティ無線システムにおいては、変調方式は 4 値 FSK と記載されている。

表 5-1 ARIB STD-T99 の概要

標準規格名	特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の無線設備		
無線局の種別	特定小電力無線局 (免許不要)		
通信の内容	主として人又は動物の行動及び状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御を行うものであること		
周波数	150MHz 帯 (142.93~142.99MHz、146.93~146.99MHz)		
電波型式	特に規定しない		
空中線電力	1W 以下 キャリアセンスなし時は 10mW 以下		
占有周波数帯域幅	5.8kHz 2 チャンネル結束使用時 11.6kHz 3 チャンネル結束使用時 17.4kHz		
使用可能なチャンネル数	帯域幅 5.8kHz の場合 9ch 分×2=18ch 分 11.6kHz の場合 4ch 分×2=8ch 分 17.4kHz の場合 3ch 分×1=3ch 分		
あり	キャリアセンス	キャリアセンスレベル	-96dBm
		送信時間制限	60 秒以下
		送信休止時間	2 秒以上
		1 時間あたりの送信時間総和	制限なし
ンスなし	キャリアセンス	空中線電力	10mW 以下
		送信時間の総和	5 秒間あたりの送信時間の総和は 1 秒以下 (例えば 1 秒送信 4 秒休止)

デジタル小電力コミュニティ無線システムの市販無線機例を図 5-6 に示す。

デジタル小電力コミュニティ無線機 IC-DRC1MKII

主な仕様	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2
型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2
型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2
型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2
型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2
型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2
型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2
型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2
型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2
型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2	型式 無線機 IC-DRC1MKII 付録 2

主なオプション

SP-286 ACアダプター 5,800円(税別)	BC-232 ACアダプター 1,500円(税別)	OPC-2384 充電ケーブル 1,100円(税別)	FA-340V アダプター 4,600円(税別)	M5B-8 ヘルプアップ ストラップ 1,100円(税別)
HM-15SL5 充電ケーブル 7,100円(税別)	HM-168LS ヘルプアップストラップ 3,300円(税別)	RS-DRC1 (無線機) RS-DRC1 (無線機) RS-DRC1 (無線機)	CS-DRC1 (無線機) CS-DRC1 (無線機) CS-DRC1 (無線機)	AD-137 ヘルプアップストラップ 2,700円(税別)

アイコム株式会社 東京都練馬区 練馬 1-16-5F TEL: 03-6240-3549

製品の技術的なお問い合わせ
アイコムサポートセンター (平日9:00~17:00) フリーダイヤル ☎0120-156-313 携帯電話 公衆電話からは 06-6752-4949

その他のお問い合わせは最寄りの営業所までご連絡ください。 最新の取扱説明書はホームページでご覧いただけます。 www.icom.co.jp

注意

ICOM IC-DRC1MKII

デジタル小電力コミュニティ無線機

街に、家庭に、無線機がある快適と安心。



IC-DRC1MKIIで、できること

- 高齢者や子供の安全確認
- 町内会等での情報共有
- イベントやレジャーでの連絡
- 災害時の連絡 など

0.5W (RoHS規格対応) [IP54防塵・防水]

DIGITAL 無線機はデジタルの時代へ

こんな場面で大活躍！ GPS搭載トランシーバー IC-DRC1MKII

GPSで子機の位置がわかる！
散歩に出かけたおばあさんがどこにいるかもすぐわかる！

免許も資格も不要！
誰でも手軽に使える。遠くまで通話できる。通話料も安い。

携帯の「圏外」でも通話できる！
山などの通話圏外でも通話できる。通話料も安い。

子機の周辺音声をモニタリング！
子どもがいる場所の状況がすぐにわかるから安心！

多人数に一斉連絡できる！
たくさんの方が参加する行事でも便利に使える。

レジャーでも、コミュニティ活動でも活躍するコミュニケーションツール。

- 多人数に一斉に連絡！**
最新のスピーカアンテナパルクレップにより迅速な通信を実現！
- 携帯の「圏外」でも通話できる！**
最新のスピーカアンテナパルクレップにより迅速な通信を実現！
- 災害時でもつながりやすい！**
大規模災害時など、通話のつながりやすくなることにより安心です。
- FMラジオが聴ける！**
災害時の緊急放送や、FMラジオが聴けることにより安心です。

- 免許、資格、通話料も不要！**
誰でも手軽に使える。遠くまで通話できる。通話料も安い。
- 相手の近くの音をモニタリングできる！**
GPS機能により、通話相手の位置がわかることにより安心です。
- どこに通信相手がいるかわかる！**
GPS機能により、通話相手の位置がわかることにより安心です。
- USBで充電可能！**
ACアダプターとUSBケーブルを付いて、充電が便利！

デジタル小電力コミュニティ無線機 **IC-DRC1MKII**

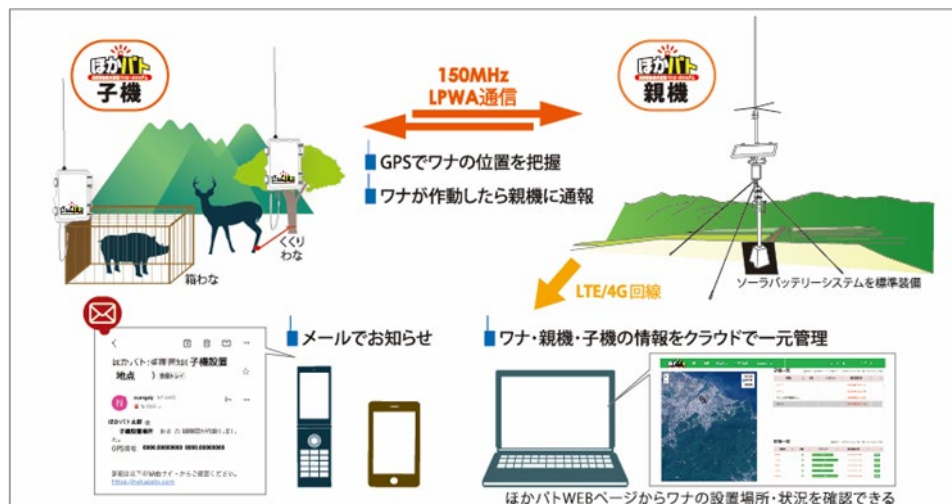
希望小売価格 **32,780円** (税別) (送料 29,800円)

※送料は別途お見積りいたします。送料は別途お見積りいたします。

https://www.icom.co.jp/api/download.php?post_id=1622&f=JTJGdXsb2FkcyUyRnN1cHhVcnQIMkZjYXRhR9nJTJGZG93bmxvYWQIMkYMTExX0IDLURSQzFNSzlcGRm

図 5-6 デジタル小電力コミュニティ無線システム市販無線機例

同一周波数帯を使用するシステムの例として、図 5-7 に示した長距離無線式捕獲パトロールシステムが使用されている。通信規格について、LPWA と記載されているが、製造元の株式会社アイエスー殿へヒアリングした結果、LoRa®を使用しているとのことであった。



ほかパト 製品仕様

	親機 HPO-100	子機 HPK-100
制御装置	通信規格：LPWA 周波数帯：150MHz 特定省電力無線：免許不要 技適マーク取得済 GPS測位：電源立ち上げ後、1回測位 LTE / 4G 回線 サイズ：W190mm×H220mm×L290mm / 1800g	通信規格：LPWA 周波数帯：150MHz 特定省電力無線：免許不要 技適マーク取得済 GPS測位：電源立ち上げ後、1回測位 電源：単3乾電池6本(充電電池使用可能) サイズ：W120mm×H100mm×L170mm / 500g (電池含まない)
アンテナ	グラッドプレーンアンテナ：長さ3.1m	ダイポールアンテナ：長さ55cm
バッテリーシステム	シールドバッテリー DC12V 12Ah	-
その他	ソーラーシステム：15Vソーラーパネル、最大電圧約17.28V	トリガー部：マグネット φ10mm

<https://www.ise-hp.com/products/hokapato/> より抜粋

図 5-7 長距離無線式捕獲パトロールシステム

以上の調査結果から、既存無線システムの変調方式については、次のようにまとめられると考えられる

- ・ 狭帯域デジタル方式である 4-FSK または $\pi/4$ シフト QPSK
- ・ 2 値 GFSK、4 値 FSK
- ・ LoRa®

今回の実証においては、普及状況や本調査検討における可能な範囲を考慮し、表 5-2 にまとめた組み合わせについて共用検討を行うこととした。

表 5-2 150MHz 帯共用検討組み合わせ

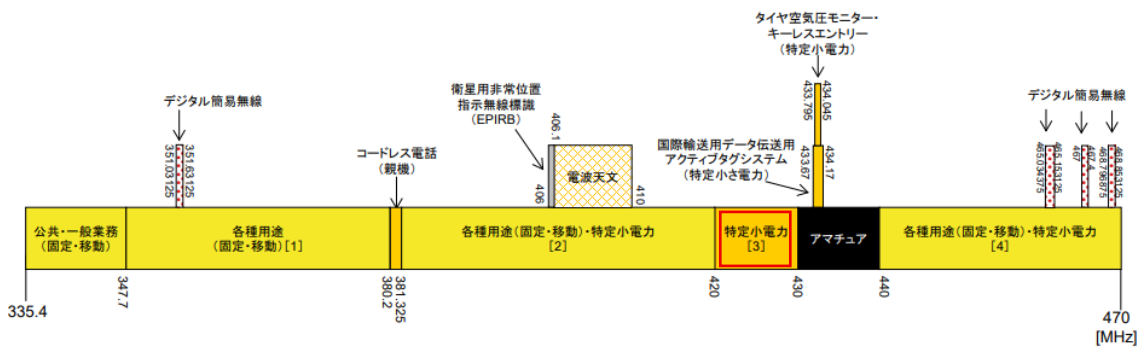
被干渉	与干渉
150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム	150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム
	150MHz 帯 4 値 FSK

被干渉	与干渉
150MHz 帯 4 値 FSK	150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム

5.3 400MHz 帯における他の無線システムの諸元等調査

5.3.1 対象周波数範囲

今回の検討に当たっては、将来的に特定小電力無線局への適用を目指し、図 5-8 に示す特定小電力の周波数帯（420～430MHz）にある 400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局の周波数帯を対象周波数範囲とした。



電波の使用状況に関する補足説明

【335.4～714MHz】

番号	周波数帯 (MHz)	主な用途等
[1]	347.7～380.2	地方公共団体及び電力・ガス・運輸交通等公共機関の公共業務、一般私企業の各種業務
[2]	381.3～420	①デジタル空港無線、NTT東西の加入者線災害対策臨時電話、地方公共団体及び運輸交通等公共機関の公共業務、一般私企業の各種業務 ②体内挿込型医療データ伝送装置の免許を要しない無線局(特定小電力無線局) ③ラジオゾンデ及び気象用ラジオ・ロボット
[3]	420～430	連絡無線、データ伝送装置、医療用テレメーター等の免許を要しない無線局(特定小電力無線局)
[4]	440～470	①デジタル空港無線、NTT東西の加入者線災害対策臨時電話、タクシー無線、鉄道・バス等の貨客運送事業、放送事業者の音声番組中継 ②連絡無線、データ伝送装置、医療用テレメーター等の免許を要しない無線局(特定小電力無線局)

<https://www.tele.soumu.go.jp/resource/search/myuse/use/335m.pdf> より抜粋

図 5-8 400MHz 帯対象周波数範囲

5.3.2 候補周波数

400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局は、図 5-8 に示す周波数帯が割り当てられている。今回の実証においては、送信時間制限が設けられており、連続送信できないため、使用局数が少ないと考えられた中心周波数 429.1750～429.2375MHz 内の周波数を使用することとした。この範囲内で、占有周波数帯幅 12.5kHz 時と 16kHz 時双方ともに、429.2MHz を選定した。なお、現在の制度では 400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局の中心周波数 429.1750～429.2375MHz においては、占有周波数帯幅 16kHz は使用できない。今回の実証においては、収容効率向上のために最適な占有周波数帯幅について検討を行うため、占有周波数帯幅 16kHz においても特別に実験試験局免許を取得し、実証を行う。

ch間隔 ch数	100mW (EIRP:2.14dBm)			1W (EIRP:12.14dBm)		1W (EIRP:12.14dBm)			
	単向、単信、同報			単向、単信、同報		単向、単信、同報			
	40秒送信、2秒休止 5秒送信、2秒休止(テレコン)※			40秒送信、2秒休止		連続送信			
	25kHz	12.5kHz	6.25kHz	12.5kHz	6.25kHz	12.5kHz	6.25kHz	12.5kHz	6.25kHz
	4	10	18	6	11	20	40	20	39
426.0375	426.0250	426.028125		429.1750	429.178125	429.2500	429.246875	429.5000	429.496875
	426.0375	426.034375		429.1875	429.184375	429.2625	429.253125	429.5125	429.503125
	426.046875	426.040625		429.196875	429.190625	429.2750	429.265625	429.5250	429.515625
	426.0500	426.053125		429.2000	429.203125	429.2750	429.271875	429.5250	429.521875
	426.0625	426.059375		429.2125	429.209375	429.2875	429.284375	429.5375	429.534375
	426.0625	426.065625		429.2125	429.215625	429.2875	429.290625	429.5375	429.540625
	426.0750	426.071875		429.2250	429.221875	429.3000	429.296875	429.5500	429.546875
	426.0750	426.078125		429.2250	429.228125	429.3000	429.303125	429.5500	429.553125
	426.0875	426.084375		429.2375	429.234375	429.3125	429.309375	429.5625	429.559375
	426.0875	426.090625		429.2375	429.240625	429.3125	429.315625	429.5625	429.565625
	426.1000	426.096875				429.3250	429.321875	429.5750	429.571875
	426.1000	426.103125				429.3250	429.328125	429.5750	429.578125
	426.1125	426.109375				429.3375	429.334375	429.5875	429.584375
	426.1125	426.115625				429.3375	429.340625	429.5875	429.590625
	426.1250	426.121875				429.3500	429.346875	429.6000	429.596875
426.1250	426.128125				429.3500	429.353125	429.6000	429.603125	
426.1375	426.134375				429.3625	429.359375	429.6125	429.609375	
					429.3625	429.365625	429.6125	429.615625	
					429.3750	429.371875	429.6250	429.621875	
					429.3750	429.378125	429.6250	429.628125	
					429.3875	429.384375	429.6375	429.634375	
					429.3875	429.390625	429.6375	429.640625	
					429.4000	429.396875	429.6500	429.646875	
					429.4000	429.403125	429.6500	429.653125	
					429.4125	429.409375	429.6625	429.659375	
					429.4125	429.415625	429.6625	429.665625	
					429.4250	429.421875	429.6750	429.671875	
					429.4250	429.428125	429.6750	429.678125	
					429.4375	429.434375	429.6875	429.684375	
					429.4375	429.440625	429.6875	429.690625	
					429.4500	429.446875	429.7000	429.696875	
					429.4500	429.453125	429.7000	429.703125	
					429.4625	429.459375	429.7125	429.709375	
					429.4625	429.465625	429.7125	429.715625	
					429.4750	429.471875	429.7250	429.721875	
					429.4750	429.478125	429.7250	429.728125	
					429.4875	429.484375	429.7375	429.734375	
					429.4875	429.490625	429.7375	429.7375	

実証にて使用した周波数

※ ただし、最初に電波を放射してから90秒以内の場合であって、送信時間の総和が5秒以内のときは、送信休止時間を設けずに再送信することができるものとする。この場合において、当該再送信の終了後における送信休止時間は次のとおりとする。

- (1) 最初に電波を放射してからその送信が終了するまでに要した時間が5秒以内の場合 2秒
- (2) 最初に電波を放射してからその送信が終了するまでに要した時間が5秒を超える場合 その送信に要した時間の5分の2

1W (EIRP:12.14dBm)				1W (EIRP:12.14dBm)			
単向、単信、同報、半複信、複信				単向、単信、同報、半複信、複信			
40秒送信、2秒休止 1mW以下の狭帯域規格は連続送信を可能(追加)				40秒送信、2秒休止 1mW以下の狭帯域規格は連続送信を可能(追加)			
12.5kHz	6.25kHz	12.5kHz	6.25kHz	12.5kHz	6.25kHz	12.5kHz	6.25kHz
10	18	10	18	5	8	5	8
429.8125	429.815625	449.7125	449.715625	449.8375	449.840625	469.4375	469.440625
429.8250	429.821875	449.7250	449.721875	449.8500	449.846875	469.4500	469.446875
429.8375	429.834375	449.7375	449.734375	449.8625	449.853125	469.4625	469.453125
429.8500	429.846875	449.7500	449.746875	449.8750	449.859375	469.4750	469.459375
429.8625	429.853125	449.7625	449.753125	449.8875	449.865625	469.4875	469.465625
429.8750	429.865625	449.7750	449.765625	449.8875	449.871875	469.4875	469.471875
429.8875	429.871875	449.7875	449.771875	449.8875	449.878125	469.4875	469.478125
429.8875	429.878125	449.7875	449.778125	449.8875	449.884375	469.4875	469.484375
429.8875	429.884375	449.7875	449.784375				
429.890625	429.880625	449.790625	449.780625				
429.9000	429.896875	449.8000	449.796875				
429.9000	429.903125	449.8000	449.803125				
429.9125	429.909375	449.8125	449.809375				
429.9125	429.915625	449.8125	449.815625				
429.9250	429.921875	449.8250	449.821875				

https://www.soumu.go.jp/main_content/000397020.pdf より抜粋

図 5-9 400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局周波数割り当て状況

5.3.3 既存無線システム

選定した周波数近傍にて使用されている無線局について、地域周波数利用計画策定基準一覧表や総務省電波利用ホームページ無線局等情報検索等から調査を行った。地域周波数利用計画策定基準一覧表に規定されている隣接既存システムの状況を図 5-10 に示す。

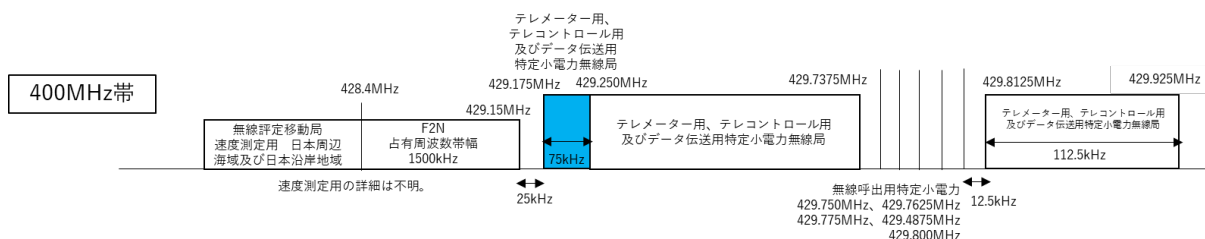


図 5-10 隣接システムの使用状況

図 5-10 の周波数範囲について、総務省電波利用ホームページ無線局等情報検索から無線局等情報を検索したが、具体的な周波数や電波の型式等は公表されていなかった。

同一周波数帯を使用する 400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局について、一般社団法人電波産業会にて標準規格 特定小電力無線局 400MHz 帯及び 1,200MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備 ARIB STD-T67 が制定されている。ARIB STD-T67 の概要を表 5-3 に示す。ARIB STD-T67 において、電波形式は F1D,F1F,F2D,F2F,F7D,F7F,G1D,G1F,G2D,G2F,G7D,G7F,D1D,D1F,D2D,D2F,D7D 又は D7F と規定されている。

表 5-3 ARIB STD-T67 の概要

(中心周波数 429.1750MHz~429.7375MHz について記載)

標準規格名	特定小電力無線局 400MHz 帯及び 1,200MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備	
無線局の種別	特定小電力無線局 (免許不要)	
通信の内容	テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用のための信号の伝送を行うものであること	
周波数	400MHz 帯	
電波型式	特に規定しない F1D,F1F,F2D,F2F,F7D,F7F,G1D,G1F,G2D, G2F,G7D,G7F,D1D,D1F,D2D,D2F,D7D 又は D7F	
空中線電力	1W(30dBm)以下、空中線分離を行う場合は、16.37mW (12.14dBm) 以下とする。	
空中線の利得	送信空中線は、絶対利得 2.14dB 以下であること。ただし、等価等方輻射電力が 12.93dBm 以上となる場合はその超えた分を送信空中線の利得で減ずるものとし、当該値以下となる場合はその低下分を送信空中線の利得で補うことができるものとする。	
占有周波数帯域幅	5.8kHz、8.5kHz	
使用可能なチャンネル数	帯域幅 5.8kHz の場合 90ch 分 8.5kHz の場合 40ch 分	
キャリアセンス	要否	必要
	キャリアセンスレベル	-96dBm
	送信時間制限	429.1750~429.2375MHz: 40 秒送信、2 秒休止 その他の周波数は連続送信可能
	1 時間あたりの送信時間総和	制限なし

既存無線システムの変調方式については、令和 5 年度調査検討の際と周波数が近い
ため、同様であると考えられる

- FSK (周波数偏移変調) ⇒ 4 値 FSK

- PSK（位相変調） ⇒ $\pi/4$ シフト QPSK
- アナログ ⇒ アナログ FM
- LoRa®

今回の実証においても、表 5-4 に示す令和 5 年度調査検討と同様な組み合わせについて
共用検討を行うこととした。

表 5-4 400MHz 帯共用検討組み合わせ

被干渉	与干渉
400MHz 帯 狭帯域 LoRa®通信 システム	400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム
	4 値 FSK
	$\pi/4$ シフト QPSK
	アナログ FM

被干渉	与干渉
4 値 FSK	400MHz 帯 狭帯域 LoRa®通信 システム
$\pi/4$ シフト QPSK	
アナログ FM	

5.4 到達距離、離隔距離の算出

150MHz帯/400MHz帯狭帯域 LoRa®の共用検討として、屋内実証実験結果を使用し、到達距離、離隔距離の算出を行った(図 5-11)。本検討では、海上から山間部までシームレスな利用を目指しているため、表 5-5 に示すように、適用地域に合わせて伝搬損失算出式を変更し、算出を実施した。

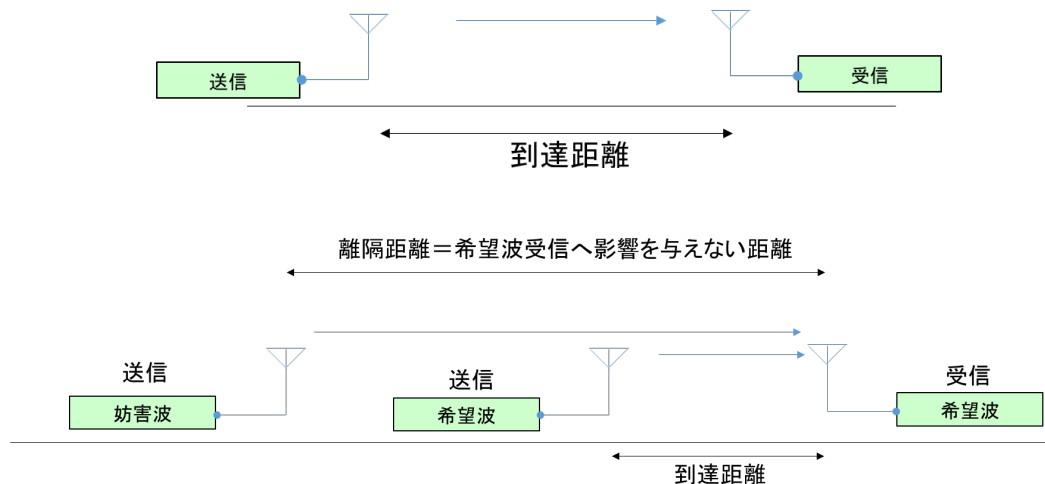


図 5-11 到達距離、離隔距離

表 5-5 到達距離、離隔距離の算出に使用した伝搬算出式

対象システム	適用地域	使用した伝搬算出式
150MHz帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz、15.6kHz	中山間地域	奥村秦式(郊外値) + リッジ損失
	平野部	奥村秦式(大都市)
	海上	2波モデル、球面大地回折
400MHz帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHzのみ	中山間地域	奥村秦式(郊外値) + リッジ損失 (令和5年度調査検討で実施済みだが、 周波数の設定を変更して再計算を実施)
	平野部	奥村秦式(大都市) (令和5年度調査検討で実施済みだが、 周波数の設定を変更して再計算を実施)
	海上	2波モデル、球面大地回折

中山間地域においては、リッジ(山の尾根)ありの条件で検討を行った。リッジ損失の計算式は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会 小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件 平成20年3月 資料集 資料6 P47

の式を使用し、リッジ損失は、150MHz 帯 25.8dB、400MHz 帯 30.3dB を使用している（図 5-12）。400MHz 帯狭帯域 LoRa®については、令和 5 年度調査検討での屋内測定は帯域幅 7.8kHz のみ実施しているため、今回の算出も帯域幅 7.8kHz のみとなっている。

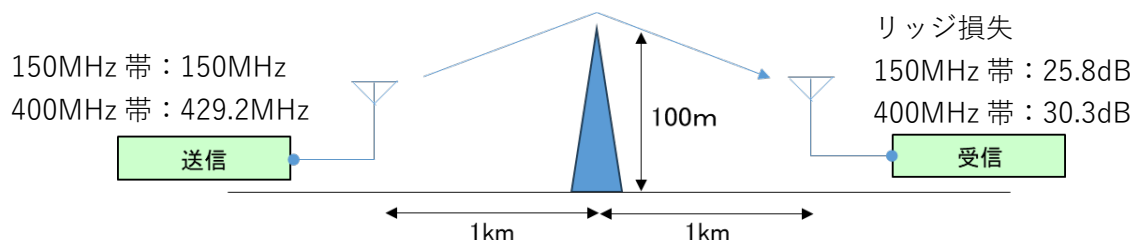


図 5-12 リッジ損失条件

奥村秦式は、以下を参照した。電子情報通信学会 AP 研伝搬データベース 奥村一秦式
https://www.ieice.org/cs/ap/misc/denpan-db/prop_model_db/model_list/okumura-hata-formula/

算出を行った数値は以下の通り。

- 到達距離

屋内実証実験結果の基準感度を使用して、到達距離の計算を実施した。受信レベルが基準感度となる時の伝搬距離を到達距離としている（図 5-13）。

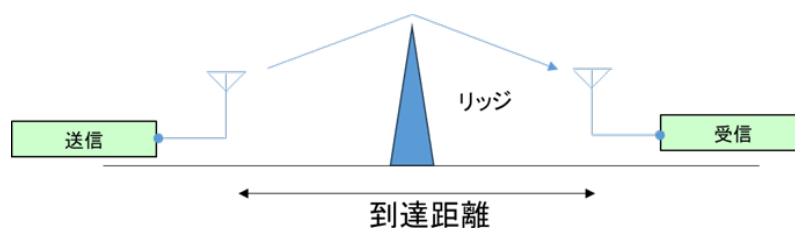


図 5-13 到達距離

- 離隔距離

屋内実証実験結果の同一チャネル干渉測定結果を使用し、同一 CH 干渉を避けるために必要な離隔距離と、隣接チャネル干渉測定結果を使用し、隣接 CH 干渉を避けるために必要な離隔距離の計算を実施した。150MHz 帯狭帯域 LoRa®については、帯域幅 7.8kHz と 15.6kHz の両方について計算を実施している。基準感度受信時に受信レベル

が許容妨害波レベルとなる時の伝搬距離を離隔距離としている（図 5-14）。

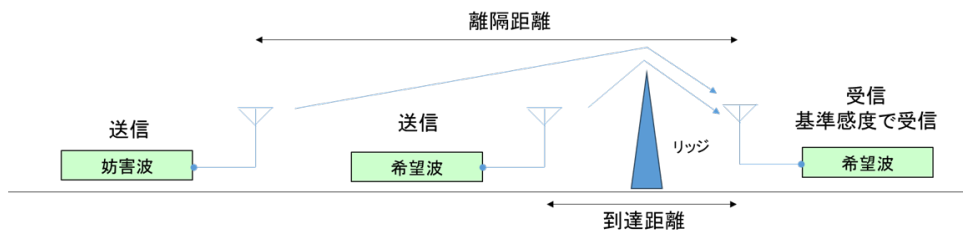


図 5-14 離隔距離

なお、到達距離、離隔距離の算出は、周波数 150.0MHz と 429.2MHz にて実施している。150MHz 帯については、実証時の周波数と異なるものの、奥村泰式の適用範囲下限である 150.0MHz とした。

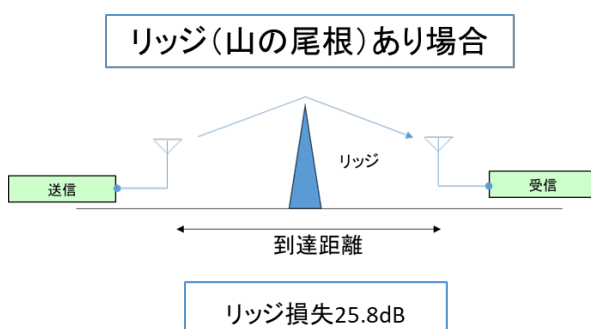
5.4.1 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 算出結果

表 5-6 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 到達距離

変調方式		基準感度	受信レベルが基準感度となる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	リッジ損失 25.8dBありの場合の伝搬損失(dB)	到達距離 (奥村秦式(郊外地) + リッジ損失にて計算)
150MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅 7.8kHz	拡散係数SF=7	-137dBm	159.8	134.0	9.4km
	拡散係数SF=8	-139dBm	161.8	136.0	10.7km
	拡散係数SF=9	-143dBm	165.8	140.0	14.0km
	拡散係数SF=10	-146dBm	168.8	143.0	17.0km
	拡散係数SF=11	-147dBm	169.8	144.0	18.2km
	拡散係数SF=12	-149dBm	171.8	146.0	20km以上 ※
150MHz 4-FSK 1W		-117dBm	139.8	114.0	2.5km

※奥村秦式の適用範囲外

変調方式		基準感度	受信レベルが基準感度となる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	リッジ損失 25.8dBありの場合の伝搬損失(dB)	到達距離 (奥村秦式(郊外地) + リッジ損失にて計算)
150MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅 15.6kHz	拡散係数SF=7	-133dBm	155.8	130.0	7.2km
	拡散係数SF=8	-137dBm	159.8	134.0	9.4km
	拡散係数SF=9	-139dBm	161.8	136.0	10.7km
	拡散係数SF=10	-142dBm	164.8	139.0	13.1km
	拡散係数SF=11	-144dBm	166.8	141.0	14.9km
	拡散係数SF=12	-147dBm	169.8	144.0	18.2km



各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会 小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方針に係る技術的条件 平成 20 年 3 月資料集 資料 6 P39 の値を使用
 送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、アレスタ損失 0.6dB
 受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
 場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、150.0MHz

表 5-7 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 同一チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム被干渉)

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値交換後) (dB)	リッジ損失25.8dBありの場合の伝搬損失 (dB)	離隔距離 (奥村泰式(郊外地) + リッジ損失にて計算)	
150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz	拡散係数SF=7	-137dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	2dB	-139dBm	161.8	136.0	10.8km
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	-9dB	-128dBm	150.8	125.0	5.3km
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	—	—	—	—	—
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	—	—	—	—	—
			150MHz 4-FSK 1W	—	—	—	—	—

令和5年度調査検討でのD/U測定値-7.5dBを適用した場合

150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz	拡散係数SF=7	-137dBm	150MHz 4-FSK 1W	-7.5dB	-129.5dBm	152.3	126.5	5.9km
----------------------------	----------	---------	-----------------	--------	-----------	-------	-------	-------

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値交換後) (dB)	リッジ損失25.8dBありの場合の伝搬損失 (dB)	離隔距離 (奥村泰式(郊外地) + リッジ損失にて計算)	
150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅15.6kHz	拡散係数SF=7	-133dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	1dB	-134dBm	156.8	131.0	7.8km
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	-11dB	-122dBm	144.8	122.0	4.4km
			150MHz 4-FSK 1W	-11dB	-122dBm	144.8	122.0	4.4km

表 5-8 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 同一チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム与干渉)

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値交換後) (dB)	リッジ損失25.8dBありの場合の伝搬損失 (dB)	離隔距離 (奥村泰式(郊外地) + リッジ損失にて計算)
150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	—	—	—	—	—

令和5年度調査検討でのD/U測定値を適用した場合

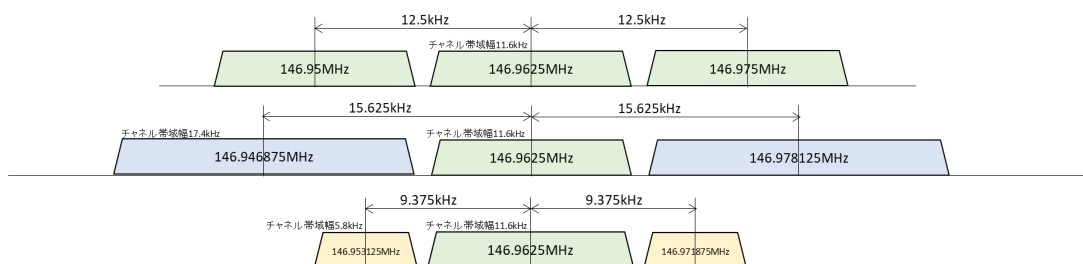
150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	17dB	-134dBm	156.8	131.0	7.8km
-----------------	---------	------------------------------------	------	---------	-------	-------	-------

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値交換後) (dB)	リッジ損失25.8dBありの場合の伝搬損失 (dB)	離隔距離 (奥村泰式(郊外地) + リッジ損失にて計算)	
150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅15.6kHz	拡散係数SF=7	10dB	-127dBm	149.8	124.0	5.0km
			拡散係数SF=10	4dB	-121dBm	143.8	118.0	3.4km
			拡散係数SF=12	7dB	-124dBm	146.8	121.0	4.1km

表 5-9 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 隣接チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム被干渉)

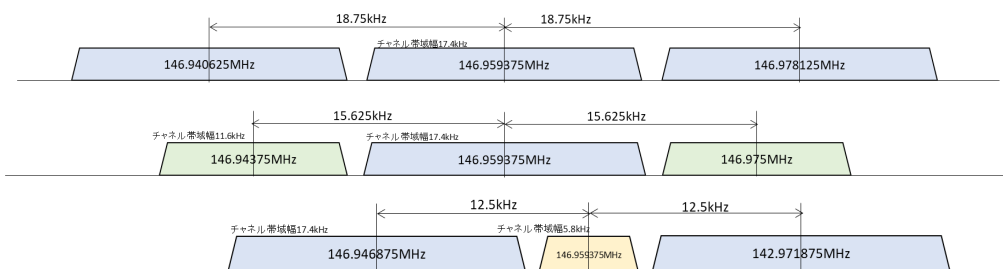
希望波変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝達損失(中央値変換後)(dB)	リッジ損失 25.8dBありの場合の伝達損失(dB)	離隔距離 (奥村泰式(郊外地)+リッジ損失にて計算)	参考 離隔距離 (自由空間伝搬+リッジ損失にて計算)
150MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=7	-137dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	12.5kHz	-59dB	-78dBm	100.8	75.0	1km以下 ※	0.9km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	12.5kHz	-64dB	-73dBm	95.8	70.0	1km以下 ※	0.5km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	15.625kHz	-63dB	-74dBm	96.8	71.0	1km以下 ※	0.6km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	15.625kHz	-65dB	-72dBm	94.8	69.0	1km以下 ※	0.5km
		150MHz 4-FSK 1W	9.375kHz	-71dB	-66dBm	88.8	63.0	1km以下 ※	0.3km

※奥村泰式の適用範囲外



希望波変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝達損失(中央値変換後)(dB)	リッジ損失 25.8dBありの場合の伝達損失(dB)	離隔距離 (奥村泰式(郊外地)+リッジ損失にて計算)	参考 離隔距離 (自由空間伝搬+リッジ損失にて計算)
150MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅15.6kHz 拡散係数SF=7	-133dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	18.75kHz	-56dB	-77dBm	99.8	74.0	1km以下 ※	0.8km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	18.75kHz	-62dB	-71dBm	93.8	68.0	1km以下 ※	0.4km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	15.625kHz	-58dB	-75dBm	97.8	72.0	1km以下 ※	0.6km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	15.625kHz	-58dB	-75dBm	97.8	72.0	1km以下 ※	0.7km
		150MHz 4-FSK 1W	12.5kHz	-64dB	-69dBm	91.8	66.0	1km以下 ※	0.4km

※奥村泰式の適用範囲外

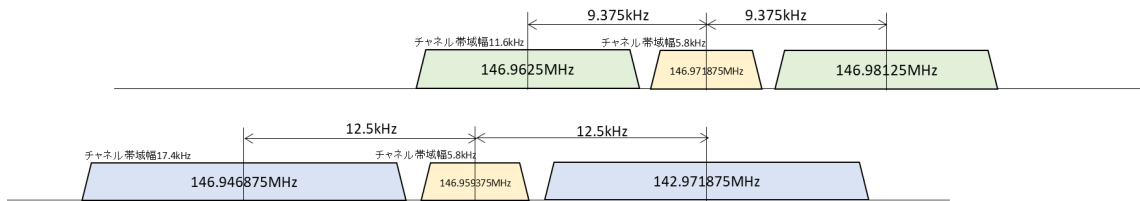


各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件平成20年3月資料集資料6 P39の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、アレータ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、150.0MHz

表 5-10 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 隣接チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム与干渉)

希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔 周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが 許容妨害波レ ベルとなる時 の伝達損失 (中央値実換 算)(dB)	リッジ損失 25.8dBの時の 伝達損失 (dB)	離隔距離 (奥村泰式(郊外 地)+リッジ損失 にて計算)	参考 離隔距離 (自由空間伝搬 損失+リッジ損 失にて計算)
150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	9.375kHz	-31dB	-86Bm	108.8	83.0	1km以下 ※	2.3km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	9.375kHz	-55dB	-62dBm	84.8	59.0	1km以下 ※	0.2km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	12.5kHz	-21dB	-96dBm	118.8	93.0	1km以下 ※	7.2km
		400MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	12.5kHz	-38dB	-79dBm	101.8	76.0	1km以下 ※	1.1km

※奥村泰式の適用範囲外



各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件
平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、
アレスタ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、150.0MHz

5.4.2 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 算出結果

表 5-11 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 到達距離

変調方式		基準感度	受信レベルが基準感度となる時の伝搬損失 (中央値変換後)(dB)	到達距離 (奥村秦式大都市)	参考到達距離 (奥村秦式郊外地)
150MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅 7.8kHz	拡散係数SF=7	-137dBm	159.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=8	-139dBm	161.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=9	-143dBm	165.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=10	-146dBm	168.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=11	-147dBm	169.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=12	-149dBm	171.8	20km以上 ※	20km以上 ※
150MHz 4-FSK 1W		-117dBm	139.8	9.0km	13.8km

※奥村秦式の適用範囲外

変調方式		基準感度	受信レベルが基準感度となる時の伝搬損失 (中央値変換後)(dB)	到達距離 (奥村秦式大都市)	参考到達距離 (奥村秦式郊外地)
150MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅 15.6kHz	拡散係数SF=7	-133dBm	155.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=8	-137dBm	159.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=9	-139dBm	161.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=10	-142dBm	164.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=11	-144dBm	166.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=12	-147dBm	169.8	20km以上 ※	20km以上 ※

※奥村秦式の適用範囲外

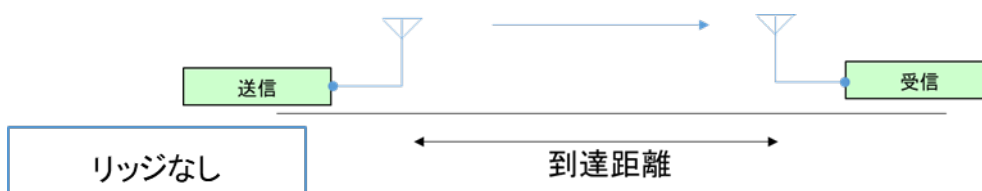


表 5-12 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 同一チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離（提案システム被干渉）

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	離隔距離 (奥村秦式(大都市)にて計算)	
150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz	拡散係数SF=7	-137dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	2dB	-139dBm	161.8	20km以上 ※
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	-9dB	-128dBm	150.8	18.7km
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	—	—	—	—
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	—	—	—	—
			150MHz 4-FSK 1W	—	—	—	—

※奥村秦式の適用範囲外

令和5年度調査検討でのD/U測定値-7.5dBを適用した場合

150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz	拡散係数SF=7	-137dBm	150MHz 4-FSK 1W	-7.5dB	-129.5dBm	152.3	20km以上 ※
----------------------------	----------	---------	-----------------	--------	-----------	-------	----------

※奥村秦式の適用範囲外

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	離隔距離 (奥村秦式(大都市)にて計算)	
150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅15.6kHz	拡散係数SF=7	-133dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	1dB	-134dBm	156.8	20km以上 ※
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	-11dB	-122dBm	144.8	12.6km
			150MHz 4-FSK 1W	-11dB	-122dBm	144.8	12.6km

※奥村秦式の適用範囲外

表 5-13 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 同一チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離（提案システム与干渉）

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	離隔距離 (奥村秦式(大都市)にて計算)
150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	—	—	—	—

令和5年度調査検討でのD/U測定値を適用した場合

150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	17dB	-134dBm	156.8	20km以上 ※
-----------------	---------	------------------------------------	------	---------	-------	----------

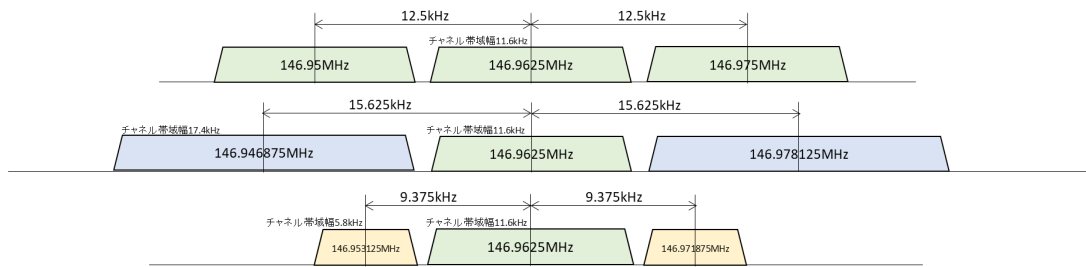
※奥村秦式の適用範囲外

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	離隔距離 (奥村秦式(大都市)にて計算)	
150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅15.6kHz	拡散係数SF=7	10dB	-127dBm	149.8	17.5km
			拡散係数SF=10	4dB	-121dBm	143.8	11.8km
			拡散係数SF=12	7dB	-124dBm	146.8	14.4km

表 5-14 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 隣接チャンネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム被干渉)

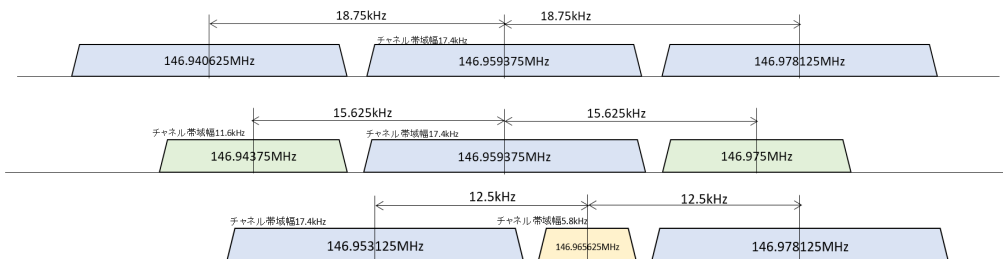
希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが 許容妨害波レ ベルとなる時の 伝搬損失(中央 値変換後)(dB)	離隔距離 (奥村泰式(大都 市)にて計算)	参考 離隔距離 (自由空間伝搬 損失にて計算)
150MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=7	-137dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	12.5kHz	-59dB	-78dBm	100.8	1km以下 ※	17.5km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	12.5kHz	-64dB	-73dBm	95.8	1km以下 ※	9.9km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	15.625kHz	-63dB	-74dBm	96.8	1km以下 ※	11.1km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	15.625kHz	-65dB	-72dBm	94.8	1km以下 ※	8.8km
		150MHz 4-FSK 1W	9.375kHz	-71dB	-66dBm	88.8	1km以下 ※	4.4km

※奥村泰式の適用範囲外



希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが 許容妨害波レ ベルとなる時の 伝搬損失(中央 値変換後)(dB)	離隔距離 (奥村泰式(大都 市)にて計算)	参考 離隔距離 (自由空間伝搬 損失にて計算)
150MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅15.6kHz 拡散係数SF=7	-133dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	18.75kHz	-56dB	-77dBm	99.8	1km以下 ※	15.6km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	18.75kHz	-62dB	-71dBm	93.8	1km以下 ※	7.8km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	15.625kHz	-58dB	-75dBm	97.8	1km以下 ※	12.4km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	15.625kHz	-58dB	-75dBm	97.8	1km以下 ※	12.4km
		150MHz 4-FSK 1W	12.5kHz	-64dB	-69dBm	91.8	1km以下 ※	6.2km

※奥村泰式の適用範囲外

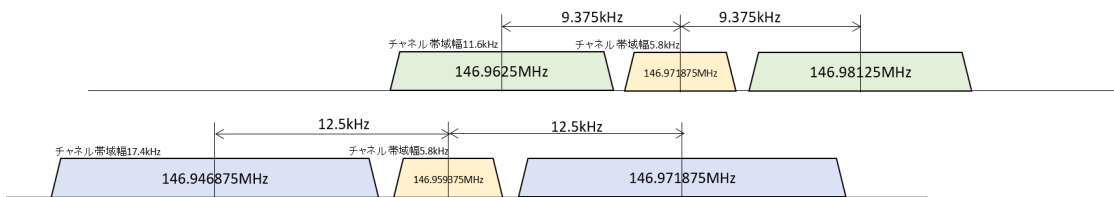


各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件
平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、
アレスタ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、150.0MHz

表 5-15 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 隣接チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム与干渉)

希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔 周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが 許容妨害波レ ベルとなる時 の伝搬損失 (中央値交換 後)(dB)	離隔距離 (奥村泰式(大都 市)にて計算)	参考 離隔距離 (自由空間伝搬 損失にて計算)
150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	9.375kHz	-31dB	-86Bm	108.8	1.2km	43.9km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	9.375kHz	-55dB	-62dBm	84.8	1km以下 ※	2.8km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	12.5kHz	-21dB	-96dBm	118.8	2.3km	138.7km
		400MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	12.5kHz	-38dB	-79dBm	101.8	1km以下 ※	19.6km

※奥村泰式の適用範囲外



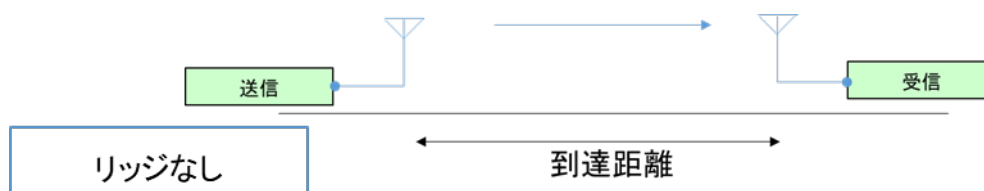
各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件
平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、
アRESTA 損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、150.0MHz

5.4.3 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 算出結果

表 5-16 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 到達距離

変調方式		基準感度	受信レベルが基準感度となる時の伝搬損失 (dB)	到達距離 (二波モデル)	到達距離 (球面大地回折)
150MHz帯 狭帯域 LoRa 1W 帯域幅 7.8kHz	拡散係数SF=7	-137dBm	158.2	60.4km	48.5km
	拡散係数SF=8	-139dBm	160.2	67.7km	50.3km
	拡散係数SF=9	-143dBm	164.2	85.2km	53.8km
	拡散係数SF=10	-146dBm	167.2	101.3km	56.5km
	拡散係数SF=11	-147dBm	168.2	107.3km	57.3km
150MHz 4-FSK 1W		-117dBm	138.2	19.1km	31.3km

変調方式		基準感度	受信レベルが基準感度となる時の伝搬損失 (dB)	到達距離 (二波モデル)	到達距離 (球面大地回折)
150MHz帯 狭帯域 LoRa 1W 帯域幅 15.6kHz	拡散係数SF=7	-133dBm	154.2	48.0km	45.0km
	拡散係数SF=8	-137dBm	158.2	60.4km	48.5km
	拡散係数SF=9	-139dBm	160.2	67.7km	50.3km
	拡散係数SF=10	-142dBm	163.2	80.5km	52.9km
	拡散係数SF=11	-144dBm	165.2	90.3km	54.7km
	拡散係数SF=12	-147dBm	168.2	107.3km	57.3km



各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件
平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、給電線損失 3.5dB、アレスタ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、給電線損失 1.0dB、場所率マージン 3.0dB、
複局干渉 5.0dB、150.0MHz

二波モデル
150.0MHz、送信アンテナ高 30m、受信アンテナ高 1.5m

球面大地回折
150.0MHz、地球半径 6378137m、等価地球半径係数 4/3、
海水の実効導電率 4S/m、送信アンテナ高 30m、受信アンテナ高 1.5m

表 5-17 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 同一チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離（提案システム被干渉）

希望波 変調方式		基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝播損失 (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)
150MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅 7.8kHz	拡散係数 SF=7	-137dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	2dB	-139dBm	160.2	67.7km	50.3km
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	-9dB	-128dBm	149.2	36.0km	40.7km
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	—	—	—	—	—
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	—	—	—	—	—
			150MHz 4-FSK 1W	—	—	—	—	—

令和5年度調査検討でのD/U測定値-7.5dBを適用した場合

150MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz	拡散係数 SF=7	-137dBm	150MHz 4-FSK 1W	-7.5dB	-129.5dBm	150.7	39.2km	42.0km
-----------------------------	-----------	---------	-----------------	--------	-----------	-------	--------	--------

希望波 変調方式		基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝播損失 (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)
150MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅 15.6kHz	拡散係数 SF=7	-133dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	1dB	-134dBm	155.2	50.8km	45.9km
			150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	-11dB	-122dBm	143.2	25.5km	35.6km
			150MHz 4-FSK 1W	-11dB	-122dBm	143.2	25.5km	35.6km

表 5-18 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 同一チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離（提案システム与干渉）

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝播損失 (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)
150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	—	—	—	—	—

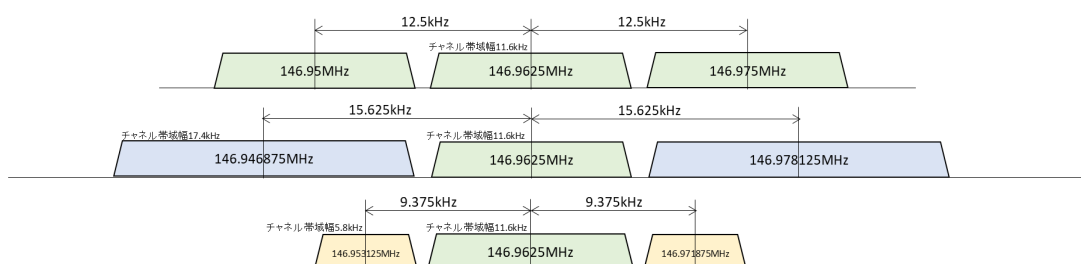
令和5年度調査検討でのD/U測定値を適用した場合

150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	17dB	-134dBm	155.2	50.8km	45.9km
-----------------	---------	-------------------------------------	------	---------	-------	--------	--------

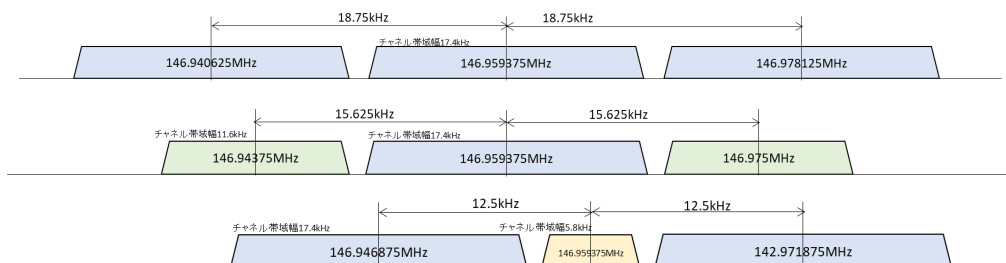
希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式		D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝播損失(中央値交換後) (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)
150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅15.6kHz	拡散係数 SF=7	10dB	-127dBm	148.2	34.0km	39.9km
			拡散係数 SF=10	4dB	-121dBm	142.2	24.1km	34.7km
			拡散係数 SF=12	7dB	-124dBm	145.2	28.6km	37.3km

表 5-19 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 隣接チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム被干渉)

希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが 許容妨害波レ ベルとなる時の 伝搬損失 (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)
150MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=7	-137dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	12.5kHz	-59dB	-78dBm	99.2	2.1km	6.8km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	12.5kHz	-64dB	-73dBm	94.2	1.6km	5.2km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	15.625kHz	-63dB	-74dBm	95.2	1.7km	5.5km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	15.625kHz	-65dB	-72dBm	93.2	1.5km	5.0km
		150MHz 4-FSK 1W	9.375kHz	-71dB	-66dBm	87.2	1.1km	3.6km



希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが 許容妨害波レ ベルとなる時の 伝搬損失 (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)
150MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅15.6kHz 拡散係数SF=7	-133dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	18.75kHz	-56dB	-77dBm	98.2	2.0km	6.4km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	18.75kHz	-62dB	-71dBm	92.2	1.4km	4.7km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	15.625kHz	-58dB	-75dBm	96.2	1.7km	5.8km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	15.625kHz	-58dB	-75dBm	96.2	1.7km	5.8km
		150MHz 4-FSK 1W	12.5kHz	-64dB	-69dBm	90.2	1.3km	4.2km



各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移动通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件
平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、給電線損失 3.5dB、アレスタ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、給電線損失 1.0dB、場所率マージン 3.0dB、
複局干渉 5.0dB、150.0MHz

二波モデル

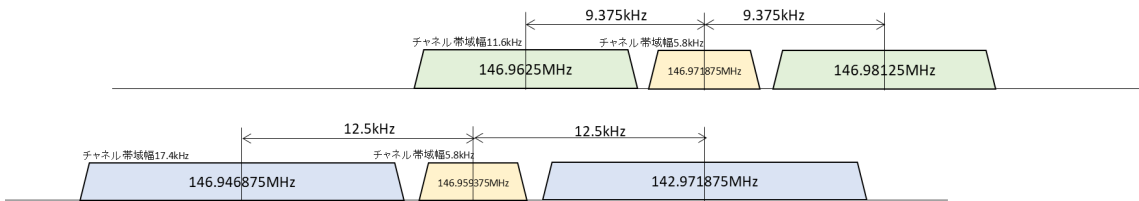
150.0MHz、送信アンテナ高 30m、受信アンテナ高 1.5m

球面大地回折

150.0MHz、地球半径 6378137m、等価地球半径係数 4/3、
海水の実効導電率 4S/m、送信アンテナ高 30m、

表 5-20 150MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 隣接チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム与干渉)

希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔 周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが 許容妨害波レ ベルとなる時の 伝搬損失 (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)
150MHz 4-FSK 1W	-117dBm	150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅7.8kHz	9.375kHz	-31dB	-86Bm	107.2	3.3km	10.0km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅7.8kHz	9.375kHz	-55dB	-62dBm	83.2	0.9km	2.3km
		150MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=7 帯域幅15.6kHz	12.5kHz	-21dB	-96dBm	117.2	5.7km	15.5km
		400MHz帯狭帯域LoRa 1W 拡散係数SF=10 帯域幅15.6kHz	12.5kHz	-38dB	-79dBm	100.2	2.2km	7.1km



各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移動通信の利用・高度化方策に係る技術的条件
平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、給電線損失 3.5dB、アレスタ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、給電線損失 1.0dB、場所率マージン 3.0dB、
複局干渉 5.0dB、150.0MHz

二波モデル
150.0MHz、送信アンテナ高 30m、受信アンテナ高 1.5m

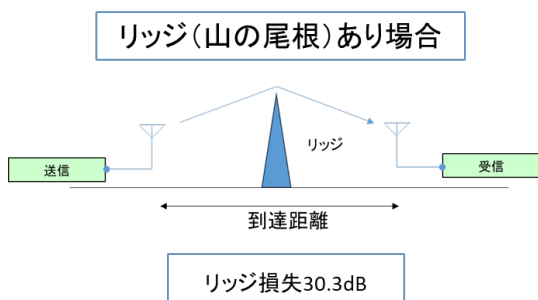
球面大地回折
150.0MHz、地球半径 6378137m、等価地球半径係数 4/3、
海水の実効導電率 4S/m、送信アンテナ高 30m、

5.4.4 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 算出結果

表 5 -21 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 到達距離

変調方式		基準感度	受信レベルが基準感度となる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	リッジ損失 30.3dBありの場合の伝搬損失(dB)	到達距離 (奥村秦式(郊外地)+リッジ損失にて計算)
400MHz 帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅 7.8kHz	拡散係数SF=7	-134dBm	156.8	126.5	2.9km
	拡散係数SF=8	-137dBm	159.8	129.5	3.6km
	拡散係数SF=9	-139dBm	161.8	131.5	4.1km
	拡散係数SF=10	-142dBm	164.8	134.5	5.0km
	拡散係数SF=11	-144dBm	166.8	136.5	5.7km
	拡散係数SF=12	-146dBm	168.8	138.5	6.5km
429MHz帯特定小電力LoRa 帯域幅7.8kHz SF=7 10mW		-134dBm	136.8	106.5	1km以下 ※
4-FSK 5W		-117dBm	146.8	116.5	1.5km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W		-116dBm	145.8	115.5	1.4km
FM 5W		-124dBm	153.8	123.5	2.4km

※奥村秦式の適用範囲外



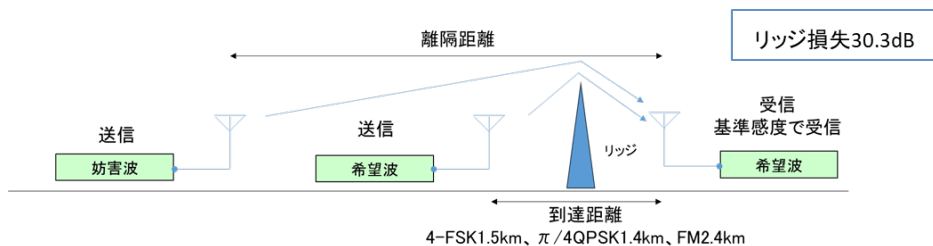
各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会 小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件 平成 20 年 3 月資料集 資料 6 P39 の値を使用
 送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、アレスタ損失 0.6dB
 受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
 場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、429.2MHz

表 5-22 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 同一チャンネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム被干渉)

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	リッジ損失30.3dBありの場合の伝搬損失(dB)	離隔距離 (奥村秦式(郊外地) + リッジ損失にて計算)	
400MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz	拡散係数SF=7	-134dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	4dB	-138dBm	160.8	130.5	3.9km
			400MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz拡散係数SF=10	-9dB	-125dBm	147.8	117.5	1.7km
			4-FSK 5W	-7.5dB	-126.5dBm	156.3	126.0	2.9km
			$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-6.9dB	-127.1dBm	156.9	126.6	3.0km
			FM 5W	-8.5dB	-125.5dBm	155.3	125.0	2.8km

表 5-23 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 同一チャンネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム与干渉)

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	リッジ損失30.3dBありの場合の伝搬損失(dB)	離隔距離 (奥村秦式(郊外地) + リッジ損失にて計算)
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	17dB	-134dBm	163.8	133.5	4.8km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		8.8dB	-124.4dBm	154.2	123.9	2.7km
FM 5W	-124dBm		6dB	-130dBm	159.8	129.5	3.9km
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W帯域幅7.8kHz拡散係数SF=10	17dB	-134dBm	163.8	133.5	4.8km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		10.8dB	-126.8dBm	156.6	126.3	3.0km
FM 5W	-124dBm		6dB	-130dBm	159.8	129.5	3.7km



各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会 小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件 平成 20 年 3 月資料集 資料 6 P39 の値を使用
 送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、アレスタ損失 0.6dB
 受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
 場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、429.2MHz

表 5-24 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 隣接チャンネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム被干渉)

希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容 妨害波 レベル	受信レベルが 許容妨害波レ ベルとなる時 の伝搬損失 (中央値変換 後) (dB)	リッジ損失 30.3dBありの 場合の伝搬 損失 (dB)	離隔距離 (奥村泰式(郊外地) + リッジ損失にて計算)	参考 離隔距離 (自由空間伝搬 + リッジ損失にて計算)
400MHz帯 狭帯域LoRa 1W帯域幅 7.8kHz 拡散係数SF=7	-134dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	12.5kHz	-54dB	-80dBm	102.8	72.5	1km以下 ※	0.3km
		400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=10	12.5kHz	-60dB	-74dBm	96.8	66.5	1km以下 ※	0.2km
		4-FSK 5W	12.5kHz	-68.5dB	-65.5dBm	95.3	65.0	1km以下 ※	0.2km
		$\pi/4$ シフトQPSK 5W	12.5kHz	-58.9dB	-75.1dBm	104.9	74.6	1km以下 ※	0.3km
		FM 5W	12.5kHz	-66.5dB	-67.5dBm	97.3	67.0	1km以下 ※	0.2km

※奥村泰式の適用範囲外

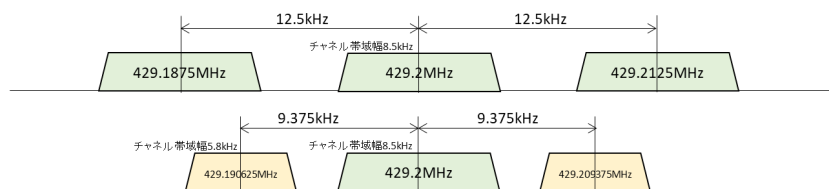
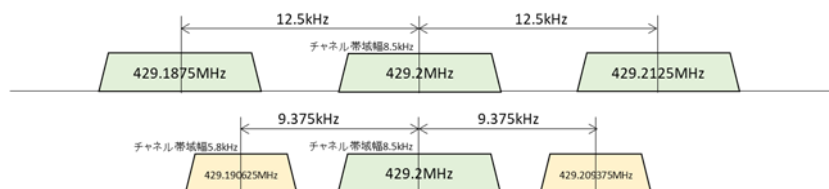


表 5-25 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 中山間地域 隣接チャンネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム与干渉)

希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが許 容妨害波レベル となる時の伝搬 損失(中央値変 換後) (dB)	リッジ損失 30.3dBありの場 合の伝搬損失 (dB)	離隔距離 (奥村泰式(郊外 地) + リッジ損失に て計算)	参考 離隔距離 (自由空間伝搬損失 + リッジ損失にて計算)
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=7	9.375kHz	-27dB	-90dBm	112.8	82.5	1km以下 ※	0.8km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		9.375kHz	-28.2dB	-87.8dBm	110.6	80.3	1km以下 ※	0.6km
FM 5W	-124dBm		12.5kHz	-33dB	-91dBm	113.8	83.5	1km以下 ※	0.9km
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=10	9.375kHz	-42dB	-75dBm	97.8	67.5	1km以下 ※	0.2km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		9.375kHz	-39.2dB	-76.8dBm	99.6	69.3	1km以下 ※	0.2km
FM 5W	-124dBm		12.5kHz	-55dB	-69dBm	91.8	61.5	1km以下 ※	0.1km

※奥村泰式の適用範囲外



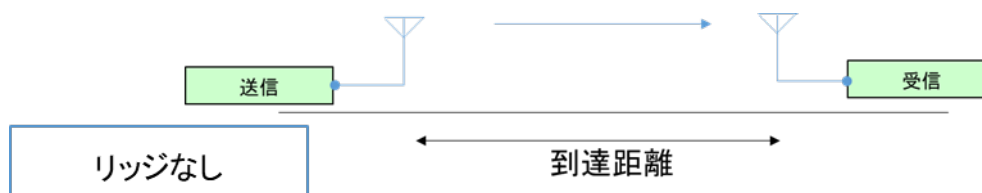
各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件
平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、
アレスタ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、429.2MHz

5.4.5 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 算出結果

表 5-26 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 到達距離

変調方式		基準感度	受信レベルが基準感度となる時の伝搬損失 (中央値変換後)(dB)	到達距離 (奥村秦式大都市)	参考到達距離 (奥村秦式郊外地)
400MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅 7.8kHz	拡散係数SF=7	-134dBm	156.8	12.6km	20km以上 ※
	拡散係数SF=8	-137dBm	159.8	15.3km	20km以上 ※
	拡散係数SF=9	-139dBm	161.8	17.5km	20km以上 ※
	拡散係数SF=10	-142dBm	164.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=11	-144dBm	166.8	20km以上 ※	20km以上 ※
	拡散係数SF=12	-146dBm	168.8	20km以上 ※	20km以上 ※
429MHz帯特定小電力LoRa SF=7 10mW		-134dBm	136.8	3.4km	5.8km
4-FSK 5W		-117dBm	146.8	6.5km	11.2km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W		-116dBm	145.8	6.1km	10.5km
FM 5W		-124dBm	153.8	10.3km	17.7km

※奥村秦式の適用範囲外



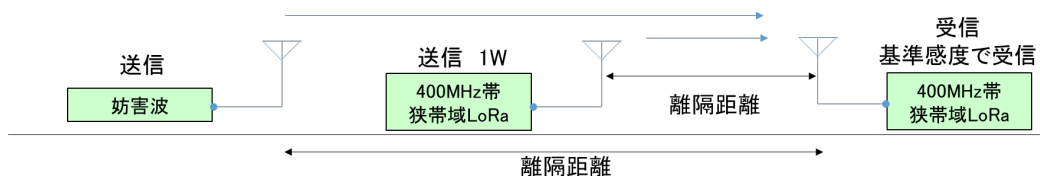
各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件
平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、
アレスタ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、429.2MHz

表 5-27 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 同一チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム被干渉)

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	離隔距離 (奥村秦式(大都市)にて計算)	
400MHz帯狭帯域 LoRa 1W 帯域幅 7.8kHz	拡散係数 SF=7	-134dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	4dB	-138dBm	160.8	16.4km
			400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=10	-9dB	-125dBm	147.8	7.1km
			4-FSK 5W	-7.5dB	-126.5dBm	156.3	12.3km
			$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-6.9dB	-127.1dBm	156.9	12.8km
			FM 5W	-8.5dB	-125.5dBm	155.3	11.5km

表 5-28 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 同一チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム与干渉)

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失(中央値変換後)(dB)	離隔距離 (奥村秦式(大都市)にて計算)
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=7	17dB	-134dBm	163.8	20.0km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		8.8dB	-124.4dBm	154.2	10.7km
FM 5W	-124dBm		6dB	-130dBm	159.8	15.4km
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=10	17dB	-134dBm	163.8	20.0km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		10.8dB	-126.8dBm	156.6	12.5km
FM 5W	-124dBm		6dB	-130dBm	159.8	15.4km



各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件
平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、
アレスタ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、429.2MHz

表 5-29 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 隣接チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム被干渉)

希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容 妨害波 レベル	受信レベルが 許容妨害波レ ベルとなる時の 伝搬損失(中央 値変換後)(dB)	離隔距離 (奥村泰式(大都市) にて計算)	参考 離隔距離 (自由空間伝搬損 失にて計算)
400MHz帯 狭帯域LoRa 1W帯域幅 7.8kHz 拡散係数SF=7	-134dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	12.5kHz	-54dB	-80dBm	102.8	1km以下 ※	7.7km
		400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=10	12.5kHz	-60dB	-74dBm	96.8	1km以下 ※	3.9km
		4-FSK 5W	9.375kHz	-67.5dB	-66.5dBm	96.3	1km以下 ※	3.7km
		$\pi/4$ シフトQPSK 5W	9.375kHz	-58.9dB	-75.1dBm	104.9	1km以下 ※	9.8km
		FM 5W	12.5kHz	-66.5dB	-67.5dBm	97.3	1km以下 ※	4.1km

※奥村泰式の適用範囲外

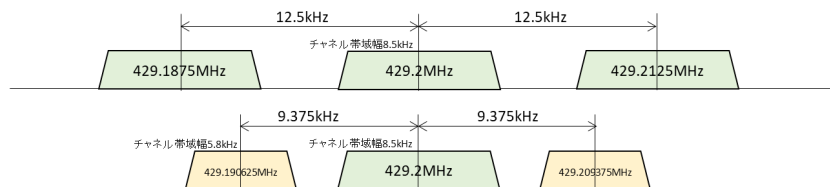
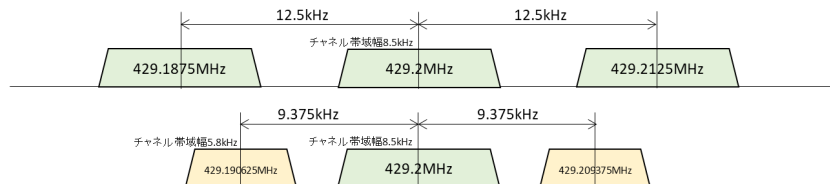


表 5-30 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 平野部 隣接チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム与干渉)

希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔 周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが 許容妨害波レ ベルとなる時の 伝搬損失(中央 値変換後)(dB)	離隔距離 (奥村泰式(大都市) にて計算)	参考 離隔距離 (自由空間伝搬損 失にて計算)
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=7	9.375kHz	-27dB	-90dBm	112.8	1km以下 ※	24.2km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		9.375kHz	-28.2dB	-87.8dBm	110.6	1km以下 ※	18.8km
FM 5W	-124dBm		12.5kHz	-33dB	-91dBm	113.8	1.3km	27.1km
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=10	9.375kHz	-42dB	-75dBm	97.8	1km以下 ※	4.3km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		9.375kHz	-39.2dB	-76.8dBm	99.6	1km以下 ※	5.3km
FM 5W	-124dBm		12.5kHz	-55dB	-69dBm	91.8	1km以下 ※	2.2km

※奥村泰式の適用範囲外

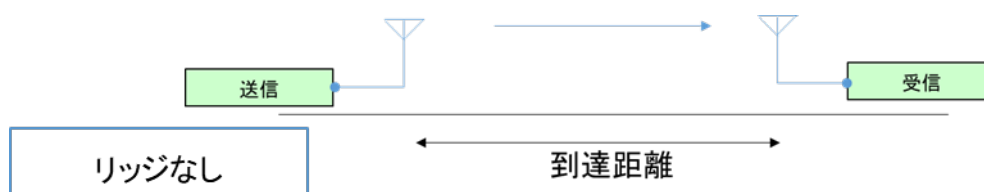


各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会 小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件 平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
 送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、アレスタ損失 0.6dB
 受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
 場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、429.2MHz

5.4.6 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 算出結果

表 5-31 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 到達距離

変調方式		基準感度	受信レベルが基準感度となる時の伝搬損失 (dB)	到達距離 (二波モデル)	到達距離 (球面大地回折)
400MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅 7.8kHz	拡散係数SF=7	-134dBm	155.2	50.8km	38.9km
	拡散係数SF=8	-137dBm	158.2	60.4km	40.7km
	拡散係数SF=9	-139dBm	160.2	67.7km	42.0km
	拡散係数SF=10	-142dBm	163.2	80.5km	43.8km
	拡散係数SF=11	-144dBm	165.2	90.3km	45.1km
	拡散係数SF=12	-146dBm	167.2	101.3km	46.4km
429MHz帯特定小電力LoRa SF=7 帯域幅7.8kHz 10mW		-134dBm	135.2	16.1km	26.6km
4-FSK 5W		-117dBm	145.2	28.6km	32.7km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W		-116dBm	144.2	27.0km	32.1km
FM 5W		-124dBm	152.2	42.7km	37.0km



各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件
平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、給電線損失 3.5dB、アレスタ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、給電線損失 1.0dB、場所率マージン 3.0dB、
複局干渉 5.0dB、429.2MHz

二波モデル
429.2MHz、送信アンテナ高 30m、受信アンテナ高 1.5m

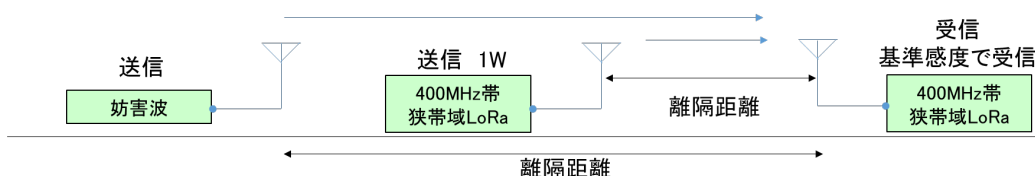
球面大地回折
429.2MHz、地球半径 6378137m、等価地球半径係数 4/3、
海水の実効導電率 4S/m、送信アンテナ高 30m、受信アンテナ高 1.5m

表 5-32 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 同一チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム被干渉)

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失 (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)	
400MHz帯狭帯域 LoRa 1W 帯域幅 7.8kHz	拡散係数 SF=7	-134dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	4dB	-138dBm	159.2	63.9km	41.3km
			400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=10	-9dB	-125dBm	146.2	30.3km	33.3km
			4-FSK 5W	-7.5dB	-126.5dBm	154.7	49.4km	38.5km
			$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-6.9dB	-127.1dBm	155.3	51.0km	38.9km
			FM 5W	-8.5dB	-125.5dBm	153.7	46.8km	37.9km

表 5-33 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 同一チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム与干渉)

希望波 変調方式	基準感度	妨害波 変調方式	D/U	許容妨害波レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝搬損失 (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=7	17dB	-134dBm	162.2	76.0km	43.2km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		8.8dB	-124.4dBm	152.6	43.7km	37.2km
FM 5W	-124dBm		6dB	-130dBm	158.2	60.4km	40.7km
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=10	17dB	-134dBm	162.2	76.0km	43.2km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		10.8dB	-126.8dBm	155.0	50.3km	38.7km
FM 5W	-124dBm		6dB	-130dBm	158.2	60.4km	40.7km



各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会
小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件
平成20年3月 資料集 資料6 P39の値を使用
送信アンテナ利得 2.14dBi、送信アンテナの高さ 30m、給電線損失 3.5dB、
アレスタ損失 0.6dB
受信アンテナ利得 2.14dBi、受信アンテナの高さ 1.5m、給電線損失 1.0dB
場所率マージン 3.0dB、複局干渉 5.0dB、429.2MHz

表 5-34 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 隣接チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム被干渉)

希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝達損失 (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)
400MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=7	-134dBm	400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=7	12.5kHz	-54dB	-80dBm	101.2	2.3km	6.4km
		400MHz帯狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz拡散係数SF=10	12.5kHz	-60dB	-74dBm	95.2	1.6km	3.2km
		4-FSK 5W	9.375kHz	-67.5dB	-66.5dBm	94.7	1.6km	3.1km
		$\pi/4$ シフトQPSK 5W	9.375kHz	-58.9dB	-75.1dBm	103.3	2.6km	8.1km
		FM 5W	12.5kHz	-66.5dB	-67.5dBm	95.7	1.7km	3.4km

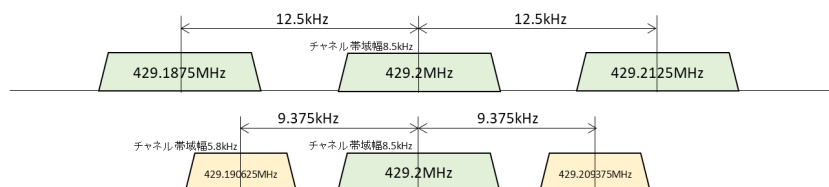
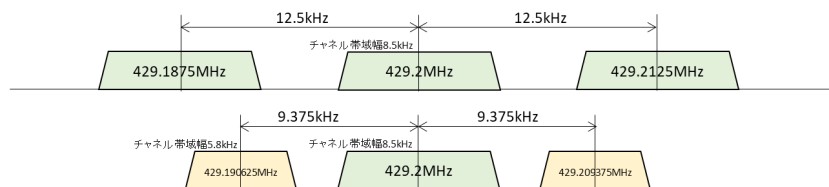


表 5-35 400MHz 帯狭帯域 LoRa® 海上 隣接チャネル干渉を避けるために必要な離隔距離 (提案システム与干渉)

希望波 変調方式	基準 感度	妨害波 変調方式	離隔周波数	D/U	許容妨害波 レベル	受信レベルが許容妨害波レベルとなる時の伝達損失 (dB)	離隔距離 (二波モデル)	離隔距離 (球面大地回折)
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=7	9.375kHz	-27dB	-90dBm	111.2	4.1km	13.0km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		9.375kHz	-28.2dB	-87.8dBm	109.0	3.6km	12.0km
FM 5W	-124dBm		12.5kHz	-33dB	-91dBm	112.2	4.3km	13.5km
4-FSK 5W	-117dBm	400MHz帯 狭帯域LoRa 1W 帯域幅7.8kHz 拡散係数SF=10	9.375kHz	-42dB	-75dBm	96.2	1.7km	3.6km
$\pi/4$ シフトQPSK 5W	-116dBm		9.375kHz	-39.2dB	-76.8dBm	98.0	1.9km	4.4km
FM 5W	-124dBm		12.5kHz	-55dB	-69dBm	90.2	1.2km	1.8km



各種条件は、情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会 小電力を用いるの自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件 平成 20 年 3 月 資料集 資料 6 P39 の値を使用
 送信アンテナ利得 2.14dBi、給電線損失 3.5dB、アレスタ損失 0.6dB
 受信アンテナ利得 2.14dBi、給電線損失 1.0dB、場所率マージン 3.0dB、
 複局干渉 5.0dB、429.2MHz

二波モデル
 429.2MHz、送信アンテナ高 30m、受信アンテナ高 1.5m

球面大地回折
 429.2MHz、地球半径 6378137m、等価地球半径係数 4/3、
 海水の実効導電率 4S/m、送信アンテナ高 30m、受信アンテナ高 1.5m

5.4.7 共用検討（離隔距離）まとめ

以上の結果から、150MHz帯/400MHz帯狭帯域LoRa®の周波数共用条件（離隔距離）については、下表の通りと考えられる。

表 5-36 周波数共用条件（離隔距離）（提案システム被干渉 同一チャネル干渉）

被干渉	適用地域	同一チャネル干渉 与干渉	
		同一システム (LoRa®)	既存システム (4-FSK)
150MHz帯狭帯域LoRa® 帯域幅 7.8kHz	中山間地域	10.8km	5.9km
	平野部	20km 以上	20km 以上
	海上	50.3km	39.2km
150MHz帯狭帯域LoRa® 帯域幅 15.6kHz	中山間地域	7.8km	4.4km
	平野部	20km 以上	12.6km
	海上	45.9km	25.5km
400MHz帯狭帯域LoRa® 帯域幅 7.8kHz	中山間地域	3.9km	2.9km
	平野部	16.4km	12.3km
	海上	41.3km	38.5km

表 5-37 周波数共用条件（離隔距離）（提案システム与干渉 同一チャネル干渉）

被干渉	適用地域	同一チャネル干渉 与干渉	
		150MHz 帯 狭 帯 域 LoRa®帯域幅 7.8kHz	150MHz 帯 狭 帯 域 LoRa®帯域幅 15.6kHz
150MHz 帯 4-FSK	中山間地域	7.8km	5.0km
	平野部	20km 以上	17.5km
	海上	45.9km	34.0km
		400MHz 帯 狭 帯 域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz	
400MHz 帯 4-FSK	中山間地域	4.8km	
	平野部	20.0km	
	海上	43.2km	

表 5-38 周波数共用条件（離隔距離）（提案システム被干渉 隣接チャンネル干渉）

被干渉	適用地域	隣接チャンネル干渉 与干渉	
		同一システム (LoRa®)	既存システム (4-FSK)
150MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz	中山間地域	1km 以下	1km 以下
	平野部	1km 以下	1km 以下
	海上	2.1km 以下	1.1km 以下
150MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 15.6kHz	中山間地域	1km 以下	1km 以下
	平野部	1km 以下	1km 以下
	海上	2.0km	1.3km
400MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz	中山間地域	1km 以下	1km 以下
	平野部	1km 以下	1km 以下
	海上	2.3km	1.6km

表 5-39 周波数共用条件（離隔距離）（提案システム与干渉 隣接チャンネル干渉）

被干渉	適用地域	隣接チャンネル干渉 与干渉	
		150MHz 帯狭帯域 LoRa®帯域幅 7.8kHz	150MHz 帯狭帯域 LoRa®帯域幅 15.6kHz
150MHz 帯 4-FSK	中山間地域	1km 以下	1km 以下
	平野部	1.2km	2.3km
	海上	3.3km	5.7km
		400MHz 帯狭帯域 LoRa® 帯域幅 7.8kHz	
400MHz 帯 4-FSK	中山間地域	1km 以下	
	平野部	1km 以下	
	海上	4.1km	

- ・ 同一チャネル干渉

150MHz 帯狭帯域 LoRa®について、中山間地域においては離隔距離 10km 程度、平野部では 20km 程度、海上では 50km 程度と長い離隔距離が必要となる。

400MHz 帯狭帯域 LoRa®について、中山間地域においては離隔距離 4km 程度となるものの平野部では 16km 程度、海上では 40km 程度と長い離隔距離が必要となる。

- ・ 隣接チャネル干渉

150MHz 帯狭帯域 LoRa®, 400MHz 帯狭帯域 LoRa®共に、中山間地域と平野部では 1km 以下程度となるが、海上では 2~4km 程度と長い離隔距離が必要となる。

第6章 諸元・運用条件案

6.1 諸元・運用条件案の検討

本調査検討において、400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムについては、令和5年度調査検討での諸元・運用条件案をもとに、今回実施した各種実証実験や共用検討の結果を受けて、陸上から海上までシームレスに利用可能となるよう、諸元・運用条件案の見直しを行う方向で検討を行った。

150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムについては、見直した400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの諸元・運用条件案をもとに、150MHz 帯へ適用可能なように修正を行う方向で検討を行った。

6.2 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム諸元・運用条件案

本調査検討における400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの諸元・運用条件案を表6-1に示す。赤字で示す部分が令和5年度調査検討での諸元・運用条件案からの主な見直し箇所となる。

表 6-1 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム諸元・運用条件案

システム名	400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム		
	特定小電力無線局	登録局	免許局
通信の内容	テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用のための信号の伝送を行うものであること。		
周波数	400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局の周波数	400MHz 帯 または 400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局の周波数	400MHz 帯
	429MHz、449MHz、469MHz 帯において40秒送信、2秒休止とされている周波数	429MHz、449MHz、469MHz 帯において40秒送信、2秒休止とされている周波数	
空中線電力	1W 以下		
占有周波数帯幅	8.5kHz、16kHz		

キャリアセンス	あり	あり	なし
キャリアセンスレベル	-96dBm		
	LoRa®の電波を受信しているか否かで判断を行うキャリアセンス機能を合わせて搭載することが推奨される		
送信時間制限	占有周波数帯幅 8.5kHz 時 30 秒以下 16kHz 時 15 秒以下	占有周波数帯幅 8.5kHz 時 30 秒以下 16kHz 時 15 秒以下	制限なし
送信休止時間	2 秒以上	2 秒以上	制限なし
1 時間あたりの送信時間総和	36 秒以下	制限なし	制限なし
送信時間、休止時間、送信時間総和の制限方法	無線機内に制限を行う機能を内蔵する	無線機内に制限を行う機能を内蔵する	無線機内に制限を行う機能を内蔵するか、無線従事者が運用時に適切に設定して運用を行うかのいずれか
混信防止機能	通信する相手方を識別するための符号（識別符号）を自動的に送信し、又は受信する機能を備える		-
変調方式	LoRa®		
電波の型式	F1D		
空中線利得	2.14dBi 以下 ただし、等価等方輻射電力が 32.93dBm 以上となる場合はその超えた分を送信空中線の利得で減ずるものとし、32.93dBm 以下となる場合はその低下分を送信空中線の利得で補うことができるものとする。		
通信方向	単方向、双方向		
筐体	空中線系を除く高周波部及び変調部は、容易に開けることができないこと。		
上空利用	上空での受信は可能、送信は不可		
使用範囲	中山間地域、平野部、海上		
無線局免許、無線従事者、電波利用料	無線局免許 不要、 無線従事者 不要、 電波利用料 不要	無線局登録 必要、 無線従事者 不要、 電波利用料 200 円/年	無線局免許 必要、 無線従事者 必要、 電波利用料 200 円/年
到達距離	中山間地域：ひと山を超える距離 1～2km 程度を想定 平野部：10km 程度、海上：30km 程度		
無線局の目的	一般業務用小容量テレメータ、データ伝送システム 中距離～長距離自営回線を想定 親局 1 局⇔子局数局～100 局		

6.3 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム 諸元・運用条件案の修正詳細

令和5年度調査検討から修正した項目や、特に検討が必要と考えられる項目について、詳細を以下に示す。

6.3.1 周波数

特定小電力無線局および登録局については、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局の周波数としている。これにより、現行制度の特定小電力無線局との通信も可能となる。400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局の周波数のうち、提案システムは 429MHz、449MHz、469MHz 帯において連続送信は不可で間欠送信（40 秒送信、2 秒休止）とされている周波数のみを対象としている。これは、連続送信可能な周波数の場合よりも間欠送信同士の方が互いに干渉を避けられる可能性が高いと考えられるためである。なお、この中でも 449MHz、469MHz 帯については、比較的混み合っていない¹とされるため、より導入に適すると考えられる。周波数の割り当て案を表 6-2～表 6-3 に示す。周波数の割り当ては、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局で帯域幅 16kHz が使用可能な 426MHz 帯と同様な周波数割り当てとしている。ただし、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局で制御チャンネルとされているチャンネルについては、送信時間は 0.2 秒以下と短い時間となっており、400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムが送信を行うと干渉を与える程度が高くなるため、割り当てからは除外した。なお、登録局、免許局については、現行制度の特定小電力無線局の周波数以外の 400MHz 帯でも適用可能と考えられる。

¹ 情報通信審議会 情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告「特定小電力無線局の高度化に係る技術的条件」平成 28 年 3 月 22 日陸上無線通信委員会 53 ページ

表 6-2 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム 周波数割り当て案

400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信システム	1W (EIRP32.14dBm)		400MHz帯テレメータ用、 テレコントロール用及びデータ 伝送用特定小電力無線局	
	単向、単信、同報		10mW (EIRP12.14dBm)	
	変調方式LoRa		単向、単信、同報	
	1時間当たりの送信時間総和36秒以下		-	
	15秒送信、2秒休止		40秒送信、2秒休止	
	30秒送信、2秒休止		12.5kHz	
	ch間隔	25kHz	12.5kHz	12.5kHz
ch数	2	6	6	11

429.1750	429.1750	429.1750	429.178125
	429.1875		429.184375
429.1875	429.1875	429.1875	429.190625
	429.2000		429.196875
429.2000	429.2000	429.2000	429.203125
	429.2125		429.209375
429.2125	429.2125	429.2125	429.215625
	429.2250		429.221875
429.2250	429.2250	429.2250	429.228125
	429.2375		429.234375
429.2375	429.2375	429.2375	429.240625

400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信システム	1W (EIRP32.14dBm)		400MHz帯テレメータ用、 テレコントロール用及びデータ 伝送用特定小電力無線局	
	単向、単信、同報、半複信、複信		10mW (EIRP12.14dBm)	
	変調方式LoRa		-	
	1時間当たりの送信時間総和36秒以下		40秒送信、2秒休止	
	15秒送信、2秒休止		1mW以下の狭帯域規格は連続送信可能	
	30秒送信、2秒休止		12.5kHz	
	ch間隔	25kHz	12.5kHz	12.5kHz
ch数	4	10	10	18

429.8250	429.8125	429.8250	429.815625
	429.8250		429.821875
429.8375	429.8250	429.8375	429.828125
	429.8375		429.834375
429.8500	429.8375	429.8500	429.840625
	429.8500		429.846875
429.8625	429.8500	429.8625	429.853125
	429.8625		429.859375
429.8750	429.8625	429.8750	429.865625
	429.8750		429.871875
429.8875	429.8750	429.8875	429.878125
	429.8875		429.884375
429.9000	429.8875	429.9000	429.890625
	429.9000		429.896875
429.9125	429.9000	429.9125	429.903125
	429.9125		429.909375
429.9250	429.9125	429.9250	429.915625
	429.9250		429.921875

制御チャンネル

表 6-3 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム 周波数割り当て案

ch間隔 ch数	400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信システム		400MHz帯テレメータ用、 テレコントロール用及びデータ 伝送用特定小電力無線局		400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信システム		400MHz帯テレメータ用、 テレコントロール用及びデータ 伝送用特定小電力無線局	
		1W (EIRP32.14dBm)		10mW (EIRP12.14dBm)		1W (EIRP32.14dBm)		10mW (EIRP12.14dBm)
	単向、単信、同報、半複信、複信		単向、単信、同報、半複信、複信		単向、単信、同報、半複信、複信		単向、単信、同報、半複信、複信	
	変調方式LoRa		—		変調方式LoRa		—	
	1時間当たりの送信時間総和36秒以下		40秒送信、2秒休止 1mW以下の狭帯域規格は連続送信可能		1時間当たりの送信時間総和36秒以下		40秒送信、2秒休止 1mW以下の狭帯域規格は連続送信可能	
	15秒送信、2秒休止	30秒送信、2秒休止			15秒送信、2秒休止	30秒送信、2秒休止		
	25kHz	12.5kHz	12.5kHz	6.25kHz	25kHz	12.5kHz	12.5kHz	6.25kHz
	2	5	5	8	2	5	5	8

449.8500	449.8375	449.8375	449.840625	469.4500	469.4375	469.4375	469.440625
	449.8500	449.8500	449.846875		469.4500	469.4500	469.446875
	449.8625	449.8625	449.853125		469.4625	469.4625	469.453125
	449.8750	449.8750	449.859375		469.4750	469.4750	469.459375
			449.865625				469.465625
			449.871875				469.471875
			449.878125				469.478125
			449.884375				469.484375

制御チャンネル

6.3.2 空中線電力

屋外実証実験では出力 1W にて中山間地域でドライブテストを実施した。結果、1W 程度は必要な通信距離を確保するためには必要であることが分かった。また、電波法第四条において特定小電力無線局の空中線電力は 1W 以下とされていることから、1W 以下が適当と考えられる。空中線電力増大による干渉を低減するため、キャリアセンスの搭載と送信時間総和の制限を行うこととしている。

6.3.3 占有周波数帯幅

占有周波数帯幅について、8.5kHz に加えて 16kHz を追加している。占有周波数帯幅を広げることによって伝送速度が速くなり、送信時間が短くなるため、同じ周波数を使用している他局への干渉低減には効果があると考えられる。ただし、占有周波数帯幅が広い局が、送信時間が短くなった分、送信データ量を増やすと、送信時間が長くなり、送信時間短縮にはつながらない。このため、占有周波数帯幅 16kHz 時は 15 秒以下に送信時間を制限している。

占有周波数帯幅ごとの周波数割り当て例を図 6-1 に示す。占有周波数帯幅 16kHz は、チャンネル間隔 25kHz のため、占有周波数帯幅 16kHz にて送信時に大きく影響を受ける占有

周波数帯幅 8.5kHz のチャンネルは、同一周波数の 1 つのみとなっている。上下の占有周波数帯幅 8.5kHz のチャンネルは 12.5kHz 離れており、占有周波数帯幅 16kHz で送信から受ける干渉の影響は小さくなると考えられる。同一周波数の周波数帯幅 8.5kHz のチャンネルについては、干渉の影響を受けるものの、占有周波数帯幅 8.5kHz にてデータを送信するより、16kHz で送信したほうが送信時間は短くなり、干渉を受ける時間も短くなる。また、同一周波数で同じ占有周波数帯幅 8.5kHz の LoRa®で送信した場合の D/U は、表 4-14 より 2dB であるが、同一周波数で、占有周波数帯幅 16kHz で送信した場合の D/U は、表 4-14 より -11dB となる。D/U が低下しているため、占有周波数帯幅を広げて送信した方が、同じ占有周波数帯幅で送信するよりも干渉の影響が低減されることを示している。このことから、占有周波数帯幅を広げた送信の適用は可能と考えられる。

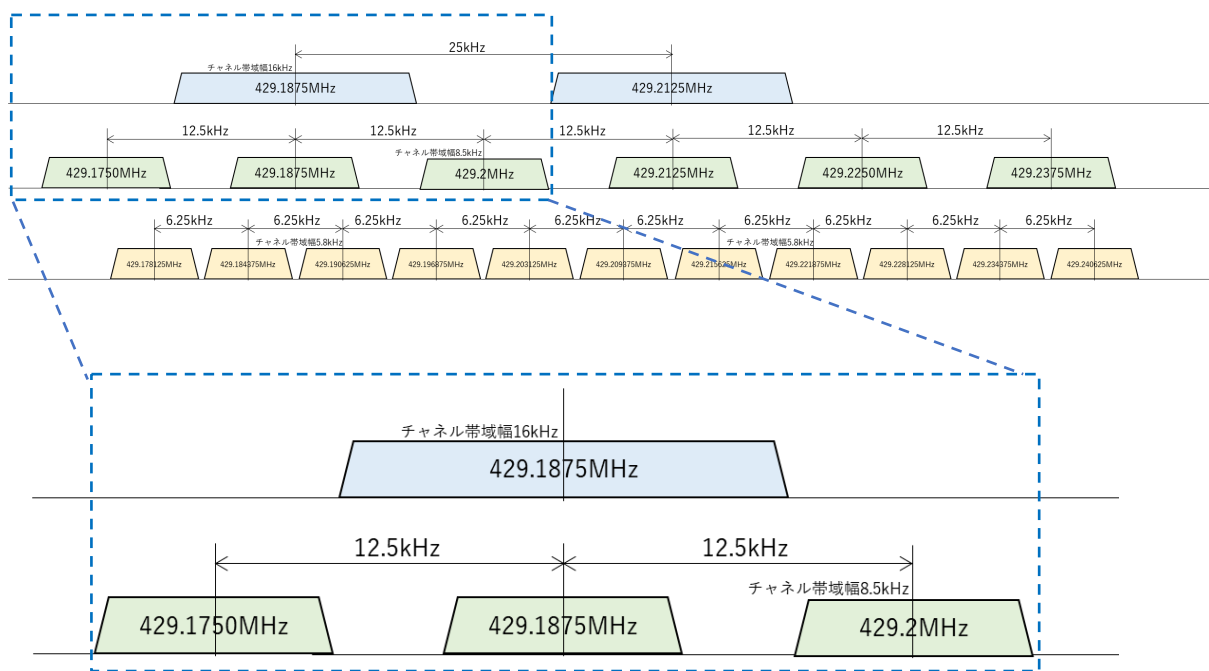


図 6-1 占有周波数帯幅ごとの周波数割り当て例

6.3.4 キャリアセンス

キャリアセンスについて、特定小電力無線局と登録局については、ありとしている。同一チャンネル干渉の離隔距離は、平野部で 16 km 程度、海上では 40km 程度と長い結果となっており、干渉回避のためにキャリアセンスは必要と考えられる。キャリアセンスレベルについては、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局

と同じ-96dBm としている。なお占有周波数帯幅 16kHz の場合は、16kHz の帯域全部についてキャリアセンスを行う必要がある。

なお、屋内実証実験において、妨害波を先に送信を開始し、後から希望波を送信する順番にて測定を実施した場合、D/U が大幅に劣化する現象が見られた。これは、キャリアセンスレベル以下となって送信を行っても、相手方にて復調されない事態が発生する可能性があることを示している。受信レベルによって判定するキャリアセンスに加えて、LoRa®の電波を受信しているか否かで判断を行うキャリアセンス機能を合わせて搭載すれば、LoRa®の電波が出ている場合には送信を行わず、LoRa®の電波が出ていないときに送信を行うことで、相手方で復調できる可能性を上げることができる(図 6-2)。このため、LoRa®の電波を受信しているか否かで判断を行うキャリアセンス機能を合わせて搭載することを推奨としている。

免許局のキャリアセンスについては、無線局の場所などの情報が管理、公開され、また無線従事者が設定を行うことで干渉回避が可能と考えられるため、なしとしている。

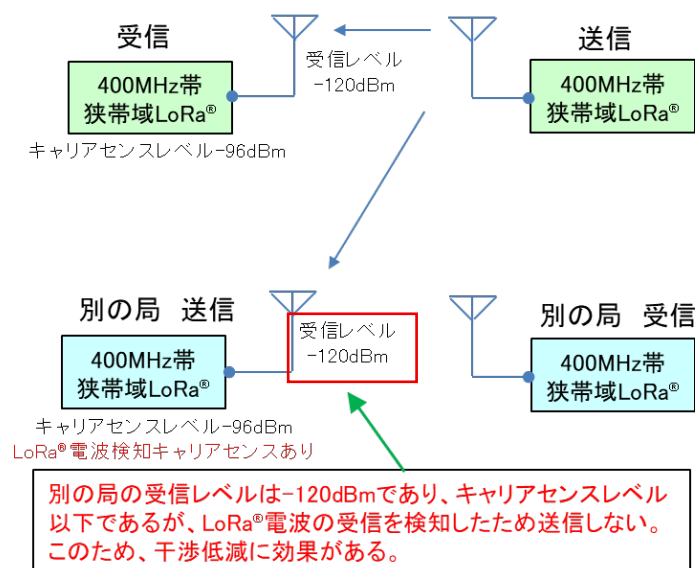


図 6-2 LoRa®の電波を受信しているか否かで判断を行うキャリアセンス機能

6.3.5 送信時間、休止時間、送信時間総和の制限

出力 1W とした場合、干渉の影響を与える局が増えることが懸念される。干渉の低減のために、特定小電力無線局へは 1 時間あたりの送信時間総和 36 秒以下の制限を設けている。送信時間総和の制限によって送信時間が減り、干渉を与える時間が減って、影響を低減する

ことが可能となる。送信時間総和の算出方法については様々な手段があるが、今回は、送信電力と送信時間を掛けた電力量を元に算出を行った。

400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局において、送信時間総和の制限は規定されていないが、送信時間 40 秒以内、休止時間 2 秒以上と規定されている。40 秒送信、2 秒休止を繰り返した場合が送信時間最長となり、1 時間(3600 秒) あたり 3430 秒送信が可能である。

(40 秒送信 2 秒休止を 85 回繰り返すと、 $42 \text{ 秒} \times 85 \text{ 回} = 3570 \text{ 秒間}$ で、 $40 \text{ 秒} \times 85 \text{ 回} = 3400 \text{ 秒送信}$ を行う。1 時間 3600 秒 - 3570 秒 = 30 秒も送信可能なため、1 時間あたりの最長送信時間は、 $3400 \text{ 秒} + 30 \text{ 秒} = 3430 \text{ 秒}$ となる。)

400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局の空中線電力は、空中線利得 2.14dBi 時には 10mW (0.01W) となる。送信電力と送信時間を掛けた電力量は、 $0.01\text{W} \times 3430 \text{ 秒} = 34.3\text{W 秒}$ となる。

空中線電力 1 W とした場合、送信時間は $34.3\text{W 秒} \div 1\text{W} = 34.3 \text{ 秒} \approx 36 \text{ 秒}$ (0.01 時間) であれば、送信電力と送信時間を掛けた電力量が同じとなり、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局と同等の干渉影響になると考えられる。

送信時間制限と送信休止時間について、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局において、送信時間 40 秒以内、休止時間 2 秒以上とされており、送信時間はこれより短い 30 秒、休止時間は同じ 2 秒としている。なお、占有周波数帯幅が 16kHz の場合は、通信速度が占有周波数帯幅 8.5kHz 時と比べ 2 倍程度に速くなるため、送信時間は 1/2 程度に短くなる。このため、占有周波数帯幅 16kHz 時は、送信時間を半分の 15 秒としている。

これら送信時間、休止時間、送信時間総和の制限方法について、特定小電力無線局と登録局については、無線機内に制限を行う機能を内蔵することで、自動的に制限が適用される。免許局については、無線従事者が設定を行うことも可能としている。

1 時間あたりの送信時間総和については、登録局と免許局については制限なしとしている。これは、ニーズとしてあげた、船体ブロック位置管理システムの親局への適用を考慮している (図 6-3)。船体ブロックの位置情報を親局にて収集するが、親局では、船体ブロックに向けて受信したことを示す Ack を送信する必要がある。船体ブロックの数が多くなった場

合、Ack の送信回数が増えて送信時間も長くなるため、親局については登録局とし、無線局の場所などの情報が管理、公開されることで、干渉回避の対策を行うことが可能となる。

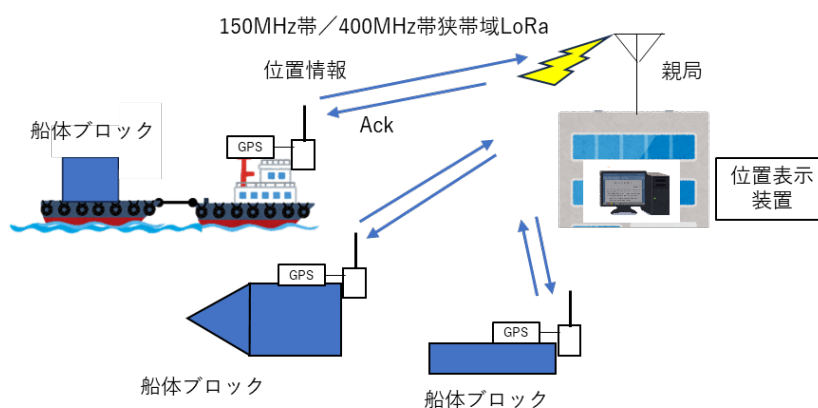


図 6-3 船体ブロック位置管理システム

6.3.6 筐体

現在、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局の筐体について、無線設備規則第四十九条の十四において、以下のように規定されている。

一の筐体に収められており、かつ、容易に開けることができないこと。ただし、電源設備、制御装置その他総務大臣が別に告示する装置については、この限りでない。

この「一の筐体に収める」が無線機器製造時、小型化や低価格化を目指す際のハードルになっているとの意見が寄せられた。一方で、920MHz 帯の特定小電力無線局については、

空中線系を除く高周波部及び変調部は、容易に開けることができないこと。

と規定されており、一の筐体に収める必要はなく、容易に開けることができなくする範囲も限定されている。この規定自体は、改造行為などを防ぐためと考えられるが、920MHz 帯において改造行為が多いという実態はないため、400MHz 帯において 920MHz 帯と同様な規定としても問題はなく、小型化や低価格化の促進につながると考えられる。

6.4 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム諸元・運用条件案

本調査検討における 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの諸元・運用条件案を表 6-4 に示す。赤字で示す部分が、特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の無線設備との主な相違箇所となる。

表 6-4 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム諸元・運用条件案

システム名	150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム		
	特定小電力無線局	登録局	免許局
通信の内容	国内において主として人又は動物の行動及び状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御並びに物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行うものであること。		
周波数	特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の無線設備の周波数	150MHz 帯 または 特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の無線設備の周波数	150MHz 帯
	142.93~142.99MHz 146.93~146.99MHz	142.93~142.99MHz 146.93~146.99MHz	—
空中線電力	1W 以下		
占有周波数帯幅	11.6kHz、17.4kHz		
キャリアセンス	あり	あり	なし
キャリアセンスレベル	-96dBm		
	LoRa®の電波を受信しているか否かで判断を行うキャリアセンス機能を合わせて搭載することが推奨される		
送信時間制限	占有周波数帯幅 11.6kHz 時 30 秒以下 17.4kHz 時 15 秒以下	占有周波数帯幅 11.6kHz 時 30 秒以下 17.4kHz 時 15 秒以下	制限なし
送信休止時間	2 秒以上	2 秒以上	制限なし
1 時間あたりの送信時間総和	360 秒以下	制限なし	制限なし
	キャリアセンスなし時は空中線電力 10mW 以下とし、上記制限に加えて 5 秒間あたりの送信時間の総和は 1 秒以下とする。	—	—

送信時間、 休止時間、 送信時間総和の 制限方法	無線機内に制限を行 う機能を内蔵する	無線機内に制限を行 う機能を内蔵する	無線機内に制限を行 う機能を内蔵するか、 無線従事者が運用時に 適切に設定して運用を 行うかのいずれか
混信防止機能	通信する相手方を識別するための符号（識別 符号）を自動的に送信し、又は受信する機能 を備える		-
変調方式	LoRa®		
電波の型式	F1D		
通信方向	単方向、双方向		
筐体	空中線系を除く高周波部及び変調部は、容易に開けることができ ないこと。		
上空利用	上空での受信は可能、送信は不可		
使用範囲	中山間地域、平野部、海上		
無線局免許、 無線従事者、 電波利用料	無線局免許 不要、 無線従事者 不要、 電波利用料 不要	無線局登録 必要、 無線従事者 不要、 電波利用料 200 円/年	無線局免許 必要、 無線従事者 必要、 電波利用料 200 円/年
到達距離	中山間地域：ひと山をさらに超える距離 2～4km 程度を想定 平野部：20km 程度 海上：50km 程度		
無線局の目的	一般業務用小容量テレメータ、データ伝送用システム 中距離～長距離自営回線を想定 親局 1 局⇄子局数局～100 局		

6.5 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム 諸元・運用条件案の修正詳細

特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の無線設備と異なる項目や、特に検討が必要と考えられる項目について、詳細を以下に示す。

6.5.1 通信の内容

特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局において、通信の内容は、国内において主として人又は動物の行動及び状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御を行うものであることと規定されている。この規定について、船体ブロックの位置情報など「物の状態」に関する情報が通信の内容に含まれるよう、拡大を行っている。これによって現在よりも広い分野にて利用が可能となって局数が増え、既存の局に干渉の影響が発生することが考えられる。この干渉を低減するため、送信時間総和の制限を行うこととしている。

6.5.2 周波数

特定小電力無線局および登録局については、特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の周波数である 142.93~142.99MHz と 146.93~146.99MHz としている。周波数の割り当て案を図 6-4 に示す。周波数の割り当ては、特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局と同様な周波数割り当てとしている。ただし、占有周波数帯幅 17.4kHz については、146.93~146.99MHz においても使用可能とし、伝送速度による制限も設けていない。この理由については、6.5.4 に記載している。なお、登録局、免許局については、現行制度の特定小電力無線局の周波数以外の 150MHz 帯でも適用可能と考えられる。

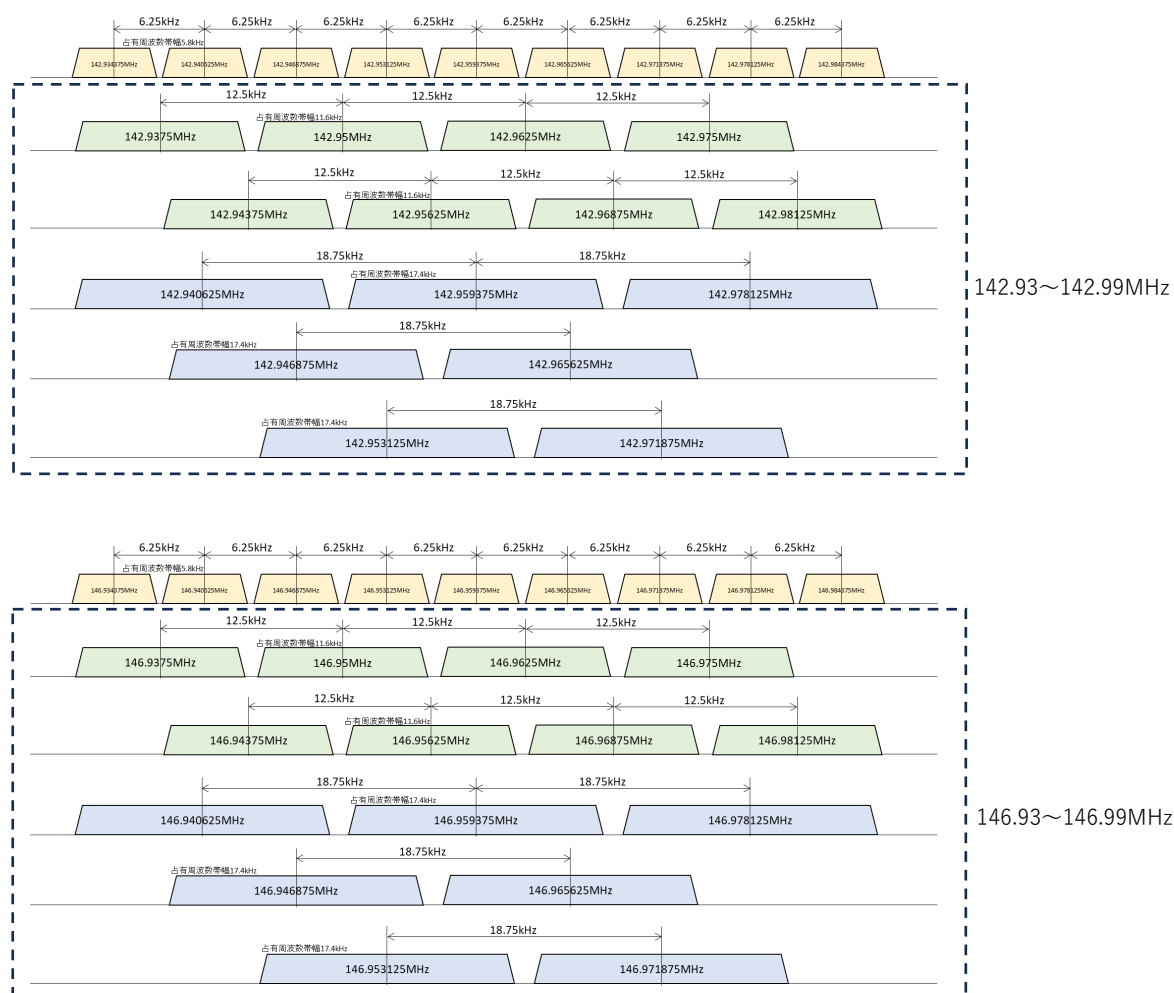


図 6-4 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム 周波数割り当て案

6.5.3 空中線電力

屋外実証実験では出力 1W にて中山間地域でドライブテストを実施した。結果、1W 程度は必要な通信距離を確保するためには必要であることが分かった。また、電波法第四条において特定小電力無線局の空中線電力は 1W 以下とされていることから、1W 以下が適当と考えられる。

6.5.4 占有周波数帯幅

占有周波数帯幅について、特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局においてすでに規定されている 11.6kHz と 17.4kHz としている。特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局においては、占有周波数帯幅 17.4kHz は、142.93~142.99MHz のみとなっており、146.93~146.99MHz においては、占有周波数帯幅 17.4kHz は使用できない。また、占有周波数帯幅 17.4kHz は 9600bps 以上のデータ伝送を行う場合に限るとされているが、LoRa®の場合、300~500bps 程度の速度のため、占有周波数帯幅 17.4kHz は使用できない。

150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムにおいて、占有周波数帯幅 17.4kHz とした場合、占有周波数帯幅 11.6kHz の場合と比べて通信速度は約 2 倍となり、送信時間も半分となって干渉を与える時間は短くなる。また、図 6-5 に周波数割り当て例を示すが、146.959375MHz にて占有周波数帯幅 17.4kHz で送信すると、9.375kHz 離れた 146.95MHz の帯域幅 11.6kHz のチャンネルと、3.125kHz 離れた 146.9625MHz の帯域幅 11.6kHz のチャンネルと重なる。この場合、対応する条件での D/U 実測値は表 6-5 の通りとなる。

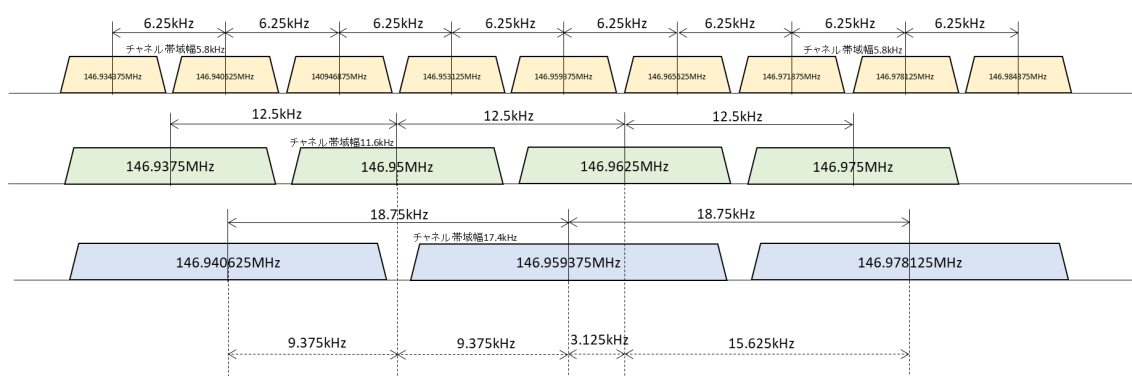


図 6-5 占有周波数帯幅ごとの周波数割り当て例

表 6-5 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムでの D/U 実測値 (SF=7)

与干渉	被干渉	D/U 実測値
146.959375MHz 占有周波数帯幅 17.4kHz	9.375kHz 離れ 146.95MHz 占有帯域幅 11.6kHz	-24dB
	3.125kHz 離れ 146.9625MHz 占有帯域幅 11.6kHz	-13dB

占有周波数帯幅 11.6kHz にて送信する場合と、占有周波数帯幅 17.4kHz にて送信する場合を比較すると、表 6-6 の通りとなる。

表 6-6 占有周波数帯幅 11.6kHz にて送信する場合と 17.4kHz にて送信する場合の比較

条件	周波数帯域が重なり、影響を受けるチャンネル	D/U	送信時間
占有周波数帯幅 11.6kHz にて送信	送信チャンネルと同じ占有周波数帯幅 11.6kHz のチャンネル1つ	2dB	—
占有周波数帯幅 17.4kHz にて送信	9.375kHz 離れた占有帯域幅 11.6kHz のチャンネルと	-24dB	上記の半分
	3.125kHz 離れた占有帯域幅 11.6kHz のチャンネルの2つ	-13dB	

占有周波数帯幅 17.4kHz にて送信することによって、周波数帯域が重なって影響を受けるチャンネルは増えるものの、占有周波数帯幅 11.6kHz にて送信する場合と比べ、D/U は小さくなり (=干渉の影響が低減する)、送信時間 (=干渉を受ける時間) も短くなる。

以上のように、150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムにおいては、占有周波数帯幅 17.4kHz としても、干渉影響は小さくなると考えられるため、146.93~146.99MHz においても使用可能とし、伝送速度による制限も設けていない。なお、他の変調方式において占有周波数帯幅を広げた場合の干渉影響について検証できていないため、150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムのみを 3ch 同時使用の対象としている。

6.5.5 キャリアセンス

キャリアセンスについて、特定小電力無線局と登録局については、ありとしている。同一チャンネル干渉の離隔距離は、平野部で 16 k m 程度、海上では 40km 程度と長い結果となっており、干渉回避のためにキャリアセンスは必要と考えられる。キャリアセンスレベルにつ

いては、特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局と同じ-96dBm としている。

なお、屋内実証実験において、妨害波を先に送信を開始し、後から希望波を送信する順番にて測定を実施した場合、D/U が大幅に劣化する現象が見られたため、400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムと同じく、LoRa®の電波を受信しているか否かで判断を行うキャリアセンス機能を合わせて搭載することを推奨としている。

また、特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局においては、空中線電力が 10mW 以下で、5 秒間あたりの送信時間の総和が 1 秒以下の場合、キャリアセンスの備付けを要しないこととなっている。150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムにおいても、同様の考え方で、空中線電力が 10mW 以下で、5 秒間あたりの送信時間の総和が 1 秒以下の場合、キャリアセンスの備付けは要しないと考えられる。この場合でも、150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムで規定された送信時間制限などは合わせて準用することが望ましいと考えられる。

免許局のキャリアセンスについては、無線局の場所などの情報が管理、公開され、また無線従事者が設定を行うことで干渉回避が可能と考えられるため、なしとしている。

キャリアセンスを行うことで干渉回避が期待されるが、キャリアセンスを行って送信した場合でも、いわゆる「隠れ端末問題」で通信ができなくなることがある。図 6-6 のように、キャリアセンスレベル以下となって送信しても、受信側では複数の局からの電波が到達し、干渉が発生することが起こりえる。

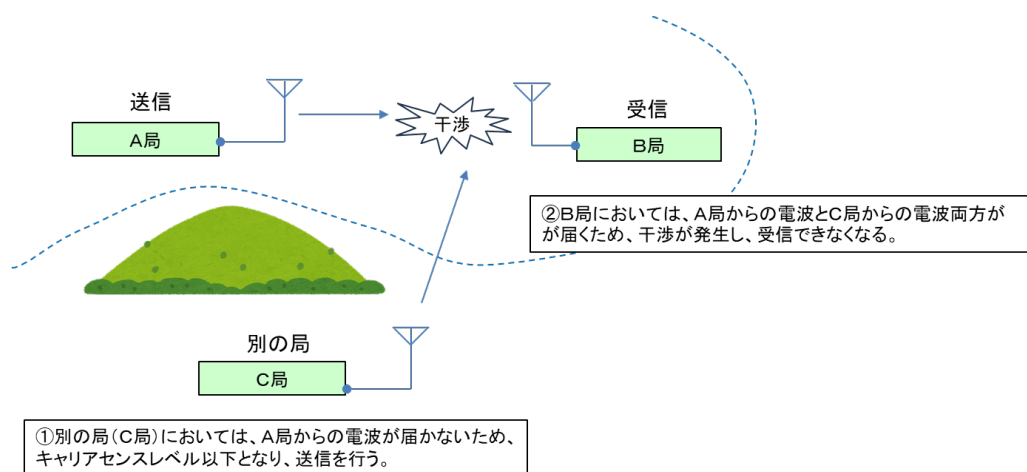


図 6-6 隠れ端末問題 概要

「隠れ端末問題」の回避のため、図 6-7 に示すような自律調停プロトコル²を採用する方法が提案されており、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa[®]通信システムでも適用可能である。通信に成功した場合、以降の通信も同じ時間タイミングで通信を行うプロトコルであり、複数の局が時間をずらして送信することで干渉の発生を防ぐことができる。

無線システムには、ネットワークアクセス時に、「隠れ端末問題」等の性能に深刻な影響を与える問題がある

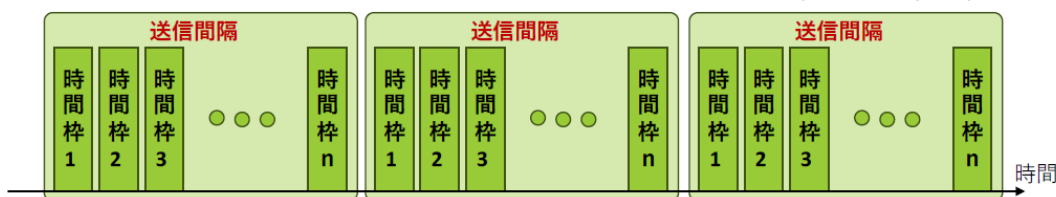
広い範囲を低速度でカバーするLPWAは、「隠れ端末問題」の影響が大きい

各端末がそれぞれ一定時間毎に送信する場合に、最適なプロトコルを提案

- ・この送信間隔を複数の時間枠に分ける
- ・各時間枠を複数の端末が取り合う
- ・一度通信に成功したらその時間枠を次回も使う
- ・すべての端末の時間枠が決定すれば、以後競争は起きない



イラスト：https://www.irasutoya.com/p/terms.html



令和 7 年 12 月 3 日 第 9 回四国研究交流サロン
 災害時の情報孤立を防ぐ通信システムの開発と放送メディアの活用
 講師：信州大学名誉教授・DX 推進センター特任教授 不破 泰氏

図 6-7 自律調停プロトコル概要

キャリアセンスなしの導入について、特に海上では伝搬距離が長距離となるため、キャリアセンスなしで送信した場合に干渉を回避可能である根拠や方策を見いだせていない(150MHz10mW 以下および免許局を除く)。しかし、伝搬距離が限られる山間部では、キャリアセンスなしとできる可能性があり、例えば GPS の緯度経度を元に山間部かどうか判定を行い、山間部であればキャリアセンスなしを可能とする仕組みも考えられる(図 6-8)。山間部であるかの判定は、データベースへ問い合わせたりするのではなく、GPS の緯度経度を、あらかじめ記憶している緯度経度範囲と照合する形で行えば、簡易な構成で実現可能

² 無線センサーネットワークの端末・中継機における送信タイミング自律調停プロトコルの検討 電子情報通信学会論文誌 VOL. J103-B NO. 7 JULY 2020

である。山間部の緯度経度範囲をすべて網羅することは困難なため、例えば運用予定市町村の山間部のみを記憶する方法が考えられる。この場所以外はキャリアセンスありで動作するようにすれば、干渉回避可能と考えられる。

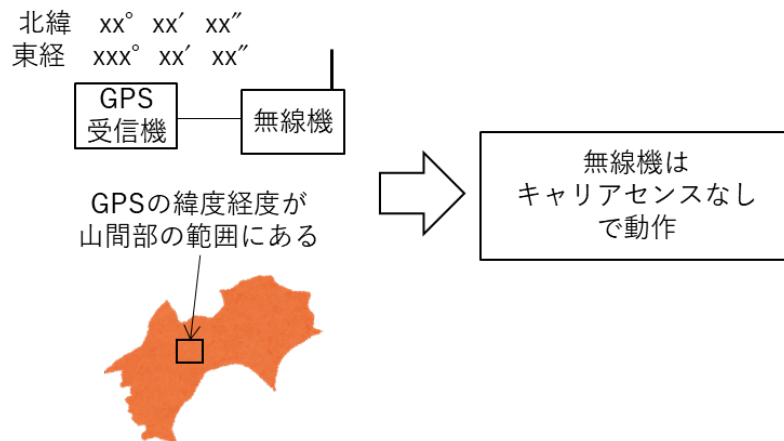


図 6-8 GPS の緯度経度を元にキャリアセンスなしを判断する方法

6.5.6 送信時間、休止時間、送信時間総和の制限

特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局において、送信時間総和の制限は規定されていないが、送信時間 60 秒以内、休止時間 2 秒以上と規定されている。60 秒送信、2 秒休止を繰り返した場合が送信時間最長となり、1 時間（3600 秒）あたり 3484 秒送信が可能である。

（60 秒送信 2 秒休止を 58 回繰り返すと、62 秒×58 回＝3596 秒間で、60 秒×58 回＝3480 秒送信を行う。1 時間 3600 秒－3596 秒＝4 秒も送信可能なため、1 時間あたりの最長送信時間は、3480 秒＋4 秒＝3484 秒となる。）

今回、「物の状態」に関する情報が通信の内容に含まれるよう拡大を行った際には、利用できる対象が現在よりも広がって局数が増えることが考えられる。制限がない場合、既存局への干渉が増えることが想定されるため、本検討では、920MHz 帯の特定小電力無線局である 920MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備において適用されている制限と同じ、1 時間あたりの送信時間の総和 360 秒以下の制限を行うこととした。参考に 920MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備の概要を表 6-7 に示す。920MHz 帯特定小電力無線局においては、通信の内容を人や動物に関する事項に限定する制限は無く、多くの分野で多数の局が運用されている。このため、360

秒以下については、キャリアセンス搭載の無線局同士が、干渉を許容できる送信時間総和があると考えられる。

表 6-7 920MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備の概要

システム名	920MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備	
	特定小電力無線局	登録局
通信の内容	主にテレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用のための信号	
周波数	920.5～928.1MHz	920.5～923.5MHz
空中線電力	20mW 以下	250mW 以下
占有周波数帯幅	単位チャンネル 200kHz 20 チャンネルまで同時使用可能	単位チャンネル 200kHz 5 チャンネルまで同時使用可能
キャリアセンス	あり	
キャリアセンスレベル	-80dBm	
送信時間制限	キャリアセンス時間 5m 秒以上の場合 送信時間制限 4 秒以下、休止時間 50ms 以上	
	キャリアセンス時間 128 μ 秒以上の場合 送信時間制限 0.4 秒以下、休止時間送信時間の 10 倍以上	
1 時間あたりの送信時間総和	使用するチャンネルによって なし または 360 秒以下	
混信防止機能	通信する相手方を識別するための符号（識別符号）を自動的に送信し、又は受信する機能を備える	
電波の型式	規定しない	
無線局免許、無線従事者、電波利用料	無線局免許 不要、 無線従事者 不要、 電波利用料 不要	無線局登録 必要、 無線従事者 不要、 電波利用料 200 円/年

送信時間制限と送信休止時間について、150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局において、送信時間 60 秒以内、休止時間 2 秒以上とされており、送信時間はこれより短くし、400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムにならひ、占有周波数帯幅 11.6kHz 時 30 秒以下、17.4kHz 時 15 秒以下、休止時間は同じ 2 秒としている。これら送信時間、休止時間、送信時間総和の制限方法について、特定小電力無線局と登録局については、無線機内に制限を行う機能を内蔵することで、自動的に制限が適用される。免許局については、無線従事者が設

定を行うことも可能としている。1時間あたりの送信時間総和については、登録局と免許局については制限なしとしている。

6.5.7 周波数（チャンネル）の住み分けについて

150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムと既存局との周波数共用方法については、これまでに示した送信時間制限等の他に、周波数（チャンネル）を住み分ける方法も考えられる。既存の特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の周波数（チャンネル）設定方法は、既存システム調査の結果、以下のようになっていた。

- ① 出荷時に 142.93～142.99MHz、146.93～146.99MHz の全チャンネルが実装されており、ユーザーが無線機のボタンを操作して選択を行う。（例、デジタル小電力コミュニティ無線システム）
- ② 出荷時に 142.93～142.99MHz のチャンネルが実装されており、ユーザーが無線機のボタンを操作して選択を行う。（例、狩猟用ドッグマーカー）
- ③ 出荷時に 146.93～146.99MHz の範囲内の1つのチャンネルに設定されており、ユーザーはチャンネルの選択を行わない。（例、長距離無線式捕獲パトロールシステム）

このうち②と③については、使用しているチャンネルに限られるため、既存システムが使用していないチャンネルと、あまり使用していないチャンネルに分かれている可能性がある。この既存システムがあまり使用していないチャンネル（例えば 146.93～146.99MHz の一部）を、150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムが使用する推奨チャンネルとして住み分けることで、干渉の低減につながる事が考えられる。また、あまり使用されていないチャンネルの利用促進にもつながる。住み分け例を図 6-9 に示す。なお、周波数の住み分けについては、現在、法制度に基づいた強制規格ではないため、例えば民間規格で推奨する方法が考えられる。

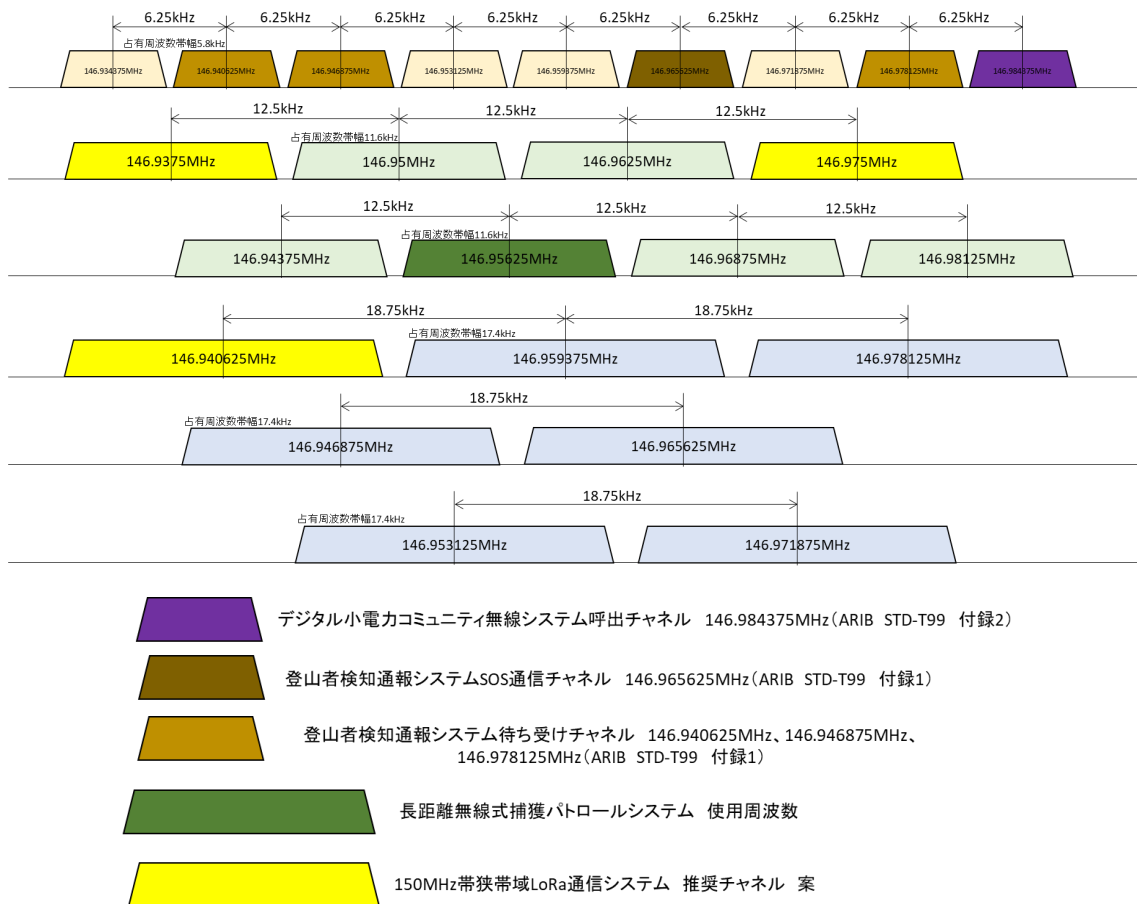


図 6-9 周波数（チャンネル）住み分け例

6.5.8 筐体

現在、特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の筐体について、無線設備規則第四十九条の十四において、以下のように規定されている。

一の筐体に収められており、かつ、容易に開けることができないこと。ただし、空中線系、電源設備、制御装置その他総務大臣が別に告示する装置については、この限りでない。

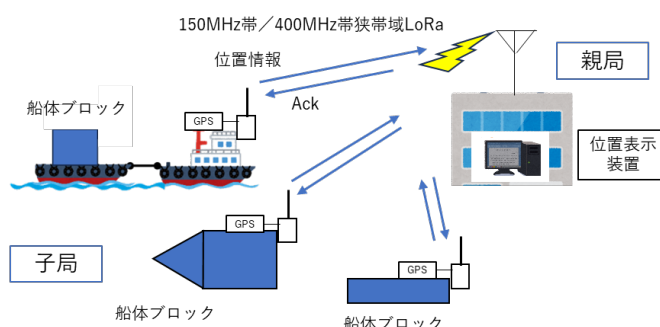
400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムと同じく、150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムにおいても、この規定を

空中線系を除く高周波部及び変調部は、容易に開けることができないこと。

としても問題はなく、小型化や低価格化の促進につながると考えられる。

6.5.9 必要チャンネル数について

150MHz 帯／400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムが運用時にどの程度のチャンネル数が必要となるか、呼損率を求めることで検討を行った。図 6-10 に示すように、1つの親局で複数の船体ブロックに取り付けた子局からの位置情報を受信する船体ブロック位置管理システムを対象としている。船体ブロックの数が増えると、互いの電波送信が重なって衝突し、位置情報を送ることができない状態（呼損）が発生する。子局数ごとの呼損率をアールン B 式より求めた。



子局が送信する電文
no31521 , da20260302 , ti1025 , lo311711 , la303486
(機器 No.) (年月日) (時刻) (北緯) (東経)
6e6f7b212646107EA012E2c746904812c6c6f032DBF2c6c61030D9E 28Byte

子局が送信する電文が 28Byte の場合の送信時間
LoRa SF=7 帯域幅 7.8kHz にて 2.1 秒、LoRa SF=7 帯域幅 15.6kHz にて 0.8 秒

図 6-10 船体ブロック位置管理システムの概要

呼損率について、過去委員会報告（情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件 平成 20 年 3 月 資料集 資料 8 P86~88）においては、呼損率 10%または 20%を基準として必要なチャンネル数（回線数）が検討されている。

狭帯域 LoRa®通信システム SF=7、帯域幅 7.8kHz で 10 分ごとに 28Byte 送信した場合、子局数と回線数＝チャンネル数ごとの呼損率を求めた。結果を表 6-8 に示す。

表 6-8 子局数と回線数=チャンネル数ごとの呼損率 (帯域幅 7.8kHz)

	<p>1 回あたり送信時間：28Byte、SF=7 で 2.1 秒 1 時間あたり送信時間：2.1 秒×6 回=12.6 秒 1 局 1 時間あたり呼量：12.6 秒/3600 秒=0.0035erl</p>
子局数 50	<p>子局数 50 局とすると、1 ゾーン呼量 50 局×0.0035erl=0.175erl、 回線数 1 時の呼損率は、14.9%、 回線数 2 時の呼損率は、1.3%、 回線数 3 時の呼損率は、0.1%</p>
子局数 100	<p>子局数 100 局とすると、1 ゾーン呼量 100 局×0.0035erl=0.35erl、 回線数 1 時の呼損率は、25.9%、 回線数 2 時の呼損率は、4.3%、 回線数 3 時の呼損率は、0.5%</p>
子局数 200	<p>子局数 200 局とすると、1 ゾーン呼量 200 局×0.0035erl=0.7erl、 回線数 1 時の呼損率は、41.2%、 回線数 2 時の呼損率は、12.6%、 回線数 3 時の呼損率は、2.9%、 回線数 4 時の呼損率は、0.5%、 回線数 5 時の呼損率は、0.1%</p>
子局数 1000	<p>子局数 1000 局とすると、1 ゾーン呼量 1000 局×0.0035erl=3.5erl、 回線数 1 時の呼損率は、77.8%、 回線数 2 時の呼損率は、57.6%、 回線数 3 時の呼損率は、40.2%、 回線数 4 時の呼損率は、26.0%、 回線数 5 時の呼損率は、15.4%、 回線数 6 時の呼損率は、8.2%、 回線数 7 時の呼損率は、4.0%、 回線数 8 時の呼損率は、1.7%</p>
子局数 1500	<p>子局数 1500 局とすると、1 ゾーン呼量 1500 局×0.0035erl=5.25erl、 回線数 1 時の呼損率は、84.0%、 回線数 2 時の呼損率は、68.8%、 回線数 3 時の呼損率は、54.6%、 回線数 4 時の呼損率は、41.8%、 回線数 5 時の呼損率は、30.5%、 回線数 6 時の呼損率は、21.1%、 回線数 7 時の呼損率は、13.6%、 回線数 8 時の呼損率は、8.2%、 回線数 9 時の呼損率は、4.6%、 回線数 10 時の呼損率は、2.3%</p>

同様に、狭帯域 LoRa®通信システム SF=7、帯域幅 15.6kHz で 10 分ごとに 28Byte 送信した場合、子局数と回線数 = チャネル数ごとの呼損率を表 6-9 に示す。

表 6-9 子局数と回線数 = チャネル数ごとの呼損率 (帯域幅 15.6kHz)

	1 回あたり送信時間：28Byte、SF=7 で 0.8 秒 1 時間あたり送信時間：0.8 秒×6 回=4.8 秒 1 局 1 時間あたり呼量：4.8 秒/3600 秒=0.0013erl
子局数 50	子局数 50 局とすると、1 ゾーン呼量 50 局×0.0013erl=0.065erl、 回線数 1 時の呼損率は、6.1%、回線数 2 時の呼損率は、0.2%
子局数 100	子局数 100 局とすると、1 ゾーン呼量 100 局×0.0013erl=0.13erl、 回線数 1 時の呼損率は、11.5%、回線数 2 時の呼損率は、0.7%
子局数 200	子局数 200 局とすると、1 ゾーン呼量 200 局×0.0013erl=0.26erl、 回線数 1 時の呼損率は、20.6%、回線数 2 時の呼損率は、2.6%、 回線数 3 時の呼損率は、0.2%
子局数 1000	子局数 1000 局とすると、1 ゾーン呼量 1000 局×0.0013erl=1.3erl、 回線数 1 時の呼損率は、56.5%、回線数 2 時の呼損率は、26.9%、 回線数 3 時の呼損率は、10.4%、回線数 4 時の呼損率は、3.3%、 回線数 5 時の呼損率は、0.8%、回線数 6 時の呼損率は、0.2%
子局数 1500	子局数 1500 局とすると、1 ゾーン呼量 1500 局×0.0013erl=1.95erl、 回線数 1 時の呼損率は、66.1%、回線数 2 時の呼損率は、39.2%、 回線数 3 時の呼損率は、20.3%、回線数 4 時の呼損率は、9.0%、 回線数 5 時の呼損率は、3.4%、回線数 6 時の呼損率は、1.1%

船舶 1 隻あたりの船体ブロック数は数十～数百とされている。離れた工場で製作されるなど、船体ブロック位置管理システムにて管理が必要なブロック数を仮に 100 個とした場合、帯域幅 7.8kHz では、呼損率 10%で 2 チャネル、呼損率 20%で 2 チャネル、帯域幅 15.6kHz では、呼損率 10%で 2 チャネル、呼損率 20%で 1 チャネル必要となる。

なお、地域の造船所が揃って導入した場合、例えば、愛媛県今治市には造船所が 14 事業所あり、仮に子局数 1500 個とした場合、帯域幅 7.8kHz では、呼損率 10%で 8 チャネル、呼損率 20%で 7 チャネル、帯域幅 15.6kHz では、呼損率 10%で 4 チャネル、呼損率 20%で 4 チャネル必要となる。

6.6 150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム 諸元・運用条件案の課題

本調査検討において、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムについて、諸元・運用条件案の検討を行ったが、以下の項目については検討の余地があるため、今後の課題と考えられる。

① 周波数共用に関する検討

今回の調査検討において、周波数は既存の特定小電力無線局で運用されている周波数としている。特に 400MHz 帯については、既存よりも大きい電力（実効輻射電力）の LoRa®通信システムを導入可能とするため、1 時間あたりの送信時間総和に制限を設けるなどして、干渉低減を図っている。一方で、送信時間総和の値は、今回、送信時間と送信電力の積や、類似システムの値を参考にして制定したが、市場調査を元にした普及台数予想や、既存システムの出荷台数を元に、確率計算にて干渉計算を実施し制定する方法もある。この場合、送信時間総和を緩和できる可能性があることから、今後、キャリアセンスの条件（あり、なし、時間、帯域幅、しきい値等）などを含めた具体的な共用条件について、より幅広い範囲の既存利用者・関係者との合意形成が必要不可欠であり、周波数共用について引き続き検討が必要である。

② 使用チャンネル

既存の 150MHz 帯/400MHz 帯の特定小電力無線局においては、制度化時期や送信時間制限の値等が異なるため、全チャンネル均一に使用されていないと考えられる。今回の調査検討において、各チャンネルの実際の使用状況までは検討できていないが、あまり使用されていないチャンネルについては、送信時間総和制限を緩和するなどして、電波の有効利用を図れる可能性がある。実際の各チャンネルの使用状況把握方法については、スペクトラムアナライザを用いて実地測定を行うなどの方法もあり、今後の検討課題としたい。

③ LoRa®以外での使用

今回の調査検討では、LoRa®について実験を実施し、諸元・運用条件案を取りまとめたが、LoRa®に限定せず、FSK など他の変調方式でも適用可能かは、今後の検討課題としたい。

さらに、令和8年3月17日開催の第三回会合において、御指摘頂いた以下の項目についても検討の余地があり、今後の課題と考えられる。

④ S/N の評価

今回の調査検討においては、測定機器の都合上、ノイズ測定は伝搬調査(ドライブテスト)と同時に実施できず、別日に実施している。このため、S/N(信号対ノイズ比)について、詳細な測定や解析は実施できていない。例えば、ノイズ測定で新居浜市街地において、ノイズレベルが高くなっている地点が見られており、この地点において通信状況が劣化することが考えられるが、S/Nを測定していないため、定量的な評価が実施できていない。今後の測定時はS/Nを測定し、市街地などノイズの多い場所での通信状況の評価することが望ましい。

⑤ 車両速度と受信状態との関係

今回、車両を走行しながらドライブテストを行っているが、車両速度と受信状態との関係について、相関係数算出など詳細な検討は実施できていない。他の実験において時速40km以上は受信状態が劣化したとの御指摘があり、走行時の受信状態について検討を行う必要があると考えられる。例えば、同一のルートで走行速度を変えて測定するなど、最適な測定方法についても検討することが望ましい。

⑥ 150MHz帯と400MHz帯が適する用途の明示

今回の実証実験において、150MHz帯は長距離まで届き伝搬特性が優れているものの、周囲のノイズの影響で受信が困難となる事象が見られた。このため、用途や周囲の環境、設置場所など無線設備への制限有無など、適する用途と適さない用途があると考えられる。第8章において一部記載しているが、導入を考えているユーザーの参考になるよう、さらに幅広い用途例について適不適を検討して明示することが望ましい。

⑦ キャリアセンスについての検討

今回の諸元・運用条件案において、基本的にキャリアセンスは必要としたが、キャリアセンスを行う時間については記載していない。キャリアセンスを行う時間を長くすることによって、他局からの電波を検知できる可能性が高くなって干渉低減につながるが、自身の送信

機会は減少する。現在、特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局や、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局において、キャリアセンス時間は規定されていないが、920MHz 帯特定小電力無線局ではキャリアセンス時間が規定されている。キャリアセンスを行う時間について、規定が必要かどうか、今後の検討課題と考えられる。なお、キャリアセンスを行う帯域幅については、自らが送信しようとするチャンネルの全域に対して実施する必要がある。例えば、中心周波数近傍のチャンネルのみでキャリアセンスを行うような動作は許容されない。

また、キャリアセンスなしについて、150MHz 帯 10mW 以下以外は諸元・運用条件案に盛り込めていない。キャリアセンスなしは無線機低価格化につながるため、導入できないか、今後の検討課題としたい。例えば、6.5.5 で触れた、GPS の緯度経度を元にキャリアセンスなしを判断する方法を用いることが考えられる。

第7章 技術的条件案

これまでの検討結果を踏まえ、150MHz 帯／400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの技術的条件案をとりまとめた。なお、本章では変調方式として LoRa®と記載しているが、制度化の際には、一般用語（例えばチャープ拡散スペクトラム方式、CSS など）としても問題ない。

7.1 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム技術的条件案

特定小電力無線局としての技術的条件案を表 7-1～表 7-2 に示す。なお、表の条件案は、特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の技術的条件¹へ150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムを追加した場合の変更内容を記載しており（青字取り消し線は削除、赤字は追記）、変更がない場合は、備考欄に（変更なし）と記載している。

表 7-1 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム技術的条件案
一般的条件

	項目	条件案	備考
1	システムの定義	国内において主として人又は動物の行動及び状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御並びに物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行うものであること。	物の状態に関する情報を追加している。
2	周波数帯及びチャンネル間隔	150MHz 帯（142.93MHz を超え142.99MHz 以下及び146.93MHz を超え146.99MHz 以下）とし、チャンネル間隔は6.25kHz（2チャンネル結束時は12.5kHz（6.25kHz インターリーブ）、3チャンネル結束時は18.75kHz（6.25kHz オフセット））とすること。チャンネル配置は以下のとおりと 七、一 すること。3チャンネル結束は、物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行	9600bps 未満でも物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行う場合は、3チャンネル結束を可能とする。

¹ 情報通信審議会 情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告「特定小電力無線局の高度化に係る技術的条件」平成28年3月22日陸上無線通信委員会 79ページ 1 生体検知通報システム

		う場合を除き、9600bps 以上のデータ伝送を行う場合に限ることとする。	
--	--	---------------------------------------	--

ch番号	1ch利用 中心周波数 (MHz)	ch番号	2ch結束 中心周波数 (MHz)	ch番号	3ch結束 中心周波数 (MHz)
1	142.934375	—	—	—	—
2	142.940625	1、2	142.9375	1、2、3	142.940625
3	142.946875	2、3	142.94375	2、3、4	142.946875
4	142.953125	3、4	142.95	3、4、5	142.953125
5	142.959375	4、5	142.95625	4、5、6	142.959375
6	142.965625	5、6	142.9625	5、6、7	142.965625
7	142.971875	6、7	142.96875	6、7、8	142.971875
8	142.978125	7、8	142.975	7、8、9	142.978125
9	142.984375	8、9	142.98125	—	—
10	146.934375	—	—	—	—
11	146.940625	10、11	146.9375	10、11、12	146.940625
12	146.946875	11、12	146.94375	11、12、13	146.946875
13	146.953125	12、13	146.95	12、13、14	146.953125
14	146.959375	13、14	146.95625	13、14、15	146.959375
15	146.965625	14、15	146.9625	14、15、16	146.965625
16	146.971875	15、16	146.96875	15、16、17	146.971875
17	146.978125	16、17	146.975	16、17、18	146.978125
18	146.984375	17、18	146.98125	—	—

	項目	条件	備考
3	電波の型式	規定しない。 ただし、物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行う場合は F1D とする。	LoRa®の型式である F1D を記載 F：周波数変調 1：副搬送波を使用しないデジタル信号の単一チャンネル D：データ伝送・遠隔測定・遠隔指令
4	変調方式	物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行う場合は LoRa®とする。	変調方式を追記。
5	通信方式	単向通信方式、単信方式又は同報通信方式であること。	(変更なし)

6	空中線電力	1W 以下であること。	(変更なし)
7	空中線の利得	等価等方輻射電力が 32.14dBm 以下となるものであること。	(変更なし)
8	空中線の構造	規定しない。	(変更なし)

表 7-2 150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム技術的条件案

無線設備の技術的条件

	項目	条件	備考
1	占有周波数帯幅の許容値	5.8kHz 以下とする。ただし、2チャンネル結束送信時は 11.6kHz 以下、3チャンネル結束送信時は 17.4kHz 以下とする。 物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御を行うための無線通信を行う場合、2チャンネル結束送信時は 11.6kHz 以下、3チャンネル結束送信時は 17.4kHz 以下のいずれかとする。	物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御を行うための無線通信を行う場合は 11.6kHz、17.4kHz のみとしている。
2	周波数の許容偏差	$\pm 2.5 \times 10^{-6}$ とする。ただし、等価等方輻射電力が 0dBm (1mW) 以下のものについては、 $\pm 12 \times 10^{-6}$ とする。	(変更なし)
3	空中線電力の偏差	上限 20% とする。	(変更なし)
4	スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値	ア 帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値 2.5 μ W 以下又は基本周波数の平均電力より 40dB 低い値とする。ただし、送信空中線の絶対利得が 0dBi 以下の場合にあっては、等価等方輻射電力で 2.5 μ W 以下又は基本周波数の平均電力より 40dB 低い値とすることができる。 イ スプリアス領域における不要発射の強度の許容値 2.5 μ W 以下又は基本周波数の搬送波電力より 43dB 低い値とする。ただし、送信空中線の絶対利得が 0dBi 以下の場合にあっては、等価等方輻射電力で 2.5 μ W 以下又は基本周波数の平均電力より 43dB 低い値とすることができる。	(変更なし)

	項目	条件	備考
5	隣接チャンネル漏えい電力	<p>ア 空中線電力が 10mW を超え 1 W 以下の場合 搬送波の周波数から、6.25kHz (2 チャンネル 結束時は 9.375kHz、3 チャンネル結束時は 12.5kHz) 離れた周波数の (±) 2kHz の帯 域内に輻射される電力が搬送波電力より 40dB 以上低い値であること。</p> <p>ただし、特定小電力無線局の帯域端のチャ ネル (当該チャンネルを結束して使用する場 合を含む。) の場合、特定小電力無線局の帯 域外側の基準は、特定小電力無線局の帯域 外側に隣接するアナログチャンネルの中心周 波数の (±) 8kHz の帯域内に輻射される電 力 (0dBi 以下の送信空中線を使用する無線 設備については、等価等方輻射電力) が 1 μ W 以下であること。</p>	(変更なし)
		<p>イ 空中線電力が 10mW 以下の場合 搬送波の周波数から、6.25kHz (2 チャンネル 結束時は 9.375kHz、3 チャンネル結束時は 12.5kHz) 離れた周波数の (±) 2kHz の帯 域内に輻射される電力 (0dBi 以下の送信空 中線を使用する無線設備については、等価 等方輻射電力) が 1 μW 以下であること。</p>	
6	受信装置	副次的に発する電波等の限度は 4 nW 以下 であること。	(変更なし)
7	制御装置 キャリアセン ス	ア 受信入力電力の値が給電線入力点にお いて-96dBm 以上の他の無線局の電波を受 信した場合、当該無線局の発射する電波と 同一の周波数の電波の発射を行わないもの であること。	(変更なし)
		イ チャンネルを結束して送信する場合は、結 束する全てのチャンネルについてキャリアセン スを行うこと。	(変更なし)
		ウ キャリアセンスを経て電波の発射が行 われた場合、その発射から 60 秒以内、物の 状態に関する情報の通報又はこれに付随す る制御をするための無線通信を行う場合、	送信時間制限に合わ せる変更を行っている

		2チャンネル結束送信時は30秒以内、3チャンネル結束送信時は15秒以内の再送信時においては、キャリアセンス動作を要しない。	
7	制御装置 キャリアセンス	エ 空中線電力が10mW以下の場合、キャリアセンスの備え付けを要しない。	(変更なし)
		オ キャリアセンスに用いる空中線系は、送信系と同一系統のものを用いること。ただし、送信系と同一系統のものを用いた場合と同様に、自局の送信電波により影響を与えうる可能性のあるエリアに存在する他の無線局の存在を検知できる場合は、この限りでない。	(変更なし)
8	制御装置 送信時間制限装置	ア 空中線電力が10mW以下かつキャリアセンス機能を具備しないもの 5秒間あたりの送信時間の総和は1秒以下であること。かつ、物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行う場合、1時間あたりの送信時間の総和は360秒以下であること。	物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行う場合は1時間あたりの送信時間の総和を追記している。
		イ ア以外のもの 電波を発射してから60秒以内、物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行う場合、2チャンネル結束送信時は30秒以内、3チャンネル結束送信時は15秒以内にその発射を停止し、2秒を経過した後でなければその後の送信を行わないものであること。ただし、最初に電波を発射してから60秒以内、物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行う場合、2チャンネル結束送信時は30秒、3チャンネル結束送信時は15秒以内に限り、2秒の送信休止時間を設けずに再送信することができるものとする。 物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行う場合、1時間あたりの送信時間の総和は360秒以下であること。	物の状態に関する情報の通報又はこれに付随する制御をするための無線通信を行う場合は、送信時間を変更し、1時間あたりの送信時間の総和を追記している。

9	筐体	一の筐体に収められており、かつ空中線系を除く高周波部及び変調部は、容易に開けることができないこと。ただし、空中線系、電源設備、制御装置、送信装置及び受信装置の動作の状態を表示する表示器、音量調整器及びスケルチ調整器、送話器及び受話器、周波数切替装置、送受信の切替器、附属装置その他これらに準ずるものについてはこの限りでないものとする。	920MHz 帯の特定小電力無線局と同様な規定としている。
---	----	--	-------------------------------

測定法については下記の通り。特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の技術的条件から 変更はなし となっている。

測定法

スペクトルアナライザ等を用いた測定方法は、150MHz 帯の周波数変調方式等の無線機器及び既存の特定小電力無線局の測定方法に準じて定めることとし、次のとおりとする。ただし、空中線接続端子がない場合の測定方法は、空中線電力が等価等方輻射電力の場合であって試験時に測定用の空中線端子を設けることが困難な場合にのみ適用すること。

(1) 周波数の偏差

ア 空中線接続端子がある場合

空中線端子に擬似負荷(インピーダンス整合回路又は減衰器等)を接続し、無変調の連続送信状態として周波数計により測定する。

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

空中線接続端子がない場合においては、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 1.5m の回転台の上に設置して測定することとし、測定距離 3m の 5 面電波暗室又は床面反射のあるオープンサイト若しくはそれらのテストサイトとするこ

と。この場合、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、被測定対象機器の大きさが 60cm 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

空中線接続端子がない場合においては、電源ケーブル、外部インタ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。

(2) 占有周波数帯幅

ア 空中線接続端子がある場合

標準符号化試験信号又は擬似音声信号を入力信号として加えた変調状態とし、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%となる周波数幅を測定すること。なお、標準符号化試験信号又は擬似音声信号での変調が不可能な場合には通常運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) 空中線電力の偏差

ア 空中線接続端子がある場合

標準符号化試験信号又は擬似音声信号を入力信号として加えた変調状態とし、平均電力を、尖頭電力で規定される電波型式の測定は尖頭電力を測定する。なお、標準符号化試験信号又は擬似音声信号での変調が不可能な場合には通常運用される信号で変調をかける。この場合、空中線と電氣的常数の等しい擬似空中線回路（インピーダンス整合回路又は減衰器等）を使用して測定することができる。

また、測定については、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とする。また、尖頭電力を測定する場合は尖頭電力計等を用いる。

なお、試験用端子が空中線端子と異なる場合は、空中線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を用いる場合は、分解能帯域幅を占有周波数帯幅の測定値より広く設定して測定し置換法により等価等方輻射電力を求める。なお、測定値が許容値を十分下回る場合は測定用空中線の絶対利得等を用いて換算する方法でも良い。

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。

(4) スプリアス発射又は不要発射の強度

ア 空中線接続端子がある場合

標準符号化試験信号又は擬似音声信号を入力信号として加えたときのスプリアス成分の平均電力（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。この場合、空中線と電氣的常数の等しい擬似空中線回路を使用して測定することができる。

帯域外領域におけるスプリアス発射は送信装置を無変調として測定する。

スペクトルアナライザ等の分解能帯域幅は、技術的条件で定められた参照帯域幅に設定すること。また、試験用端子が空中線端子と異なる場合は、空中線端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

なお、標準符号化試験信号又は擬似音声信号での変調が不可能な場合には通常運用され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、ア及び上記(3)イと同様にして測定すること。

(5) 隣接チャンネル漏えい電力

ア 空中線接続端子がある場合

空中線端子に擬似負荷(インピーダンス整合回路又は減衰器等)を接続し連続送信状態としてスペクトルアナライザ等により測定する。

標準符号化試験信号又は擬似音声信号を入力信号として加えた変調状態とする。

なお、トーン信号を使用している送信装置においては、トーン信号の変調を行っている状態で測定する。

また、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される信号で変調をかける。擬似音声信号での変調が不可能な場合には通常運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、ア及び上記(3)イと同様にして測定すること。

(6) 送信・休止時間制限

ア 空中線接続端子がある場合

スペクトルアナライザの中心周波数を試験周波数に設定し、掃引周波数を 0Hz（ゼロ・スパン）として測定する。

なお、時間分解能が不足する場合は、上記スペクトルアナライザの IF 出力又は試験周波数を直接又は広帯域検波器で検波しオシロスコープ等を用いて測定する。

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。

(7) 受信装置の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)を接続しスペクトルアナライザ等を用いて測定すること。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ（ア）の条件として、ア及び上記(3)イと同様にして測定すること。

(8) キャリアセンス

ア 受信機給電点において技術基準で定められたレベルになるように標準信号発生器の信号レベルを設定する。

イ 標準信号発生器の出力をオフとして送信状態としスペクトルアナライザ等により送信することを確認する。

ウ 上記の標準信号発生器の出力をオンとして送信状態としスペクトルアナライザ等により送信しないことを確認する。

エ 結束送信時におけるキャリアセンス動作の確認については、結束送信しようとする全てのチャンネルにおいてキャリアセンスの動作を確認する。確認方法の一例としては、結束送信を行う各チャンネルの中心周波数に規定レベルの無変調信号を入力し、結束した電波を送信しないことを確認する。

7.2 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム技術的条件案

特定小電力無線局としての技術的条件案を表 7-3～表 7-4 に示す。なお、表の条件案は、400MHz 帯テレメーター用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局の技術的条件案²へ 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムを追加した場合の変更内容を記載しており（青字取り消し線は削除、赤字は追記）、変更がない場合は、備考欄に（変更なし）と記載している。

表 7-3 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム技術的条件案
一般的条件

	項目	条件案	備考
1	周波数帯、チャンネル間隔、電波の型式、 変調方式 、通信方式及び空中線電力、 等価等方輻射電力	周波数帯は 400MHz 帯とし、チャンネル配置、チャンネル間隔、電波の型式、 変調方式 、通信方式 及び 、空中線電力 及び 等価等方輻射電力 は 次表 1 及び表 2 のとおりであること。	変調方式、等価等方輻射電力を追加している。

² 情報通信審議会 情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告「特定小電力無線局の高度化に係る技術的条件」平成 28 年 3 月 22 日陸上無線通信委員会 91 ページ 3 テレメーター用、テレコントロール用及び小電力データ伝送用特定小電力無線局

表 1

電波の型式	変調方式	通信方式	周波数	チャンネル間隔	空中線電力	等価等方 輻射電力		
F1D、F1F、 F2D、F2F、 F7D、F7F、 G1D、G1F、 G2D、G2F、 G7D、G7F、 D1D、D1F、 D2D、D2F、 D7D 又は D7F	規定しない	単向通信方式、 単信方式又は 同報通信方式	426.028125MHz～426.134375MHz (18波)	6.25kHz	100mW以下 ※ 1	2.14dBm 以下		
			426.025MHz～426.1375MHz (10波)	12.5kHz				
			426.0375MHz、426.0625MHz、426.0875MHz 及び426.1125MHz (4波)	25kHz				
		単向通信方式、 単信方式又は 同報通信方式	429.178125MHz～429.734375MHz (90波)	6.25kHz	1W以下 ※ 2	12.14dBm 以下		
			429.175MHz及び429.7375MHz (46波)	12.5kHz				
		単向通信方式、 単信方式、 同報通信方式、 複信方式又は 半複信方式	429.815625MHz～429.921875MHz (18波)	6.25kHz			449.715625MHz～449.821875MHz (18波) 449.840625MHz～449.884375MHz (8波) 469.440625MHz～469.484375MHz (8波) * 429.921875MHz、449.821875MHz、 449.88437MHz、469.484375MHzは制御ch	
			429.8125MHz～429.925MHz (10波)					12.5kHz
			449.7125MHz～449.825MHz (10波)					
			449.8375MHz～449.8875MHz (5波)					
			469.4375MHz～469.4875MHz (5波) * 429.925MHz、449.825MHz、 449.8875MHz、469.4875MHzは制御ch					

※ 1 空中線分離を行う場合は、1.637mW (2.14dBm) 以下
 ※ 2 空中線分離を行う場合は、16.37mW (12.14dBm) 以下

表 2

電波の型式	変調方式	通信方式	周波数	チャンネル間隔	空中線電力	等価等方 輻射電力	
F1D	LoRa®	単向通信方式、 単信方式又は 同報通信方式	429.175MHz～429.2375MHz (6波)	12.5kHz	1W以下	12.14dBm を超え 32.14dBm 以下	
			429.1875MHz及び429.2125MHz (2波)	25kHz			
		単向通信方式、 単信方式、 同報通信方式、 複信方式又は 半複信方式	429.8125MHz～429.9125MHz (9波)	12.5kHz			449.7125MHz～449.8150MHz (9波) 449.8375MHz～449.875MHz (4波) 469.4375MHz～469.475MHz (4波)
			429.825MHz～429.9MHz (4波)				
			449.725MHz～449.8MHz (4波)				
			449.85MHz (1波)				
469.45MHz (1波)	25kHz						

	項目	条件	備考
2	空中線の利得	送信空中線の利得は 2.14dBi 以下であること。ただし、等価等方輻射電力が、2.14dBi の利得の空中線に 10mW (426.025MHz 以上 426.1375MHz 以下の周波数の電波を使用するものにあつては、1mW、表 2 に掲げるものにあつては 1W) の空中線電力を加えた時の値を超える場合には、その超過分を送信空中線の利得で減じなければならず、満たない場合は、送信空中線電力の利得で補うことができる。(空中線分離時における「空中線利得 0dBi 以上」の条件は課さない。)	1W を追記している。
3	空中線の構造	規定しない。	(変更なし)

表 7-4 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム技術的条件案
無線設備の技術的条件

	項目	条件	備考
1	占有周波数帯幅の許容値	(ア)チャンネル間隔 6.25kHz のもの 5.8kHz 以下とする。 (イ)チャンネル間隔 12.5kHz のもの 8.5kHz 以下とする。 (ウ)チャンネル間隔 25kHz のもの 16kHz 以下とする。	(変更なし)
2	周波数の許容偏差	(ア)チャンネル間隔 6.25kHz のもの $\pm 2 \times 10^{-6}$ とする。 (イ)チャンネル間隔 12.5kHz のもの $\pm 4 \times 10^{-6}$ とする。 (ウ)チャンネル間隔 25kHz のもの $\pm 4 \times 10^{-6}$ とする。ただし、占有周波数帯幅が 12kHz 以下の場合は $\pm 10 \times 10^{-6}$ とする。	(変更なし)
3	空中線電力の偏差	上限 20%、下限 50%とする。	(変更なし)
4	スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値	(ア)帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値 2.5 μ W 以下とする。	(変更なし)

		(イ)スプリアス領域における不要発射の強度の許容値 2.5 μ W 以下とする。	
--	--	---	--

	項目	条件	備考
5	隣接チャンネル漏えい電力	(ア)チャンネル間隔 6.25kHz のもの 搬送波の周波数から 6.25kHz 離れた周波数の (\pm)2kHz の帯域内に輻射される電力が搬送波電力より 40dB 以上低い値であること。	(変更なし)
		(イ)チャンネル間隔 12.5kHz のもの 搬送波の周波数から 12.5kHz 離れた周波数の (\pm)4.25kHz の帯域内に輻射される電力が搬送波電力より 40dB 以上低い値であること。	
		(ウ)チャンネル間隔 25kHz のもの 搬送波の周波数から 25kHz 離れた周波数の (\pm)8kHz の帯域内に輻射される電力が搬送波電力より 40dB 以上低い値であること。	
6	受信装置	副次的に発する電波等の限度は 4 nW 以下であること。	(変更なし)
7	制御装置 キャリアセンス	(ア)受信入力電力の値が給電線入力点において-96dBm 以上の他の無線局の電波を受信した場合、当該無線局の発射する電波と同一の周波数(複信方式及び半複信方式のものにあつては、受信周波数に対応する送信周波数)の電波の発射を行わないものであること。ただし、空中線電力が 10mW を超えるものにあつては、当該電力を超過した分に相当する誘起電圧に達するまで電波の発射を行わないものであること(表 2 に掲げるものを除く)。	1W に対応する変更を実施。
		(イ)426.025MHz 以上 426.1375MHz 以下の周波数の電波を使用するものは、キャリアセンスの備え付けを要しない。	(変更なし)
		(ウ)キャリアセンスに用いる空中線系は、送信系と同一系統のものを用いること。 ただし、送信系と同一系統のものを用いた場合と同様に、自局の送信電波により影響を与	(変更なし)

		えうる可能性のあるエリアに存在する他の無線局の存在を検知できる場合は、この限りでない。	
8	制御装置 送信時間制限装置	(ア) 送信時間は、40 秒以下（制御チャンネルは 0.2 秒以下）、送信休止時間は 2 秒以上とする。表 2 に掲げるものについては、チャンネル間隔 12.5kHz 時は 30 秒以下、チャンネル間隔 25kHz 時は 15 秒以下、送信休止時間は 2 秒以上とし、1 時間あたりの送信時間の総和は 36 秒以下であること。	送信時間を変更し、1 時間あたりの送信時間の総和を追記している。
		(イ)426.025MHz 以上 426.1375MHz 以下の電波を使用するテレコントロール用（付随するデータ伝送を含む。）の送信時間は 5 秒以内とし、間欠して送信する場合にあっては、送信時間の総和が 5 秒以内に行われる送信を一の送信としてみなすことができる。その場合において、送信の開始から停止までは 90 秒以内とする。また、一の送信が 5 秒を超える場合は、一の送信が開始されてから終了するまでに要した時間の 5 分の 2 以上経過した後でなければ次の送信は行ってはならないものとする。	(変更なし)
		(ウ)429.246875MHz 以上 429.7375MHz 以下の周波数の電波を使用するもの並びに空中線電力が 1mW 以下かつ 429.815625MHz 以上 429.915625MHz 以下、449.715625MHz 以上 449.815625MHz 以下、449.840625MHz 以上 449.878125MHz 以下及び 469.440625MHz 以上 469.478125MHz 以下の周波数の電波を使用するもの（チャンネル間隔 6.25kHz のものに限る。）については、送信時間制限装置の備え付けを要しない。	(変更なし)
9	筐体	一の筐体に収められており（集中基地局等に使用する空中線共用器も含む。）かつ空中線系を除く高周波部及び変調部は、容易に開けることができないこと。ただし、電源装置、制御装置、送信装置及び受信装置の動作の状態を表示する表示器、音量調整器及びスケルチ調整器、周波数切替装置、送受信の切替器、附属装置及びこれに準ずるもの、並びに空中線についてはこの限りでないものとする	920MHz 帯の特定小電力無線局と同様な規定としている。

測定法については下記の通り。400MHz 帯テレメーター用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局の技術的条件から 変更はなし となっている。

測定法

スペクトルアナライザ等を用いた測定方法は、既存の特定小電力無線局等の測定方法に準じて定めることとし、次のとおりとする。

(1) 周波数の偏差

空中線端子に擬似負荷(インピーダンス整合回路又は減衰器等)を接続し、無変調の連続送信状態として周波数計により測定する。

(2) 占有周波数帯幅

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、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。

(3) 空中線電力の偏差

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、平均電力で規定される電波の型式の測定は平均電力を測定する。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される信号で変調をかける。この場合、空中線と電氣的常数の等しい擬似空中線回路(インピーダンス整合回路又は減衰器等)を使用して測定することができる。

また、測定については、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とする。

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

(4) スプリアス発射又は不要発射の強度

標準符号化試験信号を入力信号として加えたときのスプリアス成分の平均電力（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。この場合、空中線と電氣的常数の等しい擬似空中線回路を使用して測定することができる。

帯域外領域におけるスプリアス発射は送信装置を無変調として測定する。

スペクトルアナライザ等の分解能帯域幅は、技術的条件で定められた参照帯域幅に設定すること。また、試験用端子が空中線端子と異なる場合は、空中線端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

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される信号で変調をかける。

(5) 隣接チャンネル漏えい電力

空中線端子に擬似負荷(インピーダンス整合回路又は減衰器等)を接続し連続送信状態としてスペクトルアナライザ等により測定する。

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する。

また、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される信号で変調をかける。

(6) 送信・休止時間制限

スペクトルアナライザの中心周波数を試験周波数に設定し、掃引周波数を 0Hz（ゼロ・スパン）として測定する。

なお、時間分解能が不足する場合は、上記スペクトルアナライザの IF 出力又は試験周波数を直接又は広帯域検波器で検波しオシロスコープ等を用いて測定する。

(7) 受信装置の副次的に発する電波等の限度

空中線端子に擬似負荷(インピーダンス整合回路又は減衰器等)を接続しスペクトルアナライザ等を用いて測定すること。

(8) キャリアセンス

ア 受信機給電点において技術基準で定められたレベルになるように標準信号発生器の

信号レベルを設定する。

イ 標準信号発生器の出力をオフとして送信状態としスペクトルアナライザ等により送信することを確認する。

ウ 上記の標準信号発生器の出力をオンとして送信状態としスペクトルアナライザ等により送信しないことを確認する。

第8章 各ニーズへの適用方法案

8.1 150MHz 帯と 400MHz 帯それぞれが適する用途について

150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムと 400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムそれぞれについて諸元・運用条件案を策定したが、実証実験結果を参照し、表 8-1 に示すような用途にそれぞれが適すると考えられる。

表 8-1 150MHz 帯と 400MHz 帯それぞれが適する用途

用途	150MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム	400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システム
長距離通信	適するが、ノイズへの注意が必要	適する
	周囲機器からのノイズの影響が大きい場合、フェライトコア挿入やシールドなどのノイズ対策が必要。 ノイズ対策上、アンテナと筐体一体型ではなく、ケーブルで伸ばして設置することが望ましい	パソコンなどからのノイズの影響は大きくないため、環境ノイズが高い場所においては、400MHz 帯を使用の方が通信を確保できることも起こりうる。
	特に山間部は適する	平野部、海上に適する
	回折による伝搬が期待される。さらに、山間部はノイズが低い場所が多い。	見通しがよければ、150MHz とそん色ない通信距離を確保できる。
伝送するデータ容量が大きい場合	400MHz 帯よりは適するが、制限あり	適さない
	1 時間あたりの送信時間総和 360 秒以下	1 時間あたりの送信時間総和 36 秒以下 緯度経度等のテキストデータ伝送程度に限られる。
装置の小型化	あまり適さない	適する
	波長が長い場合、アンテナが大きくなる。 ノイズ対策上、アンテナと筐体一体型ではなく、ケーブルで伸ばして設置することが望ましい	アンテナは小型になる。 アンテナと筐体一体型でも、受信感度は低下しづらい。

第2章で上げたニーズについて、150MHz帯狭帯域LoRa®通信システムと400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムのどちらが適するかを表8-2に示す。なお、小型船舶衝突防止システムについては、150MHz帯、400MHz帯いずれでも導入は困難と考えられる。

表 8-2 ニーズごとに適するシステム

150MHz帯狭帯域LoRa®通信システムが適する	400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムが適する	備考
林業での緊急通報システム	—	中山間地域の伝搬を考慮
林業従事者位置通報システム	—	中山間地域の伝搬を考慮
人流測定（センサを設置してカウント結果をLoRa®にて送る）	人流測定（センサを設置してカウント結果をLoRa®にて送る）	データ量によっては、どちらも適用可能
—	造船業での船体ブロック位置管理システム	小型化が必要なため
電気柵電圧監視システム	電気柵電圧監視システム	どちらも適用可能
中山間地域の防災、災害対策、防災行政無線の代替、インフラ管理点検	—	中山間地域の伝搬を考慮
水田の水位測定、果樹の水分状態に応じて水を遠隔で与える仕組み	水田の水位測定、果樹の水分状態に応じて水を遠隔で与える仕組み	データ量によっては、どちらも適用可能
狭い中山間道路の対向車表示の信号伝達	—	中山間地域の伝搬を考慮

8.2 各システムへの適用可否と課題

150MHz帯/400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムについて、ニーズとして寄せられた各システムのうち、主なものについて、どのように適用可能か、諸元・運用条件案を元に検討し、考えられる課題と共に以下に示す。

8.2.1 船体ブロック位置管理システム

船体の建造は、一カ所で一度に建造するのではなく、船体を複数の部分（船体ブロック）に分けて離れた工場で作成し、最後に造船所に集めてつなぎ合わせるブロック工法が採用されている。この船体ブロックがどこにあるのか、どのような状態なのか一元管理を可能とするのが船体ブロック位置管理システムである（図 8-1）。適用可否や課題について表 8-3 に示す。現在使用可能な通信手段（LTE など）では、通信料がかかり、海上の不感地帯の問題があるが、これらを解消でき、メリットは大きいと考えられる。

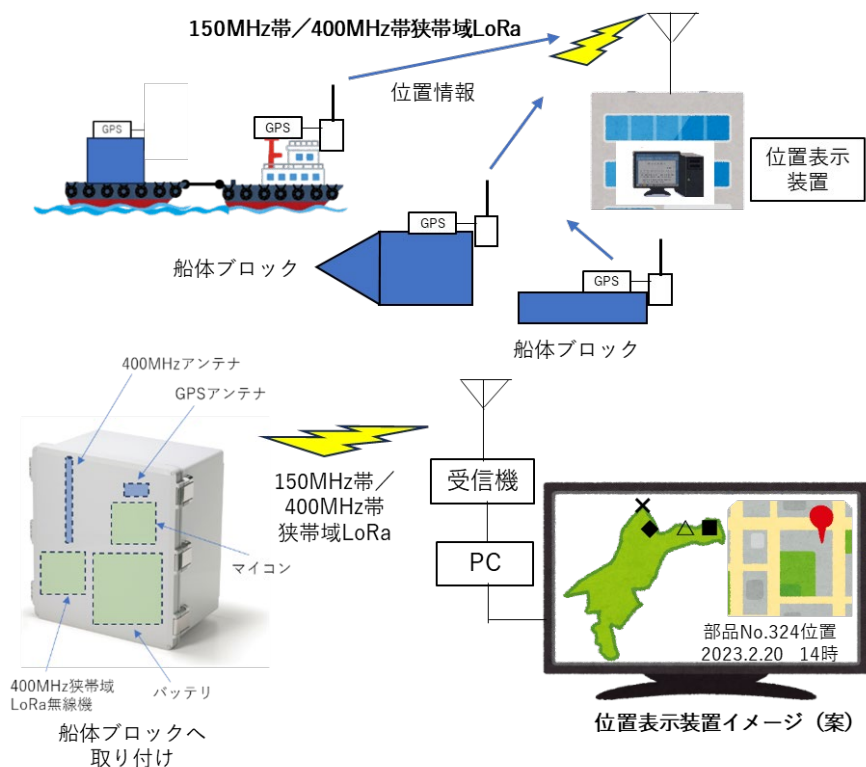


図 8-1 船体ブロック位置管理システム概要

表 8-3 船体ブロック位置管理システムへの適用可否や課題

船体ブロック位置管理システム	
150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの適用可否	<p>適用可</p> <p>長距離伝搬特性に優れているため、離れた場所にある船体ブロックの位置管理も可能となる。</p> <p>伝送が必要なデータ量は、緯度経度などで低容量なため、伝送可能。</p> <p>通信頻度は作業終了時の1日1回程度でも有用。移動時でも10分～1時間に1回程度であり、対応可能。</p>
費用	<p>特定小電力無線局で実現できれば、通信料等の支払いがないため、メリット大。</p> <p>登録局の場合、申請が必要となるため、10数台など台数が少ない場合には、許容できると考えられる。</p>
課題	<p>船体ブロックへの装置取り付け方法について、金属の電波伝搬への影響を含めて検討が必要。容易に取り付け取り外しできる必要がある。このためには装置の小型化が必要。</p> <p>小型化した場合、特に150MHz帯ではノイズ対策が必要。</p> <p>150MHz帯の場合、アンテナが大きくなるため小型化が困難。アンテナ構造の検討が必要。</p> <p>バッテリー駆動とする必要があるため、低電力化が必要。</p>

8.2.2 小型船舶衝突防止システム

小型船舶の衝突防止対策として、電波によって位置情報を周りの船舶に向けて送信し、接近時には警報を発するシステムとなっている（図 8-2）。適用可否や課題について表 8-4 に示す。島影にも到達可能なため、伝搬特性的には問題ないが、衝突回避のために、少なくとも3秒ごとの送信が必要となる。しかし、提案システムでは、キャリアセンスが動作して送信できずに、送信間隔が広がることが発生しうる。AIS (Automatic Identification System: 船舶自動識別装置) のように送信スロットを各局が分け合って送信すれば、衝突が発生せず送信間隔を確保できるが、システムが複雑になり、安価とすることが困難となる。このため、小型船舶衝突防止システムについては、現時点では150MHz帯/400MHz帯狭帯域LoRa®

通信システムは適用ができず、今後の検討課題としたい。

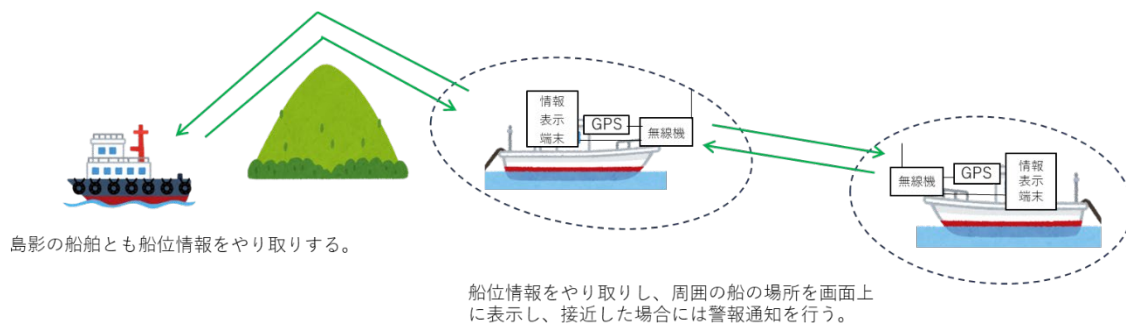


図 8-2 小型船舶衝突防止システム概要

表 8-4 小型船舶衝突防止システムへの適用可否や課題

小型船舶衝突防止システム		
150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの適用可否	適用困難	島影など見通し外の船舶とも船位情報のやり取りが可能となる。
		3秒ごとの送信のため、1時間あたりの送信時間総和を超えてしまう。
		伝送が必要なデータ量が32Byte以下であれば、帯域幅15.6kHzで送信時間が0.8秒、7.8kHzで2.1秒のため、3秒ごと送信が可能となる。船位情報を32Byte以下にする必要がある。
		通信頻度は衝突回避のため、少なくとも3秒ごとの送信が必要だが、キャリアセンス動作によって送信できない可能性がある。
費用	特定小電力無線局で実現できれば、免許手続きが不要で、小型船舶への導入が容易となり、メリット大。登録局、免許局では導入のハードルが高い。	
課題	150MHz帯の場合、衝突可能性がない遠距離の船舶の情報を受信してしまう可能性がある。	

8.2.3 林業での緊急通報システム、林業従事者位置通報システム

携帯電話不感地域で緊急事態が発生した場合に、ボタンを押下して通報するシステムや、林業従事者の位置を GPS で把握し、そのデータを通報するシステムとなっている(図 8-3)。適用可否や課題について表 8-5 に示す。この用途であれば、すでに 150MHz 帯人・動物検知通報システムが使用可能であるが、加えて、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムも適用可能と考えられる。ただし、1 時間あたりの送信時間の総和制限があることに注意が必要である。

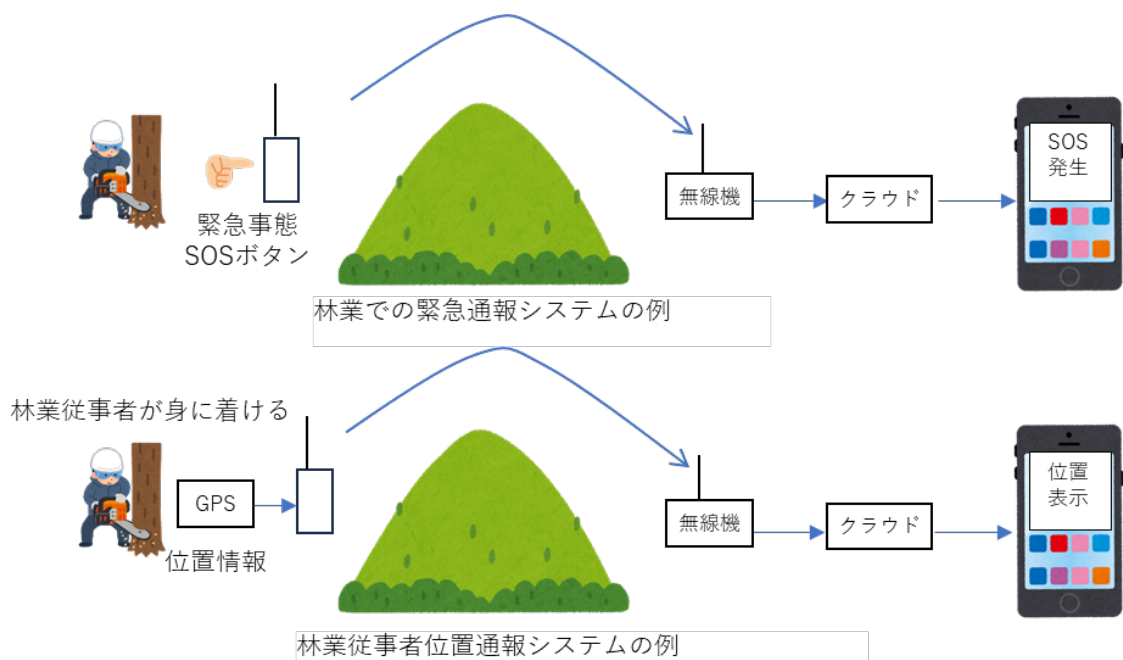


図 8-3 林業での緊急通報システム、林業従事者位置通報システム 概要

表 8-5 林業での緊急通報システムや林業従事者位置通報システムへの
適用可否や課題

林業での緊急通報システム、林業従事者位置通報システム		
150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの適用可否	適用可	長距離伝搬特性に優れているため、離れた場所とも通信可能。
		伝送が必要なデータ量は、押しボタン情報や緯度経度などで低容量なため、伝送可能。
		通信頻度は緊急事態発生時のみや、定時通報の 10 分～1 時間に 1 回程度であり、対応可能。 ただし、1 時間あたりの送信時間の総和制限があるため、頻度が高い通信は実施できない。
費用	すでに、特定小電力無線局である 150MHz 帯人・動物検知通報システムが使用可能なため、特定小電力無線局でなければメリットはない。	
課題	身に着けるために小型化した場合、特に 150MHz 帯ではノイズ対策が必要。 150MHz 帯の場合、アンテナが大きくなるため小型化が困難。アンテナ構造の検討が必要。 バッテリー駆動とする必要があるため、低電力化が必要。	

8.2.4 電気柵監視システム

サル、イノシシ、クマなどの野生鳥獣が畑などへの進入を防止するために設置されている電気柵の電圧を監視し、断線や倒木で電圧低下時にはメール等で異常を知らせるシステムである（図 8-4）。適用可否や課題について表 8-6 に示す。この用途であれば、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムは適用でき、長距離伝搬特性を生かし、離れた場所の電気柵監視も可能となる。

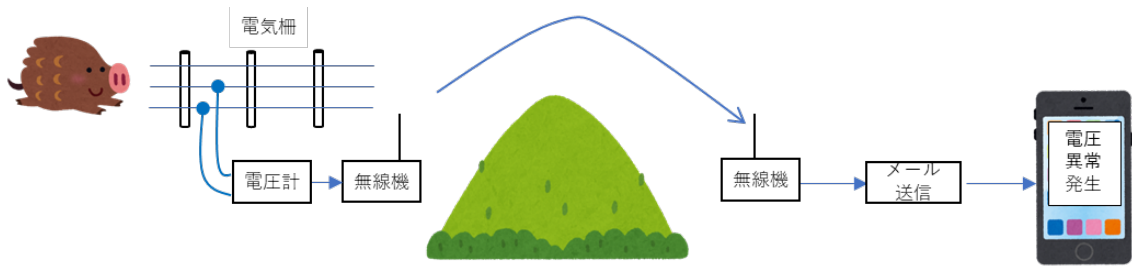


図 8-4 電気柵監視システムの概要

表 8-6 電気柵監視システムへの適用可否や課題

電気柵監視システム	
150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの適用可否	適用可 長距離伝搬特性に優れているため、離れた柵も監視可能。 伝送が必要なデータ量は、電圧値や電圧異常情報などで低容量なため、伝送可能。 通信頻度は異常発生時のみや、定時通報の10分～1時間に1回程度であり、対応可能。
費用	特定小電力無線局で実現できれば、携帯電話不感地域でも使用可能で、通信料等の支払いがないため、メリット大。 登録局の場合、登録申請が必要となるため、場合によっては、許容できると考えられる。
課題	特に 150MHz 帯では柵の高電圧から発生するノイズへの対策が必要。 バッテリーまたはソーラーパネル駆動とする必要があるため、低電力化が必要。

なお、電気柵監視システムについては、150MHz 帯人・動物検知通報システムを使用可能であるが、例えば、追加機能として周囲の温度湿度や水路の水位等をあわせて伝送する場合には使用できないと考えられる。150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムであれば、これらの伝送も可能となり、使いやすくなる。また、電気柵監視システムと同様な構成で河川水位や土砂崩落、積雪等の監視や、制御機器の遠隔操作など、幅広い分野で活用が可能である。

8.2.5 LoRa®搭載ルーター

150MHz帯/400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムが制度化された後、対応した無線機を使用する必要があり、当初は普及が進まないことが考えられる。利用促進につなげるためには、LoRa®搭載ルーターの製品化が有効であると考えられる。LoRa®搭載ルーターは、Wi-FiやBluetooth、920MHz帯LPWAを受信し、150MHz帯/400MHz帯狭帯域LoRa®や、Wi-Fi、Bluetooth、920MHz帯LPWAにて送信する装置である（図8-5）。これにより、既存のWi-FiやBluetooth、920MHz帯LPWAを搭載したセンサからのデータを、150MHz帯/400MHz帯狭帯域LoRa®で送ることができ、長距離伝搬が可能となる。1つ1つのセンサは、150MHz帯/400MHz帯狭帯域LoRa®の無線機を搭載する必要はなく、従来から搭載している無線機を使用するため、導入のハードルは低く、普及促進につながると考えられる。

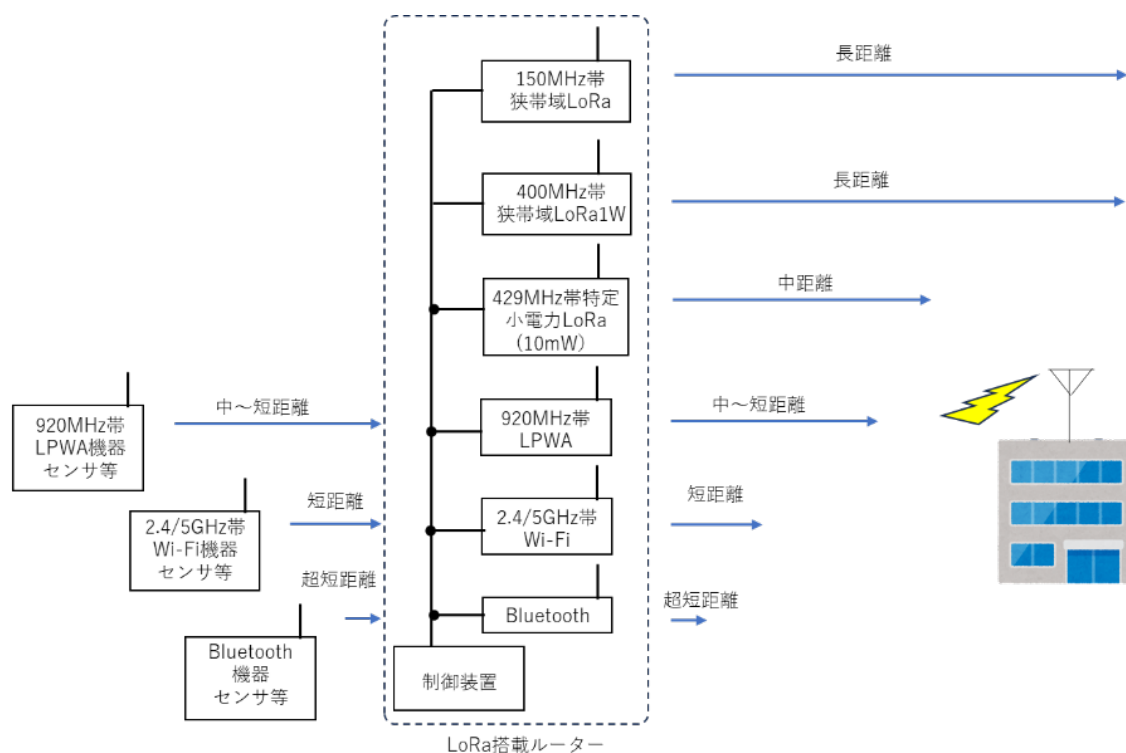


図 8-5 LoRa®搭載ルーター 系統案

適用可否や課題について表 8-7 に示す。

表 8-7 LoRa®搭載ルーターへの適用可否や課題

LoRa®搭載ルーター		
150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムの適用可否	適用可	長距離伝搬特性に優れているため、Wi-Fi などでは届かない離れた場所と通信可能となる。
		伝送容量は小さいため、データを制限しなければならない。
		送信時間は長くなるため、特定小電力無線局では実現が困難。送信時間総和制限のない登録局か免許局を使用する必要がある。
費用	携帯電話不感地域でも使用可能で、通信料等の支払いはないが、登録申請や、免許局の場合は、申請や無線従事者が必要となる。	
課題	アンテナの設置方法について検討が必要。 制御装置や無線機から発生するノイズへの対策が必要。 普及のためには低廉化が必要。	

LoRa®搭載ルーター実現のためには、特に以下の項目に対して検討が必要である。

① 伝送容量の違い

150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムは、伝送容量が小さいため、Wi-Fi や Bluetooth、920MHz 帯 LPWA にて受信したデータをそのまま伝送することはできない。このため、以下のような対策が必要となる。

- センサ側にてデータ量を制限する。
- LoRa®搭載ルーター内の制御装置において、Wi-Fi や Bluetooth、920MHz 帯 LPWA にて受信したデータから要点のみを抽出した後、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®にて伝送する。例えば電圧を伝送する場合、測定した電圧すべてではなく、最大値や平均値、異常値を抽出して伝送する。
- LoRa®搭載ルーター内の制御装置において、異常を検知し、異常検知の情報のみを 150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®にて伝送する。

- LoRa®搭載ルーター内の制御装置において、AI を用いてデータ圧縮を行い、圧縮後のデータを 150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®にて伝送する。

② 伝送先の選択

Wi-Fi や Bluetooth、920MHz 帯 LPWA にて受信したデータを、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®や、Wi-Fi、Bluetooth、920MHz 帯 LPWA のすべてを使用して伝送する必要はない。干渉回避や消費電力低減のためには、伝送する方式を選択した方が望ましい。以下のような対策が必要と考えられる。

- Bluetooth⇒Wi-Fi⇒920MHz 帯 LPWA⇒400MHz 帯狭帯域 LoRa®⇒150MHz 帯 LoRa®の順番（到達距離が短い順）に伝送を行い、伝送に成功した後は以降の伝送を行わない。
- センサ側にて伝送するシステムを指定するデータを付加して送信し、LoRa®搭載ルーター内の制御装置は、それに従って伝送を行う。
- LoRa®搭載ルーター内の制御装置にて、あらかじめテストデータを送信してシステムごとの受信レベルや伝送状態の測定を行い、最良と判断した伝送システムのみを使用する。

③ アンテナの構成

LoRa®搭載ルーターには、複数の周波数のアンテナを搭載する必要がある。複数のアンテナを設置した場合、アンテナ相互間の結合によってアンテナ特性が劣化することが考えられる。キャリアセンスを行うシステムでは、他システムが送信時に周波数が異なる場合でも、キャリアセンスのしきい値を上回って送信できないことが発生しうる。広帯域アンテナを使用することでアンテナ本数を減らすことはできるが、アンテナ共用器が必要となって高価になる場合がある。安価に複数のシステムが動作可能で、特性劣化の少ないアンテナの構成について検討する必要がある。また、制御装置や各無線機から発生するノイズをアンテナが受信しないようにする対策も必要となる。

④ 費用の低廉化

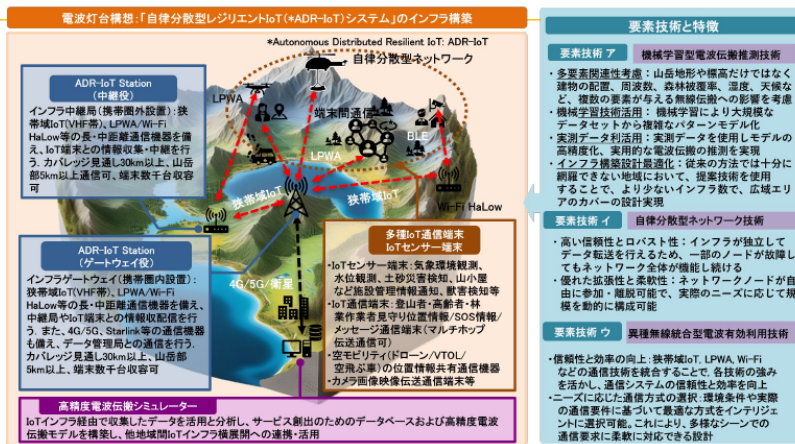
普及のためには LoRa®搭載ルーターの低廉化が必要となる。特殊な部品等を使用せずに汎用的な部品を使用する、簡素な最小限の機能のみに限定する、造船業のみに限らず、他の業種でも使用可能なものとして生産台数を増やして量産効果を出すなどの対策が必要となる。

なお、この LoRa®搭載ルーターについては、信州大学を中心に提案されている山岳電波灯台構想「自律分散型レジリエント IoT (ADR-IoT) システム」と重なる部分が多い。多様な方式の通信技術を組み合わせて通信を確保しようとするシステムは、山岳のみならず、今回、調査検討を実施した海上においても有効なシステムと考えられる。

提案システム：山岳電波灯台構想「自律分散型レジリエントIoT (ADR-IoT) システム」 23

● 「山岳電波灯台」構想

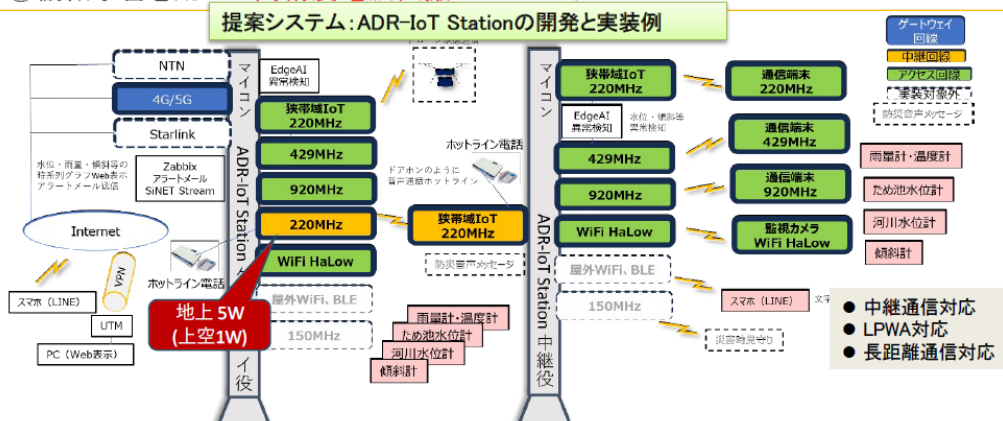
山岳・中山間地域の地理特性を活かした**低コスト・高効率通信インフラ構築**、平常時の利便性×災害時の即応性=**地域の安心・安全**



提案システム：山岳電波灯台構想「自律分散型レジリエントIoT (ADR-IoT) システム」 24

● システム構成

- ① 多様な無線方式を備えた**ADR-IoT Station (ゲートウェイ役、中継役)**
- ② 多様な**IoTセンサー端末** (加速度・水位・カメラなど)
- ③ 機械学習を用いた**高精度電波伝搬シミュレーター**



令和7年12月3日 第9回国研究交流サロン
 災害時の情報孤立を防ぐ通信システムの開発と放送メディアの活用
 講師：信州大学名誉教授・DX推進センター特任教授 不破 泰氏

図 8-6 山岳電波灯台構想「自律分散型レジリエント IoT (ADR-IoT) システム」

おわりに

令和 5 年度の調査検討に引き続き、今年度、新たに寄せられた地域のニーズに対応できるよう、150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムについて、調査検討を実施した。この通信システムについては、ローカル 5G のように大容量の通信へは適用できないが、低容量、低頻度、長距離の通信へは適用可能となっており、実証実験においてその実力も確認できたところである。また、農業分野に限らず、他の産業分野においても、低容量、低頻度、長距離の通信へのニーズがあり、四国に限らず、他の地域でも求められるシステムと考えられる。150MHz 帯/400MHz 帯狭帯域 LoRa®通信システムが手軽に使用可能となれば、地方の課題を解決し、DX 推進にもつながり得るため、第 6 章の 6.6 に示したような課題の検討を含め、今後の制度化について期待したい。

最後に、本調査検討実施にあたり、多くの関係者に御協力いただいた。特に今治造船株式会社殿には、試験場所を提供いただき、実証公開には多数の参加者を得ることができた。各位に感謝の意を表す。

参考資料 1 用語解説

用語	解説
拡散係数 SF	Spreading Factor LoRa [®] 変調において、スリープの開始周波数と終了周波数を何通り設定するかを示している。拡散係数を大きくすると、周波数の変化スピードが遅くなり、感度は良くなるが、通信速度が遅くなる。
キャリアセンス	carrier sense 無線機が、送信の前に受信を行って他局から電波が送信されていないことを確認してから送信する機能。
キャリアセンスレベル	キャリアセンスを実施する際に、他局から電波が送信されていると判断する受信レベルのしきい値。
呼損率	通信回線使用時に、空き回線が無いため使用できなかった割合。
呼量	単位時間当たりの通信回線の占有量。単位は erl (アーラン)。単位時間あたりの回線の平均使用回数と回線の平均占有時間の積で表される。
占有周波数帯幅	その上限の周波数をこえて輻射され、及びその下限の周波数未満において輻射される平均電力がそれぞれ与えられた発射によって輻射される全平均電力の〇・五パーセントに等しい上限及び下限の周波数帯幅をいう。
帯域幅	電波を送信・受信する際に使用する周波数の範囲
登録局	一定の条件を満たす無線局を開設する際に、無線局の免許に代えて総務大臣の登録を受けた無線局。予め一定の技術的条件及び運用条件を課すことにより、現行の免許制度で行っている周波数の割当可能性や技術基準への適合性などについての事前審査を大幅に簡素化し、形式的な要件審査により無線局の開設が認められる。

用語	解説
特定小電力無線局	免許不要無線局の一種であり、総務省で定める一定の条件を満たした無線設備であれば無線従事者資格も無線局免許も不要で使用できる。
無線モジュール	通信に必要な送信機や受信機、制御用装置を一つにまとめ小型化した電子部品。
リッジ	ridge 山の尾根、背 山によって電波が遮られることによって発生する損失をリッジ損失という。
ARIB STD	Association of Radio Industries and Businesses 一般社団法人 電波産業会にて制定された標準規格 ARIB STD-T67 特定小電力無線局 400MHz 帯及び 1,200MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備 ARIB STD-T99 特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の無線設備 ARIB STD-T108 920MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備
BER	Bit Error Rate 無線機間でデータのやり取りを行った際の誤り率。受信に失敗したビット数÷送信したビット数にて求められる。
D/U	希望波 (Desire) と妨害波 (Undesire) のレベル比を示す。 干渉測定の場合、D/U が大きいと妨害波に弱く、D/U が小さいと妨害波に強いことを示す。
Duty	1 時間当たりの送信時間総和をパーセントで示した値。Duty10%であれば、1 時間当たり 360 秒送信可能となる。
FH	Frequency Hopping 周波数ホッピング 一定の周期で周波数を切替えることで他の無線機との干渉を軽減させる方式。

用語	解説
FM	Frequency Modulation 周波数変調の略 音声など送りたい信号の振幅に応じて、周波数を変化させるアナログ変調方式。
GPS	Global Positioning System 人工衛星からの電波を受信し、緯度経度や、距離、時刻を特定する測位システム。
LDC	Low Duty Cycle ある一定時間に占める送信時間を制限することで、他の無線機との干渉を軽減させる方式のこと。
LoRa®	ローラ Long Range の略 Semtech Corporation の登録商標 送信する電波の周波数を連続的に変化（スイープ）させながら通信を行う変調方式。送りたい情報に応じて、スイープの開始周波数と終了周波数を変化させている。高感度で雑音に強いいため長距離通信が可能。
LPWA	Low Power Wide Area 低消費電力で長距離のデータ通信を可能とする無線通信技術を使用した無線システム。
PER	Packet Error Rate 無線機間でパケットのやり取りを行った際の誤り率。受信に失敗したパケット数÷送信したパケット数にて求められる。
4-FSK	4 値 FSK (Frequency Shift Keying 周波数偏移変調) の略。周波数を送りたい情報に応じて、あらかじめ定めた 4 つの周波数 (f1,f2,f3,f4) に変化させるデジタル変調方式。
$\pi / 4$ シフト QPSK	$\pi / 4$ シフト Quadrature Phase Shift Keying の略。位相を送りたい情報に応じて、あらかじめ定めた角度に変化させるデジタル変調方式。隣り合うタイムスロットの位相差を $\pi / 4$ としている。

参考資料 2 参考資料

本報告書作成に当たっては、以下の参考資料を参照した。

- 電気通信技術審議会答申 400MHz 帯等を使用する業務用の陸上移動局等のデジタル・ナロー通信方式の技術的条件 平成 10 年 6 月
- 情報通信審議会情報通信技術分科会小電力システム委員会 小電力を用いる自営系移動通信の利活用・高度化方策に係る技術的条件 平成 20 年 3 月
- 情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告 特定小電力無線局の高度化に係る技術的条件 平成 28 年 3 月
- ARIB STD-T67 特定小電力無線局 400MHz 帯及び 1,200MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備
- ARIB STD-T99 特定小電力無線局 150MHz 帯人・動物検知通報システム用無線局の無線設備
- ARIB STD-T108 920MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備
- 特定小電力超長距離無線モデム Smart RF modem MLR-150 マニュアル Version 2.0 Mar2020 株式会社 サークットデザイン
- 特定小電力超長距離無線モデム Smart RF modem MLR-429 マニュアル Version 2.0 Mar2020 株式会社 サークットデザイン
- 特定小電力超長距離無線モデム Smart RF modem MLR-429 シリアル通信マニュアル Version2.0 Mar 2020 株式会社 サークットデザイン

- 電子情報通信学会 AP 研伝搬データベース 自由空間伝搬損失

https://www.ieice.org/cs/ap/misc/denpan-db/prop_model_db/model_list/free_space_propagation_loss/

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

記号	パラメータ説明[単位]
L	自由空間伝搬損失
d	送受信間距離 [m]
λ	波長 [m]

- 電子情報通信学会 AP 研伝搬データベース 奥村-秦式

https://www.ieice.org/cs/ap/misc/denpan-db/prop_model_db/model_list/okumura-hata-formula/

伝搬損を推定する奥村-秦式は次のとおり。

<都市部>

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \cdot \log d \text{ [dB]}$$

ここで、 $a(h_m)$ は移動局高特性で次式のとおり。

<中小都市>

$$a(h_m) = (1.1 \log f - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \log f - 0.8)$$

<大都市>

$$a(h_m) = 8.29[\log(1.54h_m)]^2 - 1.1 \quad (f \leq 200\text{MHz})$$

$$a(h_m) = 3.2[\log(11.75h_m)]^2 - 4.97 \quad (f \geq 400\text{MHz})$$

<郊外地>

$$L_{ps} = L_p - 2[\log(f/28)]^2 - 5.4 \text{ [dB]}$$

<開放地>

$$L_{po} = L_p - 4.78[\log f]^2 + 18.33 \log f - 40.94 \text{ [dB]}$$

記号	パラメータ説明[単位]	適用範囲
f	周波数 [MHz]	150~1500 MHz
h_b	基地局アンテナ高[m]	30~200 m
d	送受信間距離[km]	1~20 km
h_m	移動局アンテナ高[m]	1~10 m

本調査検討では以下の値を使用している。
 周波数：150.0MHz、429.2MHz
 基地局アンテナ高：155m、30m
 移動局アンテナ高：1.5m

- 電子情報通信学会 AP 研伝搬データベース 球面大地による回折

https://www.ieice.org/cs/ap/misc/denpan-db/prop_model_db/model_list/spherical_earth_diffraction/

球面大地による回折損失 L_d は(1)式の通りとなる。

$$L_d = F(X) + G(Y_1) + G(Y_2) \quad (1)$$

ただし、

$$F(X) = \begin{cases} 11 + 10 \log_{10}(X) - 17.6X & X \geq 1.6 \\ -20 \log_{10}(X) - 5.6488X^{1.425} & X < 1.6 \end{cases} \quad (2)$$

$$G(Y) = \begin{cases} 17.6(B-1.1)^{1/2} - 5 \log_{10}(B-1.1) - 8 & B > 2 \\ 20 \log_{10}(B + 0.1B^3) & B \leq 2 \end{cases} \quad (3)$$

なお、 $G(Y) < 2 + 20 \log_{10} K$ のときは $G(Y) = 2 + 20 \log_{10} K$ とする。

ここで、

$$B = \beta Y \quad (4)$$

$$\beta = \frac{1+1.6K^2+0.67K^4}{1+4.5K^2+1.53K^4} \quad (5)$$

$$K^2 \approx 6.89 \frac{\sigma}{k^{2/3} f^{5/3}} \quad (6)$$

ただし、水平偏波、もしくは20MHz以上の陸上伝搬路で垂直偏波、300MHz以上の海上伝搬路で垂直偏波のときは $\beta = 1$ とする。

また、

$$X = d\beta \times \sqrt[3]{\frac{\pi}{\lambda a_e^2}} \quad (7)$$

$$Y_1 = 2h_1\beta \times \sqrt[3]{\frac{\pi^2}{\lambda^2 a_e}} \quad (8)$$

$$Y_2 = 2h_2\beta \times \sqrt[3]{\frac{\pi^2}{\lambda^2 a_e}} \quad (9)$$

$$a_e = kR \quad (10)$$

記号	パラメータ説明 [単位]	パラメータ範囲
L_d	球面大地による回折損失 [dB]	-
λ	波長 [m]	-
f	周波数 [Hz]	-
a_e	等価地球半径 [m]	-
h_1	送信アンテナ高 [m]	-
h_2	受信アンテナ高 [m]	-
K	地球表面アドミタンス補正係数	-
k	等価地球半径係数 = 4/3	-
σ	大地表面の実効導電率 [S/m] ※ITU-R Rec. P.832参照	-
R	地球の半径 [m]	-
d	送受信アンテナ間距離 [m]	-

本調査検討では以下の値を使用している。
 周波数：150.0MHz、429.2MHz
 地球半径 6378137m、等価地球半径係数 4/3、海水の実効導電率 4S/m、
 送信アンテナ高 30m、受信アンテナ高 1.5m

- 電波伝搬ハンドブック 企画・監修：細矢良雄 株式会社リアライズ社 P125

12.2.1 2波モデル

$$Pr_x/P_{t_x} = (\lambda / 2\pi d)^2 G_t G_r \sin^2(\Delta\phi / 2)$$

$$\Delta\phi = 4\pi h_T h_R / \lambda d$$

Pr_x ：受信電力

P_{t_x} ：送信電力

d ：距離

G_t ：送信アンテナ利得

G_r ：受信アンテナ利得

h_T ：送信アンテナ高

h_R ：受信アンテナ高

λ ：波長

本調査検討では以下の値を使用している。
 周波数：150.0MHz、429.2MHz
 送信アンテナ高 30m、受信アンテナ高 1.5m