
土砂災害の未然防止のための VHF 帯
周波数共用型テレメトリーシステムの調査検討

報告書

令和 4 年 6 月

株式会社 構造計画研究所

目次

第1章	調査検討の概要	1
1.1.	調査検討の背景と目的	1
1.2.	調査検討項目と概要	2
1.3.	調査検討会	3
第2章	テレメトリーシステムの要件の検討	4
2.1.	テレメトリーシステムのセンサ部要件	4
2.1.1.	センサの概要	4
2.1.2.	データ取得頻度の検討	5
2.1.3.	子機収容台数の検討	5
2.1.4.	テレメトリーシステムのセンサ部要件	7
2.2.	テレメトリーシステムの通信部要件	7
2.2.1.	VHF 帯の活用	7
2.2.2.	LPWA の活用	8
2.2.3.	キャリアセンス機能の検討	8
2.2.4.	データ再送機能の検討	9
2.2.5.	テレメトリーシステムの通信部要件	9
第3章	テレメトリーシステムの構築	10
3.1.	テレメトリーシステムの概要	10
3.2.	屋外検証システム	10
3.2.1.	システム構成	10
3.2.2.	センサ	14
3.2.3.	再送機能	15
3.2.4.	キャリアセンス機能	17
3.3.	屋内検証システム	17
3.3.1.	システム構成	17
3.3.2.	再送機能	20
3.3.3.	キャリアセンス機能	20
第4章	テレメトリーシステムの検証	22
4.1.	検証の概要	22
4.2.	屋外検証	22
4.2.1.	検証環境構築	23
4.2.2.	ノイズレベル、既設無線局の電波の占有率測定	27
4.2.3.	定点測定	30
4.2.4.	移動測定	41
4.2.5.	テレメトリーシステムの連続データ取得	46
4.3.	屋内検証	49
4.3.1.	検証環境構築	50

4.3.2. 再送機能確認.....	51
4.3.3. キャリアセンス機能確認.....	52
4.3.4. PER 測定.....	52
4.3.5. データレート測定.....	58
4.4. 検証結果の分析.....	60
4.4.1. 再送機能の検討.....	60
4.4.2. 子機収容可能数の検討.....	61
第 5 章 テレメトリーシステム導入のメリットの検証.....	67
5.1. 検証の概要.....	67
5.2. 検証方法.....	67
5.3. 検証結果.....	67
5.3.1. システム導入しない場合の土砂災害防止の対策.....	69
5.3.2. システム導入した場合の土砂災害防止の対策.....	73
5.4. まとめ.....	78
第 6 章 検討内容まとめ.....	79
6.1. 検討内容.....	79
6.2. 結論.....	80

第1章 調査検討の概要

1.1. 調査検討の背景と目的

近年、台風、豪雨等災害の激甚化が常態化しつつあり、地域住民等はこうした大規模災害に見舞われるたびに苦難を強いられる現状にある。このような災害による被害を未然に防止するためインフラの強靱化、災害発生の予測技術の高度化等の取組みがなされているが、近年の情報通信分野における著しい技術革新を背景として、災害防止の有効なツールとしての ICT 利活用が大きく期待されている。

例えば、土砂崩れを起こしそうな場所にセンサを設置し、LPWA によりセンサの取得した情報を伝送して解析し、事前に措置を施すことにより土砂崩れの未然防止を図る取組みなどが行われている。現在用いられている LPWA には 900MHz 帯の周波数が利用されているが、土砂災害が発生するような地点は斜面や尾根に阻まれており、土砂災害発生の予兆やリスクを示すデータを伝送しようとしても、電波伝搬特性上良好に受信することが難しいというデメリットがある。

そこで本調査検討では、より電波伝搬特性の良い低い周波数である VHF 帯で他の無線通信業務と周波数共用するテレメトリーシステムによりセンサの取得した情報を伝送できるシステムの構築を試みる。本調査検討により、土砂災害を未然に防止する技術の向上を図るとともに、当該周波数を使用している既存の無線局との時間的・空間的な周波数共用条件の検討を行うこととした。

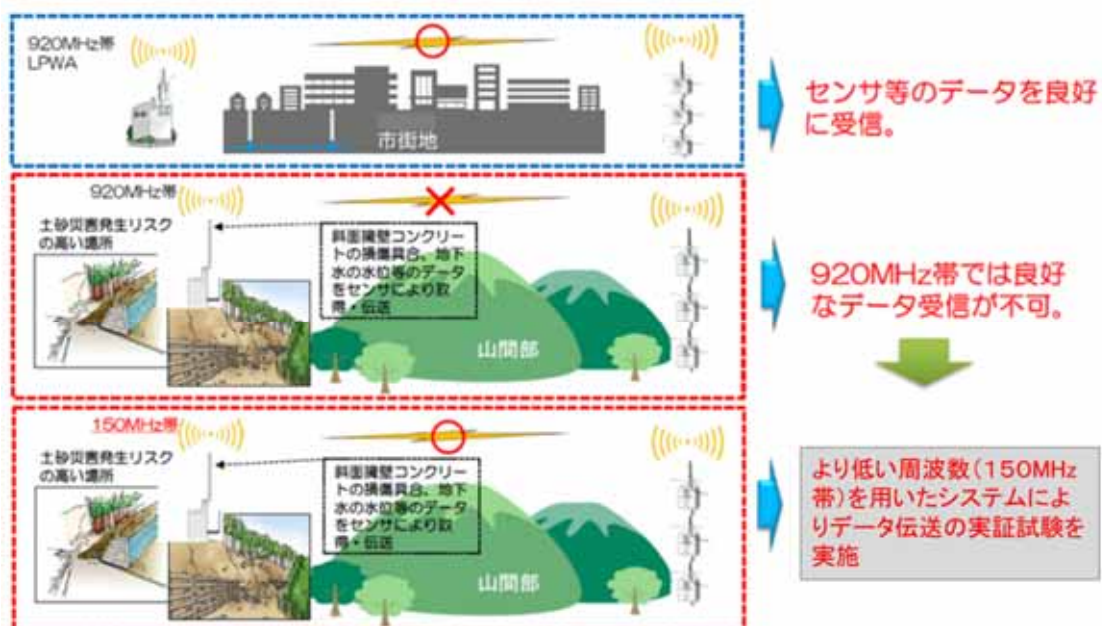


図 1-1 調査検討の背景と目的

1.2. 調査検討項目と概要

土砂災害の未然防止のための VHF 帯周波数共用型テレメトリーシステムの調査検討に関して、以下の項目について調査検討を実施し、その結果を取りまとめる。

なお、テレメトリーシステムは、センサデータを収集する無線機(以下、親機という。)とセンサデータを送信する無線機(以下、子機という。)から構成される。

(1) テレメトリーシステムの要件の検討

土砂災害の未然防止に有効なセンサ情報を VHF 帯の無線通信を用いて収集するテレメトリーシステムのセンサ部要件、通信部要件を整理する。

(2) テレメトリーシステムの構築

(1)で明らかにした要件を満たすテレメトリーシステムを構築する。

(3) テレメトリーシステムの検証

(2)で構築したテレメトリーシステムの機能確認を行い、所要のセンサデータを確実に取得できるか検証する。また、構築したテレメトリーシステムを用いて、山間地の電波伝搬特性上の悪条件地域で受信電界強度の測定を行い、地形・干渉波が所要データの取得に与える影響を考察する。更に、システム構成を検討する際の参考とするため、1 波当たりの子機収容可能数を検証結果から導出する。

(4) テレメトリーシステム導入のメリットの検証

当該テレメトリーシステムの導入に要するイニシャルコスト、ランニングコストを勘案した上で、システムを導入する場合としない場合(現在の手作業による確認等)の地方公共団体等における土砂災害防止対策の費用対効果の比較に関する調査を行い、土砂災害の未然防止のためのテレメトリーシステムの普及に向けて対策を検討する。

(5) 検討内容まとめ

上記検証、調査結果を踏まえて、土砂災害の未然防止のための VHF 帯周波数共用型テレメトリーシステムについて検討した結果をまとめる。

1.3. 調査検討会

本調査検討を効果的に実施するため、専門家、学識経験者、想定される使用者、メーカー等から構成する調査検討会を開催した。

調査検討会の構成員を表 1-1 に示す。

表 1-1 調査検討会 構成員

氏名	所属・役職
上野 勝利	徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 理工学域 准教授
西 正博	広島市立大学大学院 情報科学研究科 教授
三木 信彦	香川大学 創造工学部 情報通信コース 教授
井上 俊政	(株)電信 取締役 ソリューション事業部長 兼 大阪営業部長
加藤 数衛	(株)日立国際電気 ソリューション統括本部 基盤ビジネス本部 技術総括
松波 聖文	日本無線(株) ソリューション事業部 事業企画開発部 専任課長
宮崎 伸介	日本無線(株) 技術統括部 無線ネットワークシステムグループ グループ長

調査検討会の開催経過は以下のとおりであった。

- ・ 第1回:令和3年12月28日(水) 13:30-15:00 オンライン形式
 - ◆ 議事:
 - ① 実証試験の背景、経緯等の説明
 - ② 実証内容の具体的説明
 - ③ 徳島大学上野先生からこれまでの研究成果の発表
- ・ 第2回:令和4年6月6日(月) 13:30-15:30 オンライン形式
 - ◆ 議事:
 - ① 報告書(案)について
 - ② その他
- ・ 第3回:令和4年6月17日(金)～ 6月23日(木)
 - ◆ 議事:
 - 報告書(案)及び報告書概要(案)について

第2章 テレメリーシステムの要件の検討

土砂災害の未然防止のためのテレメリーシステムのセンサ部の要件と通信部の要件を検討した。

2.1. テレメリーシステムのセンサ部要件

土砂災害の未然防止を目的にコンクリート擁壁崩壊の予兆を把握するためのセンサの性能を考慮し、センサ部の要件を整理した。

2.1.1. センサの概要

コンクリート擁壁崩壊の予兆を把握するためには、以下のセンサを用いた測定が有効である。各センサにおいてコンクリート擁壁崩壊の予兆を把握するために必要な精度を合わせて表 2-1 に示す。

表 2-1 コンクリート擁壁崩壊の予兆把握に有効なセンサと精度

有効なセンサ	内容	必要な精度
変位計	コンクリート擁壁のクラックの変位を測定	0.01mm
地下水分・水位計	コンクリート擁壁内部の土の水分(飽和度) 並びに地下水位を測定	1cm

有効なセンサは上記以外に傾斜計、加速度センサ等を用いる場合もあり、1箇所でもモニタリングするセンサ数は通常4個～8個程度である。

センサデータサイズは、測定箇所の範囲(レンジ)により、上記精度を表すために必要となるビット数から求められる。例えば、将来的な拡張性を考慮して上記の10倍の精度のデータを表現するのに必要なビット数を表 2-2 に示す。

表 2-2 1つのセンサの測定値を表現するのに必要なビット数

センサ種別	測定範囲(レンジ)	ビット数
変位計	5cm	16bit
	50cm	19bit
	100cm	20bit
地下水分・水位計	1m	10bit
	5m	13bit
	10m	14bit

変位計の測定範囲(レンジ)が100cmを想定した場合に必要なビット数が20bitとなることから、各センサの測定値を表現するのに必要なデータサイズは余裕を見て32bitとする。

受信したセンサデータにより災害の予兆を検出するためには、センサデータの測定値だけでなく、日時や送信元を特定するID等のその他の付加情報が必要となる。表 2-3 に1回の測定で送信するセンサデータのデータサイズと付加情報の内容を示す。最大8個のセンサデータの測定値を送信する場合のデータのサイズは32byteとなり、これに付加情報22byteを追加すると、1回で送信するセンサデータサイズの要件は最大54byteとなる。

表 2-3 1 回の測定で送信するセンサデータの内容

データの種類	サイズ(byte)
変位計、地下水分・水位計、その他のセンサデータ(計 8 個)	32
データ種別	2
送信元 ID	6
送信先 ID	6
シーケンス番号	1
チェックサム	1
センサデータ取得時刻	6
合計	54

2.1.2. データ取得頻度の検討

センサデータは、災害の予兆を捉えるという目的において、急激な変状を捉えるというよりは経時的な変化を捉えることが求められるため、リアルタイムに取得する必要はない。本テレメトリーシステムでは 1 時間に 1 回程度の間隔でセンサデータを収集し、変化を把握することが望ましい。また、地盤の変状の度合並びに危険度が高い箇所では、10 分に 1 回等の間隔でセンサデータを収集し、変化を把握することが望ましい。

2.1.3. 子機収容台数の検討

本テレメトリーシステムの利用シーンを設定し、子機の収容台数の要件を検討する。

地方公共団体が、管理するコンクリート擁壁の状況把握に、本テレメトリーシステムを使用する場合を想定し、子機を設置する可能性のある場所を調査した。

「道路土工構造物点検要領(暫定版)」(令和 4 年 3 月 国土交通省)によると、安全性の向上及び効率的な維持修繕を図るための特定土工点検(比較的大規模な道路を建設するために構築する土砂や岩石等の地盤材料を主材料として構成される構造物及びそれらに附帯する構造物の点検)は、5 年に 1 回の点検が望ましいとされている。図 2-1 に、特定土工点検のフロー図を示す。点検後に健全性の診断を行い、診断結果に応じて、「定期的な経過観察」や「ブルーシート掛け」等の措置を講じる。限られた予算を有効に使用するためにも、全ての管理箇所に子機を置くことは現実的ではないため、点検の結果「経過観察」、「早期装置が必要な箇所」に子機を設置し、センサデータを収集することを想定する。

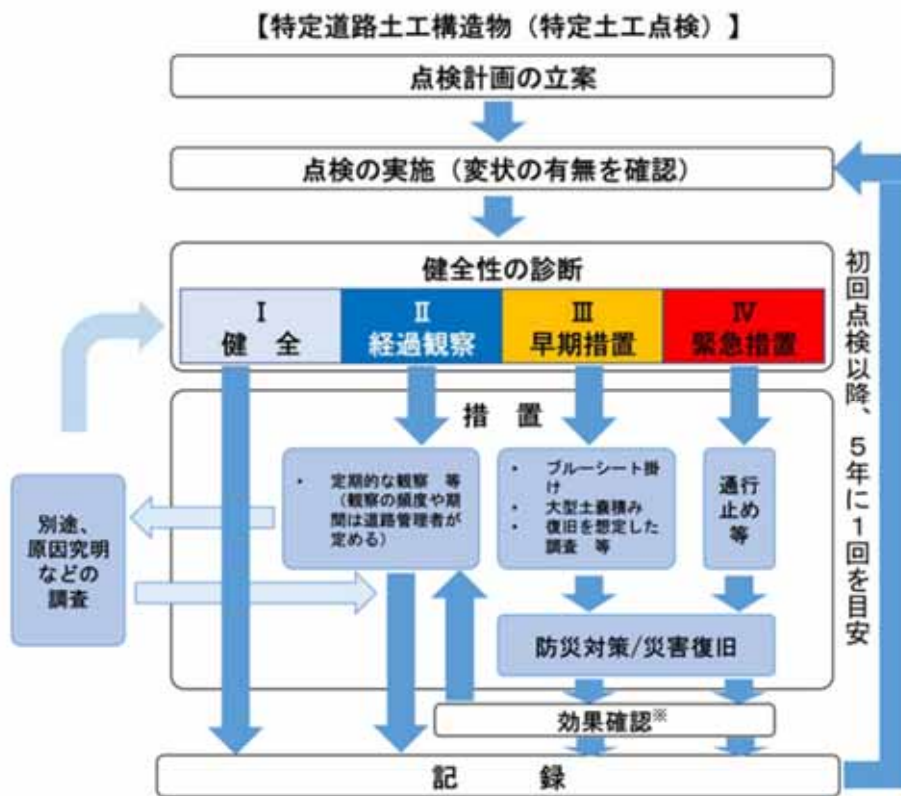


図 2-1 特定土工点検のフロー図

国土交通省 道路土工構造物点検要領(暫定版) 令和4年3月
https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/tenken-yoryo_202205.pdf より引用

親機と子機の接続形態を図 2-2 に示す。親機、子機の接続形態は親機 1 台に対して子機 n 台のスター型の構成とする。親機と子機の中に中継機を置く構成も考えられるが、設置・メンテナンスコストを鑑みて、1 ホップで子機から親機に送信するシンプルな構成を想定することとした。



図 2-2 親機と子機の接続形態

1 台の親機が収容すべき子機の台数の最大値(子機収容可能数)に対する要件を検討する。

四国内の地方公共団体へのアンケート結果(付録 6 参照)から、1 地方公共団体(市町村)の管理箇所の最大数は 282 箇所であった。地方公共団体が管理するコンクリート擁壁は、特定土工点検の対象より規模が小さいものも含まれるが、特定土工点検の実施頻度に準じて点検を実施す

るものとする。5年に1回の点検が望ましいとされていることから、点検の結果により子機の設置が必要となる箇所数は、最大でも全箇所の1/5(約56箇所)となる。親機の設置に関しては、可能な限り各市町村の台数は少ない方が望ましい。そこで、各市町村に1台親機を設置すると想定し、1台の親機が収容する子機の台数の要件を約60台とした。

2.1.4. テレメトリーシステムのセンサ部要件

テレメトリーシステムのセンサ部要件を表2-4にまとめる。

表 2-4 テレメトリーシステムのセンサ部要件

項目	要件
必要なセンサ種別(精度)	変位計(精度:0.01mm程度) 地下水分・水位計(精度:1cm程度)
1箇所のセンサ数	最大8個
1回に送信するセンサデータサイズ	最大54byte
センサデータ取得の頻度(通信頻度)	1時間に1回~10分に1回
子機収容可能数	最大60台

2.2. テレメトリーシステムの通信部要件

テレメトリーシステムの通信部要件を整理した。

2.2.1. VHF帯の活用

表2-5に、低い周波数帯(HF~VHF帯)と高い周波数帯(UHF帯~)の特性の比較を示す。土砂災害発生可能性がある場所は、中山間地等、地形上の電波伝搬特性の悪い場所が多いが、親機の台数を増やさずにセンサデータを収集するためには、比較的長距離で通信ができることが望ましい。そこで、地形の影響を受けにくく、山間地での長距離通信が期待できる低い周波数(VHF帯)の利用が適している。また、土砂災害防止のためのテレメトリーシステムは、センサデータの転送を行う小容量の通信であり、大容量の通信は必要ではない。更に、近年高速大容量通信への需要が高まる中、大容量通信を必要としない目的に関しては、低い周波数帯を使用することで、周波数の有効活用にもつながる。そこで、本テレメトリーシステムでは低い周波数帯(VHF帯)を用いることとした。

表 2-5 低い周波数帯と高い周波数帯の特性比較

特徴	低い周波数帯(HF～VHF 帯)	高い周波数帯(UHF 帯～)
占有周波数帯幅	占有周波数帯幅は狭い	占有周波数帯幅を広くとれる
伝送できる情報量	小さい	大きい
需要	需要は低くなりつつある	高速大容量化を求める用途からの需要が高い
地形の影響	障害物の後ろに回り込みやすいため中山間地(山影や尾根に囲まれた場所)での到達が期待できる	直進する特性が強くなるため地形の影響が大きい

2.2.2. LPWA の活用

1つの地方公共団体が設置する親機の数減らすために、長距離通信を行うことで収容する子機を増やす必要がある。また、センサデータのデータ到達確率を上げるためには、干渉等の影響による PER(パケットエラー率)を下げる必要がある。更に、本テレメトリーシステムは、リアルタイム性が不要で、転送データ量も少ないことから信号伝送速度は低くて構わない。これらの要件を満たす通信方式として、LPWA 技術、LoRa 変調方式を用いたテレメトリーシステムについて検証を実施した。

LPWA(Low Power Wide Area)技術は、IoT(Internet of Things)を実現する通信手段として、低消費電力、広いカバーエリア、低コストを可能とする技術として期待され、導入が進んでいる。LPWA 技術は、主に携帯電話網や 2.4GHz 帯、900MHz 帯、400MHz 帯を利用してサービスが提供されている。本調査で使用する VHF 帯にも適用可能な技術として、900MHz 帯や 400MHz 帯等の LPWA 技術で採用されている LoRa(Long Range)変調方式がある。LoRa 変調方式は、チャープ方式をベースとした周波数拡散変調方式であり、拡散変数(SF: Spread Factor)によりデータレートと受信感度が調整可能である。そこで、本テレメトリーシステムでは、長距離通信が可能で干渉に強い LoRa 変調方式の活用を検討した。

2.2.3. キャリアセンス機能の検討

キャリアセンス機能は、音声通信を含んだ他の無線通信業務の同一波・近接波が利用している時間は通信を避けるための機能である。本テレメトリーシステムは「2.1.2. データ取得頻度の検討」に記載のとおり、リアルタイム性は不要である。そこで、周波数の有効活用のため、他のリアルタイム性が必要な通信(例: 音声)を優先させるために、キャリアセンス相当の機能を備えることについて検討した。

2.2.4. データ再送機能の検討

災害の予兆を把握するためには、データ到達確率を上げる必要がある。本調査では、山間地等の電波伝搬特性が不利な環境下でデータ到達確率を向上させるため、再送機能を備えることについて検討した。

表 2-6 に、PER 毎の、送信回数に対するデータ到達確率を計算した結果を示す。データ到達確率は、パケットの再送も含めて所望のパケットを受信側が正しく受信できる確率である。一方 PER は、1 回の送信において受信側が正しくパケットを受信できない確率である。データ到達確率は以下の式により計算した。

$$\text{データ到達確率} = 1 - (1 - \text{PER})^n \quad n: \text{再送回数}$$

表 2-6 PER 毎の送信回数とデータ到達確率

		PER			
		0.1	0.2	0.3	0.4
送 信 回 数 (回)	1	0.9	0.8	0.7	0.6
	2	0.99	0.96	0.91	0.84
	3	0.999	0.992	0.973	0.936
	4	0.9999	0.9984	0.9919	0.9744
	5	0.99999	0.99968	0.99757	0.98976

無線によるデータ転送を行う際は、電波伝搬状況の変化によるデータ欠損は不可避であり、再送を行うことでデータ到達確率を向上できる。例えば、PER=0.4 の電波伝搬状況としては悪条件下において、1 回の送信ではデータ到達確率は 0.6 であるが、5 回目の送信、つまり 4 回再送を行うことによってデータ到達確率は約 0.99 となることから、本テレメトリーシステムは、再送機能を備えることについて検討した。

2.2.5. テレメトリーシステムの通信部要件

テレメトリーシステムの通信部要件を表 2-7 にまとめる。

表 2-7 テレメトリーシステムの通信部の要件

項目	要件
周波数帯	VHF 帯を用いる
通信方式	LPWA 技術 LoRa 変調方式を用いる
機能	キャリアセンス相当の機能と再送機能を備える
信号伝送速度(子機送信)	7.2bps(再送機能を考慮しない場合)

60 台の子機が 1 時間に 1 回のデータを親機に送信完了するために必要な子機の信号伝送速度は、 $54\text{Byte} \times 8\text{bit} \times 60 \text{台} \div 3600\text{s} = 7.2\text{bps}$ となり、本テレメトリーシステムの子機送信部は、これ以上の信号伝送速度を実現する必要がある。

再送機能を付加した場合は、実証試験によって得られる実効データレートをもとに、送信頻度、再送回数、子機収容可能数等を検討することとした。

第3章 テレメリーシステムの構築

3.1. テレメリーシステムの概要

第2章で検討した要件を満たす2つのテレメリーシステムの構築を行った。まず、本調査検討期間内に実際の150MHz帯の電波伝搬状況等を測定するため、150MHz帯デジタル簡易無線を用いた屋外検証用システムを準備した。また、LPWA技術のLoRa変調方式を用いた150MHz帯の無線機を準備し、再送機能やキャリアセンスの動作検証、PER・データレート等の測定を行うための屋内検証用システムを構築した。

3.2. 屋外検証システム

3.2.1. システム構成

150MHz帯のデジタル簡易無線を用いた、実際の電波伝搬状況等を測定するための屋外検証用システムのシステム構成を図3-1に示す。なお、PCは、パーソナルコンピュータの略である。

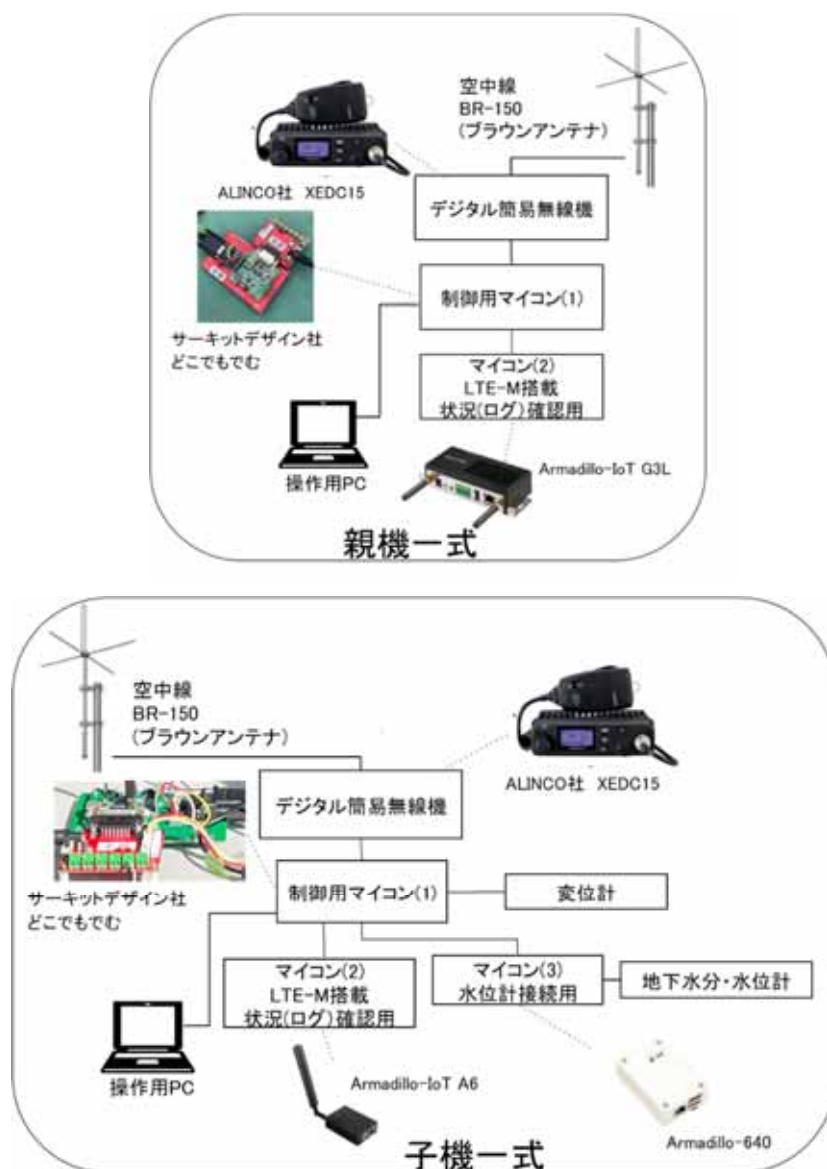


図 3-1 屋外検証 システム構成

親機を構成する各機器の機能、役割を表 3-1 に示す。

表 3-1 屋外検証 親機を構成する各機器の機能、役割

No.	構成要素	機能、役割
1	空中線	子機との間で電波を送受信する空中線。本検証ではブラウンアンテナ(日本アンテナ社 BR-150)を用いた。
2	デジタル簡易無線機	150MHz 帯のデジタル簡易無線機。本検証では、ALINCO 社 XEDC15 を用いた。
3	制御用マイコン(1)	デジタル簡易無線機と接続し、子機からのデータを受信する。送受信に関わる制御(再送機能等)を実装する。子機から受信したデータ及び動作状況を把握するための動作ログをマイコン(2)に書き出す機能を持つ。本検証では、サーキットデザイン社どこでもでむを用いた。
4	マイコン(2)	子機から受信したデータ及び動作状況を把握するための動作ログを内部に保持し、PC から閲覧可能とする機能を持つ。本検証ではアットマークテクノ社 Armadillo-IoT G3L を用いた。LTE-M を搭載し、PC からインターネット経由でマイコン(2)に接続し、受信したデータ及び動作ログを閲覧、解析できる。
5	操作用 PC	制御用マイコン(1)に接続し、親機の動作パラメータ変更を行う機能を持つ。

子機を構成する各機器の機能、役割を表 3-2 に示す。

表 3-2 子機を構成する各機器の機能、役割

No.	構成要素	機能、役割
1	空中線	親機との間で電波を送受信する空中線。本検証では親機と同様に、ブラウンアンテナ(日本アンテナ社 BR-150)を用いた。
2	デジタル簡易無線機	150MHz 帯のデジタル簡易無線機。本検証では親機と同様に、ALINCO 社 XEDC15 を用いた。
3	制御用マイコン(1)	デジタル簡易無線機と接続し、親機に地下水分・水位計、変位計のデータを送信する。送受信に関わる制御(再送機能等)を実装する。動作状況を把握するための動作ログをマイコン(2)に書き出す機能を持つ。地下水分・水位計、変位計の設置場所以外からも、測定したセンサデータを送信するための機能を有する。本検証では親機と同様に、サーキットデザイン社どこでもでむを用いた。
4	マイコン(2)	親機に送信するセンサデータ及び動作状況を把握するための動作ログを内部に保持し、PC から閲覧可能とする機能を持つ。本検証ではアットマークテクノ社 Armadillo-IoT A6 を用いた。LTE-M を搭載し、PC からはインターネット経由でマイコン(2)に接続し、取得したセンサデータ及び動作ログを閲覧、解析できる。
5	マイコン(3)	地下水分・水位計と制御用マイコン(1)を接続するため、USB Host 機能を持つマイコンを使用した。本検証では、アットマークテクノ社 Armadillo-640 を用いた。
6	変位計	コンクリート擁壁の劣化等による変位を測定する計測器。0.01mm までの分解能を有し、アナログ出力可能な変位計を用いた。本検証では、パナソニック インダストリー社 HG-S1032 及びコントローラとして HG-SC101 を用いた。
7	地下水分・水位計	コンクリート擁壁内部の土の水分(飽和度)並びに地下水位の変動を計測する測定器。1mm 以上の分解能を有するパルス出力型式の静電容量水位計を用いた。本検証で用いた地下水分・水位計については 3.2.2. に記載する。
8	操作用 PC	制御用マイコン(1)に接続し、子機の動作パラメータ変更を行う。

また、子機はセンサを切り離し、アンテナを付け替えて持ち運び可能とした。持ち運ぶ際の子機のシステム構成を図 3-2 に示す。

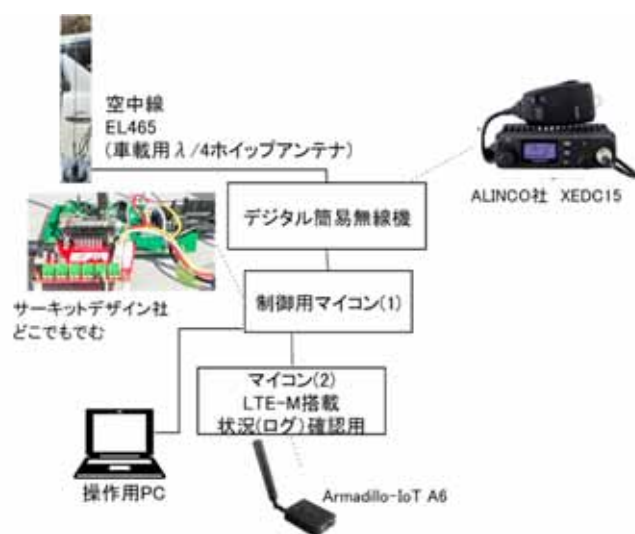


図 3-2 子機 持ち運び時のシステム構成

各機器の機能、役割は表 3-2 のとおりであるが、アンテナは車載可能な $\lambda/4$ ホイップアンテナ(日本アンテナ社 EL465)を用いた。

通信に用いた 150MHz 帯デジタル簡易無線機の諸元を表 3-3 に示す。

表 3-3 デジタル簡易無線機の諸元

No.	項目	内容
1	中心周波数	データ通信用 154.56250~154.61250MHz(6.25kHz 間隔 9 波)
2	参照規格	ARIB STD-T98 標準規格(民間規格)
3	無線機型名	ALINCO 社 XEDC15
4	空中線電力	1W/5W
5	変調方式	4 値 FSK
6	占有周波数帯幅	5.8kHz
7	信号伝送速度	4.8kbps
8	受信感度	-116dBm(-3B μ V 以下 BER 1%)
9	動作電圧	13.8V \pm 10% 又は 26.4V \pm 10%

空中線の諸元を表 3-4 に示す。

表 3-4 空中線の諸元

No.	項目	設置時	移動時
1	名称	ブラウンアンテナ	$\lambda/4$ ホイップアンテナ
2	型番	BR-150	EL465
3	利得	2.15dBi	2.15dBi
4	VSWR	1.5 以下	1.5 以下
5	インピーダンス	50 Ω	50 Ω
6	質量	2.5kg	0.6~0.8kg
7	同軸ケーブル種別	5D-FB	3D-2V
8	同軸ケーブル長さ	10m	5m
9	同軸ケーブル 給電線損失	0.05dB/m	0.12dB/m

3.2.2. センサ

コンクリート擁壁崩壊の予兆を把握するために、変位計と地下水分・水位計を用いた。地下水分・水位計としては、土砂災害を未然に防止する技術の向上を図るため、徳島大学 上野准教授らにより検討を進めている、以下の特徴を持つ静電容量式地下水分・水位計を使用した。地下水分・水位計の構成例を図 3-3 に示す。

【検証で用いた静電容量式地下水分・水位計の特徴】

- ・ 高精度(3.3fF)・レンジフリー(32bit)、高線形性
- ・ 浮遊容量キャンセル
- ・ センサ設計の自由度が高く、安価

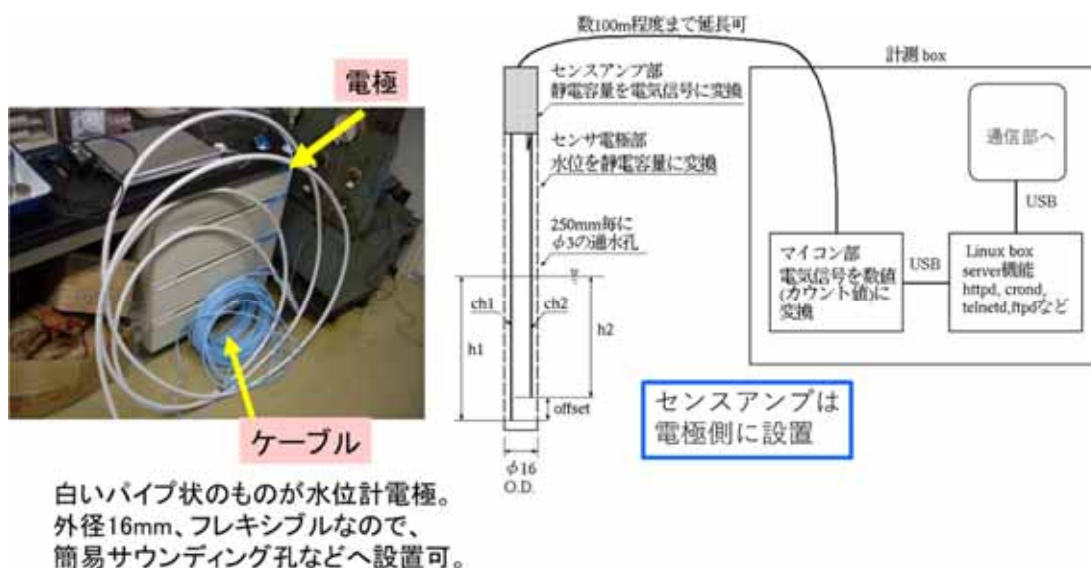


図 3-3 地下水分・水位計の構成例

出典: 上野勝利ら, “WiFi 網と組み Linux サーバーを活用した静電容量式地下水位計による地下水計測”, 地盤工学会四国支部平成 23 年技術研究発表会講演概要集 pp.13-14, 2011. 図1を一部修正

本検証では、全長 4m の電極を用いたため、分解能は、 $4\text{m} \div 32\text{bit} \approx 0.00001\text{mm}$ となる。

変位計は、「表 2-1 コンクリート擁壁崩壊の予兆把握に有効なセンサと精度」に従い、分解能 0.01mm 以上となる機器を選定して用いた。変位計の機器諸元を表 3-5 に示す。

表 3-5 変位計の諸元

No.	項目	内容
センサヘッド		
1	型名	パナソニック インダストリー社 HG-S1032 接触式デジタル変位センサ
2	適合規制	CE マーキング(EMC 指令、RoHS 指令)
3	位置検出方法	工学アブソリュートリニアエンコーダ方式
4	測定範囲	32mm
5	ストローク	32.5mm 以上
6	測定力: 横向き設置時	2.53N 以下 1.19N (測定中心付近の代表値)
7	分解能	0.5 μm
コントローラ		
1	型名	パナソニック インダストリー社 HG-SC101
2	適合規制	CE マーキング(EMC 指令、RoHS 指令)
3	電源電圧	24V DC \pm 10% リップル 0.5V(P-P を含む)
4	アナログ電流出力	電流出力範囲: 4~20mA/F.S.(初期値) 異常時出力: 0mA 直線性: \pm 0.25% F.S. 負荷インピーダンス: 250 Ω MAX.

3.2.3. 再送機能

子機から親機へのセンサデータ送信時のデータ到達確率を上げるために、再送機能を実装した。再送機能の実装方法としては、到達の有無にかかわらず常に複数回送信する方法や、親機からデータの到達を通知するための応答を子機に送信し、子機が応答を受信できない場合に再送する方法等がある。本検証では、一例として後者を実装した。

再送機能の利用により、本テレメトリーシステムは、音声通信を含んだ他の無線通信業務の同一波・近接波からの干渉等により子機からの送信データに欠落が生じれば、確実に親機にデータが届くまで再送を繰り返すことができる。

本検証で実装した再送機能のシーケンス図を図 3-4 に示す。子機から親機に送信するセンサデータを「データ」、親機がデータを受信した時に親機から子機に送信する応答を「ACK」と示す。

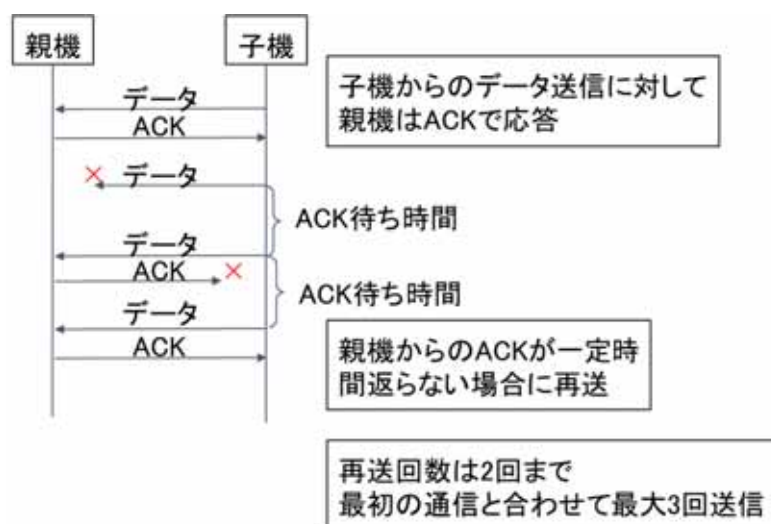


図 3-4 再送機能のシーケンス図

子機は、データ送信後一定時間(ACK 待ち時間)経過しても親機からの応答(ACK)が受信できない場合に、データを再送する。本検証では、再送回数の上限を、2 回として実装した。子機がデータ送信してから応答(ACK)を受信するまでの時間を実測した結果約 3 秒であったことから、ACK 待ち時間は 4 秒として実装した。

データ及び ACK のフォーマットを表 3-6、表 3-7 に示す。

表 3-6 データフォーマット

No.	内容	サイズ	詳細
1	データ種別	2byte	データ種別を表す文字列(KS) (KS:データ、KA:ACK)
2	シーケンス番号	1byte	データを識別するためのシーケンス番号
3	チェックサム	1byte	正常に受信できたことを確認するためのチェックサム
4	子機の ID	6byte	子機を一意に特定するための識別子
5	親機の ID	6byte	親機を一意に特定するための識別子
6	日時	6byte	センサ値を取得した時間(年月日時分秒)
7	地下水分、水位データ	20byte	地下水分・水位計のセンサデータ各 4byte を 5 データ(※本検証では、5 箇所を測定する地下水分・水位計を使用)を格納する
8	変位データ	4byte	変位センサのセンサデータを格納する

データサイズは合計 46byte であるが、実際にはデジタル簡易無線機側で通信プロトコルに必要なデータが自動で追加される。

表 3-7 ACK フォーマット

No.	内容	サイズ	詳細
1	データ種別	2byte	データ種別を表す文字列(KA) (KS:データ, KA:ACK)
2	シーケンス番号	1byte	受信したデータのシーケンス番号
3	チェックサム	1byte	正常に受信できたことを確認するためのチェックサム
4	子機の ID	6byte	子機を一意に特定するための識別子
5	親機の ID	6byte	親機を一意に特定するための識別子

データサイズは合計 16byte であるが、実際にはデジタル簡易無線機側で通信プロトコルに必要なデータが自動で追加される。

3.2.4. キャリアセンス機能

デジタル簡易無線の登録局はキャリアセンスが必須である。本検証では免許局を用いたが、デジタル簡易無線機に搭載されているキャリア・モニタリング機能を用いてキャリアセンス機能と同等の動作が行える。キャリア・モニタリング機能により、送信に使用する周波数と同一の他局の電波のレベルを測定して、閾値以上の場合は送信しない動作を取ることで、他局の通信を検知した時、送信動作を行わないことが可能である

3.3. 屋内検証システム

3.3.1. システム構成

LPWA 技術の LoRa 変調方式を用いた 150MHz 帯の無線機を準備し、再送機能やキャリアセンス機能の動作検証、PER・データレート等の測定を行うための屋内検証用システムを構築した。システム構成を図 3-5 に示す。

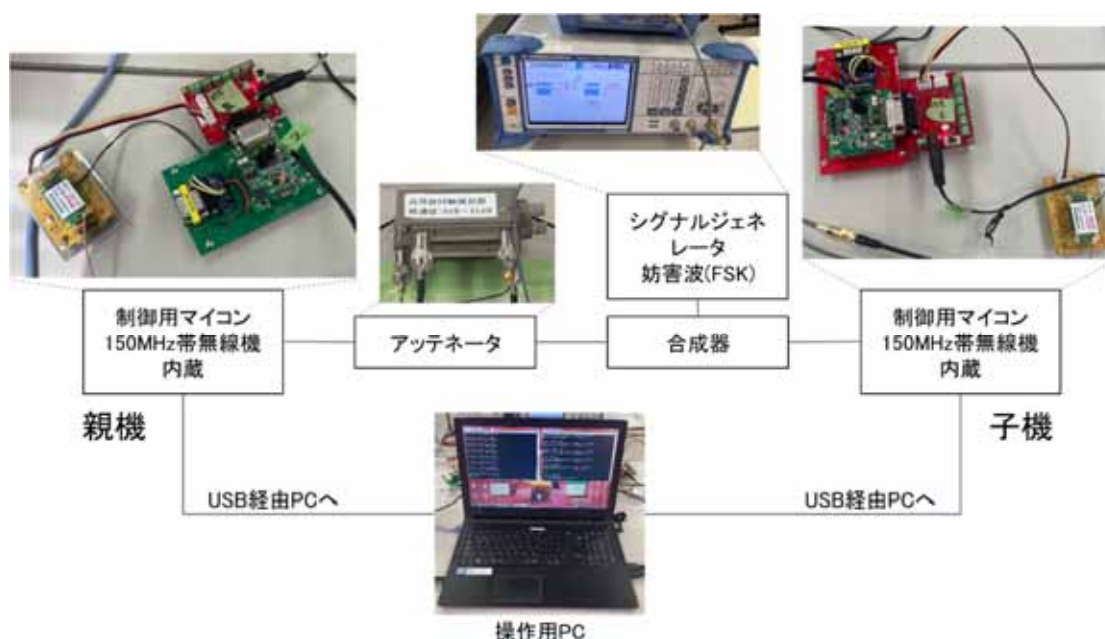


図 3-5 屋内検証 システム構成

システムを構成する各機器の機能、役割を表 3-8 に示す。

表 3-8 屋内検証 システムを構成する各機器の機能、役割

No.	構成要素	機能、役割
1	親機制御用マイコン 150MHz 帯無線機内蔵/子機制御用マイコン 150MHz 帯無線機内蔵	センサの測定データに相当するデータの送受信を行う無線機と制御用マイコン。マイコンには、送受信に関わる制御(再送機能、キャリアセンス機能等)を実装する。動作状況を把握するための動作ログ(親機は受信したデータを含む)を操作用 PC に送信する機能を持つ。本検証では、制御用マイコンとして、サーキットデザイン社製どこでもでむを用いた。
2	アッテネータ	C/N 比を変化させた場合の PER を測定するに当たり、C(希望波)の受信レベルを変化させるために利用する。
3	合成器	子機から親機に向かう信号と、シグナルジェネレータの信号を合成する。
4	シグナルジェネレータ 妨害波(FSK)	C/N 比を変化させた場合の PER を測定するに当たり、N(ノイズレベル)を変化させるために利用する。本検証では、ローデ・シュワルツ社 R&S®SMBV100A を用いた。
5	操作用 PC	制御用マイコンや無線機に接続し動作パラメータの変更を行う。また、制御用マイコンの動作状況を把握するための動作ログを閲覧する。

150MHz 帯無線機は、サーキットデザイン社 MLR-150(特定小電力 超長距離無線モデム Smart RF modem、ARIB STD-T99 標準規格(民間規格)準拠)の中心周波数を 158.49MHz、158.57MHz、159.21MHz の 3 波に対応するよう変更した。MLR-150 は、Semtech 社の LoRa® wireless RF IC を使用している。無線機の諸元を表 3-9 に示す。

表 3-9 無線機の諸元

No.	項目	内容
1	中心周波数	158.49MHz, 158.57MHz, 159.21MHz の 3 波を切り替えて使用
2	空中線電力	50mW(17dBm)(検証中は 3mW 程度に電力を落として使用)
3	変調方式	LoRa SF7~12
4	占有周波数帯幅	7.8kHz
5	信号伝送速度	SF7:約 341bps SF8:約 195bps SF9:約 110bps SF10:約 61bps SF11:約 34bps SF12:約 18bps
6	受信感度	-134dBm(ユーザデータ 45byte 以下で PER1%) ※周波数変更前の参考データ
7	動作電圧	送信:130mA、受信:20mA(電源電圧 5V 時)

準備した無線機の外観を図 3-6 に示す。



図 3-6 150MHz 帯 LPWA 技術 LoRa 変調方式で動作可能な無線機外観

LPWA 技術 LoRa 変調方式は、占有周波数帯幅に応じてデータレートが決まる。150MHz の既に割り当てられている業務用無線局の占有周波数帯幅の許容値は、主に 16kHz である。周波数共用の調整を行う便宜上、この占有周波数帯幅の許容値に収まるような占有周波数帯幅となるように、LoRa 変調方式を用いることとした。150MHz 帯 LoRa 変調方式で、占有周波数帯幅が 16kHz 幅に収まるのが、7.8kHz 幅であったため、この占有周波数帯幅により実装した。

3.3.2. 再送機能

子機から親機へのデータ到達確率を上げるために、再送機能を実装した。再送機能の実装は屋外検証の実装と同様であり、「3.2.3. 再送機能」記載のとおりである。

ACK 待ち時間は、子機がデータ送信を完了してから応答(ACK)を受信するまでの時間を想定して、親機で応答(ACK)送信を開始してから完了するまでの時間(ACK 所要時間)に対して約 1 秒追加した値とした。ACK 所要時間の測定値は、表 4-24 記載のとおりであったため、SF 毎の ACK 待ち時間を表 3-10 のように決定した。

表 3-10 SF 毎の ACK 待ち時間(単位:s)

SF7	SF8	SF9	SF10	SF11	SF12
2	3	5	9	15	30

子機から親機に送信するデータ及び親機がデータを受信した時に親機から子機に送信する応答(ACK)のフォーマットは、屋外検証の実装と同様であり、「表 3-6 データフォーマット」及び「表 3-7 ACK フォーマット」記載のとおりである。

3.3.3. キャリアセンス機能

子機に実装したキャリアセンス機能の動作フローを図 3-7 に示す。子機は、データ送信前にキャリアセンスを行い、受信レベルがキャリアセンス閾値以上の場合は送信を見合わせる。一定時間待機後、再度キャリアセンスを行い、受信レベルが閾値未満であればデータを送信する。

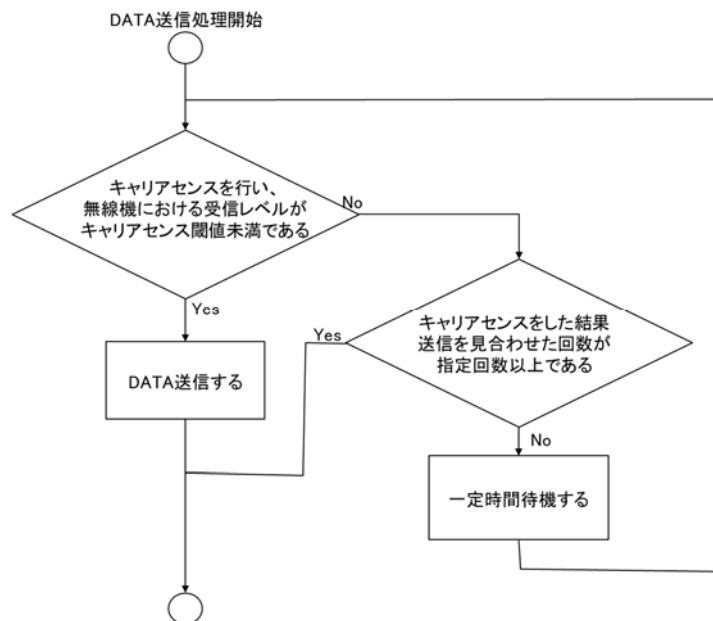


図 3-7 子機キャリアセンス機能の動作フロー

親機においては、ACK 送信前にキャリアセンスを行い、受信レベルがキャリアセンス閾値以上の場合は ACK 送信を行わず、キャリアセンス閾値未満の場合のみ ACK 送信を行う動作とした。(親機では、ACK の再送は実施しない。)

子機及び親機のキャリアセンス閾値は、 -97dBm ($6.31\ \mu\text{V}$)とした。参考に、今回 150MHz 帯無線機で採用した「特定小電力超長距離無線モデム Smart RF modem MLR-150」が準拠する「ARIB STD-T99 標準規格(民間規格) 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」で規定されているキャリアセンス閾値は $7\ \mu\text{V}$ ($16.9\text{dB}\ \mu\text{V} = -96.1\text{dBm}$)である。

キャリアセンス閾値以上の受信レベルであった場合の送信待機時間は、ACK 待ち時間と同じ値を用いた。子機にてキャリアセンスをした結果送信を見合わせる回数の上限は、本検証においては 2 回とした。

第4章 テレメトリーシステムの検証

4.1. 検証の概要

150MHz 帯を利用したテレメトリーシステムによりセンサの取得した情報を伝送できるシステムの実現性の確認を行うとともに、技術的要件等の検討に必要な検証を行った。屋外における検証では、実利用環境を想定し山間地、森林地帯、山の尾根に囲まれた場所等電波伝搬特性上の悪条件地域で、受信電界強度の測定と構築したテレメトリーシステムによるセンサデータの取得を行った。屋内における検証では、テレメトリーシステムの機能確認、スループット、PER 等を測定し評価した。

4.2. 屋外検証

150MHz 帯のデジタル簡易無線を用いて、地形が通信に与える影響を明らかにするため、実利用環境を想定した山間地、森林地帯、山の尾根に囲まれた場所等電波伝搬特性上の悪条件地域で、受信電界強度(受信レベル)とデータ取得の可否を測定した。本検証は、900MHz 帯の無線機を用いた場合との通信性能の比較を行うため、150MHz 帯と900MHz 帯両方の周波数帯を用いて測定を行った。

また、構築したテレメトリーシステムによるセンサデータの取得を 1 週間程度連続的に実施し、データ取得の可否を測定した。屋外検証項目を表 4-1 に示す。

表 4-1 屋外検証項目

章番号	検証項目	内容
4.2.2.	ノイズレベル、既設無線局の電波の占有率測定	屋内検証で利用した 150MHz 帯の 3 つの周波数の利用状況を調査する。
4.2.3.	定点測定	地形の影響を明らかにするため、地形の特性が異なる多地点で受信電界強度(受信レベル)とデータ取得の可否を測定する。
4.2.4.	移動測定	山間地における地形の影響を、なるべく多くの地点で把握することを目的に、車で移動しながら受信電界強度(受信レベル)とデータ取得の可否を測定する。
4.2.5.	テレメトリーシステムの連続データ取得	設置箇所において、データ取得の可否を 1 週間程度連続的に確認する。

4.2.1. 検証環境構築

親機は徳島大学の屋上に設置した。また、子機設置箇所は、山間地、森林地帯、山の尾根に囲まれた場所等電波伝搬特性上の悪条件地域で土砂災害防止のための斜面コンクリート擁壁工事が施された場所を選定し、本調査検討の実証フィールドとした。コンクリート擁壁は、工事施工後一定年数の経過による僅少な構造変位が見られるなど、計測データの確認が容易なところを選定した。親機及びセンサ設置箇所(センサは子機設置箇所と同じ)を図 4-1 に示す。また、親機及びセンサ設置箇所の詳細情報を表 4-2 に示す。



図 4-1 親機及びセンサ設置箇所 国土地理院地図 全国最新写真(シームレス)を加工

表 4-2 親機及びセンサ設置箇所詳細情報

	親機	センサ設置箇所
緯度	34° 04'38.1″	34° 03'44.0″
経度	134° 33'42.2″	134° 32'10.4″
標高(空中線系地上高)	1.4m(20.4m)	51m(3.6m)

親機とセンサ設置箇所の距離は 2890m であった。親機とセンサ設置箇所間のプロファイルを図 4-2 に、親機、センサ設置箇所間の眺望を図 4-3 に示す。

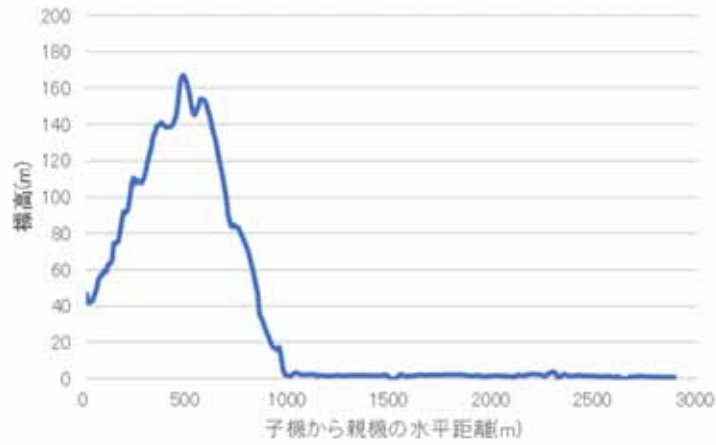


図 4-2 親機とセンサ設置箇所間のプロファイル



(a)親機からセンサ設置箇所方向への眺望 (b)センサ設置箇所から親機方向への眺望

図 4-3 親機 センサ設置箇所間の眺望

親機の設置状況を図 4-4 に、センサ設置箇所の設置状況を図 4-5 に示す。

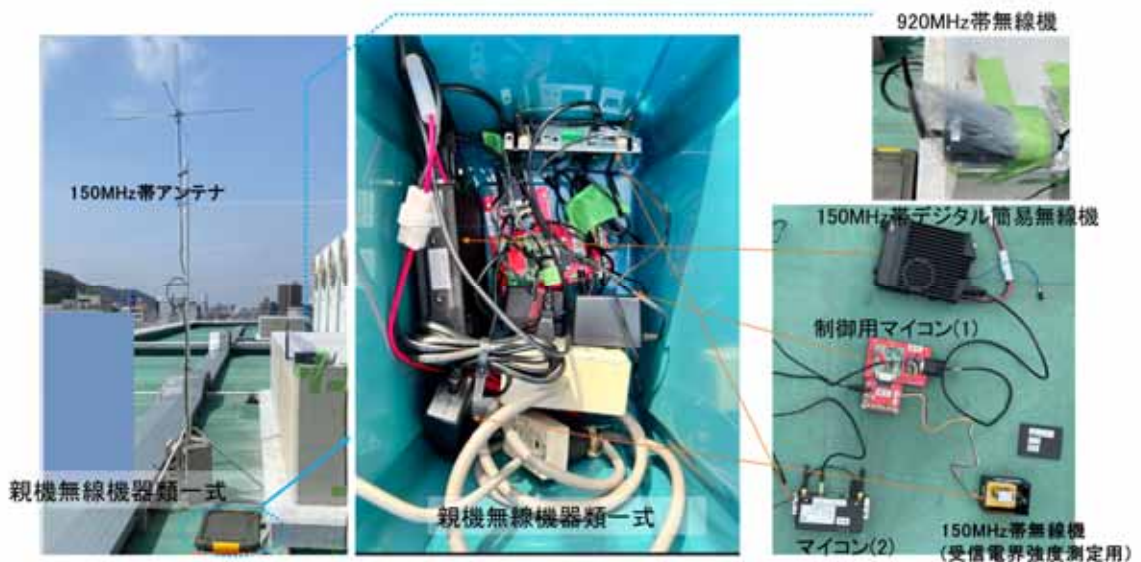


図 4-4 親機の設置状況



図 4-5 センサ設置箇所の設置状況

地下水分・水位計の設置状況の詳細は、付録 1 に記載した。

移動測定の場合は、子機からセンサを切り離し、アンテナを車で移動可能なものに変更した。
移動時の子機の設置状況を図 4-6 に示す。

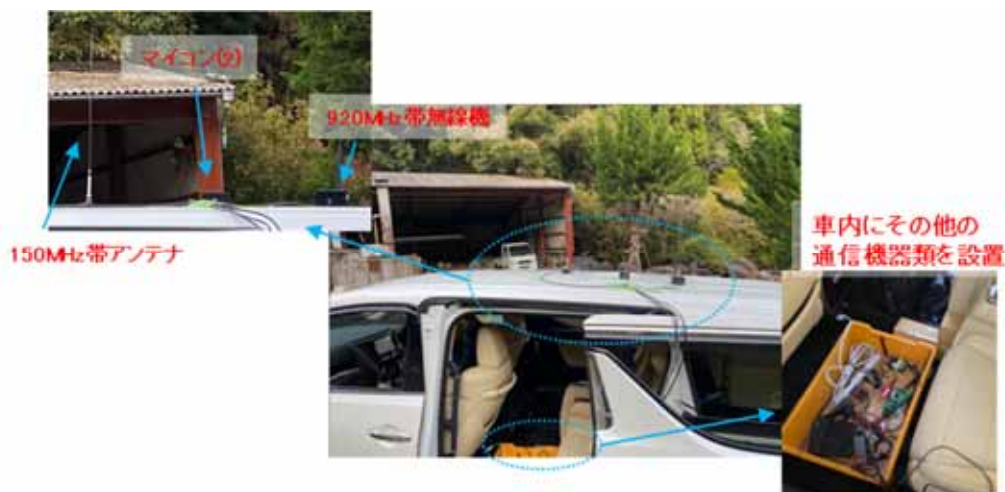


図 4-6 移動時の子機の設置状況

150MHz 帯との通信性能を比較するために用いた 920MHz 帯無線機の諸元を表 4-3 に示す。

表 4-3 920MHz 帯無線機の諸元

No.	項目	内容
1	中心周波数	920.6MHz(1ch)
2	参照規格	ARIB STD-T108 標準規格(民間規格)
3	無線機型名	イーゼル社 ES920LR
4	空中線電力	20mW(13dBm)
5	変調方式	LoRa SF7
6	占有周波数帯幅	62.5kHz
7	信号伝送速度	SF7:約 2734bps
8	受信感度	-140dBm
9	動作電圧	2.4~3.6V

4.2.2. ノイズレベル、既設無線局の電波の占有率測定

【測定概要】

屋内検証で使用した 150MHz 帯の 3 波(158.49MHz、158.57MHz、159.21MHz)における既設無線局の利用状況を把握するため、既設無線局の占有率の測定を行った。また、候補となる 3 波のノイズレベルの測定を行った。試験の概要を表 4-4 に示す。なお、測定場所は、以降の検証(定点測定、移動測定)において親機を設置した場所と同一である。

表 4-4 ノイズレベル、既設無線局の電波の占有率測定概要

項目	内容
実施日	2022 年 3 月 29 日 12:00~3 月 30 日 10:00
測定場所	徳島大学 (場所の詳細は表 4-2 親機設置箇所と同一箇所)

【測定内容と測定システム構成】

徳島大学の屋上で、150MHz 帯の 3 波のノイズレベルと既設無線局の占有率の測定を行った。デジタル簡易無線用のアンテナを設置し、屋内検証で使用した 150MHz 帯無線機を接続し、1 秒間隔で 3 波を Sweep(3 波の受信レベルを 1 秒間隔で取得)して、受信レベルを記録した。

記録した受信レベルは、ノイズであるか、既設無線局であるかを、識別する必要があるが、既設無線局として割り当てられているのは業務用の音声通信であることから、数秒間通信(音声)が続くと仮定した。対象周波数の受信レベルが閾値以上となる時間が閾値時間以上継続した場合、既設無線局とみなすこととし、既設無線局以外の測定値は、ノイズの受信レベルと判断した。また、同時に広帯域受信機を用いて同周波数帯を復調し、音声の有無を確認することで、既設無線局の音声通信の有無の判断の妥当性を確認した。

図 4-7 に測定システム構成、表 4-5 に測定に用いた機器の諸元を示す。また、広帯域受信機の諸元を表 4-6 に示す。

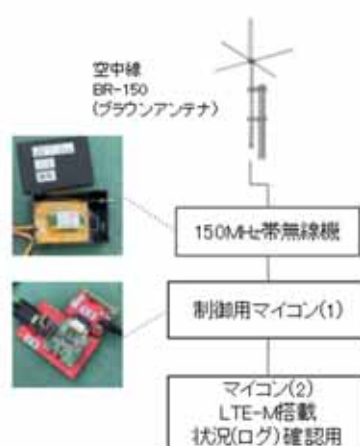


図 4-7 測定システム構成

制御用マイコンと空中線は、以降の検証(定点測定、移動測定)において親機として用いた機材と同一である。

表 4-5 測定機の諸元

項目	内容
測定周波数	158.49MHz、158.57MHz、159.21MHz の 3 波
周波数帯幅	7.8kHz
空中線系	
種別	BR-150 日本アンテナ社ブラウン型アンテナ
利得	2.15dBi(無指向)
地上高	20.4m
同軸ケーブル	
種別	5D-FB
長さ	10m
利得	0.05dB/m

表 4-6 広帯域受信機の諸元

項目	内容
無線機型番	アルインコ社 DJ-X8 0.1～1300MHz 超定番レシーバ
測定周波数	159.21MHz
受信感度(代表値)	FM 30～470MHz $-15\text{dB } \mu\text{V}$ ($0.17 \mu\text{V}$) (12dB SINAD)
中間周波数	1 st 243.95MHz 2 nd 39.15MHz(NFM/AM) 3 rd 450kHz(NFM/AM)
選択度	NFM/AM $-6\text{dB}/12\text{kHz}$ 以上、 $-60\text{dB}/35\text{kHz}$ 以下
アンテナインピーダンス	50Ω
受信方式	トリプルスーパーヘテロダイン

【測定環境】

測定環境を図 4-8 に示す。



図 4-8 測定環境

【測定結果】

測定期間中の受信レベルの変動を、付録 2 に示す。

受信レベルが閾値以上となる時間が閾値時間以上継続した場合、既設無線局の電波と判断するため、受信レベルの閾値は -100dBm 、時間の閾値は 5 秒とした。その結果、3 波とも 4 秒以上連続して受信レベルが -100dBm 以上になることはなかった(詳細は付録 2 に示す)。また、広帯域無線機による音声データ(159.21MHz 帯を受信)でも、音声は検出されず、今回の測定では、既設無線局の電波は検出されなかったと言える。3 波のノイズレベルの中央値、最小値、最大値を表 4-7 に示す。

表 4-7 3 波のノイズレベル

	158.49MHz	158.57MHz	159.21MHz
中央値	-107dBm	-107dBm	-107dBm
最小値	-120dBm	-121dBm	-120dBm
最大値	-88dBm	-91dBm	-92dBm

3 波とも、ノイズレベルの中央値は -107dBm であった。

測定結果から、3 波のどの周波数帯が最も電波状況が良いかという判断は難しいが、159.21MHz のノイズレベルの最大値が 3 波の中で最も小さかったため、最も良い周波数帯を 1 つ選択すると 159.21MHz となる。

4.2.3. 定点測定

【測定概要】

150MHz 帯のデジタル簡易無線を用いて、地形が通信に与える影響を明らかにするため、実利用環境を想定した山間地、森林地帯、山の尾根に囲まれた場所等電波伝搬特性上の悪条件地域で、受信電界強度(受信レベル)とデータ取得の可否を測定した。複数の箇所を測定することにより、地形や周囲の環境の影響を考察する。測定箇所(子機の設置箇所)は、以下の基準により選定した。

- ・ 親機から子機の距離は同程度とする(眉山周辺で、3km 前後)。
- ・ 地形のパターンが異なる箇所を選定する。地形のパターンは以下のとおりとする。
 - (a) 見通し あり/なし
 - (b) 山越え 谷部分/山頂から少し下
 - (c) 山際/山際から離れている
 - (d) 山の横からの回り込み 期待あり/なし
 - (e) 子機周辺の木の影響(森林の中か) あり/なし

試験の概要を表 4-8 に、測定箇所(子機設置箇所)一覧を表 4-9 に示す。また、各測定箇所(子機設置箇所)写真を図 4-9 に、各測定箇所の地形を図 4-10 に示す。

表 4-8 定点測定 試験の概要

項目	内容
実施日	2022 年 3 月 30 日 14:30～同年 4 月 1 日 13:30
測定場所	親機 徳島大学(場所の詳細は表 4-2 親機設置箇所記載のとおり) 子機:表 4-9 記載のとおり

表 4-9 測定箇所(子機設置箇所)一覧

測定箇所 地点	緯度	経度	距離 (m)	標高 (m)	(a) 見通し	(b) 山越え	(c) 山際	(d) 山横	(e) 木
(1)	34° 03'44.0"	134° 32'10.4"	2887	51	なし	下	離	なし	なし
(2)	34° 03'28.5"	134° 32'16.8"	3068	3.5	なし	下	やや離	あり	なし
(3) 親機方向に木が少ない場所と木が多い箇所 2 箇所で測定									
①木が少ない	34° 03'44.5"	134° 32'32.6"	2435	43.3	あり	—	—	—	なし
②木が多い	34° 03'45.2"	134° 32'35.4"	2368	36	あり	—	—	—	あり
(4) 崖の近くと崖から少し離れた場所の 2 箇所で測定									
①崖近く	34° 04'02.2"	134° 32'10.8"	2592	247	なし	少し下	近	なし	なし
②崖離れ	34° 04'02.3"	134° 32'09.0"	2632	248	なし	少し下	やや離	なし	なし
(5)	34° 04'26.2"	134° 31'47.9"	2950	3.3	なし	下	やや離	あり	なし
(6)	34° 04'30.7"	134° 32'17.6"	2180	8.9	なし	下	近	あり	あり
(7)	34° 04'18.2"	134° 32'30.2"	1943	67.9	なし	見通し 方向	—	—	なし
(8) 斜面中腹と頂上付近の 2 箇所で測定									
①中腹	34° 03'11.9"	134° 31'33.7"	4236	12.3	なし	下	近	なし	あり
②頂上近く	34° 03'13.3"	134° 31'29.9"	4285	35.9	なし	少し下	近	なし	あり
(9)	34° 03'16.1"	134° 30'17.3"	5829	95.9	なし	下	やや離	なし	あり
(10)	34° 03'06.3"	134° 30'43.7"	5382	32.2	なし	下	近	なし	あり
(11) 崖の近くと崖から少し離れた場所の 2 箇所で測定									
①崖近く	34° 02'43.6"	134° 31'03.2"	5398	6.8	なし	下	近	あり	なし
②崖離れ	34° 02'42.6"	134° 31'01.5"	5451	6.8	なし	下	やや離	あり	なし
(12) ※	34° 01'28.7"	134° 31'18.1"	6925	178	あり	—	—	—	あり

※測定箇所(12)のみ、子機の送信出力を 5W として測定を実施した。それ以外の箇所の子機の送信出力は 1W である。

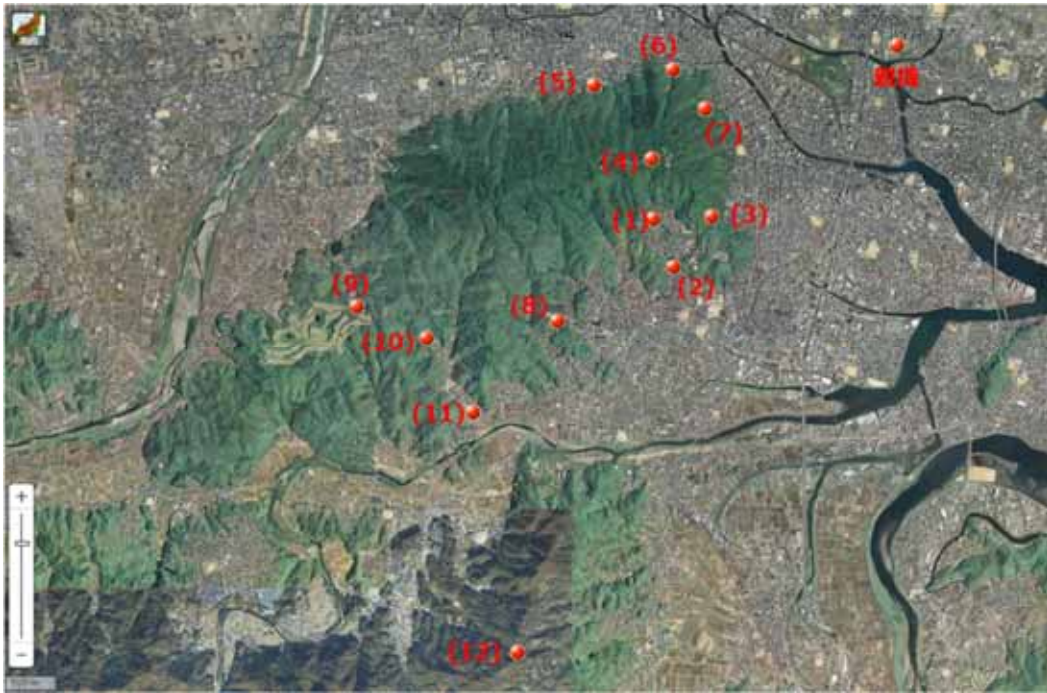


図 4-9 測定箇所(子機設置箇所)写真
 国土地理院地図 全国最新写真(シームレス)を加工

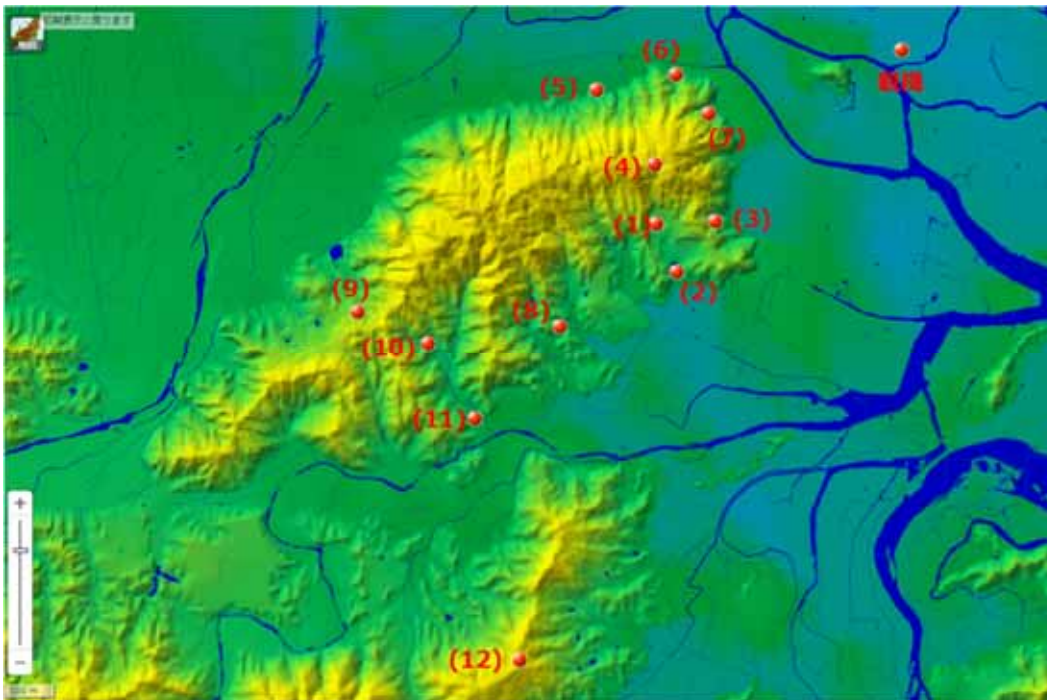


図 4-10 測定箇所(子機設置箇所)地形
 国土地理院地図 デジタル標高地形図 四国周辺_2018年2月を加工

【測定内容と測定システム構成】

徳島大学の屋上に親機を設置し、子機を各地点に移動させて 150MHz 帯デジタル簡易無線機におけるデータを受信した時の受信レベルとノイズレベルを記録した。また、150MHz 帯と通信性能の比較を行うため 920MHz 帯の無線機も同一箇所に設置し受信レベルを記録した。

測定システム構成は、親機側が図 3-1、子機側は図 3-2 記載のとおりである。測定に用いたシステムの機器諸元を表 4-10 に示す。

表 4-10 測定に用いたシステムの諸元

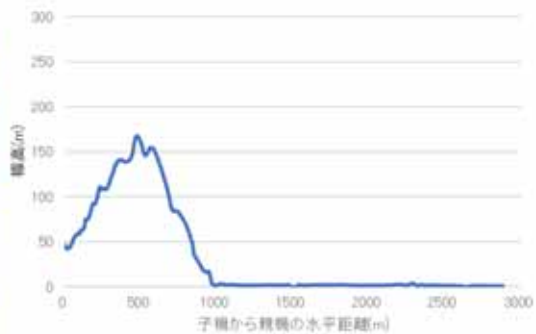
項目	150MHz 帯	920MHz 帯
測定周波数	154.6125MHz (デジタル簡易無線 28ch ユーザーコード:100)	920.6MHz (1ch)
占有周波数帯幅	5.8kHz	62.5kHz
変調方式	4 値 FSK	LoRa SF:7
空中線電力	1W(30dBm)	20mW(13dBm)
親機 空中線系 種別 利得 地上高	BR-150 日本アンテナ社 ブラウン型アンテナ 2.15dBi(無指向) 20.4m	KHD-M30-01 Zhenjiang Voton Machinery 社ダイポールアンテナ 3dBi 18.7m
親機 同軸ケーブル 種別 長さ 利得	5D-FB 10m 0.05dB/m	—
子機空中線系 種別 利得 地上高	EL465 日本アンテナ社 λ/4 ホイップアンテナ 2.15dBi(無指向) 2m	KHD-M30-01 Zhenjiang Voton Machinery 社ダイポールアンテナ 3dBi 2m
子機 同軸ケーブル 種別 長さ 利得	3D-2V 5m 0.12dB/m	—
受信感度	-116dBm (-3dB μV 以下 BER1%)	-140dBm
送信データサイズ	データ:46byte ACK:16byte ※上記に追加して、デジタル簡易無線、920MHz 帯無線機それぞれにおいて必要な制御情報が付加される	
送信頻度	4 秒に 1 回	
1 箇所の測定時間	5 分間	

デジタル簡易無線の使用チャンネルは、検証開始前のノイズレベル測定により、ノイズレベルの低いチャンネルを選択して用いた。ノイズレベル測定の結果は、付録 3 に記載した。

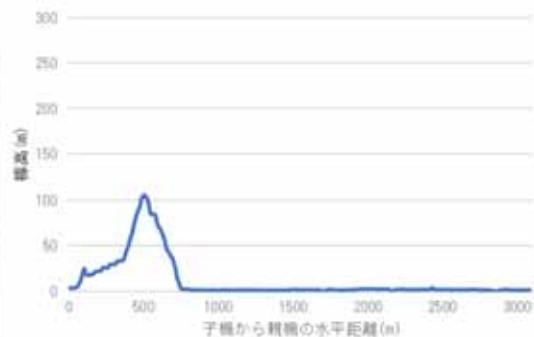
【測定環境】

各測定箇所の親機方向への眺望と子機親機間のプロファイルを図 4-11 に示す。

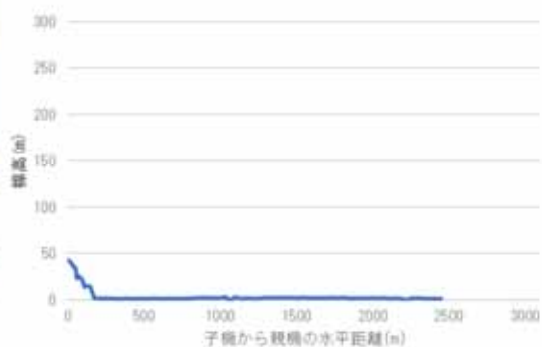
測定箇所(1)



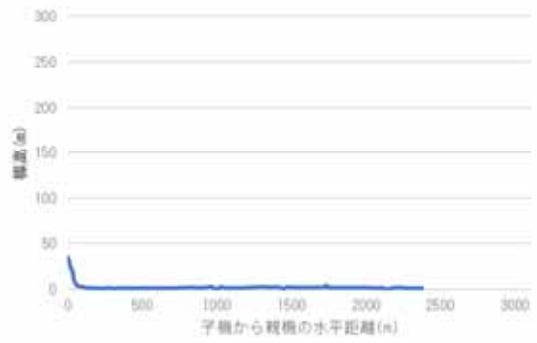
測定箇所(2)



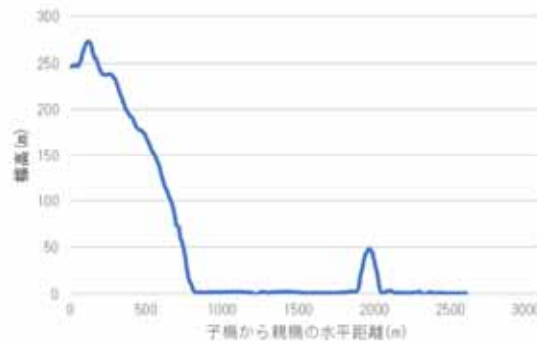
測定箇所(3)-① 木が少ない



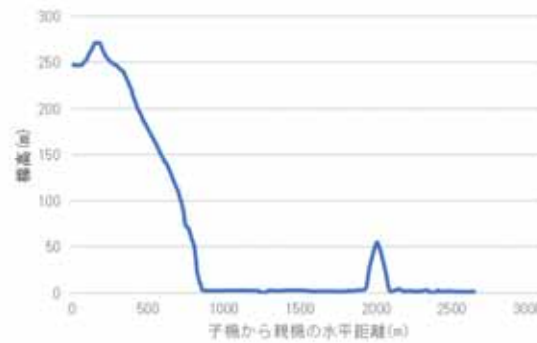
測定箇所(3)-② 木が多い



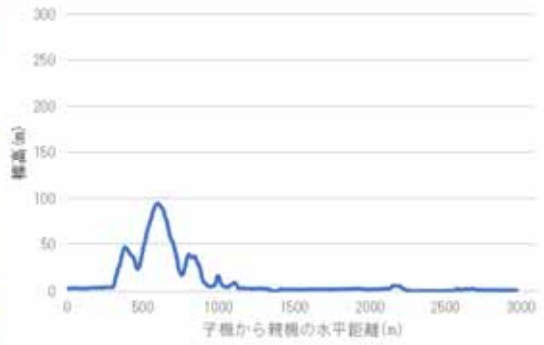
測定箇所(4)-① 崖近く



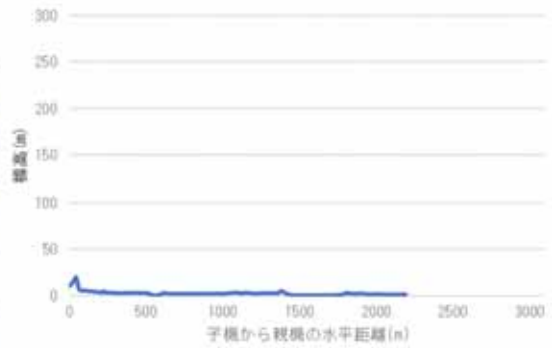
測定箇所(4)-② 崖から少し離れた場所



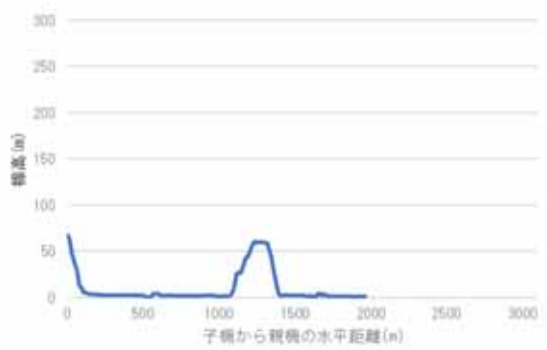
測定箇所(5)



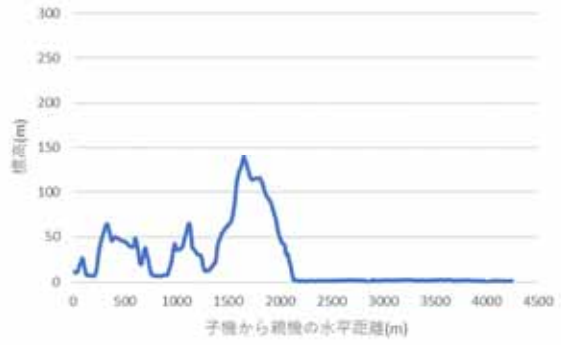
測定箇所(6)



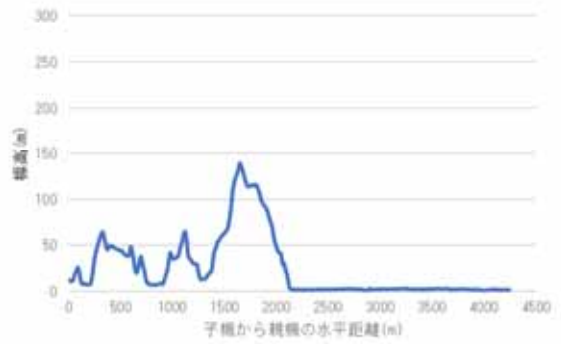
測定箇所(7)



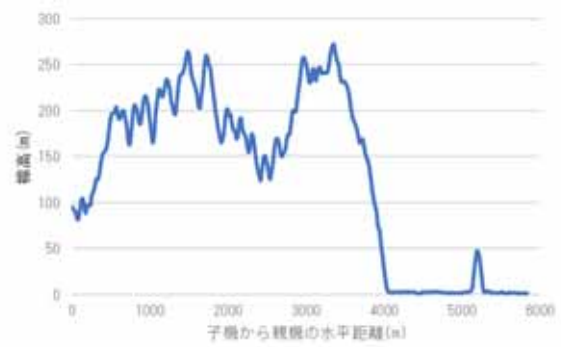
測定箇所(8)-① 中腹



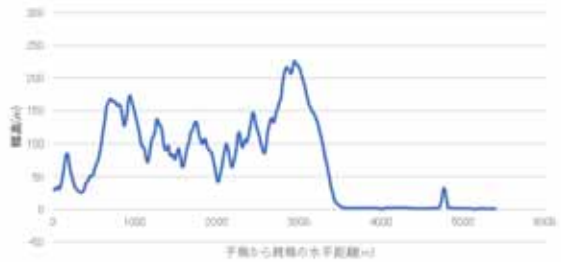
測定箇所(8)-② 頂上近く



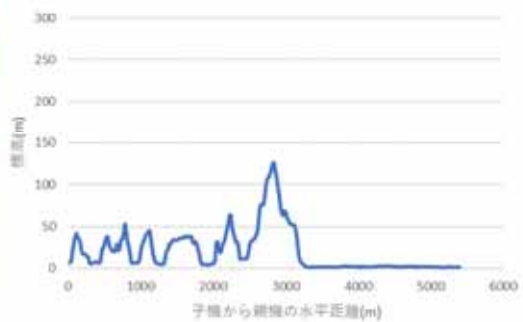
測定箇所(9)



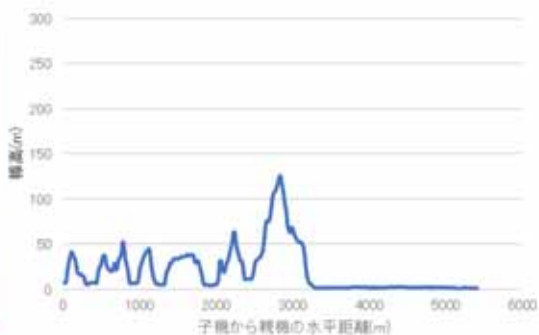
測定箇所(10)



測定箇所(11)-① 崖近く



測定箇所(11)-② 崖から少し離れた場所



測定箇所(12)

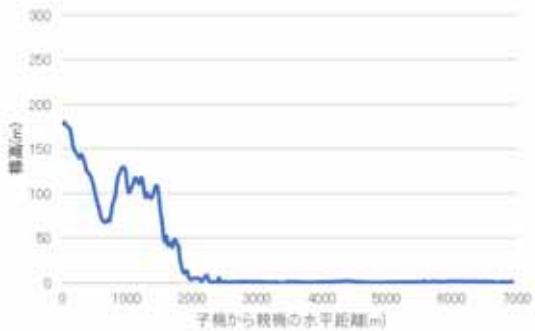


図 4-11 測定箇所(子機設置箇所) 親機方向の眺望と子機親機間のプロファイル

【測定結果】

各測定場所に子機を設置し、150MHz 帯デジタル簡易無線機においてデータを受信した時の受信レベル、ノイズレベル及び PER を測定した。また、920MHz 帯無線機においてデータを受信した時の受信レベルと PER を測定した。測定結果一覧を図 4-12 に、測定結果の詳細を表 4-11 に示す。なお、今回使用したデジタル簡易無線機は、測定できる受信レベルの最大値が -87dBm であるため、 -87dBm 以上の受信レベルであった場合も測定結果は -87dBm となる。また、150MHz 帯、920MHz 帯共に受信できない場所では、受信レベルも取得できない。

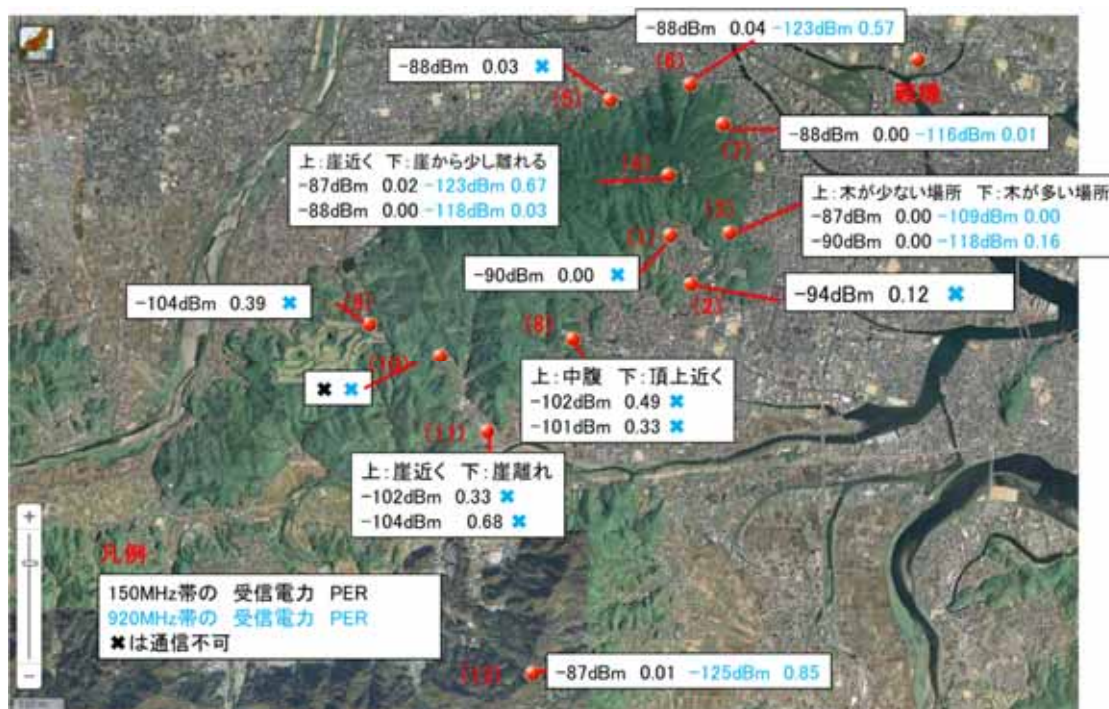


図 4-12 定点測定結果一覧 国土地理院地図 全国最新写真(シームレス)を加工

表 4-11 定点測定結果詳細

測定箇所	150MHz 帯			920MHz 帯	
	受信レベル (dBm)	ノイズレベル (dBm)	PER	受信レベル (dBm)	PER
(1)	-90	-117	0.00	受信不可	
(2)	-94	-118	0.12	受信不可	
(3) 親機方向に木が少ない場所と木が多い箇所 2 箇所で測定					
①木が少ない	-87	-117	0.00	-109	0.00
②木が多い	-90	-118	0.00	-118	0.16
(4) 崖の近くと崖から少し離れた場所の 2 箇所で測定					
①崖近く	-87	-117	0.02	-123	0.67
②崖離れ	-88	-118	0.00	-118	0.03
(5)	-88	-117	0.03	受信不可	
(6)	-88	-116	0.04	-123	0.57
(7)	-88	-116	0.00	-116	0.01
(8) 斜面中腹と頂上付近の 2 箇所で測定					
①中腹	-102	-117.5	0.49	受信不可	
②頂上近く	-101	-116	0.33	受信不可	
(9)	-104	-119	0.39	受信不可	
(10)	受信不可			受信不可	
(11) 崖の近くと崖から少し離れた場所の 2 箇所で測定					
①崖近く	-102	-119	0.33	受信不可	
②崖離れ	-104	-119	0.68	受信不可	
(12)	-87	-116	0.01	-125	0.85

920MHz では通信できない箇所でも 150MHz 帯では通信が可能である地点が多数あることを確認した。920MHz 帯の無線機の送信出力は 20mW(13dBm)であり、送信出力 1W(30dBm)の 150MHz 帯デジタル簡易無線とは約 17dB の差がある。150MHz 帯デジタル簡易無線機の受信感度が約-116dBm であることから、通信可能な損失は-146dB となる。一方、920MHz 帯の受信感度は約-140dBm であることから、通信可能な損失は-153dB となる。アンテナ利得を加味しても、920MHz 帯の方が通信可能な損失が大きいにも関わらず、150MHz 帯の方が通信できる箇所が多いのは、経路損失の違い、すなわち電波伝搬特性における地形の影響の違いに主に起因していると考えられる。150MHz 帯が 920MHz 帯と比較して山間地等電波伝搬特性上不利な環境でも通信できる可能性が高いことを確認した。

なお、150MHz 帯は、920MHz 帯等の UHF 帯に比して、一般的に外来雑音電力が高いことから、今後、実運用における回線設計などのエリア検討時においては、外来雑音電力及び無線機の熱雑音を加味した総合雑音電力を考慮することが望ましい。

【無線機周辺の木の影響】

子機周辺に木が多い箇所は、地点(3)(6)(8)(9)(10)(12)であり、そのうち通信できなかったのは地点(10)であった。地点(10)のプロファイルとフレネルゾーンを図 4-13 に示す。フレネルゾーンの大部分を山岳地形がさえぎっていることから、地点(10)で通信不可となった理由は木の影響ではなく地形の影響と考えられる。

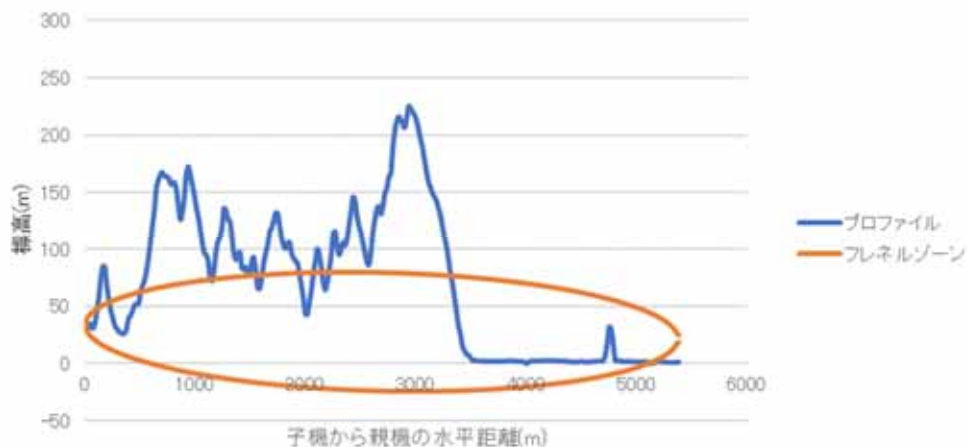


図 4-13 地点(10)プロファイルとフレネルゾーン

その他の木の多い地点(3)(6)(8)(9)(12)に関しては、木が茂っている場所(森林地帯)でも通信可能であり、150MHz 帯は木の影響を受けにくいことが分かる。

4.2.4. 移動測定

【測定概要】

山間地における地形の影響をなるべく多くの地点で把握することを目的に、車で移動しながら受信電界強度(受信レベル)とデータ取得の可否を測定した。試験の概要を表 4-12 に示す。

表 4-12 移動測定 試験の概要

項目	内容
実施日	2022年3月31日 10:30～同年4月1日 13:30
測定場所	親機 徳島大学(場所の詳細は表 4-2 親機設置箇所記載のとおり) 子機 山間地を車で移動しながら測定

【測定内容と測定システム構成】

徳島大学の屋上に親機を設置し、子機を車に乗せて移動しながら、150MHz 帯デジタル簡易無線機においてデータを受信した時の受信レベルとノイズレベルを記録した。また、150MHz 帯と通信性能の比較を行うため、920MHz 帯の無線機も同一箇所に設置し受信レベルを記録した。

測定システム構成は、親機側が図 3-1、子機側が図 3-2 に記載のとおりである。測定に用いたシステムの諸元は、定点測定と同一で、表 4-10 記載のとおりである。子機の送信出力は、1W(30dBm)の場合と 5W(37dBm)の場合の 2 パターンで測定を行った。

【測定環境】

3月31日と4月1日の移動時の速度(時速)を図4-14、図4-15に示す。山間地を移動する際は、概ね時速20km以下で走行した。

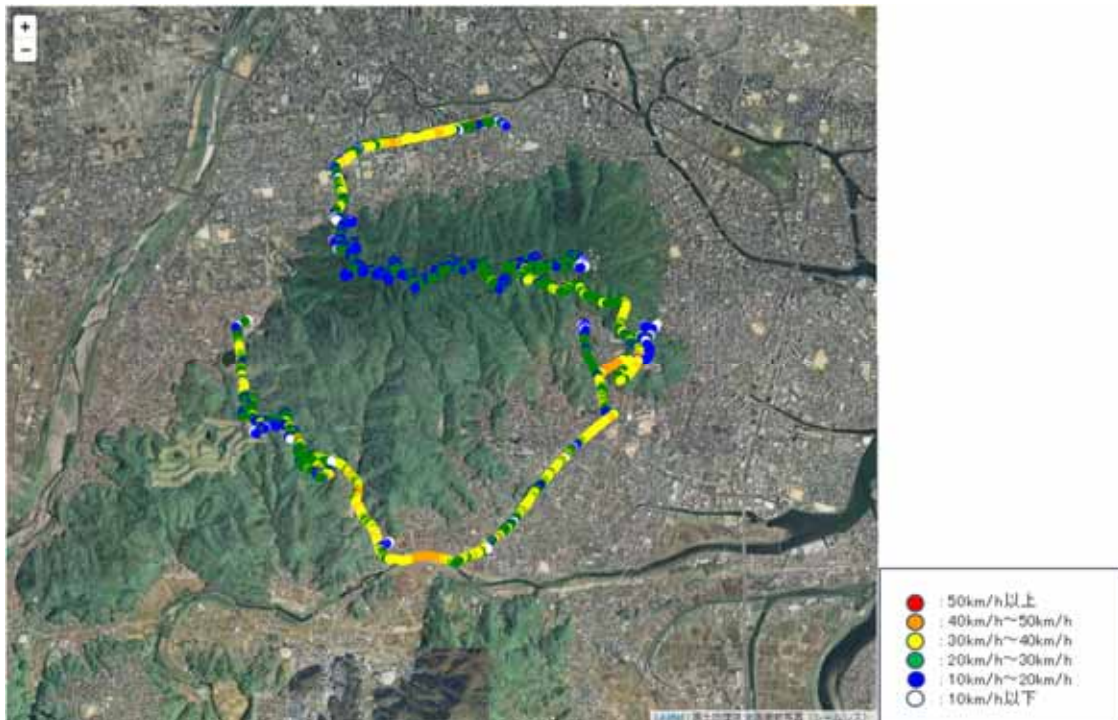


図4-14 3月31日測定 移動速度 国土地理院地図 全国最新写真(シームレス)を加工

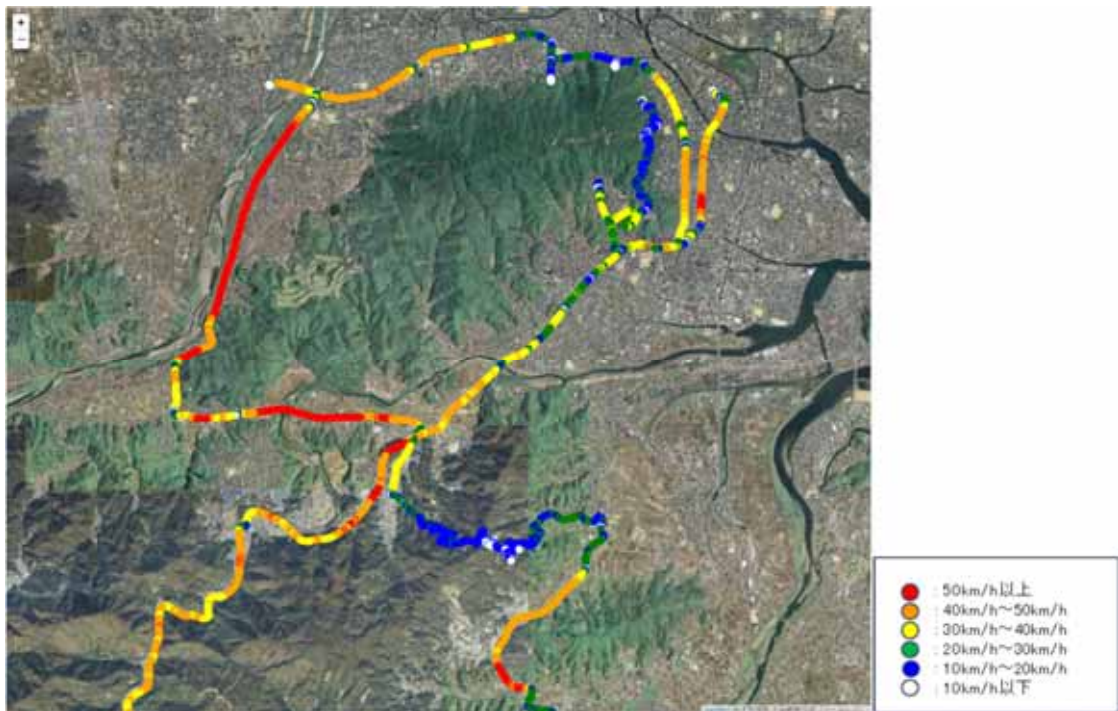
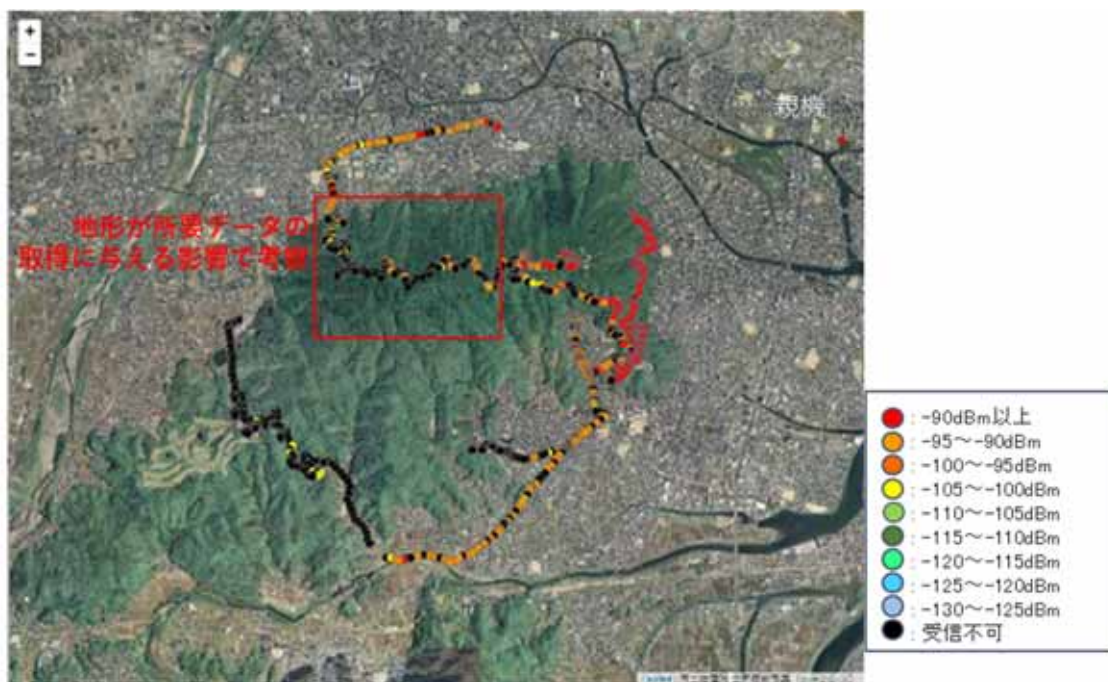


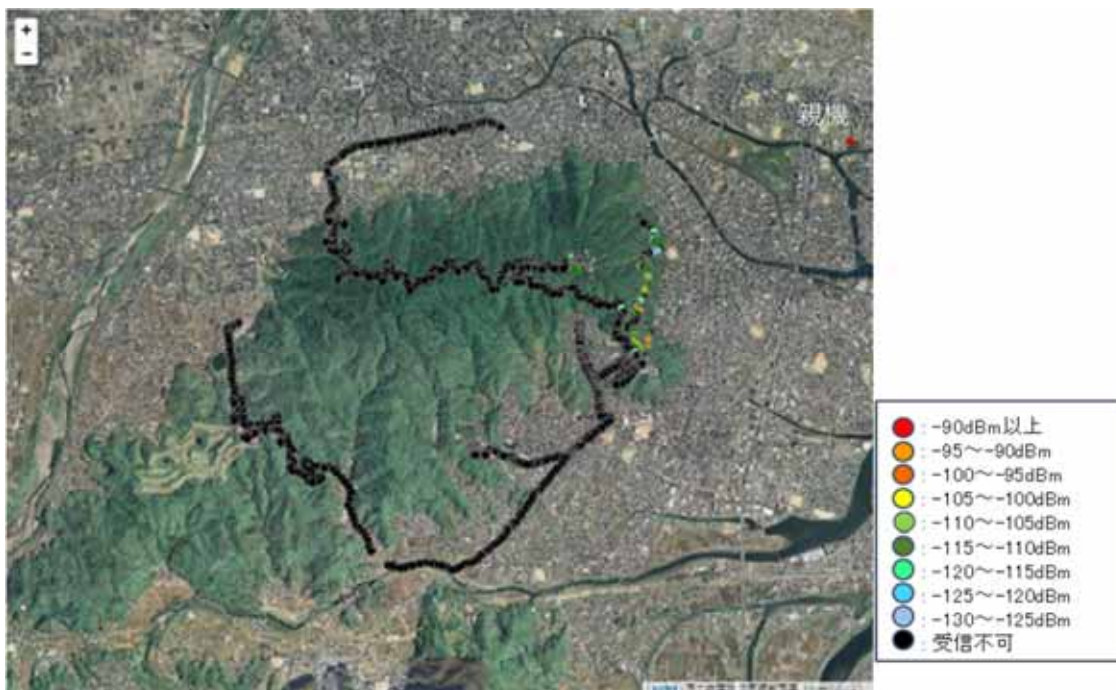
図4-15 4月1日測定 移動速度 国土地理院地図 全国最新写真(シームレス)を加工

【測定結果】

車で移動しながら測定した受信レベルと、データ取得の可否を図 4-16、図 4-17 に示す。図 4-16 は、子機の送信出力が 1W(30dBm)の場合の結果で、920MHz 帯の受信レベルとデータ取得可否と比較している。図 4-17 は子機の送信出力が 5W(37dBm)の場合の結果である。



(a) 150MHz 帯デジタル簡易無線 子機の送信出力 1W



(b) 920MHz 帯 子機の送信出力 20mW

図 4-16 移動測定 受信レベル 150MHz 帯デジタル簡易無線(1W)、920MHz 帯(20mW)
国土地理院地図 全国最新写真(シームレス)を加工

定点測定と同様に、920MHz では通信できない箇所でも 150MHz 帯では通信が可能である地点が多数あることを確認した。

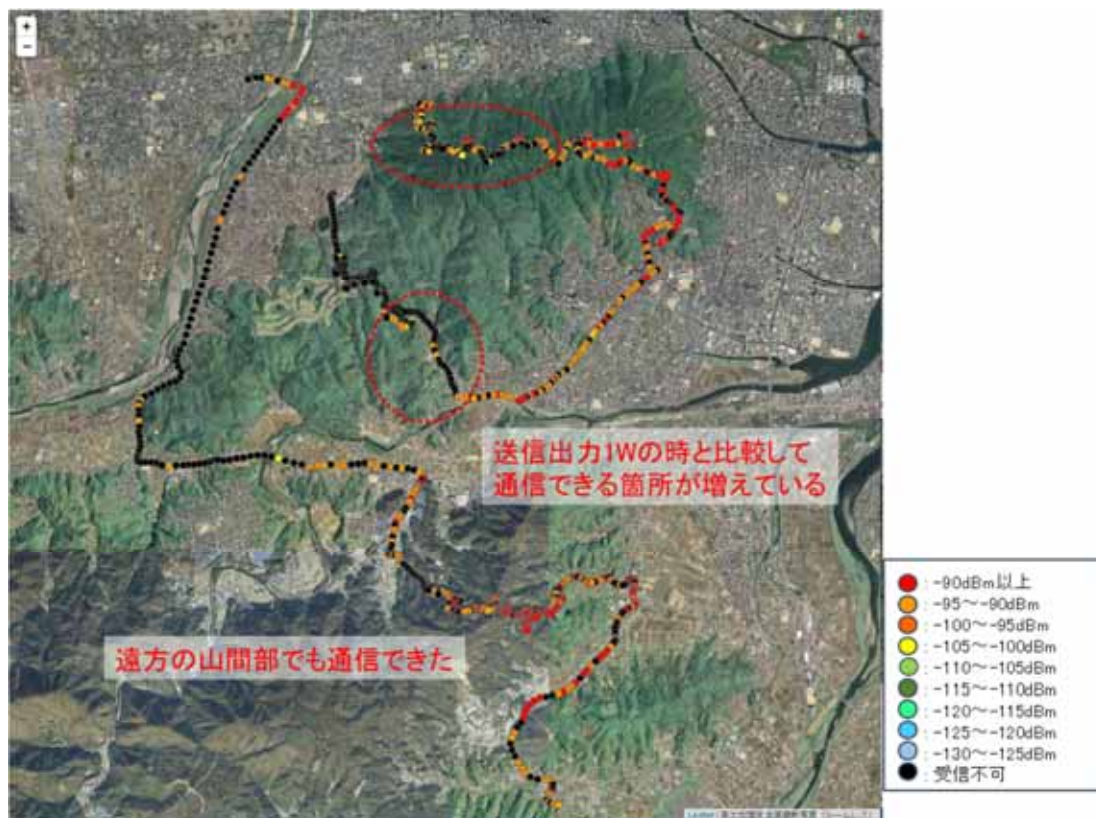


図 4-17 移動測定 受信レベル 150MHz 帯デジタル簡易無線(5W)
 国土地理院地図 全国最新写真(シームレス)を加工

送信出力 1W と比較して約 7dBm 出力が増えたことで、図中点線赤丸で示した箇所等、通信できる箇所が増加している。また、遠方の山間地での通信も試みたが、山間地でも通信できる箇所が多かった。

【地形が所要データの取得に与える影響】

図 4-16(a) 150MHz 帯デジタル簡易無線の赤枠箇所は、通信できる場所とできない場所が含まれている。この中の代表的な 4 箇所において、通信可否の理由を考察する。図 4-18 に、「図 4-16(a) 150MHz 帯デジタル簡易無線」の赤枠箇所における子機から親機へのプロファイル、回折回数、フレネルゾーン、見通しラインを示す。また、ITU-R 勧告 P.526-15 ナイフエッジ回折のモデルを用いて計算した回折損失を示す。

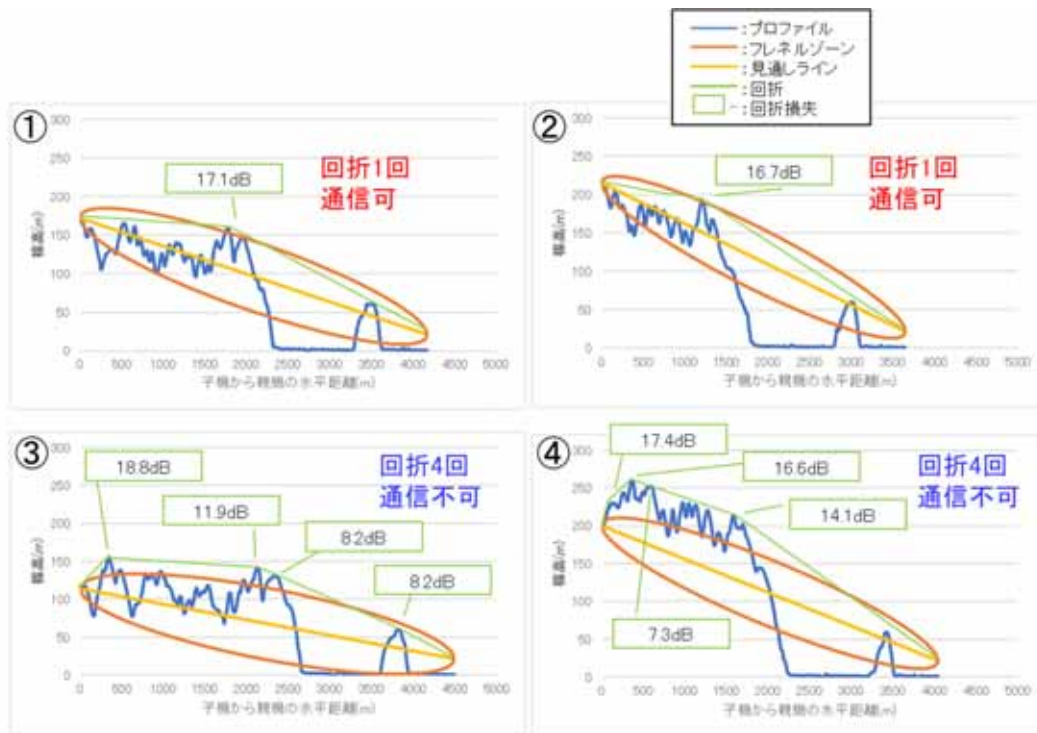
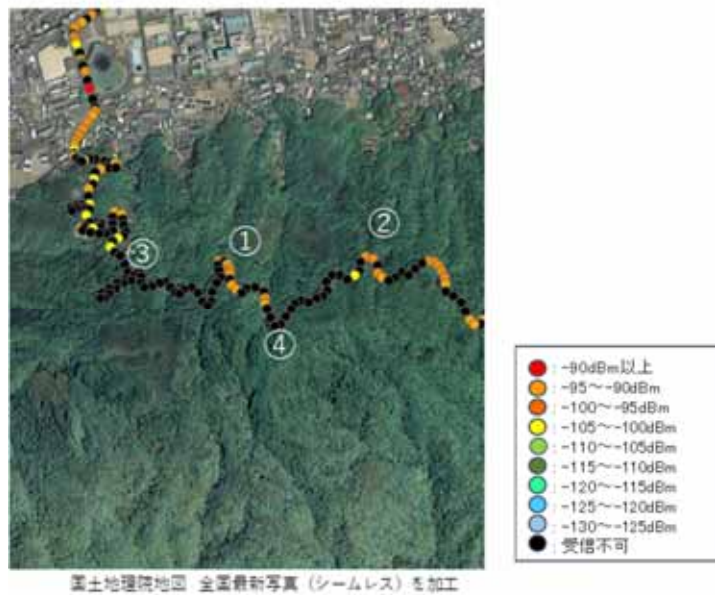


図 4-18 子機から親機へのプロファイル、回折回数、フレネルゾーン、見通しライン、通信可否

通信できる場所は、フレネルゾーンに対して山岳地形が占める割合が比較的少ないが、通信できない場所は、フレネルゾーンに対して山岳地形が占める割合が多い。また、回折による伝搬損失は一般に回折の回数が多いほど大きくなるが、本測定においても、回折の回数が比較的少ないければ通信ができる傾向があった。山間地や山の尾根に囲まれた場所でも、フレネルゾーンを確保し、回折による伝搬損失が小さい(回折の回数が少ない)地点を選ぶことで、通信できる可能性が高まると考えられる。

4.2.5. テレメトリーシステムの連続データ取得

【測定概要】

変位計、地下水分・水位計で測定したセンサデータの取得の可否を、1 週間程度連続的に確認した。測定の概要を表 4-13 に示す。

表 4-13 テレメトリーシステム連続データ取得測定 概要

項目	内容
実施日	2022 年 4 月 1 日 18:05～同年 4 月 12 日 11:35
測定場所	親機 徳島大学(場所の詳細は表 4-2 親機設置箇所記載のとおり) 子機 センサ設置箇所(場所の詳細は表 4-2 センサ設置箇所記載のとおり)

【測定内容と測定システム構成】

徳島大学の屋上に親機を設置し、子機は固定的にセンサ設置箇所に設置した。変位計、地下水分・水位計で測定したセンサデータを子機から親機に 10 分間隔で送信し続けた。同時に 150MHz 帯デジタル簡易無線機において、データを受信した時の受信レベルとノイズレベルを記録した。測定に用いたシステムの諸元を表 4-14 に示す。

表 4-14 測定に用いたシステムの諸元

項目	150MHz 帯デジタル簡易無線
測定周波数	154.6125MHz (デジタル簡易無線 28ch)
占有周波数帯幅	5.8kHz
変調方式	4 値 FSK
空中線電力	1W(30dBm)
親機/子機 空中線系	
種別	BR-150 日本アンテナ社ブラウン型アンテナ
利得	2.15dBi(無指向)
地上高	親機:20.4m 子機:3.6m
親機/子機 同軸ケーブル	
種別	5D-FB
長さ	10m
利得	0.05dB/m
受信感度	-116dBm(-3dB μ V 以下 BER1%)
送信データサイズ	データ:46byte ACK:16byte
送信頻度	10 分に 1 回

測定システム構成は、図 3-1 に記載のとおりである。

【測定結果】

テレメトリーシステムによる連続データ取得結果を表 4-15 に示す。

表 4-15 テレメトリーシステムの連続データ取得結果

項目	結果
子機データ送信数	1559 回
親機データ受信数	1556 回
親機データ受信エラー数	0 回(チェックサムエラー)
子機応答(ACK)受信数	1539 回
子機応答(ACK)受信エラー数	0 回(チェックサムエラー)
親機受信レベル中央値/最小値/最大値	-90dBm/-91dBm/-89dBm
親機ノイズレベル中央値/最小値/最大値	-110dBm/-113dBm/-100dBm
子機受信レベル中央値/最小値/最大値	-91dBm/-92dBm/-89dBm
子機ノイズレベル中央値/最小値/最大値	-115dBm/-120dBm/-108dBm

センサ設置箇所において、2022 年 4 月 1 日から 12 日間送信間隔 10 分で子機から親機にセンサデータ送信を継続した。総送信数 1559 回、総応答受信数 1539 回であり、安定してセンサデータの収集が行えた。

子機並びに親機における受信レベル、ノイズレベルの変動を図 4-19 に示す。

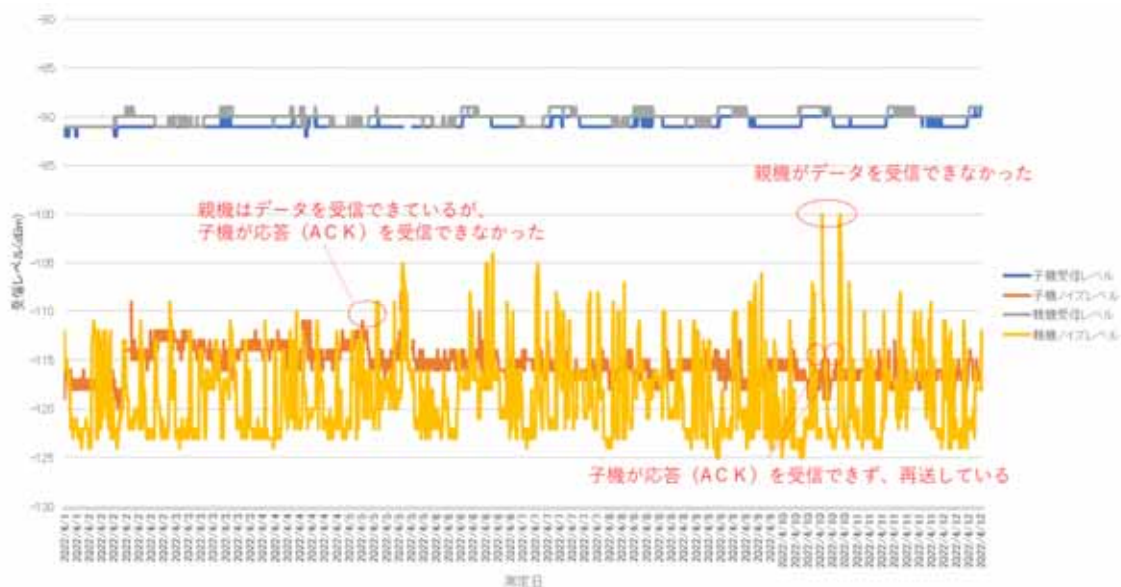


図 4-19 子機並びに親機における受信レベル、ノイズレベルの変動

子機が送信したデータを親機が受信できなかった回数は全測定期間中 3 回であった。受信できなかった日時は、4 月 10 日の 14:24:58、18:44:58、18:54:54 であり、図 4-19 記載のとおり、親機の

ノイズレベルが高い状態であった。親機がデータを受信できなかった場合でも、子機の再送により同データを受信できていたため、再送が有効であることが確認できた。

4月5日 14:54:58 から 18:54:58 は、親機にデータは届いていたが、子機に応答(ACK)が返らない状況が連続して続いた。表 4-16 にこの期間中の状況を整理した。

表 4-16 子機に応答(ACK)が返らなかったときの子機の状態と日時

状況	日時
1 回目の再送で応答(ACK)を受信できた	2022/04/05 14:54:58
	2022/04/05 15:14:58
	2022/04/05 16:24:58
	2022/04/05 17:14:58
	2022/04/05 18:14:58
	2022/04/05 18:24:58
2 回目の再送で応答(ACK)を受信できた	2022/04/05 17:44:58
2 回再送するが応答受信できない	2022/04/05 17:34:58
	2022/04/05 18:04:58

図 4-20 に、2022 年 4 月 5 日 12:00 から 4 月 6 日 0:00 の子機における受信レベルとノイズレベルの変動を示す。子機で応答(ACK)を受信できておらず、ノイズレベルが取得できないため、原因を特定するのは難しいが、ノイズレベルが高いために受信できなかった可能性が考えられる。本検証では再送回数を暫定的に 2 回までとしたが、表 4-16 から 2 回再送しても応答が受信できない場合があったことから、再送の回数は状況に応じて検討する余地がある。



図 4-20 2022 年 4 月 5 日 12:00 から 4 月 6 日 0:00
子機における受信レベルとノイズレベルの変動

4.3. 屋内検証

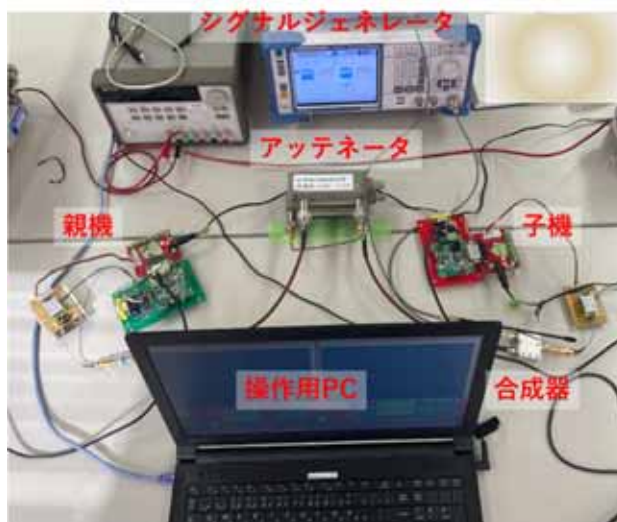
150MHz 帯の LPWA 技術 LoRa 変調方式を採用した無線機を用いて、基本特性を確認するために有線接続による測定を実施した。また、テレメトリーシステムの機能確認、PER、データレート測定を実施した。屋内検証項目を表 4-17 に示す。

表 4-17 屋内検証項目

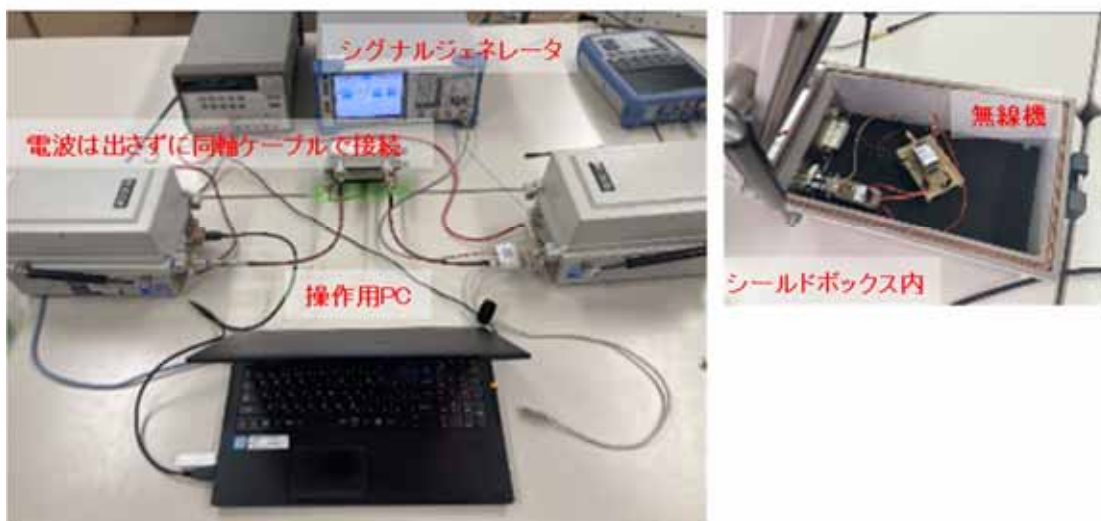
章番号	検証項目	内容
4.3.2.	再送機能確認	再送機能が正常に動作することを確認
4.3.3.	キャリアセンス機能確認	キャリアセンス機能が正常に動作することを確認
4.3.4.	PER 測定	C/N 比を変化させてデータ送受信を行った場合の PER 測定
4.3.5.	データレート測定	単位時間当たりの最大送信可能データ数(実効データレート)測定

4.3.1. 検証環境構築

屋内に構築した検証環境を図 4-21 に示す。



(a) 機能確認、データレート測定環境



(b) PER 測定環境

図 4-21 屋内検証環境

検証環境で、表 3-9 記載の 3 波(中心周波数 158.49MHz, 158.57MHz, 159.21MHz)で送受信していることを確認した。スペクトラムアナライザと 150MHz 帯無線機を接続し、スペクトラムアナライザのピークホールド機能を使い、3 波で動作することを確認した。3 波を切り替えながら測定した結果を図 4-22 に示す。

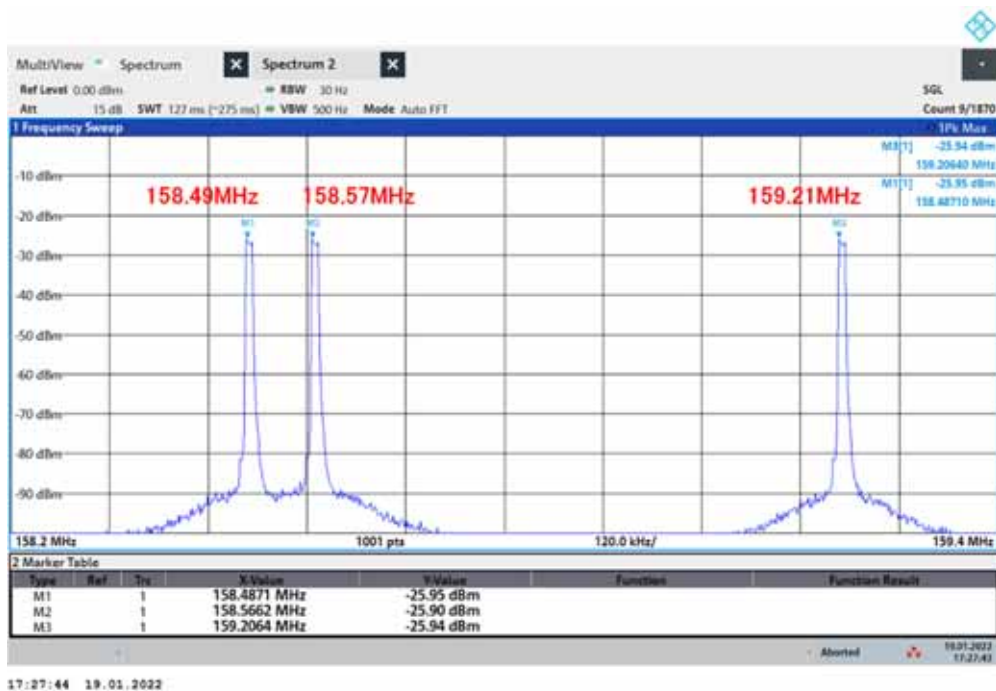


図 4-22 3波の送信確認

4.3.2. 再送機能確認

【測定概要】

再送機能が正常に動作することを確認する。

【測定内容と測定システム構成】

親機が応答(ACK)を送信しないよう(子機が応答(ACK)を受信しないよう)、親機の電源を切った時に、子機の再送機能が動作することを確認する。その後、親機の電源を入れると、再送が停止することを確認する。準備した無線機は SF7~12 で動作可能であるが、本測定では SF7、9、12 を用いて機能確認を実施した。

また、再送機能が正常に動作することを以下の項目で確認した。

- ・ データが親機に届かなかった場合に、子機がデータを再送すること
- ・ ACK が子機に届かなかった場合に、子機がデータを再送すること
- ・ 親機が 2 つ同じデータを受信した場合も、同一データと判断して取り扱えること
- ・ 親機では、子機からのデータが欠落なく受信できているかを確認できること

機器構成は、「図 4-21(a)機能確認、データレート測定環境」記載のとおりである。無線機の諸元を表 4-18 に示す。

表 4-18 無線機の諸元

項目	内容
測定周波数	158.49MHz
占有周波数帯幅	7.8kHz
変調方式	LoRa SF7, SF9, SF12
受信感度	-134dBm

【測定結果】

親機の電源を切ると子機が再送を行い、その後電源を入れると再送が停止し正常に送信が行われることを動作ログにより確認した。確認内容の詳細は付録 4 記載のとおりであり、再送機能が正常に動作することを確認した。

4.3.3. キャリアセンス機能確認

【測定概要】

キャリアセンス機能が正常に動作することを確認する。

【測定内容と測定システム構成】

子機に対してシグナルジェネレータを用いて干渉を与え、子機においてキャリアセンス閾値(-97dBm)以上の干渉電力の場合は送信を停止し、キャリアセンス閾値未満の干渉電力の場合は送信を行うことを動作ログで確認する。準備した無線機は SF7~12 で動作可能であるが、本測定では SF7、9、12 を用いて機能確認を実施した。

機器構成は、「図 4-21(a)機能確認、データレート測定環境」記載のとおりである。無線機の諸元は再送機能確認と同様で、表 4-18 記載のとおりである。

【測定結果】

キャリアセンス機能が正常に動作することを動作ログにより確認した。確認内容の詳細は付録 5 記載のとおりである。

4.3.4. PER 測定

【測定概要】

C/N 比を変化させてデータ送受信を行った場合の、PER を測定した。なお、C/N 比は、「C:150MHz 帯無線機によるデータ受信時の受信レベル」、「N:データ受信時以外のノイズレベル」とする。屋内検証における C/N 比は、C を Desired(希望波)、N(測定時にノイズとして与えた与干渉)を Undesired(干渉波)とした時の D/U 比と同義である。

【測定内容と測定システム構成】

以下の手順で 20 回データを送信した時の送信成功数をカウントすることにより PER を測定した。

1. 再送機能やキャリアセンス機能等の通信制御は用いずに、子機から親機の 1 方向でデータ送信を行う。
2. 可変アッテネータにより、入力信号のレベルを調整する。
3. シグナルジェネレータにより、指定のレベルの干渉波を混入する。
4. データを 20 回送信し、受信成功した回数をカウントする。

PER の測定は、SF 値、干渉波の信号レベル、入力信号のレベルの 3 つのパラメータを変化させ、各組合せを実施した。実施したパターンを表 4-19 に示す。

表 4-19 測定パターン

パラメータ	パターン
SF 値	SF7/SF9/SF12
干渉波の信号レベル	-80/-100/-120dBm
入力信号のレベル	PER が変化するレベルを含む最低 6 パターンで 1dB ずつ変化させる

データサイズは、屋外検証と同じ 46byte とし、データ送信間隔は、データ送信完了後直ちに次のデータを送信した。干渉波、データ受信時の入力信号のレベルの調整は、150MHz 帯無線機のデータ受信時の受信レベル測定機能と、データ受信時以外のノイズレベルの測定機能を利用した。親機のデータ受信時の受信レベルを調整する際は、実際に子機から 46byte のデータを送信し親機で受信しながら、受信した時の受信レベルを表示し、信号レベルが-80/-100/-120dBm になるように可変アッテネータの値を調整した。干渉波のレベルを調整する際は、同様に親機のノイズレベルを表示し、シグナルジェネレータの出力レベルを調整した。

シグナルジェネレータで混入した干渉波と、150MHz 帯無線機データ通信時のスペクトラムを図 4-23 に示す。黒が干渉波で、青が 150MHz 帯無線機でのデータ通信時のスペクトラムであり、中心周波数は 158.49MHz、横軸 1 目盛りが 2kHz である。

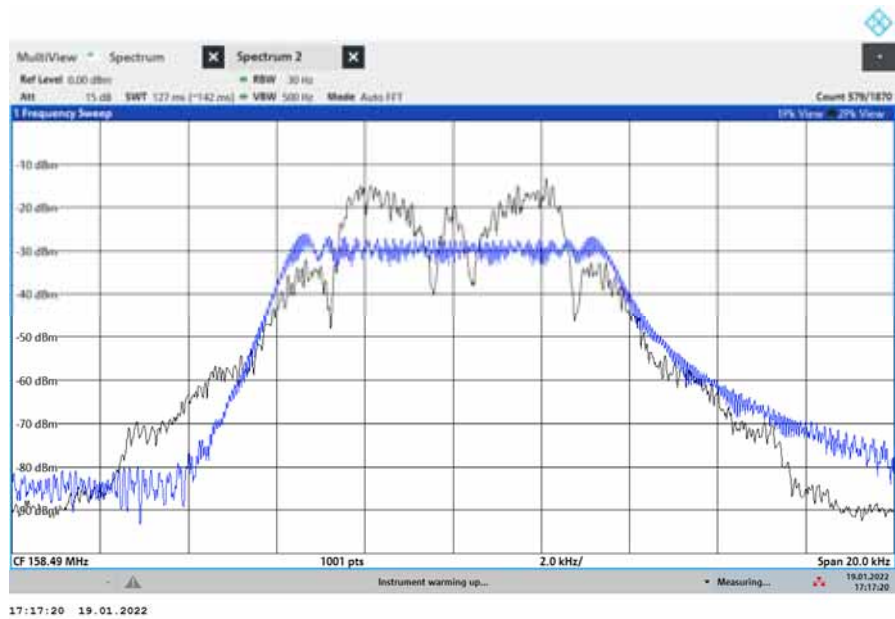


図 4-23 干渉波とデータ通信時のスペクトラム

機器構成は、「図 4-21(b)PER 測定環境」記載のとおりである。150MHz 帯無線機の諸元は機能確認と同様で、表 4-18 記載のとおりである。

シグナルジェネレータの諸元を表 4-20 に示す。

表 4-20 シグナルジェネレータの諸元

項目	内容
型名	R&S® SMBV100A
STATE	ON
Data Source	PRBS
PRBS Type	PRBS 9
Select Control List	None
Set acc to standard	User
Symbol Rate	2.4 k sym/s
Coding	OFF
Modulation Type	2FSK
Filter	Gauss (FSK)
BT	0.7
Power Ramp Control	OFF
Trigger/Marker	AUTO
Clock	Internal
信号レベル	RF 出力レベルを無線機の受信レベルを見ながら調整

【測定結果】

データ受信時の受信レベル-80dBm の時の受信成功数を表 4-21 に、受信レベル-100dBm の時の受信成功数を表 4-22 に、受信レベル-120dBm の時の受信成功数を表 4-23 に示す。干渉波のレベルは、PER が変化するレベルを含む最低 6 パターンで測定しており、表中の空欄は受信成功数 0 又は 20 となる予想のため測定していない。

表 4-21 データ受信レベル-80dBm の時の受信成功数

干渉波レベル	SF7	SF9	SF12
-53dBm			0
-54 dBm			0
-55 dBm			2
-56 dBm			16
-57 dBm			20
-58 dBm			20
:			
-62 dBm		0	
-63 dBm		0	
-64 dBm		11	
-65 dBm		19	
-66 dBm		20	
-67 dBm		20	
-68 dBm	0		
-69 dBm	0		
-70 dBm	11		
-71 dBm	19		
-72 dBm	20		
-73 dBm	20		

表 4-22 データ受信レベル-100dBm の時の受信成功数

干渉波レベル	SF7	SF9	SF12
-73dBm			0
-74 dBm			0
-75 dBm			1
-76 dBm			7
-77 dBm			18
-78 dBm			20
-79dBm			20
:			
-82 dBm		0	
-83 dBm		0	
-84 dBm		5	
-85 dBm		19	
-86 dBm		20	
-87 dBm		20	
-88 dBm	0		
-89 dBm	0		
-90 dBm	8		
-91 dBm	19		
-92 dBm	20		
-93 dBm	20		

表 4-23 データ受信レベル-120dBm の時の受信成功数

干渉波レベル	SF7	SF9	SF12
-94dBm			0
-95 dBm			0
-96 dBm			1
-97 dBm			13
-98 dBm			20
-99 dBm			20
:			
-103 dBm		0	
-104 dBm		0	
-105 dBm		1	
-106 dBm		17	
-107 dBm		20	
-108 dBm		20	
-109 dBm	0		
-110 dBm	0		
-111 dBm	3		
-112 dBm	14		
-113 dBm	19		
-114 dBm	20		
-115 dBm	20		

PER は、以下の式により算出した。

$$PER = (20 - \text{受信成功数}) \div 20$$

C/N 比に対する PER を図 4-24 に示す。

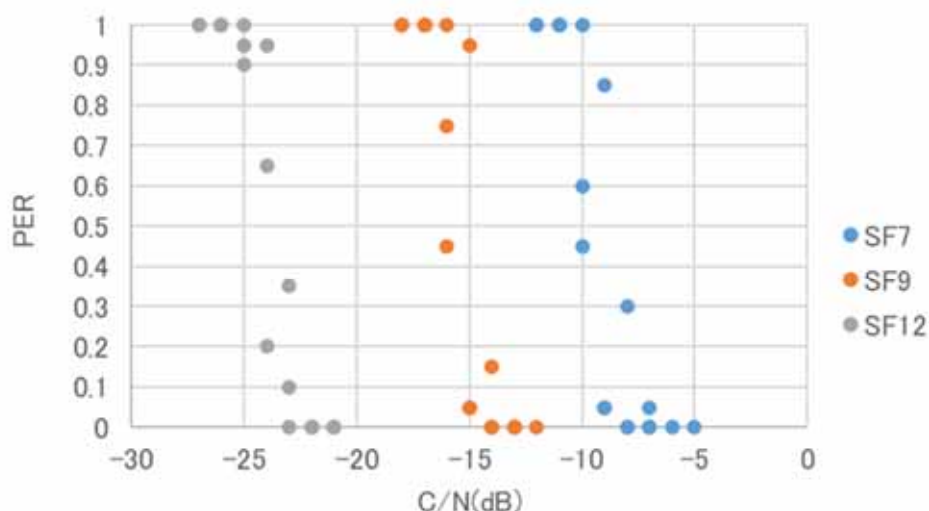


図 4-24 C/N 比に対する PER

データ受信時の信号レベルに対して SF7 の時に約 8~10dB、SF9 の時に約 14~16dB、SF12 の時に約 23~25dB 大きな電力のノイズレベルの時まで受信可能であった。LoRa 変調方式は、SF 値が1ステップ変わると受信感度が約 3dB 改善する。SF7 と SF9 は SF 値が 2 ステップ違うので約 6dB、SF9 と SF12 は SF 値が 3 ステップ違うので 9dB、C/N 比に対する PER の特性が異なり、理論値どおりの結果となった。

4.3.5. データレート測定

【測定概要】

単位時間当たりの最大送信可能データ数(実効データレート)を測定した。

【測定内容と測定システム構成】

以下の手順で、測定した。

1. 送信間隔を最小にしてデータ送信、応答(ACK)受信を繰り返しながら、子機でデータ送信時間を、親機で ACK 送信時間を測定し記録する。また、子機でデータを送信してから応答(ACK)受信が完了するまでの時間を測定する。
2. 動作ログを確認し、欠落、再送が生じずにデータ転送に成功することが確認できたら、所要時間から単位時間当たりの最大送信可能数とデータレートを計算する。

機器構成は、「図 4-21(a)機能確認、データレート測定環境」記載のとおりである。150MHz 帯無線機の諸元は機能確認と同様で、表 4-18 記載のとおりである。送信データサイズは、屋外検証と同じ 46byte とした。但し、準備した 150MHz 帯無線機は、通信時に制御用データ 15byte が付加される。よって、送信データサイズは 46byte+15byte=61byte、応答(ACK)サイズは、16byte+15byte=31byte となる。

【測定結果】

子機でデータ送信を開始してから完了するまでの時間をデータ所要時間、親機で応答(ACK)送信を開始してから完了するまでの時間を ACK 所要時間、子機でデータ送信を開始してから応答(ACK)受信を完了するまでの時間を往復所要時間と称し、SF 値毎に 20 回測定した平均時間を表 4-24 に示す。

表 4-24 SF 値毎の通信所要時間(単位: ms)

SF 値	データ所要時間	ACK 所要時間	往復所要時間
SF7	2525	1525	4151
SF8	4168	2513	6805
SF9	7289	4650	12878
SF10	13204	7944	21420
SF11	23722	14530	38745
SF12	44759	29015	74733

往復所要時間から、1 秒当たりの最大送信可能数を以下の式で算出した結果を表 4-25 に示す。

$$\text{最大送信可能数(回)} = 1000(\text{ms}) \div \text{往復所要時間}(\text{ms})$$

表 4-25 1 秒当たりの最大送信可能数

	SF7	SF8	SF9	SF10	SF11	SF12
最大送信可能数(回)	0.24	0.15	0.08	0.05	0.03	0.01

データ送信時の実効データレートを以下の式により計算する。

$$\text{実効データレート}(\text{bps}) = (46\text{Byte} + 15\text{Byte}) * 8\text{bit} \div \text{データ所要時間}(\text{s})$$

また、応答(ACK)送信時の実効データレートを以下の式により計算する。

$$\text{実効データレート}(\text{bps}) = (16\text{Byte} + 15\text{Byte}) * 8\text{bit} \div \text{ACK 所要時間}(\text{s})$$

SF 毎に計算した実効データレートと、データレートの理論値を表 4-26 に示す。また、所要時間と実効データレートを図 4-25 に示した。

表 4-26 実効データレートとデータレートの理論値(単位: bps)

	SF7	SF8	SF9	SF10	SF11	SF12
実効データレート データ	193	117	67	37	21	11
実効データレート ACK	163	99	53	31	17	9
データレート理論値	341	195	110	61	34	18



図 4-25 所要時間と実効データレート

実効データレートが理論値より小さいのは、実効データレート測定時にプリアンブルや機器の処理速度も含めて所要時間を測定していることに起因する。データサイズが小さい時ほどこれらの影響を受けやすいため、ACK の実効データレートはデータの実効データレートより小さな値となる。「4.4.2. 子機収容可能数の検討」を行う際は、ACK の実効データレートから、SF7 のデータレートを 163bps、SF9 のデータレートを 53bps、SF12 のデータレートを 9bps として検討に用いた。理論値では SF が 1 ステップ上がると、データレートは約半分となるが、実効データレートにおいても同様の傾向であった。

4.4. 検証結果の分析

屋外検証、屋内検証の結果から、再送機能の検討と子機収容可能数の検討を行った。

4.4.1. 再送機能の検討

屋外検証及び屋内検証で PER が悪化する C/N 比を明らかにした。

屋外検証における C/N 比に対する PER を図 4-26 に示す。

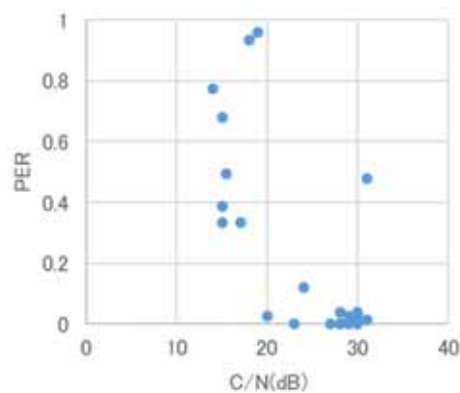


図 4-26 屋外検証 C/N 比に対する PER

データ受信時の信号レベルに対して約 14~20dB 小さな電力のノイズレベルの時まで受信可能であった。

屋内検証における C/N 比に対する PER は、図 4-24 記載のとおりで、データ受信時の受信レベルに対して SF7 の時に約 8~10dB、SF9 の時に約 14~16dB、SF12 の時に約 23~25dB 大きな電力のノイズレベルの時まで受信可能であった。

電波状況が良くない場所をモニタリングする場合 (PER が悪化した状態) は、再送を行うことでデータ到達確率を上げることが可能である。

実際のシステム構築にあたっては、子機設置箇所毎に表 2-6 に従い、PER から必要な再送回数を算出し、再送機能を動作させることで、データ到達確率を向上させることが望ましい。

4.4.2. 子機収容可能数の検討

150MHz 帯 LPWA 技術 LoRa 変調方式を用いた場合の、親機 1 台当たりの子機収容可能数を検討する。再送機能を付加した場合を想定し、実証によって得られた実効データレートをもとに、センサデータの送信頻度が 1 時間に 1 回の場合と 10 分に 1 回の場合について算出した。SF 値は 7、9、12 について計算した。

検討の際の前提条件を表 4-27 に示す。

表 4-27 子機収容可能数の検討 前提条件

項目	前提条件	根拠
データサイズ	69byte	テレメトリーシステムのセンサ部要件 (表 2-4) のセンサデータサイズの最大値 54byte + 制御データサイズ 15byte
応答 (ACK) のサイズ	31byte	ACK データサイズ 16byte (表 3-7) + 制御データサイズ 15byte
データレート	SF7: 163bps SF9: 53bps SF12: 9bps	「4.3.5. データレート測定」結果の実効データレート
データ発生頻度	1 時間に 1 回又は 10 分に 1 回 ランダムなタイミングで各子機が送信	テレメトリーシステムのセンサ部要件 (表 2-4) のセンサデータ取得の頻度 (通信頻度)
MAC 層制御方式	Pure アロハ方式	再送を行うシンプルな MAC 層制御方式であるため

以下の文献に記載の算出方法を用いて、データパケット同士の衝突、ACK パケット同士の衝突及びデータパケットと ACK パケットの衝突を考慮して、1 波当たりの子機収容可能数 (親機 1 台で収容可能な子機の台数) を机上計算した。

- ・ 田中義郎, 池田哲夫, “無線回線を用いた計算機網の通信容量. -アロハシステムについて-”, 情報処理学会論文誌 Vol.20 No.2 pp.122-129, 1979.

前記文献に従い、

Channel Traffic: すべてのデータパケットのチャンネル占有率、

Channel Throughput: 送受信の完了したデータパケットのチャンネル占有率、

と定義した時の両者の関係を図 4-27 に示す。

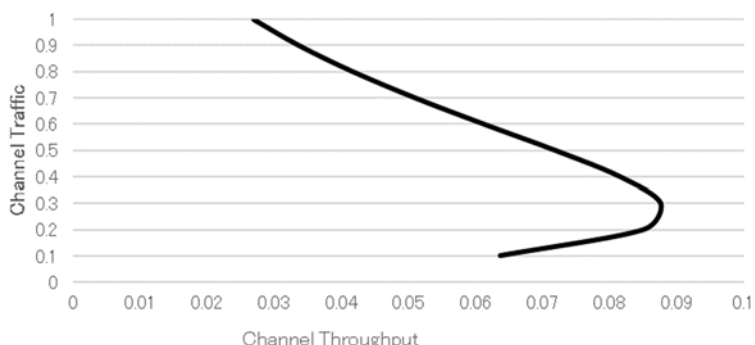


図 4-27 Channel Traffic と Channel Throughput

図から、Channel Throughput を最大にする Channel Traffic(システムの通信容量 S_{max})は、

$$S_{max} = 0.087 \text{ となる。}$$

收容可能数 K_{max} は、子機からの平均発生率を λ 、データパケット幅を τ_{dp} 、システムの通信量を S_{max} とすると、近似的に以下の式で表される。

$$K_{max} = S_{max} \div (\lambda \cdot \tau_{dp})$$

なお、データの発生頻度が 1 時間に 1 回の場合は $\tau = 1/3600$ 、データの発生頻度が 10 分に 1 回の時は $\tau = 1/600$ となる。また、 $\tau_{dp} = (54\text{byte} + 15\text{byte}) * 8\text{bit} \div \text{データレート}$ となる。本式により算出した收容可能数 K_{max} を表 4-28 に示す。

表 4-28 データ発生頻度が 1 時間に 1 回の場合の收容可能数(台)

データ発生頻度	SF7	SF8	SF9
1 時間に 1 回	92	30	5
10 分に 1 回	15	5	0

150MHz 帯の LPWA 技術 LoRa 変調方式を採用したシステムにおいて、センサデータ発生頻度が 1 時間に 1 回を想定した場合、SF7 であれば收容可能数の要件 60 台を満たす。しかし、センサデータ発生頻度を 10 分に 1 回を想定すると、收容可能数は SF7 の場合でも約 15 台となり、要件の 60 台に達しないことが分かった。

150MHz 帯の LPWA 技術 LoRa 変調方式より、150MHz 帯デジタル簡易無線の方が物理層のデータレートの理論値が高いため、收容可能数を多くできる可能性がある。そこで、デジタル簡易無線を用いたシステムの收容可能数の検討を行った。150MHz 帯デジタル簡易無線に関しては、データレートの実測を行っていないため、データレートの理論値から收容可能数を計算することとした。

【デジタル簡易無線の収容可能数の検討】

デジタル簡易無線を用いる場合のフレームフォーマットは、デジタル簡易無線の標準規格(民間規格)である ARIB STD-T98 1.4 版において、4.1.6.1 項で規定されている通信用チャンネル(SC)を用いる。通信用チャンネルのフレームフォーマットを図 4-28 に示す。

SW	RI	SACCH	TCH1	TCH2
20	16	60	144	144

TCH1/2: トラヒックチャンネル
SACCH: 低速付随制御チャンネル
RI: 無線情報チャンネル(RICH)
SW: 同期ワード

図 4-28 通信用チャンネルの信号フォーマット

出典: ARIB STD-98 1.4 版 図 4-1

TCH1 と TCH2 の領域にデータを入れて送信する。信号転送の際は誤り訂正機能を使用する。ARIB STD-T98 1.4 版 4.1.8.3.3 項に、誤り訂正／検出符号／インタリーブの関係が示されている(図 4-29)。80bit のデータに対してこれらの処理を行った結果、144bit のデータとして TC1/TC2 に格納する。

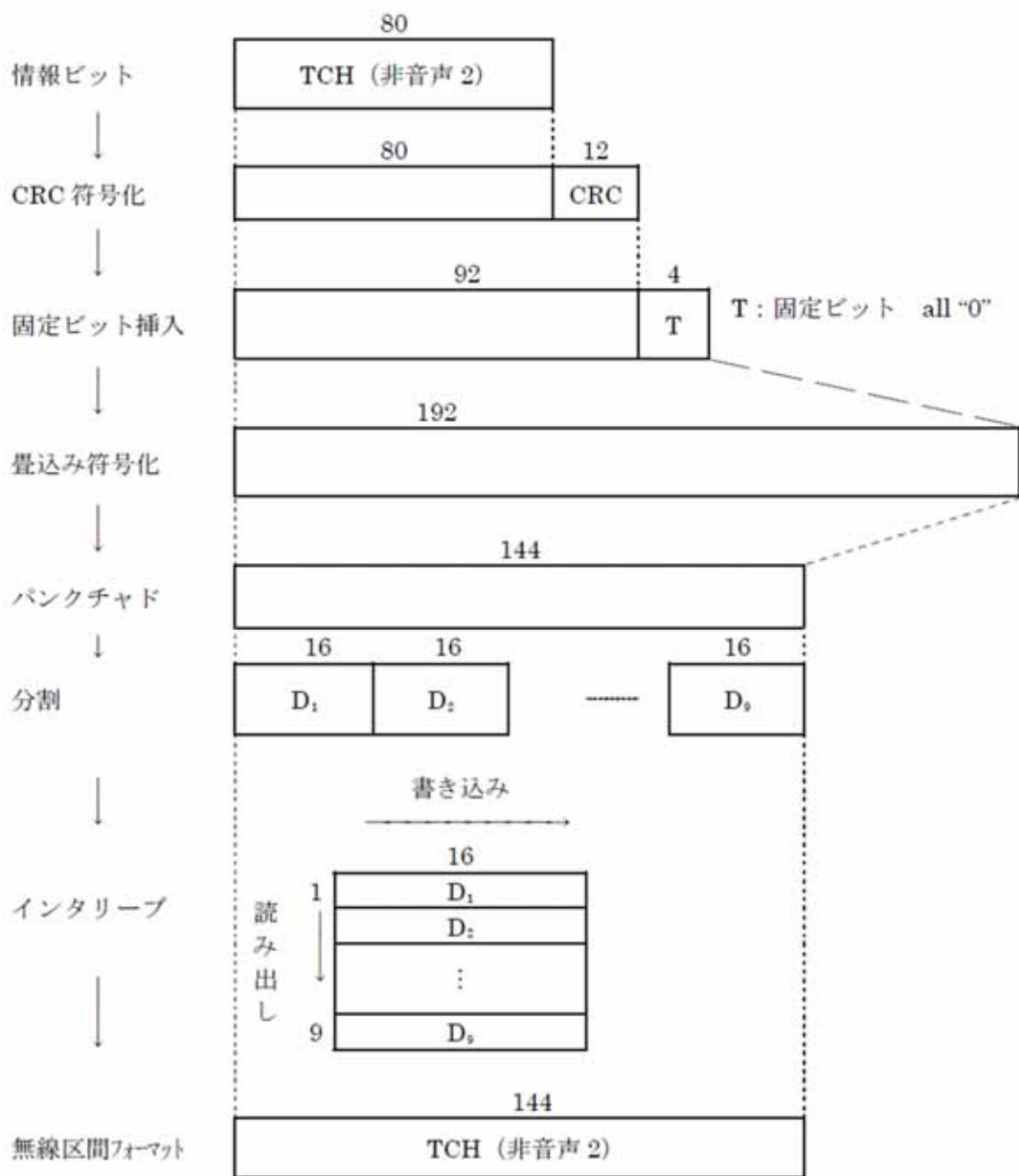
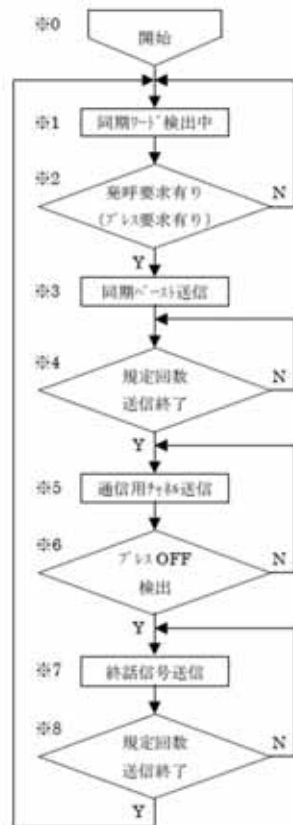


図 4-29 TCH における誤り訂正、検出符号、インタリーブの関係

出典: ARIB STD-T98 1.4 版 図 4-16

子機から親機に送信するセンサデータは 54byte であり、1 フレームに 160bit のデータが入ることから、センサデータを送信するには 3 フレームを使用する。フレーム長は 80ms なので、データフレームの送信所要時間は 240ms となる。同様に親機から子機に送信する応答(ACK)は 16byte であり、1 フレームで送信できるため、応答(ACK)のフレーム送信所要時間は 80ms となる。

デジタル簡易無線の標準規格(民間規格)である ARIB STD-T98 1.4 版において、送信局の動作フローが 4.3.1 項で図 4-30 に示すとおり規定されている。



- ※0 電源投入後、扱い者からの切替指示（手動を基本とする）により、必要に応じて、所定の確認動作（キャリアセンス）を行い、本動作に入る。
- ※1 モード投入後、同期捕捉のため同期バースト又は通信用チャネルの、同期ワードの検出を行なう。（アイドル状態）（受信局のアイドル状態と同じ）
- ※2 扱い者の“プレス ON”の操作により、同期ワードの検出動作を停止する。
- ※3 同期バーストを送出する。
- ※4 規定回数の同期バーストの送信が終了したら通信用チャネルを送信する。
- ※5 通信用チャネルを送信中
- ※6 扱い者の“プレス OFF”の操作により、通信用チャネルの送信を停止する。
- ※7 終話信号を送信する。
- ※8 規定回数の終話信号の送信が終了したらアイドル状態に戻る。

図 4-30 送信局の動作フロー

出典: ARIB STD-T98 1.4 版 図 4-30

送信要求後は、同期バースト送信、通信用チャネル送信（規定回数）と続くが、キャリアセンス（キャリア・モニタリング）も含めて以下の手順で通信を行うこととする。

1. キャリアセンス(キャリア・モニタリング)
2. 同期バースト送信
3. 通信用チャネル送信(規定回数)

登録局はキャリアセンス、免許局はキャリア・モニタリングを行う。キャリアセンスは、ARIB STD-T98 1.4 版 3.8.2 項に、「キャリアセンスの判定時間は、送信開始前の 200ms 以上、判定後から送信開始までの送信応答時間は 20ms 以内とする。」と記載があるため、220ms と想定する。免許局の場合は、キャリア・モニタリングを行い、モニタリング期間中に同一周波数を使用する電波のレベルが閾値以下であることを確認する。キャリア・モニタリングを用いる場合の想定時間も同様に 220ms とする。このように 1 回のセンサデータ及び応答(ACK)送信の度に、キャリアセンス又はキャリア・モニタリングを行うことで、デジタル簡易無線の通信制限である「1 回の通信時間は、5 分をこえてはならない」「1 回の通信を終了した後においては、1 分以上経過した後でなければ再び通信を行なってはならない」(運用第百二十八条の二)という制限の制約を受けなくなる。また、他のリアルタイム性が必要な通信(例: 音声)を優先させることができる。

同期バースト送信は、1 フレームを想定し 80ms とする。通信用チャネル送信は、前述のとおり子機から親機へのセンサデータ送信の場合が 240ms、親機から子機への応答(ACK)送信の場合が 80ms となる。以上から、データレートを計算すると以下のとおりとなる。

(センサデータ送信時) $54\text{byte} \times 8\text{bit} \div (0.22 + 0.08 + 0.24)\text{s} = 800\text{bps}$

(応答(ACK)送信時) $16\text{byte} \times 8\text{bit} \div (0.22 + 0.08 + 0.08) = 336\text{bps}$

LPWA 方式 LoRa 変調方式 SF7 の時の実効データレートは、表 4-26 からセンサデータ送信時 341bps、応答(ACK)送信時が 163bps であり、デジタル簡易無線の方が 2 倍以上速いと試算された。従って、上記収容可能数の計算式に従って 150MHz 帯デジタル簡易無線の収容可能数を計算すると、理論的には LPWA 方式 LoRa 変調方式(SF7)を用いたシステムと比較して、2 倍以上収容可能数が多くなる。

センサデータ発生頻度が多く、多台数の子機を収容する必要がある場合は、デジタル簡易無線の利用が有効であると言える。

第5章 テレメトリーシステム導入のメリットの検証

5.1. 検証の概要

テレメトリーシステムを導入する場合としない場合(現在の手作業による確認等)の、地方公共団体等における土砂災害防止対策の費用対効果の比較に関する調査(地方公共団体へのアンケートと有識者へのヒアリング)を行った。

5.2. 検証方法

検証の内容と検証方法を表 5-1 に示す。

表 5-1 検証方法

調査内容	調査方法
システム導入しない場合の土砂災害防止の対策	
費用	地方公共団体へのアンケート調査
効果	有識者にヒアリング
課題	地方公共団体へのアンケート調査
システム導入した場合の土砂災害防止の対策	
費用	(イニシャルコスト、ランニングコスト)機器メーカーにヒアリング (導入可能な費用感)地方公共団体へのアンケート調査
効果	有識者にヒアリング
課題	地方公共団体へのアンケート調査

地方公共団体へのアンケート調査は、四国 4 県(1 県は、2 つの部署が対象となったため回答数は 5)と、四国内の市町村 84 の地方公共団体から回答を得た。実施時間は、2021 年 12 月から 2022 年 1 月である。有識者へのヒアリングは、2022 年 3 月に、徳島大学大学院 上野 勝利 准教授(地盤工学、基礎工学)に実施した。また、機器メーカーへのヒアリングは 2022 年 4 月に、150MHz 帯無線機製造・販売メーカーに対して実施した。なお、アンケートの詳細データは付録 6 に記載する。

5.3. 検証結果

土砂災害の未然防止のためのコンクリート擁壁の管理について、テレメトリーシステムを導入した場合と導入しない場合の費用対効果を明らかにした。県と市町村では管理規模が異なるため、アンケート結果の集計は県と市町村で別々に行った。

【テレメトリーシステムを導入しない場合の土砂災害防止対策】

テレメトリーシステムを導入しない場合の土砂災害防止対策を明らかにするために、現在のコンクリート擁壁(例として図 5-1 を提示)の管理方法について、地方公共団体に対するアンケートにより調査した。



図 5-1 コンクリート擁壁の例

(1)市町村におけるテレメトリーシステムを導入しない場合の土砂災害防止対策

市町村へのアンケート結果を図 5-2 に示す。

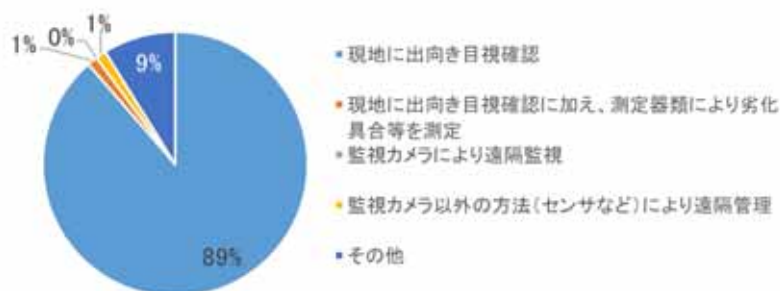


図 5-2 テレメトリーシステムを導入しない場合のコンクリート擁壁の管理方法(市町村)

市町村の回答数は79であった。89%の市町村が「現地に出向き目視確認」を選択した。「現地に出向き目視確認に加え、測定機器類により劣化具合を測定」、「監視カメラ以外の方法(センサなど)により遠隔管理」と回答した市町村が各1団体あり、遠隔管理のネットワークは有線接続との回答であった。

その他を選択した回答の自由記入欄は以下のとおりである。

- ・ 外部委託により法面の個別施設計画を作成し管理している(7年毎に更新を目安)
- ・ 職員の巡回や、異常があった場合は地域住民からの通報等により確認している。
- ・ パトロールや市民からの通報等、必要に応じて状況の確認を行っている。
- ・ 週1回市道のパトロールを行っており、その中でコンクリート構造物の点検も順次行っている。
- ・ 施設近隣住民からの通報等があれば確認する。
- ・ 定期的な点検は行っておらず、通報などによりスポット的に対応している。
- ・ 地域住民から異変等の連絡があれば、現地に確認に行く。また、自分たちが現場に出た際に異変があれば確認している。

(2) 県におけるテレメトリーシステムを導入しない場合の土砂災害防止対策

県へのアンケートの回答数は 5 であり、すべての回答が「現地に出向き目視確認」であった。県の回答のコメントとして、以下の記載があった。

- ・ 日常の状態把握はパトロールなどにあわせて必要に応じて実施。点検は外部に委託している。
- ・ パトロールにより異常が確認された場合は必要に応じて調査を実施している。
- ・ 外部委託業務をしており、受注者が目視による点検を行っている。

「その他の方法」も現地に出向き目視による確認を行っていると考えられることから、テレメトリーシステムを導入しない場合の土砂災害防止の対策(コンクリート擁壁の管理方法)を、「現地に出向き目視確認」として調査を進めた。

5.3.1. システム導入しない場合の土砂災害防止の対策

5.3.1.1. 費用

システムを導入しない(現地に出向き目視確認を行う)場合の費用を以下の方法により試算した。

【費用の試算手順】

1. 地方公共団体へのアンケートで「現地での平均作業人数、1 回の目視確認の所要時間、年間の目視確認の回数」を調査する。
2. 現地に出向き目視確認を行う際の人件費を 1.アンケート結果と地方公共団体職員の平均給与から計算する。なお、平均給与は、以下の文献を参考にした。
 - ・ 令和 3 年地方公務員給与実態調査結果等の概要 総務省 令和 3 年 12 月 24 日 (https://www.soumu.go.jp/main_content/000784529.pdf)
 - ・ 平均給与月額: 359,895 円との記載があった1 か月の勤務時間を 150 時間として、時間単価 2399.3 円として費用の計算に用いた。
3. 現地に出向き目視確認を行う際の人件費以外の費用を地方公共団体へのアンケートで調査する。
4. 上記 2.及び 3.の合計をシステム導入しない場合の年間費用とする。

(1)市町村におけるシステムを導入しない場合の費用

費用を算出するために用いた地方公共団体へのアンケート結果を示す。

現地での作業人数(市町村)の度数分布を図 5-3 に示す。回答数は 75 で、平均は 2.0 人であった。

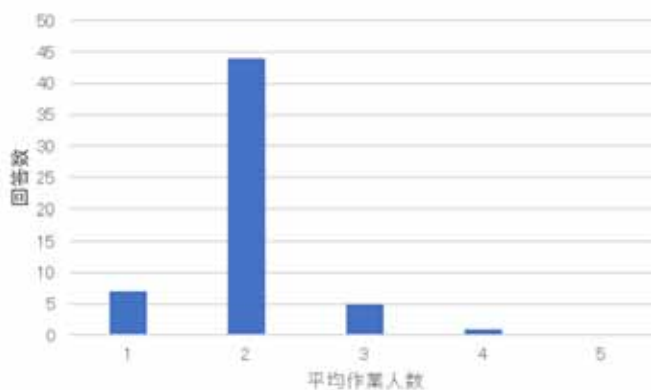


図 5-3 現地での平均作業人数(市町村)の度数分布

1 回の目視の所要時間(市町村)の度数分布を図 5-4 に示す。回答数は 54 で、平均 1.7 時間であった。

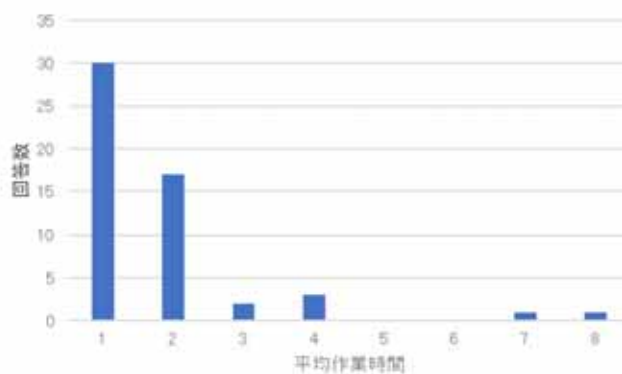


図 5-4 1 回の目視の平均所要時間(市町村)の度数分布

年間の目視確認の回数(市町村)の度数分布を図 5-5 に示す。回答数は 48 で、平均は 6.7 回であった。150 回、300 回という回答の団体があったが、平均算出対象から除外している。

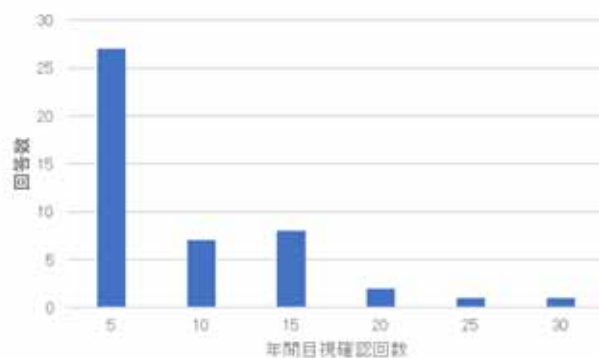


図 5-5 年間目視確認回数(市町村)の度数分布

人件費以外の費用(市町村)の度数分布を図 5-6に示す。回答数は 44、平均は 3.7 万円であった。35 の地方公共団体は 0 円と回答していた。

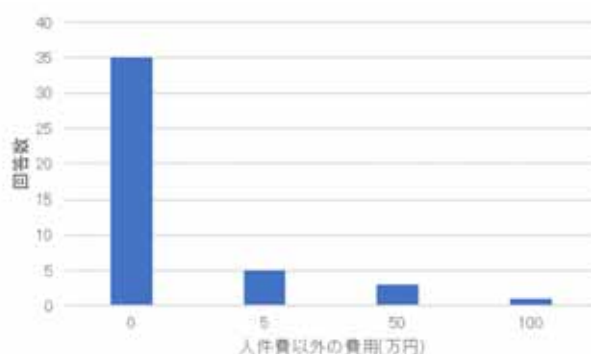


図 5-6 人件費以外の費用(市町村)の度数分布

以上から、市町村におけるシステムを導入しない場合の目視にかかる人件費の年間費用は、
 目視にかかる人件費 = 2.0 人 × 1.7 時間 × 6.7 回 × 2399.3 円 ≒ 5.5 万円

となる。目視にかかる年間費用の合計は、

目視にかかる年間費用 = 人件費 + 人件費以外の費用 = 5.5 万円 + 3.7 万円 = 9.2 万円
 と試算された。

(2) 県におけるシステムを導入しない場合の費用

県に対するアンケート調査において、回答が得られた 3 団体の結果及び試算した年間費用を表 5-2 に示す。

表 5-2 県の目視にかかる年間費用試算

	現地での平均作業人数	1 回の目視の平均所要時間	年間目視確認回数	人件費以外の費用	管理箇所数	年間費用(試算)
回答 A	2 人	2 時間	50 回	120 万円	—	168.0 万円
回答 B	2 人	4 時間	30 回	—	1400 箇所	57.6 万円
回答 C	2 人	3 時間	50 回	120 万円	900 箇所	192.0 万円

県において目視にかかる年間費用は約 60 万円～200 万円であると試算された。

5.3.1.2. 効果

システムを導入しない(現地に出向き目視確認を行う)場合の効果について、有識者にヒアリングを実施した。現地に出向き目視確認を行うことの効果は、経験・知識のある人が見ることによって、他の人が気付にくい災害の予兆を調べることができることである。目視確認は、災害の予兆を捉えるには非常に有効であり、測定器による測定結果と組み合わせることで、より高い効果が得られるとのことであった。一方で、経験・知識のある技術者の不足が問題となっており、モニタリングによる測定データの収集と、AI 等を用いたデータ解析を行うことで、技術者不足の課題解決につながるのではないかと期待されている。

5.3.1.3. 課題

(1)市町村におけるシステムを導入しない場合の課題

システムを導入しない(現地に出向き目視確認を行う)場合の課題を、地方公共団体に対するアンケートにより調査した。市町村へのアンケート結果を図 5-7 に示す。

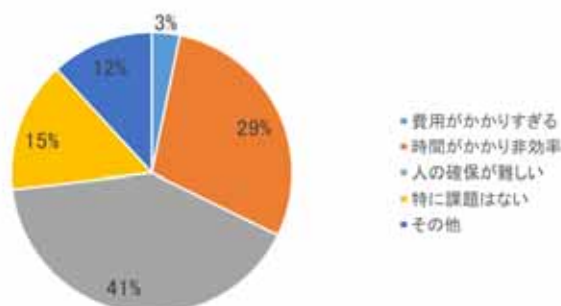


図 5-7 現地に出向き目視確認を行う場合の課題(市町村)

回答数は 84 であった。現状の費用(前述の試算では年間 9.2 万円)は、課題とはなっておらず、時間と技術者の確保が課題となっている。また、「特に課題はない」との回答も 15%であった。

その他を選択した場合の課題についての自由記入欄の回答を以下に示す。

【技術者の問題】

- ・ 専任ではなく他業務の傍らに行っているため、知識や専門性に欠ける。
- ・ 建設課の工務の職員が行っているため、目視で最適な判断をできない可能性がある。
- ・ 技術者不足。
- ・ 危険箇所であることが想定されるため、安全に行うに当たり資機材の調達や技術的知見に乏しく適切に判断できるか不安。
- ・ 専門知識がない。

【精度】

- ・ 精度。
- ・ 目視確認のみであるため、大きな変状以外は気付にくい。

【実施時期】

- ・ 定期的な調査は行っていないため、基本的には住民通報からの対応である。特に通報が無い場合は崩れた後の事後対応となっている。
- ・ 職員数が少ないため、工事現場確認、道路管理等と同時に行っている。

【安全性】

- ・ 危険箇所であることが想定されるため、安全に行うに当たり資機材の調達や技術的知見に乏しく適切に判断できるか不安。

(2) 県におけるシステムを導入しない場合の課題

システムを導入しない場合の課題について、県へのアンケート結果を表 5-3 に示す。

表 5-3 システムを導入しない場合の課題 県回答

選択肢	回答数
費用がかかりすぎる	1
時間がかかり非効率	1
人の確保が難しい	3
特に課題はない	3
その他	1

その他を選択した場合の課題についての自由記入欄の回答を以下に示す。

- ・ 点検頻度、方法等の運用が定められておらず、定期的に構造物をモニタリングする体制になっていない。

県、市町村の回答をまとめると、以下の課題があることが分かった。

- ・ 技術者の知識、技能不足
- ・ 判断の精度
- ・ 定期的な実施が難しい
- ・ 担当者の安全性の確保が難しい

5.3.2. システム導入した場合の土砂災害防止の対策

システムを導入した場合の費用、効果、課題を明らかにした。システムとしては、第 2 章で検討したテレメトリーシステムの要件を満たすシステムを対象とした。

5.3.2.1. 費用

第 2 章で検討したテレメトリーシステムの要件を満たすシステムを使用する際の、イニシャルコスト、ランニングコストを機器メーカーへのヒアリングにより調査した。また、導入可能な費用感について、地方公共団体へのアンケートにより調査した。

【イニシャルコスト、ランニングコスト】

150MHz 帯 LPWA 方式を活用したシステムの場合の価格を、150MHz 帯通信無線機の製造・販売メーカーにヒアリングした結果を示す。

- ・ 初期費用 合計 400 万円程度
 - ◆ 子機 1 台当たり 145 万円程度
 - ◆ 親機 1 台当たり 230 万円程度
- ・ ランニングコスト
 - ◆ (クラウドを利用する場合) 20~50 万円/年
 - ◆ (運用・保守を外部委託する場合) 37.5~75 万円/年(初期費用の 10%~20%/年)程度

参考のため、150MHz 帯デジタル簡易無線を用いてシステムを構築した場合の費用について、同じく 150MHz 帯無線機の製造・販売メーカーにヒアリングした結果を示す。

- ・ 初期費用 合計 200 万円程度
 - ◆ 子機 1 台当たり 60 万円程度
 - ◆ 親機 1 台当たり 145 万円程度
- ・ ランニングコスト
 - ◆ (クラウドを利用する場合) 20~50 万円/年
 - ◆ (運用・保守を外部委託する場合) 20.5~41 万円/年(初期費用の 10%~20%/年)程度

【導入可能な費用感】

導入可能な費用感を、地方公共団体に対するアンケートにより調査した。市町村へのアンケート結果を図 5-8 に示す。



図 5-8 導入可能な費用感(市町村)

市町村の回答数は 81 であり、「100 万円以下」が 46%、「費用の有無に関わらず導入は検討しない」が 47%であった。

県の回答は、回答数 5 の内「100 万円以下」が 2 回答、「費用の有無に関わらず導入は検討しない」が 3 回答であった。

また、アンケートでは「導入可能な費用感」の回答と合わせてその理由も質問している。理由は、システムを導入した場合の課題につながるため、「5.3.2.3. 課題」で考察する。

市町村及び県へのアンケート結果から、システムの価格と導入を検討する価格の間に大きな乖離があることが分かった。

5.3.2.2. 効果

システム導入した場合の土砂災害防止の対策の効果について、有識者にヒアリングを実施した。ヒアリング結果は以下のとおりである。

【判断の精度】

- ・ 目視の場合、担当者によって状況把握にばらつきが生じるが、システム導入により、こうしたばらつきを無くすることができる
- ・ 危険度の状況が数値として把握できる
- ・ データを蓄積し、AI 等によりデータを活用することで、災害予測の精度の向上が期待できる

【定期的なデータ収集】

- ・ 細かな変化がリアルタイムに近い頻度でとらえられる
- ・ 変化の速度を把握するためには、定期的なデータ取得が必要(不定期の目視による確認では変化量を捉えることが難しい)
- ・ 災害の予兆を捉えられ、対策が早く打てる(災害が起きる前に計画的に保全が行える)

【担当者の負荷軽減、安全性確保】

- ・ 何度も現地に行かなくて良い
- ・ 人が住んでいない、人が通らない箇所の監視も行える
- ・ 携帯電話網が整備されていない箇所の監視も行える
- ・ 災害時に目視のため巡回する必要がない

【技術者の確保】

- ・ モニタリングにより、人の判断(目視)が必要な箇所に集中して技術者を配置することで、目視の回数を減らし、技術者の確保が少数で良くなる

【コスト】

- ・ 災害後の事後対応ではなく事前保全を行うことによるコスト的なメリットがある可能性も十分にある

5.3.1.3. に記載したシステムを導入しない場合の課題に対する、システムを導入した場合の効果を以下にまとめる。

表 5-4 システム導入しない場合の課題に対するシステムを導入した場合の効果

システム導入しない場合の課題	システム導入した場合の効果
技術者の知識、技能不足	技術者の確保は少数で良くなる
判断の精度	判断の精度が技術者の知識技能によらず一律化される
定期的な実施が難しい	定期的なデータ収集が可能
担当者の安全確保が難しい	担当者の安全が確保される

システムを導入することで、システムを導入しない場合の課題解決が進むと考えられる。

5.3.2.3. 課題

アンケート「導入可能な費用感」の質問に対する理由欄に記載された市町村の回答は、以下のとおりであった。

【作業量】

- ・ テレメトリーシステムを導入する箇所の選定に莫大な作業量が発生することになるため
- ・ 管理業務が増えるものは今のところ導入できない。
- ・ 専門の部署がない為、十分な管理・把握が難しい。
- ・ 導入に労力が必要になると思うが、現在の課の人員体制ではその余裕が全くない。
- ・ 少額であってもメンテナンスなど必要と思われる。
- ・ 現在点検方法や担当部署についても確立できていないため、そこを確立していったらになる。
- ・ 道路沿いの民地法面を本市が管理する方針でない中での導入は、予算確保が難しい。
- ・ 危険な構造物については、早急に修繕するよう努めており、システムを導入しても継続的な使用が見込めない。また、システム化となれば保守費用等コストがかかる。必要な時だけレンタルできるようなシステムが望ましい。

【有用性】

- ・ テレメトリーシステムの有用性が確認できていないため。導入したとしても使いこなせる技術力が不足しているため。
- ・ 山間部が多く現段階で電波伝搬特性上のデメリットが解消されなければ利用が限定的であるため。
- ・ 山間部のため電波が不安定な事が大いに予想されるため。
- ・ 導入することによる優位性が確認できたところで再度検討を行う。

【費用】

- ・ 費用等負担が増えるものは今のところ導入できない。
- ・ 財政状況が厳しく、予算確保が難しいため。
- ・ 初期費用だけでなく、ランニングコストもかかってくることから予算確保が困難。
- ・ 施設数が少なく、費用対効果があるのかと考える。他市の動向を注視したい。

【必要性】

- ・ 小さい町で管理個数も少ないため。
- ・ 該当施設が少ない。
- ・ 管理施設件数が少ないため。
- ・ 当町は面積が狭小であり、大規模な擁壁が少ないため。職員の見回り等で管理している。(各支所より10分程度でどの施設にもアクセスできる)
- ・ 該当する公共施設が無い。
- ・ 必要があれば導入する。
- ・ 現段階では、システムを導入する必要性が感じられないため。
- ・ 現在のところ検討していない。
- ・ 他自治体の利用状況を見てから検討する。

- ・ 周辺の自治体の動向を確認し、必要と考えられたら検討する。
- ・ 現段階では導入を検討していないため。
- ・ 他市町村での活用を参考に検討させていただきたいと思います。

アンケート「導入可能な費用感」の質問に対する理由欄に記載された、県の回答は以下のとおりであった。

- ・ システム導入により、管理、修繕、災害対応などに要する費用がどのくらい縮減できるのかによる。
- ・ センサによりすべての変状を把握することは困難であり、現地での目視点検をやめることはできないため。
- ・ 導入したことによる効果が不明確であるため。

県、市町村の回答をまとめると、以下の課題があることが分かった。

- ・ 予算確保が難しい
- ・ システム管理の人員が割り当てられない
- ・ 管理対象が少ないため不要
- ・ 有用性が確認できない、他自治体で活用されてから検討したい

5.4. まとめ

システムを導入しない場合(現地に出向き目視確認)と、システム導入する場合の、費用、効果、課題をまとめる(表 5-5)。

表 5-5 システム導入しない場合(現地に出向き目視確認)、システム導入する場合の費用、効果、課題のまとめ

	システムを導入しない場合(目視確認)	システムを導入する場合
費用	<p>【市町村】</p> <ul style="list-style-type: none"> 目視確認の現地での平均作業人数:平均 2.0 人(回答数 75) 目視確認の 1 回の所要時間:平均 1.7 時間(回答数 54) 目視確認の年間回数:平均 6.7 回(回答数 48) ※150 回、300 回という回答の各 1 団体を除く 人件費以外の費用:平均 3.7 万円(回答数 44) 公務員の給与:平均給与月額 359,895 円 1 か月の勤務時間 150 時間として目視確認にかかる人件費:$2.0 \times 1.7 \times 6.7 \times 2399.3 \approx 5.5$ 万円 目視にかかる費用:人件費+人件費以外の費用=9.2 万円 【県】年間費用約 60-200 万円(回答数 3) 	<p>(システム インitialコスト、ランニングコスト)</p> <ul style="list-style-type: none"> 初期費用 子機 1 機当たり約 145 万円、親機 230 万円 ランニングコスト (クラウドを使用する場合):20-50 万円/年 (運用保守を外部に委託する場合):37.5-75 万円 <p>(導入可能な費用感) 【市町村】(回答数 85)</p> <ul style="list-style-type: none"> 100 万円以下:46%、費用の有無に関わらず導入は検討しない:47% 【県】(回答数 5) 100 万円以下:40%、費用の有無に関わらず導入は検討しない:60%
効果	<p>経験のある担当者が見ることで、災害の予兆をとらえることができる</p>	<ul style="list-style-type: none"> 技術者の確保が少数で良くなる 判断の精度が技術者の知識技能によらず一律化される 定期的なデータ収集が可能 担当者の安全が確保される
課題	<ul style="list-style-type: none"> 技術者の知識、技能不足 判断の精度 定期的な実施が難しい 担当者の安全性の確保が難しい 	<ul style="list-style-type: none"> 予算確保が難しい システム管理の人員が割り当てられない 管理対象が少ないため不要 有用性が確認できない、他自治体で活用されてから検討したい

システムを導入しない(現地に出向き目視確認)場合の課題は、システムを導入することにより解決できることが分かり、テレメトリーシステムが有用であることを確認できた。地方公共団体におけるシステムの導入に際しては、地方公共団体は安価なシステムを求めているため、コストが高いと導入できない。システムの低廉化は、今後テレメトリーシステムを普及させる上では必須の施策であると言える。

システムの低廉化に向けた取り組みとしては、以下の方法が考えられる。

- ・ 複数地方公共団体への展開
- ・ 橋梁、道路、トンネル、その他建造物の劣化状況を一元管理できるシステムへの拡張等多用途への展開

これらの展開を通してのシステムの量産化による低廉化が期待される。

また、災害の可能性があるがインフラ供用の継続が必要な以下のような場所への設置は、システム設置の効果が大きいことから、優先的に設置を検討することが望ましい。

- ・ 点検の結果、経過観察、早期措置が必要な箇所
- ・ 通行止めにより孤立集落が発生してしまう箇所や経済損失が大きい箇所
- ・ 山間地等で現地に出向くのが困難な箇所

第6章 検討内容まとめ

6.1. 検討内容

【150MHz 帯の有効性】

150MHz 帯を使用し、データ再送機能及びキャリアセンス相当の機能を具備したテレメトリーシステムが、山間地等電波伝搬特性上不利な環境下でデータ送受信に適していることを確認した。

キャリアセンス相当の機能としては、150MHz 帯デジタル簡易無線免許局を用いる場合は、キャリア・モニタリング機能で代用可能である。

また、150MHz 帯デジタル簡易無線を用いた屋外検証では、実際の利用箇所を想定した山間地等電波伝搬特性上不利な環境下において、920MHz では通信できない箇所でも 150MHz 帯では通信が可能である地点が多数あることを確認した。

【価格に対するニーズ】

地方公共団体へのアンケートの結果、システム導入しない場合(目視による確認)の課題解決には有用であるが、導入する場合には、100 万円以下の安価なシステムを求めていることが分かった。

【システムの検討】

実証にあたって、LPWA 方式を活用したシステムと、150MHz 帯デジタル簡易無線を活用したシステムを構築したが、

- (1) 導入の初期費用(親機子機各 1 台)として、LPWA を活用したシステムの場合は約 400 万円、150MHz 帯のデジタル簡易無線に再送機能等の転送制御機能等を追加するシステムの場合は約 200 万円となる見込みであること、
- (2) LPWA を活用したシステムの場合は、将来の汎用性を考慮した場合に、センサデータの送信頻度や子機の収容台数等に制限が出る可能性があること、
- (3) デジタル簡易無線(簡易無線局)については、従事者不要、検査不要というメリットもあること

から、本テレメトリーシステムとしては、150MHz 帯のデジタル簡易無線を活用した方が、より安価かつ汎用性の高いシステムが構築可能で、地方公共団体のニーズにも適合していると考えられる。

6.2. 結論

実施した調査結果に基づいて、土砂災害の未然防止のための VHF 帯周波数共用型テレメトリーシステムについて検討した結果をまとめる。

1. 山間地等電波伝搬特性上不利な環境下でデータ送受信を目的とするテレメトリーシステム(表 6-1)には、150MHz 帯を使用することが有効である。

表 6-1 テレメトリーシステム諸元

項目	要件
システム構成	親機 1 台に対して複数の子機が接続(中継機は使用しない)
必要なセンサ種別(精度)	変位計(精度:0.01mm 程度)、 地下水分・水位計(精度:1cm 程度)
1 箇所のセンサ数	最大 8 個
1 回に送信するセンサデータサイズ	最大 54byte
センサデータの取得頻度(通信頻度)	1 時間に 1 回~10 分に 1 回
子機収容台数	最大 60 台

2. 当該システムの実用化にあたって、LPWA 方式を活用するシステムと 150MHz 帯デジタル簡易無線を活用するシステムについて比較検討を行った結果、
 - (1) 地方公共団体等からのニーズを踏まえると、安価なシステム構築が望まれること
 - (2) センサデータの送信頻度や子機の収容可能台数を増やす等、将来的な汎用性が期待されることから、
VHF 帯周波数共用型テレメトリーシステムとしては、150MHz 帯デジタル簡易無線を用いたシステム構築が有効である。
3. 当該システムが具備する機能として、
 - (1) データ欠損等へのさらなる強靱性を要するシステムには、必要に応じてデータ再送機能を具備することが有効である。
 - (2) 他の無線システムとの共用や、子機同士の干渉回避の観点から、必要に応じてキャリアセンス相当の機能を具備することが有効である。
(キャリアセンス相当の機能としては、150MHz 帯デジタル簡易無線免許局を用いる場合は、キャリア・モニタリング機能で代用可能である。)

なお、将来的には、複数地方公共団体への展開、他の用途や量産化等を目指した追加検討により、再送機能等の転送制御機能のさらなる価格の低廉化が期待される。

また、災害の可能性があるがインフラ供用の継続が必要な以下のような場所への設置は、システム設置の効果が大きいことから、優先的に設置を検討することが有効であるとする。

- ・ 点検の結果、経過観察、早期措置が必要な箇所
- ・ 通行止めにより孤立集落が発生してしまう箇所や経済損失が大きい箇所
- ・ 山間地等で現地に出向くのが困難な箇所

おわりに

本調査検討では、土砂災害の未然防止のための VHF 帯周波数共用型テレメトリーシステムの構築を試み、土砂災害を未然に防止する技術の向上を図るとともに、当該周波数を使用している既存の無線局との周波数共用条件等の検討を行った。第 6 章記載のとおり、150MHz 帯デジタル簡易無線を用いたシステムが有効であり、今後本報告書がテレメトリーシステムの普及に向けて有効に利用されることを期待する。

最後に、本調査検討会にご参加を賜り、貴重なご意見並びに検討、審議をいただいた構成員の皆様、実証試験にご協力いただいた徳島大学、(有)四国計装技研、(株)サーキットデザインの皆様に深甚なる感謝の意を表します。

付録1. 屋外検証 地下水分・水位計の設置状況

屋外検証で用いた地下水分・水位計のセンサ部を図 付録- 1 に示す。

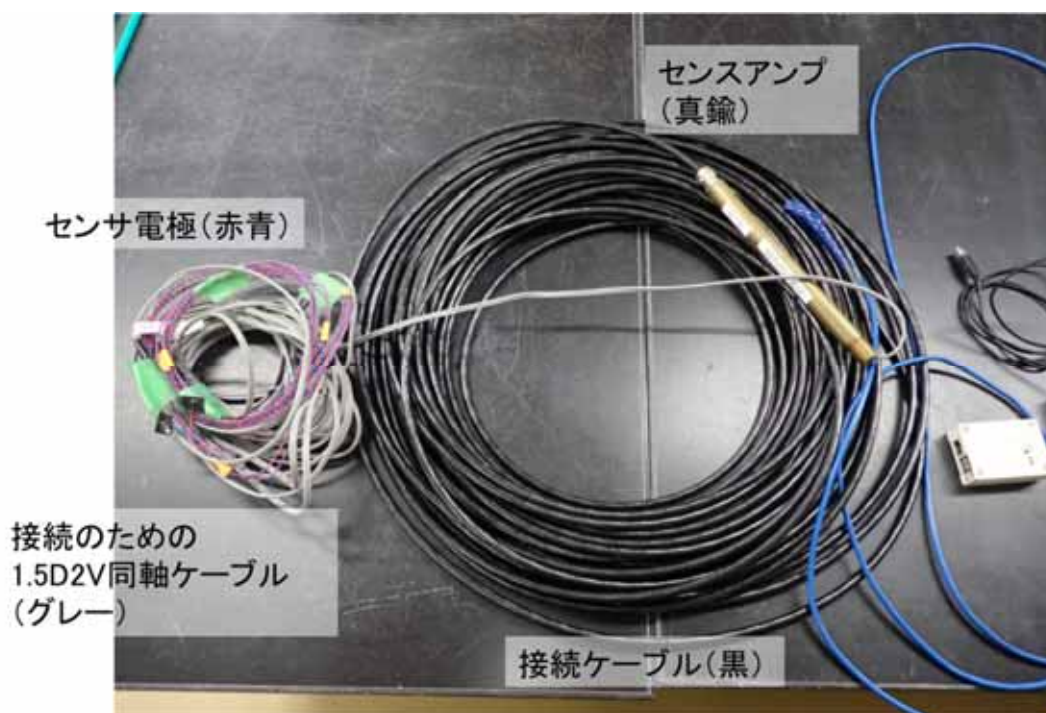


図 付録- 1 地下水分・水位計のセンサ部

使用電線(ETF0.5SQAWG21)2本をツイストし、全長4mの電極とした。写真では赤と青のツイスト線が水に対して反応する電極として機能する。電極とセンスアンプの間の接続は1.5D2V同軸ケーブルを使用した。設置時には電極を展張し、擁壁の排水孔から擁壁背面に挿入した(図 付録- 2)。真鍮のパイプ内にセンスアンプ部が収められている。センスアンプ部は擁壁の壁面に設置した(図 付録- 3)ため、計測小屋に設置したマイコン部の接続には、40mの4ペアSTP線を用いた。



図 付録-2 擁壁の排水孔への電極の挿入



図 付録-3 センスアンプの収納状況

付録2. 屋外検証 親機設置箇所の 150MHz 帯 3 波の受信レベル測定

屋内検証で用いた 150MHz 帯の 3 波(158.49MHz, 158.57MHz, 159.21MHz)の受信レベルを測定した。以下のとおり、6 時間ごとの測定結果を示す。図 付録- 4 に 2022 年 3 月 29 日 12:00-18:00 の 3 波の受信レベルを、図 付録- 5 から図 付録- 7 に同時刻の各波の受信レベルを示す。図 付録- 8 に 2022 年 3 月 29 日 18:00-3 月 30 日 2:00 の 3 波の受信レベルを、図 付録- 9 から図 付録- 11 に同時刻の各波の受信レベルを示す。図 付録- 12 に 3 月 30 日 2:00-8:00 の 3 波の受信レベルを、図 付録- 13 から図 付録- 15 に各波の受信レベルを示す。図 付録- 16 に 3 月 30 日 8:00-10:00 の 3 波の受信レベルを、図 付録- 17 に各波の受信レベルを示す。



図 付録- 4 2022年3月29日 12:00-18:00 受信レベル 3波

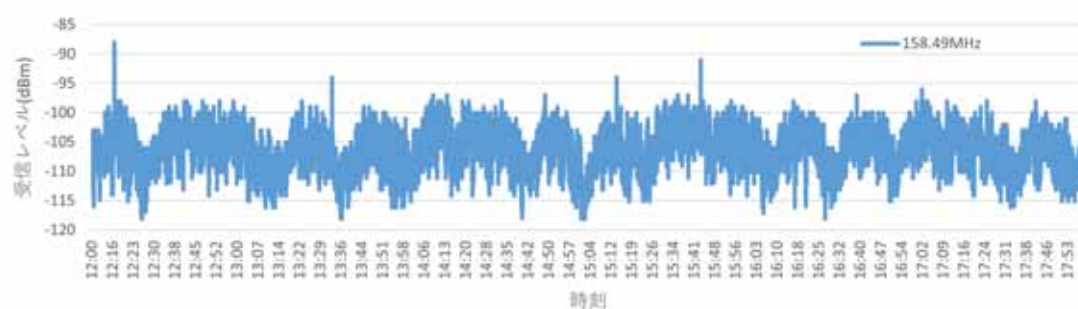


図 付録- 5 2022年3月29日 12:00-18:00 受信レベル 158.49MHz

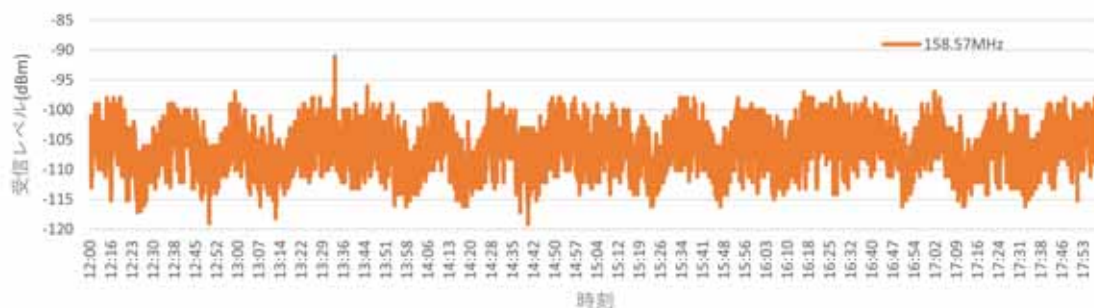


図 付録- 6 2022年3月29日 12:00-18:00 受信レベル 158.57MHz

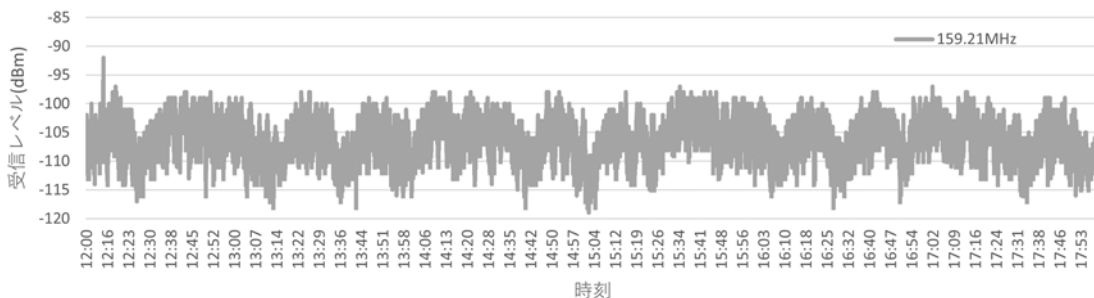


図 付録- 7 2022年3月29日 12:00-18:00 受信レベル 159.21MHz

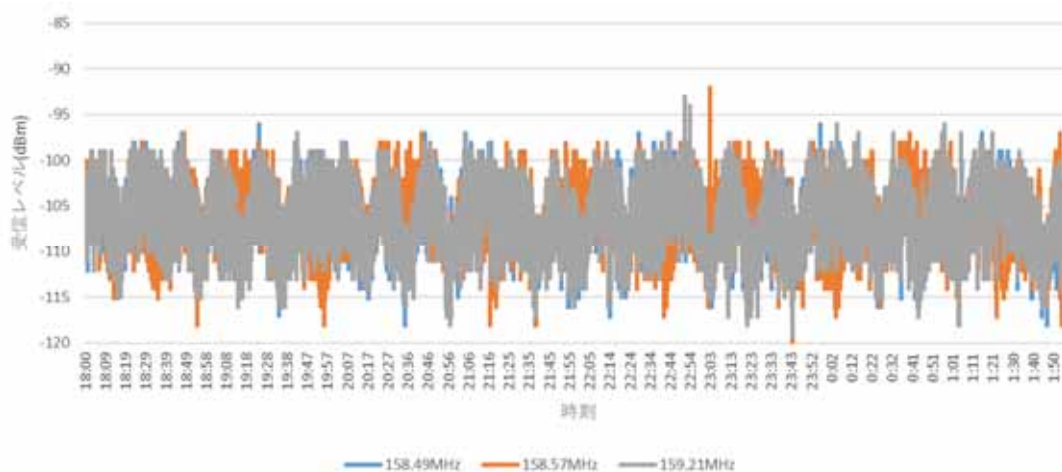


図 付録- 8 2022 年 3 月 29 日 18:00-3 月 30 日 2:00 受信レベル 3 波

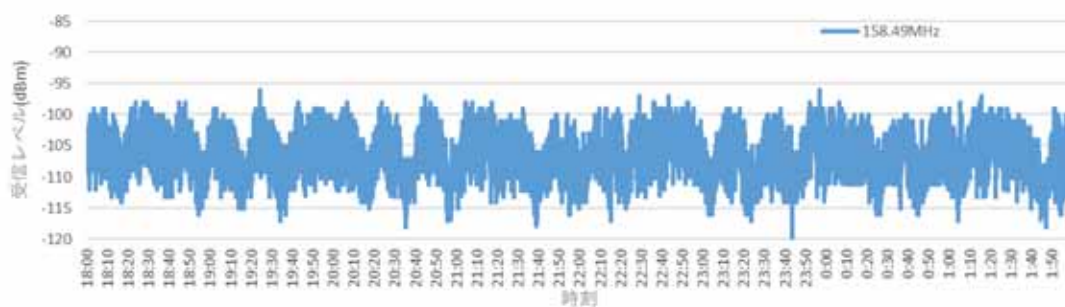


図 付録- 9 2022 年 3 月 29 日 18:00-3 月 30 日 2:00 受信レベル 158.49MHz



図 付録- 10 2022 年 3 月 29 日 18:00-3 月 30 日 2:00 受信レベル 158.57MHz

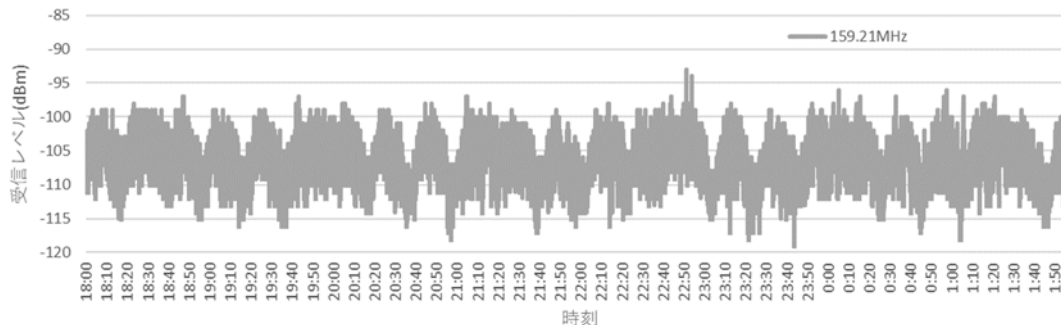


図 付録- 11 2022 年 3 月 29 日 18:00-3 月 30 日 2:00 受信レベル 159.21MHz

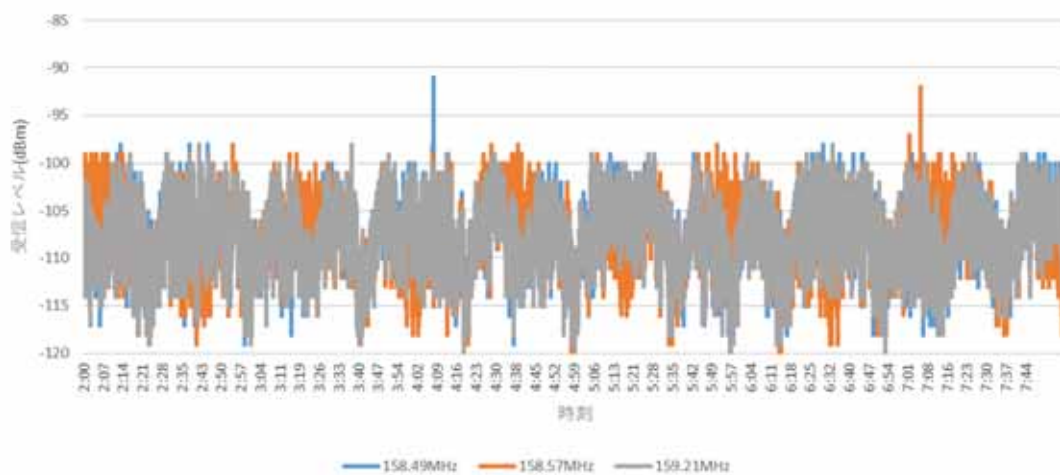


図 付録- 12 2022年3月30日 2:00-8:00 受信レベル 3波

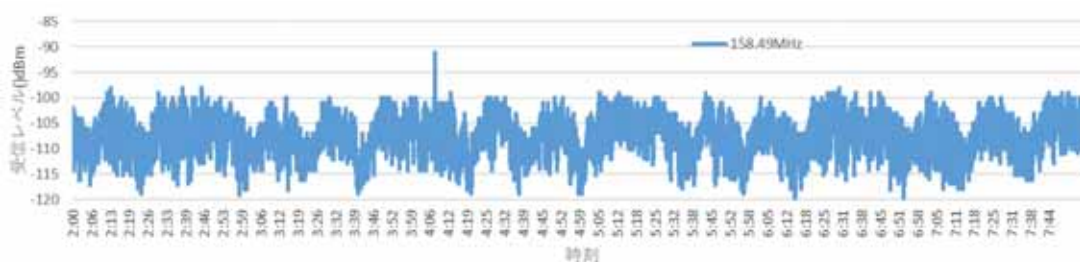


図 付録- 13 2022年3月30日 2:00-8:00 受信レベル 158.49MHz

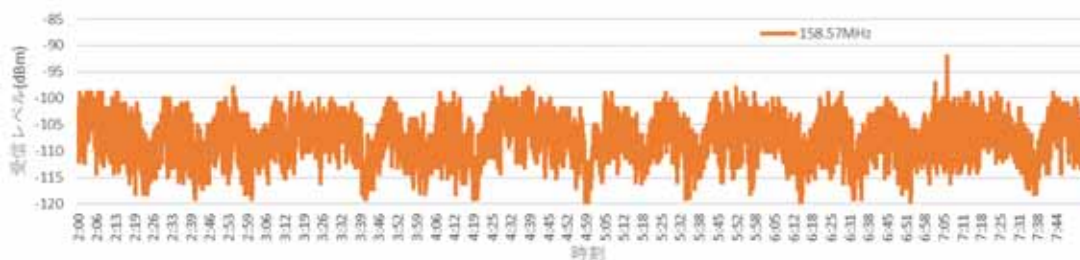


図 付録- 14 2022年3月30日 2:00-8:00 受信レベル 158.57MHz

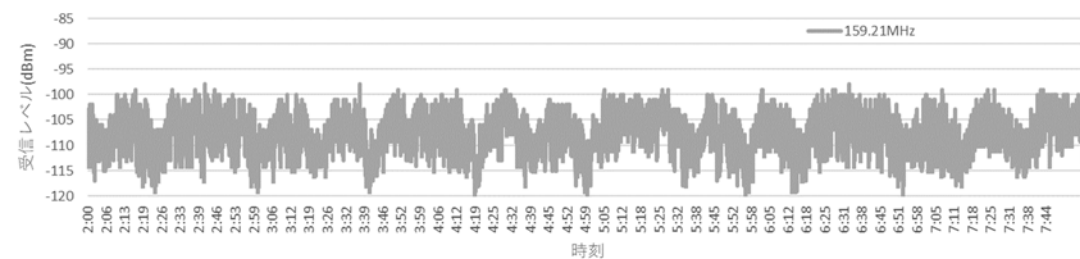


図 付録- 15 2022年3月30日 2:00-8:00 受信レベル 159.21MHz

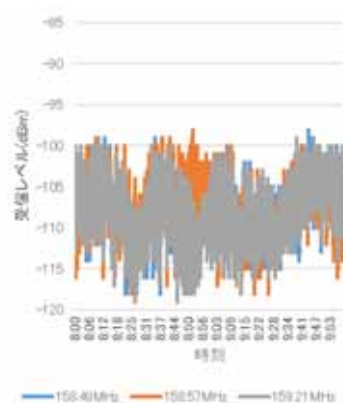
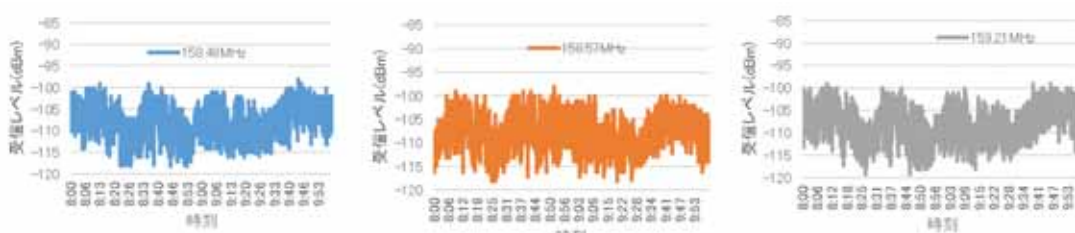


図 付録- 16 2022 年 3 月 30 日 8:00-10:00 受信レベル 3 波



(a)158.49MHz

(b)158.57MHz

(c) 159.21MHz

図 付録- 17 2022 年 3 月 30 日 8:00-10:00 受信レベル 各波

測定した 3 波で受信レベルが 3 回(3 秒)連続で-100dBm 以上になった日時を表 付録- 1 に示す。

表 付録- 1 受信レベルが 3 回(3 秒)連続で-100dBm 以上になった日時

159.49MHz	158.57MHz	159.21MHz
	2022/03/29 11:56:48	
2022/03/29 12:42:05		
	2022/03/29 13:33:56	2022/03/29 14:52:39
		2022/03/29 15:34:46
2022/03/29 15:41:37		
2022/03/29 16:16:46		
	2022/03/29 17:01:56	2022/03/29 17:02:11
	2022/03/29 18:46:54	
	2022/03/29 20:23:50	
	2022/03/30 0:42:48	
		2022/03/30 1:20:46
	2022/03/30 2:04:18	
		2022/03/30 5:26:52

付録3. デジタル簡易無線 親機子機設置箇所のノイズレベル測定

親機と子機において、下記の時間帯でデジタル簡易無線のデータ通信チャンネル CH20 から CH28 の各チャンネルを、5 秒毎に Sweep することでノイズレベルを測定した。

CH27 と CH28 のノイズレベルが低かったため、本検証では CH28 を用いた。

表 付録- 2 デジタル簡易無線 ノイズレベル測定時刻

親機側測定時刻	2022 年 3 月 30 日 11:25~11:36
子機側測定時刻	2022 年 3 月 30 日 14:31~14:39

表 付録- 3 親機側 デジタル簡易無線データ通信チャンネルノイズレベル 集計結果(単位:dBm)

	CH20	CH21	CH22	CH23	CH24	CH25	CH26	CH27	CH28
中央値	-116	-117	-117	-117	-117	-117	-117	-117	-117
最大	-113	-116	-114	-116	-114	-116	-97	-115	-115
最小	-119	-119	-119	-119	-119	-119	-119	-118	-119

表 付録- 4 子機側 デジタル簡易無線データ通信チャンネルノイズレベル 集計結果(単位:dBm)

	CH20	CH21	CH22	CH23	CH24	CH25	CH26	CH27	CH28
中央値	-120	-121	-121	-121	-121	-121	-121	-121	-121
最大	-119	-119	-120	-120	-119	-120	-108	-120	-119
最小	-122	-122	-122	-122	-122	-123	-123	-123	-122



図 付録- 18 親機側 デジタル簡易無線データ通信チャンネルノイズレベル

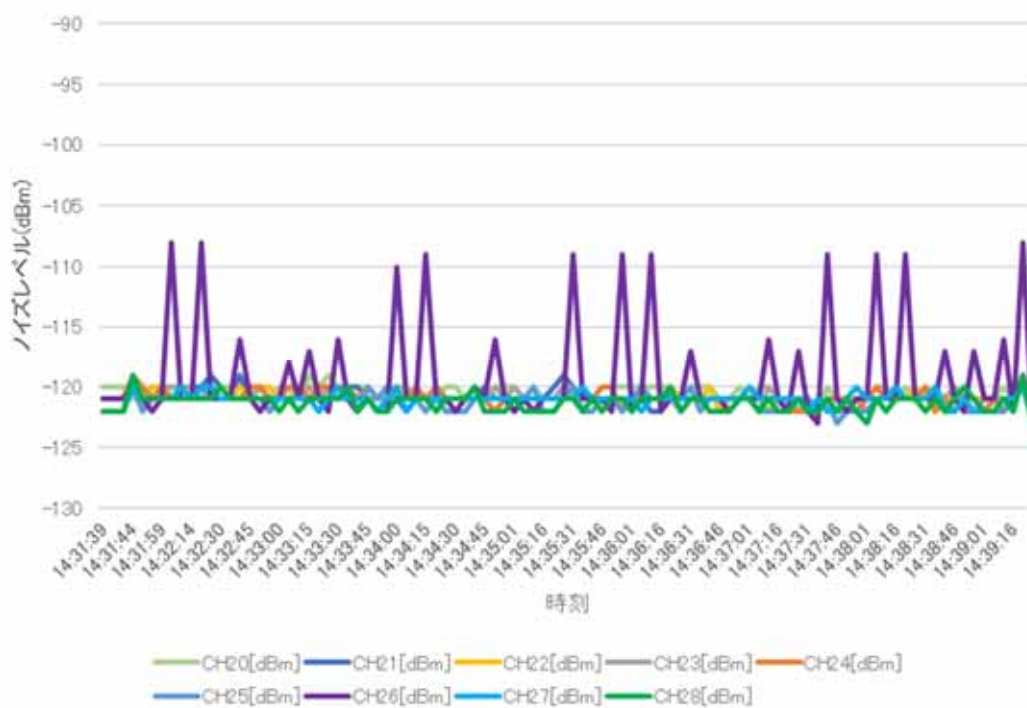


図 付録- 19 子機側 デジタル簡易無線データ通信チャンネルノイズレベル

付録4. 再送機能の確認

・ SF7 の結果

SF7 の場合の親機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```
### Auto Test: set SF7 channel1 ###  
Start host_task  
SF 7 ,timeout 2530mS  
  
received 1, size:46,rcv -104dBm      No.1 のデータを受信  
Ack OK! data 1,env -130dBm, 1525mS  No.1 の応答(ACK)送信  
  
received 2, size:46,rcv -104dBm      No.2 のデータを受信  
Ack OK! data 2,env -128dBm, 1525mS  No.2 の応答(ACK)送信  
  
received 3, size:46,rcv -104dBm      No.3 のデータを受信・・(1)  
  
★親機電源断・・(2)  
★親機電源入り・・(9)  
  
### Auto Test: set SF7 channel1 ###  
Start host_task  
SF 7 ,timeout 2530mS  
  
received 4, size:46,rcv -104dBm      No.4 のデータを受信・・(10)  
Ack OK! data 4,env -130dBm, 1525mS  No.4 の応答(ACK)送信  
  
received 5, size:46,rcv -105dBm      No.5 のデータを受信  
Ack OK! data 5,env -130dBm, 1525mS  No.5 の応答(ACK)送信
```

SF7 の場合の子機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```

### Auto Test: set SF7 channel1 ###
Start node_task
SF 7 ,TX timeout 3530mS, Rx timeout 2530mS

Transmit 1/20(retry 0)
Send Ok count 1/20 ,size 46,env -129dBm,send 1, 2525mS  No.1 のデータを送信
Response Ok count 1/20,size 16,rcv -107dBm ,ack 1      No.1 の応答(ACK)を受信

Transmit 2/20(retry 0)
Send Ok count 2/20 ,size 46,env -126dBm,send 2, 2525mS  No.2 のデータを送信
Response Ok count 2/20,size 16,rcv -107dBm ,ack 2      No.2 の応答(ACK)を受信

Transmit 3/20(retry 0)
Send Ok count 3/20 ,size 46,env -127dBm,send 3, 2525mS  No.3 のデータを送信・・(3)
Response timeout...Retry!                               応答(ACK)が受信できない(4)

Transmit 3/20(retry 1)
Send Ok count 4/20 ,size 46,env -126dBm,send 3, 2525mS  No.3 のデータ 1 回目の再送(5)
Response timeout...Retry!                               応答(ACK)が受信できない

Transmit 3/20(retry 2)
Send Ok count 5/20 ,size 46,env -129dBm,send 3, 2525mS  No.3 のデータ 2 回目の再送(6)
Response timeout...Retry!                               応答(ACK)が受信できない(7)

Transmit 4/20(retry 0)
Send Ok count 6/20 ,size 46,env -129dBm,send 4, 2525mS  No.4 のデータを送信(8)
Response timeout...Retry!                               応答(ACK)が受信できない

Transmit 4/20(retry 1)
Send Ok count 7/20 ,size 46,env -128dBm,send 4, 2525mS  No.4 のデータ 1 回目の再送
Response timeout...Retry!                               応答(ACK)が受信できない

Transmit 4/20(retry 2)
Send Ok count 8/20 ,size 46,env -127dBm,send 4, 2525mS  No.4 のデータ 2 回目の再送
Response Ok count 3/20,size 16,rcv -107dBm ,ack 4      No.4 の応答(ACK)を受信(11)

```



```

Transmit 5/20(retry 0)
Send Ok count 9/20 ,size 46,env -129dBm,send 5, 2525mS   No.5 のデータを送信
Response Ok count 4/20,size 16,rcv -107dBm ,ack 5       No.5 の応答(ACK)を受信

```

親機がデータ No.3 のデータ受信後(1)に、親機の電源を切ると(2)、子機は No.3 のデータ送信後(3)に応答(ACK)が確認できない(4)ため再送を行った(5)。子機は 2 回目の再送を行ったが(6)、親機からの応答(ACK)が確認できないため(7)、No.3 の再送はこれ以上行わず、No.4 のデータを送信した。子機が No.4 の 2 回目の再送を行うタイミングで親機の電源を入ると(9)、親機は No.4 のデータを受信し(10)、応答(ACK)を返答し、子機が応答(ACK)を受信する(11)。その後 No.5 のデータの送信、応答(ACK)が正常に行われた。

・ SF9 の結果

SF9 の場合の親機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```

### Auto Test: set SF9 channel1 ###
Start host_task
SF 9 ,timeout 5660mS

received 1, size:46,rcv -111dBm   No.1 のデータを受信
Ack OK! data 1,env -127dBm, 4651mS No.1 の応答(ACK)送信

received 2, size:46,rcv -112dBm   No.2 のデータを受信
Ack OK! data 2,env -129dBm, 4651mS No.2 の応答(ACK)送信・・(1)

★親機電源断・・(2)
★親機電源入り・・(7)

### Auto Test: set SF9 channel1 ###
Start host_task
SF 9 ,timeout 5660mS

received 3, size:46,rcv -111dBm   No.3 のデータを受信・・(8)
Ack OK! data 3,env -129dBm, 4651mS No.3 の応答(ACK)送信・・(9)

received 4, size:46,rcv -110dBm   No.4 のデータを受信
Ack OK! data 4,env -131dBm, 4651mS No.4 の応答(ACK)送信

```

SF9 の場合の子機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```

### Auto Test: set SF9 channel1 ###

Start node_task

SF 9 ,TX timeout 8290mS, Rx timeout 8070mS

Transmit 1/20(retry 0)
Send Ok count 1/20 ,size 46,env -104dBm,send 1, 7289mS  No.1 のデータを送信
Response Ok count 1/20,size 16,rcv -103dBm ,ack 1      No.1 の応答(ACK)を受信

Transmit 2/20(retry 0)
Send Ok count 2/20 ,size 46,env -102dBm,send 2, 7289mS  No.2 のデータを送信
Response Ok count 2/20,size 16,rcv -103dBm ,ack 2      No.2 の応答(ACK)を受信

Transmit 3/20(retry 0)
Send Ok count 3/20 ,size 46,env -102dBm,send 3, 7289mS  No.3 のデータを送信・・(3)
Response timeout...Retry!                               No.3 の応答(ACK)が受信できない(4)

Transmit 3/20(retry 1)
Send Ok count 4/20 ,size 46,env -102dBm,send 3, 7289mS  No.3 のデータ 1 回目の再送(5)
Response timeout...Retry!                               No.3 の応答(ACK)が受信できない

Transmit 3/20(retry 2)
Send Ok count 5/20 ,size 46,env -102dBm,send 3, 7289mS  No.3 のデータ 2 回目の再送(6)
Response Ok count 3/20,size 16,rcv -103dBm ,ack 3      No.3 の応答(ACK)を受信(10)

Transmit 4/20(retry 0)
Send Ok count 6/20 ,size 46,env -102dBm,send 4, 7289mS  No.4 のデータを送信(11)
Response Ok count 4/20,size 16,rcv -103dBm ,ack 4      No.4 の応答(ACK)を受信(12)

```

親機がデータ No.2 に対する応答(ACK)を送信後(1)に親機の電源を切る(2)と、子機は No.3 のデータ送信後(3)に応答(ACK)が確認できない(4)ため再送を行った(5)。子機が No.3 の 2 回目の再送を行うタイミング(6)で親機の電源を入れる(7)と、親機は No.3 のデータを受信し(8)、応答(ACK)を返答し(9)、子機が応答(ACK)を受信する(10)。その後 No.4 のデータの送信(11)、応答(ACK)受信(12)が正常に行われた。

・ SF12 の結果

SF12 の場合の親機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```
### Auto Test: set SF12 channel1 ###  
Start host_task  
SF 12 ,timeout 30020mS  
  
received 1, size:46,rcv -110dBm      No.1 のデータを受信  
Ack OK! data 1,env -130dBm, 29014mS No.1 の応答(ACK)送信  
  
received 2, size:46,rcv -111dBm      No.2 のデータを受信(2)  
  
★ホスト電源断(3)  
★ホスト電源入り(7)  
  
### Auto Test: set SF12 channel1 ###  
Start host_task  
SF 12 ,timeout 30020mS  
  
received 2, size:46,rcv -110dBm      No.2 のデータを受信(8)  
Ack OK! data 2,env -130dBm, 29014mS No.2 の応答(ACK)送信(9)  
  
received 3, size:46,rcv -110dBm      No.3 のデータを受信  
Ack OK! data 3,env -127dBm, 29014mS No.3 の応答(ACK)送信
```

SF12 の場合の子機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```

### Auto Test: set SF12 channel1 ###

Start node_task

SF 12 ,TX timeout 45760mS, Rx timeout 30020mS

Transmit 1/20(retry 0)
Send Ok count 1/20 ,size 46,env -104dBm,send 1, 44759mS  No.1 のデータを送信
Response Ok count 1/20,size 16,rcv -104dBm ,ack 1      No.1 の応答(ACK)を受信

Transmit 2/20(retry 0)
Send Ok count 2/20 ,size 46,env -102dBm,send 2, 44759mS  No.2 のデータを送信(1)
Response timeout...Retry!                               応答(ACK)が受信できない(4)

Transmit 2/20(retry 1)
Send Ok count 3/20 ,size 46,env -102dBm,send 2, 44759mS  No.2 のデータ 1 回目の再送(5)
Response timeout...Retry!                               応答(ACK)が受信できない

Transmit 2/20(retry 2)
Send Ok count 4/20 ,size 46,env -102dBm,send 2, 44759mS  No.2 のデータ 2 回目の再送(6)
Response Ok count 2/20,size 16,rcv -105dBm ,ack 21      No.1 の応答(ACK)を受信(10)

Transmit 3/20(retry 0)
Send Ok count 5/20 ,size 46,env -102dBm,send 3, 44759mS  No.3 のデータを送信(11)
Response Ok count 3/20,size 16,rcv -107dBm ,ack 3      No.3 の応答(ACK)を受信(12)

```

子機が No.2 のデータを送信(1)し、親機がデータ No.2 のデータ受信後(2)に、親機の電源を切る(3)。子機は No.2 の応答(ACK)が確認できない(4)ため再送を行った(5)。子機が No.2 の 2 回目の再送を行うタイミング(6)で親機の電源を入れる(7)と、親機は No.2 のデータを受信し(8)、応答(ACK)を返答し(9)、子機が応答(ACK)を受信する(10)。その後 No.3 のデータの送信(11)、応答(ACK)受信(12)が正常に行われた。

また、再送が正常に動作することを上記ログから確認した。確認状況を表 付録- 5 に示す。

表 付録- 5 再送機能 確認項目と確認結果

確認項目	確認内容
データが親機に届かなかった場合に、子機がデータを再送すること	SF9 の結果： (2)で親機の電源断、No3 のデータが親機に届かなかった場合に、子機が(5),(6)で再送をしている。
ACK が子機に届かなかった場合に、子機がデータを再送すること	SF7,9,12 の結果： (4)で子機が ACK を受信できなかった場合に、(5),(6)で再送している。
親機が 2 つ同じデータを受信した場合も、同一データと判断して取り扱えること	SF7,9,12 の結果： 親機のデータ受信時のログ、下記例の青字箇所ではデータの識別子(シーケンス番号)を把握しているため、同じデータを受信した場合も、識別子(シーケンス番号)が同じであれば同一データとして判断できる。(下記例の太字が識別子) 例: Ack OK! data 2 ,env -130dBm, 29014mS
親機では、子機からのデータが欠落なく受信できているかを確認できること	SF7,9,12 の結果： 上記同様、親機のデータ受信時のログから、データの識別子(シーケンス番号)が連番で受信できているかを確認することで、欠落の有無を確認できる。

以上より、再送機能が正常に動作することを確認した。

付録5. キャリアセンス機能の確認

キャリアセンス機能確認のために取得した動作ログを以下に示す。

- SF7 の結果

SF7 の場合の子機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

### Auto Test: set SF7 channel1 ###	
Start node_task	
SF 7 ,TX timeout 3530mS, Rx timeout 2530mS	
Transmit 1/20(retry 0)	
Send Ok count 1/20 ,size 46,env -103dBm ,send 1, 2525mS	-97dBm 未満なので No.1 送信(1)
Response Ok count 1/20,size 16,rcv -103dBm ,ack 1	No.1 の応答(ACK)を受信
Transmit 2/20(retry 0)	
Send Ok count 2/20 ,size 46,env -102dBm ,send 2, 2525mS	-97dBm 未満なので No.2 送信(2)
Response Ok count 2/20,size 16,rcv -103dBm ,ack 2	No.2 の応答(ACK)を受信
Transmit 3/20(retry 0)	
Send Ok count 3/20 ,size 46,env -102dBm ,send 3, 2525mS	-97dBm 未満なので No.3 送信(3)
Response Ok count 3/20,size 16,rcv -103dBm ,ack 3	No.3 の応答(ACK)を受信
Transmit 4/20(retry 0)	
Send Ok count 4/20 ,size 46,env -102dBm ,send 4, 2525mS	-97dBm 未満なので No.4 送信(4)
Response Ok count 4/20,size 16,rcv -103dBm ,ack 4	No.4 の応答(ACK)を受信
Transmit 5/20(retry 0)	
Send Ok count 5/20 ,size 46,env -102dBm ,send 5, 2525mS	97dBm 未満なので No.5 送信(5)
Response Ok count 5/20,size 16,rcv -103dBm ,ack 5	No.5 の応答(ACK)を受信
Transmit 6/20(retry 0)	
Send Ok count 6/20 ,size 46,env -104dBm ,send 6, 2525mS	-97dBm 未満なので No.6 送信(6)
★SG により干渉を与える(7)	
Response timeout...Retry!	No.6 の応答(ACK)を受信できず
Transmit 6/20(retry 1)	
Send Ng... env -97dBm	No.6 の 1 回目再送だが、-97dBm 以上なので送信待機(8)
Transmit 6/20(retry 2)	
Send Ng... env -96dBm	一定時間後 No.6 の 2 回目の再送を試みる、-97dBm 以上なので送信待機(9)
Transmit 7/20(retry 0)	
Send Ng... env -96dBm	No.7 の送信を試みるが、-97dBm 以上なので送信待機(10)
:(省略)	
Transmit 12/20(retry 1)	
Send Ng... env -95dBm	No.12 の 1 回目再送だが、-97dBm 以上なので送信待機(11)
Transmit 12/20(retry 2)	
Send Ng... env -97dBm	一定時間後 No.12 の 2 回目の再送を試みる、-97dBm 以上なので送信待機(12)
★SG の与干渉を停止(13)	
Transmit 13/20(retry 0)	
Send Ok count 7/20 ,size 46,env -102dBm ,send 13, 2525mS	-97dB 未満なので No.13 送信(14)
Response Ok count 6/20,size 16,rcv -104dBm ,ack 13	No.13 の応答(ACK)を受信
Transmit 14/20(retry 0)	
Send Ok count 8/20 ,size 46,env -102dBm ,send 14, 2525mS	-97dB 未満なので No.14 送信(15)
Response Ok count 7/20,size 16,rcv -104dBm ,ack 14	No.14 の応答(ACK)を受信

SF7 の場合の親機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```

### Auto Test: set SF7 channel1 ###
Start host_task
SF 7 ,timeout 2530mS

received 1, size:46,rcv -105dBm      No.1 のデータを受信
Ack OK! data 1,env -129dBm, 1525mS  No.1 の応答(ACK)送信

received 2, size:46,rcv -105dBm      No.2 のデータを受信
Ack OK! data 2,env -130dBm, 1525mS  No.2 の応答(ACK)送信

received 3, size:46,rcv -105dBm      No.3 のデータを受信
Ack OK! data 3,env -129dBm, 1525mS  No.3 の応答(ACK)送信

received 4, size:46,rcv -105dBm      No.4 のデータを受信
Ack OK! data 4,env -129dBm, 1525mS  No.4 の応答(ACK)送信

received 5, size:46,rcv -105dBm      No.5 のデータを受信
Ack OK! data 5,env -129dBm, 1525mS  No.5 の応答(ACK)送信

received 6, size:46,rcv -105dBm      No.6 のデータを受信
Ack OK! data 6,env -128dBm, 1525mS  No.6 の応答(ACK)送信

キャリアセンスにより子機からの送信が停止

received 13, size:46,rcv -105dBm      No.13 のデータを受信
Ack OK! data 13,env -128dBm, 1525mS  No.13 の応答(ACK)送信

received 14, size:46,rcv -105dBm      No.14 のデータを受信
Ack OK! data 14,env -128dBm, 1525mS  No.14 の応答(ACK)送信

```

シグナルジェネレータにより干渉を与える前の子機における受信レベルは、-97dBm 未満であるため送信する(1)~(6)。子機に対してシグナルジェネレータにより干渉を与えると(7)、子機においてキャリアセンス閾値(-97dBm)以上の干渉電力となるため送信を停止する(8)~(12)。シグナルジェネレータによる干渉を停止すると(13)、キャリアセンス閾値未満の干渉電力となり送信を行う(14)(15)。

- SF9 の結果

SF9 の場合の子機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```

### Auto Test: set SF9 channel1 ###
Start node_task
SF 9 ,TX timeout 8290mS, Rx timeout 8070mS

Transmit 1/20(retry 0)
Send Ok count 1/20 ,size 46,env -127dBm,send 1, 7289mS      -97dBm 未満なので No.1 送信(1)
Response Ok count 1/20,size 16,rcv -112dBm ,ack 1           No.1 の応答(ACK)を受信

Transmit 2/20(retry 0)
Send Ok count 2/20 ,size 46,env -129dBm,send 2, 7289mS      -97dBm 未満なので No.2 送信(2)
Response Ok count 2/20,size 16,rcv -112dBm ,ack 2           No.2 の応答(ACK)を受信

Transmit 3/20(retry 0)
Send Ok count 3/20 ,size 46,env -129dBm,send 3, 7289mS      -97dBm 未満なので No.3 送信(3)
★SG により干渉を与える(4)
Response timeout...Retry!                                    No.3 の応答(ACK)を受信できず

Transmit 3/20(retry 1)
Send Ng... env -92dBm                                         No.3 の 1 回目再送だが、-97dBm 以上なので送信待機(5)

Transmit 3/20(retry 2)
Send Ng... env -92dBm                                         一定時間後 No.3 の 2 回目の再送を試みる、-97dBm 以上なので送信待機(6)

Transmit 4/20(retry 0)
Send Ng... env -92dBm                                         No.4 の送信を試みるが、-97dBm 以上なので送信待機(7)

Transmit 4/20(retry 1)
Send Ng... env -92dBm                                         No.4 の 1 回目再送だが、-97dBm 以上なので送信待機(8)

★SG の与干渉を停止(9)

Transmit 4/20(retry 2)
Send Ok count 4/20 ,size 46,env -126dBm,send 4, 7289mS      -97dB 未満なので No.4 送信(10)
Response Ok count 3/20,size 16,rcv -112dBm ,ack 4           No.4 の応答(ACK)を受信

Transmit 5/20(retry 0)
Send Ok count 5/20 ,size 46,env -128dBm,send 5, 7289mS      -97dB 未満なので No.5 送信(11)
Response Ok count 4/20,size 16,rcv -112dBm ,ack 5           No.5 の応答(ACK)を受信

Transmit 6/20(retry 0)

```


SF9 の場合の親機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```
### Auto Test: set SF9 channel1 ###
Start host_task
SF 9 ,timeout 5660mS

received 1, size:46,rcv -111dBm      No.1 のデータを受信
Ack OK! data 1,env -129dBm, 4651mS  No.1 の応答(ACK)送信

received 2, size:46,rcv -112dBm      No.2 のデータを受信
Ack OK! data 2,env -129dBm, 4651mS  No.2 の応答(ACK)送信

received 3, size:46,rcv -112dBm      No.3 のデータを受信
Ack OK! data 3,env -129dBm, 4650mS  No.3 の応答(ACK)送信

received 4, size:46,rcv -111dBm      No.4 のデータを受信
Ack OK! data 4,env -130dBm, 4651mS  No.4 の応答(ACK)送信

received 5, size:46,rcv -112dBm      No.5 のデータを受信
Ack OK! data 5,env -129dBm, 4650mS  No.5 の応答(ACK)送信
```

シグナルジェネレータにより干渉を与える前の子機における受信レベルは、-97dBm 未満であるため送信する(1)~(3)。子機に対してシグナルジェネレータにより干渉を与えると(4)、子機においてキャリアセンス閾値(-97dBm)以上の干渉電力となるため送信を停止する(5)~(8)。シグナルジェネレータによる干渉を停止すると(9)、キャリアセンス閾値未満の干渉電力となり送信を行う(10)(11)。

- SF12 の結果

SF12 の場合の子機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```

### Auto Test: set SF12 channel1 ###
Start node_task
SF 12 ,TX timeout 45760mS, Rx timeout 30020mS

Transmit 1/20(retry 0)
Send Ok count 1/20 ,size 46,env -104dBm,send 1, 44759mS    -97dBm 未満なので No.1 送信(1)
Response Ok count 1/20,size 16,rcv -106dBm ,ack 1           No.1 の応答(ACK)を受信

Transmit 2/20(retry 0)
Send Ok count 2/20 ,size 46,env -102dBm,send 2, 44759mS    -97dBm 未満なので No.2 送信(2)
Response Ok count 2/20,size 16,rcv -105dBm ,ack 2           No.2 の応答(ACK)を受信

★SG により干渉を与える(3)

Transmit 3/20(retry 0)
Send Ng... env -92dBm                                         No.3 の送信を試みるが、-97dBm 以上なので送信待機(4)

Transmit 3/20(retry 1)
Send Ng... env -92dBm                                         No.3 の 1 回目再送だが、-97dBm 以上なので送信待機(5)

Transmit 3/20(retry 2)
Send Ng... env -92dBm                                         No.3 の 2 回目再送だが、-97dBm 以上なので送信待機(6)

Transmit 4/20(retry 0)
Send Ng... env -91dBm                                         No.4 の送信を試みるが、-97dBm 以上なので送信待機(7)

Transmit 4/20(retry 1)
Send Ng... env -92dBm                                         No.4 の 1 回目再送だが、-97dBm 以上なので送信待機(8)

Transmit 4/20(retry 2)
Send Ng... env -92dBm                                         No.4 の 2 回目再送だが、-97dBm 以上なので送信待機(9)

Transmit 5/20(retry 0)
Send Ng... env -92dBm                                         No.5 の送信を試みるが、-97dBm 以上なので送信待機(10)

Transmit 5/20(retry 1)
Send Ng... env -92dBm                                         No.5 の 1 回目再送だが、-97dBm 以上なので送信待機(11)

★SG の与干渉を停止(12)

Transmit 5/20(retry 2)
Send Ok count 3/20 ,size 46,env -130dBm,send 5, 44759mS
Response Ok count 3/20,size 16,rcv -112dBm ,ack 5           No.5 の 2 回目再送-97dBm 未満なので No.2 送信(13)
                                                                No.5 の応答(ACK)を受信

```

SF12 の場合の親機の動作ログを示す。青字は状況を説明するためのコメントである。

```
### Auto Test: set SF12 channel1 ###
Start host_task
SF 12 ,timeout 30020mS

received 1, size:46,rcv -110dBm      No.1 のデータを受信
Ack OK! data 1,env -129dBm, 29014mS No.1 の応答(ACK)送信

received 2, size:46,rcv -110dBm      No.2 のデータを受信
Ack OK! data 2,env -130dBm, 29013mS No.2 の応答(ACK)送信

received 5, size:46,rcv -110dBm      No.5 のデータを受信
Ack OK! data 5,env -129dBm, 29014mS No.5 の応答(ACK)送信
```

シグナルジェネレータにより干渉を与える前の子機における受信レベルは、-97dBm 未満であるため送信する(1)~(2)。子機に対してシグナルジェネレータにより干渉を与えると(3)、子機においてキャリアセンス閾値(-97dBm)以上の干渉電力となるため送信を停止する(4)~(11)。シグナルジェネレータによる干渉を停止すると(12)、キャリアセンス閾値未満の干渉電力となり送信を行う(13)。

以上より、キャリアセンス機能が正常に動作することを確認した。

付録6. 地方公共団体へのアンケート結果

本文中に記載していない設問とアンケート結果を示す。

【質問 1】貴団体では防災・減災に関する専門部署を設けていますか。

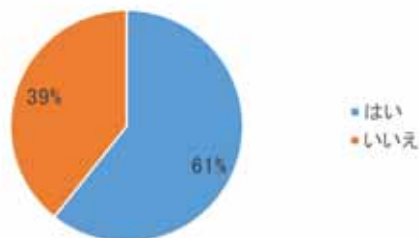


図 付録- 20 防災・減災に関する専門部署を設けているか(市町村)

市町村の回答数は 84 であった。県の回答は回答数 5 の内、「はい」が 4、「いいえ」が 1 であった。

【質問 2】貴団体管内においても土砂崩れが発生しやすいような場所にはコンクリート擁壁(写真図 5-1 のようなもの)工事が施されていると思いますが、その管理はどのように行っていますか。



図 付録- 21 現在のコンクリート擁壁の管理方法(市町村)

市町村の回答数は 85 であった。県の回答は回答数 5 の内 5 回答とも、「土木施設管理部署又は防災担当部署等で管理(私有地含まず)」であった。

【質問 3】貴団体にて管理を行っている場合、その管理方法(コンクリートの亀裂、ひび割れ状況の確認、劣化具合の把握、斜面の地下水位の把握等)はどのように行っていますか。(外部委託されている場合は分かる範囲でお答えください。)⇒本文中に記載

【質問 4】質問3で、担当者が現地に出向いて目視確認又は目視確認に加えて測定器類により測定を行っているとお答えいただいた場合、管理担当者の総数は何人ですか。また、現地に出向いて確認作業等を行う際、平均何人で行われますか。

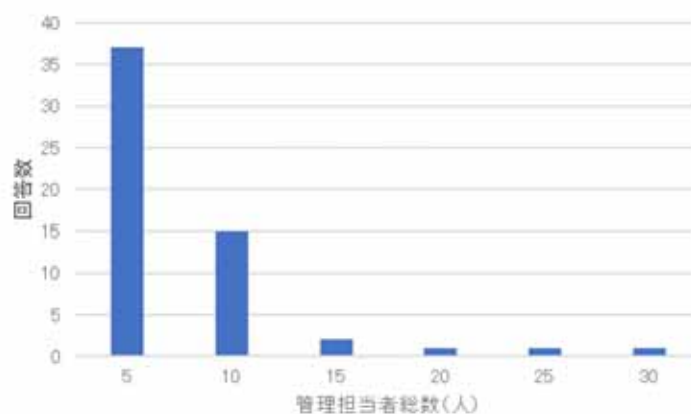


図 付録- 22 管理担当者総数(市町村)度数分布

市町村の回答数は 57 で、平均は 5.9 人であった。現地に出向いて確認作業などを行う際の平均人数については、本文中に記載している。県の回答数は 3 で、それぞれ 41 人、106 人、50 人という回答であり、平均は 65.7 人であった。

【質問 5】質問3で、担当者が現地に出向いて目視確認又は目視確認に加えて測定器類により測定を行っているとお答えいただいた場合、1回の確認又は測定に要する時間はおおよそどのくらいですか。(現地までの平均往復時間も含めてください。)⇒本文中に記載

【質問 6】質問3で、担当者が現地に出向いて目視確認又は目視確認に加えて測定器類により測定を行っているとお答えいただいた場合、年間におおよそ何回現地に出向いていますか。⇒本文中に記載

【質問 7】質問3で、担当者が現地に出向いて目視確認又は目視確認に加えて測定器類により測定を行っているとお答えいただいた場合、確認又は測定に要する年間の総費用(人件費を除く)はおおよそいくらくらいですか。⇒本文中に記載

【質問 8】質問3で、担当者が現地に出向いて目視確認又は目視確認に加えて測定器類により測定を行っているとお答えいただいた場合、この管理方法で課題に思われていることは何ですか。(複数回答可)⇒本文中に記載

【質問 9】質問3で、監視カメラにより遠隔監視しているとお答えいただいた場合、通信方式についてお伺いします。

通信方式は有線、無線のどちらをお使いですか。⇒回答なし

無線とお答えの場合、通信方式・通信方法は以下のどれに該当しますか。⇒回答なし

【質問 10】質問3で、監視カメラにより遠隔監視しているとお答えいただいた場合、費用についてお伺いします。

初期投資費用はおおよそいくらですか。⇒回答なし

年間のランニングコストはおおよそいくらですか。⇒回答なし

【質問 11】質問3で、監視カメラにより遠隔監視しているとお答えいただいた場合、この管理方法で課題に思われていることは何ですか。

(複数回答可) ⇒回答なし

【質問 12】質問3で、監視カメラ以外の方法(センサなど)により遠隔管理しているとお答えいただいた場合、通信方式についてお伺いします。

通信方式は有線、無線のどちらをお使いですか。

1. 有線(Wi-Fi等インターネットに接続するものを含む。) ⇒回答数 1(市町村) 県は回答数 0
2. 無線⇒回答なし

無線とお答えの場合、通信方式・通信方法は以下のどれに該当しますか。⇒回答なし

【質問 13】質問3で、監視カメラ以外の方法(センサなど)により遠隔管理しているとお答えいただいた場合、費用についてお伺いします。

初期投資費用はおおよそいくらですか⇒回答なし

年間のランニングコストはおおよそいくらですか。⇒回答なし

【質問 14】質問3で、監視カメラ以外の方法(センサなど)により遠隔管理しているとお答えいただいた場合、この管理方法で課題に思われていることは何ですか。

(複数回答可)

1. 実際の目視確認に比べて細部まで把握することが難しいこと⇒回答なし
2. 費用がかかりすぎること⇒回答なし
3. 管理要員の確保⇒回答なし
4. 通信が不安定等の理由によりセンサ等の測定値が正確に把握できないことがあること⇒回答なし
5. 特に課題はない⇒回答数 1(市町村)
6. その他(具体的に)⇒回答なし

【質問 15】質問3で、「その他」とお答えいただいた場合で、その管理方法が有線又は無線等通信方式を用いたものである場合、その通信方式は以下のどちらをお使いですか。

1. 有線(Wi-Fi等インターネットに接続するものを含む。)⇒回答なし
2. 無線⇒回答なし

無線とお答えの場合、通信方式・通信方法は以下のどれに該当しますか。⇒回答なし

1. 3G/LTE/4G 等携帯電話事業者の回線を利用

2. LPWA

無線とお答えの場合、周波数帯はいくらですか。⇒回答なし

■ 具体的な方式が分かれば回答願います。⇒回答なし

SigFox、ELTRES、LoRaWAN、Wi-SUN、ZETA、その他()

【質問 16】質問3で、「その他」とお答えいただいた場合、費用についてお伺いします。

初期投資費用はおおよそいくらですか。⇒回答なし

年間のランニングコストはおおよそいくらですか。⇒回答なし

【質問 17】質問3で、「その他」とお答えいただいた場合、この管理方法で課題に思われていることは何ですか。

(複数回答可)

1. 実際の目視確認に比べて細部まで把握することが難しいこと⇒回答数 1(市町村)
2. 費用がかかりすぎる事⇒回答数 1(市町村)
3. 管理要員の確保⇒回答数 3(市町村)
4. 【通信方式による管理方法を用いている場合】通信が不安定等の理由によりコンクリートの劣化状況等が正確に把握できないことがあること⇒回答数 1(市町村)
5. 特に課題はない⇒回答数 3(市町村)
6. その他(具体的に)⇒回答数 1(市町村)

(自由記入欄)

管理頻度が少なく、再度点検するまでに想定以上に状態が悪くなっていることがある。(市町村記入)

【質問 18】貴団体内でコンクリート擁壁工事が施された場所は何箇所くらいありますか。また、そのうち貴団体に管理責任のあるものは何箇所くらいですか。(おおよその数字で結構です。)

1. ○○箇所(貴団体に管理責任のあるもの ○○箇所)⇒市町村回答:6 県回答:3

管理箇所数: (市町村)60, 282, 7, 12, 5, 208 (県) 1400, 900, 1192

2. 把握していない⇒市町村回答:73 県回答:2

3. その他(具体的に)⇒市町村回答:2 県回答:0

【質問 19】土砂災害の未然防止には劣化したコンクリートの修繕工事、補強工事等が有効ですが、多数のコンクリート擁壁がある場合、工事の優先順位はどのようにして決定していますか。

1. 最初の工事完了からの経過年数が経っている順番に工事を行うようにしている。
2. 経過年数に関わらず、定期点検の結果等により劣化の激しいものから順番に工事を行うようにしている。

3. 住民からの要望等に応じて工事を行うようにしている。
4. その他(具体的に)



図 付録- 23 工事の優先順位の決め方(市町村)

市町村の回答数は、89 であった。県の回答数は 5 で、「経過年数に関わらず、定期点検の結果等により劣化の激しいものから順番に工事を行うようにしている。」の回答数が 4、「住民からの要望等に応じて工事を行うようにしている。」の回答数が 1 であった。

その他の自由入力欄は以下のとおりであった。

【市町村回答】

- ・ 住民等からの情報等により現地確認後、点検の結果による状況(劣化、環境等)を考慮し優先順位を決定している。
- ・ 住民からの通報等により現地調査を行い、劣化や危険度を基に優先順位付けをし、順番に工事を行うようにしている。
- ・ 特に定めてはいない。
- ・ 補助事業対象箇所として整理ができたものから工事を行うようにしている。
- ・ 住民からの要望箇所を現地確認し劣化の激しいもの、影響範囲の土地の利用状況などを考慮し工事を行うようにしている。
- ・ 路線の優先度と擁壁の劣化状況で総合的に判断して修繕を行う優先度を決定する。
- ・ 確認出来た箇所から、優先順位をつけて順次補修を行っている
- ・ 住民要望等、現況を確認し、必要に応じて対応
- ・ 該当する公共施設が無い。
- ・ 基本的には、市道の通行に支障が生じた緊急の状況により、優先して修繕を行うが、民地法面は所有者に対応を依頼し、通行制限等の措置を行う。
- ・ 災害による社会的影響が大きい箇所

【県回答】

- ・ 緊急輸送道路を優先、その後は2と3を総合的に判断

【質問 20】四国総合通信局が現在実証試験を行っているテレメトリーシステムを貴団体が導入するとした場合、おおよそどのくらいの初期投資費用なら導入を検討しますか。⇒本文中に記載

【質問 21】四国総合通信局が現在実証試験を行っているテレメトリーシステムを貴団体が導入するとした場合、おおよそどのくらいのランニングコストの金額なら導入を検討しますか。

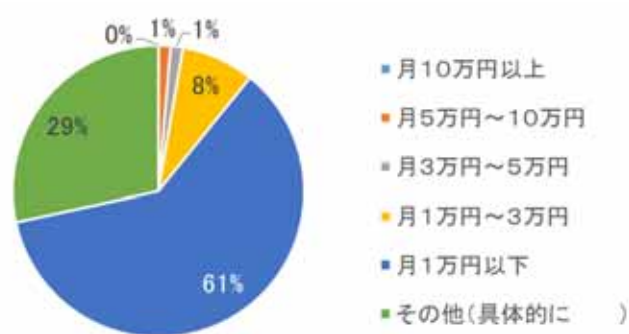


図 付録- 24 どのくらいのランニングコストなら導入を検討するか(市町村)

市町村の回答数は 74 であった。

県の回答数は 3、「月 1 万円以下」が 1 回答、「その他」が 2 回答であった。

その他の自由入力の記載は以下のとおりであった。

【市町村】

- ・ 現時点では継続的にシステムを使用するか不明である。
- ・ 予算に限りがあるため。
- ・ 想定できない。
- ・ 該当する公共施設が無い。
- ・ 費用対効果を検討
- ・ 現段階では導入を検討していないため。
- ・ 設置数にもよりますが、見積をいただいてからの検討となると考えます。(導入可能な具体的な金額については財政担当に確認しなければ、不明)
- ・ 費用対効果があるのかどうか？ 他市の動向を注視したい。
- ・ 他自治体の利用状況を見てから検討する。
- ・ 質問 20 の回答同様
- ・ 補助金や起債の活用が必須
- ・ 導入することによる優位性が確認できたところで再度検討を行う。
- ・ 導入を検討しない
- ・ 少額であってもメンテナンスなど必要と思われる。周辺の自治体の動向を確認し、必要と考えられたら検討する。
- ・ 質問 20 と同様
- ・ 現在のところ検討していない。
- ・ 費用の有無に関わらず導入は検討しない
- ・ 該当施設がすくない。
- ・ よく分かりません。
- ・ 現段階では導入は検討していない。
- ・ 検討しない。
- ・ 費用の適正性、有用性が明らかでない現状では検討できない。
- ・ 費用負担なしであれば、検討可能。

【県】

- ・ 質問20の理由と同じ
- ・ ランニングコストの有無に関わらず導入は検討しない。

【質問 22】本テレメトリーシステムは、土砂災害の未然防止を目的に構築し、実証試験を行っていますが、将来的には自治体の管理している橋梁、道路、トンネル、その他建造物の劣化状況を一元管理できるシステムへの拡張性を見据えています。

こうしたシステムが実現した場合、貴団体において導入を検討されますか。

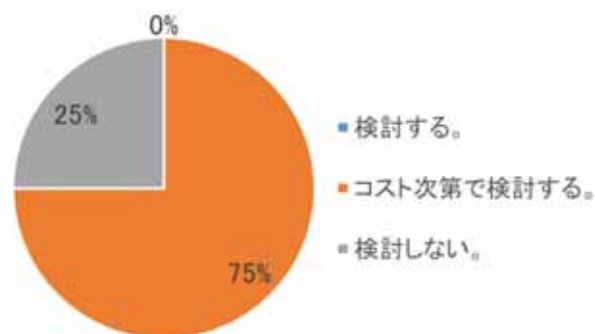


図 付録-25 拡張した場合に導入を検討するか(市町村)

市町村の回答数は 80 であった。県の回答数は 5 で、「コスト次第で検討する。」が 4 回答、「検討しない。」が 1 回答であった。理由の自由入力欄は以下のとおりであった。

【市町村】

- ・ 使いこなせる技術力が不足しているため。
- ・ 費用の適正性、有用性が明らかでない現状では検討できない。
- ・ 現段階では、このシステムについて未確定なことが多いので、コスト面や労力面等、色々なことが具体化され、その内容次第で検討したい。
- ・ 今後、状況によって検討していきたいと考えます。
- ・ 該当施設が少ない。
- ・ 専門の部署を設けたり、職員の確保が出来ればコスト次第で検討できるが、現時点では難しい。
- ・ 周辺の自治体の動向を確認し、必要と考えられたら検討する。
- ・ 補助金や起債の活用が必須
- ・ 他自治体の利用状況を見てから検討する。
- ・ 現段階では導入を検討していないため。
- ・ 該当する公共施設が無い。
- ・ 道路沿いの民地法面を本市が管理する方針でないため。
- ・ 予算に限りがあるため。

【県】

- ・ 質問20のとおり
- ・ 質問20の理由と同じ

付録7. 用語解説

ARIB STD-T98

日本の通信放送分野における標準規格策定を行っている業界団体である一般社団法人電波産業会 (Association of Radio Industries and Business:略称 ARIB) が平成20年(2008年)9月25日に制定したデジタル簡易無線局の無線設備の標準規格。

ARIB STD-T99

日本の通信放送分野における標準規格策定を行っている業界団体である一般社団法人電波産業会 (Association of Radio Industries and Business:略称 ARIB) が平成20年(2008年)9月25日に制定し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の無線設備の標準規格。

ARIB STD-T108

日本の通信放送分野における標準規格策定を行っている業界団体である一般社団法人電波産業会 (Association of Radio Industries and Business:略称 ARIB) が平成24年(2012年)2月14日に制定した 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標準規格。

BER(Bit Error Rate)

ビット誤り率。0 と 1 からなるビット列を送信した時に、ノイズなどの影響により、送信時 0 だったものが受信時に 1 になる、又は送信時に 1 だったものが受信時に 0 になり、誤って受信される確率。通信品質の指標の 1 つである。

C/N 比

Carrier to Noise Ratio の略、搬送波対雑音比。搬送波レベルと雑音レベルの比で、単位は dB (デシベル) を用いる。通信の品質の指標の 1 つである。

FSK

Frequency Shift Keying の略。周波数偏移変調方式。デジタル変調方式の 1 つで、周波数を切り替えることでデジタル信号の 0,1 を表現する。

HF 帯、VHF 帯、UHF 帯

High Frequency(短波)、Very High Frequency(超短波)、Ultra High Frequency(極超短波)の略。HF 帯は周波数 3MHz~30MHz、VHF 帯は周波数 30MHz~300MHz、UHF 帯は 300MHz~3GHz である。

LoRa

Long Range(長距離)の略。米国の SEMTECH 社が策定した無線通信方式。無線変調にチャープ・スペクトラム拡散を使用することで、少ない出力で、長い距離での通信ができる。

LPWA

Low Power Wide Area の略。伝送容量は少ないものの、低消費電力で長距離通信ができる無線技術の総称である。Sigfox, LoRaWAN, ELTRES, ZETA, LTE-M, NB-IoT 等様々なサービスが開されている。

LTE-M

Long Term Evolution for machine-type-communication の略。既存の LTE 回線を活用した LPWA サービスで、LTE の一部周波数帯域のみを利用する。

PER(Packet Error Rate: パケットエラー率)

送信したパケットを 1 回送信した時に、受信側で正しく受信できない確率をパケット単位で測定したもの。測定方法は、パケットを送信した回数と、正しくパケットを受信した回数をカウントし、割合を算出する。通信品質の指標の 1 つである。本稿では、所望のセンサデータのデータ到達確率について把握するため、パケットをセンサデータ送信単位として PER の評価を行った。パケットは複数フレームにまたがる場合もあり、PER を BER に変換することで、ARIB 標準規格(民間規格)等で示される BER 特性との比較も可能である。

SF 値

Spread Factor の略。LoRa 変調方式で用いるチャープ型スペクトラム拡散方式における拡散率。

キャリアセンス

送信を開始する前に、自分が送信しようとする周波数やチャネルの利用状況を確認して、他の無線機が同一周波数を利用中であれば、送信を行わない仕組みのこと。

キャリア・モニタリング機能

150MHz 帯デジタル簡易無線免許局において、送信する周波数と同一の他局の電波のレベルを計測(モニタ)する仕組みのこと。一般に、その閾値が相手局と通信ができる値以上の電波のレベルの場合、話中表示を行う。なお、今回はこの機能を応用し、送信を行わない制御を行う。

データ到達確率

送信したパケット(送信データの固まり)を受信側で正しく受信できる確率であり、送信したパケット数に対する、正しく受信できたパケット数の割合で表す。再送機能を備える場合は、パケットエラーが発生した場合でも、再送をした結果、受信側で正しく受信できれば、正しく受信できたとカウントし、確率を算出する。

テレメトリーシステム

遠隔から様々な観測を行い、そのデータを取得するシステム。

ブラウンアンテナ

グラウンドプレーンアンテナであり、米国の RCA 社の G.Brown が警察無線のために初めて実用化したため、ブラウンアンテナとも呼ばれる。偏波は垂直偏波であり、水平面に無指向性アンテナである。1/4 波長の 1 本の垂直エレメントと、その下部から放射状に広がる数本の 1/4 波長の水平の放射状エレメントから成る。

変位計

物体が変位する移動量を測定する計測器。レーザー、過電流式、静電容量式等を用いた「非接触式」と、「接触式」の 2 つに大きく分類される。

ホイップアンテナ

単一型と称され、携帯型の無線通信機や小型ラジオ、車載用のアンテナに用いられる小型のアンテナ。偏波は垂直偏波であり、水平面に無指向性アンテナである。1/4 波長のホイップアンテナはアンテナ長が短く、携帯性に優れているというメリットがある。

マイコン

Microcontroller の略。電子機器の制御用に最適化されたコンピュータの一種。