

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 概要版

令和6年3月

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会

調査検討の背景

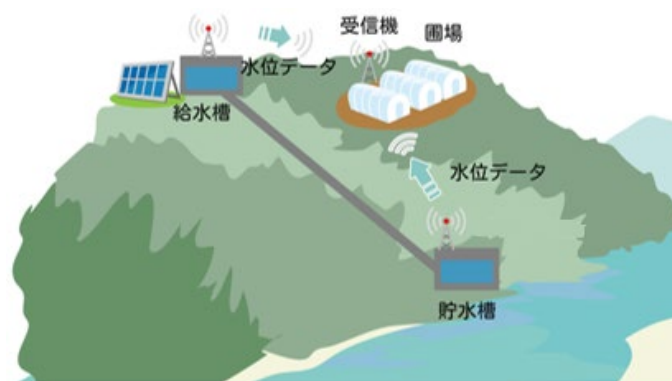
高知県内農家の皆様からのニーズ、お困りごと

農業は、水が大事。現状、水の見回りに費やす時間が多い。まずは、水位計監視を行いたい。

中山間地域、遠方2km～、データ収集用の回線。LTEがエリア外の場合もある。低廉な自営回線が求められる。現行の429MHz帯特定小電力、920MHz帯特定小電力LoRa®では、伝搬距離が短く、遠隔地や見通し外との通信ができない。別の局との干渉もある。

↓
廉価で、中山間地域でも飛ぶ無線通信システムがほしい

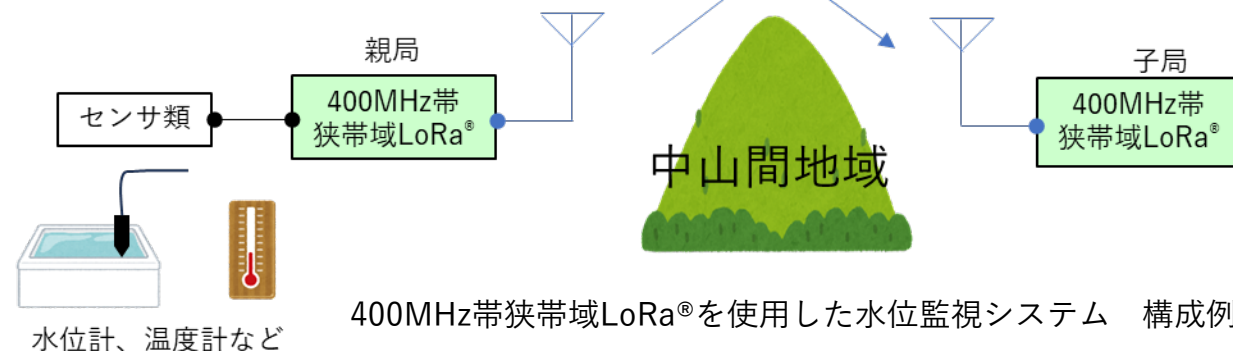
「400MHz帯狭帯域LoRa®通信システム」を、中山間地域で使用可能な廉価通信システムとして四国内で導入可能とするために、調査検討を実施した。



429MHz帯特定小電力LoRa®を使用した水位監視システムの例



429MHz帯特定小電力LoRa®の通信状況例
山を越え1.8km離れた地点とは通信できない



400MHz帯狭帯域LoRa®を使用した水位監視システム 構成例

調査検討での実施内容

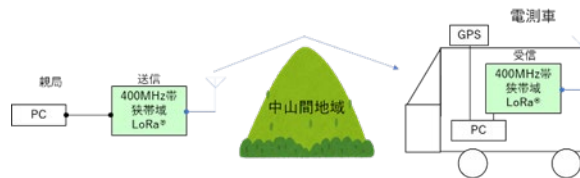
- ニーズ調査 ⇒ 行政機関他、無線機器製造業者、関係団体、学識経験者に対してニーズ調査を実施。
- 400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの試作 ⇒ 実験に使用する機器を製作。
- 屋内実証実験 ⇒ 実験室内にて、無線機の実験特性測定を行う（感度や干渉特性）。
- 屋外実証実験 ⇒ 高知県内の中山間地域にて実際に電波を発射し、電波伝搬特性の測定を実施。
- 他の無線システムとの共用検討 ⇒ 他の無線システムとの共用条件案をとりまとめ。
- 諸元・運用条件等の検討 ⇒ 要求を実現可能な無線システムの諸元・運用条件をとりまとめ。
- 調査検討会の運営 ⇒ 学識経験者、通信機器製造者等から10名程度を構成員とする調査検討会を設置。
- 技術的条件案・報告書案のとりまとめ



400MHz帯狭帯域LoRa®
通信システム用無線機



屋内実証実験 実施例
(受信感度測定)



屋外実証実験 実施例
(ドライブテスト)



屋外実証実験 実施例
(ドローン通信実験)



第二回調査検討会会合
(高知工科大学永国寺キャンパス)

調査検討会 構成員・オブザーバー

- 【主査】 福本 昌弘 高知工科大学 情報学群 教授
- 【副主査】 岩尾 忠重 高知大学 総合科学系複合領域科学部門 教授
- 【構成員】 揚田 徹 高知県 商工労働部産業デジタル化推進課 課長
- 大川内 正樹 株式会社オサシ・テクノス 開発部 部長
- 大崎 充博 株式会社シティネット 技術開発部統括
- 小池 幸永 株式会社サーキットデザイン 代表取締役社長
- 河野 靖 愛媛県 農林水産研究所 企画戦略部長
- 小林 真也 愛媛大学 大学院理工学研究科電子情報工学専攻 教授
- 吉田 一志 国立研究開発法人情報通信研究機構 戦略的プログラムオフィス
- 李 還幫 国立研究開発法人情報通信研究機構 ネットワーク研究所
ワイヤレスネットワーク研究センターワイヤレスシステム研究室
- 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】 都築 慶剛 農林水産省 中国四国農政局 農村振興部長
- 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

会合開催状況

第一回会合	令和5年（2023年） 8月8日 オンライン開催
第二回会合	令和5年（2023年） 10月19日 オンラインと実地併用 高知工科大学永国寺 キャンパス
屋外実証 実験公開	令和6年（2024年） 1月25日 実地開催 四万十町窪川運動場 野球場
第三回会合	令和6年（2024年） 2月21日 オンラインと実地併用 四国総合通信局会議室

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

ニーズ調査

行政機関他、無線機器製造業者、関係団体、学識経験者に対して調査票を郵送する方法でニーズ調査を実施。

無線を使用した「無線テレメータシステム」を使用されていますか？

使用している	使用していない
29	8

現状、使用されているシステムは？

通信料が必要なシステム	通信料が無料なシステム
Sigfox、ELTRES、LTE（4G）、5G、3G、LTE-M、MCA	左記以外のシステム
35	30

現状、通信料が必要なシステムを使用されている方が多い

現状、システムへの不満点は？

電波が届かない	チャンネル数が少ない	回線速度が遅い	送信時間制限がある	使用場所に制限がある	無線局免許の手続きが面倒	免許が必要	電波利用料が高い
9	5	6	6	1	1	1	0

無線機の種類が少ない	無線機が故障しやすい	電池がもたない	無線機の価格が高い	月々の通信料が高い	毎年の保守料が高い	不満はない	無線機の種類が少ない
1	1	2	2	2	1	4	1

電波が届かないことに対して不満が多い。

400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムを採用する可能性

ある	ない	わからない
9	6	22

想定される使用業種についての回答で、農業の次に林業が挙げられていた。林業関係のニーズについて掘り起こしを行えば、採用可能性がさらに高くなることが考えられる。

400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムへの要求事項

項目	求められる事項	要検討事項
使用業種	農業、林業	適用可能な用途の検討
通信距離	10～100m、100～500m、1～3km	通信距離を確保するために必要な空中線電力など仕様の検討
通信頻度	10分に1回～1時間に1回	通信頻度を確保できる仕様の検討
データ量	100Byte程度	データ量を確保できる仕様の検討
価格	初期費用¥50,000、通信料¥0、年間保守料¥0	初期費用低減が可能なシステム構成の検討
改善希望	電波が届かない、回線速度が遅い、送信時間制限がある、無線局免許、電波利用料	空中線電力など仕様の検討 必要とされる回線速度や送信時間の把握と仕様の検討 免許申請負担低減サポートなどの検討

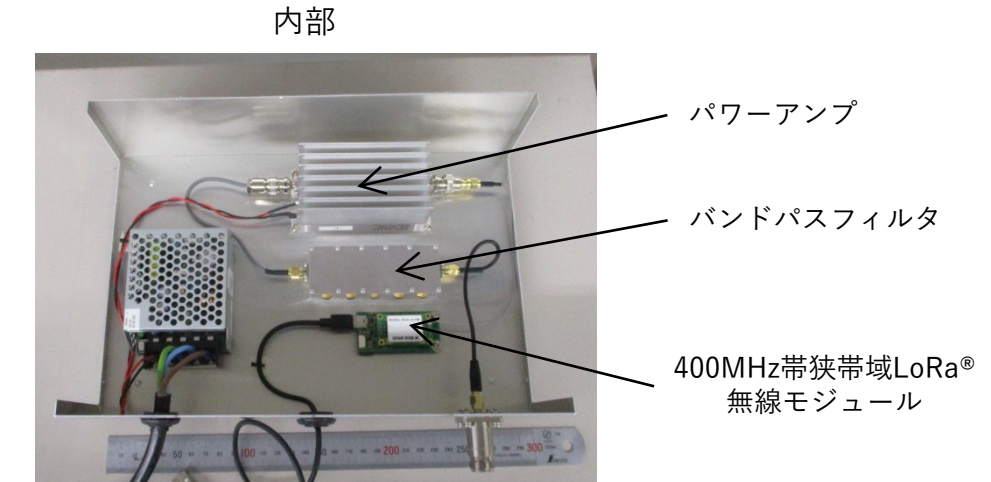
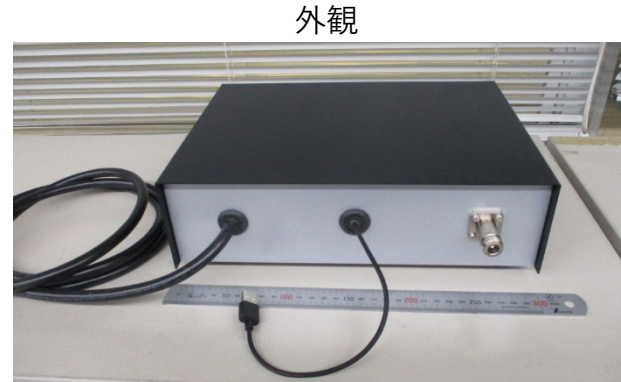
これら要求をできるだけ満たせるよう、検討を実施。

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

400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの試作

実証実験に必要な機器を試作

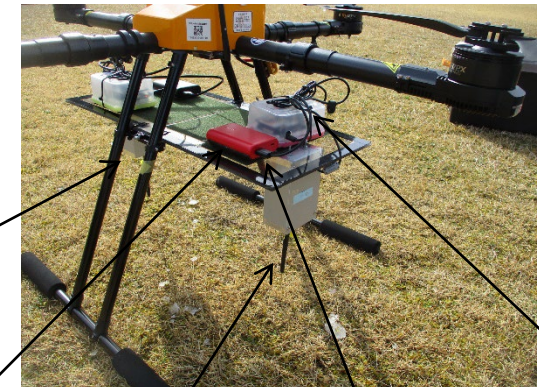
400MHz帯狭帯域LoRa®無線機



400MHz帯狭帯域LoRa®を使用した水位監視システム



429MHz帯特定小電力LoRa®受信機



受信機用バッテリー (モバイルバッテリー)

アンテナ

400MHz帯狭帯域LoRa®受信機

PC (ラズパイ)

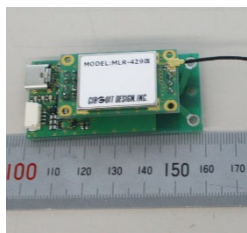
上空受信状況調査用ドローン

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

屋内実証実験

- 室内にてケーブル接続、減衰器等を利用して接続を行い、以下の測定を実施。
 - ①受信感度測定
 - ②干渉測定 (②-1. 同一チャンネル干渉測定 ②-2. 隣接チャンネル干渉測定 ②-3. 近接チャンネル感度抑圧 ②-4. 相互変調)
- 電波の型式は、LoRa®、4-FSK、 $\pi/4$ シフトQPSK、アナログ (FM) とし、実機の無線機を使用して測定を実施。

400MHz帯狭帯域LoRa®無線モジュール



4-FSK、アナログ (FM)



$\pi/4$ シフトQPSK



基準感度測定結果

変調方式	基準感度
400MHz帯狭帯域LoRa® 拡散係数SF=7	-134dBm
400MHz帯狭帯域LoRa® 拡散係数SF=8	-137dBm
400MHz帯狭帯域LoRa® 拡散係数SF=9	-139dBm
400MHz帯狭帯域LoRa® 拡散係数SF=10	-142dBm
400MHz帯狭帯域LoRa® 拡散係数SF=11	-144dBm
400MHz帯狭帯域LoRa® 拡散係数SF=12	-146dBm
4-FSK	-117dBm
$\pi/4$ シフトQPSK	-116dBm
アナログFM	-124dBm

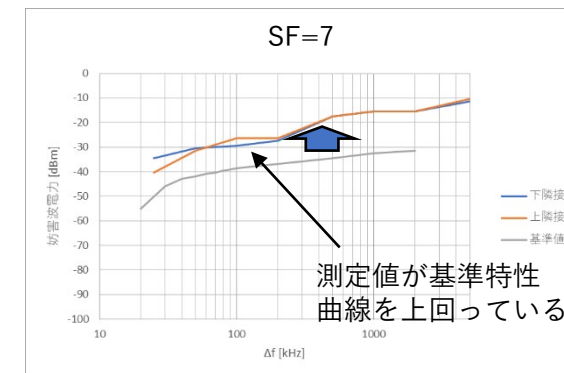
400MHz帯狭帯域LoRa®は、受信電力が小さい場合でも受信可能な傾向が出ている。

- 400MHz帯狭帯域LoRa®通信システム被干渉の場合
電波法関係審査基準別図第37号の2 近接波妨害基準特性曲線を上回っている。
⇒狭帯域デジタル方式と同等な扱いが可能。

- ②干渉測定結果 a.提案システム被干渉
- ②a-3. 近接チャンネル感度抑圧

被干渉 (希望波)	与干渉 (妨害波)
400MHz帯狭帯域LoRa®通信システム	4値FSK

希望波信号レベル
0dB μ V (-113dBm)

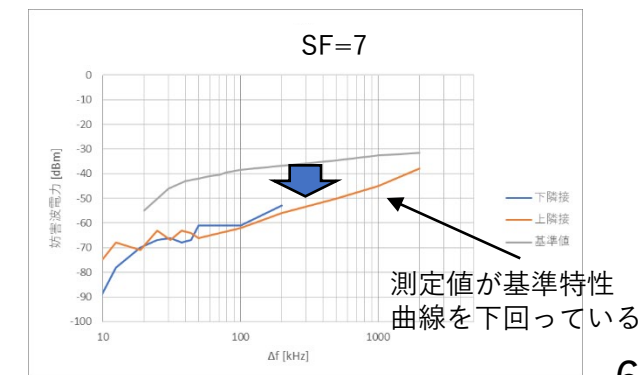


- 400MHz帯狭帯域LoRa®通信システム与干渉の場合
電波法関係審査基準別図第37号の2 近接波妨害基準特性曲線を10dB程度下回っている。
⇒狭帯域デジタル方式よりも与干渉が大きいため、置局時には、400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの値を使用しての扱いが必要。

- ②干渉測定結果 b.提案システム与干渉
- ②b-3. 近接チャンネル感度抑圧

被干渉 (希望波)	与干渉 (妨害波)
4値FSK	400MHz帯狭帯域LoRa®通信システム

希望波信号レベル
0dB μ V (-113dBm)

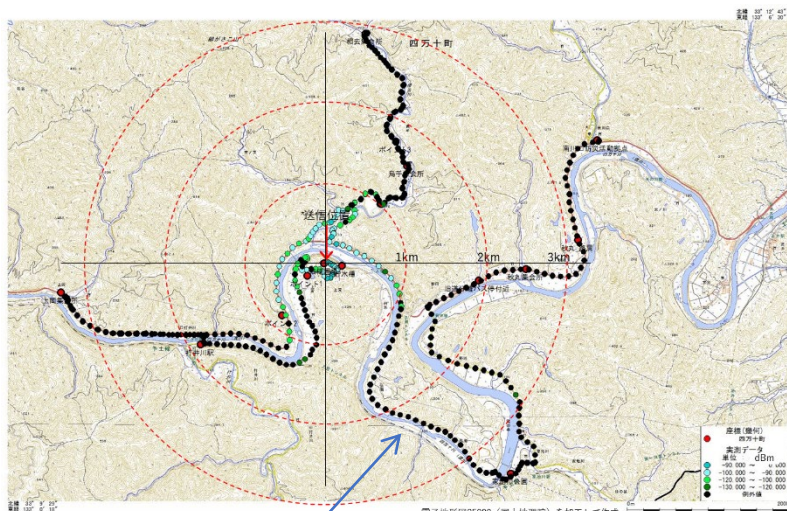


中山間地域に有効な400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの導入に係る調査検討

屋外実証実験

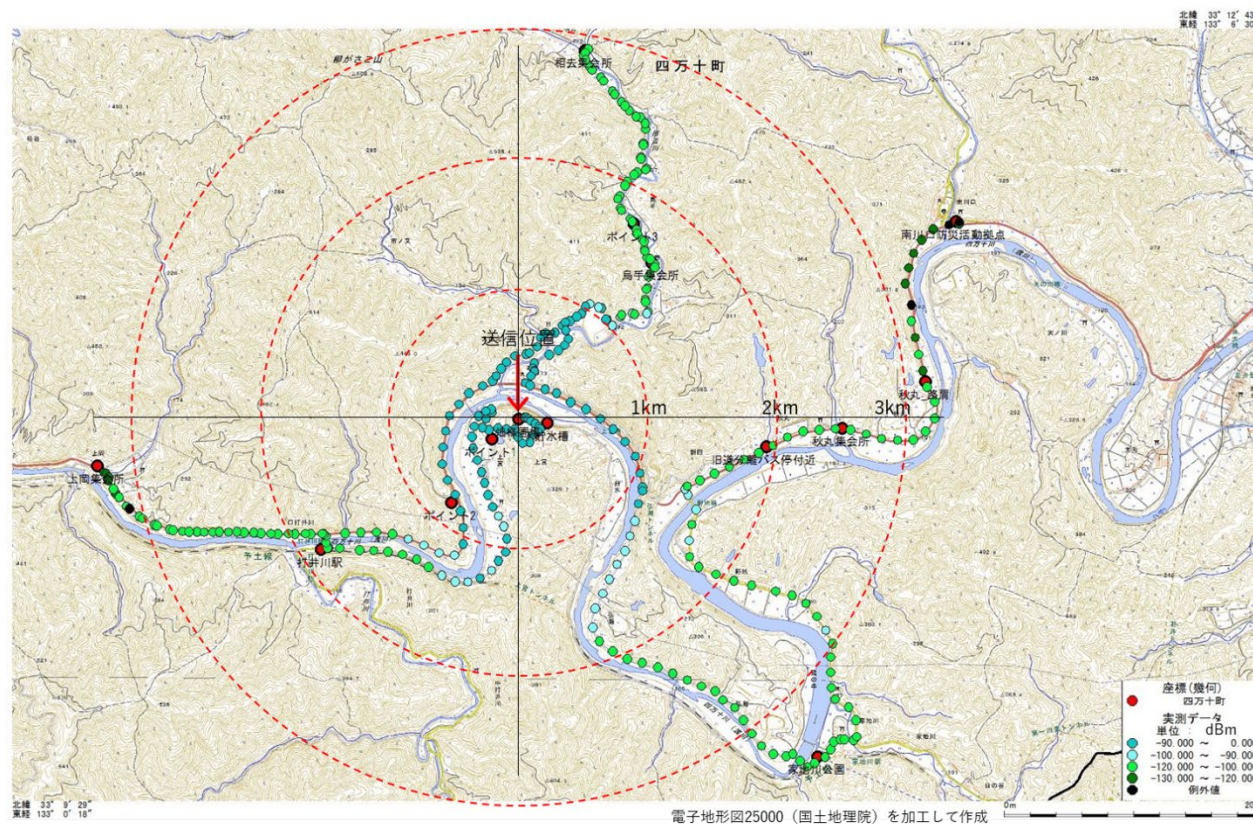
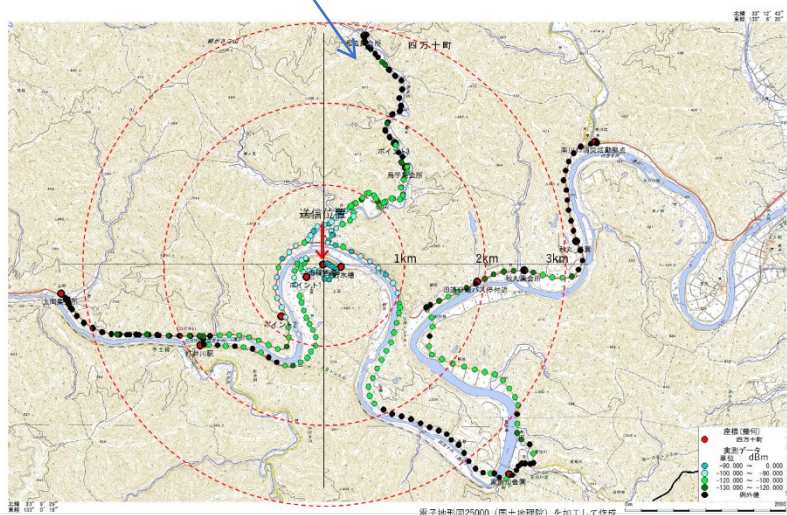
400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの伝搬状況を明らかにするために、送信は固定、受信は車両で移動した状態にて測定（ドライブテスト）を実施。

既存システム
920MHz帯
特定小電力LoRa®
920.6MHz 20mW
LoRa®拡散係数SF=7



黒丸は通信ができなかった地点を示す。

既存システム
429MHz帯
特定小電力LoRa®
429.5MHz 10mW
LoRa®拡散係数SF=7



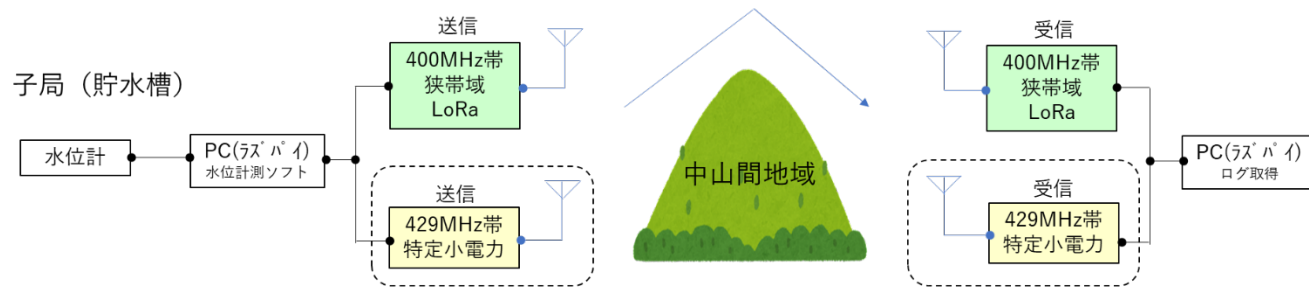
400MHz帯狭帯域LoRa®
414.8MHz 1W
LoRa®拡散係数SF=7

中山間地域で
ひと山超えての通信が可能。

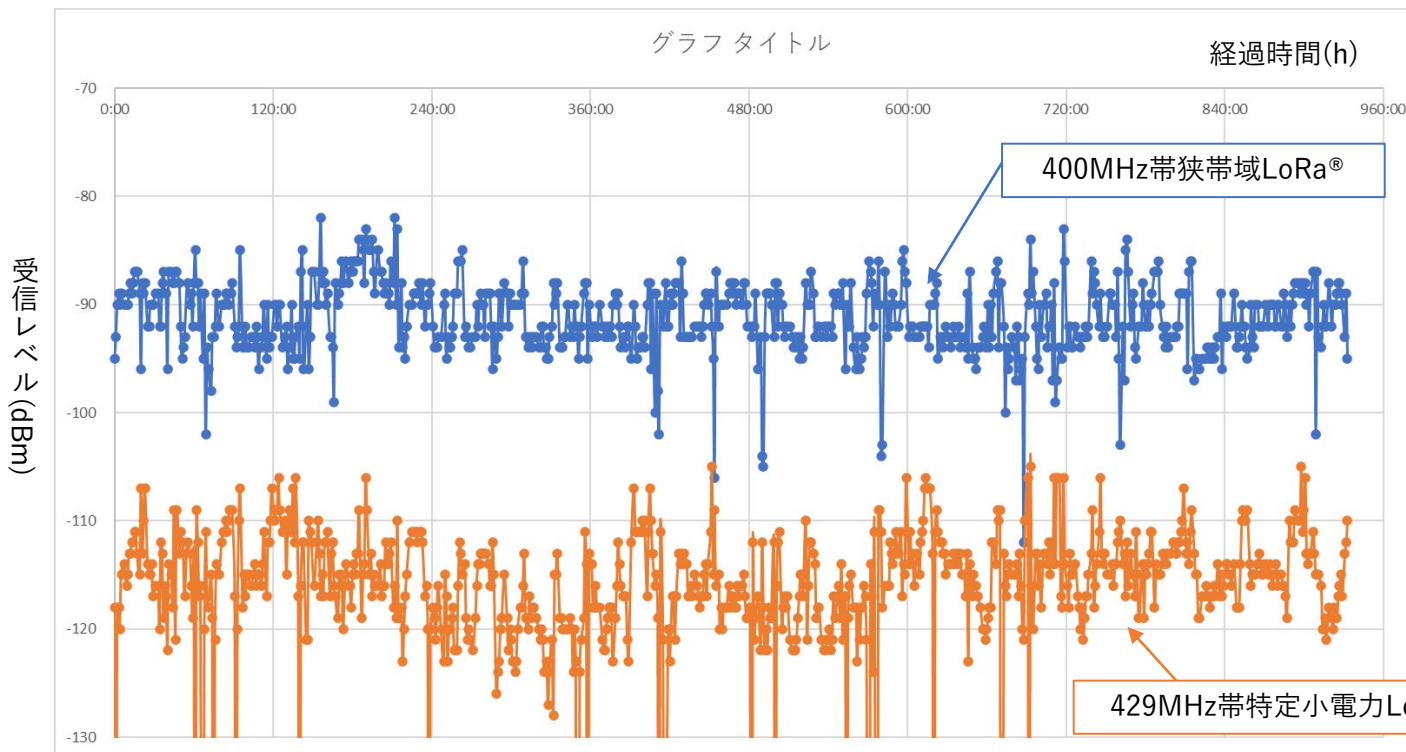
中山間地域に有効な400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの導入に係る調査検討

屋外実証実験

試作システムを実際に設置した状態で1か月程度運用し、水位監視状況についてデータを取得し、通信状況の変化等を分析した。



周波数	414.8MHz (400MHz帯狭帯域LoRa®) 429.5MHz (429MHz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®)
アンテナ高	1.5m
アンテナ利得	2dBi (無指向性)
送信間隔、データ量	1日当たり20回、1回あたり約100Byte
距離	0.23km 見通し外
測定期間	2023/12/14~2024/1/22 38日間



400MHz帯狭帯域LoRa®
受信レベル平均値
-90.1dBm
通信成功率100%

429MHz帯特定小電力LoRa®
受信レベル平均値
-113.7dBm
通信成功率97.4%

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。

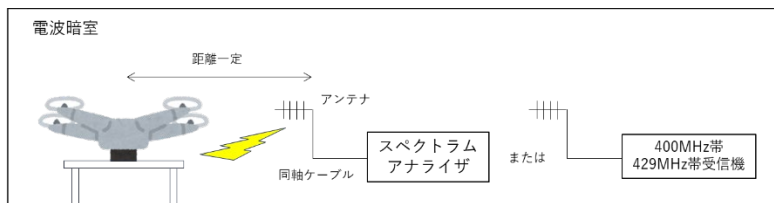
受信レベルの変動が10dB程度、最大20dB近く発生している。置局や回線設計の際に考慮する必要がある。

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

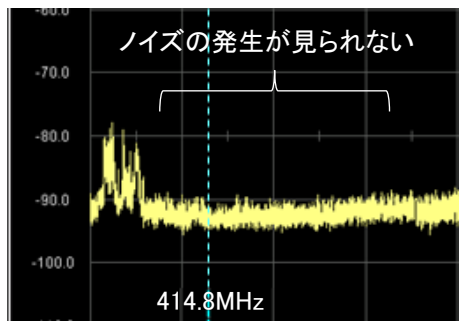
屋外実証実験

ドローンノイズ測定結果

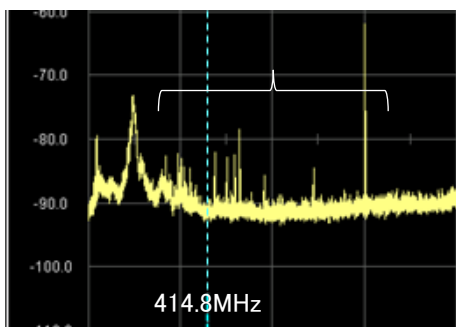
ドローンから発生するノイズの測定を実施。



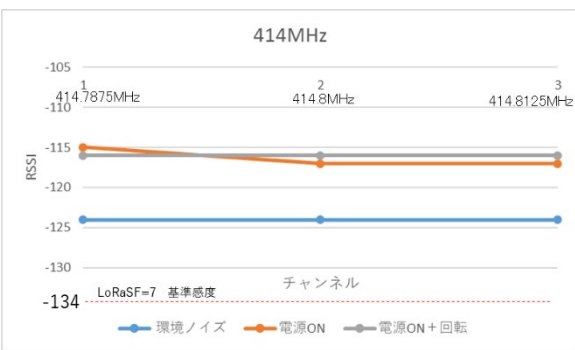
今回実験に使用したドローン



別機種のドローン



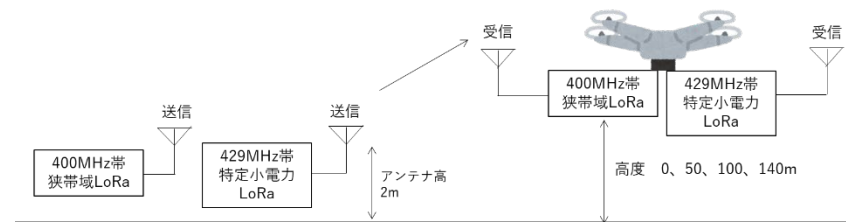
機種によっては強力なノイズを発生するものがあった。今回実験に使用したドローンは動作時、10dB程度のノイズ発生が見られたが、キャリアセンスが動作するような強力なノイズは発生していない。



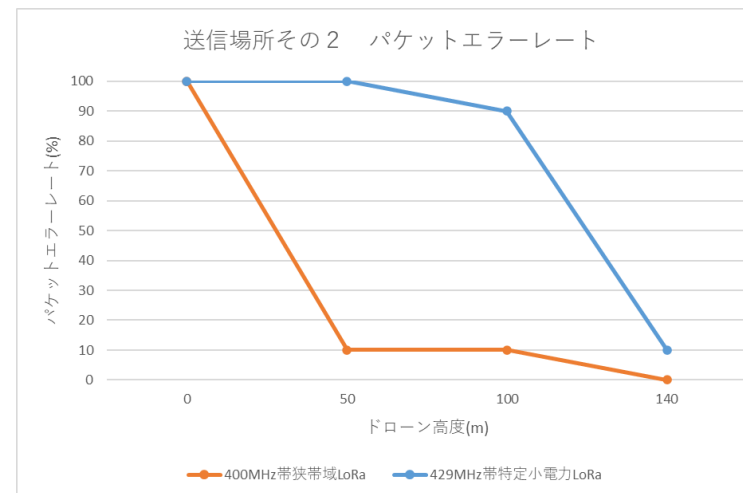
今回実験に使用したドローン
400MHz帯受信機にて測定

ドローン通信実験結果

ドローンへ受信機を搭載した場合の受信状態改善の程度について測定を実施。



地理院地図(電子国土Web)を加工して作成



ドローンを使用して高所での受信は、受信状況改善に効果がある。

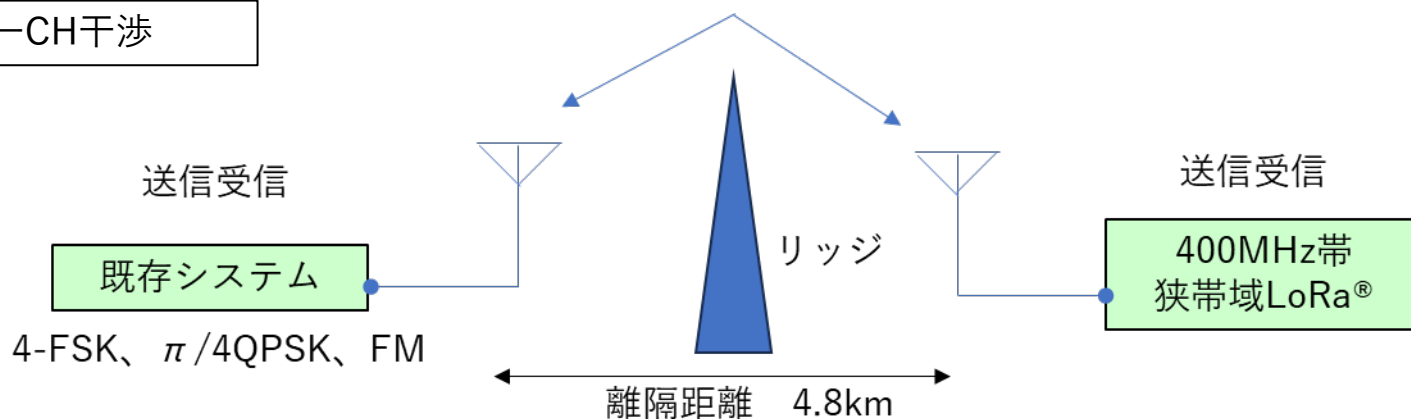
ただし、ドローンからの送信は、他局への干渉の問題があり、困難。

他の無線システムとの共用検討

・今回の実験結果から、400MHz帯狭帯域LoRa®の周波数共用条件（離隔距離）については、以下の通りと考えられる。

なお、本検討においては中山間地域での利用を想定し、リッジ（山の尾根）ありの条件で検討を行った。

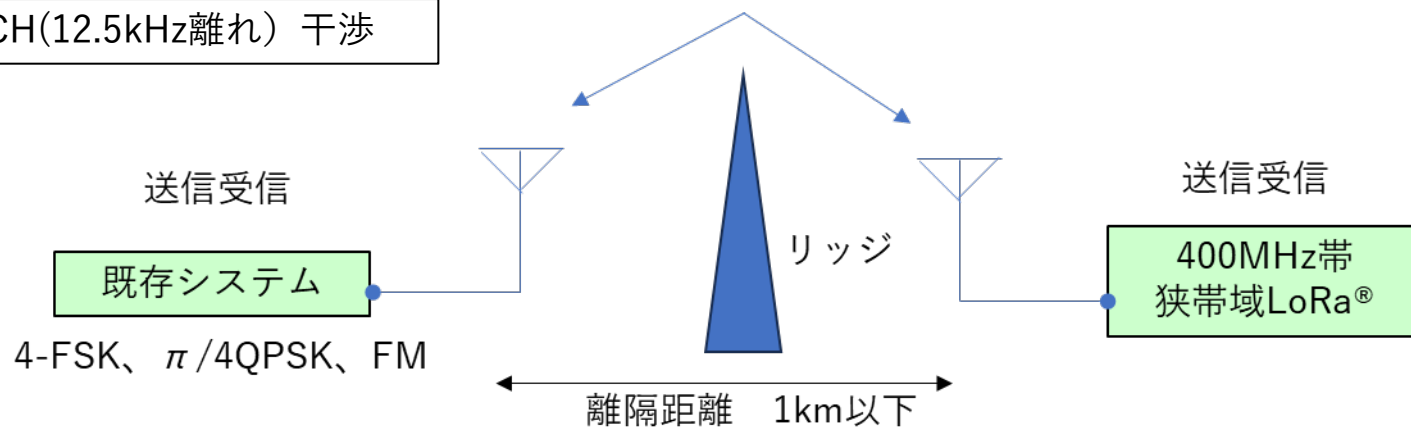
同一CH干渉



・既存システムとの離隔距離は、4.8km程度必要。
(リッジ損失30.3dBありの場合)

・400MHz帯狭帯域LoRa®同士については、離隔距離は4km程度必要。
ただし、拡散係数が異なる場合は、1.7km程度でよい。
(リッジ損失30.3dBありの場合)

隣接CH(12.5kHz離れ) 干渉



・既存システムおよび400MHz帯狭帯域LoRa®との離隔距離は、1km以下となる。
(リッジ損失30.3dBありの場合)

実質、リッジの向こう側のシステムとの共存は可能と考えられる。

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

諸元・運用条件等の検討

屋内・屋外実証実験結果などを受けて、400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの諸元・運用条件案を以下の通りに制定。

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
必要チャンネル数	3チャンネル
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時間当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1km (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®
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400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

特徴

- ・ LoRa®を使用
- ・ 水位計など小容量で低頻度の通信に特化。
- ・ 中山間地域にて出力1Wが使用可能。
- ・ キャリアセンス無しも使用可能。(送信時間総和などに制限あり)



中山間地域で通信距離が確保できる、廉価な無線システムが構築可能。

現行の電波関係制度内で実施する方向で検討を行ったため、無線局免許と無線従事者免許が必要となっている。手続きの簡素化や免許不要化などは今後の検討課題。

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

諸元・運用条件等の検討

キャリアセンスなし時とあり時の条件 まとめ

キャリアセンスなし時の条件

キャリアセンスなし

チャンネル数3

送信時間30秒以下
送信休止時間2秒以上

1時間当たりの送信時間総和180秒以下
(Duty5%)

キャリアセンスあり時の条件

キャリアセンスあり

チャンネル数3

送信時間30秒以下
送信休止時間2秒以上

1時間当たりの送信時間総和 制限なし

キャリアセンスなしとありの両方の条件を制定し、利用者が目的に応じて選択できる形とした。

キャリアセンスなし時は、送信機能のみの廉価な無線機が使用可能。

既存システムとの比較

既存システム		送信出力	送信時間	1時間当たりの送信時間総和	キャリアセンスの要否	キャリアセンスレベル	無線局免許	中山間地域での到達距離※
400MHz帯狭帯域LoRa®通信システム	-	1W	30秒以下	180秒以下	不要	-	必要	3.0km (拡散係数SF=7)
				制限なし	必要	-96dBm		
426MHz帯特定小電力 テレメータ、データ伝送用	ARIB STD T67	1mW	40秒送信2秒休止	制限なし	不要	-	不要	-
429MHz帯特定小電力		10mW	チャンネルによって異なる 40秒送信2秒休止、連続送信	制限なし	必要	-96dBm	不要	1km以下
920MHz帯特定小電力	ARIB STD T108	20mW	チャンネルによって異なる 0.4秒以下、4秒以下	360秒以下	必要	-80dBm	不要	-
		20mW	4秒以下	36秒以下	不要	-		
デジタル簡易無線 登録局	ARIB STD T98	5W(陸上および日本周 辺海域) 1W(上空)	5分送信、1分休止	なし	必要	7μV -96.1dBm	登録局	1.5km

400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムは、既存システムと比較し、中山間地域での到達距離が長く、キャリアセンス無しでの送信も可能であり、大きなメリットがある。

※奥村秦式(郊外地)
+リッジ損失30.3dB
基準感度にて受信時の
距離を計算

まとめ

400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの導入に向けて、各種調査、実験、検討を行い、諸元・運用条件案や技術的条件案の取りまとめを実施した。

中山間地域で ひと山を超えて2km程度の通信が可能、廉価な無線機構成が可能など、既存の無線システムには無い特徴を有しており、中山間地域で通信距離で必要な場合など、農業分野に限らず幅広い分野での使用が期待される。

今後の課題

1. 無線局免許

400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムは、迅速に使用できるようにするため、現行の枠組み内で実施する方向で検討を行った。このため、当初は無線局免許が必要となり、無線従事者免許も必要となる。

なお、現行の枠組み内でも、農家の方が一員である団体（協議会などの任意団体）が無線局免許を取得する方法などが実施可能であり、このような方法を実施することで免許取得のハードルを下げることも可能。

さらには、登録局にてLoRa®を使用できるようにしたり、特定小電力で400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムが使用可能となれば、さらに利便性が高くなるが、普及後の将来的な課題と考えられる。

2. 中山間地域以外での使用

平野部や沿岸部、海上などの中山間地域以外や、ドローンから送信時は、400MHz帯狭帯域LoRa®通信システムの電波は広範囲に到達する。このため、他局と周波数共用しながら運用するためには、中山間地域とは別の諸元・運用条件案が必要になる。平野部などでの伝搬特性やニーズなどを考慮しながら、将来的に検討すべき課題と考えられる。