

## 2.6.4 通信試験の概要

### 2.6.4.1 バックホール回線及びアクセス回線の連携による通信試験

#### (1) 試験環境

公衆携帯通信網と自営バックホール回線（公共 BB）及びアクセス回線を連携させるネットワーク構築、実証試験について、以下に述べる。

公衆携帯通信網の受信可能地点から山間部にある林業作業現場まで、バックホール回線（公共 BB）とアクセス回線を連携させることにより、公衆携帯通信網のエリア外の林業作業現場までオンライン環境を構築する。

まず、バックホール回線の構築では、公衆携帯通信網が受信可能な事業事務所を想定した場所に公共 BB 基地局を設置し、山間部の林業作業現場付近には公共 BB 終端局を設置する。さらに、林業作業現場が山奥にあり、事業事務所の公共 BB 基地局と直接通信が不可能なケースを想定し、公共 BB 基地局と公共 BB 終端局の両方と通信可能な地点に公共 BB 中継局を設置した。このように、今回の実証試験においては、公共 BB 無線局による無線多段中継は、実証エリア等を考慮して最小構成の3局とし、無線2区間のバックホール回線を構築した。

次にアクセス回線の構築では、公共 BB 終端局周辺に複数のメッシュ Wi-Fi AP による無線ネットワークを構成して、Wi-Fi インターフェースを具備する PC、スマートフォン、及びタブレット等が接続可能なアクセス回線を構築した。

バックホール回線からインターネット回線への接続は、公共 BB 基地局と LTE ルータを介して接続し、公衆通信網との連携ネットワークを実現した。

上記のバックホール回線・アクセス回線及び公衆携帯通信網との試験系統図を以下の図 2.8 に示す。

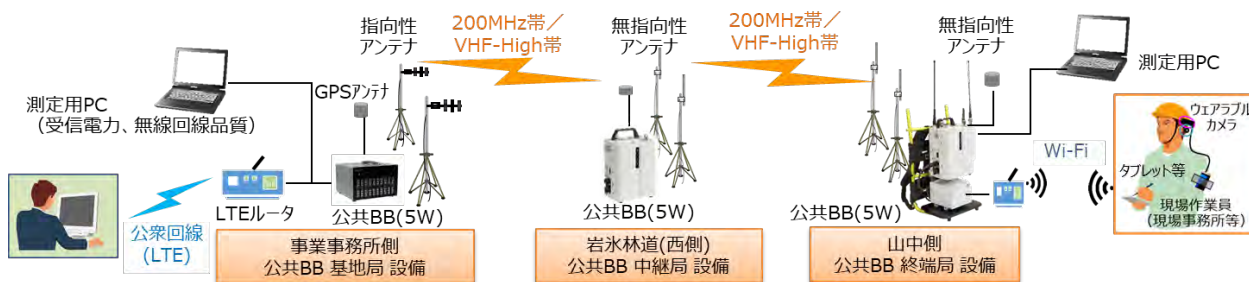


図 2.8 試験系統図（バックホール回線及びアクセス回線の連携による通信試験）

## (2) 試験内容

本試験では、無線伝搬特性及び機能確認の評価を実施した。それぞれの評価項目及び測定内容を表 2-13 に示す。

表 2-13 バックホール回線及びアクセス回線の連携による通信試験の試験内容

試験項目	評価項目	測定内容
無線伝搬特性	受信電力 (RSSI)、無線回線品質 (CINR)	<p>バックホール回線の無線伝搬特性評価として、公共 BB 無線局による無線伝搬特性を測定</p> <p>○条件：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・周波数帯：200MHz 帯</li> <li>・空中線：無指向性又は指向性</li> </ul> <p>○測定場所（無線局配置）：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・公共 BB 基地局（榛名の森 CC） ～公共 BB 終端局（岩氷林道（西～東））*</li> <li>・公共 BB 基地局（岩氷林道（西側）） ～公共 BB 終端局（山林内現場）*</li> <li>・公共 BB 基地局（榛名の森 CC） ～公共 BB 中継局（岩氷林道（西側）） ～公共 BB 終端局（山林内現場）*</li> </ul> <p>*林道及び斜面を移動しながらデータ取得</p>
機能確認	映像及び音声伝送	<ul style="list-style-type: none"> <li>・山中側（公共 BB 終端局）設備の無線機とウェアラブルカメラ又はスマートフォン等を Wi-Fi 接続し、林業作業現場から事業事務所想定（公共 BB 基地局）設備間にバックホール回線を構築する。</li> <li>・本回線を介して、映像及び音声のリアルタイム双方向通信を実施し、公共 BB 基地局設備の PC 又はスマートフォンにて映像及び音声を確認</li> </ul>
	位置情報伝送	各無線機に GPS アンテナを接続して測定した GPS 位置情報を事業事務所等（公共 BB 基地局）設備の PC またはスマートフォンにて確認
	業務用アプリ	山中側の無線機（公共 BB 終端局）と業務用タブレット等を Wi-Fi 接続し、バックホール回線（公共 BB）を介し、事業事務所等側設備に接続する PC にて、業務用アプリの動作を確認

### (3) 試験設備

#### 1) バックホール回線

##### a) 公共 BB 無線局

公共 BB 無線局の外観 (図 2.9) および仕様概要 (表 2-14) を以下に示す。なお、公共 BB 無線局には、アウトドアタイプとインドアタイプの 2 種類存在するが、アウトドアタイプは防水型、インドアタイプは小型軽量型と形状に違いがあるが、無線通信性能は同等である。本試験では、固定設置する公共 BB 基地局及び中継局はインドアタイプを使用し、公共 BB 終端局ではアウトドアタイプ (移動時\*) とインドアタイプ (固定設置時) の両方を使用した。インドアタイプは、今回の試行では台の上に設置したが、実用化の段階では、車内設置なども考えられる。

\* 車両が侵入できないエリアにおいて、無線局を徒歩移動運用する場合に、背負子を利用することを推奨。背負子 (約 4kg 程度) を含む無線機本体とバッテリー BOX を搭載した場合の総質量: アウトドアモデル搭載時: 約 18kg 以下 / インドアモデル搭載時: 約 15.5kg 以下。



(a) アウトドアタイプ (5W 出力機)

(b) インドアタイプ (5W 出力機)

図 2.9 公共 BB 無線局の外観

表 2-14 公共 BB 仕様一覧 (概要)

項目	仕様	
	アウトドアタイプ	インドアタイプ
周波数帯	200MHz 帯 (170.0MHz~202.5MHz)	
帯域幅	5MHz / チャンネル	
送信出力	5W	
防水	JIS C0920-2003 IPX4 準拠	—
寸法	240 (W) × 300 (H) × 180 (D) mm	210 (W) × 140 (H) × 197 (D) mm
質量 (本体)	7.3kg 以下	4.8kg 以下

## b) 空中線

バックホール回線を構成する公共 BB 無線局にて使用した空中線（5 素子八木アンテナ、ブラウンアンテナ、車載ホイップアンテナ、高利得ホイップアンテナ）の仕様を以下の表 2-15 に示す。なお、図面等の詳細情報は参考資料 4 に記載する。

表 2-15 公共 BB 空中線仕様一覧

#	アンテナ種別	仕 様
1	5 素子八木アンテナ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・使用周波数：195MHz</li> <li>・空中線利得：10.65dBi</li> </ul>
2	ブラウンアンテナ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・使用周波数：195MHz</li> <li>・空中線利得：2.15dBi</li> </ul>
3	車載ホイップアンテナ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・使用周波数：195MHz</li> <li>・空中線利得：2.15dBi</li> </ul>
4	高利得ホイップアンテナ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・使用周波数：195MHz</li> <li>・空中線利得：4.14dBi</li> </ul>

## 2) アクセス回線（メッシュ Wi-Fi）

メッシュ Wi-Fi の外観（図 2.10）及び仕様一覧（概要）（表 2-16）を以下に示す。本試験時では、2.4GHz 帯を使用した（5GHz 帯：設定 OFF）



図 2.10 メッシュ Wi-Fi AP の外観

表 2-16 メッシュ Wi-Fi AP 仕様一覧（概要）

項 目	仕 様
周波数帯	2.4GHz 帯、5GHz 帯* IEEE802.11a/b/g/n/ac/ax
送信出力	200mW 未満
寸 法	110(W) × 114(H) × 110(D)mm
質量（本体）	590g

\*：実験時は 2.4GHz 帯を使用（5GHz 帯：設定 OFF）

## 2.6.4.2 簡易無線による通信試験

### (1) 試験環境及び試験内容

簡易無線局を定点に配置し、もう一方の簡易無線局を移動させながら、複数ポイントでの通信試験を実施した。簡易無線局による通信試験の試験系統図を図 2.11 に示す。



図 2.11 試験系統図 (デジタル簡易無線による通信試験)

### (2) 通信試験

本試験では、無線伝搬特性及び機能確認の評価を実施した。それぞれの評価項目及び測定内容を表 2-17 に示す。

表 2-17 簡易無線による通信試験の試験内容

試験項目	評価項目	測定内容
無線伝搬特性	音声メリット*	デジタル簡易無線 (携帯型) を用い、以下の区間における音声メリット*を評価する。 ・岩氷林道 (西側) ~ 岩氷林道沿い (西~東~南) (移動しながら複数ポイントにてデータ取得)
機能確認	音声通話	同上
	位置情報伝送	デジタル簡易無線 (GPS ユニット内蔵) の機能を用いて、自局の位置情報を音声又はデータで通知し確認する。また、GNSS 受信機の位置情報も参考値として記録する。

\* 音声明瞭度の主観評価値 (1~5 の 5 段階 (5 が最良))。明瞭度の評価値を表 2-18 に示す。

表 2-18 音声明瞭度の評価値

メリット	評価値
5	非常に良い (良好)
4	良い (ほぼ良好)
3	普通 (ほぼ了解できる)
2	悪い (途切れる)
1	非常に悪い (聞き取れない)

### (3) 試験設備

#### 1) 簡易無線局

簡易無線局(デジタル簡易無線)の外観、及び仕様一覧(概要)をそれぞれ、図 2.12、及び表 2-19 に示す。本試験では、GPS モジュール内蔵(GPS 単独測位(マルチ GNSS 非対応))のデジタル簡易無線を使用した。



図 2.12 デジタル簡易無線局の外観

表 2-19 デジタル簡易無線仕様一覧(概要)

項目	仕様
周波数帯	351MHz 帯 (登録局)
送信出力	5W
変調方式	4 値 FSK (音声 2.45kbps+FEC 1.15kbps、音声符号化 : AMBE+2*)
寸法	56(W)×92(H)×29(D)mm (カタログ値)
質量	約 240g(付属アンテナ、電池込み)
測位方式	GPS 単独 (マルチ GNSS 非対応)

\* AMBE+2™ Enhanced Half-Rate

## 2) GPS ロガー

GPS ロガーの外観、及び仕様一覧（概要）を、それぞれ図 2.13、及び表 2-20 に示す。  
本試験では、マルチ GNSS 測位（QZSS 対応）の GPS ロガーを使用した。また、平均測定機能（定点測定向け）は、今回移動（トレース）記録するため OFF とした。



図 2.13 GPS ロガーの外観

表 2-20 GPS ロガー仕様一覧（概要）

項目	仕様
寸法	54(W) × 103(H) × 33(D)mm
質量	148g（電池込み）
測位方式	マルチ GNSS（QZSS 対応）
備考	3 軸電子コンパス、気圧高度計 平均位置測定機能

## 2.6.5 試験結果

バックホール回線（公共BB）とアクセス回線（メッシュ Wi-Fi）を連携させた試験環境及び連絡無線（簡易無線局）により構築した試験環境において実施した無線伝搬試験及び機能確認試験の試験結果について報告する。

なお、実証試験は前述のとおり、令和3年11月、令和4年1月、及び令和4年2月に掛けて、計6日間実施した。このうち、実証スケジュールの関係から、2月度(降雪期)においては、積雪直後の実証試験となった。

### 2.6.5.1 バックホール回線及びアクセス回線の連携による通信試験

#### (1) 無線伝搬特性

無線通信試験では、バックホール回線を構成する公共BB無線局による無線伝搬特性の測定を実施した。

##### 1) 榛名の森カントリークラブ（以下、榛名の森CC）～岩氷林道（西～東）【車両移動】

榛名の森CCに公共BB基地局を設置し、車両に設置した公共BB移動局にて移動しながら受信電力の測定を行った。また、移動車両側の位置測定においては、マルチGNSS非対応の公共BB移動局と、マルチGNSS測位（QZSS対応）のGPSロガーにより、2種類を取得した。

各拠点に設置した無線設備を図2.14～図2.24にそれぞれ示す。

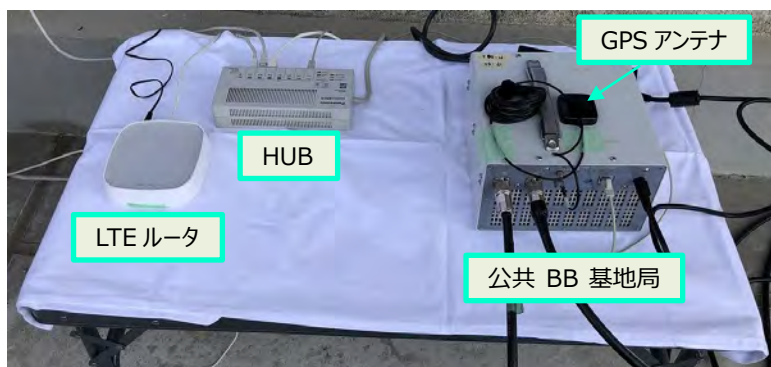


図 2.14 公共BB基地局設備外観（榛名の森CC）





図 2.15 公共 BB 基地局 5 素子八木アンテナ外観 (榛名の森 CC)



図 2.16 公共 BB 中継局設備外観 (岩氷林道 (西側))



図 2.17 公共 BB 中継局 ブラウンアンテナ外観（岩氷林道（西側））

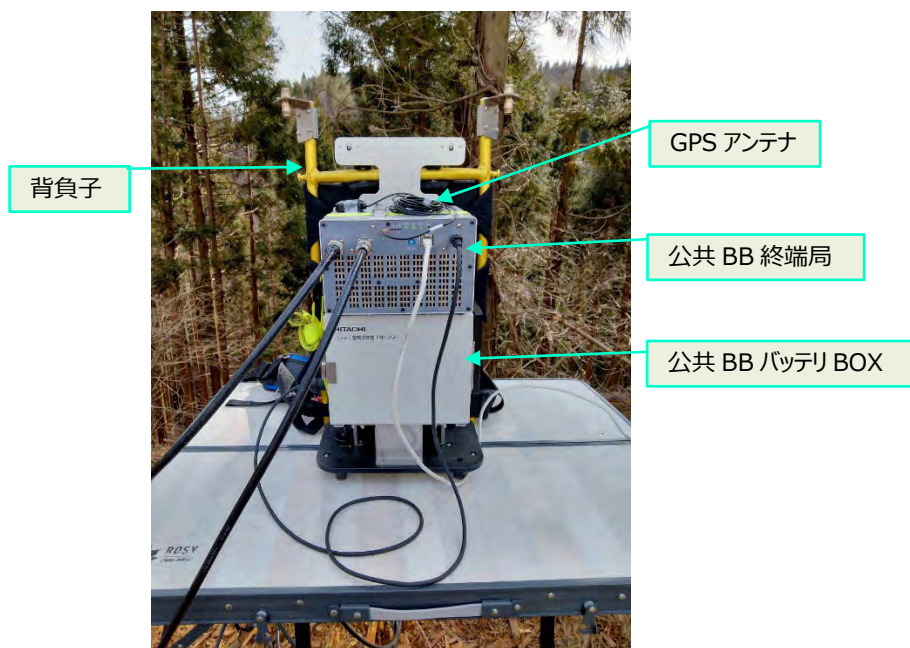


図 2.18 公共 BB 終端局設備外観（固定設置時）（作業現場 A）

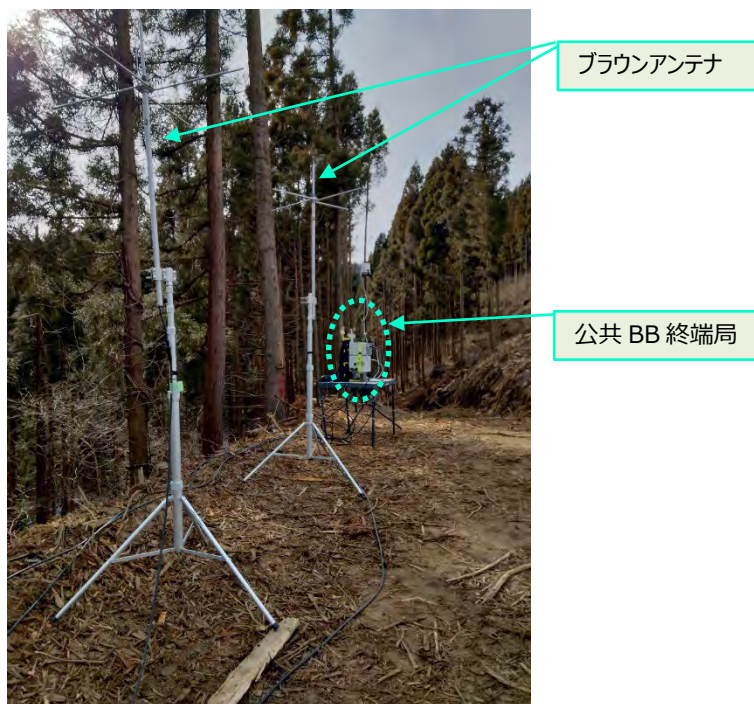


図 2.19 公共 BB 終端局設備外観（固定設置時）（作業現場 A）

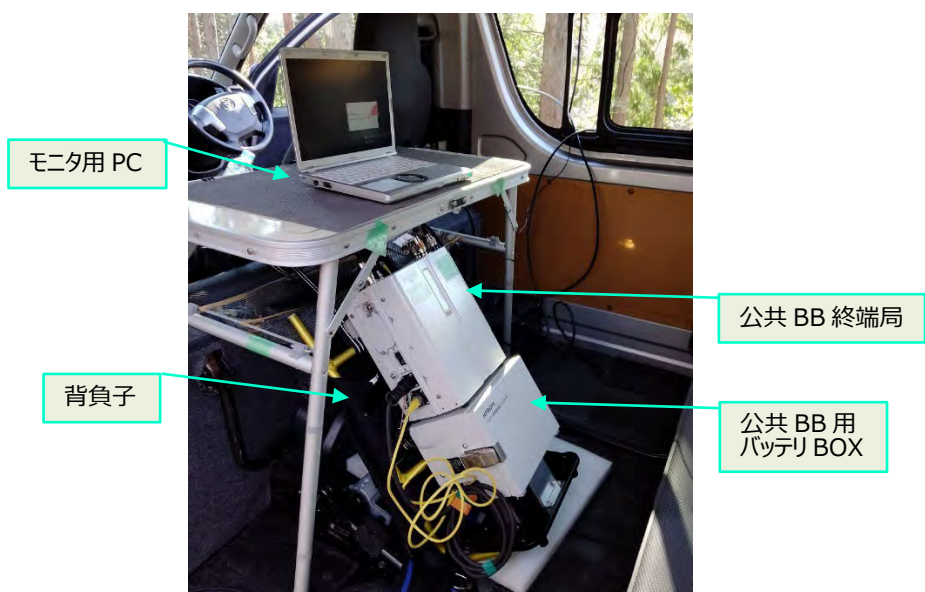


図 2.20 公共 BB 終端局設備外観（車両移動時）



図 2.21 公共 BB 終端局設備（車載アンテナ）外観（車両移動時）

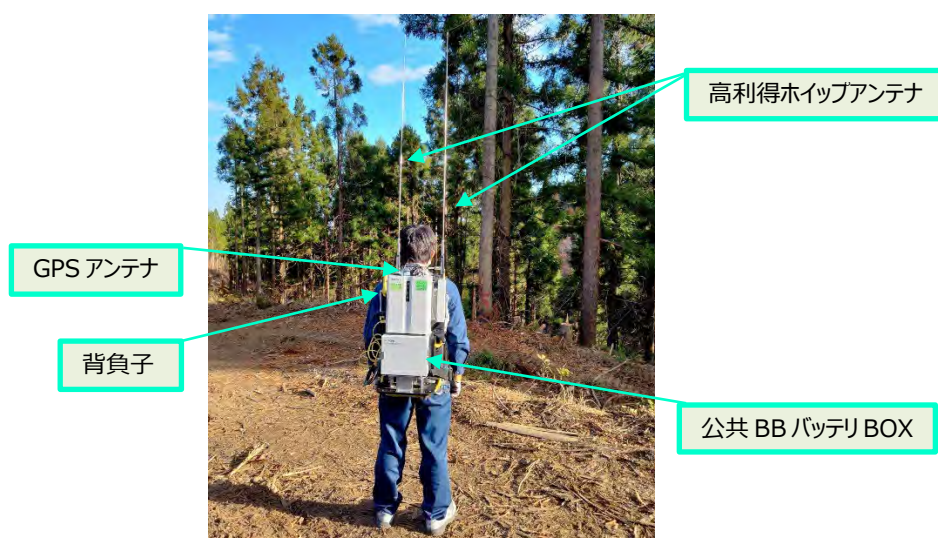


図 2.22 公共 BB 終端局設備外観（歩行移動時）

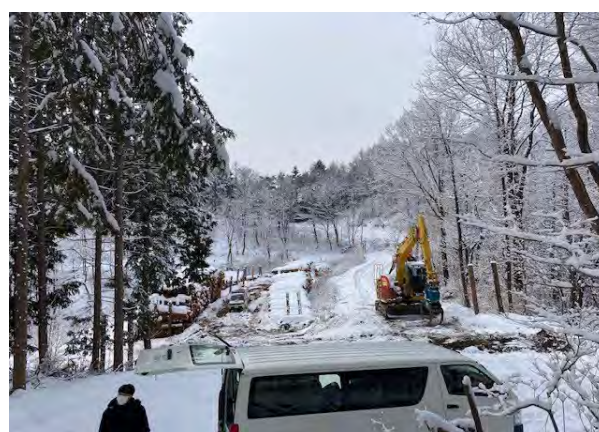


図 2.23 公共 BB 終端局 降雪期の測定前の準備風景（岩氷林道（西側））

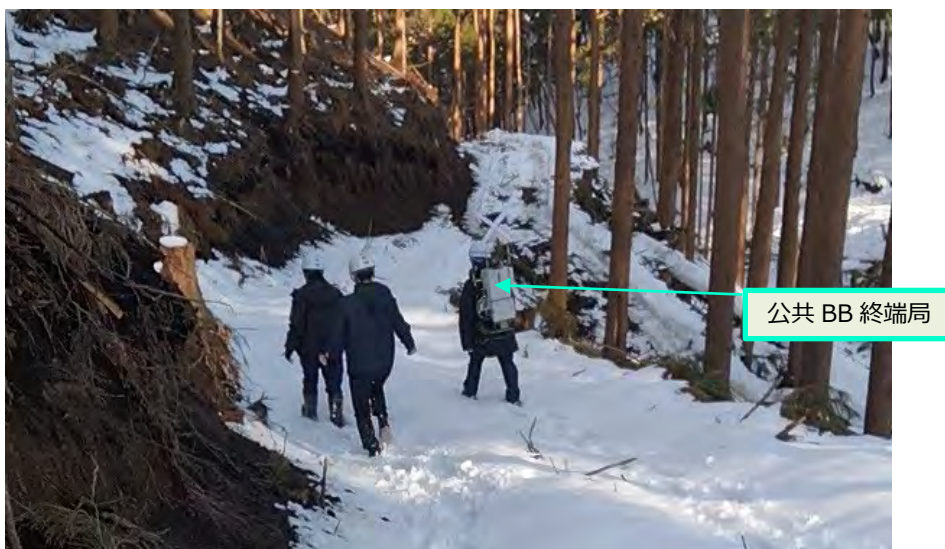


図 2.24 公共 BB 終端局 降雪期の歩行移動測定（岩氷林道（窪地））

本測定時の条件、並びに、測定前に実施した受信電力分布の伝搬シミュレーションにおける空中線条件一覧を以下の表 2-21 に示す。

表 2-21 各拠点の空中線条件一覧

空中線の条件	公共 BB 基地局 榛名の森 CC	公共 BB 終端局 岩氷林道
空中線種別	5 素子八木アンテナ	車載ホイップアンテナ
空中線高	2.5m	2 m

送信局を榛名の森 CC に設置した場合の受信電力の伝搬シミュレーション結果と、移動する車両にて実測した受信電力を地図上にプロットした図を以下の図 2.25、図 2.26 にそれぞれ示す。また、実測した受信電力をプロットする際に用いる GPS 位置情報を、前記のマルチ GNSS 非対応の公共 BB 終端局で測定したデータと、マルチ GNSS 測位（QZSS 対応）の GPS ロガーで測定したデータの 2 種類について比較する。

（注）伝搬シミュレーション条件： 自由空間伝搬損失に地形による回折損失(\*)・近接リッジ損失、及び周辺の損失状態を考慮した土地係数による補正值を採用。

地形読み取りに用いた標高データのサイズは、50m 四方とした。

\*1：今回の実証試験目標値（中継局）：-60dBm 以上（変調方式：64QAM（符号化率  $r=1/2$ ））

\*2：ナイフエッジ回折モデル