

測定した受信電力は、伝搬シミュレーション結果に対して概ね 5dB 以内の差であった。これより、伝搬シミュレーションと実測値にほぼ、整合性があることが確認できた。また、位置情報取得に際しては、マルチ GNSS 対応の受信機を用いた方がバラつきの小さい結果が得られていることが確認できた。

2) 岩氷林道（西側）～作業現場 A【背負子移動】

岩氷林道（西側）に公共 BB 基地局を設置し、岩氷林道（窪地）では、公共 BB 終端局を背負子に設置し、前記図 2.4 及び図 2.5 に示すルート 1 及びルート 2 を歩行移動しながら受信電力の測定を実施した。また前記①の試験と同様、本試験でも GPS 単独測位データ及びマルチ測位データの 2 種類を取得した。

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の一覧を以下の表 2-22 に示す。

表 2-22 各拠点の空中線条件一覧

空中線の条件	公共 BB 基地局 岩氷林道西側	公共 BB 終端局 作業現場 A
空中線種別	ブラウンアンテナ	高利得ホイップアンテナ
空中線高	4m	2m

次に、受信電力の伝搬シミュレーション結果と受信電力実測値を地図上にプロットした図を図 2.27、図 2.28 にそれぞれ示す。また、受信電力値をプロットする際に用いる GPS 位置情報を、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。

- ・ GPS ロガーでの測定時、平均化機能 OFF

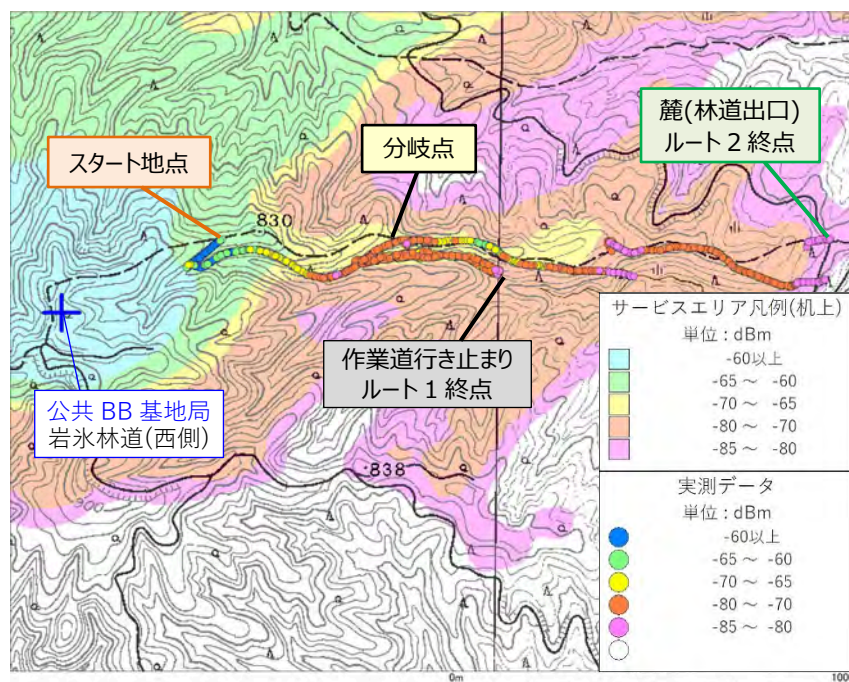


図 2.27 受信電力測定結果（岩氷林道（西側）→歩行移動）（マルチ GNSS 非対応）

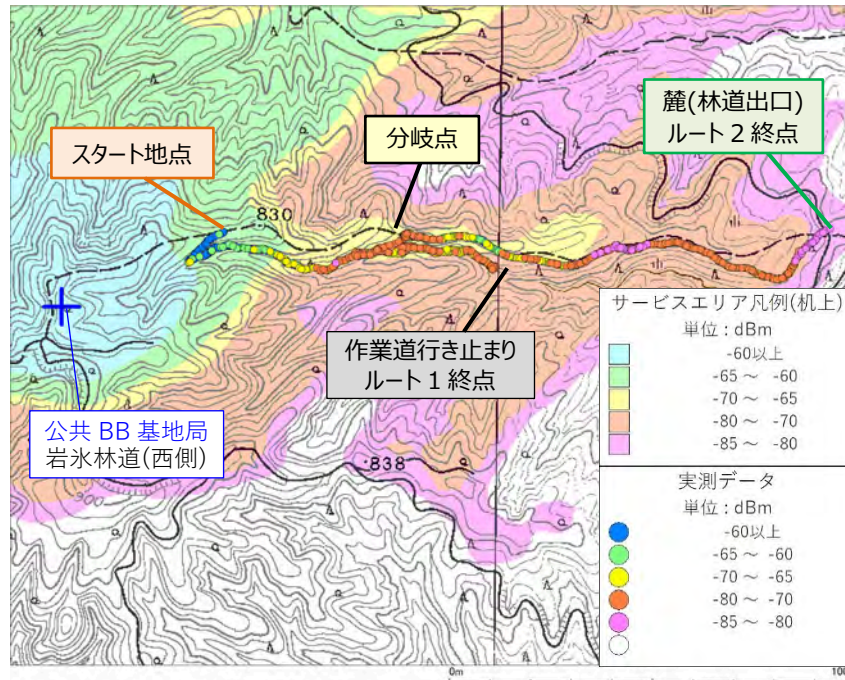


図 2.28 受信電力測定結果 (岩氷林道 (西側) → 歩行移動) (マルチ GNSS 対応)

本試験においても、伝搬シミュレーション結果に対して概ね 5dB 以内の差となる結果が得られている。また、受信電力のプロット位置は、マルチ GNSS 対応の位置情報を用いた方がバラつきが小さく、林道上に連続した位置にプロットできていることが確認できる。

次に、公共 BB 基地局と歩行ルート上の公共 BB 終端局との間の無線伝搬路の見通し状況と受信電力の関係について説明する。送受信アンテナ間の無線伝搬路において、山岳斜面による遮蔽によって無線信号の回折が生じると、受信電力を低下させる要因となりうる。そこで、本試験の歩行ルート上の各地点の回折数と、伝搬シミュレーション結果による受信電力分布を図 2.29 に示す。この図よりわかる通り、作業現場 A は、ルート 1, ルート 2 ともに、見通し通信が可能な場所は限定的であり、見通し外の通信環境となっている。また、伝搬シミュレーション結果と同様に、実測データにおいても回折数が多いほど受信電力が低下する傾向が認められる。

以上の結果より、公共 BB は、見通し外通信環境においても、VHF 帯の良好な伝搬特性による安定した通信が可能であることが確認できる。

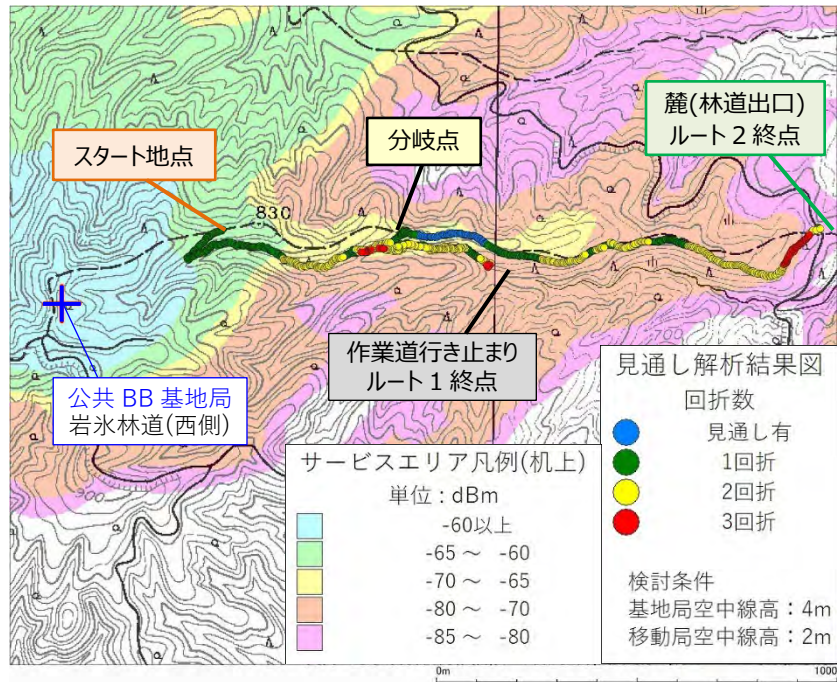


図 2.29 歩行ルート上の回折数と受信電力（机上計算値）

3) 榛名の森 CC～岩氷林道（西側）～作業現場 A

榛名の森 CC に公共 BB 基地局を設置し、岩氷林道（西側）に公共 BB 中継局を設置し、山林内現場に公共 BB 移動局を設置し、公共 BB 無線局 3 台によるバックホール回線の無線 2 段中継回線を構築した。

各拠点における空中線の条件を以下の表 2-23 に示す。

表 2-23 各拠点の空中線条件一覧

	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 作業現場 A
空中線種別	5 素子八木アンテナ	ブラウンアンテナ	ブラウンアンテナ
空中線高	2.5m	4m	2m

2つの無線区間の受信電力及び無線回線品質の測定データを以下の表 2-24 に示す。

表 2-24 各無線区間の伝搬特性（受信電力、無線回線品質）

上位局	下り回線 【上位局 → 下位局】		上り回線 【上位局 ← 下位局】		下位局
	受信電力 [dBm]	無線回線 品質[dB]	受信電力 [dBm]	無線回線 品質[dB]	
公共 BB 基地局 榛名の森 CC	-59	29	-54	30	公共 BB 中継局 岩氷林道西側
公共 BB 中継局 岩氷林道西側	-57	27	-55	29	公共 BB 終端局 作業現場 A

本試験では、無線中継する2つの無線区間の受信電力の目安として、令和2年度のほか過去の調査検討データを勘案し、-60dBm（変調方式：64QAM（ $r=1/2$ ））以上を目標値とした。今回、効率的に実証試験を進める上から、伝搬シミュレーションにおいて、受信電力（RSSI）が目標値を満たす条件から、公共BB中継局の配置場所（無線局の置局）を選定、決定する手法を用いた。ついで、この選定場所において、受信電力、CINRの実測を行った。

その結果、選定した2つの無線区間の双方向において、受信電力が-60dBm以上となる結果が得られ、音声や映像の安定に双方向通信が実現できる無線回線品質が得られることを確認した。ここで、無線回線品質の評価基準であるCINR値は、表2-24に示す通り変調方式（64QAM（ $r=1/2$ ））において、無線伝送路でのビット誤り率（BER）が 1×10^{-6} 以下を満たすために必要な所要CINR値=20dBよりも、7~10dB高い値が得られた。

これにより、公衆携帯通信網の受信可能地点から山間部の林業作業現場周辺にオンライン環境を構築するにあたり、公共BB無線局を用いて、バックホール回線を構築することが可能であり、その有効性を実証した。

ここで、上述の変数（ r ）は、符号化率（ $1/2$ ：情報ビット数と誤り訂正用ビット数の比率が均等）である。なお、公共BB無線局は変調方式16QAM及びQPSKを具備している。因みに、16QAM及びQPSKの所要CINR値は、それぞれ14dB及び7dBである。また、所要値が下がるほど低い受信電力でも通信が可能であるが、情報伝送量（スループット）が低下する相反関係にある。

また、降雪後の環境における実証結果については、従来の各種実証試験結果と比較して、特段、伝搬特性上の顕著な差異は認められていない。なお、降雪後と非降雪時（夏季）の伝搬特性の比較結果については、例えば、総務省信越総合通信局調査検討報告「中山間地域における公共BBの有効利用を図るための上空利用に関する調査検討報告書」（令和2年3月）*において、公共BBの実証結果として、差異が認められない旨の報告がある。

* https://www.soumu.go.jp/main_content/000678209.pdf

(2) 機能確認試験

1) 機能確認試験の無線装置

①バックホール回線及びアクセス回線の設置状況（作業現場）

機能確認試験を実施した作業現場におけるバックホール回線（公共 BB 終端局）及びアクセス回線（メッシュ Wi-Fi AP1～AP4）の設置状況を図 2.30 及び図 2.31 示す。

メッシュ Wi-Fi AP1 は、公共 BB 終端局と LAN ケーブルによる有線接続により、バックホール回線とアクセス回線の接続を行い、メッシュ Wi-Fi AP2～AP4 との無線多段中継により、作業現場周辺にアクセス回線の通信エリアを構築した。

作業現場の林業従事者は、スマートフォンまたはタブレットをアクセス回線と Wi-Fi 接続し、バックホール回線を介して事業事務所（榛名の森 CC）及びインターネット回線との通信を行うことが可能となる。

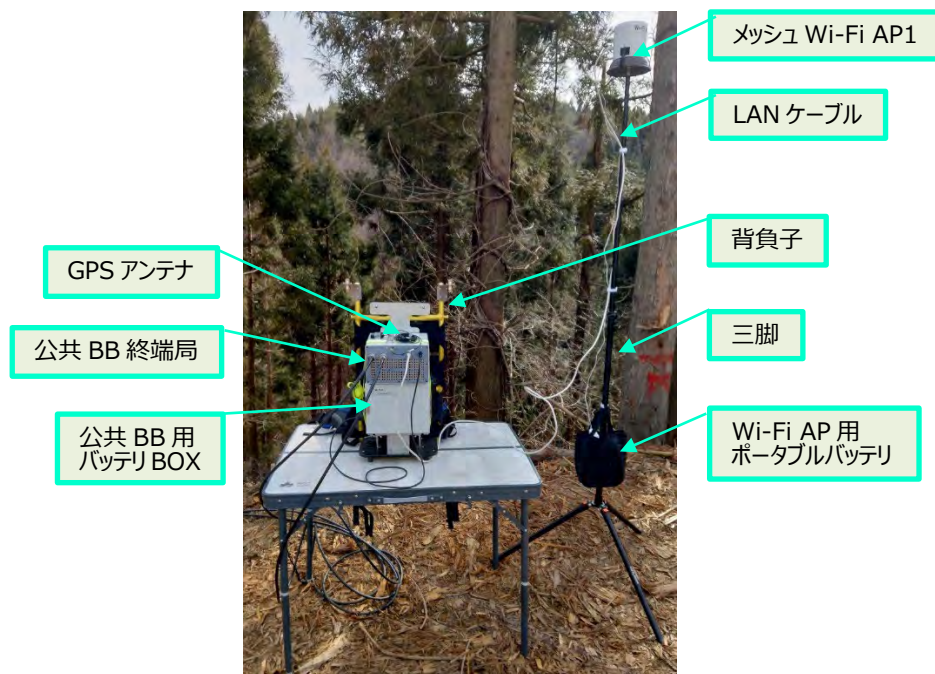


図 2.30 バックホール回線とアクセス回線の接続（作業現場）



図 2.31 アクセス回線（メッシュ Wi-Fi AP2～AP4）の設置状況（作業現場）

② 公共 BB 無線装置の周波数（VHF-High 帯）

本機能試験は、VHF-High 帯（中心周波数 214MHz）を使用する公共 BB 装置を用いて実施している。

VHF-High 帯については、現在、総務省「放送用周波数の活用方策の検討分科会」において、活用方策が審議されており、今回、特定実験試験局制度において開設した無線局を用いて実証試験を実施した。なお、当該帯域は、ガードバンド（5MHz 幅）を挟み公共 BB の帯域に隣接する上側帯域である。

令和 2 年度における調査検討報告書において提言された VHF-High 帯の活用方策の有効性を踏まえ、200MHz 帯以外に VHF-High 帯の周波数を使用し、機能確認試験を実施した。この結果、上記表に示す 200MHz 帯域の結果と同様に、VHF-High 帯域で構築したバックホール回線においても、所期のアプリ機能が円滑に動作することが確認でき、本帯域の活用の有効性が検証された。

2) 試験項目および確認結果

機能確認試験では、林業現場で各種アプリケーションの動作確認を行い、すべてのアプリケーションが良好に動作することを確認した。各試験項目及び試験結果一覧を表 2-25 に示す。

表 2-25 機能確認試験の評価項目及び確認結果

#	評価内容	使用機器及び使用アプリ	確認結果
1	映像及び音声伝送 (IP 双方向通信)	ウェアラブルカメラ	○
2		WEB 会議 (Microsoft Teams)	○
3	位置情報伝送 (データ伝送、チャット)	位置共有アプリ (スマートフォン)	○
4	業務アプリ (メール配信)	木材検収アプリ (スマートフォン)	○

今回実証したウェアラブルカメラと WEB 会議 (Microsoft Teams) の条件を以下に明記する。

- ウェアラブルカメラ*のスループット

上り (映像+音声) : 最大 2Mbps 程度
下り (音声) : 最大 400kbps 程度

*コーデック : H.265、解像度 : 最大フル HD (1920×1080) *1

遅延時間設定 (バッファ時間) : 2 秒*2

*1 : 通信速度に応じ適宜解像度を制御 (常時フル HD ではない)

*2 : 本試験では、便宜上、動画の滑らかさを重視し 2 秒を設定した。バッファ時間は、動画の滑らかさや待ち時間を調整する目的で設定する設定時間である。

- Microsoft Teams のスループット

上り (映像+音声) : 最大 1Mbps 程度

(今回実証したウェアラブルカメラの 1/2 程度。回線品質の変動によりアプリケーションで画質等を最適化)

下り (音声) : 最大 600kbps 程度

表 2-26 に各試験項目に対するスループット実測結果を示す。

表 2-26 各試験項目に対するスループット実測結果の事例（参考値）

試験項目	回線	公共 BB 装置種別	スループット[kbps]	
			最大	平均
ウェアラブルカメラ (チェーンソー)	下り 回線	基地局	—	—
		中継局	390	180
		終端局	340	180
	上り 回線	基地局	2,020	1,220
		中継局	2,020	1,200
		終端局	—	—
ウェアラブルカメラ (フォワード)	下り 回線	基地局	—	—
		中継局	410	240
		終端局	390	230
	上り 回線	基地局	2,020	1,040
		中継局	2,020	1,000
		終端局	—	—
Microsoft Teams	下り 回線	基地局	—	—
		中継局	590	330
		終端局	480	330
	上り 回線	基地局	1,060	650
		中継局	1,110	680
		終端局	—	—

以降に機能確認試験の結果を示す。

① ウェアラブルカメラ

作業現場 B において、チェーンソー及び重機運転を行う林業従事者（現場作業員）にウェアラブルカメラを装備した状態で、林業業務を実施し、作業員目線で撮影した映像を事業事務所（榛名の森 CC）に伝送した。

装備品並びに事業事務所で受信したキャプチャ画像を図 2.32 に示す。現場の鮮明な映像が事業事務所で確認できていることが確認できる。



図 2.32 ウェアラブルカメラを装備した現場作業員と撮影画像

② 業務用アプリ (株式会社ジツタ製の木材検収システム)

業務報告に使用する業務アプリ (木材検収アプリ) をスマートフォンで操作の様子と撮影画像及び事業事務所の伝送されたデータを図 2.33 に示す。現場と事業事務所の間で所望のデータ通信が行われ、木材検収アプリが利用可能になることを確認した。



(a) 業務アプリの操作



(b) 木材自動検収時の撮影画像



(c) 事業事務所 PC へ伝送した報告書

図 2.33 業務アプリの操作及び報告内容

③ 位置共有アプリ

林業従事者が携帯するスマートフォンにて取得した GPS 位置情報と、事業事務所周辺の作業者が携帯するスマートフォンにて取得した GPS 位置情報を、相互の位置共有アプリにて共有し、チャットでリアルタイムにメッセージを交換した。位置情報の共有とチャットのスマートフォン画面を図 2.34 に示す。相互間の位置情報確認とチャット機能が利用可能であることを確認した。



(a) 登録相手同士の位置表示状況

(b) 同アプリによるチャット (双方向)

図 2.34 位置情報伝送試験時の位置共有アプリのスマートフォン画面

④ WEB 会議 (Microsoft Teams)

WEB 会議システム (Microsoft Teams) を利用し、作業現場と (株) 日立国際電気本社 (@ 東京都港区) との間にて WEB 会議を実施した。WEB 会議中に互いの映像を送受信している PC 画面を以下の図 2.35 に示す。スクリーンショットからも確認できる通り、良好な映像の双方向通信が可能になり、双方向音声通話も可能になることを確認した。



図 2.35 WEB 会議 (Microsoft Teams) にて双方向音声・映像伝送しているときの PC 画面