

---

---

令和3年度  
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

報告書概要版

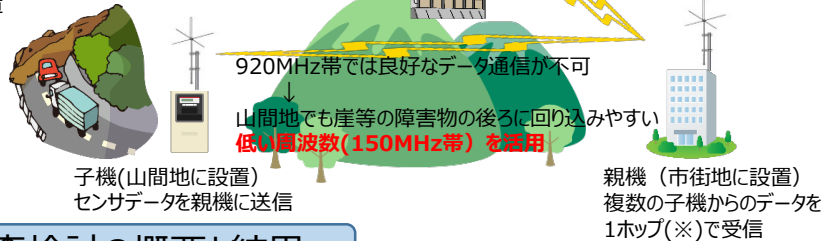
令和4年6月  
株式会社構造計画研究所

# 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

- 既存のLPWAに用いられている周波数(920MHz)では、山間地等電波伝搬特性上不利な環境下でのデータ送受信が困難である。一方、山間地でも電波伝搬特性の良い周波数帯で専用波を新たに割り当てることも難しい。
- そこで、150MHz帯を活用し、確実にデータの送受信が可能な新たなテレメトリーシステムについて調査検討を実施した。
- 920MHz帯に対する150MHz帯の有効性、山間地で地形の影響について調査検討を実施し、提言をとりまとめた。

## システム概要

土砂災害の発生リスクが高い  
コンクリート擁壁の状況をモニタリングするセンサを  
複数設置



## 調査検討の概要と結果

調査検討の概要	検討結果
テレメトリーシステムの構築	150MHz帯のLPWA技術及びデジタル簡易無線に再送機能とキャリアセンス機能※を実装したテレメトリーシステムを構築した。
テレメトリーシステムを用いた実証	LPWAを活用した屋内検証用システムによる屋内検証(環境構築、再送機能及びキャリアセンス機能の検証、PER、データレート測定)及びデジタル簡易無線を活用した屋外検証用システムによる屋外検証(電波伝搬測定及び解析)を実施し、150MHz帯を用いたテレメトリーシステムの有効性を実証した。
テレメトリーシステム導入のメリットの検証	地方公共団体へのアンケート及び有識者へのヒアリングを実施し、目視などの課題に対してシステム導入は有用であるが、地方公共団体は100万円以下と安価なシステムを求めているとの結果が得られた。

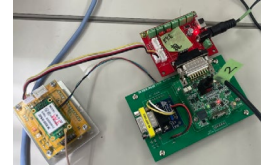
## 提言

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(右表)には、150MHz帯を使用することが有効である。
2. 実用化にあたり、「LPWA技術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。(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。

なお、将来的には、複数地方公共団体への展開、他の用途利用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。

## 【屋内検証】

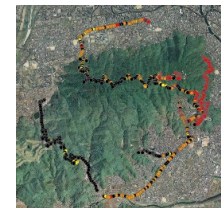
C/N比を変化させた場合のPER(パケットエラー率)を測定：SF7の場合にデータ受信時のレベルに対して8~10dB大きなノイズレベルの時まで受信可能であることを確認(再送が必要となるC/N比を明らかにした)  
最大送信可能数：1秒当たり0.24回(SF7)  
150MHz帯のLPWA技術を用いた無線機を準備



屋内検証用無線機

## 【屋外検証】

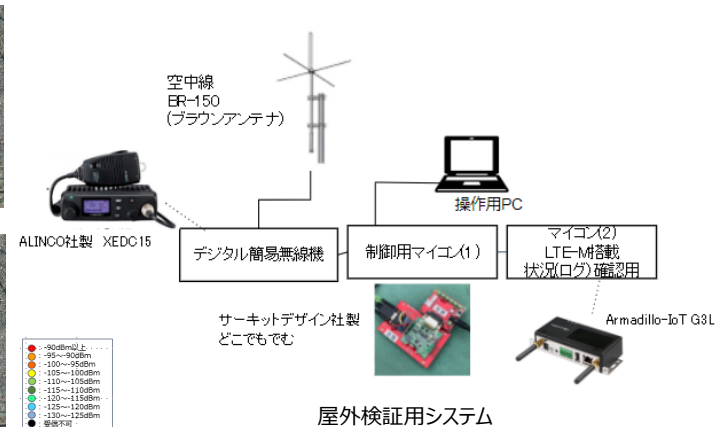
920MHz帯では通信できない箇所でも150MHz帯で通信が可能であることを確認  
150MHz帯のデジタル簡易無線を利用



150MHz帯



920MHz帯



## 検討で想定したテレメトリーシステム諸元表

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
子機収容可能数	最大60台

# 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

## ■ 開催経過

検討会	開催日/開催場所	議事内容
第1回	令和3年12月28(水) 13:30-15:00 オンライン形式	<ul style="list-style-type: none"><li>• 実証試験の背景、経緯等の説明</li><li>• 実証内容の具体的説明</li><li>• 徳島大学上野先生からこれまでの研究成果の発表</li></ul>
第2回	令和4年6月6日(月) 13:30-15:30 オンライン形式	<ul style="list-style-type: none"><li>• 報告書(案)について</li><li>• その他</li></ul>
第3回	令和4年6月17日(金)~ 6月23日(木) メール審議	<ul style="list-style-type: none"><li>• 報告書(案)及び報告書概要(案)について</li></ul>

# テレメト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の崩壊の予兆を把握するためのセンサの性能を考慮し、テレメトリーシステムのセンサ部の要件を整理した。

## 1. センサの概要

### 【センサ種別と必要な精度】

コンクリート擁壁の崩壊の予兆を把握するためには、以下の測定が有効である。

- コンクリート擁壁のクラックの変位の測定  
⇒**変位計 精度0.01mm**
- コンクリート擁壁内部の土の水分(飽和度)ならびに地下水位の測定  
⇒**地下水分・水位計 精度1cm**

**1か所でモニタリングするセンサ数は**

変位計と地下水分・水位計を任意に組み合わせて最大合計**8個**とする。

### 【センサデータサイズ】

上記の要件を考慮した場合、1つの子機が1回に送信するセンサデータ容量は最大54byteである。

- 変位計：レンジ50cmの場合必要なビット数約19bit、レンジ100cmの場合必要なビット数約20bit
- 地下水分・水位計：レンジ500cmの場合に必要なビット数約13bit

上記に余裕をもたせて、各センサのデータサイズは32bit (4byte) を確保することとした。

8個のセンサデータを送信する場合は32byteで、これに、付加情報22byteを追加する必要がある。

## 2. データ取得頻度の検討

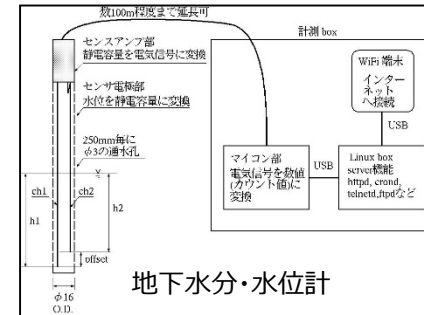
本テレメトリーシステムでは**1時間に1回**程度の間隔でセンサデータを収集し、変化を把握することが望ましい。また、地盤の変状の度合い並びに危険度が高い箇所では、**10分に1回程度**の送信頻度が望ましい。

## 3. 子機収容台数の検討

地方公共団体が管理するコンクリート擁壁において、各市町村に1機親機を設置し、点検の結果経過観察、早期措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。

四国内の地方公共団体へのアンケート結果から、1地方公共団体(市町村)の管理箇所の最大数は**282か所**であった。また、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](https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/tenken-yoryo_202205.pdf)) によると、**5年に1回の点検**が望ましいとされている。よって、点検の結果子機の設置が必要となる箇所数は、最大全箇所1/5(約56箇所)となり、1台の親機が収容する子機の台数の要件は**約60台**となることから、本システムにおける必要子機収容数を60台とした。



出典：上野勝利ら，“WiFi網と組み込み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

### センサデータサイズ

データの種類の種類	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
<b>合計</b>	<b>54</b>

## 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

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
センサデータの取得頻度(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

# 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センサ部の要件を元に、通信部の要件を整理した。

## 1. VHF帯の活用

土砂災害防止のためのテレメトリーシステムに、中山間地での電波伝搬特性の良い、低い周波数（VHF帯）を使用した場合の有効性を検証した。

## 2. LPWAの活用

本テレメトリーシステムは、転送データ量は少ないが、極力シンプルな構成（1ホップ）で、長距離通信が可能、かつ、PERを下げることを目指し、長距離通信が可能で干渉に強いLPWA技術の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した。

## 3. キャリアセンス機能の検討

本テレメトリーシステムは前頁記載の通りリアルタイム性は不要なので、周波数の共用において、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。

## 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、山間地等電波伝搬特性上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。

## 5. テレメトリーシステムの通信部要件

以上から、60台の子機が1時間に1回54byteのデータを親機に送信完了するために必要な子機の伝送速度は、7.2bps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、実証によって得られる実効速度をもとに、送信頻度、再総回数、子機収容可能数等を検討することとした。

周波数帯による特性比較

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	<b>占有周波数帯幅は狭い</b>	占有周波数帯幅を広く取れる
需要	<b>需要は低く</b> なりつつある	高速大容量化を求める用途からの <b>需要が高い</b>
地形の影響	障害物の後ろに回り込みやすいため <b>中山間地（山影や山の尾根に囲まれた場所）での到達が期待</b> 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

LPWA技術の特徴

項目	特性
通信速度	小容量
到達距離	長い
耐干渉性	強い

PER毎の再送回数とデータ到達確率（机上計算結果）

		PER			
		0.1	0.2	0.3	0.4
再送回数	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

テレメトリーシステムの通信部要件

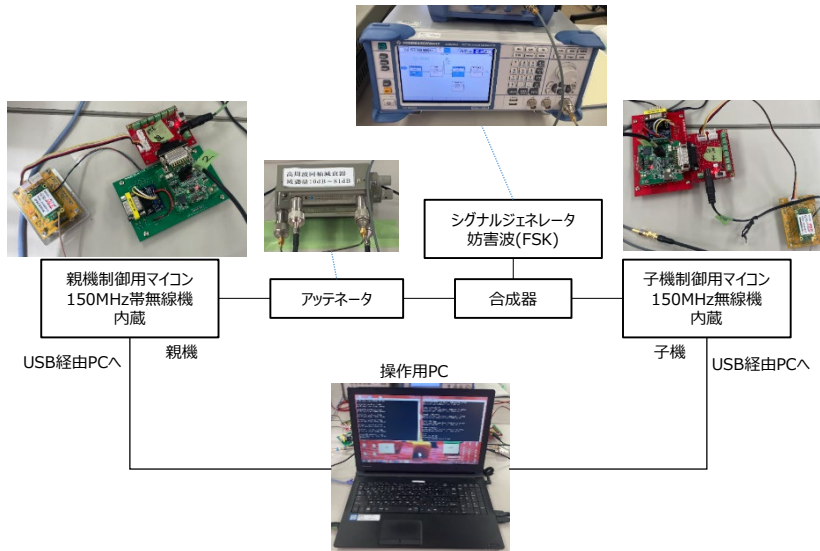
項目	要件
周波数帯	VHF帯を用いる
通信方式	LPWA技術 LoRa変調方式を用いる
機能	キャリアセンス相当の機能と再送機能を備える
伝送速度（子機送信）	7.2bps（再送機能を考慮しない場合）

# テレメトリーシステムの構築

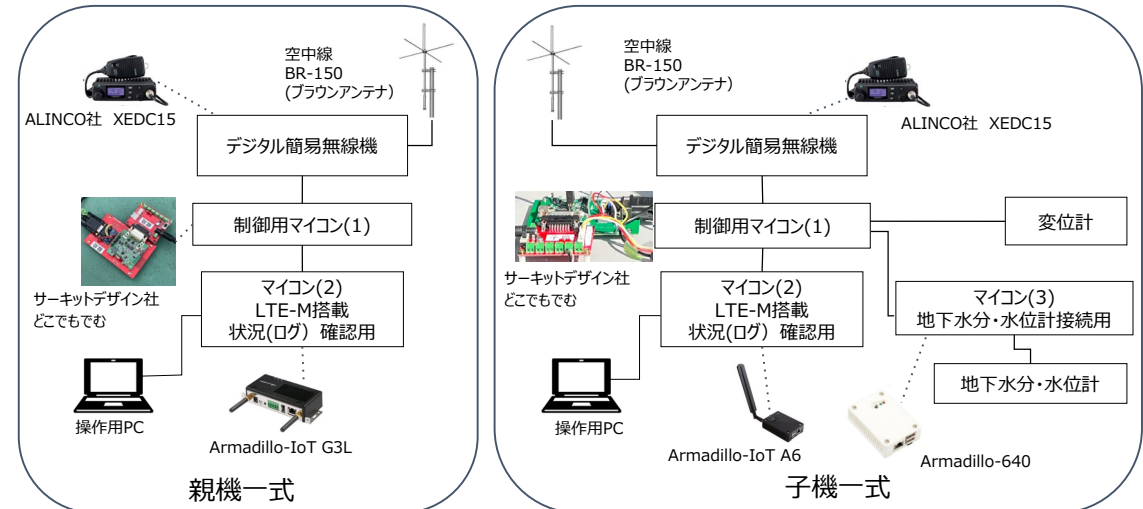
- 整理したセンサ部要件及び通信部要件を満たすテレメトリーシステムの構築を行った。
- LPWA技術を実装し再送機能やキャリアセンス機能の動作検証、PER・データレート等の測定を行うための屋内検証用システムと、150MHz帯デジタル簡易無線を用いて実際の電波伝搬状況等を測定するための屋外検証用システムを用意した。

## システム構成

### □ 屋内検証



### □ 屋外検証



※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する

子機制御用マイコン：

送信後の応答(ACK)が返らない場合の再送機能、  
キャリアセンスの結果送信できない場合の再送機能等、  
転送制御機能を実装

親機制御用マイコン：

データ受信時の応答(ACK)送信等の転送制御機能を実装

子機制御用マイコン(1)：送信後の応答(ACK)が返らない場合の再送機能など転送制御機能を実装

親機制御用マイコン(1)：データ受信時の応答(ACK)送信等の転送制御機能を実装

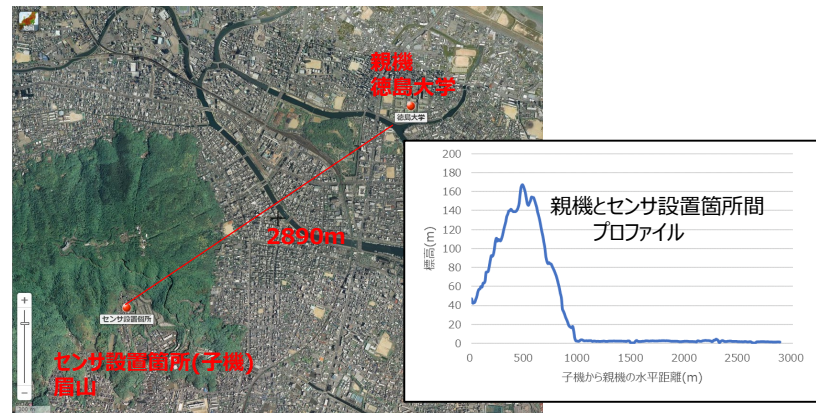
子機/親機マイコン(2)：LTE-Mによる通信機能を備え、無線機の動作状況をログとして保存し、  
遠隔から確認するための機能を実装

子機マイコン(3)：地下水分・水位計から取得したデータを子機制御用マイコン(1)の  
USBポートで受信できるように変換する機能を実装

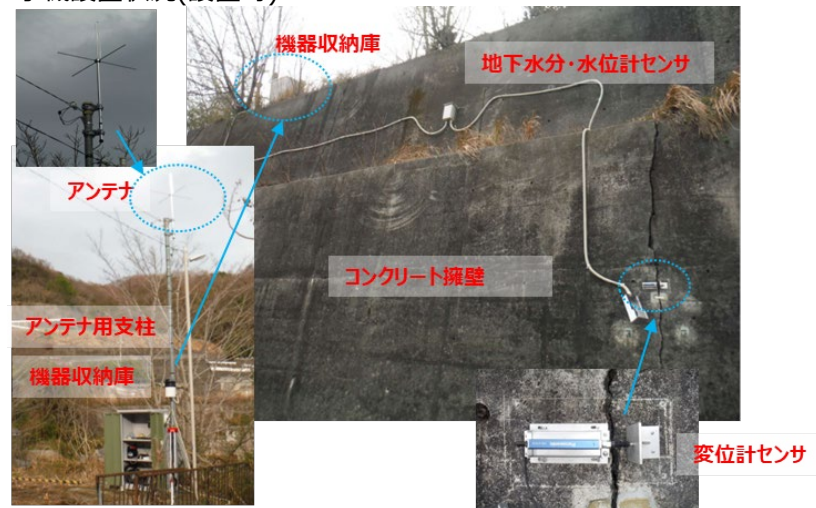
# 屋外検証（実証環境構築（1））

- 150MHz帯のデジタル簡易無線を用いて、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電界強度の測定、構築したテレメトリシステムによるセンサデータの取得、920MHz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の検証環境を構築した。

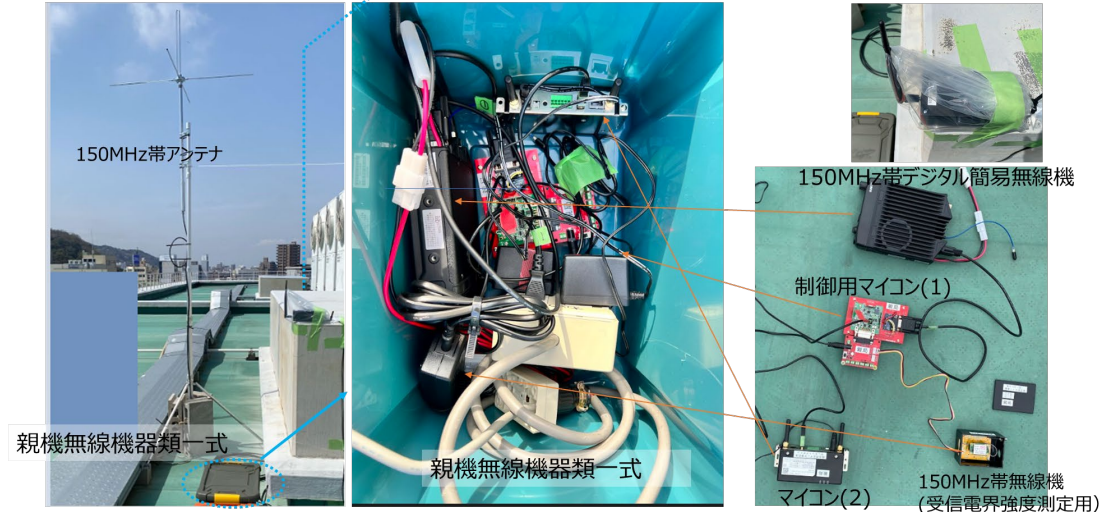
## 検証環境



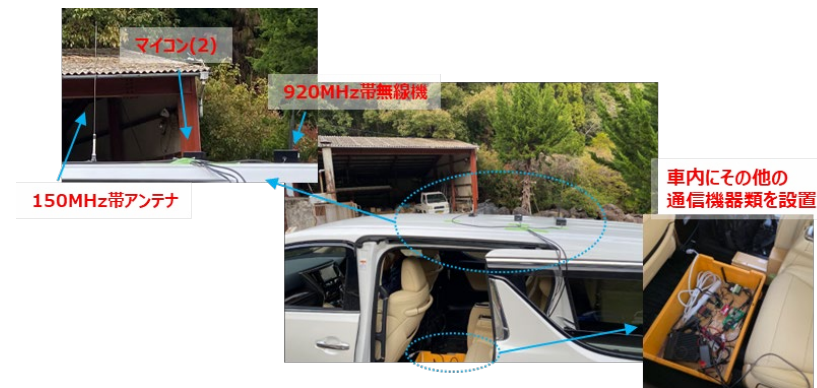
- 子機設置状況(設置時) 国土地理院地図 全国最新写真(シームレス)を加工



- 親機設置状況



- 子機設置状況(移動時)



# 屋外検証（実証環境構築（2））

- 150MHz帯のデジタル簡易無線機及び920MHz帯の無線機を用いた屋外検証の検証機器諸元を示す。

## 検証機器諸元

	150MHz帯	920MHz帯
測定周波数	154.6125MHz(デジタル簡易無線28ch)	920.6MHz(特定小電力無線1ch)
空中線電力	1W(30dBm)(親機) 1W(30dBm)/5W(37dBm)(子機)	20mW(13dBm)
変調方式	4値FSK	LoRa SF7
占有周波数帯幅	5.8kHz	62.5kHz
空中線系種別	親機：BR-150 日本アンテナ社 ブラウン型アンテナ 子機：親機と同一(設置時)、EI465 日本アンテナ製入/4 ホイップアンテナ(移動時)	KHD-M30-01 Zhenjiang Voton Machinery社 ダイポールアンテナ
利得	2.15dBi(無指向)	3dBi
地上高	親機：20.4m 子機：3.6m(設置時)、2m(移動時)	親機：18.7m 子機：2m
同軸ケーブル種別	親機：5D-FB 10m 子機：親機と同一(設置時)、3D-2V(移動時)	-
長さ	親機：10m 子機：10m(設置時)、5m(移動時)	-
給電線損失	親機：0.05dB/m 子機：親機と同一(設置時)、0.12dB/m(移動時)	-
受信感度	-116dBm (-3dB $\mu$ V以下 BER1%)	-140dBm

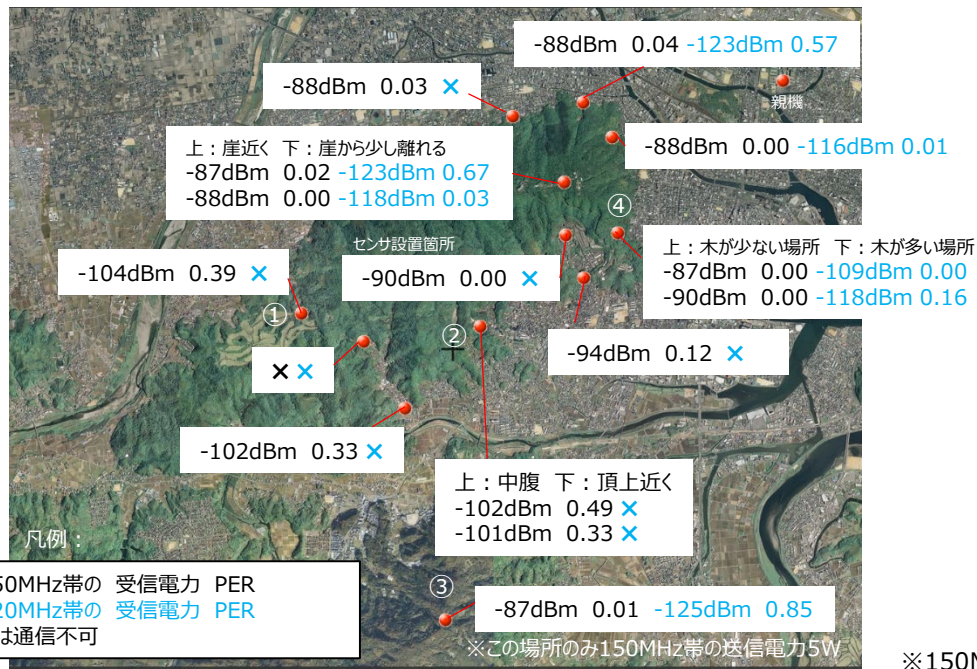


# 屋外検証（電波伝搬測定（固定））

- 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。
- 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の送信を継続した。総送信数1566回、総応答受信数1546回であり、安定してセンサデータの収集が行えた。
- 山間地における計測であったが、木の影響は受けにくく、木が茂っている場所（森林地帯）でも通信可能であった。

## 停止しての計測

山間地、森林地帯、山の尾根に囲まれた場所等、地形の影響で電波伝搬特性上の悪条件地域複数箇所を受信電界強度を測定



国土地理院地図 全国最新写真（シームレス）を加工

木が茂っている箇所(森林地帯)でも通信可能であった

①(5829m)



②(4236m)



③(6925m)



④(2368m)



※150MHz帯デジタル簡易無線機の送信出力は1W

※本検証で使用したデジタル簡易無線機が測定可能な受信レベルの最大値-87dBm

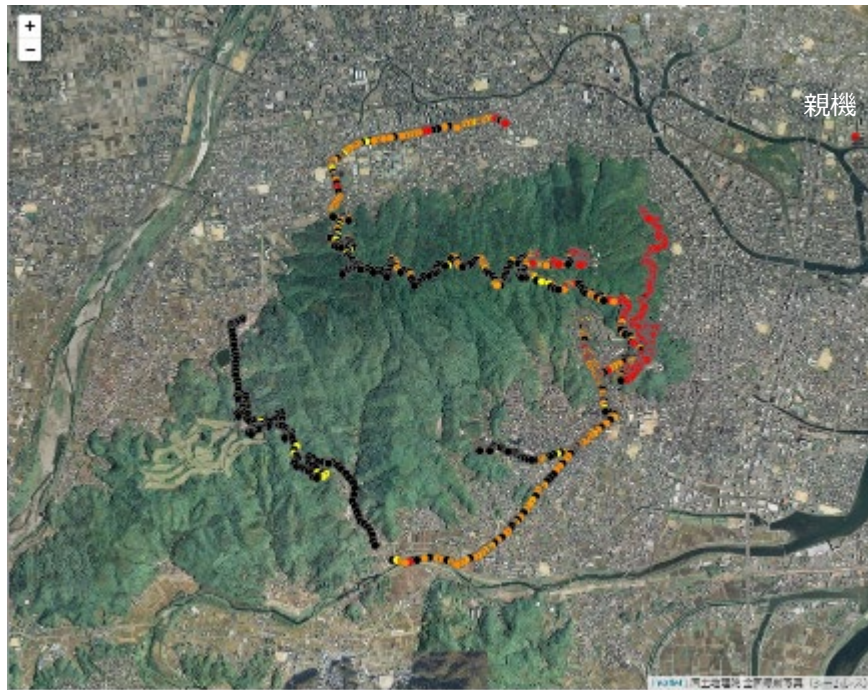
# 屋外検証（電波伝搬測定（移動））

- 移動しながら計測を実施し、920MHzでは通信できない箇所でも150MHz帯で通信が可能であることを確認した。

※本来は固定して使用するシステムであるが、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、移動しながら計測を実施した。

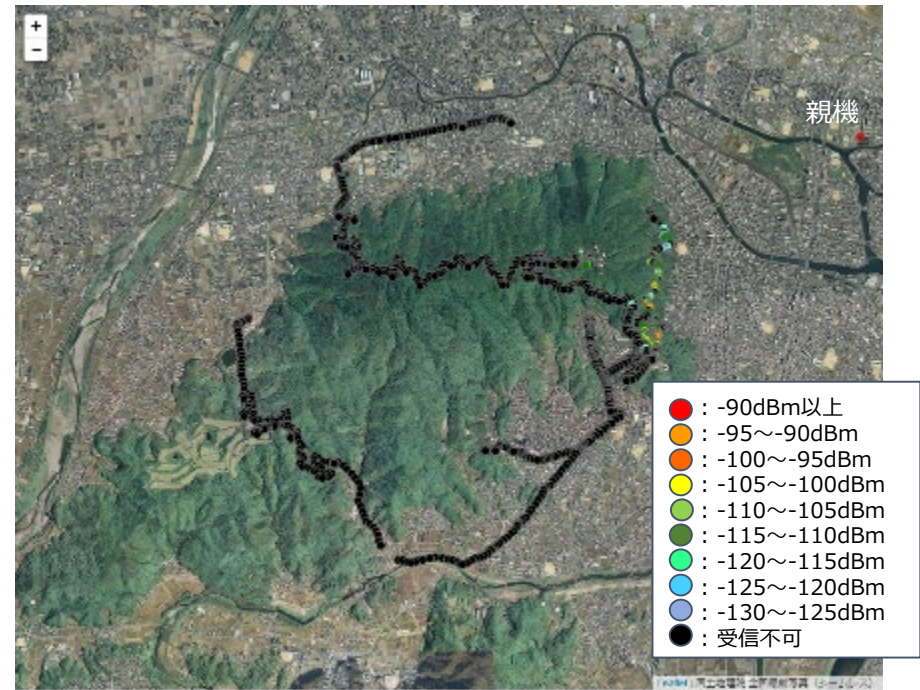
## 移動しながらの計測

150MHz帯(送信電力1W)



国土地理院地図 全国最新写真（シームレス）を加工

920MHz帯(送信電力20mW)



国土地理院地図 全国最新写真（シームレス）を加工

920MHz帯の無線機の送信出力は20mWであり、送信出力1Wのデジタル簡易無線機とは約17dBm異なる。  
デジタル簡易無線機の受信感度は約-116dBm、920MHz帯無線機の受信感度は約-140dBmと24dBm異なる。

送信電力の差より受信感度の差の方が大きいことから、**送信電力の差を加味しても920MHz帯の通信機で通信不可能な場所で150MHz帯の通信機が通信可能**であることが分かる。

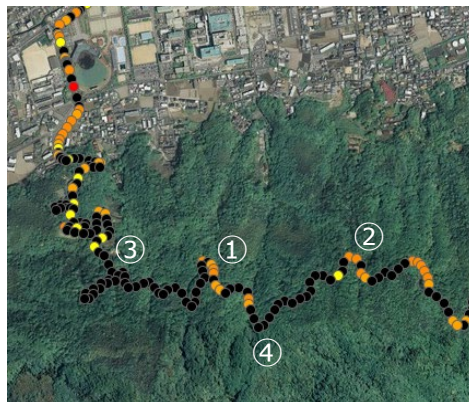
※山間地は約20km/h以下で走行

# 屋外検証（電波伝搬測定結果の検証）

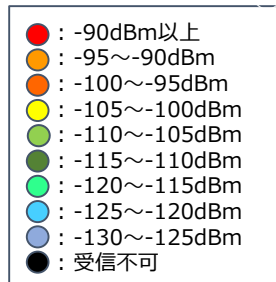
■ 山間地や山の尾根に囲まれた場所でも、**フレネルゾーンを確保し、回折による伝搬損失（回折の回数）が少なければ通信可能**であった。

## 地形・干渉波が所要データの取得に与える影響

150MHz帯 子機送信出力1W  
通信可能な場所と不可能な場所の比較を行った。

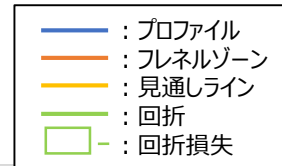
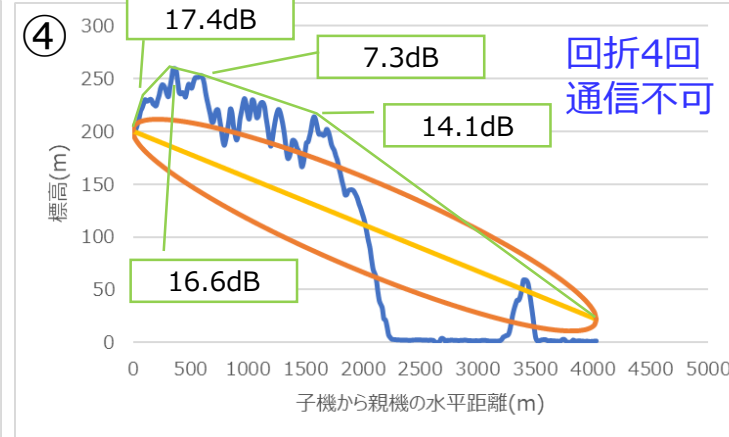
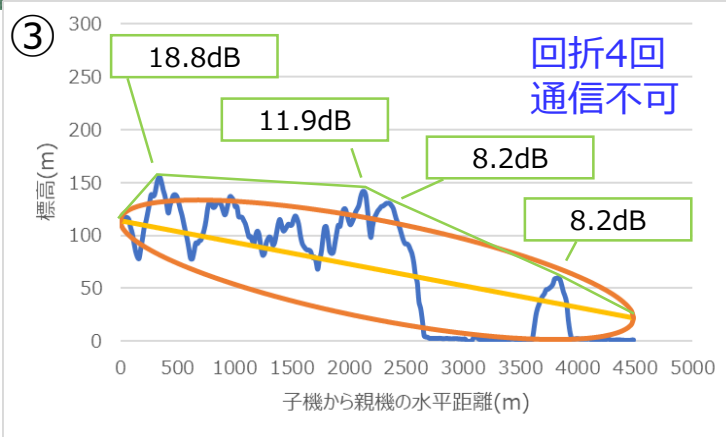
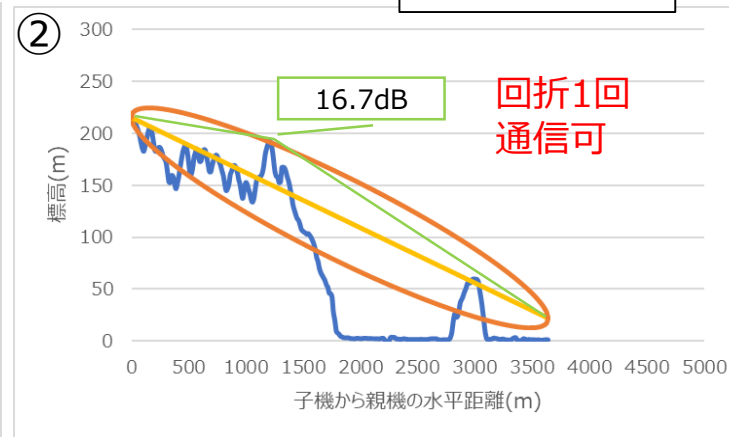
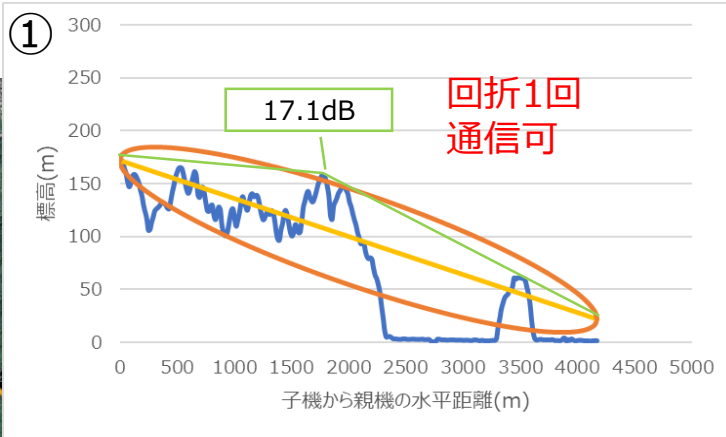


国土地理院地図 全国最新写真（シームレス）を加工



受信レベル

【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】

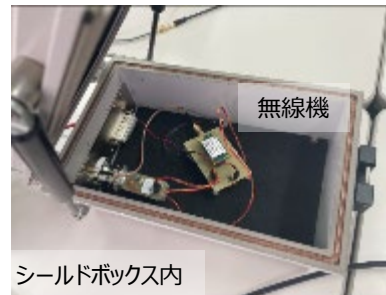
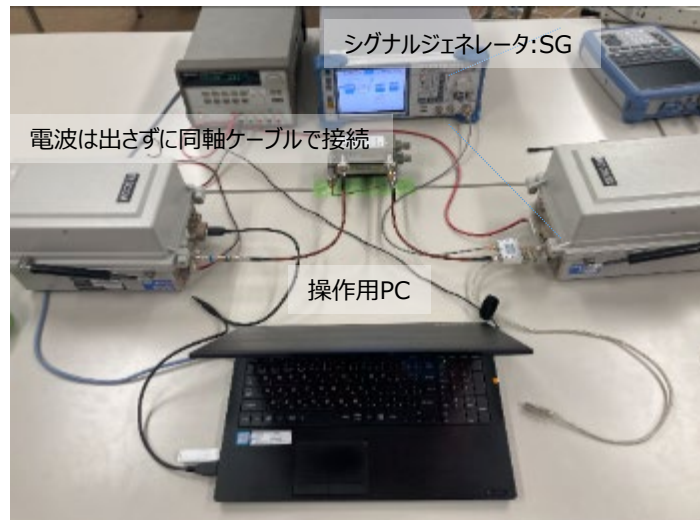


# 屋内検証 (環境構築、再送機能及びキャリアセンス機能の検証)

- テレメトリーシステムの機能確認、データレート、PERを測定するための検証環境を構築した。
- 欠落データの再送技術の機能、キャリアセンス機能が正常に動作することを確認した。

## 検証環境

機器構成はp.6記載の通り  
PER測定の際には、周囲の雑音の影響を受けないようにシールドボックス内に無線機を入れる



屋内検証 機器諸元

項目	
測定周波数	158.49MHz
空中線電力	50mW (検証中は電力を落として使用)
変調方式	LoRa SF7~12
占有周波数帯幅	7.8kHz
受信感度	-134dBm

## 機能確認

- 再送機能確認
  - 方法：親機がDATA受信後にACKを返さないうプログラムの動作させた時に子機が再送を行い、親機がACKを返すようにプログラムの動作させた時に子機の再送が止まることを動作ログで確認
- キャリアセンス機能確認
  - 方法：子機に対してSGにより干渉を与え、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

⇒再送機能が正常に動作することを確認

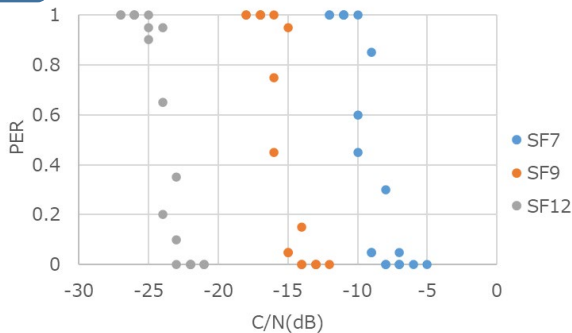
⇒キャリアセンス機能が正常に動作することを確認

# 屋内検証 (PER、データレート測定)

- C/N比を変化させてデータ送受信を行った場合の、PERを明らかにした。希望波に対して約8~10dB (SF7) 大きな電力の妨害波の時まで受信可能であった。
- 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) を明らかにした。最大送信可能数は1秒当たり約0.24回 (SF7)であった。
- PERが悪化した場合でも、データ到達確率を上げるために再送機能が有効である。

## PER測定

【屋内検証 C/N比に対するPER】

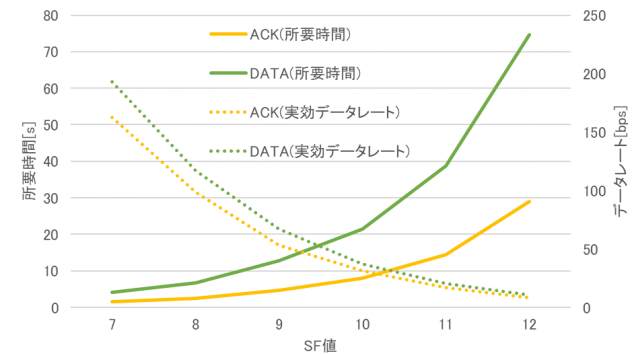


データ受信時のレベルに対して  
**SF7:約8~10dB**  
**SF9:約14~16dB**  
**SF12:約23~25dB**  
 大きな電力のノイズレベルの  
 時まで受信可能

※C、Nのレベルは無線機の機能を用いて測定  
 ※C:希望波受信時の受信レベル、N:ノイズレベル

## データレート測定

【通信所要時間とデータレート】

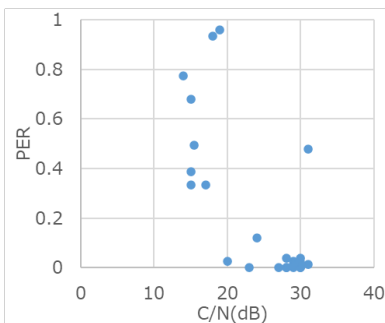


最大送信可能数は  
**1秒当たり0.24回(SF7)**

※所要時間は、子機又は親機において送信を開始してから送信を完了するまでの時間を計測  
 ※データレートは、右記の計算式により 算出データレート=送信データサイズ÷所要時間

## 再送機能の検討

【屋外検証 C/N比に対するPER】



データ受信時のレベルに対して  
**約14~20dB**  
 小さな電力のノイズレベルの  
 時まで受信可能

屋内/外検証でPERが悪化するC/N比を明らかにした。  
 ⇒電波伝搬特性上不利な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。  
 実際のシステム構築にあたっては、**子機設置箇所毎にPERから  
 必要な再送回数を算出し、再送機能を動作させる**ことが望ましい。

※PER測定時のパケットは、センサデータ送信単位を1パケットとして評価を行った  
 ※パケットは複数フレームにまたがる場合もある  
 ※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  
 ※再送機能は、データ到達の成功/不成功に関わらず常に連送する方法や、必要なデータ取得頻度よりも  
 頻度を上げて送信することも構わない

# 子機収容可能数の検討

- LPWA方式を用いたテレメトリーシステムの親機1台に対する子機の最大収容可能数を机上計算した結果、SF7の場合は92台であった。
- デジタル簡易無線を用いたテレメトリーシステムの親機1台に対する子機の最大収容可能数は、SF7の場合より理論値で約2倍以上多くなる。
- 1時間に1回のデータ発生頻度を想定した場合、LPWA方式(SF7)の場合もデジタル簡易無線を用いた場合も子機の収容台数の要件60台を満たすことが分かった。
- 一方で、データ発生頻度を高める必要が生じた場合、例えば10分に1回のデータ発生頻度を想定した場合、LPWA方式(SF7)では収容台数の要件を満たせなくなる可能性があることが判明した。

## 1波当たりの子機収容可能数の検討（親機1台で収容可能な子機の台数）の机上計算

- 方法：MAC層衝突回避制御として、Pureアロハ方式を用いた場合の最大収容可能数を算出 参考資料：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.
- 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

【前提条件】	項目	前提条件	根拠
	データ容量	690byte	センサデータサイズの要件 最大54byte+ 制御情報15byte
	ACKのデータ容量	31byte	ACKデータサイズ16byte+ 制御情報15byte
	データレート	約163bps(SF7)、 約53bps(SF9)、 約9bps(SF12)	屋内検証結果のデータレートの実測値(実効データレート)
	データ発生頻度	<b>1時間に1回</b> 又は <b>10分に1回</b>	災害予測に必要なセンサデータの収集頻度を1時間に1回~10分に1回と想定

## 【最大収容可能数の机上計算】

SF7,9,12に対する最大収容可能数（台）

データ発生頻度	SF7	SF9	SF12
1時間に1回	<b>92</b>	30	5
10分に1回	15	5	0

LPWA方式のシステムについて、

センサデータ発生頻度**1時間に1回**を想定した場合、**SF7の場合に、子機収容台数の要件60台を満たす**

センサデータ発生頻度を10分に1回を想定すると、**収容可能数はSF7の場合でも約15台となり、要件の60台に達しない**

※**デジタル簡易無線を用いた場合**の最大収容可能数

デジタル簡易無線のデータレートは、SF7の場合のデータレートより理論計算上2倍以上速い **最大収容可能数も理論的には2倍以上多くなる**

**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

# テレメトリーシステム導入のメリットの検証 (地方公共団体へのアンケート及び有識者へのヒアリング)

- 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。
- テレメトリーシステムの導入は、システム導入しない場合（目視による確認）の課題解決に有用であるが、地方公共団体は100万円以下と安価なシステムを求めていることが分かった。

## ■ 検証方法

- 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※1 **効果**：有識者にヒアリング※2 **課題**：地方公共団体へのアンケート調査※1
- 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※3、（導入可能な費用感）地方公共団体へのアンケート調査※1 **効果、課題**：有識者にヒアリング※2、地方公共団体へのアンケート調査※1
- 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(アンケート結果)
- 現地に出向き目視確認(89%)、その他(9%)（その他の回答も、パトロール中に目視確認する等）⇒**システムを導入しない場合の管理方法は「目視による確認」として比較**

※1 実施期間：2021年12月から2022年1月 対象：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) 四国4県内の84地方公共団体(市町村)  
※2 実施日：2022年3月 対象：徳島大学大学院 上野 勝利 准教授(地盤工学、基礎工学)  
※3 実施日：2022年4月 対象：150MHz帯無線機製造・販売メーカー

	システムを導入しない場合(目視による確認)	システムを導入する場合
費用	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認の現地での平均作業人数：平均2.0人(回答数75)</li> <li>目視確認の1回の所要時間：平均1.7時間(回答数54)</li> <li>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</li> <li>人件費以外の費用：平均3.7万円(回答数44)</li> <li>公務員の給与：平均給与月額359,895円 (参考：<a href="https://www.soumu.go.jp/main_content/000784529.pdf">https://www.soumu.go.jp/main_content/000784529.pdf</a>)</li> <li>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： <math>2.0 \times 1.7 \times 6.7 \times 2399.3 \div 5.5</math>万円</li> <li>目視にかかる費用：人件費+人件費以外の費用=<b>9.2万円</b></li> </ul>	(システム イニシャルコスト、ランニングコスト) <ul style="list-style-type: none"> <li>初期費用 <b>子機1機当たり約145万円、親機230万円</b></li> <li>ランニングコスト(クラウドを使用する場合)：<b>20-50万円/年</b></li> <li>※システムの運用保守を外部に委託する場合は、別途費用が必要(導入可能な費用感)(回答数85)</li> <li>• <b>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%</b></li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <b>安価なシステムが求められており、コストが高いと導入できない</b> </div>
効果	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術者の確保が少数で良くなる</li> <li>判断の精度が技術者の知識技能によらず一律化される</li> <li>定期的なデータ収集が可能</li> <li>担当者の安全が確保される</li> </ul>
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術者の知識、技能不足</li> <li>判断の精度</li> <li>定期的な実施が難しい</li> <li>担当者の安全性の確保が難しい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>予算確保が難しい</li> <li>システム管理の人員が割り当てられない</li> <li>管理対象が少ないため不要</li> <li>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</li> </ul>



# 検討結果

- 実施した調査結果について検討し、以下の結論を得た。

## 検討

- 150MHz帯を使用し、データ再送機能及びキャリアセンス機能※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。

※150MHz帯デジタル簡易無線免許局を用いた屋外検証用システムでは、キャリア・モニタリング機能により電波を検知した時に送信を停止することでキャリアセンスと同等の動作が可能

- 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。

- 実証にあたって、LPWA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。



# 検討結果

## 結論

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（右表）には、150MHz帯を使用することが有効である。
2. 当該システムの実用化にあたって、LPWA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は、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

テレメトリーシステム諸元表

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
子機収容可能数	最大60台

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考えます。

- ・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