

**令和4年度 森林・林業に係る
情報基盤整備に係る基本調査
通信環境構築マニュアル**

令和5年3月

林 野 庁

目次

【序】概説	1
1. マニュアルの目的	1
2. 林業分野の ICT・IoT 化に向けた全体像（将来構想）	6
3. 公共 BB を用いた通信システムについて	9
4. 通信環境構築実用化の構想	11
4.1 無線通信システムの概要.....	11
4.2 バックホール回線の概要.....	12
4.3 公共 BB 無線局置局場所の検討方法.....	13
4.4 伝搬シミュレータを用いた無線局置局検討.....	13
4.4.1 無線局の条件設定.....	13
4.4.2 伝搬シミュレーション結果出力.....	14
4.4.3 無線局置局検討方法.....	14
4.4.4 伝搬シミュレータの運用について.....	19
4.5 使用アプリの選定.....	20
【第 I 部】 基地局・中継用移動局・終端局（移動局） の設置について	21
1. 基地局の設置	21
1.1 設置場所の選定.....	21
1.2 作業の工程.....	26
2. 中継用移動局の設置	27
2.1 設置場所の選定.....	27
2.2 作業の工程.....	28
2.3 設置に向けた準備.....	31
2.4 中継用移動局の移設・増設が必要な場合.....	31
2.4.1 伝搬シミュレーション結果の事前確認.....	31
2.4.2 終端局（移動局）のアンテナ方向調整.....	32
2.4.3 中継用移動局の移設.....	32
2.4.4 中継用移動局の増設.....	32
2.5 長期稼働の展望.....	33
3. 終端局(移動局)の設置	34
3.1 設置場所の選定.....	34
3.2 作業の工程.....	36
3.3 作業現場の移動について.....	36

4. 無線局（基地局・中継用移動局・終端局（移動局））撤去及び移動手法	38
4.1 撤去に必要な作業.....	38
4.2 事業地を移動する場合の作業.....	38
4.2.1 アンテナの選定について.....	38
4.2.2 事業地の移動パターンとそれに伴う作業.....	39
5. 無線局の開設に向けた準備	42
5.1 無線局の開設手続き.....	42
5.2 無線従事者資格.....	42
6. 公共 BB 設置に係るコスト（事例による試算等）	43
6.1 設置時に係る経費.....	43
6.2 保守管理に係る経費.....	43
6.3 通信費の見込み.....	43
6.4 買取及びリースの比較.....	44
【第 II 部】使用事例と活用に関する留意点	45
1. 委託事業で活用したソフト	45
2. 位置情報共有確認	46
2.1 概要.....	46
2.2 機器構成.....	46
2.3 活用事例.....	46
2.4 想定される用途.....	47
2.5 必要な機材・ソフト.....	47
2.6 各位置情報の比較と誤差について.....	47
3. ウェアラブルカメラ	48
3.1 概要.....	48
3.2 機器構成.....	48
3.3 活用事例.....	48
4. 素材検知	49
4.1 概要.....	49
4.2 機器構成.....	49
4.3 活用事例.....	49
4.4 想定される用途.....	50
4.5 必要な機材・ソフト.....	51
4.6 データの転送方法.....	51

5. WEB会議	52
5.1 概要.....	52
5.2 機器構成.....	52
5.3 活用事例.....	52
5.4 想定される用途.....	53
5.5 必要な機材・ソフト.....	54
5.6 画像の転送方法.....	54
まとめ	55
付録	57
付録1. 公共BBの回線速度について.....	57
付録2. 汎用伝搬シミュレータ比較.....	59
付録3. 無線設備の主要機材一覧.....	60
付録4. 公共BBの通信仕様.....	61
付録5. 用語一覧.....	62
付録6. 略語一覧.....	64

【序】概説

1. マニュアルの目的

森林、特に奥地に所在する国有林は、携帯電話の電波が届くエリアの外であるなど、インターネットに接続できない環境（以下、「オフライン環境」という。）であることが多く、通信手段としては、簡易無線や衛星携帯電話等を利用した音声による連絡が最も汎用的に行われていますが、森林・林業の分野でもドローンやレーザ計測など ICT・IoT の導入等が進められているところです。今後、ICT 化をさらに推進し、効果を十全に発揮していくためには、単に情報を収集・蓄積するだけではなく、早期に分析、利用、発信していくことが必要なため、オフライン環境の解消は、ICT を活用する上でも非常に重要です。

一方で、オフライン環境下の森林内での通信システムの構築に当たっては、地形や植生の影響など不明な点が多く、技術的な検討が必要となること、森林・林業の分野において、通信システムはあまりなじみのない分野であり、専門的な知見が不足していると考えられること、初期の設備投資がかかることなどにより、導入が進んでいない状況にあります。また、どの程度の通信環境であれば、どの程度の活用が可能なのかといった点についても、実際の森林内で検証する必要性がありました。

例えば、森林内の作業現場をオンライン化することにより、WEB 会議アプリによる「現場報告、遠隔臨場」、さらに、林業用アプリ（素材検知アプリ等）、位置情報共有アプリ、あるいは、ウェアラブルカメラにより現地映像のリアルタイム伝送等を活用することが実現できるようになります。

本マニュアルは、こうしたことを踏まえ、森林の管理経営や林業経営等を行う、国や地方公共団体、大学、森林・林業に係る民間団体等を対象として作成しました。令和2年度から3年間の委託事業で実施した調査を取りまとめ、森林・林業の関係者が新たに通信システム構築を検討する際の参考として、VHF 帯自営ブロードバンド（公共ブロードバンド移動通信システム）を設置する際の手順等を取りまとめ作成したものです。

本マニュアルが、オフライン環境下の森林において、通信システム構築を推進する一助となれば幸いです。

本文書は、VHF 帯自営ブロードバンド（公共ブロードバンド移動通信システム：以下、「公共 BB」という）を用いた森林内におけるバックホール回線構築に関する手引き書（マニュアル）の位置づけになります。

VHF 帯（Very High Frequency）は超短波とも呼ばれ、波長は、1～10mで、直進性があり、電離層で反射しにくい性質もあり、山や建物の陰にもある程度回り込んで伝わるすることができます。短波に比べて多くの情報を伝えることが出来るため、FMラジオ放送用や多種多様な業務用移動通信に幅広く利用されています。

本マニュアルのフローを以下のとおり示します。（図 1、図 2）

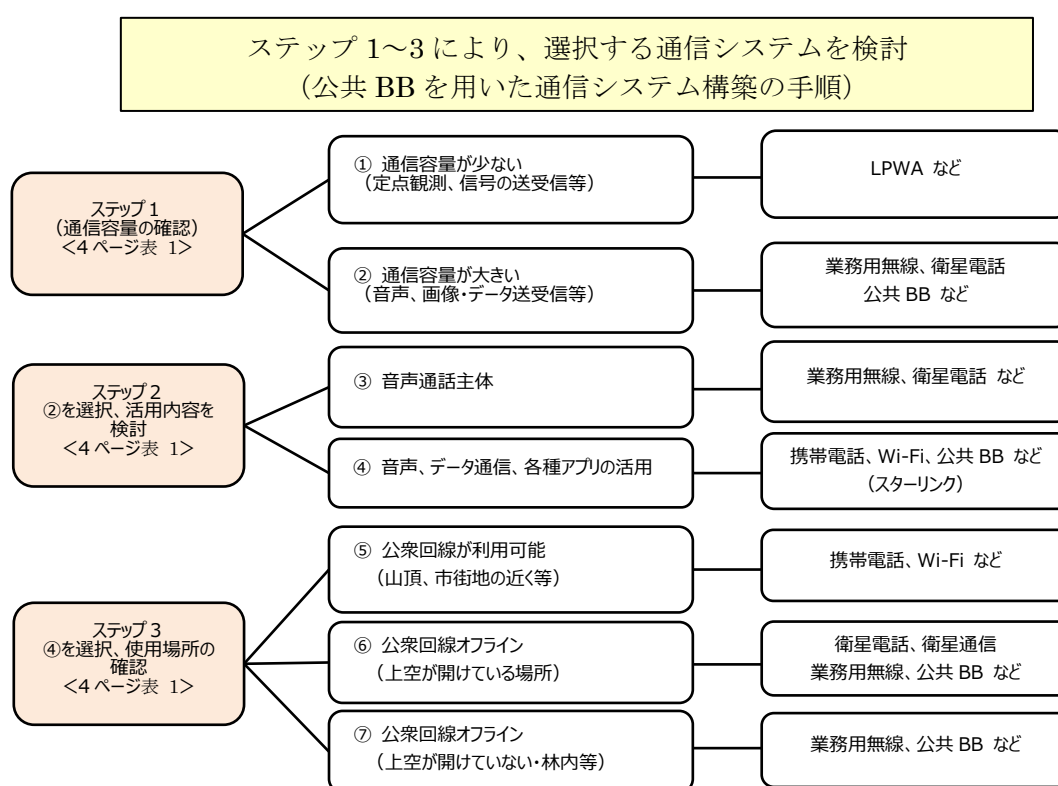


図 1 森林内において通信システムを構築するためのフロー1
（通信システムの選択）

ステップ4～7により、公共BBのシステムを稼働させるフローを示します。
 ・基地局の設置場所の選定、事業地から基地局までの通信回線のルート決定、使用するアプリ等から回線の品質を検討、設置機材の検討

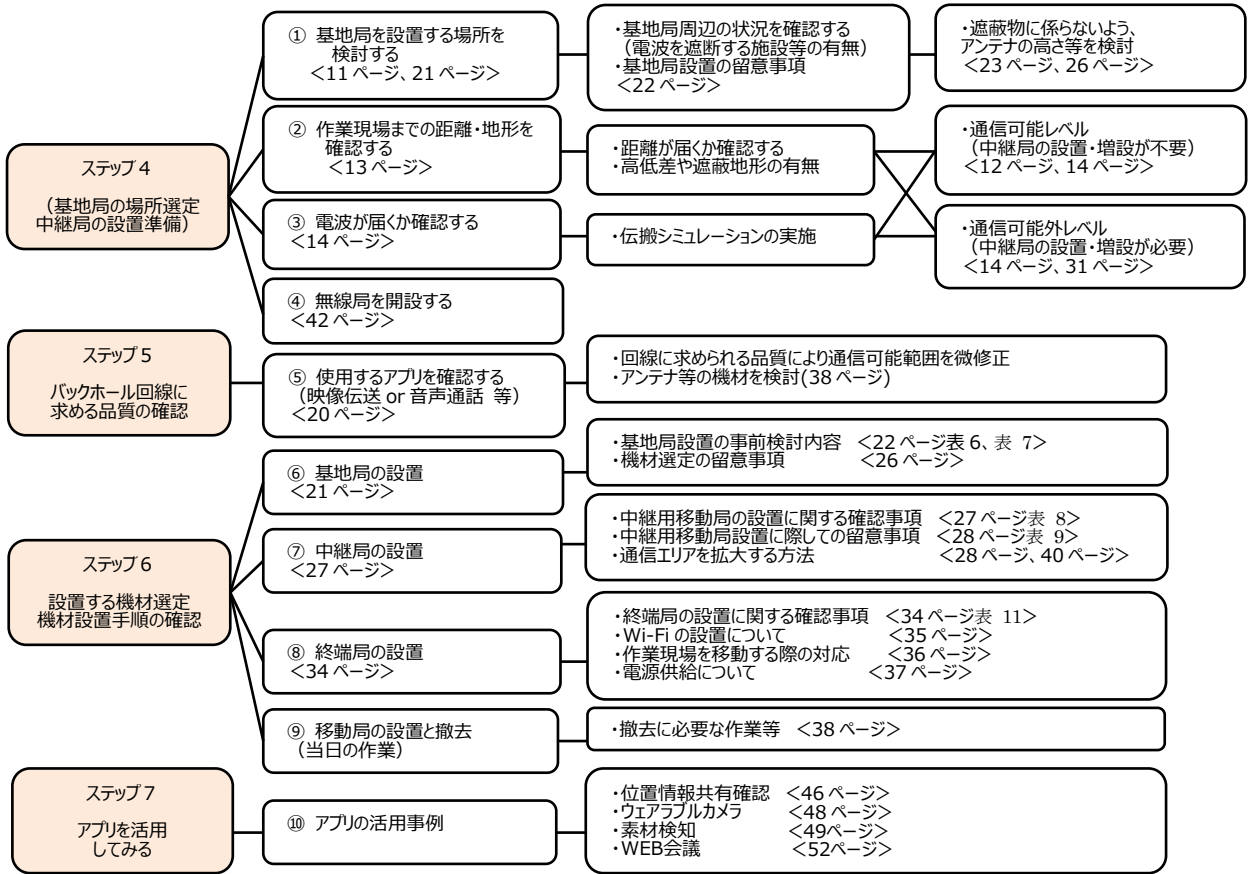


図 2 森林内において通信システムを構築するためのフロー2
 (公共BBの設置までの手順、撤去等)

山林部における無線通信普及の課題に着目すると、携帯電話の人口カバー率(約100%)に対して、日本国土面積でのカバー率は約60%程度であり、作業現場である山林部は携帯電話が利用できない場所が多く、ICT等の導入を進めにくい状況にあります。

オフライン環境下の森林内において求められる通信要件(事例)をとりまとめると、以下のようなものとなります。

- ① 樹木や地形の起伏の多い森林の中で十分に電波が届くこと (VHF帯～UHF帯)
- ② 音声伝送できること (簡便な無線機、衛星電話等)
- ③ 生産管理等のデータ通信が伝送できること (Wi-Fi、VHF帯自営ブロードバンド)
- ④ 中継機能による見通し外通信が出来ること (VHF帯自営ブロードバンド)
- ⑤ 現場・事務所周辺で日常的な通信ができること (LTE、Wi-Fi)

⑥ 導入コストが比較的低廉なこと

また、システムの構築の目的として、森林内にある事業地と事務所の間で双方向での音声通話ができること、さらに業務用アプリの活用も条件として検討することとし、データ通信容量の少ない通信方法を除いて検討することとしました。

上記を踏まえ、各通信システムを比較検証した結果は、表 1 の一覧表のとおりです。(令和 2 年度成果報告書「表 2.4」抜粋(一部改訂))

表 1 公共 BB 及び他システムの比較結果一覧

項目	デジタル業務用無線/簡易無線	衛星電話	公共 BB	Wi-Fi	携帯電話 3G/LTE/5G
運営主体 (免許主体)	自営	通信事業者	自営	自営	通信事業者
周波数帯	VHF/UHF 帯	1.6GHz 帯	VHF 帯	2.4GHz 帯 5GHz 帯	800MHz ～28GHz 帯
データ通信容量	2.4kbps 程度 (4 値 FSK)	2.4kbps (リジウム端末)	～約 10Mbps	～20Mbps	～数 100Mbps (契約と電波環境次第)
用途	音声通話が主体	音声通話が主体	・音声通話 ・データ通信 ・各種アプリ利用	・音声通話 ・データ通信 ・各種アプリ利用	・音声通話 ・データ通信 ・各種アプリ利用
見通し外通信 (森林内通信の可能性)	○	×	○	△	×
中継機能	△	×	○	○	×
特徴	・各種業務用途に広く普及	・携帯電話のエリア外での通話が可能 ・山間地森林内で不感の場合がある	・エリア構成の自由度が高い(可搬型、半固定回線) ・到達距離が長い	・局所的 Wi-Fi スポットを容易に構築可能 ・エリアは最大でも数 100m に留まる	・森林内はエリア外となる場合が多い ・汎用的、誰でも使いやすい

それぞれの通信システムの特徴を踏まえ、本マニュアルでは基地局から中継局を経由して終端局までつなぐ基本の回線（以下、「バックホール回線」という。）を公共 BB で構築

し、終端局から事業地までを Wi-Fi を用いて業務用アプリのデータ伝送等を行うシステムを構築する手順等を本マニュアルにより作成することとしました。

●衛星インターネットサービス（スターリンク）について（補足）

日本国内においては、令和 4 年度にサービスが開始され、林業分野においても注目されているスペース X 社が開発した衛星インターネットサービスのスターリンク（Starlink™）について補足します。

スターリンクは、大量の衛星を使った低軌道衛星通信ネットワークで、光回線への接続が困難な地域のインターネットサービスや、災害時など、地上の通信が困難な地域において、通信インフラの改善に役立つことが期待されると言われています。林業分野の ICT・IoT 化に向け、この新しい無線通信方式を適用した場合の想定される事項について以下にまとめます。

- 高い回線速度（想定値：ダウンロード＝20～100Mbps、アップロード＝5～15Mbps）
- 地上の基地局設備が不要
- 通信には、空が開けている必要がある（特に北側の空）
- 衛星は、地球を周回移動しているため、常に、通信可能域に衛星があるとは限らない
- 移動運用可能なサービス（RV）と定置型サービス（レジデンシャル）が提供されており、移動運用可能なサービスは混雑時にベストエフォートでのサービスとなり定置型サービスが優先される旨、アナウンスされている
- サービスが始まったばかりで、今後のサービス形態・継続性については未知

スターリンクは、上記のような特徴がありますが、林業分野への適用を想定した場合、山中の作業現場まで、スターリンクの無線設備を運搬し、安定してインターネット通信が確立できるかどうか、確認すべき 1 つのポイントになると言えます。

山中の奥深い作業現場では、見通し条件や衛星の配置などにより、常に衛星を捕捉できるかどうかが変わり、通信の安定性、実現性は、場所に影響して状況が変化します。また、表 1 に整理したとおり、山間地の森林内で不感となる場所があります。林内の木の幹などの遮蔽物を回り込んで電波を伝える性能は、VHF 帯公共 BB が優れています。

以上説明した通り、制限事項はあるものの、衛星が捕捉可能な環境におけるインターネット接続手段としての活用は有効と思われるので、本マニュアルの対象とする無線システムとの相互補完、あるいは、適切・柔軟な棲み分けによる活用方策が有効と想定されます。

2. 林業分野の ICT・IoT 化に向けた全体像（将来構想）

森林・林業の作業現場における ICT 推進のための基盤整備として、無線通信システムを構築することで、オフライン環境での ICT・IoT 化を推進することが可能となり、スマート林業の実現に寄与するものと考えます。

近年、ICT などの新技術の開発が著しく進展していますが、森林・林業分野においても、新技術を積極的に活用し、森林管理や林業の効率化等を図ることが期待されています。

例えば、航空レーザー計測は、地上の標高や地形の形状、樹高や森林の蓄積量を測量し、得られた森林資源データを解析・分析したデータを、位置情報などの他のデータと結びつけることにより、より効率的・効果的な森林管理や林業経営を行うことができます。通信システムの実装により、作業現場のオンライン化の実現を図ることで、データの送信・分析や他のデータとの結びつけが、より簡単に行うことができます。

また、将来ドローンの目視外飛行や林業機械の自動操縦、現場監督業務等を行う際には、事務所に居ながらにして作業現場に指示等を行えるようになる可能性があります。

さらに、木材の川上側から川下側までの流通を管理するサプライチェーンマネジメントにおいては、木材の生産段階から流通、木材を加工段階まで、各段階の在庫管理等が重要と思われますが、通信システムによって、リアルタイムで木材生産の状況を把握できるようになる可能性があります。

以上のように、特に ICT の分野においては、将来的に、通信システムの活用による効果が期待されます。

このような取り組みは、以下に示す、林業イノベーションの展開の一端を担うものとして期待されます。



図 3 森林・林業における ICT・IoT 化の目標

出典：令和元年度 森林・林業白書(林野庁) の

「林業イノベーションの展開方向」 p.49) から抜粋

森林内の作業現場をオンライン化 (ICT・IoT 化) に期待される業務内容を示します。(表 2) 本事業にて活用したアプリケーション事例は、第 II 部に記載しています。

表 2 森林・林業における ICT・IoT 化に期待される効果

業務カテゴリ	期待される効果
安心・安全の確保	森林内緊急連絡の実現 (音声通信、位置情報共有のためのデータ通信)
森林調査	①作業者間の情報連絡、位置情報共有、計測結果集計
	②作業指示、報告
生産業務	作業者間情報連絡、位置情報・作業量共有、業務日報作成
土木関連・防災	①インフラ設備・要監視地域のモニタリング
	②災害発生時の初動現場モニタリング
	③現場施工自動化を推進する通信 (現場管理事務所と機械間の点群データ通信等)

3. 公共 BB を用いた通信システムについて

林業事業地の ICT 化に向けて、バックホール回線として使用する通信システムとして、公共 BB を想定しています。公共 BB の特長を以下に示します。(詳細は付録 4 に示します)

- 見通し外通信(*1)に適しており、降雨・降雪に影響されにくい電波の特長を有する
- 山間部などで発生しやすい反射波(*2)のある環境下でも通信が可能
- 無線局 1 対向で最大約 8Mbps のスループット(*3)が可能
- 最大 30km まで通信可能
- 3 台以上の無線局での無線多段中継による通信エリアの拡大に適する
- 有線 LAN インタフェースを有し、パソコンとの有線接続可能
- 装置に具備する Wi-Fi 機器 (アクセスポイント) (*4)を介して、スマートフォンやタブレット等との無線接続可能
- 従来の無線システム (LPWA(*5)、簡易無線) と比較し、映像伝送、及び、インターネット回線への接続も簡単に実現可能
- 2 本のアンテナ構成 (受信ダイバーシチ(*6)) のため、森林内においても良好な受信性能を得ることが可能

上記(*1~*6)の用語について補足します。

(*1) 見通し外通信：

通信路に物理障害物が存在する環境での通信を指します。障害物に当たった電波は、障害物を回り込んで他の方向に伝播する、いわゆる回折現象を利用し、通信距離を延ばすことができます。

(*2) 反射波：

電波が壁面や障害物に当たって反射し、元の方向と逆の方向に伝播する現象のことを指します。一般に反射波の存在する環境においては、信号品質低下が発生することが知られていますが、一方で、反射波を活用して障害物の先まで通信が可能になったり、多重反射による信号を合成して信号品質を改善することが出来る場合もあります。

(*3) スループット :

一般的に、携帯電話等の説明で 사용되는回線速度、または、通信速度と同義であり、単位時間あたりに伝送できるデータ量のこと。単位は bps (bit per second) で、1 秒あたりの情報ビット数で表すことが多いです。

(*4) Wi-Fi アクセスポイント :

無線でスマートフォン、ノートパソコン、ゲーム機といった複数の無線 LAN (Wi-Fi) 機能付きの端末を、インターネット回線に接続するための機械です。無線 LAN と有線 LAN を相互変換する装置であるとも言えます。

(*5) LPWA :

Low Power Wide Area の略で、低消費電力で長距離通信が可能な無線通信技術のことを指します。IoT などの低帯域通信に適しており、多数のセンサーなどを接続することができます。Sigfox、LoRa、NB-IoT などの規格があります。

(*6) 受信ダイバーシチ :

複数のアンテナを使用して同じ信号を受信することで、信号品質の向上を図る技術です。受信機が複数の信号を同時に受信し、それらを組み合わせてより良い信号を得ることができます。これにより、電波が弱い場所でもより高い通信品質を実現できます。受信ダイバーシチは、無線通信やテレビ放送などの分野で広く利用されています。

4. 通信環境構築実用化の構想

本節では、通信システムの全体構成と、各構成要素の機能について説明します。

4.1 無線通信システムの概要

無線通信システムは主に3つの設備「事業事務所等設備（基地局）」、「尾根側設備（中継用移動局）」、「山中側設備（終端局（移動局）」から構成され、それぞれの無線局が無線ネットワークを構成することで、林業事業地（作業現場）のICT化を推進します。典型的な無線システムの構成イメージを、図4に示します。

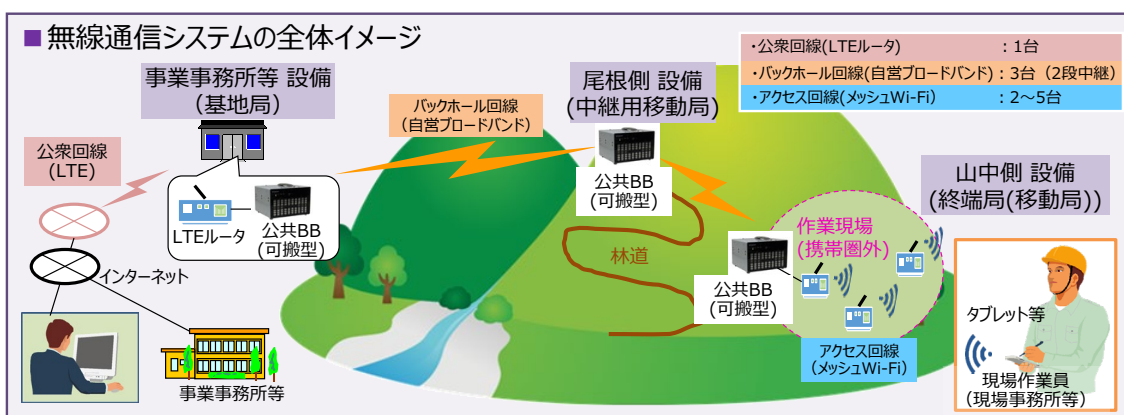


図4 林業分野における無線通信システムの構築イメージ

各設備の機能概要を以下に示します。

●事業事務所等の設備（基地局）：

無線通信システムを通じて、現場から発信される情報を、インターネット回線と基地局の接続可能な公衆回線を接続することにより、基地局を通じて現場と他の事務所をつなげることが可能となります。

●尾根側の設備（中継用移動局）：

「事業事務所等の設備」と「山中側の設備（終端局(移動局))」を中継し、山中の作業現場までインターネット回線を延伸するために設置します。

●山中側の設備（終端局（移動局））：

作業現場、または、車載型の機器の場合は車両を停止できる箇所に設置して、本移動局に具備するWi-Fi機器（AP：アクセスポイント）を介して、オフライン環境下の森林内でもスマートフォンやタブレット等との無線接続環境を提供できます。

本システムは上記3設備（拠点）をバックホール回線として接続することで、林業事業地にインターネット接続を提供するものです。

基地局におけるインターネット接続手段としては、携帯電話回線や、有線の光回線に代表される公衆回線を活用することができます。また、作業現場における作業者の端末（スマートフォンまたはタブレット等）の接続には Wi-Fi をアクセス回線として活用することで、林業事業地における IP 通信を可能にします。

なお、アクセス回線として利用する Wi-Fi アクセスポイント（以降 Wi-Fi AP と記す）は、市販のものだけでなく、公共 BB 無線局に具備する Wi-Fi AP を利用することができます。また、メッシュ Wi-Fi 機器を増設していくことで、当該無線局周辺の Wi-Fi 通信エリアを拡大することが可能になります。

4.2 バックホール回線の概要

本節では、公共 BB によるバックホール回線の概要を示します。

基地局

- ✓ 公衆回線との接続可能な、森林事務所等に設置する通信の中心となる無線局です
- ✓ 運用時は、本基地局の配下に中継用移動局及び終端局（移動局）が接続されます
- ✓ 作業現場では無線機の設置場所が変わるのに対し、基地局は一定の箇所に長期設置することを想定した設備としました
- ✓ 公衆回線と公共 BB を接続するためには、有線 LAN インタフェースを有する「LTE ルータ」が必要になります

中継用移動局

- ✓ 基地局と終端局（移動局）が直接通信できない場合に、両局を中継するための無線局
- ✓ 終端局（移動局）と同様に、Wi-Fi 機器によるアクセス回線が構築可能です

終端局（移動局）

- ✓ 山間部のインターネット等のオフライン環境にある作業現場に設置する無線局です
- ✓ 基地局または、下記の中継用移動局と接続されます
- ✓ 本移動局に具備する Wi-Fi 機器（アクセスポイント）を介して、スマートフォンやタブレット等との無線接続が可能です
- ✓ 森林事務所等に設置する基地局と比べ、一般に、林業業務では事業地がいくつもあり、

作業現場が変わる前提があるため、1日単位での設備設置・撤収による運用を想定して設置方法を検討しました。

4.3 公共 BB 無線局置局場所の検討方法

森林事務所（基地局）と作業現場（終端局（移動局））を公共 BB システムで無線接続する場合、以下 2 段階で検討を行う必要があります。

ステップ 1：基地局と作業現場の直接通信可否の判定

ステップ 2：中継用移動局を介する必要がある場合に、候補地を選定

ステップ 1、2 ともに、通信可否の判定に際しては、伝搬シミュレーションソフトウェア（以下、伝搬シミュレータと記す）を活用した検討が有効です。

伝搬シミュレーションソフトウェアは、各種ございますが、代表的な汎用伝搬シミュレーションソフトウェア例は、付録 2 に示したとおりです。

通信可否の判断は、2 つの要素の確認となります。1 つは、基地局から接続する先まで、通信が届く範囲内にあるかどうか、もう 1 つは、接続先までの直線ルートに通信を遮断する要素の有無となります。これらを調べる方法として、まず、最初に机上の調査である伝搬シミュレーションを行います。

4.4 伝搬シミュレータを用いた無線局置局検討

ここでは、伝搬シミュレータによる通信可否を判断する方法と実際の事例を示します。

4.4.1 無線局の条件設定

まず、送信局から発射された電波が到達する範囲を計算する場合に、無線伝搬特性計算に必要な無線局の情報（表 3）を伝搬シミュレータの入力パラメータとして設定します。

伝搬シミュレータは、このような条件と地形を基にして、送信局から発射される電波の到達範囲と電波の強さを地図上にプロットします。

表 3 伝搬シミュレータ入力パラメータ（一例）

無線局	パラメータ	入力数値（例）	単位
基地局 (送信側)	送信出力	5	W
	アンテナ利得	10.65	dBi
	アンテナ高 (設置条件による)	6	m
	ケーブル損失(20m)	2.1	dB
	位置情報	36.416090 138.799960	緯度 経度
終端局または中継用移動局 (受信側)	アンテナ利得	2.15	dBi
	アンテナ高 (設置条件による)	3	m
	ケーブル損失(20m)	1.0	dB

4.4.2 伝搬シミュレーション結果出力

ある送信点から電波を送信したときに、あるエリア内の各地点において、電波の強さがレベルごとに色分けされた情報を地図上に表示します。

たとえば、付録 2 に示す「RVMX 回線設計」を用いて計算した場合の計算結果を、図 5 ～図 10 のように視覚化し、この結果を利用して以下に置局検討例を示します。

4.4.3 無線局置局検討方法

各無線局の置局について、伝搬シミュレーション結果に基づき、最適な置局候補地を絞り込む手法について説明します。なお、本説明に用いた置局場所は、本年度事業の実施場所と同じ場所を想定しています。

① 森林事務所と作業現場が直接接続可能かどうか確認する

森林事務所(基地局)と作業現場(終端局(移動局))のそれぞれから送信した場合の伝搬シミュレーション結果を図 5、図 6 にそれぞれ示します。

公共 BB システムにおける各回線速度の実現に必要な受信電力レベルについての詳細は付録 1 に記載しているとおりですが、ここでは、オレンジ色の「-80~-70 dBm」以上を、通信可能な受信レベルとして説明します。

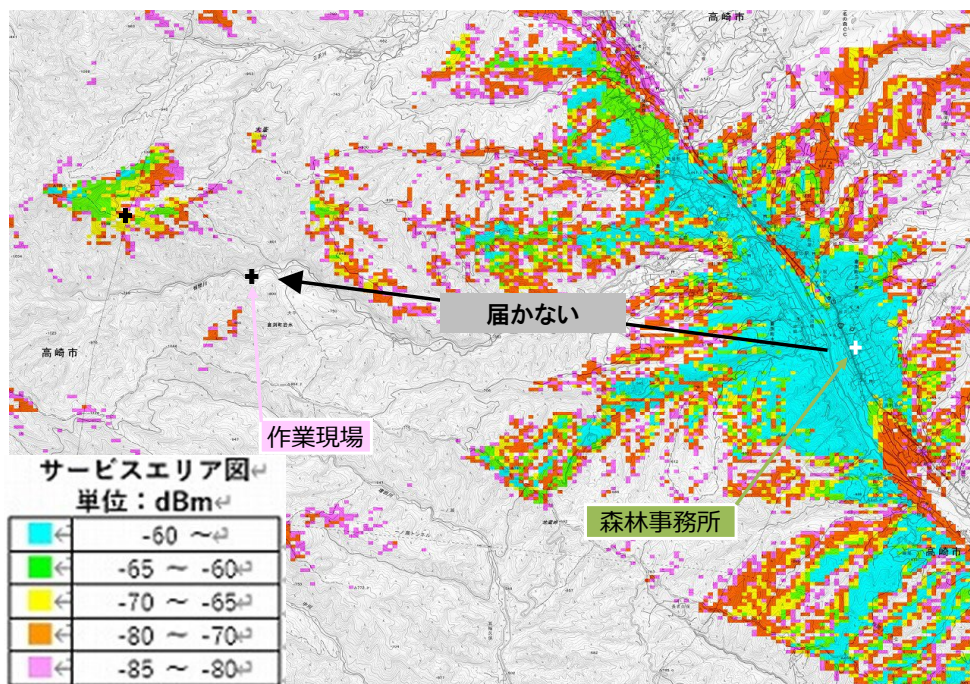


図 5 伝搬シミュレーション結果 (1-1：森林事務所から送信)

図 5 の結果より、森林事務所からの電波は、作業現場に届かないことが分ります。

次に、作業現場から送信した場合の伝搬シミュレーション結果を図 6 に示します。この結果から、作業現場から送信した電波も森林事務所に届かないことが確認できます。

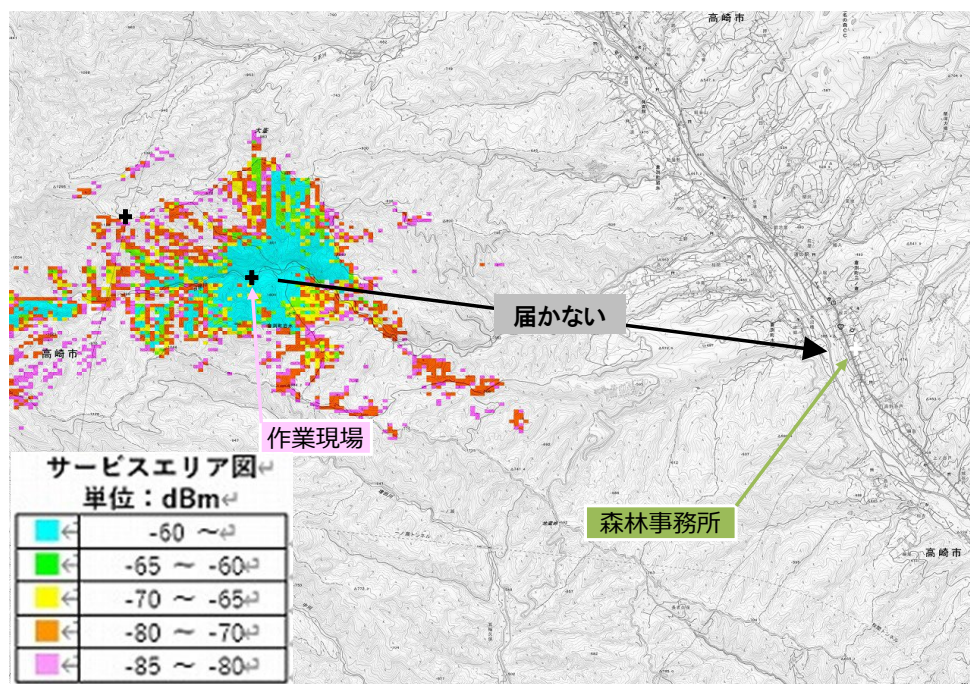


図 6 伝搬シミュレーション結果 (1-2：作業現場から送信)