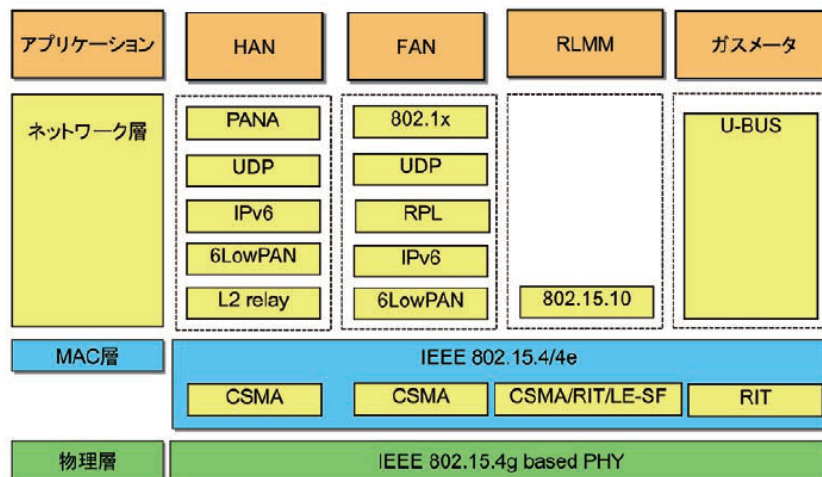


Wi-SUN では4種類のアプリケーション仕様（図3.8）が検討されている。

- HAN (Home Area Network) : 宅内利用向け
- FAN (Field Area Network) : 屋外利用向け、多段中継で情報を収集
- RLMM (Resource Limited Monitoring and Management) : 非IP を用いず、多段中継を駆使して情報収集
- JUTA (Japan Utility Telemetry Association) : ガスメータ用省電力仕様



出典：原田、「IoT時代を支える国際無線通信規格 Wi-SUN」、ITU ジャーナル Vol. 47 No. 2 (2017-2)

図 3.8 Wi-SUN のアプリケーション仕様

林業向けの利用形態では、屋外利用で比較的広域に渡る IoT ネットワークを構成する利用形態が想定され、その場合は Wi-SUN FAN の適用が最適と考えられる。そこで以降では Wi-SUN FAN にフォーカスして説明する。Wi-SUN FAN の仕様を表 3.12 に示す。

Wi-SUN FAN は、データリンク層では CSMA (Carrier Sense Multiple Access) プロトコル、ネットワーク層以上では IPv6、UDP (User Datagram Protocol) を用い、ネットワーク認証では IEEE 802.1X を用い、物理層以外は Wi-Fi と似た構造をとっている。また、IETF (Internet Engineering Task Force : インターネット技術の標準化を推進する組織) が規定する RPL (IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks) プロトコルを採用することで多段中継を実現している。Wi-SUN FAN においては、表 3.13 に示す3種類の無線機器のカテゴリ (Boarder router、Router node、Leaf node) があり、このうち Boarder router がデータを収集するノードである。また、無線機同士の干渉を避けるために、周波数をホッピングさせて通信を行っている。

表 3.12 Wi-SUN FAN の仕様

項目	仕様
アプリケーション層	各種センサ、メータ、モニタ
アクセス認証	IEEE 802.1x
トランスポート層	UDP
ネットワーク層	マルチホップ：RPL IPv6、ICMPv6
アダプテーション層	6LoWPAN
データリンク層 (MAC 層)	IEEE 802.15.4e (暗号化)：CSMA
物理層	IEEE 802.15.4g (920MHz、FSK、50、100kbps)

表 3.13 Wi-SUN FAN における無線機のカテゴリ

無線機カテゴリ	機能
Boarder router	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 広域各ノードからの情報収集、マルチホップの経路を決定</li> <li>・ 自身が管理するネットワークへのアクセス認証、暗号鍵の管理</li> <li>・ ほかのネットワークとの接続</li> </ul>
Router node	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ データ及びセキュリティとアドレスの管理情報を中継</li> </ul>
Leaf node	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最低限度の機能</li> <li>✓ PAN の探索、Join</li> <li>✓ パケットの送信、受信</li> </ul>

**無線機の特長・機器の形態：**

- ・ Wi-SUN 等の省電力無線システムは、ウェアラブル端末を使用した作業員のバイタルチェックや、作業環境の定期的なモニタリングに有効である。作業環境のモニタリングは、杭型の傾斜センサや空気中の特定の物質濃度を測定するセンサなどの使用が考えられる。
- ・ 通信経路は、複数のセンサからゲートウェイ、ゲートウェイから公衆無線を使用して指定したネットワークに送信する方法が多く取られる。Wi-SUN 等を利用した通信は、見通し外であれば、数 km 程度の通信が可能であるため、ゲートウェイは電源確保がしやすい場所に設置し、そこから少し離れた場所に作業場所を展開することも可能である。
- ・ センサの送信頻度によって混信の程度は変化するが、1つのセンサからの送信データは数百～数キロバイト (kB) と小さいため、1つのゲートウェイに対して 20 台程度のセンサ利用が見込める。

**免許申請等について：**

- ・ 小電力無線局（免許を要しない無線局の一つで、空中線電力が 1W 以下で、特定の用途に使用される一定の技術基準が定められた無線局）は、無線局免許や無線従事者資格が不要である。ただし、技術基準適合証明等（技術基準適合証明及び工事設計認証）を受けた適合表示無線設備を使用する必要がある。

### 3.3.3 森林における伝搬特性の調査

森林は電波に損失を与えることが知られているが、樹木の種類・形状等パラメータが非常に多く正確なモデル化は極めて難しい。ここでは、樹木の影響による電波の減衰等について文献等を調査した結果を以下に示す。

#### (1) 樹木の影響に関する森林損推定モデルについて

森林が電波に損失を与える伝搬メカニズム及びそれに対応する伝搬付加損失モデル（森林損推定モデル）と適用領域の関係を表 3.14 に示す。以下、代表的な森林損推定モデルの概要を示す。

表 3.14 森林損推定モデルと適用領域<sup>\*1</sup>

	3 MHz	30 MHz	300 MHz	3 GHz	30 GHz
	MF	HF	VHF	UHF	SHF
森林損なし			ITU-Rモデル		
	誘電体スラブモデル		回折モデル		
				Weissbergerモデル	
				Seville-Craigモデル	

\*1 電波伝搬ハンドブック：4章 樹木の影響（細矢良雄）、リアライズ社

#### 1) ITU-R モデル

ITU-R では、多くの理論及び実験結果を集大成し、送受アンテナがともに森林内にある場合の付加損失の減衰係数をグラフで与えている。

#### 2) ナイフエッジ回折モデル

送受アンテナが森林から十分遠く、送受間結合のほとんどが森林による回折によって生じるものと見ることが出来る場合がある。この時の伝搬損失は、送受アンテナに最も近い樹木の位置に回折物体が存在していると仮定したナイフエッジモデルにより計算できる。

#### 3) Weissberge モデル

温帯の森林において、送受アンテナのいずれかが小さい森林に十分近く設置され、電波エネルギーのほとんどが森林内を通過していると考えられる場合、付加損失は減衰係数でなく距離に関するべき乗則で表される。

#### 4) Seville and Craig モデル

ミリ波領域において、短距離では樹木による遮蔽により距離と共に損失が急増するが、ある程度以上の距離では、森林による多重散乱波が受信アンテナに到達するため見かけの損失増加は小さくなる。

## (2) 森林内伝搬に関する実証試験等の事例について

### 1) 自営ブロードバンド（公共 BB）

例えば、以下の森林内伝搬に関する実証試験の報告がされている。

- ・京都大学ほか、「森林による見通し外環境下での広域系 Wi-RAN を用いた映像伝送に成功 ～林業における業務効率化に向けた新ソリューションへの適用実証～」  
（平成 30 年 6 月）

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20180629/index.html>

### 2) 広域通信ネットワーク

例えば、東北総合通信局において、950MHz 帯及び 2.4GHz 帯無線 LAN の検討が行われており、森林内における伝搬特性が一部報告されている。

- ・東北総合通信局、「山間部における広域センサーネットワークの構築に関する調査検討会」（平成 21 年 3 月）

[https://www.soumu.go.jp/soutsu/tohoku/houkoku/H21/sensor\\_net/pdf/sensor\\_net.pdf](https://www.soumu.go.jp/soutsu/tohoku/houkoku/H21/sensor_net/pdf/sensor_net.pdf)

### 3.4 通信試験

#### 3.4.1 通信試験の計画

作業現場が森林特有の過酷な伝搬環境や見通し外環境であることを踏まえ、携帯電話の電波が届かない山中を作業現場と想定し、VHF 帯無線方式（デジタル業務用無線機/簡易無線（150MHz 帯））及び自営ブロードバンド（公共 BB）によるフィールド試験を計画した。

ここで、公共 BB については、その特長である VHF 帯特有の見通し外通信路での中・高速データ伝送（映像を含む）を可能とする有用性ととともに、簡便な操作により、柔軟なマルチホップ通信路の構築が可能な 1 周波多段中継機能を主眼に通信試験を計画した。

試験構成の概要（全体イメージ）を図 3.9 に示す。

- (1) デジタル業務用無線機/簡易無線（携帯型又は可搬型）により、作業現場（日影沢キャンプ場）から登山道（定点）への伝搬特性の測定及び GPS の確認を行う。さらに、横方向への移動による GPS の確認を行う。
- (2) 公共 BB（可搬型）の多段中継※により、作業現場（日影沢キャンプ場（移動局））から山麓側（高尾森林ふれあい推進センター（基地局））へ中継回線を結び、伝搬特性の測定及び機能確認を行う。さらに、横方向への移動による映像伝送の確認を行う。

※：民間標準規格（ARIB STD-T119）準拠

#### (3) 試験計画

- ・試験場所：高尾山国有林及び周辺（東京都八王子市高尾町）
- ・試験日程：2月18～19日 公共 BB  
3月5日 デジタル簡易無線/業務用無線（150MHz 帯）

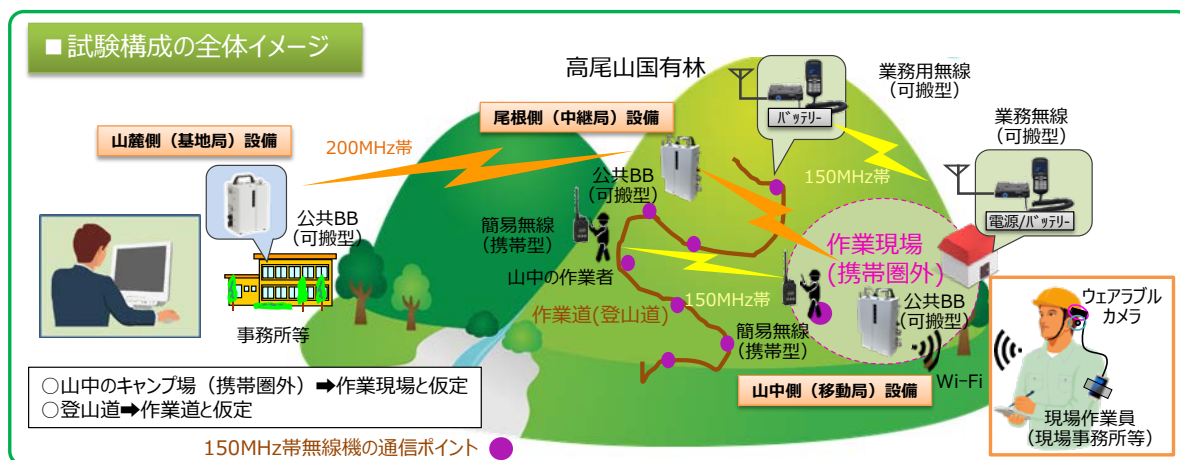


図 3.9 通信試験の概要

### 3.4.2 屋外実証試験場所の選定

高尾山国有林及び周辺を試験候補地として、携帯電話の圏外エリアとなっている日影沢キャンプ場を山中の作業現場と想定し、その周辺にて各試験の場所を調査・選定した。

- ・試験候補地に、携帯電話の圏外エリアが含まれていること
- ・山間地における縦方向と横方向（500m～1km程度\*）の範囲測定が可能であること

※：ヒアリング結果から想定される作業エリア範囲

#### 3.4.2.1 デジタル業務/簡易無線（150MHz帯）の試験候補地

日影沢キャンプ場から高尾山山頂付近への登山道（いろはの森コース）を試験ルートと想定し、通信試験を行うものとした。候補地とした地図上の位置（縦方向：赤数字の13地点、横方向：青数字の8地点（高尾山いろはの森案内板を中心に約600m））を図3.10に示す。

（横方向の断面図は図3.11（b）を参照）

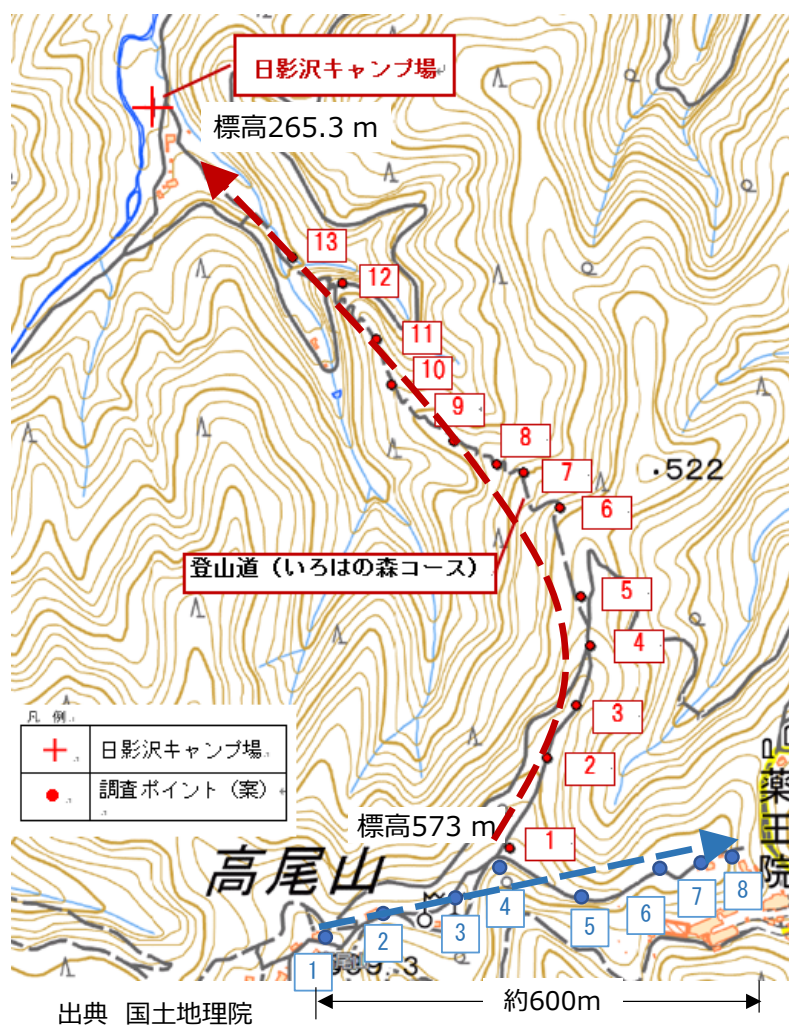


図 3.10 デジタル業務用無線/簡易無線の試験候補地（縦方向、横方向）



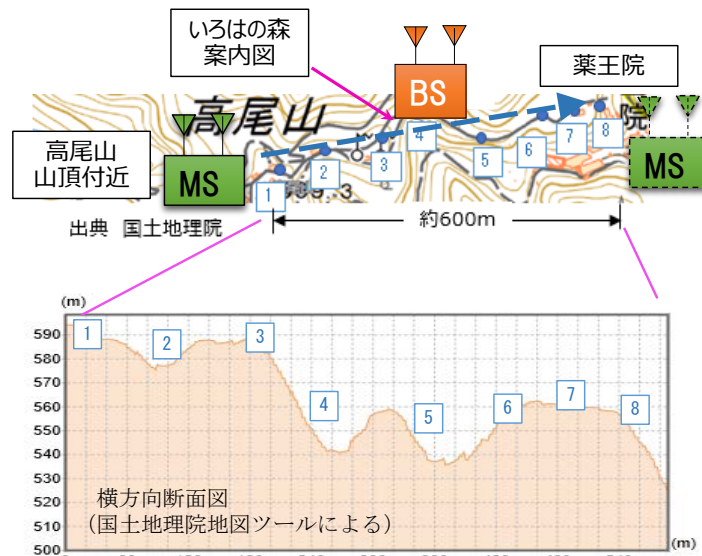
### 3.4.2.1 公共 BB の試験候補地

日影沢キャンプ場と林野庁施設（高尾森林ふれあい推進センター）を繋ぐ中継回線を想定した以下の試験場所を調査・選定した。ここで、中継地点及び回線リンク数（中継段数）等の詳細については、現地調査実施の上、決定するものとした。また、いろはの森周辺において、横方向（高尾山いろはの森案内板を中心にした約 600m）における通信試験を検討した。候補地とした地図上の位置を図 3.11 に示す。

- イ 日影沢キャンプ場 : 移動局（終端局）設置場所
- ロ 高尾山いろはの森案内板 : 中継点の候補 1
- ハ 城見台付近 : 中継点の候補 2
- ニ 高尾森林ふれあい推進センター : 基地局設置場所



(a) 中継回線（多段中継）の候補地点



(b) 横方向（高尾山いろはの森案内板周辺）の候補地点

図 3.11 公共 BB の試験候補地