

150MHz 帯の電波を使用する
登山者等の位置検知システムに関する調査検討
報告書

平成 27 年 3 月

150MHz 帯の電波を使用する
登山者等の位置検知システムに関する調査検討会

まえがき

登山は、自然観察、山菜取り、トレッキング等を目的としたレクリエーション的な登山から本格的な登山まで幅広く、初心者から上級者まで幅広い年代に親しまれており、参加人口も高い水準を保っております。しかし、一方で山岳における遭難事故は、年々、増加傾向にあり、警察庁の統計によると平成 25 年中の山岳遭難は、全国で発生件数 2,172 件、遭難者 2,713 人、死者・行方不明者 320 人となりいずれも過去最多と報告されております。

平成 16 年度の「山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関する調査検討会」で報告しましたように、登山者の安全確保や事故発生時の対応の迅速化のため、電波を使った登山者の位置を把握するシステムの有用性は早くから認識され、様々なシステムが登場しておりますが、雪崩対策用のシステムを除いて普及には至っていないのが現状です。そのような中、山小屋などから周辺の登山者の位置等を検知し登山者の見守りができるシステムを実現するため、山岳での伝搬特性に優れた VHF 帯の電波を使用したいとする要望が出ております。

しかし、VHF 帯の利用にあたっては、周波数がひっ迫し、新たに周波数を確保することが難しい状況において、現在、動物検知通報システムで使用している 150MHz 帯の周波数共用化により登山者等の位置把握が可能な無線システムを検討するために本調査検討会が立ち上げられました。また、動物検知通報システムも有害鳥獣による農作物被害拡大が社会問題化していることに伴い野生動物探査等への利用が増大してチャンネル不足が懸念されております。

これらの課題解決に向けては、登山者等の位置検知システムの周波数配置、備えるべき機能・性能、使用する電波の伝搬特性、所要の送信電力等を理論や実証実験で評価する必要があります。本調査検討会では、登山関係者並びに野生動物調査関係者等からの意見を収集するとともに、これらの諸問題を解明し、登山者等の位置検知システム実現のために調査検討を進めて参りました。

本報告書は、これらの成果を取りまとめたものであり、今後は本報告書に基づき登山者等の位置検知システムが一日も早く実現されるとともに、多くの登山者に普及し、山岳における遭難者減少に貢献できることを期待します。

終わりに、本検討会にご参加いただき熱心に議論して頂きました委員各位、実証実験にご協力頂きました医王山スポーツセンター関係者の皆様、システム検討にあたり貴重なご意見を頂きました関係機関各位に対して、心より感謝申し上げます。

150MHz 帯の電波を使用する
登山者等の位置検知システムに関する調査検討会
座長 岡田 敏美

目次

第1章 現状と課題	1
1.1 山岳遭難の現状	1
1.2 登山者等の位置把握を目的とするシステムの種類と特徴	5
1.3 登山者等の位置検知システムの利用に向けた課題	7
1.4 動物検知通報システムの現状と課題	7
1.5 動物検知通報システムの用途と要求諸元	11
1.6 登山者等の位置検知システムおよび動物検知通報システムの需要の予測	12
第2章 登山者等の位置検知システムの検討	14
2.1 利用シーン	14
2.2 システムに対する要望	16
2.3 システム構成	18
2.4 位置検知の用途及び要求諸元	20
2.5 位置検知の範囲	21
2.6 システムの機能・性能	21
2.6.1 検知者端末	21
2.6.2 登山端末	23
第3章 周波数共用方法の検討	26
3.1 周波数軸上の有効利用	26
3.1.1 周波数配置（ナロー化案）	27
3.1.2 占有周波数帯幅	28
3.1.3 周波数の許容偏差	28
3.1.4 周波数軸上の有効利用に関するまとめ	30
3.2 時間軸上の有効利用	32
3.2.1 送信制御の概要	32
3.2.2 有効利用策と移行のメリット	33
3.2.3 移行に向けての検討	34
3.2.4 送信時間の検討	36
3.2.5 時間軸上の有効利用に関するまとめ	36
3.3 その他	37

第4章 実証試験及び技術課題の検討	38
4.1.1 試験モデルシステムの概要	38
4.1.2 試験項目	40
4.1.3 屋内実証試験	41
4.1.4 屋外実証試験	47
第5章 提言	60
5.1 実用化方策	60
5.1.1 システムの構成	60
5.1.2 システムの機能	60
5.1.3 周波数の確保	60
5.1.4 エリアの確保	61
5.2 技術的条件	63
5.2.1 一般条件	63
5.2.2 送信設備	63
5.2.3 受信設備	65
5.2.4 制御装置	66
5.2.5 空中線等	66
5.2.6 その他	67
5.3 周波数の有効利用の促進	68
5.4 実用化・普及に向けて	69

第1章 現状と課題

1.1 山岳遭難の現状

日本は山に恵まれた国であり、古来より信仰の対象として登山が行われている。また、山は生業、産業の現場でもあり様々な活動が行われている。山林の植生調査・保全作業や中山間部の河川改修工事、野生動物の生態調査等は、安全な国土保全にとって不可欠の仕事である。

山岳では、スポーツ・レクリエーションとして四季を通して多様な活動が行われている。厳冬の雪中登山やスキー、夏季の沢登り、尾根の縦走、あるいは運動やレクリエーションを目的とするトレッキング、溪流釣り等があり、登山は初心者から上級者まで幅広い層に親しまれるものとなっている。さらに近年では、山登りに関する各種の情報がホームページ等のインターネット上にも充実し、山岳付近への交通網や登山道の整備および宿泊施設等の拡充も進み、誰もが気楽に参加できる環境が整っている。これに加え、健康づくりや身近な自然との触れ合いができる等の魅力も相まって、登山は中高年層を中心とした幅広い年齢層で人気を集めている。ピクニック等のアウトドア指向のレジャー人口と登山人口¹を表 1-1、図 1-1 に示す。

表 1-1 余暇活動の参加人口の推移

参加人口（万人）										
年	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25
ピクニック ハイキング 野外散歩	2,750	2,620	2,620	2,630	2,470	3,690	3,380	2,330	2,150	2,040
登山	650	660	550	570	590	1,230	1,070	810	860	770

（注）平成 21 年より、調査手法を訪問留置法からインターネット調査に移行した。

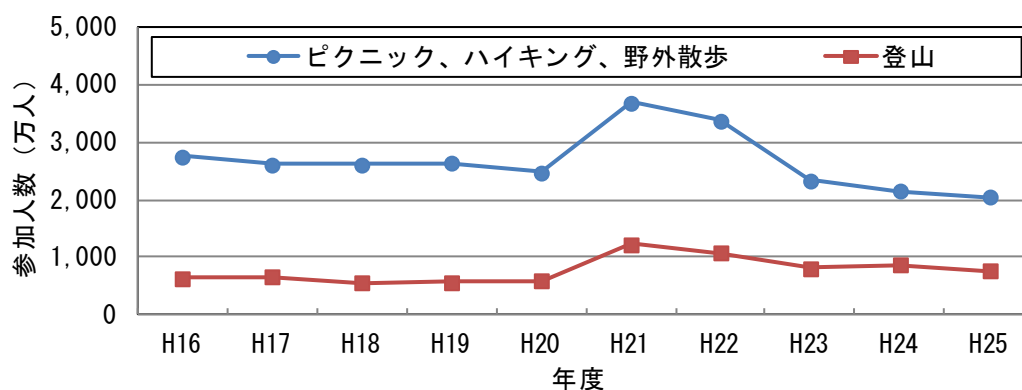


図 1-1 余暇活動の参加人口の推移

¹ レジャー白書 2014 ～マイ・レジャー時代の余暇満足度～ 平成 26 年 8 月 (財) 日本生産性本部編集 生産性出版発行

この統計から参加人口は、平成 16 年から平成 20 年まで安定しており、平成 21 年をピークに下降傾向に転じたように推察できるが、参加人口は依然高い水準を示している。

そうした中で、登山者等が生命の危険を伴う事態に陥り、救助を必要な状況になる山岳遭難について、過去 10 年間の発生状況²を表 1-2、図 1-2 に示す。

表 1-2 過去 10 年間の山岳遭難の発生状況

年	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25
発生件数(件)	1,321	1,382	1,417	1,484	1,631	1,676	1,942	1,830	1,988	2,172
遭難者(人)	1,609	1,684	1,853	1,808	1,933	2,085	2,396	2,204	2,465	2,713
死者・ 行方不明者(人)	267	273	278	259	281	317	294	275	284	320

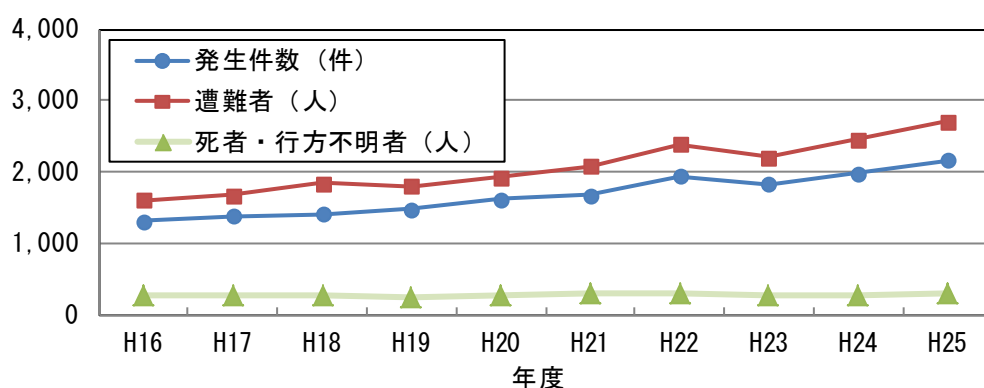


図 1-2 過去 10 年間の山岳遭難の発生状況

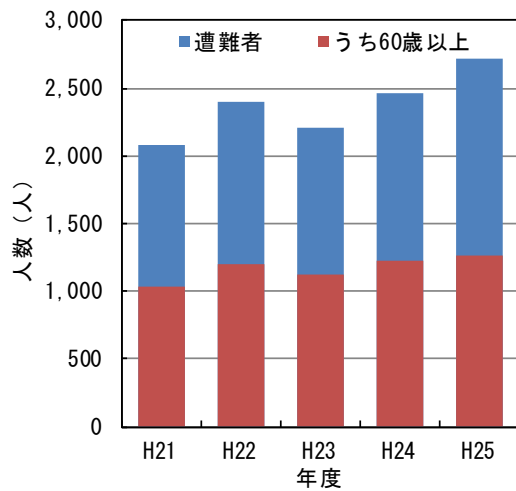
過去 10 年間の山岳遭難の発生件数は、平成 16 年から平成 21 年までは前年比 50 件程度の増加が続き、平成 22 年に 2,000 件弱まで急増し、平成 23 年に若干減少したものの、平成 24 年度以降は前年比 200 件程度と大幅な増加となった。同様に遭難者数は、発生件数の増加に伴い増え続けており、死者・不明者は、年により増減があるものの全体では微増であった。また、平成 25 年は山岳遭難が初の 2,000 件突破となる 2,172 件、遭難者 2,713 人、負傷者 1,003 人、死者 320 人となり、統計調査を開始した昭和 36 年以降で最悪の結果となっている。

遭難者が増えている背景には、中高年者層の余暇時間の増加と活用があり、自然とのふれあい志向の高まり等生活と絡んだ登山が多くなっていることがあげられる。過去 5 年間に
おける 60 歳以上の登山者の山岳遭難の発生状況を表 1-3、図 1-3 に示す。

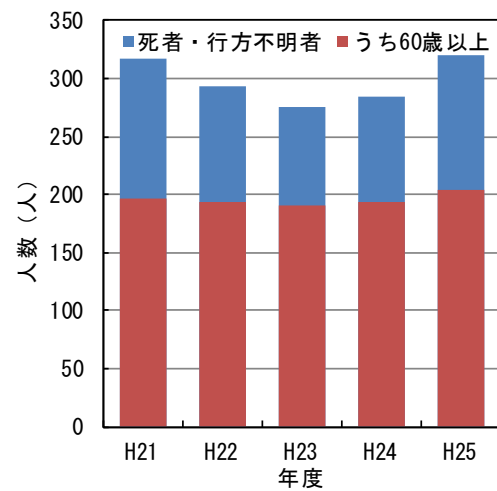
² 平成 25 年中における山岳遭難の概況 平成 26 年 6 月警察庁生活安全局地域課発表

表 1-3 過去 5 年間ににおける 60 歳以上の登山者の山岳遭難発生状況

区分		H21	H22	H23	H24	H25
遭難者総数	総数（人）	2,085	2,396	2,204	2,465	2,713
	うち 60 歳以上（人）	1,040	1,199	1,118	1,227	1,258
	比率（％）	49.9	50.0	50.7	49.8	46.4
死者・ 行方不明者	総数	317	294	275	284	320
	うち 60 歳以上（人）	197	194	190	194	204
	比率（％）	62.1	66.0	69.1	68.3	63.8



(a) 遭難者総数



(b) 死者・行方不明者

図 1-3 過去 5 年間ににおける 60 歳以上の登山者の山岳遭難発生状況

統計データは、遭難者総数、死者・行方不明者数に対する 60 歳以上の登山者比率が大変高いことを示している。60 歳以上の中高年の登山者が山岳遭難を起こす背景として、登山人口の増加とその多くは山岳協会等の団体に所属しておらず、訓練や教育を受ける機会も少なく、その結果として、体力的な衰えを考慮しない無理な登山計画、登山に対する技術・経験・トレーニング・学習不足等の状況があることが指摘されている。山岳遭難の実態について、平成 25 年の目的別、様態別の山岳遭難の割合を図 1-4、図 1-5 に示す。

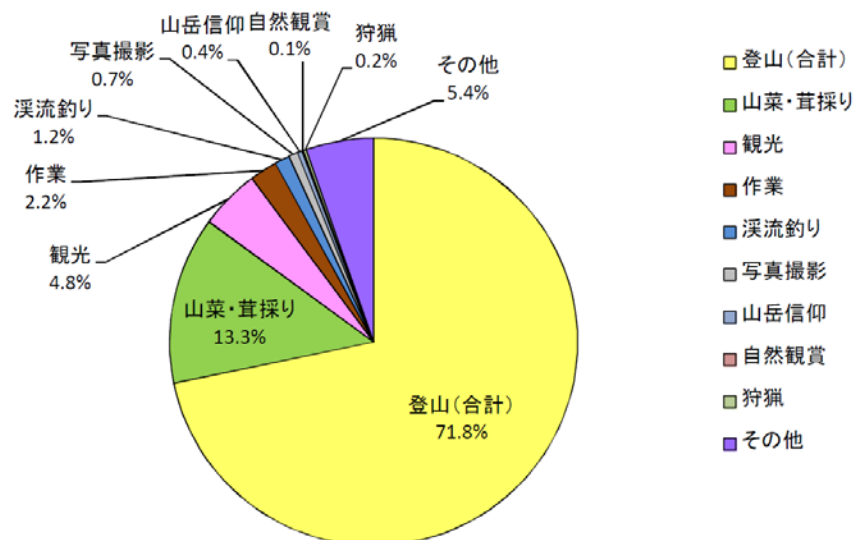


図 1-4 平成 25 年の目的別山岳遭難の割合

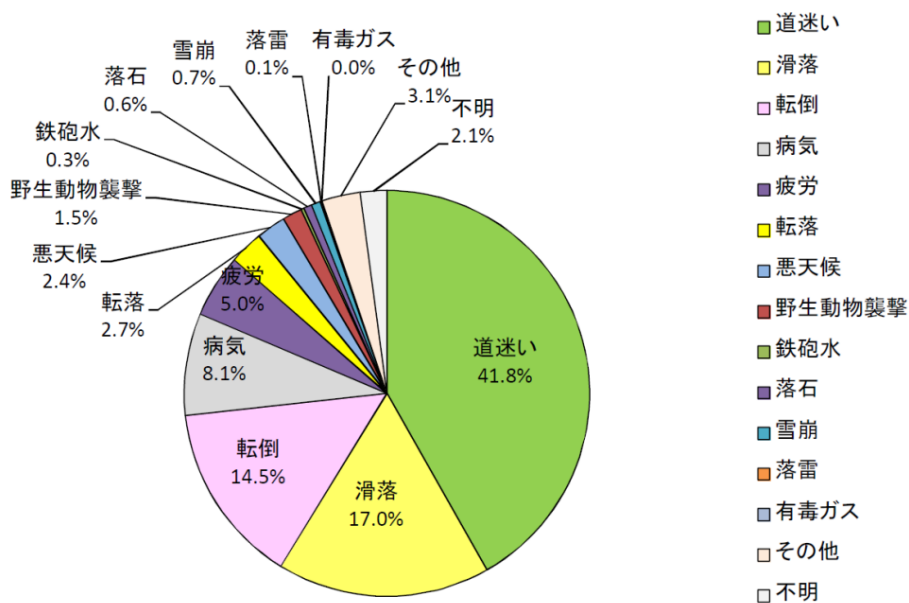


図 1-5 平成 25 年の様態別山岳遭難の割合

全遭難者 2,713 人について、目的別にみると、登山（ハイキング、スキー登山、沢登り、岩登りを含む）が 71.8%と最も多く、次いで山菜・茸採りが 13.3%を占めている。また、様態別でみると、道迷いが 41.8%と最も多く、次いで滑落が 17.0%、転倒が 14.5%を占めている。これらの山岳遭難の現状がある中、遭難者から携帯電話に代表される通信手段により救助が要請されている。平成 25 年の通信手段の使用状況を図 1-6 に示す。

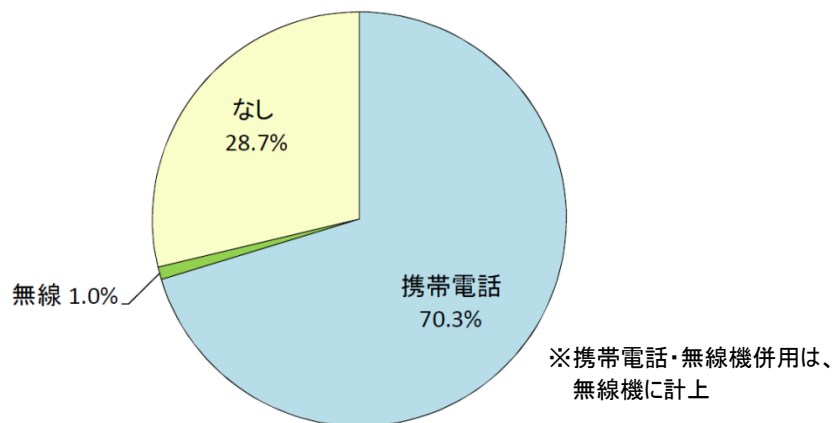


図 1-6 平成 25 年の通信手段の使用状況

データによると、平成 25 年の全発生件数 2,172 件の 71.3%が遭難現場から通信手段（携帯電話、無線（アマチュア無線を含む））を使用し、救助を要請している。今後も、携帯電話による救助要請の増加が予想されるが、携帯電話は通話エリア内での万が一の通話手段として有効であるものの、多くの山岳では通話エリアが限られることやバッテリーの残量に注意が必要であり、携帯電話以外の無線による通信手段の確保が山岳遭難には有効な方法であると考えられている。

1.2 登山者等の位置把握を目的とするシステムの種類と特徴

無線の活用については、前項の登山者等が遭難時等に救助要請を行う通信手段の用の他に、電波の性質を利用してその発射源を探索することで、登山者の位置を特定する機能や GPS を活用して登山者の位置を特定する機能等として活用されるものがある。

登山者等の位置検知システムの種類と特徴一覧を表 1-4 に示す。登山者を位置検知するシステムは、用途に応じて様々な測位方式、周波数を使用したものが国内外で登場している。平成 16 年度に実施した「山岳遭難者探索用ビーコンシステム高度化に関する調査検討会」（総務省北陸総合通信局主催）の中に雪崩ビーコン、ヤマタンについて紹介されているが、その後多様なシステムが国内外で開発・販売されている。この中で雪崩ビーコンは、日本山岳協会等の勧めもあり冬山登山者へ急速に普及してきたが、その他のシステムについては普及には至っていない。

登山関係者に要望される登山者等の位置検知システムを実現するためには、技術面、制度面、運用面からも解決すべき課題が多い。

表 1-4 登山者等の位置検知システムの種類と特徴一覧

システム例	測位方法	伝送方法	特徴（①用途、②探知範囲、③特徴）
ヤマタン（山岳遭難者探索ビーコンシステム）	なし	微弱電波（53MHz）	①救助者による登山者探索用 ②数十 m～百数十 m の範囲 ③富山県警山岳警備隊が製作、剣岳等の冬季入山時に無料貸出あり、発信機能のみ
雪崩ビーコン（アバランチ・ビーコン）	方位 レベル等	微弱電波（457kHz）	①雪崩による登山者の探索に特化 ②数十メートルの範囲 ③世界的に規格統一
HITOCOCO		特定小電力無線局（950MHz 帯）	①登山者、災害被災者、俳諧老人等の探索 ②数百 m～見通しで数 km の範囲の探索 ③軽量、防水、廉価
CHEISER	GPS＋ レベル （方位）	特定小電力無線局（400MHz 帯 10mW）	①登山者、災害被災者、俳諧老人等の探索 ②数百 m～見通しで数 km の範囲 ③双方向通信（位置情報送信要求）、相対的位置表示、防水
携帯電話事業者サービス	GPS	携帯電話	①汎用位置情報サービス ②携帯電話のサービスエリア内 ③ランニングコスト（通信料）
BEBor		衛星携帯電話（イリジウム）	①海、山等の遭難の通報用 ②地球全域 ③指定したアドレスに通報、双方向通信（救助予定等）、通報操作が必要、ランニングコスト（通信料）
PLB（Personal Locator Beacon）	コスパス・サット衛星	コスパス・サット衛星	①遭難の通報用 ②地球全域 ③衛星は船舶、航空機等の救難用として国際的に運用、個人向け（PLB）は制度化の動き（当面は海上に限定）、救助機関に直接通報、通報操作が必要、ランニングコスト
goTenna（海外のみ）	なし	VHF（151-154MHz 2W）	①登山者同士のテキストメッセージ交換用 ②最大約 80km ③Bluetooth LE でスマートフォン接続、個人・複数ユーザ間メッセージ送信可能、SOS 発信機能、周囲のユーザ位置地図表示（スマートフォン GPS 利用）、防水防塵
Beartooth（海外のみ）	なし	VHF（151-154MHz） UHF（462-467MHz）	①登山者同士のテキスト・音声メッセージ交換用 ②最大約 3.2km（遮蔽がなければ更に遠く） ③スマートフォンケース型、プッシュ・トゥ・トーク（単信式）で音声・テキスト送信可、個人・複数ユーザ間メッセージ送信可能、メッセージ到達通知機能、SOS 発信機能、定期的位置情報発信用ビーコン機能
RECCO 雪崩救助システム（海外のみ）	ハーモニックレーダー	UHF（送信 917MHz 1.5W） （受信 1,834MHz）	①救助者による登山者探索用 ②200m 以上 ③探索器（ディテクター）とリフレクターとの組合せ、リフレクター電源不要、要無線従事者免許

1.3 登山者等の位置検知システムの利用に向けた課題

登山者等の位置検知システムには、前項で示したようにシステム毎に特徴があるが、過去に実施した各種調査研究会等の報告³や登山関係者からの既存システムに対する要望等から本システムに装備されるべき機能等を以下に整理する。

- ・ 探索可能範囲を現状のシステムより拡大できること
- ・ 探査精度の向上ができること（ピンポイントの位置測定、複数の登山者の特定が可能）
- ・ 探索可能範囲、探査精度を維持して探索に必要な長期間の稼働が可能であること
- ・ 普及を図るため廉価に製作できること
- ・ 利用にあたっての制約がないこと
- ・ 登山者にとって負担とならない容積と重量であること
- ・ 操作性が良いこと 等

上記機能を満足すると共に、VHF 帯を利用したシステムに対する実用化の要望が登山関係者等から挙がっていることから、広範囲の検知を可能とする山岳の伝搬特性に優れた 150MHz 帯の電波を利用し、かつ無線局免許が不要である特定小電力無線局による登山者等の位置検知システムの実現が求められている。

150MHz 帯の電波は、周波数がひっ迫しており、新たな周波数の確保は困難な状況から、特定小電力無線局として既に制度化された動物検知通報システムに利用されている周波数を用いることとする。その為、登山者等の位置検知システムの検討を進めるにあたり、動物検知通報システムとの周波数共用技術の検討が必須である。

1.4 動物検知通報システムの現状と課題

（１）動物検知通報システム用周波数

動物検知通報システムの周波数は、142.93MHz から 142.99MHz までの 60kHz を使用しており、142.94MHz から 10kHz 間隔で 5 チャンネル配置されている。チャンネル配置を図 1-7 に示す。同図に示す通り、占有周波数帯幅の許容値は 16kHz である。

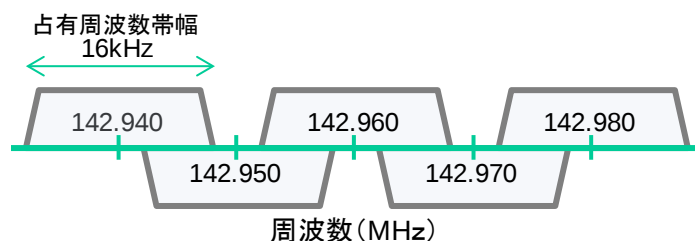


図 1-7 動物検知通報システムの周波数配置

³ 平成 16 年度 山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関する検討会

(2) 利用状況

自然環境保全への取り組みとして、野生動物問題の改善、希少種の保全、学術研究があり、野生動物問題には、分布の拡大、個体数の増加、農林業被害、生態系への影響、人身被害が挙げられる。例えば、最近の気候変動や農林業従事者の減少に伴う里山の荒廃、狩猟者の減少等により、農業及び生態系等への被害をもたらす恐れのあるニホンジカ（以下、シカという）およびイノシシの分布が拡大⁴しており、これらの野生鳥獣による農作物被害は深刻な状況である。農林水産省のまとめによるとその被害額も約 200 億円と報告⁵されている。

このように自然環境保全への取り組みは、国土保全や人命にも関わる問題であり、これに対する対策の大きな柱の一つとして野生動物の保護管理が行われている。これらの捕獲には、野生動物の生態把握が不可欠であり、目的により対象となる野生動物と要求条件が異なるが、野生動物の身体に発信機を付けて位置把握を行う動物検知通報システムが活用されている。主な対象はクマ、シカ、イノシシ、サル等であり、いずれも捕獲時に発信機を装着して放獣することを想定している。動物検知通報システムの利用状況を表 1-5 に示す。

表 1-5 動物検知通報システムの利用状況

目的		動物検知通報システムの活用
農作物の被害防除	接近警報、追い払い	リアルタイムの位置把握
狩猟支援	猟犬の位置、状況確認	リアルタイムの位置把握、猟犬の声
捕獲支援	有害捕獲、個体数調整	季節行動圏、移動経路の把握
生態調査・学術研究	モニタリング	季節行動圏、移動経路の把握、生息地利用形態

調査者は、利用目的に応じて動物検知通報システムの使用機器を使い分けて活用しているのが現状である。一つはビーコンを用いたリアルタイムデータの取得、もう一つは GPS を用いたストックデータの取得である。リアルタイムデータの取得は、小型～大型哺乳類、魚、鳥を対象とし、アンテナを活用し電波強度により現在位置を把握する。一方、ストックデータの取得は、主に GPS 首輪が装着可能な大型哺乳類を対象とし、位置情報を本体に蓄積し、対象動物に接近してデータをダウンロードすることにより生息地利用形態や移動経路などを把握する。但し、データダウンロードには、対象動物への接近が必要であることからリアルタイムデータも必要となる。

また、猟犬用発信機（以下、「ドッグマーカー」という）として、狩猟の際に獲物を追う猟犬の首輪等に取り付けて電波を発射し、狩猟者がその信号を受信して猟犬の位置を検

⁴ 環境省 HP 野生鳥獣による生態系への影響が懸念される地域(ニホンジカ及びイノシシ)

⁵ 農林水産省 鳥獣被害対策の現状と課題

知・把握するために使用されるものもある。狩猟時の猟犬の位置把握については、狩猟の形態により 2km から 3km 程度の通信範囲を必要とし、猟犬からはビーコン電波が間欠的に送信され、これにより狩猟者は猟犬の位置探知が可能となる。更に専用の受信機を使用すると、犬の声、周囲の音等の音声聞こえ、猟犬の状況が手に取るようにわかる。

(3) 課題

動物検知通報システムの実状を図 1-8 に示す。現状の動物検知通報システムでは、周波数としては 5 波の利用可能であるが、うち 2 波はインターリーブ的な配置となっているため、同一地域では実質 3 波の使用に限られている。また、動物検知通報システムにおける測位方法は、シカやクマといった大型の動物を除き、現状ビーコン方式が主流であり、連続的に電波を発射してチャンネルを占有するため、同じ地域では同時に使用できるシステム数は割当てチャンネルに制約されることとなる。

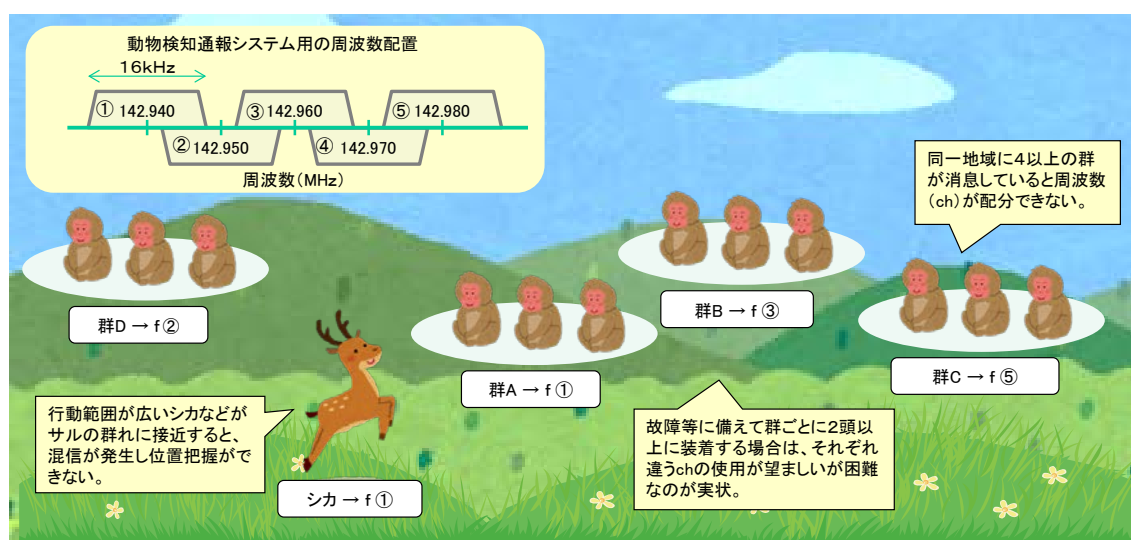


図 1-8 動物検知通報システムの実状

更に、動物検知通報システムに使用されているビーコンでは、安定して受信するためには 900m 程度まで接近する必要がある、個体の識別 ID を安定して受信するためには 400m 程度まで接近する必要がある。獣種類や生息環境によっては接近が困難である上、危険が伴う場合がある。また、周辺において他のビーコン信号が利用されている場合には混信が発生することが報告⁶されている。その試験結果を表 1-6 に示す。

⁶ 平成 24 年度 ニホンザル行動域調査に係る発信器の電波伝播特性調査委託業務

表 1-6 ビーコン・識別符号の伝達、混信の現状

試験内容	距離	備考
ビーコン受信可能距離	1200m（障害物なし・受信は不安定）	
	900m（障害物なし・受信は安定）	
ID 受信可能距離	930m（障害物なし・受信は不安定）	
	400m（障害物なし・受信は安定）	
	100m（障害物あり）	
同一チャネルのビーコンの混信	1200m まで	
同一チャネルの ID の混信	300m まで	
隣接チャネルのビーコンの混信	600m まで	
隣接チャネルの ID の混信	100m まで	
2 チャネル以上離れた場合	混信なし	ビーコン・ID 共に

また、動物種における装着する調査機器の現状を表 1-7 に示す。このように動物種により違いはあるものの、個体および群れ別に装着・管理する必要があることから群れ内・隣接群との混信や動物の長距離移動に伴う混信を回避するためには、現行のチャネル数では不足しており、チャネル増加が求められている。

表 1-7 動物種における装着する調査機器の現状

動物種	装着する発信器	装着単位	現行の問題点
サル	150MHz 帯が主流	個体および群れ別	群れ内・隣接群との混信
シカ	GPS 首輪及び 150MHz 帯が主流	個体別	長距離の移動を伴うため可能な限り独立した周波数が必要
クマ	GPS 首輪及び 150MHz 帯が主流	個体別	長距離の移動を伴うため可能な限り独立した周波数が必要
希少種	150MHz 帯が主流	個体および群れ別	
外来種	150MHz 帯が主流	個体および群れ別	

神奈川県を例に挙げると、サルは県内西部を中心に 20 余の群れに分かれており⁷、各群れの 1～2 頭にビーコン方式の首輪を装着し、群れの行動範囲の把握および接近警報用として約 40 のビーコンが使用されている。群れは限られた範囲内で行動するため、地域ごとにチャネルを割り振っているが、実質的に 3 チャネルに限られるため、群れが集中する地域では電波の干渉が避けられない状況である。更に、サルだけでなくシカ・クマ等は、広範囲にわたって移動するのに加え、サルの群れにおける分裂の可能性もあるため、サルとシカ・クマのビーコン波が同じチャネルで使用されていると、相互間で混信が発生する。

⁷ 平成 25 年度 神奈川県ニホンザル保護管理事業計画

また、ドッグマーカについても猟犬の頭数分のチャンネルが必要であること、および別の狩猟者グループが近くにいた場合の混信回避を想定すると、現行のチャンネル数では不足しており、チャンネル増加が求められている。

1.5 動物検知通報システムの用途と要求諸元

現在利用されている動物検知通報システムの用途及び要求諸元について表 1-8 に示す。小型及び中型水中生物と小型動物についてはビーコンによる測位方法が主流である。これは装置を小型軽量化する必要があるため、大型となる位置センサー搭載は難しい。接近警報の用途は、集落等に置かれた受信ポイントでビーコンが受信された場合に警報（警報音、メール等）を発するシステムとなっている。猟犬音声については 600 秒の連続送信が可能であり実際の装置も販売されている。狩猟罾用発振器については 1W 以下と記載しているが、キャリアセンス機能の有無により出力 10mW 以下の製品もある。

表 1-8 動物検知通報システムの用途及び要求諸元

用途	対象	測位方法	収集形態	出力	所要伝送速度
季節行動圏・移動経路の把握	小型水中生物（魚等）	ビーコン	リアル	1mW 以下	2400bps 以下
	中型水中生物（魚、カメ等）	〃	〃	10mW 以下	〃
	小型動物（うさぎ、鳥等）	〃	〃	10mW 以下	〃
	中型動物（サル等） 大型動物（シカ、クマ等）	ビーコン	リアル	20mW 以下	〃
		GPS・ビーコン併用	ストック	1W 以下	9600bps 以上
接近警報	サル、クマ等	ビーコン	リアル	20mW 以下	2400bps 以下
狩猟 i) 猟犬位置把握	猟犬	GPS 等	リアル	1 W 以下	2400bps 以下
ii) 猟犬音声	猟犬	—	—	1 W 以下	4800bps
iii) 狩猟罾用発振器	罾	ビーコン	リアル	1 W 以下	2400bps 以下

その他、狩猟における要求諸元を表 1-9 に示す。猟師の位置把握については、登山者と同様の諸元である。猟師間の連絡については音声通信が求められており、その所要伝送速度はデジタル簡易無線局の 4 値 FSK 方式を参考に 4800bps 程度としている。

表 1-9 狩猟の用途及び要求諸元

用途	対象	測位方法	収集形態	出力	所要伝送速度
狩猟 i) 猟師の位置把握	人（猟師）	GPS 等	リアル	1 W 以下	2400bps 以下
ii) 猟師間の連絡	人（猟師）	—	—	1 W 以下	4800bps

1.6 登山者等の位置検知システムおよび動物検知通報システムの需要の予測

（１）登山者等の位置検知システム

1.1 項で述べたように全国的に登山者人口はピクニック、ハイキング、野外散歩を含めて約 3,000 万人と高いレベルで推移している。この傾向は今後も続き、中高年を中心に幅広い世代が参加するものと考えられる。また、遭難件数、遭難者数は、増加傾向にあることから、今後も増加傾向で推移することが予想される。

こうした中、富山県で実施されている登山者ビーコン情報交換会や長野・岐阜・富山三県山岳遭難防止対策連絡会議等において関係者から、平成 25 年度は県内の遭難件数が過去最高となり、特に単独登山者、高年齢層の遭難が顕著であり、これらの登山者に遠距離探索できるビーコンシステムは有効であると報告されている。更に日本初の世界標準となるビーコンシステム、リーズナブルな価格のシステム販売、更なる小型軽量化等の要望が挙がっている。さらには、登山者捜索で早くから取り組んでいる富山県のシステムを全国に普及するようにしてほしい等の意見も挙がっている。

これらの背景からも、登山者等の位置検知システムへの関心は非常に高く、登山関係者が要望する本システムが技術面、制度面、運用面で整っていけば、登山者人口から見ても、需要の拡大が見込めるものと予想される。

（２）動物検知通報システム

1.4 項で述べたようにシカやイノシシ等の野生動物の分布が拡大しており、今後も拡大が予想されていることから野生動物との問題は益々深刻化していくと考えられる。主な動物の被害状況とその地域について表 1-10 に示す。

表 1-10 主な動物の被害状況とその地域

動物種別	被害状況	地域	最近の動き
シカ	農作物および生態系	全国的	
サル	農作物および人身		
イノシシ	農作物および人身		兵庫県で人身被害あり
クマ	人身		金沢中心部で出没

このように生態系や農作物および人身被害が全国的に発生しているものの、調査や対策などの取り組みが十分行われていないことや、専門家の不足、地域により異なる野生動物問題の性質や動物の特性を把握できていないため、こうした問題は解決には至っていない。また、被害が騒がれている動物も生態系の一員であるため、共存が前提であり、対象とする動物の生息状況を把握することは不可欠であると考えられる。また、希少種など自然生態系保護の観点においても生態の把握が必要である。

これらのことから、野生動物問題の解決に向けて対象動物の位置情報（生息地利用情報）の取得は不可欠であり、本システムの需要が益々拡大することが予想される。

また、ドッグマーカーについても、近年狩猟者は高齢化し、その人数も減少していることが報告⁸されている。一般的に狩猟では、猟犬を使って獲物を追い込む方法が行われているが、こうした狩猟を助けるためのツールとして活用されており、高齢化が進む現状からもドッグマーカーのニーズは高いと考えられる。

⁸ 平成 22 年度 猟犬等位置把握・検知用無線システムに関する調査検討会

第2章 登山者等の位置検知システムの検討

本章では、登山者等の位置検知システムの利用シーンを設定した上で、システムに求められる機能や性能等について述べる。

2.1 利用シーン

登山者見守りシステムは、登山者が携帯する GPS センサーを装備した登山者端末と登山者端末から送信される位置情報を受信して表示する検知者端末で構成され、検知者端末を山小屋等に設置することで恒常的な登山者の見守りを実現するものである。また、検知者端末は山岳救助隊等が携帯して利用することもできる。

(1) 遭難時での利用

遭難時における利用シーンを図 2-1 に示す。道迷いなど、登山者が遭難した際、登山者自ら登山者端末を操作（ボタン等を押下）することで現在位置情報を発信し、山小屋等に設置されている検知者端末が受信し登山者の位置を表示する。登山者からの通報を受信した山小屋等では状況に応じて、救助隊へ通報を行う等の対応を行う。

一方、不意の事故等に巻き込まれ、登山者が自ら位置情報を送信する操作ができない場合が想定される。このように登山者が予定を過ぎても下山しない等の場合は、登山者の ID を指定して、検知者端末（山小屋、救助隊（ヘリ含む））から送信要求コマンドを送信し、登山者端末から位置情報を送信させる。

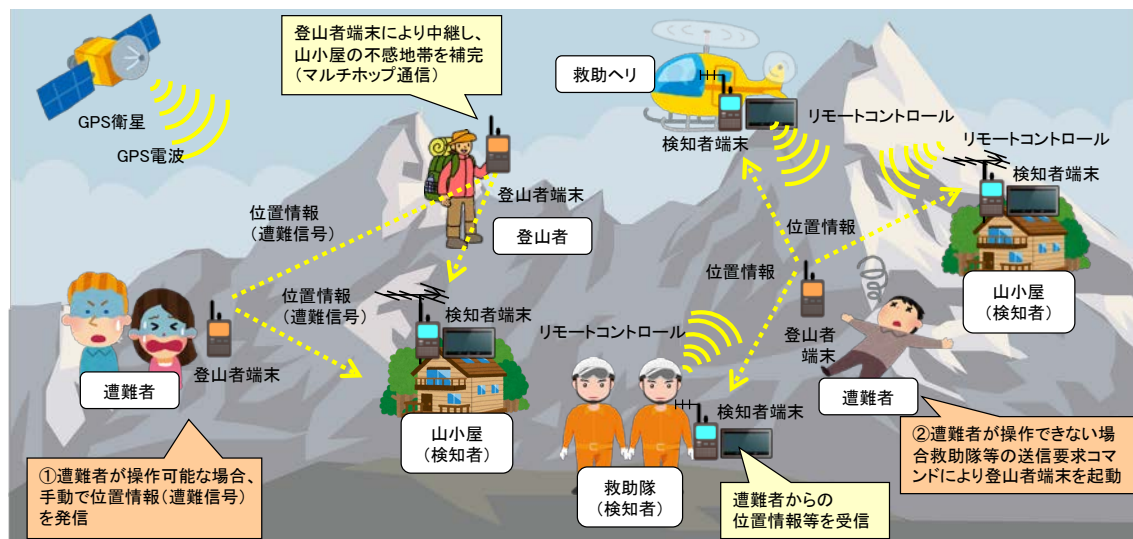


図 2-1 遭難時における利用シーン

(2) 平常時での利用

平常時における利用シーンを図 2-2 に示す。山小屋等の検知者端末から送信要求コマンドを送信し、周辺の登山者の位置情報を取得する。宿泊予定の登山者の到着が遅れている場合などでは、当該登山者の位置を把握するとともに、登山者端末に蓄積された直前の位置情報等から、移動中か、動けなくなっているか推測ができる。



図 2-2 平常時における利用シーン

(3) その他での利用

登山者見守りシステムは本格的な登山以外に、ハイキングや山菜取りを目的とした入山者等にも利用できる。その他の利用シーンを図 2-3 に示す。学校遠足等では、引率する先生が検知者端末を携帯することで、目の届かない児童・生徒の位置把握や点呼に活用できる可能性がある。

そのほか、山間集落等の徘徊老人対策、林業など山間作業者の安全対策への活用が可能と考えられる。更に図 2-4 に示すような狩猟者同士の位置把握にも利用できる。



図 2-3 その他の利用シーン

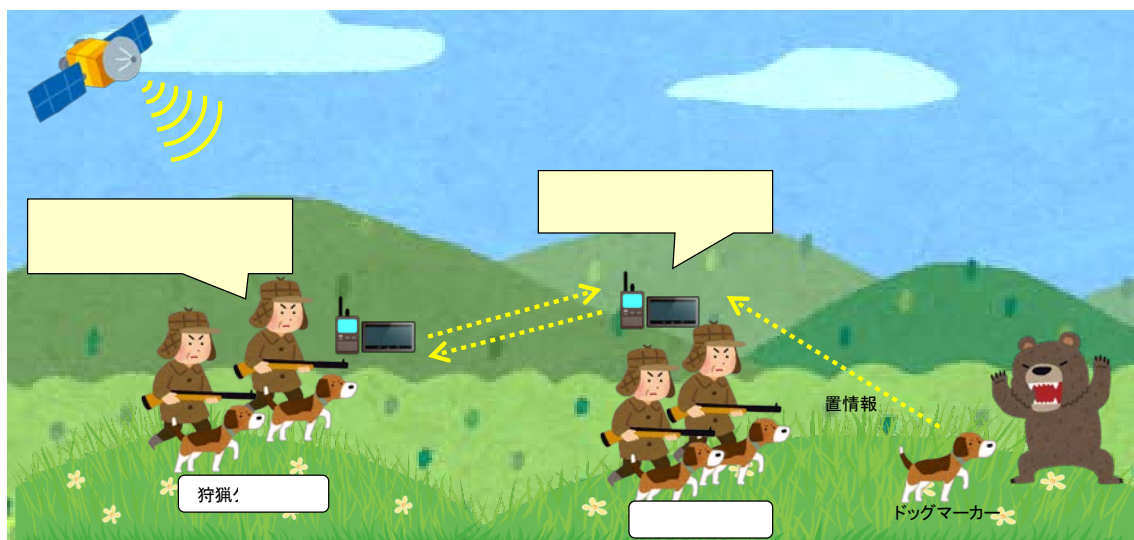


図 2-4 狩猟者同士の位置把握の利用シーン

2.2 システムに対する要望

利用シーンを踏まえ、登山者等の位置検知システムに対する要望を機能性、操作性、携帯性、経済性、その他の項目で整理を行う。

(1) 機能性

登山者等の位置検知システムに対しては、表 2-1 に示すとおり、機能性、操作性、携帯性、経済性等に関する様々な要望がある。

登山に必要な情報端末としての機能を全て網羅して欲しいという高機能化の要望がある

一方で、できる限り基本機能に絞ることで小型軽量化、簡単操作、廉価性を追求して欲しいという要望が出されている。

登山者等の位置検知システムは、登山者端末の位置情報を検知者端末にて知ることが出来るシステムであり、位置情報には GPS を利用している。登山者は自分の軌跡を知るためにハンディ GPS を携帯していることがあり、登山者等の位置検知システムで軌跡を知ることができる機能が具備されるのであれば、登山時に所有する機器の代替品となる。

登山者端末からの位置情報だけでなく、メッセージを送受信できる機能を装備して欲しいという強い要望がある。予め想定されるメッセージをコード化することで簡単な操作により送受できる可能性があるが、その場合には表示機能や音声読み上げ機能を付加する必要がある、重量や価格等への影響が懸念される。

（２）操作性

登山者端末は、普段持ち歩いている意識が少なく、遭難時に初めて操作することが多いと思われる。遭難等で平常心を失った状況においても操作するためには、だれでも直感的にかつ簡単に操作ができることが望まれる。

一方、検知者端末は、ある程度習熟した者が操作することが想定されるが、登山者端末の位置情報等を直観的に操作・認識できるものが望まれ、例えばスマートフォン等のような操作性が受け入れやすいと考えられる。

（３）携帯性

本格的な登山では、利便や安全確保のため、スマートフォン、携帯電話、雪崩用ビーコン、アマチュア無線機などの多くの情報端末を携帯する場合がある。これらの装置だけでも相当な重量となるが、それに加えて登山者端末を持つことになるため、できる限り小型軽量であることが望まれる。

例えば 30g 程度であれば普及しやすいという意見もある。

（４）経済性

冬山の登山者を守るシステムとして雪崩ビーコンが広く知られているが、危険な冬山でも登山者は雪崩ビーコンを必ずしも持参しているわけでない。それは、有効性を認識していても確率の低い事故のために、重量 250g 程度で数万円のシステムを所有することをためらっているものと考えられる。

そういう意味からも、小型化、軽量化に加えて、購入価格とランニングコストが安価であることが重要となる。

価格を抑えるためには量産効果が重要であり、本格的な登山以外にも利用が拡大する方法を検討する必要がある。また、通信料が発生しないシステムであることが望まれる。

(5) まとめ

これらの要望を表 2-1 にまとめる。また、要望の項目の関係性を図 2-5 に示す。機能向上や多機能を要望することにより、操作性は複雑さを増し、機器部品の増加による重量の増加や端末コストが上昇する。実用化にあたっては、これら背反する要望に対してどこで折り合いをつけるかが課題となる。

表 2-1 登山者等の位置検知システムに対する要望一覧

項目	要望
機能性	必要な機能が全て一つの装置に備わっていること（複数装置の所持不要）
	必要最小限の機能だけを備えていること（小型軽量、廉価、操作性）
	登山者端末が位置情報を中継できること（不感エリアの補完）
	検知者端末は普及しているタブレット等と連携して、登山者の位置を地図上に分かりやすく表示できること（相対位置、方角等を含めて）
	定型（メッセージ）文章を送受信できること
	広範囲に検知可能なこと
操作性	操作が簡単であること（直感的に操作できること）
携帯性	小型軽量であること
経済性	設備が安価であること
	ランニングコストが安価であること
その他	運営方法が整備されること
	検知者端末及び登山者端末はできるだけ共通化されていること（製造コストの低廉化）



図 2-5 一般的な要望項目の関係

2.3 システム構成

利用シーンと要求条件を踏まえ登山者等の位置検知システムの構成を図 2-6、図 2-7 に示す。

緊急時において、登山者端末から発信する場合は、登山者端末のボタン操作により位置情報を検知者端末へ送信する。その際、登山者は登山者端末から位置情報を定期的に送信

していることを LED 等で知ることができる。登山者が移動していても検知者端末で位置を把握できるよう、登山者端末では GPS 測位により位置情報が適宜更新される。検知者端末では受信した位置情報を USB 接続したタブレット等で地図上に表示される。これにより登山者の位置を視覚的に把握することができ、効率の良い救助活動が可能となる。但し、タブレット等と未接続の場合を想定し、検知者端末が位置情報を受信したときは LED 等の点灯により表示させる。

次に、緊急時及び平常時において検知者端末から送信要求コマンドを送信し、登山者端末が応答する。基本的には緊急時の構成と同じであるが、登山者が何かしらの理由で登山者端末を操作することが出来ない場合に、検知者端末から登山者端末側に位置情報を送信させるための通信を行う。送信要求コマンドの送信は、タブレット等のアプリケーションや検知者端末のボタン操作によって行う。検知者端末からの電波が届く位置に登山者端末がある場合には、タブレット等の地図上に位置情報が表示される。もし送信要求コマンドを送信しても、タブレット等に位置情報が表示されない場合には、送信要求コマンドが届く範囲内に登山者が存在している可能性が低いと考えられる。

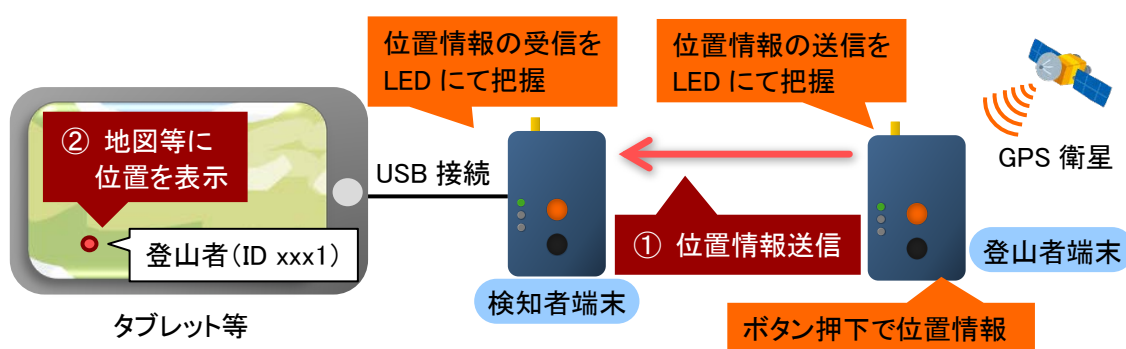


図 2-6 登山者の操作により位置情報を送信し、検知者端末に表示する（緊急時）

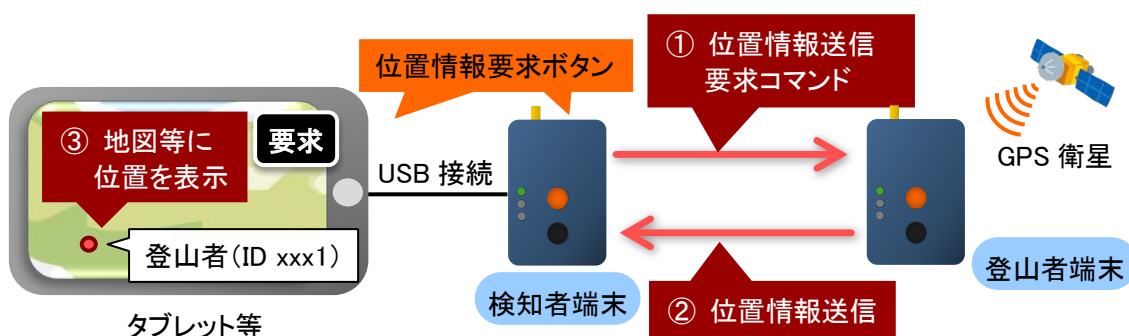


図 2-7 検知者からの要求により、登山者端末の位置を把握する（緊急時&平常時）

2.4 位置検知の用途及び要求諸元

登山者等の位置検知システムの用途及び要求諸元について表 2-2 に示す。用途は登山者等の位置検知であるが、その対象は利用シーンに示した通り、登山者に限らず遠足等の入山者、徘徊老人や猟師などが考えられる。測位方法については GPS 測位を用いることとし、収集形態は現在位置だけを通知するリアルと複数地点の位置情報を通知して移動履歴など知ることができるストックの 2 種類とする。端末の送信出力については現行の動物検知通報システムと同様に 1W 以下とする。さらに、通信速度については基本的に位置情報を送受信することから 2400bps 程度であれば十分と考えられる。

表 2-2 登山者等の用途及び要求諸元

用途	対象	測位方法	収集形態	出力	所要伝送速度
登山者等の位置検知	人(登山者、遠足児童、徘徊老人など)	GPS 等	リアル ストック	1W 以下	2400bps 以下

ここで、2400bps の通信速度における通信時間の目安を示す。データプロトコルの規定方法によって位置情報のデータ単位で通信が可能となるが、データの送受信に関わる時間はプロトコルの送信方法によって変わってしまうことがある。ここでは、現行の動物検知通報システムを参考とし、ACK 交換時間、パケットの再送要求や送信休止時間などを考慮しない理想的な条件として検討する。

表 2-3 通信時間の検討条件

項目	条件・備考
GPS データ	20byte
パケットサイズ	80byte 程度 (本調査検討会で用意した試験モデルシステム参考)
送信単位	1 パケット単位
通信時間	1 パケットあたり 62.5msec @2400bps (現行の動物検知通報システムの通信時間より算出)

通信時間の検討条件を表 2-3 に示す。これらの条件において、現在位置の収集形態であるリアルについての通信時間は 62.5msec、24 ポイントのストックデータの通信時間は 375msec となる。実際には位置情報以外に機器 ID、コントロールコード、プリアンブル、Sync Word、CRC 等の情報が 1 通信単位ごとに付加されることになるが大幅に通信時間が増加することはないと考えられることから、通信速度は 2400bps で十分と思われる。

2.5 位置検知の範囲

(1) 位置検知の範囲

一般的に山小屋等の施設が2km～3km 間隔で存在しており、平常時の利用シーンとして登山者が次の施設に到着したことを確認するならば、検知範囲としては山小屋等の施設の間隔より広い3km～4km 程度であることが望まれる。また、この検知範囲には、山間部の特殊な伝搬環境においては検知者端末の近傍であったとしても不感地帯となることがあり、この近傍の不感地帯を近隣の山小屋に設置した検知者端末で補うことができる効果も含まれている。

(2) 位置検知の精度

登山者端末は、検知者端末からの要求もしくは登山者端末からの直接操作により現在位置の測位を行ったのちに位置情報を送信することとなる。

一般的に GPS による単独測位精度は 10m 程度であるが、山間部やビル陰等で補足している衛星の数が少なくなると精度が悪くなる。また、更に条件が悪くなると測位ができないことがある。

通常操作を行った時または、送信要求コマンドを受けた時に GPS 測位ができない場合は、自動測位によるストックデータの中から直前データを使用することになるため、それが誤差として加わることが考えられる。更に登山者端末を水没させてしまったり、雪に埋まってしまうことでも測位できない可能性がある。

これらの事を考慮すると、登山者端末による測位は遭難時のみに限らず、定期的の実施しておき、端末には常に最新の位置情報を保持しておくことが望まれる。

なお、現在日本においては位置情報の精度を上げるため、準天頂衛星「みちびき」の整備を進めている。このみちびきは、2018 年には 4 機体制となり、将来的には 7 機体制を目指している。準天頂衛星は日本の天頂付近に配置されるため、山間部やビル街でも受信が可能となり、精度が 1 m 程度に改善されることと併せて信頼性の大幅な向上が期待される。

2.6 システムの機能・性能

2.6.1 検知者端末

登山者等の位置検知システムの構成を踏まえ、検知者端末に求められるシステムの機能・性能を示す。

(1) 通信方式・通信内容

検知端末から登山者端末の送信制御を行うために双方向通信が必要となる。(単信方式) 位置情報、メッセージともデータ通信となる。

(2) 位置情報送信操作

位置情報の送信操作は、登山者端末に向けて位置情報を送信させるためのリモートコントロールによる遠隔操作が必要となる

(3) 測位方法・測位間隔・情報保持

検知者端末の測位方法は、救助隊による搜索利用も考慮すると GPS 等による衛星測位が必要となる。今後、みちびきが整備されることでより高精度となることも考慮すると、性能として十分であると考えられる。

測位の間隔については、山小屋等に固定しての利用であれば、測位は 1 回のみで十分である。救助隊による利用の場合には、現在の位置を知りたいタイミングで更新が出来れば十分である。そのため、検知者端末を使用している人が任意の操作等で位置情報を取得できる機能等が必要である。

(4) 表示

効率的な救助活動時等を行うために登山者の位置を視覚的に分かりやすく表示されることが必要となる。地図上に検知者端末と登山者端末の位置が表示され、方位や距離等の相対情報が表示される機能が必要となる。

(5) 接続端子

登山者端末の位置情報等を表示させるため、普及の進んでいるスマートフォンやタブレット等と接続が必要となる。

アプリケーションの開発により直観的に使えるシステムの実現や表示部を検知者端末に具備しないことでコスト低減となる。

(6) その他

検知者端末は山小屋等に設置する場合や搜索救助の必要が発生した場合に使用される。そのため、重量・サイズ・電源・連続動作時間については登山者端末に求められる機能に比べると制限は比較的緩やかとなる。

山小屋に設置するのであれば、電源は確保され、重量やサイズも持ち運びを想定しない仕様でも十分である。搜索救助の場合は、小型軽量である方が望まれ、電源や連続動作時間は数日程度で十分である。

表 2-4 検知者端末に求められるシステムの機能・性能

項目		機能・性能
通信方式		単信方式（データ通信 ※1）
位置情報 送信操作	遠隔	登山者端末に向けて位置情報を送信させるリモートコントロール
測位方式		全地球測位システム（以下、「GPS」という）等
測位間隔及び 情報保持機能		測位間隔：現在の1地点分を端末内のメモリに保持
表示		位置情報を地図上で視覚的に表示 ※2 （検知者端末の位置を併せて表示）
接続端子		表示のためのスマートフォンやタブレット等と接続

※1 送受信したメッセージ番号を受信した際に、端末等に保存している定型音声を再生

※2 タブレットやパソコン等との連携により実現

2.6.2 登山端末

登山者等の位置検知システムの構成を踏まえ、登山者端末に求められるシステムの機能・性能を示す。

（1）通信方式・通信内容

検知者端末から登山者端末の送信制御を行うために双方向通信が必要となる。（単信方式）位置情報、メッセージともデータ通信となる。

（2）位置情報送信操作

位置情報の送信操作は、登山者端末の直接操作と検知者端末からのリモートコントロールに対応する遠隔操作が必要となる。

直接操作は登山者端末に具備されたボタン等の押下操作によって位置情報を定期的に発信するものである。遠隔操作は不意の事故等により登山者が操作できない場合に救助隊等の検知者端末から送信された送信要求コマンドに応答し、位置情報を送信するものである。

（3）測位方法・測位間隔・情報保持

登山者端末の測位方法は、GPS 等による衛星測位が必要となる。今後、みちびきが整備されることでより高精度となることも考慮すると、性能としては十分であると考えられる。

自動測位の間隔及びデータの保持については、次の理由から間隔は30分以下、データ保持数は1～24を目安とする。

- ・ 現在の位置把握が最重要であり、登山者が通報ボタンを押下または送信要求コマンドの受信タイミングでGPS測位を行うこと

- ・ 保持データは、①現在位置の測位ができない場合のバックアップ、②現在位置と比較して登山者が移動しているか否かの判断に使用するものであること
- ・ 直前の移動経路の把握に使用する場合も、半日程度の情報があれば十分と思われること。

保持する地点数はメモリ容量に左右されることから製造コストとの兼ね合いで検討を行う必要がある。

(4) マルチホップ通信

急峻な山岳地帯では、山小屋等に設置している検知者端末だけでは通信できないエリアが発生することが想定される。登山者端末に中継機能を具備することで、通報者の周辺の登山者端末を経由して通信が成立し、エリアを補完できる可能性がある。

マルチホップ通信機能は、ソフトウェアの改修のみで追加できる可能性があり、重量、容積への影響が少ない。ただし、無制限な中継を行うとチャンネルが輻輳して他の通信に影響を与える可能性があるので方法等について検討が必要である。

(5) 重量・サイズ・電源・連続動作時間

装置の重量やサイズについては小型軽量の必要がある。これは登山等を行う場合には他の荷物があるため、大型で重量物なものはたとえ良いシステムであっても敬遠されてしまう。試験モデルシステムを実際に持った感触では、より小型軽量とのご意見もあったことから、本体サイズは携帯電話よりも小さく、重量は 100g 以下を目安とする。

連続動作時間については GPS 測位の間隔に影響されるが、連続動作 3 週間程度でかつ 30 分間隔の GPS 測位とした場合、1600mAh のバッテリーが必要となる。試験モデルシステムでは 3.7V1100mAh のバッテリーを使用していることから、若干大きさが増えることとなるため、デバイスの省電力化、電池の性能向上が期待される。なお、検討条件としては常温であることや 21 日目以降の 2 日間はビーコンが送信されることとしている。実際の遭難時には低温時の使用もあり、電池利用効率が低下するため連続動作時間が短くなることも考えられる。全体的なシステムとして装置を製造する上では、測位のための消費電力を抑えることや待ち受け状態における登山者端末の待機電力の省力化など工夫する必要がある。

表 2-5 登山者端末に求められるシステムの機能・性能

項目		機能・性能
通信方式		単信方式（データ通信 ※1）
位置情報 送信操作	直接	登山者の端末操作により位置情報を送信
	遠隔	山小屋や救助隊等の検知者端末から送信された送信要求コマンドに応答し、位置情報を送信（不意の事故等により登山者が操作できない場合、平常時の見守りのための山小屋等から位置把握）
測位方式		全地球測位システム（以下、「GPS」という）等
測位間隔及び 情報保持機能		測位間隔：30 分以内 保持機能：直前 1～24 地点分を登山者端末内のメモリに保持（見守り等における登山者の動静把握や送信操作時に GPS 測位ができない場合の対策）
中継 （マルチホップ通信）		登山者端末等が受信した位置情報等を山小屋等に中継する機能（通信エリア補完）（マルチホップ通信機能の付加はソフトウェアで対応可能、必須とはしない）
重量・サイズ・電源		小型軽量（100g 以下）であり、必要な電源容量を確保
連続動作時間		3 週間以上

※1 送受信したメッセージ番号を受信した際に、端末等に保存している定型音声を再生

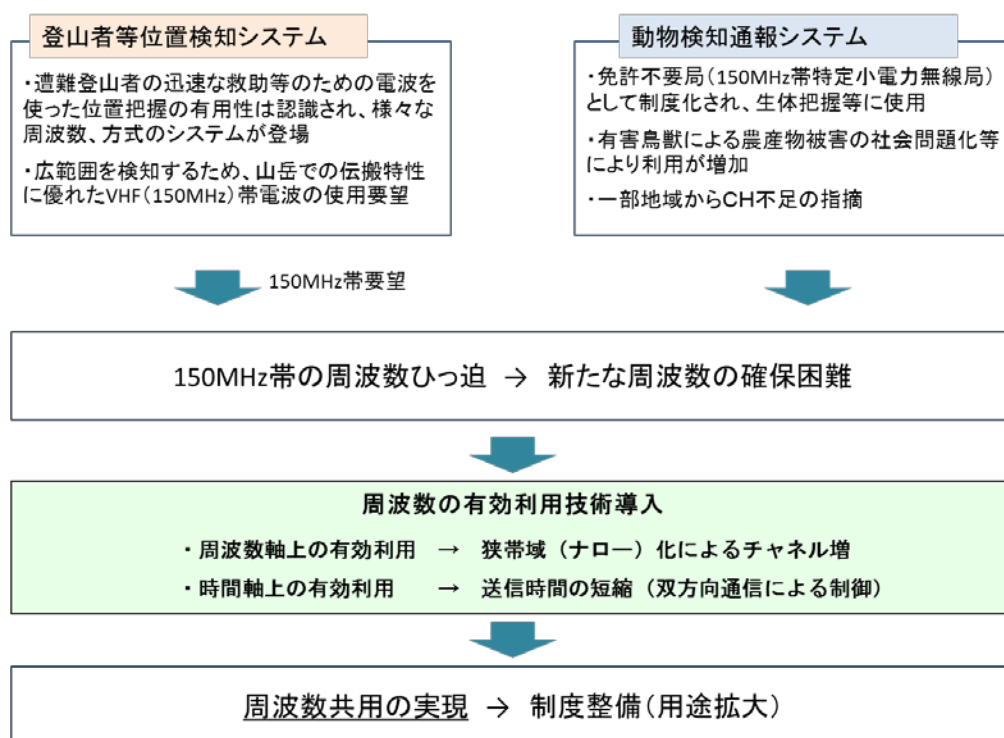
第3章 周波数共用方法の検討

登山者等の位置検知システムが使用する周波数は、150MHz 帯の周波数のひっ迫状況から動物検知通報システム用特定小電力無線局との周波数共用を前提としている。

一方で動物検知通報システムにおいても、有害鳥獣による農作物被害が社会問題化するに従い、その利用は増大しており、利用できるチャンネル数を増やして欲しいという要望が出されている。

そのため、動物検知通報システムのチャンネル不足を解消した上で、更に登山者等の位置検知システムのトラフィックを収容できるようにする必要があり、次の二つの周波数有効利用策の検討を行う。

- ・周波数軸上の有効利用（ナロー化によるチャンネル数の増加）
- ・時間軸上の有効利用（同一チャンネルの利用効率の向上）



3.1 周波数軸上の有効利用

使用可能なチャンネル数を増加させるためのナロー化化の方策について、周波数配置、所要伝送速度及び伝送品質確保の観点から検討を行う。机上検討に加え、ナロー化した登山者等の位置検知システムのモデルシステムによる試験等を実施する。

3.1.1 周波数配置（ナロー化案）

動物検知通報システムの周波数は、142.93MHz から 142.99MHz までの帯域が割り当てられており、142.94MHz から 10kHz 間隔で 5 波配置されている。占有周波数帯幅は 16kHz であるため、第 2 番目と第 4 番目の周波数は図 3-1 のとおりインターリーブ的な配置となる。このため、同一地域では、同時に使用できるのは 3 チャンネルまでとなる。

使用可能なチャンネル数を増やすためのナロー化案を表 3-1 及び図 3-1 に示す。

案①は現行の周波数配置を変更せず、占有周波数帯幅だけを 16kHz から 8.5kHz にナロー化することで、これまでの実質 3 チャンネルから 5 チャンネルを確保する。

案②は更にナロー化を図り、150MHz 帯デジタル簡易無線局で実績のある周波数間隔 6.25kHz、占有周波数帯幅 5.8kHz とすることで 8 チャンネルを確保できる。

表 3-1 周波数軸上のナロー化案

案	システム	チャンネルセパレーション	占有周波数帯幅	チャンネル数
①	8.5kHz 帯域幅 (現行周波数配置)	10kHz	8.5kHz	5ch
②	5.8kHz 帯域幅 (6.25kHz 周波数間隔)	6.25kHz	5.8kHz	8ch

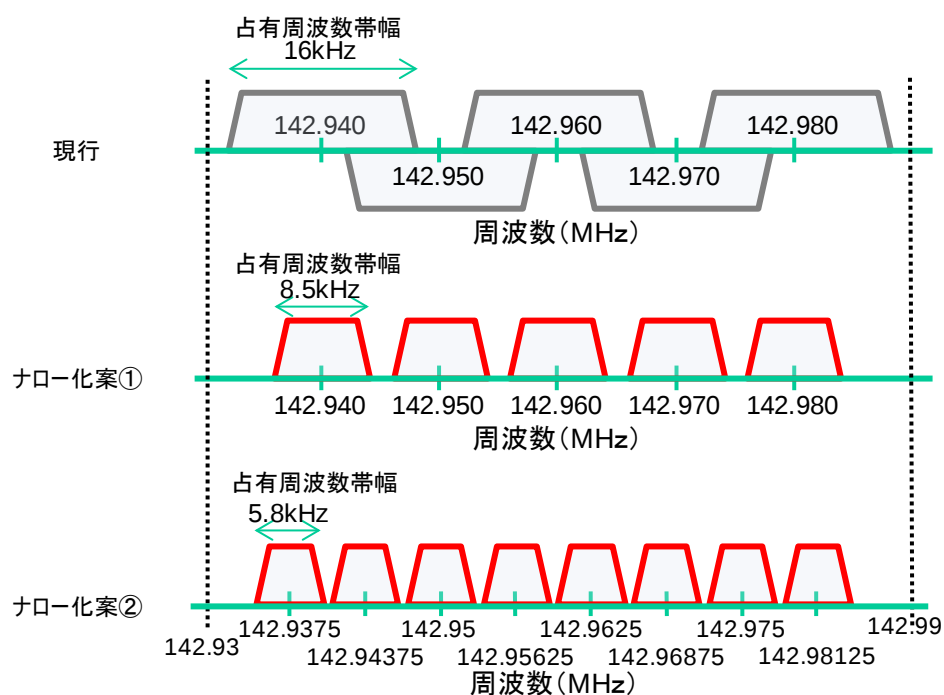


図 3-1 周波数軸上のナロー化案におけるチャンネル配置

3.1.2 占有周波数帯幅

登山者等の位置検知システムの所要伝送速度は 2400bps 程度であり、動物検知通報システムは、第 1 章 1.5 で整理したとおり、用途に応じて 2400bps から 9600bps 程度が求められる。

各ナロー化案の帯域で実現できる伝送速度を表 3-2 に示す。なお、登山者等の位置検知システム及び動物検知通報システムは、いずれもシステムの性格上、高度な変調方式を採用することは難しいと判断されるため、変調方式は 2 値 FSK 又は 4 値 FSK としている。

これを見て分かるとおり、案①、案②とも 9600bps を実現することは難しいが、案②において、必要に応じて 2 チャンネルを束ねて使用することのオプションを認めれば、案②' にしめすように 4 値 FSK により、9600bps を実現することができる。

このオプションは、所要伝送速度に応じて、柔軟に帯域を選択でき、周波数利用効率の面からも有効と思われる。

登山者等の位置検知システムの要求伝送速度を実現するための占有周波数帯幅について、動物検知通報システムで使用されている FSK 方式を用いた机上計算および試験モデルシステムによる検討結果を付属資料 9 に示す。

表 3-2 ナロー化案における所要伝送速度の実現例

項目		内容			
周波数		142.940MHz～142.980MHz			
周波数軸上の有効化案		現行制度	案①	案②	案②' ※
チャンネル間隔		10kHz	10kHz	6.25kHz	—
占有周波数帯幅		16kHz	8.5kHz	5.8kHz	11.6kHz
チャンネル数		3	5	8	—
所要伝送速度に対する電波型式	2400bps	2 値 FSK 等	2 値 FSK 等	2 値 FSK 等	2 値 FSK 等
	4800bps	2 値 FSK 等	4 値 FSK	4 値 FSK	2 値 FSK 等 (2ch 結束)
	9600bps	2 値 FSK 等	—	—	4 値 FSK (2ch 結束)

※案②において、2 チャンネルを同時使用した場合

3.1.3 周波数の許容偏差

所要の周波数安定度は、図 3-2 に示される周波数余裕度 (C) と搬送波周波数との比をもとに、両方の周波数が同時に接近する方向にドリフトする確率等を考慮した計算によって求められる。

周波数許容偏差は、所要の周波数安定度と同等又は小さい値に規定されるため、各ナロー化案の所要周波数安定度が設備を製造する上で現実的なものであるか検討する必要がある。

周波数軸上の有効利用を図るためのナロー化は、チャンネルセパレーションと占有周波数帯幅の組み合わせにより隣接チャンネルとの周波数余裕度が狭くなるため、隣接チャンネルとの干渉が起こりやすくなる場合がある。周波数の許容偏差項目についての概略を図 3-2 に示す。(A)はチャンネルセパレーション、(B)は占有周波数帯幅、(C)は周波数余裕度である。周波数余裕度(C)が小さい場合は周波数の偏差により隣接チャンネルとの干渉が起こり易くなるため、(C)を目安として超えない範囲で設定する必要がある。ナロー化案①、②のうち、②はチャンネルセパレーションが短いため、特に厳しい周波数安定度が求められる。

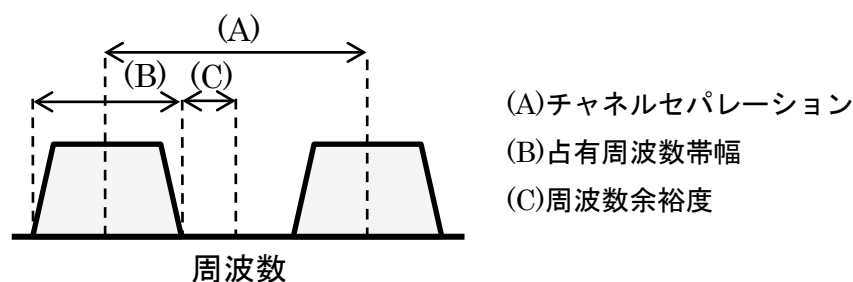


図 3-2 許容偏差項目の概略

現行制度及び各ナロー化案について、周波数の許容偏差の結果を表 3-3 に示す。また、デジタル簡易無線局及び小電力セキュリティシステムも参考として掲載する。なお、2 チャンネル結束における周波数の許容偏差については、それぞれの値を 2 倍とする。

周波数偏差は、水晶振動子の精度や発振回路の補償方式に依存するところが大きく、常温偏差、温度特性、電源電圧や負荷変動に加え、経年変化を含めた設計が必要となる場合もあるため、小型で安価な製品が求められる登山者等の位置検知通報システムでは重要な要素となる。

案②では、2.5PPM と案①に比べて厳しいが、同案が他システムでも採用されるようになれば、製造技術の共通化により発振器等の低廉化が期待でき、長期視点ではコスト減につながる可能性もある。

表 3-3 各システムにおける周波数の許容偏差結果

項目	現行制度 ※1	ナロー化案① 8.5kHz 帯域幅 (10kHz 間隔)	ナロー化案② 5.8kHz 帯域幅 (6.25kHz 間隔)	デジタル 簡易無線局	小電力セキ ュリティシ ステム(I 型)
(A) チャンネル セパレーション (kHz)	20	10	6.25	6.25	12.5
(B) 占有周波数帯幅 (kHz)	16	8.5	5.8	5.8	4.0
(C) 周波数余裕度 (kHz)	2	0.75	0.225	0.225	4.25
(C') 所要の周波数 安定度 ※2 (10 ⁻⁶)	22.9※3	8.6	2.5	2.5	16.3

※1 現行周波数配列のうち、偶数番目の周波数をインターリーブ波とみなした場合

※2 平成 10 年度電気通信技術審議会答申 周波数許容偏差の検討を参照

※3 無線設備規則 第 5 条 別表第 1 号 告示 平成元年第 50 号においては $\pm 12 \times 10^{-6}$

3.1.4 周波数軸上の有効利用に関するまとめ

これまでの検討結果をナロー化毎に整理したものを表 3-4 に示す。

各ナロー化案について、それぞれ得失があるが、以下に示す理由よりナロー化案②（占有周波数帯域幅 5.8kHz、周波数間隔 6.25kHz）による 8 チャンネル化が適当である。

- 利用可能チャンネル数が多いこと（8 チャンネル）。
- デジタル化、ナロー化の趨勢であること。
- それにより、部品の価格、調達の容易さ等、現時点のマイナス面が時間の経過とともにプラス面に転換することが期待されること。
- 多チャンネル化を活かして、2 チャンネルの結束利用を認めることで、所要の伝送速度が確保できること。また、これにより FM アナログ方式を含め現行技術を周波数変更により継続利用できる可能性があること。
- 9600bps の通信速度を実現するために 8.5kHz 帯域幅では実現が難しいこと。ナロー化案①では 5 チャンネルしか使えないため、少ないチャンネル数において 2 チャンネルの結束利用が馴染まないこと。

表 3-4 有効化利用案の得失一覧

案	ナロー化案①	ナロー化案②
チャンネル数	○ 5ch	◎ 8ch (2ch 結束使用では ch 数は減少)
チャンネル セパレーション (kHz)	10	6.25
占有周波数帯幅 (kHz)	8.5	5.8
所要伝送速度の 確保	△ 4.8kbps (2 値 FSK)	○ 4.8kbps (4 値 FSK) 9.6kbps (4 値 FSK 2ch 結束使用)
現行方式との 親和性	△ 現行方式の隣接 ch との干渉はある が、中心周波数が同じためキャリア センスは一定機能する	× 中心周波数が異なるため、相互の干渉 状況は周波数差により相違
コスト	○	△ 所要の周波数安定度を確保するため、 水晶・フィルタ等のコストは増える。 (他システム含め同規格が主流となれ ば、長期視点ではコスト減の可能性あ り)
他システムとの 技術の共通性	△ 独自の規格となる。但し、同じ占有 幅のシステムは存在するため、技 術、部品等の流用は可能。	○ デジタル簡易無線局で実績があり、他 のシステムのナロー化の趨勢と一致
制度移行の経過 措置	○ 経過措置期間中の共存可能	△ 新システムの安定な運用を確保するた め、移行の促進を図る必要がある。
備考		犬の声は 1 チャンネルでも認識できる場 合があるが、2 チャンネル利用により高い 要求への対応は可能である。ただし、 デジタル音声通信では、デコーダーな どのデジタル化処理用 IC が必要とな り、サイズ・コストともに検討が必要

3.2 時間軸上の有効利用

時間軸上の有効利用については、既存の動物検知通報システムの利用において、GPS 方式への移行可否が重要となる。本節では、動物検知通報システムの移行について検討を行う。

3.2.1 送信制御の概要

時間軸上の有効利用を実現するためには、不必要な連続送信を抑える送信制御が必要となる。現行の動物検知通報システムにおける送信制御の概要を図 3-3 に示す。動物検知通報システムでは、行動圏・移動経路の把握や接近警報等の目的で利用されている。

複数の動物グループが近隣の場所に存在しても、上空や作業者が所有する端末からのコントロール波を受けたタイミングで首輪等から位置情報等を送信するため、時間軸上で共用が図れる。また、接近警報ではコントロール波が一定間隔で送信されるが、コントロール波は短時間のため他の機器への影響は少ない。さらに動物に取り付けた首輪などからの位置情報は、集落に接近してコントロール波を受信できる範囲内での送信であり、時間軸上での共用が図れると考えられる。このことから動物検知通報システムへの適用検討について実施する。

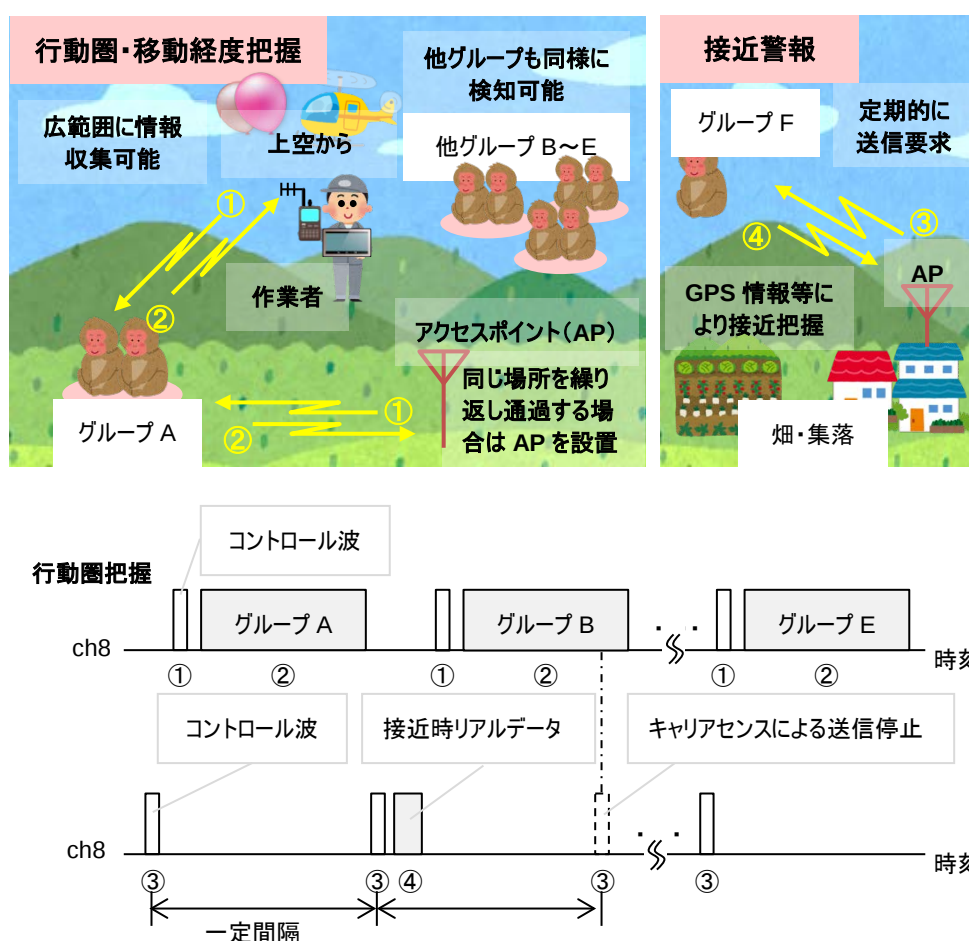


図 3-3 動物検知通報システムにおける送信制御イメージ

3.2.2 有効利用策と移行のメリット

動物検知通報システムは、ビーコン方式、GPS 方式およびビーコン方式と GPS 方式の併用を利用している。ビーコン方式は一定間隔で電波が送信され続け、チャンネルを占有使用することとなる。これは電波の到来方向、強度等により動物の位置を探索するために連続的に電波を発射する必要があるためである。ビーコン方式はリアルデータとなることから、動物の追跡などにも利用されている。また、GPS 方式はストックしたデータをダウンロードする利用となる。ストックデータのダウンロードは時間軸上の有効利用策となるが、データをダウンロードするために動物の位置を探索する必要があり、GPS 方式に併用してビーコン方式の機器も取り付けられる場合がある。その場合には一頭の動物で 2 チャンネルを使うこととなる。

登山者等の位置検知システムを動物検知通報システムに流用できるのであれば、時間軸上のチャンネル共有が期待できると共に、GPS 電波により動物のピンポイントの位置を取得・把握できる。これまでのビーコンによる到来方向と電波強度によるおよその距離での動物探索作業を効率的に行うことにもつながる。最新の GPS データを受信することは、ビーコン方式におけるリアルデータの代わりとなり、また、GPS 測位情報をストックすることで、これまでの動物の生態調査等への利用もできる。このことからビーコン方式のように常時電波を出し続ける必要はなく、位置データ取得時のみ電波を送信することは、時間軸上の有効利用に加え、消費電力の低下や通信時のみに高出力化して通信距離を伸ばすことも可能と考えられる。

移行のメリットとして、以下のことが考えられる。

(1) 作業効率の向上

- ビーコン波の方位を複数人（地点）で測定する必要がある現行方式に比べ、通信が出来れば位置情報が取得可
- 必要時のみ送信する GPS 方式では送信出力増による通信範囲の拡大が図れ、作業効率の向上の可能性がある。
- 高台やリモコンヘリコプター等を利用して広範囲のデータ取得（リアル、ストックデータ）
- 移動経路等に置いた無人のアクセスポイントによる自動でデータを取得

(2) 調査精度の向上

- ピンポイントのリアル位置データが取得出来る。（地図表示等視認性の向上も可）
- 移動経路等の把握では、定期的に測位したストックデータを取得することでビーコン方式に比べ飛躍的に調査精度の向上を図れる。

(3) 検知対象動物の拡大

- 複数の群れが狭い範囲に存在しても混信なくデータを取得できる可能性がある。
- 混信の解消や作業の効率化により、これまで対応できていなかった需要に答えられる可能性がある。

3.2.3 移行に向けての検討

現在の動物検知通報システムの用途ごとに、時間軸上の有効利用を可能とするシステム（GPS 方式）への移行が可能であるか検討を行う。

シカ・サル等の保護管理、調査を実施する動物検知通報システム利用者からのヒアリング結果等を参考に GPS 方式への移行の可否について検討を行った結果を表 3-5、表 3-6 に示す。ヒアリングの内容については付属資料 6 に示す。

動物検知通報システムの用途のうち、中型以上の動物の位置検知（リアルデータ及びストックデータ）については、情報形態にかかわらずほぼ移行が可能である。一方、位置検知以外の用途（ドッグマーカー、罠の捕獲通知）は、時間軸上の有効利用には馴染まない。

表 3-5 動物検知通報システムの移行検討結果

動物検知通報システム	対象	GPS 方式への移行可否	考察
季節行動圏・移動経路の把握、追跡	小型水中生物（魚等）	不可	装置が小型軽量化である必要がある上、水中との通信ができないことから、データ通信により時間軸上の有効利用を可能とする装置の実現は難しい。 ただし、出力が小さいため影響範囲は狭いため共用は可能である。
	中型水中生物（魚、カメ等）	不可	
	小型動物（うさぎ、鳥等）	不可	
	中型動物（サル等） 大型動物（シカ、クマ等）	可	季節行動圏・移動経路の把握にはデータをストックできる GPS 方式が適しており、ストックデータのダウンロードに関しても高台等から広範囲に取得可能。一部、ビーコン方式も併用して利用することがあるため、移行に向けた対策が必要となる。 個体数調査などにおいては、至近距離から一定時間、連続的に動きを監視する必要があるため、その間だけ、ビーコン方式に切り替えられる機能が必要。技術的には可能であり、当該調査は頻度が少ないことから時間的有効利用への影響は無視できる。
		概ね可	移行は可能。但し、極めて広範囲に移動する積雪地帯のシカなどについては検索が難しい。衛星携帯電話等の利用が合理的と思われる。
接近警報	サル、クマ等	可	集落に位置情報の送信要求コマンドを発信する検知端末を設置することで、動物が近づいてきた際にリアルな情報を取得することで警報を鳴らす。 集落から離れていれば動物に着けた装置は通信を行わないため、電池の消費も避けられる。
生態観測のための追跡	サル等	可	リアルな位置情報（現時点の位置情報）のみを取得するため、通信量が少なく一瞬で受信ができることから時間軸上の有効利用は可能である。
狩猟 i) 猟犬位置把握	猟犬	可	音声は連続での送信が望まれるため、時間軸上の有効利用は不可である。
ii) 猟犬音声	猟犬	不可	音声は連続での送信が望まれるため、時間軸上の有効利用の側面からは不可であるが、猟犬音声の通話自体は 2ch 結束での利用は可能である。
iii) 狩猟罌用発振器	罌	概ね可	データ通信が出来なかった場合や装置が故障している場合に、人が安全に罌に近づけるための対策が可能となれば移行は可能となる。

表 3-6 猟師などの位置検知システムの移行検討結果

猟師等位置検知システム	対象	GPS 方式への移行可否	考察
狩猟 i) 猟師の位置把握	人（猟師）	可	リアルな位置情報（現時点の位置情報）のみを取得するため、通信量が少なく一瞬で受信ができることから時間軸上の有効利用は可能である。
ii) 猟師間の連絡	人（猟師）	不可	音声は連続での送信が望まれるため、時間軸上の有効利用は不可である。

3.2.4 送信時間の検討

動物検知通報システムでは、位置検知のためのデータ伝送のほか、小動物用ビーコン、ドッグマーカー（猟犬の声）、罠の捕獲検知など、様々な用途に使用されている。

技術基準は、それらに幅広く対応できるように配慮（600 秒連続送信、キャリアセンス省略）されており、それらが混在して同じ周波数を利用していることが、時間的有効利用の効果をより高める上での障害となる場合がある。

時間軸上の有効利用の面からは、連続送信時間は短く制限することが望ましいが、一方ストックデータなど、まとまったデータを伝送する際の効率の低下が懸念される。

ここでは、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局で採用されている送信時間制御（5 秒（2 秒休止）、40 秒（2 秒休止））及び現行送信制御（600 秒（1 秒休止））を用いてストックデータのダウンロードに要する時間を試算した。

詳細は付属資料 8 に示すが、検討した送信時間のグラフを比較すると、送信制限時間が短いほど所要時間は長くなるが、伝送速度が遅い（2400bps）場合は、その傾向が顕著であるのに対して、伝送速度が速い（9600bps）場合は大きな差は見られなかった。

ストックデータ等のダウンロードでは、高速伝送（9600bps 程度）を使用するという意見等を考慮すると、「時間的有効利用の効果」と「伝送所要時間」との兼ね合いから送信時間制御 5 秒（休止 2 秒）が適当と考えられる。ただし、送信時間制御について今後更なる検討が必要である。

3.2.5 時間軸上の有効利用に関するまとめ

中型以上の動物の移動経路把握、追い払い、追跡等、多くの用途において時間的有効利用が可能な GPS 方式への移行が可能であることから、利用が多い地域から移行が進めばチャンネル不足の解消に効果が期待できる。

また、混信の解消だけでなく、作業効率の向上、調査の精度向上等が期待できる。一方、動物の移動経路把握等のストックデータのダウンロードにおいて相当の時間を要する可能性があるため、ダウンロードの周期を短くする等の工夫が必要である。

今後、円滑な移行に向けて、各用途についてモデルシステムによる検証等が望まれる。

3.3 その他

動物検知通報システムについては、時間軸上の有効利用が可能な方式への移行が進むことが想定されるが、引き続きビーコン方式に使用せざるを得ない用途が残る。これらはチャンネルを占有することになるが、ソフトウェア受信技術等を活用することにより超ナロー化のビーコンを 2kHz 程度の間隔で配置しても、それぞれ選択して受信できる見通しが示されている。これが実現すればナロー化したチャンネルを更に 3 分割して使用することができるほか、雑音低減が期待できるため小さい電力で長距離のトラッキングが実現できる可能性があり、周波数の有効利用に大きな効果が期待できる。一定の条件のもとにチャンネルの帯域内で搬送波周波数をオフセット（例えばオフセットを 2kHz とするとチャンネルを-2kHz、0kHz、+2kHz の 3 システムで利用可能）することを認めることができれば実現する可能性がある。

第4章 実証試験及び技術課題の検討

4.1.1 試験モデルシステムの概要

登山者等の位置検知通報システムの要望を考慮して用意した試験モデルシステムの機能を表 4-1 に示す。

表 4-1 試験モデルシステムの機能・性能

項目		備考
通信方式		検知者端末と登山者端末間の単信方式 登山者端末から検知者端末への同報通信
通信内容		データ通信のみ
操作方法	直接	登山者端末のボタン押下による動作
	遠隔	検知者端末から指定 ID による登山者端末の操作
測位方式		GPS
測位間隔		位置情報を送信するタイミングで測位
測位情報保持		試験システムではリアルタイムの情報のみ保持
マルチホップ通信		端末間通信機能は装備なし
表示（検知者端末）		登山者端末の位置を地図上に表示
重量・サイズ・電源		120g 程度（本体のみ）、W50×H80×D24mm 、

次に、試験モデルシステムの諸元を表 4-2 に示す。周波数軸上の共用案の更なるナロー化である周波数間隔が 6.25kHz のシステムを用意した。試験モデルシステムの諸元に加え、単体測定結果も合わせて示す。

表 4-2 試験モデルシステムの諸元

項目	諸元	単体測定結果
周波数	142.9375～142.98125MHz (6.25kHz 間隔の 8 波)	142.9375～142.98125MHz (6.25kHz 間隔の 8 波)
周波数偏差	$\pm 12 \times 10^{-6}$ 以内	$\pm 4.3 \times 10^{-6}$ 以内
占有周波数帯幅	5.8kHz 以下	4.1kHz
送信電力	100mW	105.1mW
スプリアス電力	25 μ W 以下 ※1	1.05 μ W 以下
隣接チャネル漏えい電力	-45dBc 以下 ※1	-51.6dBc 以下
受信感度	-117dBm	-117dBm
通過帯域幅	5.8kHz	—
変調方式	2 値 GFSK 方式	—
通信速度	2400bps	—
キャリアセンス機能	あり（-97dBm 程度）	-97dBm

※1 デジタル簡易無線局（ARIB STD-T98）の標準規格を参照

試験モデルシステムの外観を図 4-1 に示す。検知者端末及び登山者端末の外観は同じであるがボタンの動作が異なる。検知者端末の位置情報要求ボタンを押下することで、指定した登山者端末に対して位置情報取得の送信要求コマンドを送信する。一方、登山者端末の緊急時ボタンを押下すると、自身の位置情報を周辺の検知者端末に向けて送信し続ける。

142.95MHz の 3 チャンネルに設定した登山者端末の送信波のスペクトルを図 4-2 に示す。検知者端末及び他のチャンネルの送信波のスペクトルも同様の波形であった。



(a) 検知者端末

(b) 登山者端末

図 4-1 試験モデルシステムの外観

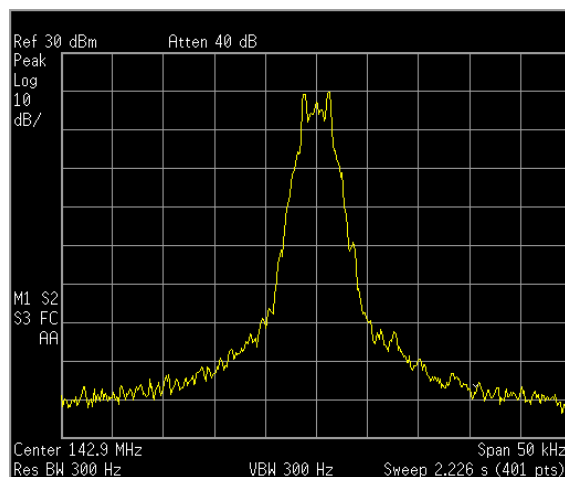


図 4-2 送信波のスペクトル

4.1.2 試験項目

試験モデルシステムを用いて、屋内および屋外での実証試験を行う。それぞれの実証試験の内容を以下に示す。

(1) 屋内実証試験

システムの性能評価、屋外試験のための装置の有線特性を把握し、登山者等の位置検知システムの技術的条件の検討を行う。

主な試験項目

① データ伝送品質の確認試験

登山者等の位置検知システムの受信電力特性及びデータ伝送品質特性の確認

② ナロー化システム同士の共用試験

登山者等の位置検知システムの同一チャネル利用および隣接チャネル利用におけるキャリアセンス機能動作特性とデータ伝送品質特性

③ 現行システムとナロー化システムとの共用試験

登山者等の位置検知システムと現行システムとの共用に向けた登山者等の位置検知システムのキャリアセンス動作特性およびデータ伝送品質特性

④ キャリアセンス動作に関する離隔距離の検討

ナロー化システム同士または現行システムとの共用試験で得られた結果を基にキャリアセンスの動作に関する離隔距離を算出

⑤ 周波数の許容偏差

試験モデルシステムにおける周波数偏差の確認

(2) 屋外実証試験

ナロー化を実現した登山者等の位置検知システムを用いて、実環境における伝搬特性を把握し、技術的条件の検討を行う。

主な試験項目

① 機能試験

試験モデルシステムに具備されている機能についての実環境下での有用性の確認

② 通信エリアシミュレーション

ナロー化した試験モデルシステムで伝搬特性の把握を行うと共に通信エリアシミュレーションによる評価

③ アンテナ高特性試験

実環境においてアンテナ高の違いによる伝搬特性の把握

④ 通信品質試験

実環境下での通信品質結果確認

4.1.3 屋内実証試験

(1) データ伝送品質の確認試験

試験モデルシステムを用いた屋内実証試験の結果を示す。屋内実証試験の実施概要等については、付属資料 10 に示す。

付属資料 9 に示すように伝送速度 2400bps におけるデビエーション 1.2kHz における入力信号とビットエラーレートの測定結果では、ビットエラーが発生し始める入力信号が -117dBm となった。これを踏まえて試験モデルシステムを用いた通信品質試験を行った。

測定では、登山者端末と検知者端末とを可変アッテネータを介して有線接続し、検知者端末に入力される電力を変化させてパケットエラーレート（以下、「PER」という）を USB 接続したデータ取得用 PC で取得した。

受信電力－PER 特性を図 4-3 に示す。測定結果からいずれの端末も受信電力 -117dBm で PER が発生し始め、-124dBm で PER が 100% となった。このことから装置諸元である入力信号レベル -117dBm と一致し、試験モデルシステムが設計通りの性能で動作していることを確認した。

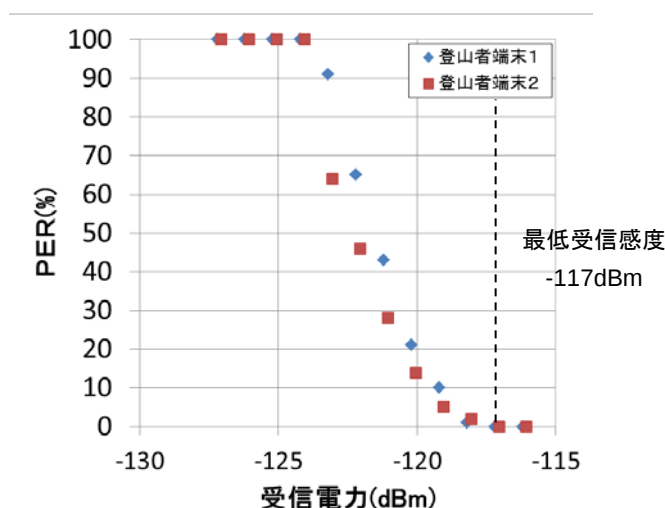


図 4-3 受信電力－PER 特性

(2) ナロー化システム同士の共用試験

干渉対策のひとつにキャリアセンスの動作があるが、現行の動物検知通報システムでは、キャリアセンスは絶対利得 2.14dB の空中線に誘起する電圧が $7\mu\text{V}$ (-96.1dBm) 以上と ARIB STD-T99 で規定されている。今回の試験モデルシステムのキャリアセンスは、動物検知通報システムの -96.1dBm を満足する -97dBm とした。これを踏まえて試験モデルシステムを用いた同一・隣接チャネル等のキャリアセンスの動作確認試験を行った。

ナロー化システム同士の共用試験における試験構成図を図 4-4 に示す。また、ナロー化システム同士の共用試験における周波数配置と干渉時スペクトル例を図 4-5 に示す。この

スペクトル例は、被干渉 3 チャンネル、与干渉 4 チャンネルの時のスペクトルである。

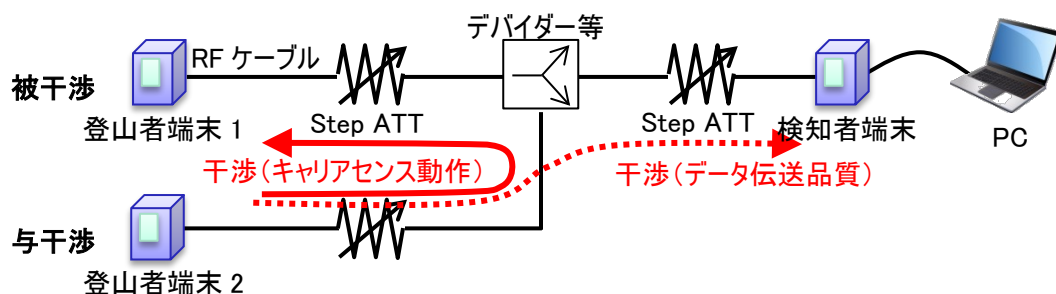


図 4-4 ナロー化システム同士の共用試験における試験構成図

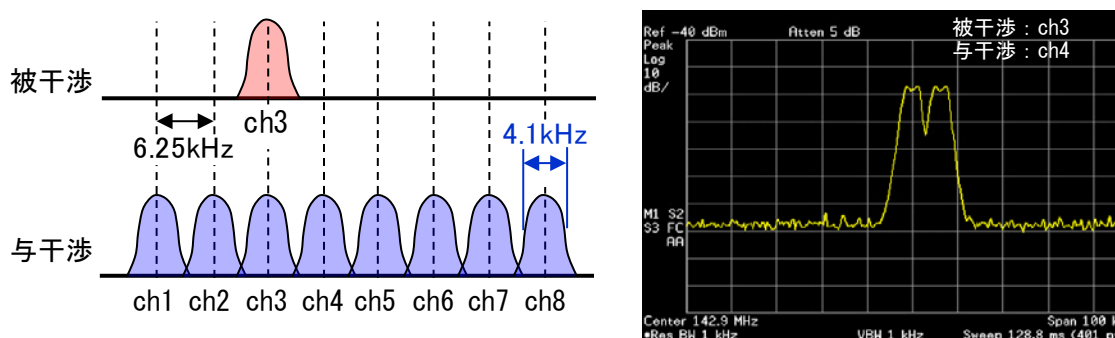


図 4-5 ナロー化システム同士の共用試験における周波数配置と干渉時スペクトル例

キャリアセンス動作確認の検証結果について示す。離調周波数－干渉波受信電力特性を図 4-6 に示す。測定結果から同一チャンネルでは受信電力-97dBm でキャリアセンスが動作するのに対して、隣接チャンネルでは、受信電力-48dBm で動作した。さらに次隣接以降のチャンネルでは、受信電力-21dBm 程度であった。このことから試験モデルシステムについてキャリアセンスが設計通りに動作することを確認した。

次に、同一システムにおける干渉時のデータ伝送品質結果について示す。図 4-7 に希望波に対する干渉波を加え PER が発生する時のレベル差 D/U (Desired/Undesired) と離調周波数の関係を示す。D/U は、同一チャンネル-2dB、隣接チャンネル 46dB、次隣接チャンネル以上が 68dB となった。

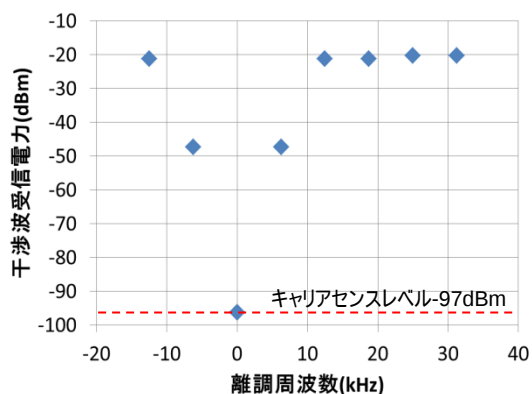


図 4-6 離調周波数－干渉波受信電力特性

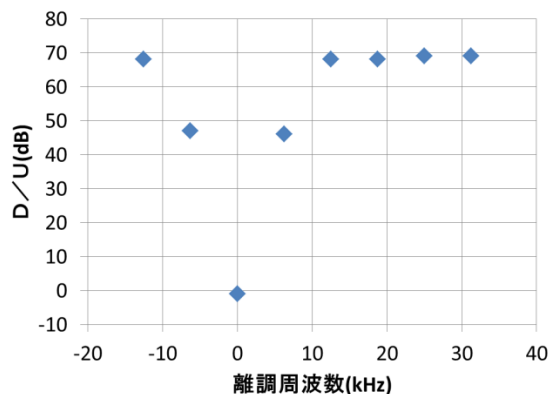


図 4-7 離調周波数－D/U 特性

ナロー化した試験モデルシステムと現行システムを用いて、各システムのチャンネル組合せにおける干渉に有効なキャリアセンスの動作検証ならびにキャリアセンスが動作しない状況を想定した干渉時の通信品質の検証を実施した。

現行システムとナロー化システムとの共用試験における試験構成図を図 4-8 に示す。測定方法は、ナロー化システム同士の場合と同様である。また、現行システムとナロー化システムとの共用試験における周波数配置と干渉時スペクトル例を図 4-9 に示す。このスペクトル例は、被干渉 3 チャンネル、与干渉 3 チャンネルの時のスペクトルである。

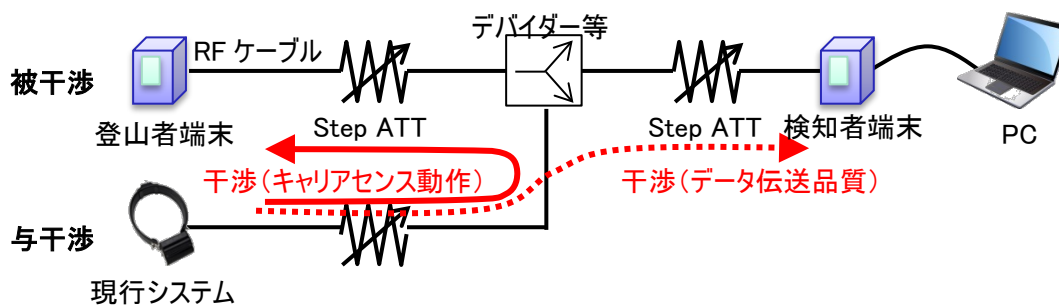


図 4-8 現行システムとナロー化システムとの共用試験における試験構成図

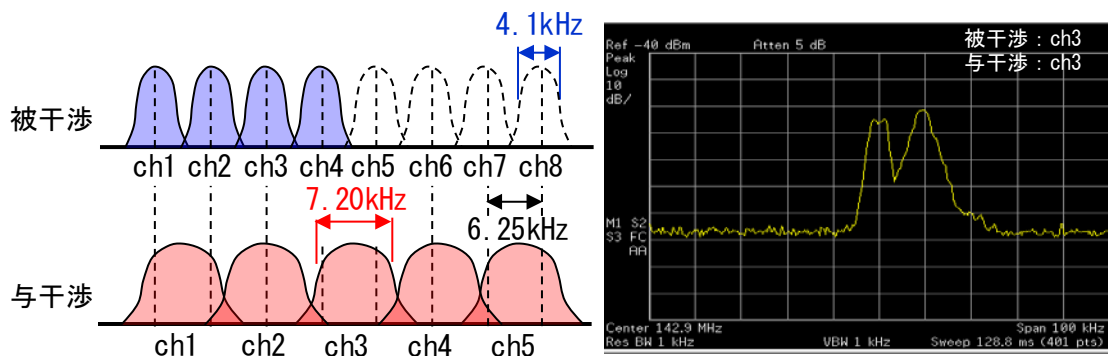


図 4-9 現行システムとナロー化システムとの共用試験における周波数配置と干渉時スペクトル例

キャリアセンス動作確認の検証結果について示す。離調周波数－干渉波受信電力特性を図 4-10 に示す。測定結果から同一中心周波数となる最悪値で受信電力-97dBm でキャリアセンスが動作し、離隔周波数が大きくなるに従い干渉波受信電力も上がり、離隔周波数 15kHz 以上では-38dBm で動作した。このことから現行システムと試験モデルシステムとの組合せについてもキャリアセンスが設計通りに動作することを確認した。

次に、同一システムにおける干渉時のデータ伝送品質結果について示す。図 4-11 に離調周波数と D/U との関係を示す。D/U は、離調周波数 0kHz で-2dB、15kHz 以上では 50dB 以上となった。

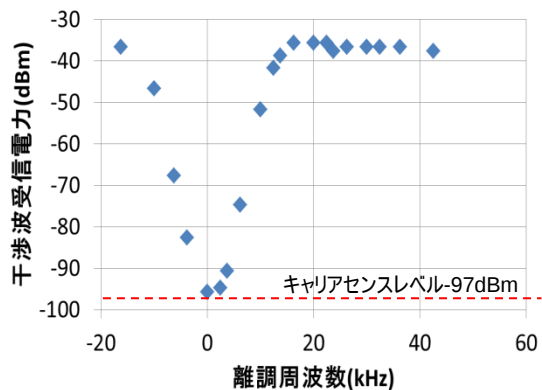


図 4-10 離調周波数－干渉波受信電力特性

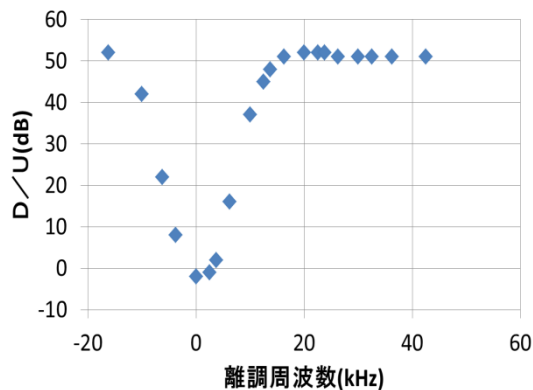


図 4-11 離調周波数－D/U 特性

(3) キャリアセンス動作に関する離隔距離の検討

屋内実証試験のキャリアセンス動作確認において、実測値から帯域の重なりを考慮した受信電力計算値を算出し、実測値とほぼ一致したことを確認した。このことから、受信電力計算値からキャリアセンスが動作する可能性がある離隔距離について計算を行った。算出に必要な条件を表 4-3 に示す。

表 4-3 計算条件

	現行システム	登山者等の位置検知システム
中心周波数	142.95MHz (ch2)	142.95MHz (ch3)
周波数帯域幅	16kHz	5.8kHz、8.5kHz
送信出力	1W	1W
アンテナ利得	0dBi	2.14dBi
アンテナ高	0.5m	1.5m
キャリアセンスレベル	-97.0dBm	-97.0dBm
伝搬式	平面大地における2波干渉モデル (付属資料11 屋外実証試験結果 付図11-3 参照)	
アンテナ高補正值	屋外実証試験で得られたアンテナ高さ補正 (図4-28 参照)	

各システム組合せにおけるキャリアセンスが動作する最大離隔距離を表4-4に示す。但し、各システムが常時送信しているわけではないことから最大離隔距離内であってもキャリアセンスが必ず動作するわけではないことに注意が必要である。この結果から現行システムと登山者等の位置検知システムの組合せで最大離隔距離2,014mとなった。ここでは、各システムの組合せにおけるキャリアセンスが動作する可能性がある最大離隔距離を求めた。

表 4-4 各システム組合せにおけるキャリアセンスが動作する最大離隔距離

		与干渉		
		登山者等の位置 検知システム (5.8kHz)	登山者等の位置 検知システム (8.5kHz)	現行システム (16kHz)
被 干 渉	登山者等の位置検知システム (5.8kHz)	2,857	2,608	1,556
	登山者等の位置検知システム (8.5kHz)	2,857	2,857	1,704
	現行システム (16kHz)	2,014	2,014	1,770

単位:m

(4) 周波数の許容偏差

試験モデルシステムにおける周波数偏差を図 4-12 に示す。試験モデルシステムの周波数偏差は $\pm 1 \times 10^{-6}$ 程度であり、第 3 章で示した許容偏差以下となった。また、各チャンネルの周波数偏差が同一方向にドリフトしている点でも、試験モデルシステムは隣接チャンネルとの干渉を起こさない周波数偏差の装置であることが確認できた。

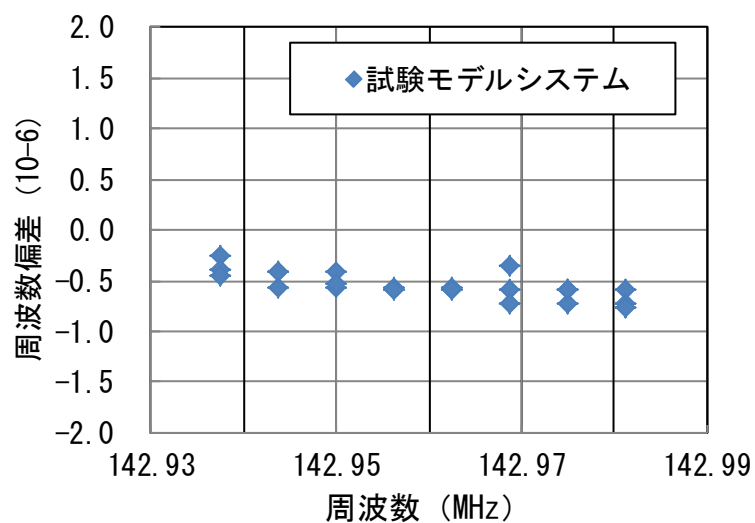


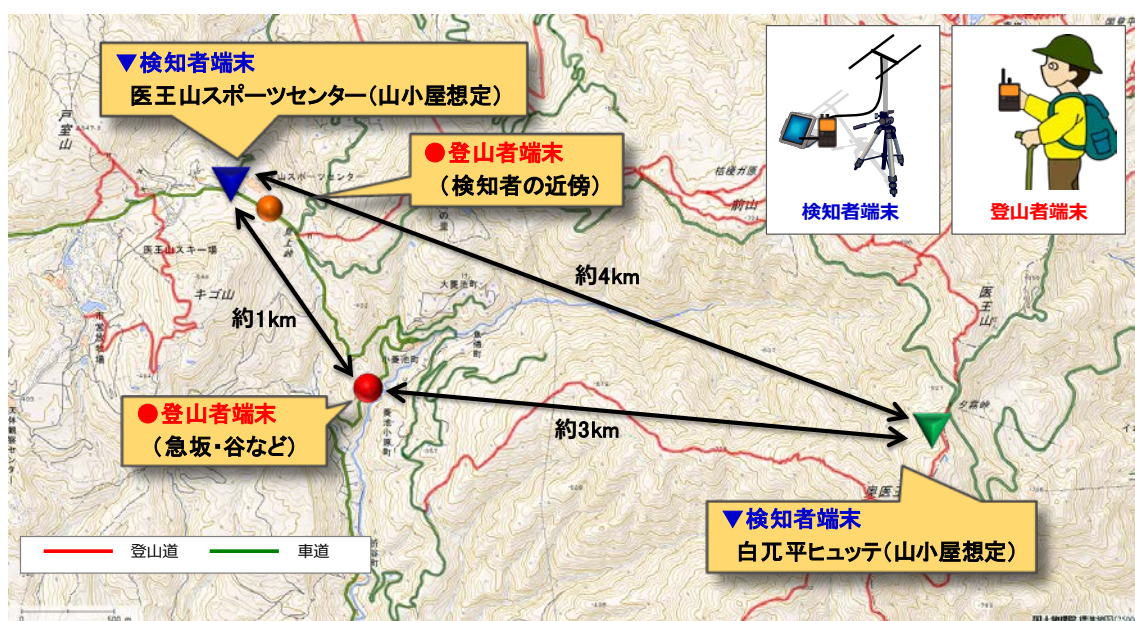
図 4-12 試験モデルシステムにおける周波数偏差

4.1.4 屋外実証試験

試験モデルシステムを用いた屋外実証試験の結果を示す。屋外実証試験の実施概要等については付属資料 11 に示す。

(1) 実施フィールド

屋外実証試験は石川県金沢市の東側に位置する医王山周辺を選択した。実施フィールドにおける検知者端末と登山者端末の位置関係を図 4-13 に示す。医王山スポーツセンター及び白兀平ヒュッテに検知者端末を設置し、その間の山道を登山者端末が移動して測定を実施した。医王山スポーツセンターと白兀平ヒュッテは直線で約 4 km の距離であり、医王山スポーツセンターの南側は山の谷間の地形であり急勾配な環境である。登山者端末はこの急勾配な地形周辺や検知者端末周辺も移動範囲とした。測定では登山者がリュック等に登山者端末を装着することを想定して地上高 1.5 m とした。また、検知者端末も同様に山小屋等に設置を想定して地上高 1.5 m とした。



この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の電子地形図(タイル)を複製したものである。
(承認番号 平 26 情複、第 1103 号)
この地図を第三者が複製する場合には、国土地理院の長の承認が必要です。

図 4-13 実施フィールド

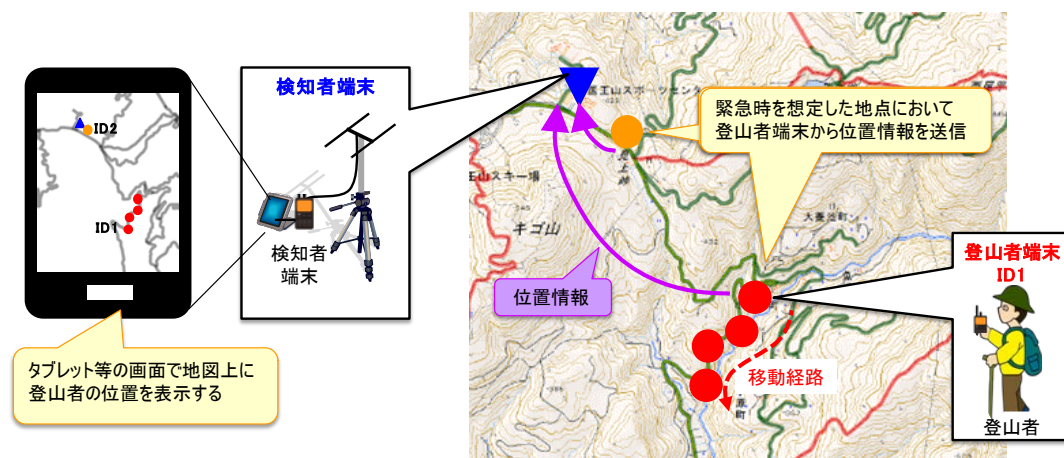
（２）機能試験

試験モデルシステム装置を使用し、装置に具備されている機能の有用性について確認を行った。機能の確認は、利用シーンにて提案している遭難時及び平常時において、登山者端末自身からの通報と検知者端末からのリモートコントロールによる位置情報の収集とした。それぞれの確認内容を以下に示す。

・登山者からの通報

登山者が緊急事態に遭遇し、登山者自らの操作で送信した位置情報を山小屋に見立てた医王山スポーツセンターに設置した検知者端末で受信し、登山者の位置を地図上に表示することが出来る機能について試験を実施した。

試験では、複数の登山者端末からの位置情報を取得し、検知者端末に接続したタブレットに表示させた地図上に位置を表示させることが出来た。登山者の位置は携帯電話等で連絡を取り合い、地図上に表示された位置情報が正しいか確認も行った。さらに、登山者端末が移動している場合には、地図上に登山者の移動履歴が読み取れるような複数のマーカで表示させることを行った。



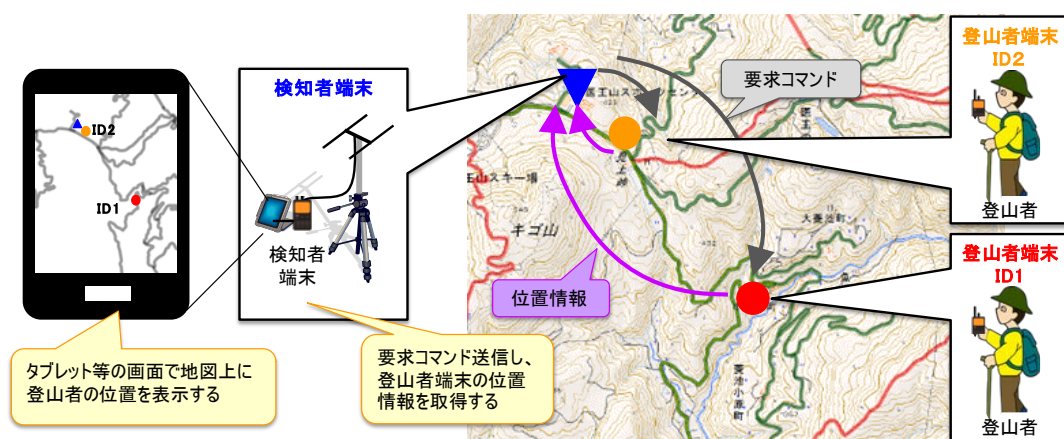
この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の電子地形図(タイル)を複製したものである。
(承認番号 平 26 情複、第 1103 号)
この地図を第三者が複製する場合には、国土地理院の長の承認が必要です。

図 4-14 機能試験（登山者からの通報）の概要

・リモートコントロールによる位置把握

登山者が緊急状態に遭遇し、登山者自らの操作ができない場合を想定し、山小屋に見立てた医王山スポーツセンターに設置した検知者端末から登山者端末の ID を指定し、登山者端末から位置情報を送信させるリモートコントロールについて試験を実施した。

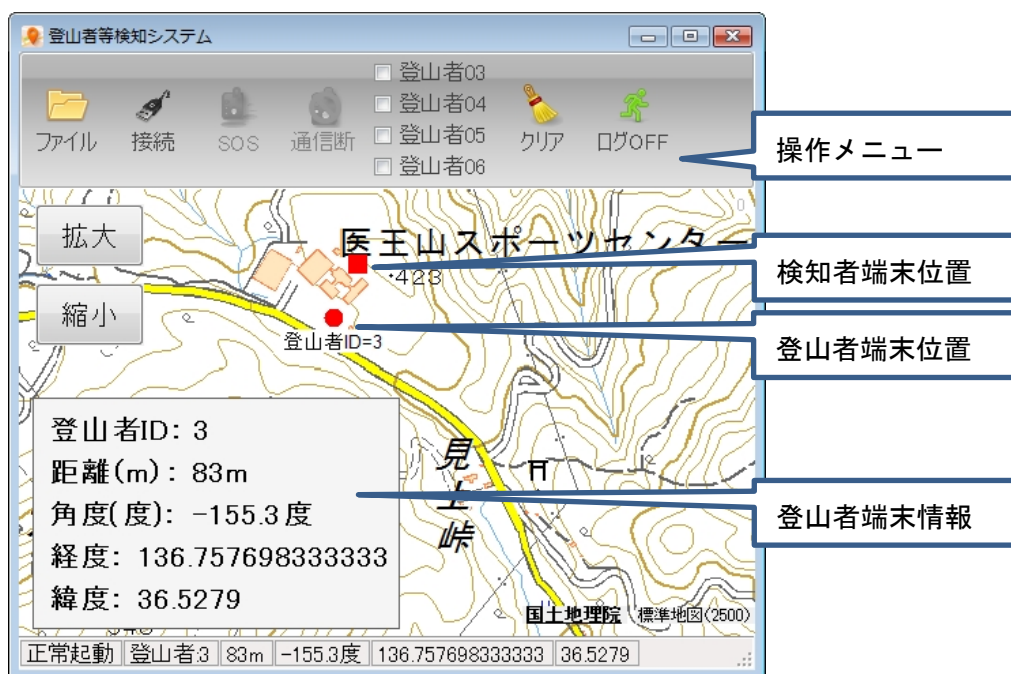
試験では、検知者端末から ID を指定して複数の登山者端末に対してリモートコントロールを実施し、登山者端末からの位置情報が地図上に表示されることを確認した。



この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の電子地形図(タイル)を複製したものである。
(承認番号 平 26 情複、第 1103 号)
この地図を第三者が複製する場合には、国土地理院の長の承認が必要です。

図 4-15 機能試験（検知者端末による検索）の概要

機能試験におけるタブレット上での表示例を図 4-16 に示す。画面上には検知者端末を設置した場所からの距離、真北からの角度、登山者端末の緯度経度を表示している。登山者端末からの位置情報が更新されるたびに、画面上のこれらの情報も更新されることで、位置を確認した。本画面は試験モデルシステムに合わせて作成されたものであり、実用化に向けては操作性の更なる向上、必要最低限の操作メニュー等の工夫をされることが望まれる。



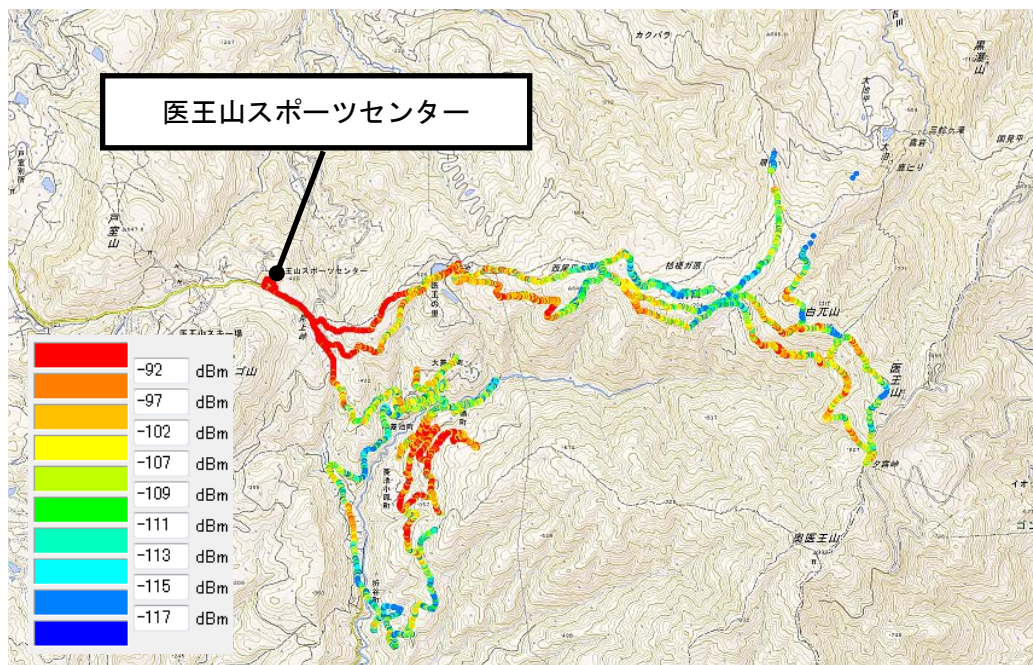
この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の電子地形図(タイル)を複製したものである。
(承認番号 平 26 情複、第 1103 号)
この地図を第三者が複製する場合には、国土地理院の長の承認が必要です。

図 4-16 タブレット上の表示例

(3) 通信エリアシミュレーション

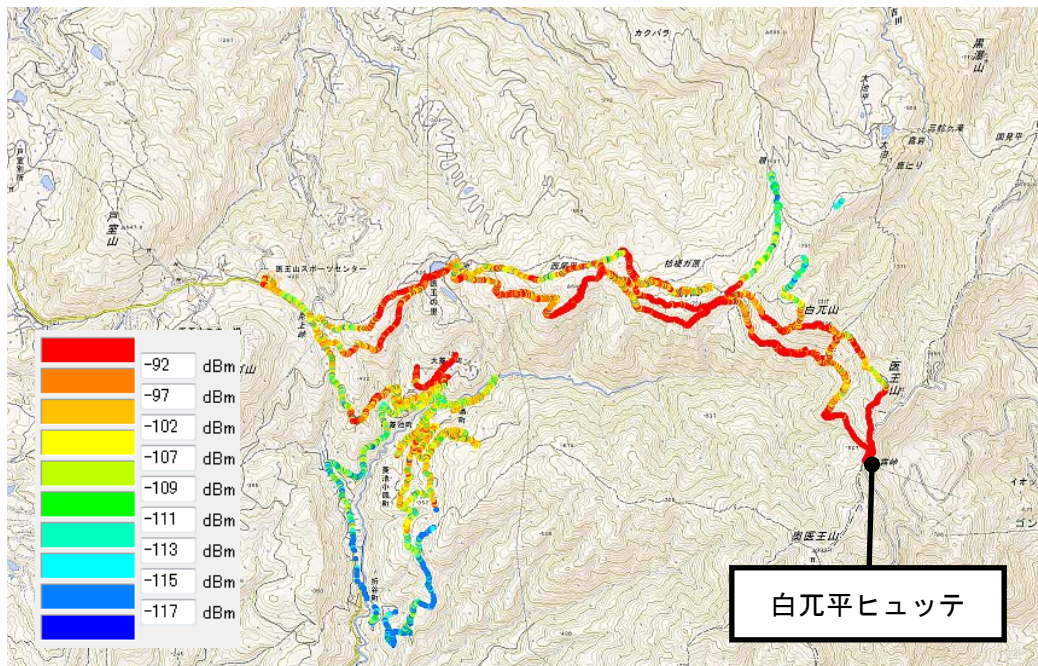
試験モデルシステムの検知者端末を医王山スポーツセンターに設置した場合の検知者端末における登山者端末からの受信電力の結果を図 4-17、同様に白兀平ヒュッテに設置した場合の結果を図 4-18 に示す。なお、測定結果は、受信電力の強度により色分けを行い、色分けの閾値も同図に示した。

屋外実証試験では検知者端末及び登山者端末のアンテナ高を 1.5m として測定を行ったが、医王山周辺のような起伏の緩やかな地形においては、試験モデルシステムの諸元でも 4 km 程度離れた地点の登山者端末位置を取得することが可能であった。登山者端末の位置は GPS 精度に依存することとなるが、実証試験で取得した位置情報は走行ルートとほぼ一致したことを確認した。



この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の電子地形図(タイル)を複製したものである。
(承認番号 平 26 情複、第 1103 号)
この地図を第三者が複製する場合には、国土地理院の長の承認が必要です。

図 4-17 医王山スポーツセンターに設置した
検知者端末における登山者端末からの受信電力マップ



この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の電子地形図(タイル)を複製したものである。
(承認番号 平 26 情複、第 1103 号)
この地図を第三者が複製する場合には、国土地理院の長の承認が必要です。

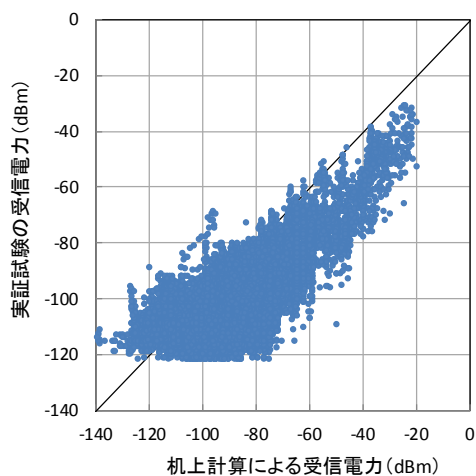
図 4-18 白兀平ヒュッテに設置した
検知者端末における登山者端末からの受信電力マップ

実証試験で得られた位置情報と受信電力を基に、標高を考慮した山岳回折に関わる計算式との比較結果を図 4-19 に示す。VHF 帯の山岳回折に関わる計算式として、多重回折損失計算式及び ITU-R P. 1812 を用いた。机上計算では、試験モデルシステムの諸元、検知者及び登山者端末のアンテナ高、位置情報を考慮して計算を行っている。なお、検知者端末と登山者端末間の距離が 15m 未満は見通し範囲内となることから対象外とする。

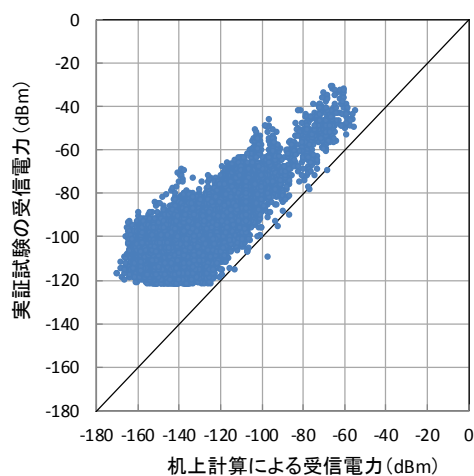
多重回折損失計算との比較結果では、実証試験の受信電力は低くなる傾向であった。多重回折損失計算では標高を用いた計算ではあるが、樹木等の影響までは計算に含まれていない。また、計算に用いた数値標高データも山道等の細かな地形情報までは含めることが難しいため、差が生じたものと考えられる。ただし、図 4-19 から読み取れるように、全体的な差の傾向は一定であり相関は高いと考えられる。

ITU-R との比較結果では、実証試験の受信電力は高くなる傾向であった。多重回折損失計算と同様に差が生じているものの、全体的な差の傾向は一定であり相関は高いと考えられる。全測定データにおいて、ITU-R の計算式による結果が低いことから、最悪条件での評価を行う場合には多重回折よりも ITU-R によるものが有効であると考えられる。なお、いずれの計算式も標高データを用いての計算であるため、標高データを利用しない場合には付属資料 11 に示す通り、今回の測定結果に類似した平面大地による 2 波モデル等を用いて検討することとも可能と考えられるが、山岳の特殊な環境を考慮すると多重回折損失や ITU-R

による計算式を用いることが望まれる。



(a) 多重回折損失計算との比較

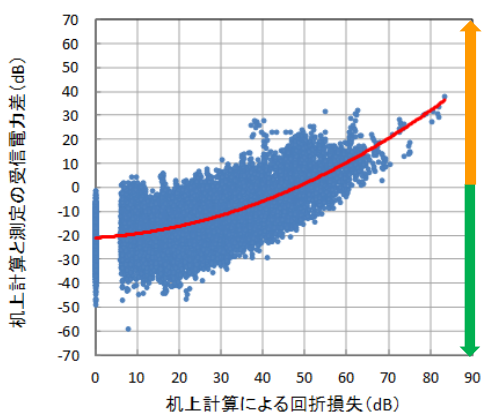


(b) ITU-R P. 1812 との比較

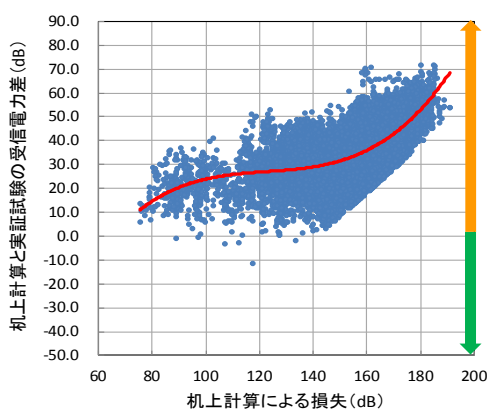
図 4-19 実証試験測定値と机上計算との比較

次に、全測定地点において机上計算で求めた損失を X 軸とし、実証試験と机上計算の受信電力差を Y 軸に表示し、「計算により求めた損失」と「計算値と実測値の受信電力差」の関係を図 4-20 に示す。図の右側に示す矢印は、机上計算の受信電力が低いエリアをオレンジ色、机上計算の受信電力が高いエリアを緑色で示している。

多重回折計算式を用いた場合は全体の傾向として、机上計算の回折損失が大きくなると、机上計算の受信電力が実証試験の受信電力よりも小さくなる。一方、ITU-R 勧告を用いた場合は全体の傾向として、机上計算の損失が大きくなると机上計算と実証試験の受信電力差も大きくなることが分かる。図中の赤線はこの傾向をもとに求めた近似曲線を示す。



(a) 多重回折損失計算との比較



(b) ITU-R P. 1812 との比較

図 4-20 机上計算の回折損失と受信電力差の傾向

求めた近似曲線をもとに机上計算で求めた伝搬損失を補正することで、実測ポイント以外の地点の受信電力をシミュレーションすることが可能となる。屋外実証試験で実施した医王山スポーツセンター及び白兀平ヒュッテに検知者端末を設置した場合の受信電力シミュレーション結果を図 4-21、図 4-22 に示す。同図には実測した受信電力を示しており、測定場所周辺の受信電力シミュレーション結果と概ね一致していることが分かる。

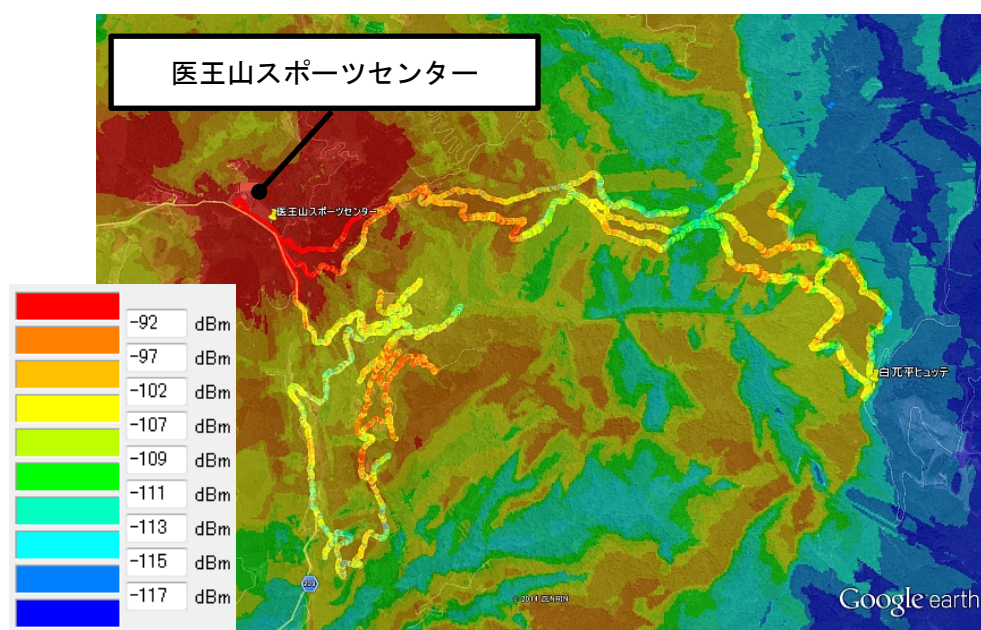


図 4-21 医王山スポーツセンターに設置した検知者端末の受信電力シミュレーション

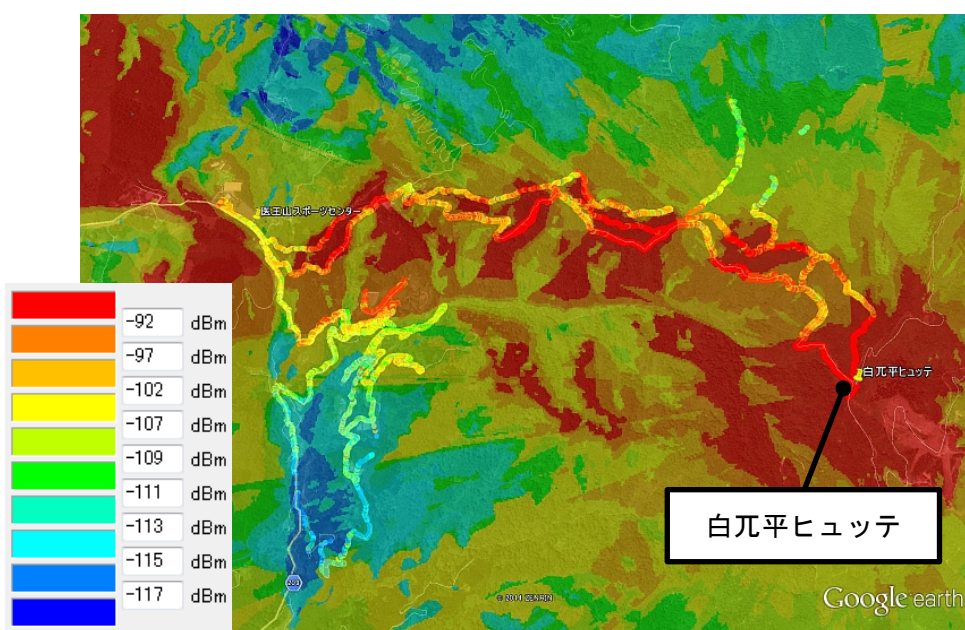


図 4-22 白兀平ヒュッテに設置した検知者端末の受信電力シミュレーション

次に、多重回折損失計算を用いて、本実証試験の実施場所である医王山周辺に検知者端末を2局設置した場合の計算結果を図 4-23 に示す。なお、実証試験の測定結果と多重回折損失の机上計算では一定の差の傾向がみられたため、相関が高くなるよう補正を入れた計算式を用いた。

今回の試験モデルシステムと同程度の諸元の検知者端末を使用することで、複数の山小屋等に設置すれば山岳全体を広範囲に通信エリアにできることが図面より読み取ることができる。

なお、動物検知通報システムに示されている符号基準感度 $2\mu\text{V}$ (約-107dBm) とした場合には、これらの図面の黄色までが通信エリアとなる。基準感度が上がることで一部の場所が通信エリア外となることが予想されるが、多くの山小屋や近隣を登山する登山者端末の存在によって、十分に広い通信エリアとして運用が可能と考えられる。

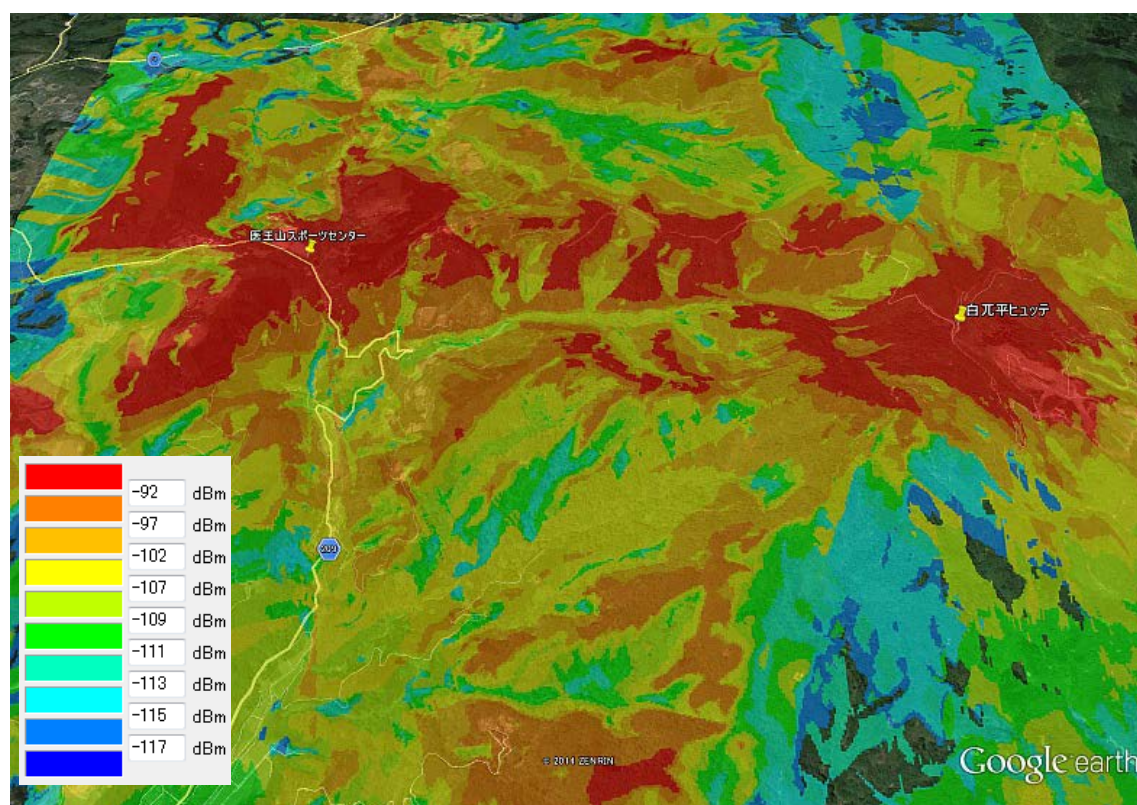


図 4-23 医王山スポーツセンター周辺のエリア計算

(4) アンテナ高特性試験

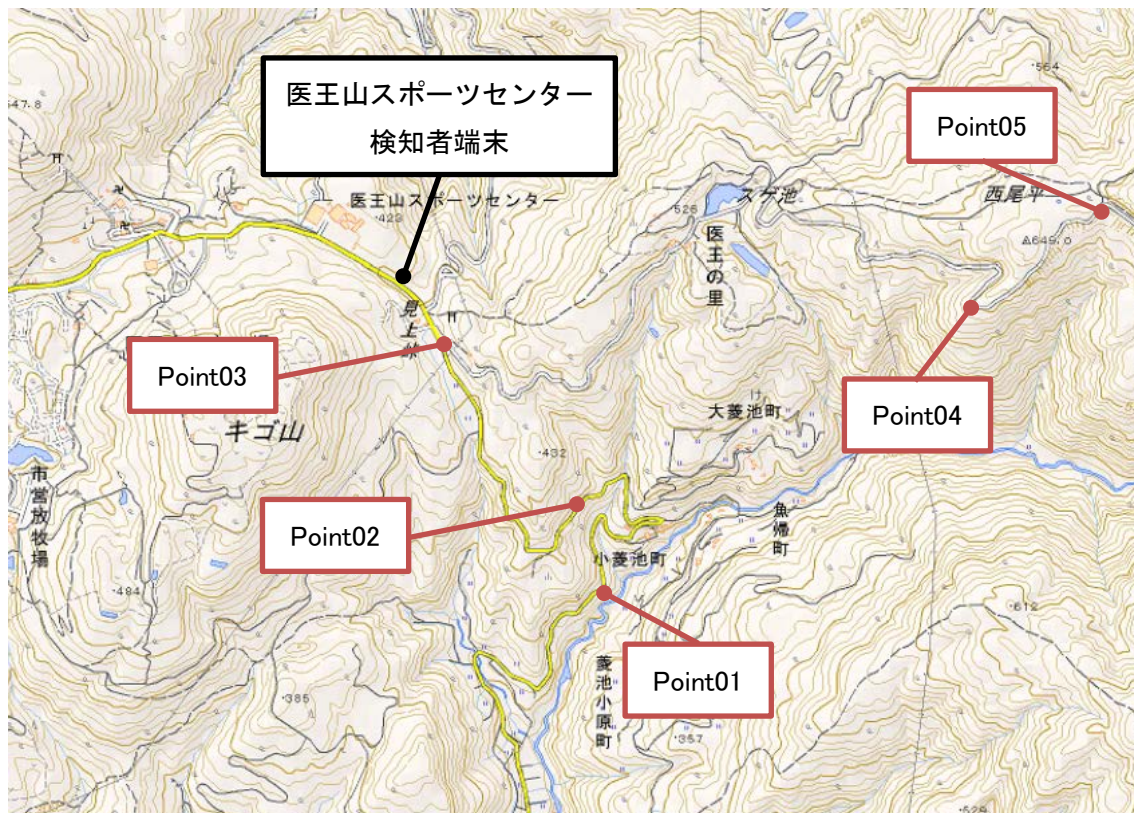
(a) 実施フィールドにおけるアンテナ高特性試験

実施フィールドにおいて、検知者端末及び登山者端末のアンテナ高を変更させた時の受信電力を取得した。その際、検知者端末で用いた八木アンテナの偏波を V 偏波と H 偏波の 2 種類について測定を行った。測定時の組合せ一覧を表 4-5 に示す。

測定では、検知者端末を医王山スポーツセンターに設置し、周囲の環境変化による影響を考慮して 5 ヶ所に登山者端末を設置した。検知者端末と登山者端末の位置関係を図 4-24、検知者端末までの距離と多重回折損失計算による回折損失値を表 4-6 に示す。

表 4-5 測定時の組合せ一覧

項	検知者端末		登山者端末
	偏波	アンテナ高	アンテナ高
1	V 偏波	3.0m、1.5m	1.5m、0.8m、0.0m
2	H 偏波	3.0m、1.5m	1.5m、0.8m、0.0m



この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の電子地形図(タイル)を複製したものである。
(承認番号 平 26 情復、第 1103 号)
この地図を第三者が複製する場合には、国土地理院の長の承認が必要です。

図 4-24 登山者端末位置

表 4-6 登山者端末位置の一覧

測定地点名	検知者端末までの距離	机上計算による回折損失値
Point01	1019.5m	46.5dB
Point02	793.3m	41.7dB
Point03	183.7m	7.3dB
Point04	1567.9m	19.1dB
Point05	1928.7m	35.5dB

登山者端末のアンテナ高を 1.5m とした時の受信電力を基準値として、アンテナ高を変化させた時の受信電力の変化量を図 4-25 に示す。検知者端末のアンテナ高 0.8m の変化量の中央値は 2.0dB、アンテナ高 0.0m の変化量の中央値は 18.0dB であった。測定結果から実際の環境では、場所によっては登山者端末のアンテナ高 1.5m の受信電力よりもアンテナ高 0.8m の受信電力が高い地点もあったが、アンテナ高 0.0m では受信電力がほぼ低くなる傾向であった。

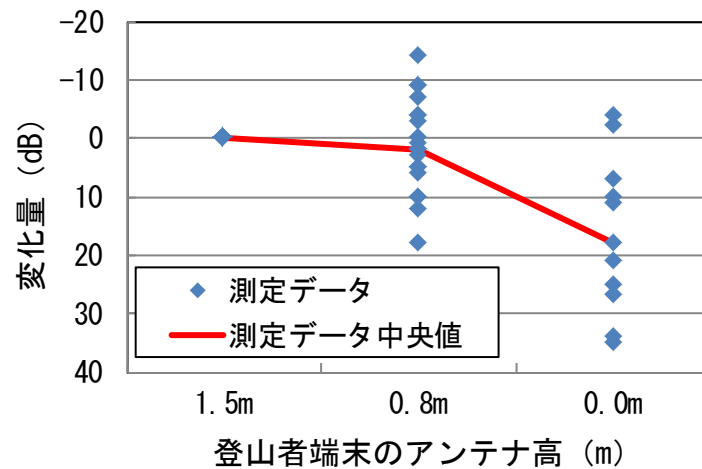


図 4-25 登山者端末のアンテナ高による受信電力の変化量

(b) 医王山スポーツセンターのグラウンドにおけるアンテナ高特性試験

医王山スポーツセンターのグラウンドにおいて、検知者端末及び登山者端末のアンテナ高を変更させた時の受信電力を取得した。検知者端末と登山者端末との距離は 30m とし、検知者端末のアンテナ高と向きを変えて測定を行った。測定時の組合せを表 4-7、実験と設置角度の概略図を図 4-26、図 4-27 に示す。検知者端末と登山者端末は見通しを確保して測定を行ったが、測定時には地面に 10 cm 程度の雪が積もっている状況であった。

表 4-7 測定時の組合せ一覧

検知者端末	登山者端末	
アンテナ高	アンテナ高	向き
1.5m (V 偏波)	1.5m、0.8m、0.3m (V 偏波) 0.3m、0.0m (H 偏波)	正面、90 度 180 度、270 度

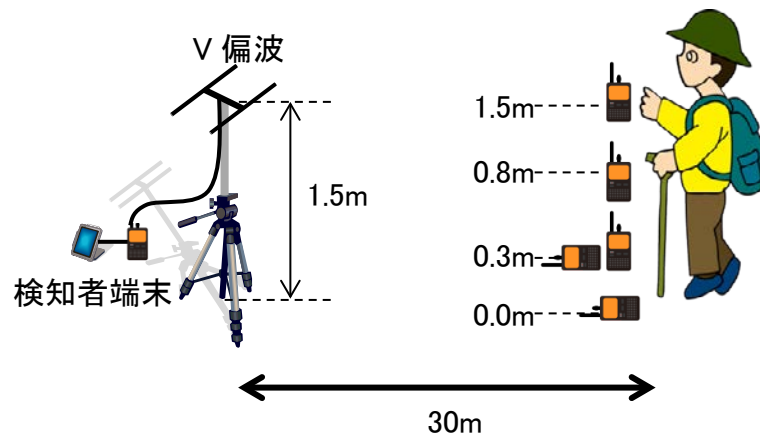


図 4-26 実験の概略図

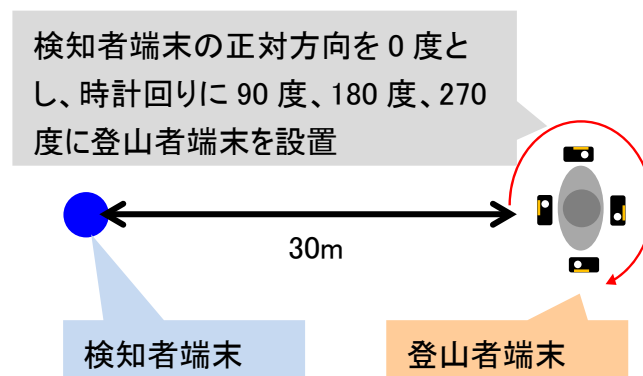


図 4-27 設置角度の概略図

登山者端末のアンテナ高 1.5m における正対方向 0 度の受信電力を基準値として、アンテナ高を変化させた時の受信電力の変化量を図 4-28 に示す。登山者端末のアンテナ高 0.8m の変化量の中央値は 1.0dB、アンテナ高 0.3m の変化量は 4.0dB、アンテナ高 0.0m の変化量は 23.1dB であった。アンテナの高さが低くなるにつれて受信電力も下がる傾向であり、実環境での測定結果と同様の変化量であった。

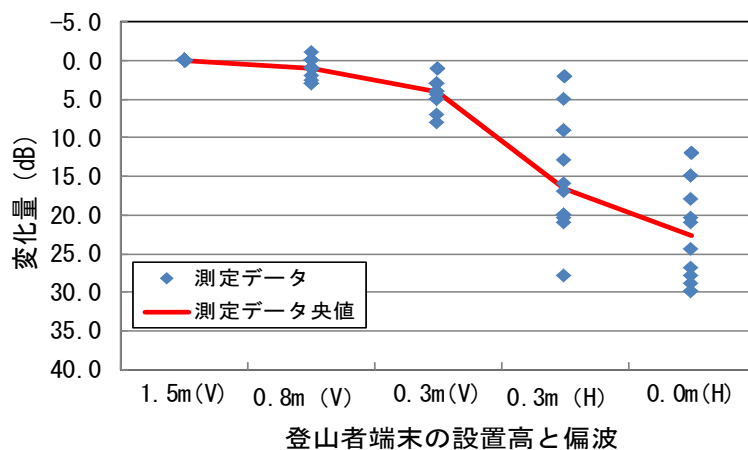
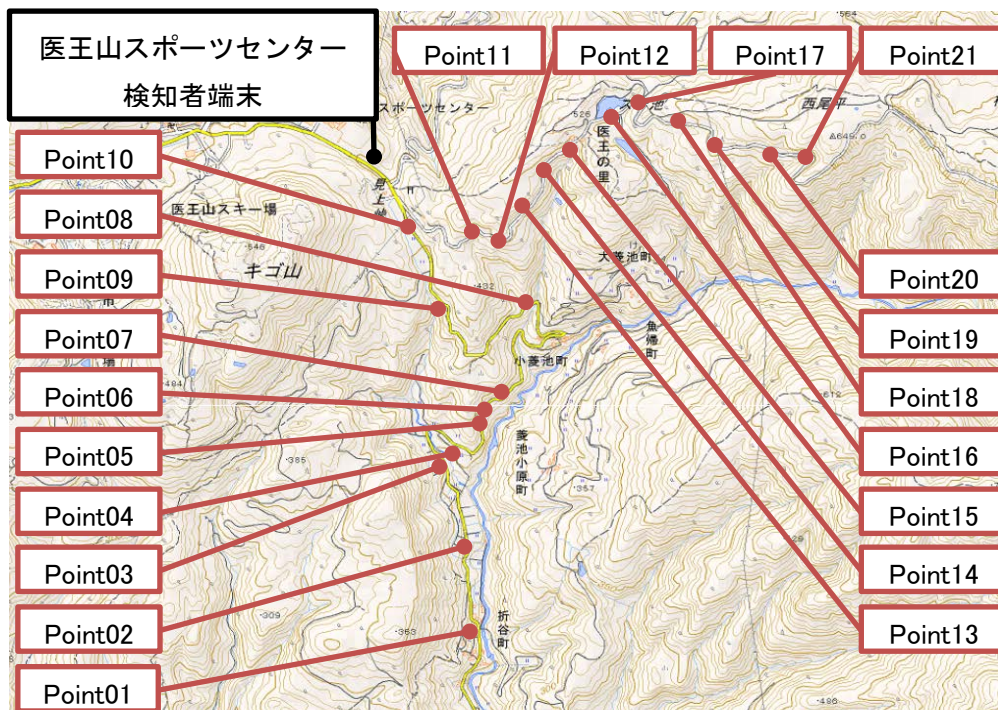


図 4-28 見通し環境における登山者端末高の受信電力変化

(5) 通信品質試験

屋内実証試験で確認したパケットエラー特性が、実環境においても変化がないことを確認するため、実証試験環境においてパケットエラー特性試験を実施した。パケットエラーが発生する受信電力-117dBm に近い値となる測定地点やエラーフリーと考えられる受信電力が十分に高い測定地点の合計 21 地点で測定を行った。測定地点の位置関係を図 4-29 に示す。



この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の電子地形図(タイル)を複製したものである。
(承認番号 平 26 情複、第 1103 号)
この地図を第三者が複製する場合には、国土地理院の長の承認が必要です。

図 4-29 検知者端末位置

通信品質の測定結果を表 4-8 に示す。なお、パケットエラー特性測定時の受信電力も合わせて示す。受信電力は測定時間中の平均値、最大値、最小値を取得した。屋内実証試験の結果と同様に-117dBm を下回る場合にはパケットエラーが発生しているが、受信電力が高くなることでエラーフリーとなることを確認した。

表 4-8 測定結果一覧

測定地点	受信電力 (dBm)			パケット エラー率 (%)
	平均	最大	最小	
Point01	-105.2	-103	-113	0
Point02	-96.5	-95	-99	0
Point03	-108.7	-105	-116	0
Point04	-103.5	-102	-108	0
Point05	-105.2	-103	-108	0
Point06	-99.3	-98	-101	0
Point07	-106.7	-105	-109	0
Point08	-108.8	-106	-111	0
Point09	-96.5	-95	-98	0
Point10	-79.2	-78	-81	0
Point11	-94.5	-93	-96	0
Point12	-98.0	-97	-100	0
Point13	-88.8	-87	-93	0
Point14	-93.4	-91	-96	0
Point15	-95.7	-94	-101	0
Point16	-100.8	-99	-105	0
Point17	-106.5	-102	-115	0
Point18	-93.4	-90	-100	0
Point19	-112.8	-107	-125	19
Point20	-94.4	-92	-97	0
Point21	-93.6	-91	-98	0

第5章 提言

5.1 実用化方策

5.1.1 システムの構成

実証試験の結果等から、第2章で検討した構成を基本とすることが望ましい。

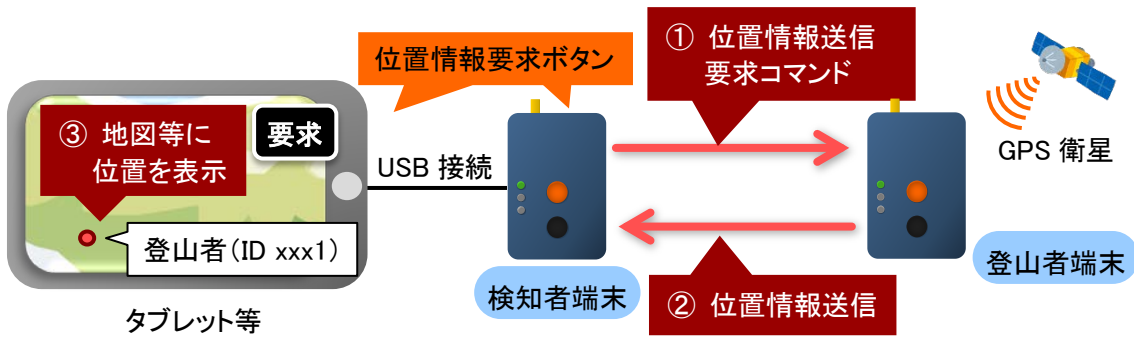


図 5-1 検知者からの要求により、登山者端末の位置を把握する（緊急時&平常時）

5.1.2 システムの機能

実証試験の結果等から、第2章で検討した機能・性能を基本とすることが望ましい。

5.1.3 周波数の確保

登山者等の位置検知システムを動物検知通報システムの周波数共用により実現するためには、周波数軸上及び時間軸上の有効利用策を併せて実施することが望ましい。

（1）周波数軸上の有効利用

ナロー化による使用可能チャンネルの増加が望ましい。単位チャンネル使用時の中心周波数を表 5-1、2 チャンネル同時使用時の中心周波数を表 5-1 に示す。

表 5-1 単位チャンネル使用時の中心周波数

ch 番号	中心周波数 (MHz)	備考
1	142.93750	周波数間隔 6.25kHz 占有周波数帯幅 5.8kHz
2	142.94375	
3	142.95000	
4	142.95625	
5	142.96250	
6	142.96875	
7	142.97500	
8	142.98125	

表 5-2 2 チャンネル同時使用時の中心周波数

ch 番号	中心周波数 (MHz)	
1、2	142. 940625	周波数間隔 12. 5kHz 占有周波数帯幅 11. 6kHz
3、4	142. 953125	
5、6	142. 965625	
7、8	142. 978125	

(2) 時間軸上の有効利用

これまでのビーコン方式を引き続き使用したい要望、動物の追跡等でビーコン方式のような機能の要望があるものの、大体の位置検知用途については概ね可能であることが判明した。同一地域に複数のシステムが混在している場合でも時間軸上で同一チャンネルの共用促進が望ましい。

5.1.4 エリアの確保

登山者等の位置検知システムにおいて、救助隊が所有する検知者端末での搜索では、救助隊が移動しながらの利用となることから、その通信エリアは刻々と変化することとなる。見通しが確保できるような山の尾根での利用については、その通信エリアは広くなり、逆に谷間等での利用については、通信エリアは狭くなることが想定される。なお、救助ヘリコプターなど上空からの利用については、検知者端末と登山者端末の間を遮るものがほとんどなくなることから、通信エリアは数 km～数十 km までとなることが予想される。

ここでは、試験モデルシステムと同一諸元の検知者端末を富山県の剣岳周辺に複数設置した場合を想定した通信エリアのシミュレーション結果を図 5-2 に示す。

同図は約 12 km 四方をシミュレーションの範囲とし、実際に存在する山小屋 5 ヶ所にアンテナ高 1.5m の検知者端末を設置した時の通信エリアを示している。計算では実証試験の結果を踏まえた机上計算式と補正式を用いており、登山者端末の高さを 1.5m としている。

検知者端末および登山者端末の受信感度、登山者端末の高さにより通信エリアは変化することとなるが、仮に受信感度を-107dBm 程度とした場合には、同図の黄色以上で示された範囲がエリアと推測される。

2～3km 間隔で設置されている山小屋に検知者端末を設置することで見守りに必要なエリアが確保できる。

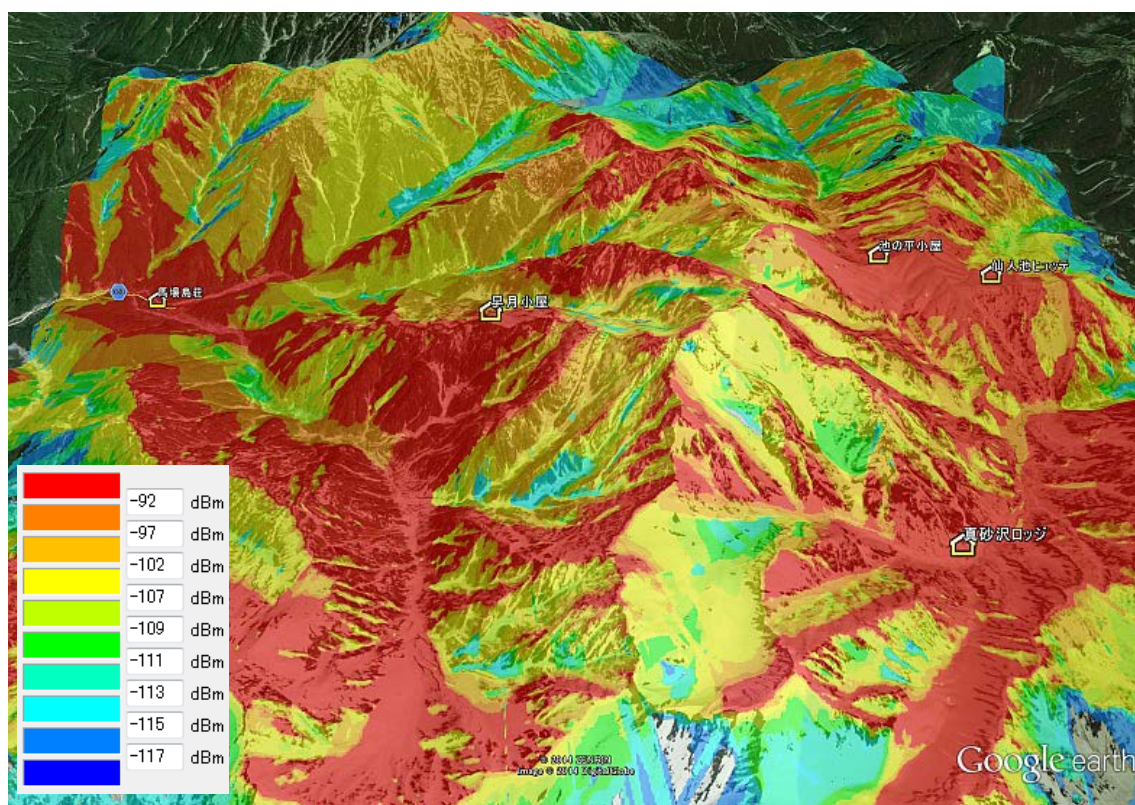


図 5-2 剣岳周辺に検知者端末を適用した場合のシミュレーション

5.2 技術的条件

第3章及び第4章の検討結果を踏まえて、登山者等の位置検知システム（特定小電力無線局）の技術的条件を次のとおり整理する。

5.2.1 一般条件

（1）通信方式

通信方式については、利用形態を踏まえ、単信方式が適当である。

（2）通信の内容

人（登山者等）の行動及び状態に関する情報の通報又は付随する制御を行うものとする。

（3）電波型式

電波型式についてはナロー化システムにおいて所要の伝送速度を実現するため、特に規定しないものとする。

（4）使用周波数帯

周波数間隔については142.9375MHzを基点とした6.25kHzとする。なお、所要伝送速度を実現するために2チャンネルを束ねる場合においては、142.940625MHzを基点とした12.5kHz間隔とする。

（5）周波数切替方式

周波数切替方式は、登山者検知システムを利用する登山者や周辺での利用状況を考慮し、固定、手動又は自動切替方式とする。

（6）使用環境条件

動物検知通報システムとの周波数共用や登山者の行動範囲を考慮し、使用環境条件については規定しない。

5.2.2 送信設備

（1）空中線電力

登山者等の位置検知システムについては、検知者端末を設置する山小屋等が2km～3km程度の間隔で存在していることからサービスエリアとして3km～4kmを確保しつつ、同一周波数帯で利用されている動物検知通報システムとの周波数共用を可能とし、装置共通化を図るために空中線電力を1W以下とする。

(2) 空中線電力の許容偏差

空中線電力の許容偏差（指定又は定格空中線電力からの許容することができる最大の偏差をいう。）は、上限+20%、下限規定なしとする。

(3) 発振方式

発振方式は、水晶発振方式又は水晶発振により制御する周波数シンセサイザ方式とする。

(4) 周波数の許容偏差

周波数の許容偏差（発射によって占有する周波数帯の中央の周波数の割当周波数からの許容することができる最大の偏差をいう。）は、150MHz 帯のデジタル簡易無線局と同じ $\pm 2.5 \times 10^{-6}$ とする。

(5) 変調方式

変調方式は規定しない。

(6) 周波数偏移

周波数偏移は規定しない。

(7) 変調速度

変調速度は規定しない。

(8) 符号形式

符号形式は規定しない。

(9) 隣接チャネル漏えい電力

送信設備の隣接チャネル漏えい電力は、デジタル簡易無線局と同様に、搬送波の周波数から 6.25kHz 離れた周波数の(±)2kHz の帯域内に輻射される電力が搬送波電力より 45dB 以上低いことが望ましい。なお、2 チャネルを結束する場合においては、1 チャネル利用を参考として、搬送波の周波数から 9.375kHz 離れた周波数の(±)2kHz の帯域内に輻射される電力が搬送波電力より 45dB 以上低いことが望まれる。

(10) 占有周波数帯幅の許容値

占有周波数帯幅（その上限の周波数を超えて輻射され、及びその下限の周波数未満において輻射される平均電力がそれぞれ与えられた発射によって輻射される全平均電力の 0.5% に等しい上限及び下限の周波数帯幅をいう。）の許容値は、150MHz 帯のデジ

タル簡易無線局と同じ 5.8Hz とする。なお、2 チャンネルを束ねる場合においては、11.6kHz とする。

(1 1) スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値

(ア) 帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値

帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容は、 $2.5\mu\text{W}$ 以下又は基本周波数の平均電力より 40dB 低い値。ただし、送信空中線の絶対利得が 0dB 以下の場合にあっては、等価等方輻射電力で $2.5\mu\text{W}$ 以下又は基本周波数の平均電力より 40dB 低い値であることが望ましい。

(イ) スプリアス領域における不要発射の強度の許容値

$2.5\mu\text{W}$ 以下又は基本周波数の搬送波電力より 43dB 低い値。ただし、送信空中線の絶対利得が 0dB 以下の場合にあっては、等価等方輻射電力で $2.5\mu\text{W}$ 以下又は基本周波数の搬送波電力より 43dB 低い値であることが望ましい。

5.2.3 受信設備

(1) 副次的に発する電波等の限度

副次的に発する電波等の限度は、特定小電力無線局の基準と同じ 4nW 以下であることが望ましい。

(2) 符号基準感度

符号基準感度は、動物検知通報システムと同様に、 $2\mu\text{V}$ 以下とすることが望ましい。

(3) 実行選択度におけるスプリアス・レスポンス

実行選択度におけるスプリアス・レスポンスは、動物検知通報システムと同様に、40dB 以下とすることが望ましい。

(4) 実行選択度における隣接チャネル選択度

実行選択度における隣接チャネル選択度は、動物検知通報システムと同様に、30dB 以上とすることが望ましい。

(5) 局部発振器の周波数変動

局部発振器の周波数変動は、周波数の許容偏差と同様に、 $\pm 2.5 \times 10^{-6}$ とすることが望ましい。

5.2.4 制御装置

(1) 混信防止機能

混信防止機能は、動物検知通報システムと同様であることが望ましい。

(2) 通信相手の識別

電気通信回線設備に接続するものは、受信した電波から通信の相手の無線局の識別信号を検出するものとする。

(3) 送信時間制御装置

送信時間制御装置については、動物検知通報システムと同様であることが望ましい。

(4) キャリアセンス

キャリアセンスについては、動物検知通報システムと同様であることが望ましい。

空中線電力が 10mW 以下の場合はキャリアセンスの備え付けを要しないこととし、空中線電力が 10mW を超える場合には、新たな送信に先立ち、キャリアセンスを実行した後に送信を開始することが望ましい。なお、キャリアセンスのレベルは絶対利得が 2.14dBi の空中線に起因する電力が $7\mu\text{V}$ 以上とすることが望ましい。

(5) 回線接続手順

特に規定しないことが望ましい。

5.2.5 空中線等

(1) 空中線の構造

空中線の構造は特に規定しないものとする。

(2) 空中線の利得

送信設備の空中線の利得は、動物検知通報システムと同様に、絶対利得 2.14dB 以下とする。ただし、等価等方輻射電力が絶対利得 2.14dB の送信空中線に 1W の空中線電力を加えたときの値以下となる場合は、その低下分を送信空中線の利得で補うことが出来ることが望ましい。

(3) 筐体等

無線設備の筐体については、動物検知通報システムと同様に、一の筐体に収められており、かつ、容易にあけることができないこと。

技術基準適合証明に係る表示については、無線設備の見易い箇所に規定された様式の技

術基準適合証明に係る表示を行うこと。

附属装置とのインターフェースについては規定しない。

(4) 測定方法

登山者等の位置検知システムの技術的条件に対する適合性を評価するための測定方法は、現在国内で適用されている動物検知通報システムの測定法を参考にすることが望まれる。

5.2.6 その他

周波数共用方法の検討結果を踏まえて、登山者等の位置検知システムと共用する動物検知通報システム（現行周波数帯域内）の技術的条件を以下の通り整理する。

分類	項目	技術的条件（案）
送信設備	無線チャンネル	単位チャンネル（中心周波数が、142.93MHz 以上 142.99MHz 以下の場合、142.9375MHz 及び 142.9375MHz に 6.25kHz の自然数倍を加えたものであって、帯域幅が 5.8kHz のチャンネルをいう）を使用するもの（同時使用可能な最大チャンネル数は 2 とする）とする
	占有周波数帯幅の許容値	5.8kHz（150MHz 帯のデジタル簡易無線局と同様）又は 11.6kHz とする
	周波数の許容偏差	($\pm$) 2.5×10^{-6} とする（150MHz 帯のデジタル簡易無線局と同様）
	スプリアス発射の許容値	現行どおりとする
	隣接チャンネル漏えい電力	搬送波の周波数から 6.25kHz 離れた周波数の ($\pm$) R（R は、2kHz とする）の帯域内に輻射される電力が搬送波電力より 45dB 以上低い値であることとする（150MHz 帯のデジタル簡易無線局と同様）
	空中線電力	現行どおりとする
受信設備	符号基準感度	現行どおりとする
制御装置	送信時間制限機能	現行どおりとする
	キャリアセンス	現行どおりとする

5.3 周波数の有効利用の促進

(1) 動物検知通報システムにおける時間軸上の有効利用の促進

動物検知通報システムを時間軸上の有効利用が可能な GPS 方式等へ移行することで、同一チャネルを使用した場合でも相互に混信せずに動物の位置把握等が可能となる。

同一地域において多くの動物の位置把握等を行う場合に有効であるが、ビーコン方式が混在すると効果が十分得られない可能性があるため、地域毎に調整を行い計画的に移行することが望ましい。

時間軸上の有効利用が可能なシステムへの移行を促進するため、モデルシステムによる実証や周知等の普及活動を行っていく必要がある。

(2) 時間軸上の有効利用促進のための専用周波数の確保

周波数の有効利用を一層促進するためには、以下の理由から時間的有効利用が可能なシステムの専用の周波数を確保することが望ましい。

- ・ 動物検知通報システムは、小動物等を対象とするビーコン方式やドッグマーカ等の時間的有効利用に馴染まない利用形態のシステムが混在していること
- ・ 登山者等の位置検知システムでは、迅速かつ確実な通報の伝達が求められること
- ・ 今後、有害鳥獣対策用として野生動物の位置検知に関する需要の増大が予想されること
- ・ 登山者のみならず、山間地域での様々な作業に関わる人の位置検知の需要が開拓される可能性があること

時間的有効利用が可能なシステムの専用周波数を確保する場合は、効果を一層高める観点から別に技術的条件を定めることが望ましい。

- ・ 新たな周波数の確保
- ・ 送信時間制御の最適化（連続送信時間の短縮等 例：40 秒送信 1 秒休止）

(3) 経過措置

周波数配列及び占有周波数帯幅が変更となることに伴い、メーカーにおいては新たな開発等の負担がかかること。また、利用者においても現在使用している設備の補充等が難しくなることが想定されることから、十分な経過措置期間を設ける等の配慮が必要である。

5.4 実用化・普及に向けて

登山者見守りシステムは、山小屋等の検知者端末等の基盤整備が整って初めて利用が可能となる。また、これらを統一的に円滑に運営することも重要であることから、整備・運営を行う体制の整備が必要となる。

体制整備は、先進的地域が先行することになると思われるが、利用者の利便や端末の普及等の面からも全国的な展開を見据えて取り組みを行っていくことが重要と思われる。

（１）運営体制

登山者等の位置検知システムの基本方針は、より安全な登山の実現のため、登山関係者がお互いに助け合う自助自立の考え方となる。

2km～3km ごとにある山小屋等によって登山者を見守ることとなるが、単一の山小屋だけでは山岳の特殊な環境下においては通信エリアが制限されてしまうため、遭難発生時に状況把握ができないことが想定される。そのため、複数の山小屋等に検知者端末を設置することで通信エリアを確保することが必要となるが、迅速な救助活動へ繋げるためには山小屋間を連携するアドホックネットワーク等の構築が重要となる。連携運用により、広範囲に、且つ多くの登山関係者による見守りの運営体制となる。さらに、周辺にいる登山者端末による中継を含めれば、複数の山小屋でも通信エリア外となってしまう場所からの救助信号も補完することも可能となる。なお、登山者の見守りにおいて、遭難発生等を把握した場合には、登山関係者による二次災害を防ぐために救助を行うのではなく、警察や山岳救助隊へ救助申請を要請することから、これらの機関との連携が必要となる。

（２）普及活動

上記の基盤の整備等に併せて、端末の普及についても取り組む必要がある。端末については、基本的には登山者の所有が原則と思われるが、普及により低廉化するまでの間は上記の体制等が中心になってレンタル端末を利用できる体制を構築することも有効と思われる。富山県において導入されている山岳遭難者探索システム（略称「ヤマタン」）では、富山県山岳遭難対策協議会が、警察本部（山岳警備隊）、馬場島警備派出所、各方面遭難対策協議会（警察署等）にヤマタンを配置して、主に冬期に貸出しを行っており、これらの手法が参考になると考えられる。

（３）公的支援

検知者端末については山小屋や麓の施設への設置となるため、検知者端末の設置コストについては、国、自治体、登山関係者の協力が必要である。山岳は県をまたがり存在することもあるため、県や市町村の垣根を跨いだ横断的な協力も必要であると思われる。

山小屋等に登山者等の位置検知通報システムを設置する事業が行われる場合は、補助金等の支援制度を促進していくことが重要である。

(4) その他

(ア) 装置の小型軽量化

登山者の携帯性を考えた場合、本調査検討で製造した試験モデルシステムのサイズであれば十分に所持可能との意見もある一方で、登山時には、既にスマートフォンや携帯電話といった機器類を持って入山していることが多く、装備の小型軽量化が必須の登山界においては、登山者端末をさらに軽量にしてほしいという要望も予想される。優れたシステムとしても、実際の登山時に所持されなければ効力が得られないため、試験モデルシステムよりも更に小型軽量化は必須であり、メーカーによる技術向上や努力が必要となる。

また、今回の実証試験では約 50 cm 程度のホップアンテナを使用した が、登山者端末のアンテナについては登山時に携帯のしやすい形状や小型化が必要となる。可能な限り今回の実証試験で使用したアンテナ利得に近いことが望まれる。

(イ) 低廉化

普及に向けては、装置の低廉化が重要となる。これまで、山岳における位置情報を通知するシステムは多数あるが、普及が進んでいないことが多い。その要因の一つとしては装置の価格が挙げられている。価格は普及台数との関係性が高く、仮に低価格であれば 10 万～20 万個、場合によっては 100 万個販売できる意見もある。さらに、動物検知通報システムへの展開が可能となれば、その需要を考慮するとさらに販売台数は増加し、低廉化につながるとされる。装置の低廉化はメーカーの努力によるところが大きい が、本検討におけるナロー化は既に他のシステムで使われている技術も存在し、技術の転用も可能と考えられる。

また、普及を図るためには、多くの企業が製品を供給し、競争による低廉化、高品質化が進むことも重要と思われる。このためには、各社が創意工夫を行える余地を残しつつ、通信に係る基本部分は規格を統一することも望まれる。なお、検知者端末側による登山者の位置を表示させるための地図や画面については、一般的に普及しているスマートフォンやタブレットとの連携により、装置本体の価格を抑えることにもなる。

(ウ) 位置検知システムの応用範囲

登山者等の位置検知通報システムは、登山者端末を所持する登山者の位置を把握することが可能である。本格的な登山者以外にも利用シーンとして挙げているハイキングや山菜取りなど本格的な登山を行わない人の位置を把握することや狩猟をしている人たちの双方の位置を把握することに応用できると思われる。特に狩猟者の位置把握では獲物を効率的に追い込むことや安全に狩猟を実施することが可能と考えられる。しかしながら、いずれの応用においても運営体制やコストの面でさらなる検討は必要となる。

おわりに

本調査検討会を進め、登山者の遭難による救助活動の困難さや位置情報を取得できることによる登山者の見守りの必要性の要望・状況が明るみなり、これまでも他の調査検討などで提言されてきたように、一刻も早く登山者等の位置検知システムの導入が求められていることを更に実感することができた。

本調査検討会では、登山者等の位置検知システムの技術的課題、要望や必要な機能等をまとめると共に、登山者等の位置検知システムの技術を動物検知通報システムに転用することの有効性・実現性についても検討することができた。

登山者等の位置検知システムの更なる展開のため、本検討会の報告書が一助となることを期待する。

最後に、本検討報告書にご参加を賜り、貴重なご意見ならびに検討、審議を頂いた構成員および実証試験などにご協力頂いた全ての方々に深甚なる感謝の意を表します。

付属資料

付属資料一覧

付属資料 1	付 1
開催要綱	
付属資料 2	付 2
調査検討会設置要綱	
付属資料 3	付 3
作業部会設置要綱	
付属資料 4	付 4
構成員名簿	
付属資料 5	付 6
開催経過	
付属資料 6	付 8
動物検知通報システム利用者のヒアリング	
付属資料 7	付 9
マルチホップ無線ネットワーク	
付属資料 8	付 13
送信時間制御	
付属資料 9	付 17
試験用無線機の基本性能	
付属資料 10	付 24
屋内実証試験	
付属資料 11	付 35
屋外実証試験	
付属資料 12	付 42
公開実証試験について	
付属資料 13	付 44
音声評価試験	
付属資料 14	付 47
多重回折計算	
付属資料 15	付 50
用語解説	
付属資料 16	付 52
関係法令・参考文献	

開催趣旨

山岳における遭難事故は、登山ブームによる登山者の裾野の拡大に伴い増加傾向にあり、警察庁の統計によると平成 25 年中の山岳遭難は、全国で発生件数 2,172 件、遭難者 2,713 人、死者・行方不明者 320 人となりいずれも過去最多となった。

登山者の安全確保や事故発生時の対応の迅速化のため、電波を使った登山者の位置把握システムの有用性は早くから認識され様々なシステムが登場しているが、雪崩対策用のシステムを除いて普及には至っていない。

そのような中、山小屋などから周辺の登山者の位置等を検知し登山者の見守りができるシステムを実現するため、山岳での伝搬特性に優れた VHF 帯の電波を使用したいとする要望が出されている。

VHF 帯の周波数がひっ迫し、新たに周波数を確保することが難しい状況において、150MHz 帯の動物検知通報システムとの周波数共用化による実現が望ましいが、このためには、現行の周波数帯幅の中で使用できるチャンネル数を増やすなどの新たな周波数有効利用技術の導入が不可欠である。

一方、動物検知通報システムは有害鳥獣による農作物被害拡大が社会問題化していることに伴い野生動物探査等への利用が増大してチャンネル不足が懸念されており、当該有効利用技術の導入はこれの解消にも貢献することが期待される。

このため、本調査検討会は、150MHz 帯の電波を使用する登山者等の位置検知システムの有用性を確認するとともに、当該システムと動物検知通報システムとの周波数共用及び干渉回避に必要な技術的条件を明らかにすることにより周波数の効率的利用に資することを目的として開催するものである。

平成 26 年 7 月

調査検討会設置要綱

1. 名称

この調査検討会は、「150MHz 帯の電波を使用する登山者等の位置検知システムに関する調査検討会」と称する。

2. 目的

本会は、150MHz 帯の電波を使用する登山者等の位置検知システムの有用性を確認するとともに、当該システムと動物検知通報システムとの周波数共用及び干渉回避に必要な技術的条件を明らかにすることにより周波数の効率的利用に資することを目的として開催する。

3. 調査検討事項

150MHz 帯の電波を用いた登山者等の位置検知システムの位置検知及び当該システムと動物検知通報システムの周波数共用等について、技術条件等を検討するため、次に掲げる項目について検討を行う。

- (1) 登山者等の位置把握を目的とするシステムの現状に関すること
- (2) 動物検知通報システムの利用（生体把握、警報、狩猟）状況及び需要動向に関すること
- (3) 登山者等の位置検知システムと動物検知通報システムの周波数共用方法に関すること
- (4) 試験モデルシステム（登山者等の位置検知システム）及び試験計画に関すること
- (5) 登山者等の位置検知システム等の技術的条件及び干渉回避に関すること

4. 構成員等

- (1) 本会は、北陸総合通信局長の調査検討会として開催する。
- (2) 本会の構成員及び顧問は別紙のとおりとする。
- (3) 本会には、座長及び副座長を置く。
- (4) 座長は構成員の互選により定め、副座長は座長が指名する。
- (5) 座長は本会を招集し主宰する。また、副座長は、座長を補佐し、座長不在のときは、座長に代わって本会を招集し、主宰する。
- (6) 座長は、調査検討を促進するため、必要に応じて作業部会を設置することができる。
- (7) 本会は、必要に応じ外部の関係者の出席を求め、意見を聴くことができる。
- (8) 座長は、上記のほか、本会の運営に必要な事項を定める。
- (9) 顧問は、本会に必要な応じ助言を行う。

5. 開催期間等

平成 26 年 7 月から平成 27 年 3 月までの期間とする。また、座長は検討会が終了したときは、その結果を平成 27 年 3 月 31 日までに北陸総合通信局長に報告する。

6. 事務局

本会の事務局は、北陸総合通信局無線通信部企画調整課及び外部請負者とする。

作業部会設置要綱

1. 名称

この作業部会は、「150MHz の電波を使用する登山者等の位置検知システム調査検討会作業部会」（以下「作業部会」という。）と称する。

2. 目的

本作業部会は、「150MHz の電波を使用する登山者等の位置検知システムに関する調査検討会」の検討作業を促進することを目的として設置する。

3. 調査検討事項

本作業部会は、検討会の指示のもと、次の事項について検討作業を行う。

- （１）登山者等の位置検知システム（試験モデルシステム）による位置検知（精度、範囲）及び端末の制御機能等に関する検証
- （２）ナロー化した動物検知通報システムの伝送速度、通信品質及び隣接チャネル干渉に関する試験、検証
- （３）現行方式及びナロー化した動物検知通報システム相互の干渉に関する試験、検証
- （４）技術的条件を明らかにする上で必要な事項に関する試験、検証
- （５）その他、調査検討会から付託される事項の検討

4. 構 成 員

作業部会の構成員は別紙のとおりとする。

5. 運 営

- （１）作業部会には、検討会の副座長を部会長として置く。
- （２）作業部会は、部会長が招集し主宰する。
- （３）作業部会は、検討作業の効率化を図るため、電子メールによる審議を行うことができる。
- （４）部会長は、上記の他、作業部会の運営に必要な事項を定める。

6. 報 告

部会長は、調査検討した結果を、検討会が定める日までに座長に報告する。

7. 開催期間

平成 26 年 7 月から検討会で定める日までの期間とする。

8. 事務局

作業部会の事務局は、北陸総合通信局無線通信部企画調整課及び外部請負者とする。

構成員名簿

1. 調査検討会構成員名簿

(氏名：五十音順 敬称略)

氏 名		主要現職
【副座長】	石坂 圭吾	富山県立大学 工学部情報システム工学科 准教授
	永山 義春	富山県山岳連盟 副会長
【座長】	岡田 敏美	富山県立大学 工学部情報システム工学科 教授
	小貫 義則	一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター 事務局次長(兼)技適・認証部門 統括部長
	金田 次弘	株式会社ゴールドウィンテクニカルセンター H. A. D-LAB 技術主査
	川嶋 高志	日本勤労者山岳連盟 事務局長
	小宮山 真康	株式会社サーキットデザイン 取締役技術部長
	斉藤 隆志	一般社団法人電波産業会 研究開発本部 移動通信グループ 主任研究員
	高瀬 洋	富山県警察本部 生活安全部地域課 山岳警備隊長
	成澤 嘉昭	農林水産省 北陸農政局 生産部 生産技術環境課長
	星野 真則	独立行政法人日本スポーツ振興センター 国立登山研修所 専門職
	安川 昌孝	古野電気株式会社 システム機器事業部 ITSビジネスユニット 開発部 ITS開発課 主任技師
	山田 雄作	株式会社野生動物保護管理事務所 調査解析部 研究員
	長野 勇	学校法人小松短期大学 小松短期大学 学長

(14名)

2. 作業部会構成員名簿

(氏名：五十音順 敬称略)

氏 名		主要現職
【部会長】	石坂 圭吾	富山県立大学 工学部情報システム工学科 准教授
	川嶋 高志	日本勤労者山岳連盟 事務局長
	小宮山 真康	株式会社サーキットデザイン 取締役技術部長
	斉藤 隆志	一般社団法人電波産業会 研究開発本部 移動通信グループ 主任研究員
	安川 昌孝	古野電気株式会社 システム機器事業部 I T S ビジネスユニット 開発部 I T S 開発課 主任技師
	山田 雄作	株式会社野生動物保護管理事務所 調査解析部 研究員

(6 名)

開催経過

1. 第 1 回会合

日時： 平成 26 年 7 月 2 日（水）13:30～16:00

場所： 石川県政記念 しいのき迎賓館 セミナールーム B

議題： ① 開催趣旨
② 調査検討会開催要綱
③ 作業部会設置要綱
④ 調査検討の概要
⑤ 調査検討会審議予定
⑥ 動物検知通報システムの概要と最近の動向
⑦ 山岳遭難の現状
⑧ 登山者位置検知システムの現状と課題
⑨ 動物位置検知通報システムの利用の現状と課題
⑩ 鳥獣保護管理の現状と課題

2. 第 1 回作業部会

日時： 平成 26 年 8 月 25 日（月）13:30～16:00

場所： 富山商工会議所 95 号室

議題： ① 登山者等の位置検知システムの利用シーン
② 用途及び要求諸元
③ 周波数共用方法の検討
④ 試験モデルシステムの構成及び機能
⑤ 屋内実験計画
⑥ 屋外実験計画
⑦ 実証試験の候補場所
⑧ 運営方法の検討

3. 第 2 回会合

日時： 平成 26 年 9 月 29 日（水）13:30～16:00

場所： 石川県政記念 しいのき迎賓館 セミナールーム B

議題： ① 登山者等の位置検知システムの利用シーン
② 用途及び要求諸元
③ 周波数共用方法の検討
④ 試験モデルシステムの構成及び機能
⑤ 屋内実験計画
⑥ 屋外実験計画
⑦ 適応範囲及び運営方法の検討

4. 第2回作業部会

日時： 平成26年1月15日（木）13:30～16:00

場所： 富山県民共生センター サンフォルテ

議題： ① 屋内実証試験結果の評価
② 屋外実証試験結果の評価
③ 登山者等の位置検知システムの技術的条件の検討
④ 時間軸上の有効利用策の有用性
⑤ 需要の整理（通話の有用性）
⑥ マルチホップ通信の有用性
⑦ 登山者等の位置検知システムに求められる機能・性能
⑧ 通信時間の目安

5. 第3回会合

日時： 平成26年1月26日（月）13:30～16:00

場所： 石川県政記念 しいのき迎賓館 セミナールームB

議題： ① 作業部会の検討状況について
② 屋内実証試験の結果
③ 屋外実証試験の結果
④ 周波数共用の検討
⑤ 技術的条件の検討
⑥ 報告書構成案について

6. 第4回会合

日時： 平成26年3月12日（木）13:30～16:00

場所： 金沢商工会議所 2F 研修室1

議題： ① 報告書案に関すること

動物検知通報システム利用者のヒアリング

1. 日時

平成 27 年 2 月 9 日（月） 14:30～17:00

2. 場所

NTT アドバンステクノロジー（株） ミューザ川崎セントラルタワー12F 会議室

3. 出席者

（1）動物検知通報システム利用者

神奈川県自然環境保全センター 野生生物課 課長、担当者

神奈川県は丹沢大山国定公園、富士箱根伊豆国立公園等に代表される自然豊かな土地を有し、特定鳥獣（サル、シカ）等の野生動物の保護管理、調査において先進的な取り組みが行われている。

（2）説明及び聞き取り

事務局（北陸総合通信局、NTT アドバンステクノロジー株式会社）

（3）同席者

山田委員（株式会社野生動物保護管理事務所）

小宮山委員（株式会社サーキットデザイン）

4. 概要

第 3 回会合における検討結果をもとにした別紙の資料により、登山者等の位置検知システム及び動物検知通報システムの周波数共用方法の検討状況を説明するとともに、用途ごとの GPS 方式への移行可否を中心に意見を聞いた。概要は次のとおり。

- 約 20 の群の約 40 頭のサルに発信器をつけているため、干渉によって正確な位置把握が困難であったが、改善されることは極めて有用である。
- 通信エリアのシミュレーション結果を見ると広範囲に通信が可能となり、データのダウンロードの作業が大幅に効率化する可能性があり期待する。
- 早期にモデル的に導入して、効果を確認したい。
- GPS 方式への移行の可否に関する整理は概ね妥当と考える。ただし、サルの群の個体数調査になどの特殊な用途については工夫が必要。（群が道路等を横断する瞬間を捉えて数えるため、群が道路に近づいてから 1-2 日待機することもある。その間は間断なく動きを把握する必要があり、送信要求コマンドを発して位置データを取得する方法ではタイミングを逸する可能性があるため、その間だけビーコン方式の利用ができるようにする。）
 - 通常は GPS 方式とし、必要時に遠隔によりビーコン方式に切り替えることは技術的に可能。
 - 当該調査は年に一度程度であるため、その間ビーコン波を使用しても時間軸上の有効利用への影響は軽微。
- GPS 方式は、設備費の負担が大きくなる可能性があり、導入できないところも出てくることが懸念される。
 - 一斉に移行が強制されることはない。干渉回避等の必要性が高いところなど、地域ごとの移行でも効果が得られる。

以上

マルチホップ無線ネットワーク

1. 概要

登山者等の位置検知システムの利用シーンとして、登山者が所有する登山者端末からの遭難信号を山小屋等に設置した検知者端末に通知するものがある。ただし、山岳の特殊な地形状況により不感エリアが存在し、山小屋等に設置している検知者端末だけでは山岳全体をエリアとすることは現実的に難しいと考えられる。しかしながら、登山者の救助は遭難発生時からの時間が短ければ短いほど良いことから、救助の可能性を高めるために他の登山者端末を利用したマルチホップ無線ネットワークが有効であると考えられる。

2. マルチホップ無線ネットワークの課題

マルチホップ無線ネットワークは、有線で利用されているプロトコルをそのまま利用することができない。これは電波状態の悪化による通信障害や通信速度の変化が起こりやすいためである。そのため転送方式やルーティングプロトコルについて多くの研究が行われている。

3. ルーティングプロトコルの概要

IETF (Internet Engineering Task Force) は、インターネット技術の標準化を推進する団体である。IETF に MANET (Mobile Ad-hoc Networks) という、移動端末で自律的に構成されるネットワークを実現するルーティングプロトコルについて議論しているワーキンググループがある。これまでに、さまざまなプロトコルが議論されてきたが、現時点で、Internet Draft として提案されている方式を以下に示す。

- ・ Ad Hoc On Demand Distance Vector Algorithm (AODV)
- ・ Dynamic Source Routing Protocol (DSR)
- ・ DYnamic MANET On-demand routing (DYMO)
- ・ Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)
- ・ Topology Broadcast based on Reverse-Path Forwarding Routing Protocol (TBRPF)
- ・ Landmark Routing Protocol (LANMAR)
- ・ Fisheye State Routing Protocol (FSR)
- ・ Zone Routing Protocol (ZRP)
- ・ Interzone Routing Protocol (IERP)
- ・ Intrazone Routing Protocol (IARP)
- ・ The Bordercast Resolution Protocol (BRP)

中継ルートを生成するためのルーティングプロトコルは、リアクティブ（Reactive）型とプロアクティブ（Proactive）型に大別できる。

リアクティブ型は、通信要求発生時に宛先端末までのルートを探索する方法で、AODV、DSR や DYMO が該当する。ルート要求パケットをフラッディングするため、端末台数が多くなると輻輳しやすく、大規模ネットワークには適さない。また、リンク品質を考慮したルート生成も困難である。

一方、プロアクティブ型は、定常的にリンク情報を交換してルートを生成する方法で OLSR が代表的である。リンク品質を考慮したルート生成にも対応しやすい。ただし、端末台数の増加に伴ってルート検索トラフィックが急増するため、大規模ネットワークには対応困難である。

4. リアクティブ型

リアクティブ型はそれぞれのノードに電源を入れただけでは通信を行わない。実際に通信の要求が必要となった場合にルーティングプロトコルが作動し、周辺のノードを確認して経路表を作成する。このため、必要な通信を行う直前に経路表を作成することから、消費電力の低減が図れ、ノードの長時間動作が実現できる。ただし、実際に通信を行う前に経路表を作成することから、通信可能になるまでの時間が必要となる。

また、マルチホップ無線ネットワークでは電池によって動作していることが多いため、通信を行うことで電池を消費してしまう。また、常にノードが移動しているので、時間経過に伴う環境変化により経路表の通りの通信が行えないことが多い。

5. プロアクティブ型

プロアクティブ型はあらかじめ経路表を作成しておくプロトコルである。したがって、通信要求が発生するとすぐに通信が開始できるメリットがある。そのため、通信が頻繁に行われるようなネットワークに有効である。ただし、あらかじめ経路表を作成するために、常時パケットを送信し周辺のノードを確認する必要があるため、無駄な電波の送信が頻繁に起こってしまう可能性がある。その他、どのぐらいの周期で経路表の更新を行うか、また、どの程度の範囲まで経路表を作成するかによって送信回数が変わり、結果として電池の消費が増加する。

6. その他

2つの方式に当てはまらないプロトコルも存在する。リアクティブ型とプロアクティブ型を組み合わせたハイブリッド方式や、多数のノードと同時に通信を行なうネットワークに適したプロトコルなどが存在する。ハイブリッド方式とは、近くに存在するノードとはプロアクティブ型で経路表を作成し、遠方に存在するノードとはリアクティブ型のルーティングプロトコルを用いて、経路を作成する方式である。

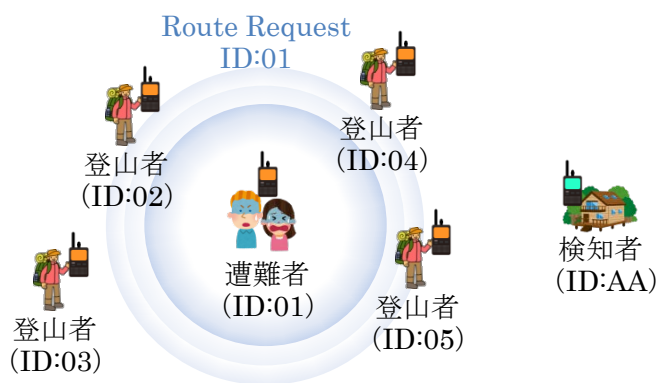
7. 登山者等の位置検知システムでの利用イメージ

登山者等の位置検知システムでは、連続動作時間が長いことや時間軸上の有効利用が求められることから、ルーティングプロトコルはリアクティブ型が有効である。登山者等の位置検知システムにおいては、登山者が所有する登山者端末からの遭難信号を送信させる前に経路表を作成する必要がある。経路表を作成しなければ、周辺端末の増加により通信経路が大幅に増加することで、周波数の占有状態やキャリアセンス機能による待機時間の増加、その他、不要な通信による消費電力の増加につながってしまう。

リアクティブ型の AODV はホップバイホップでデータパケットの転送を行うのに対し、DSR はソースルーチングを行う。つまり、AODV では、各ノードが目的のノードへの経路表を参照することでデータパケットを転送するが、DSR では、送信ノードが宛先までの経路をキャッシュしており、これをデータパケットのヘッダに埋め込み、中継ノードはこのヘッダを参照しながら転送する。

ここでは、登山者等の位置検知システムにおける遭難信号の通信を想定して、DSR プロトコルによる経路探索を例に示す。DSR プロトコルは、通信の要求があると現在利用可能な経路を探索する。これを Route Discovery と呼んでいる。以下の Route Discovery のイメージを示す。

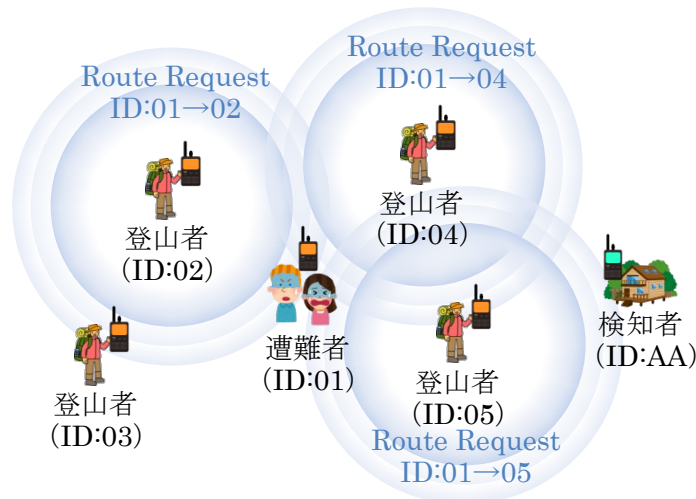
付図 7-1 には登山者の周辺に登山者、登山者の通信エリア外に検知者が存在することを示している。登山者は検知者に対して位置情報を送信するために、まずは登山者の操作によって Route Discovery が開始される。登山者は「Route Request パケット」を周辺ノードに向けて送信を行う。この時、自身の端末 ID 等の情報をパケットに経路情報として追加して送信する。また、送信先に検知者端末を識別できる ID 等の情報をパケットに追加する。



付図 7-1 登山者による Route Discovery の開始

次に、付図 7-2 に示す通り Route Request パケットは周囲の登山者端末（ID : 02、04、05）で受信される。各登山者端末は、パケットに書かれている送信先が検知者端末であることから自身の端末 ID 等の情報を経路情報として追加し送信する。この時、次に受信する

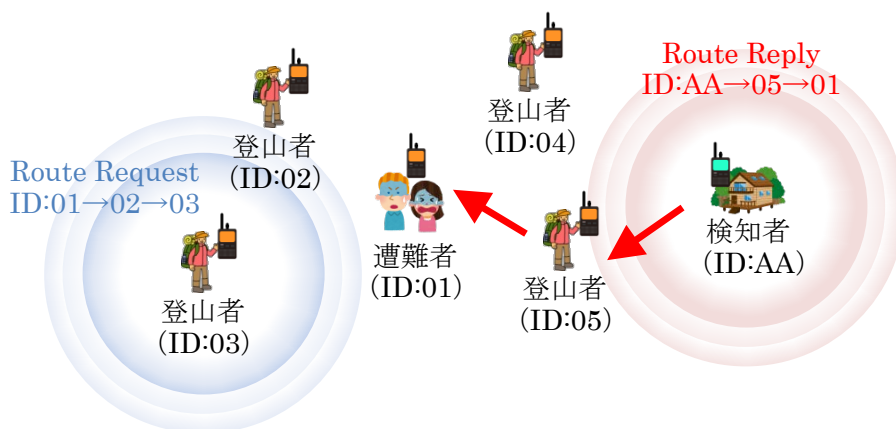
端末が登山者の所持する端末になる経路も存在するが、Route Request パケットに記述されている経路情報に自身の ID が含まれていたら破棄するなどの条件によって、経路の重複が発生しなくなる。



付図 7-2 登山者端末による Route Discovery の転送

最後に付図 7-3 に示す通り検知者端末は登山者端末 (ID:05) から受信した Route Request により、通信の送付先が自身であることを確認し、Route Reply パケットを送信元である登山者に向けて送信する。このパケットには登山者からの目的ノードとなる検知者までの経路情報が書かれているので、登山者はこの情報を使って検知者へ向けて GPS 位置情報を送信することが出来るようになる。

なお、各登山者端末は Route Request パケットを送信する前に、自身の Route Cache（以下「キャッシュ」という）に送信先への経路情報があるかを確認する。各登山者端末は、過去に送受信した経路情報をキャッシュに蓄えることで、目的の登山者端末までの経路に合致した場合、その経路情報を使うことによって時間と電力の浪費が防ぐこととなる。



付図 7-3 検知者による Route Reply の返送

送信時間制御

1. 概要

時間軸上の有効利用を想定し、最適な送信時間制御機能について検討を行う。時間軸上の有効利用の観点から連続送信時間は短く制限することが望ましいが、一方ストックデータなど、まとまったデータを伝送する際には効率の低下が懸念される。ここでは、400MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用特定小電力無線局で採用されている送信時間制御（5 秒（2 秒休止）、40 秒（2 秒休止））及び現行送信制御（600 秒（1 秒休止））を用いてストックデータのダウンロードに要する時間を試算する。

なお、登山者等の位置検知システムの利用シーンを考慮すると、登山者が自分の位置情報を送信するなど利用されるが、その情報は登山者の現在位置若しくは 1 日程度のストックデータとなる。これは、動物検知のストックデータに比べて非常に小さいことから、動物検知通報システムを対象に検討を進める。

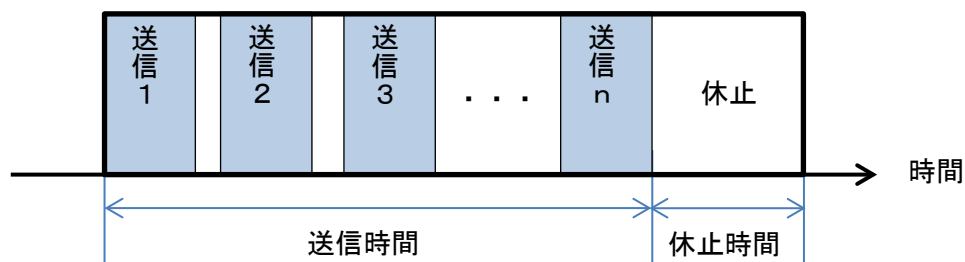
2. 検討の条件

通信時間の検討に関しては、データプロトコル、キャリアセンス時間、データ伝送のパケットサイズなどの組み合わせにより結果が変わってしまう。そこで、過去に動物検知通報システムで検討された条件を参考として検討する。

付表 8-1 検討条件の一覧

項目	諸元	単位	備考
ACK 交換時間	0.1	秒	キャリアセンス時間を含む
1 データ単位	3136	Byte	144 地点データを 1 データとする。
GPS 測位間隔	30	分	
送信時間	40 or 5	秒	※ARIB STD-T67 参考
休止時間	2	秒	
エラー発生割合	50	%	
エラー容量	128	bit	
通信速度	2400～9600	bps	

通信エラーの発生を考慮すると、大量のデータを一括して送信するより、データ単位ごとに区切り、ACK 交換を行いながら通信する方法が周波数有効利用の観点からも適している。通信イメージを付図 8-1 に示す。



付図 8-1 通信イメージ

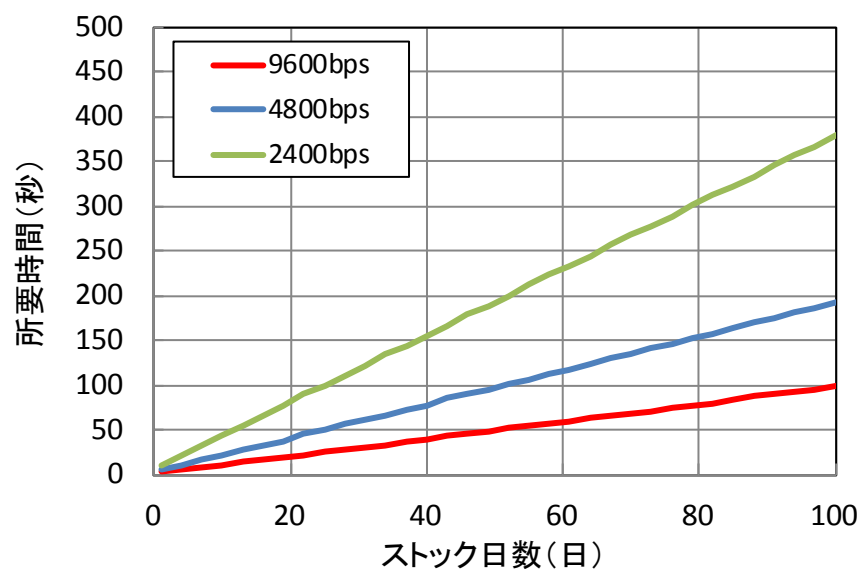
3. 検討結果

送信時間、通信速度を変更した計算結果を付図 8-2、付図 8-3、付図 8-4 に示す。なお、送信時間 600 秒、休止時間 1 秒の現行規定についても合わせて示す。

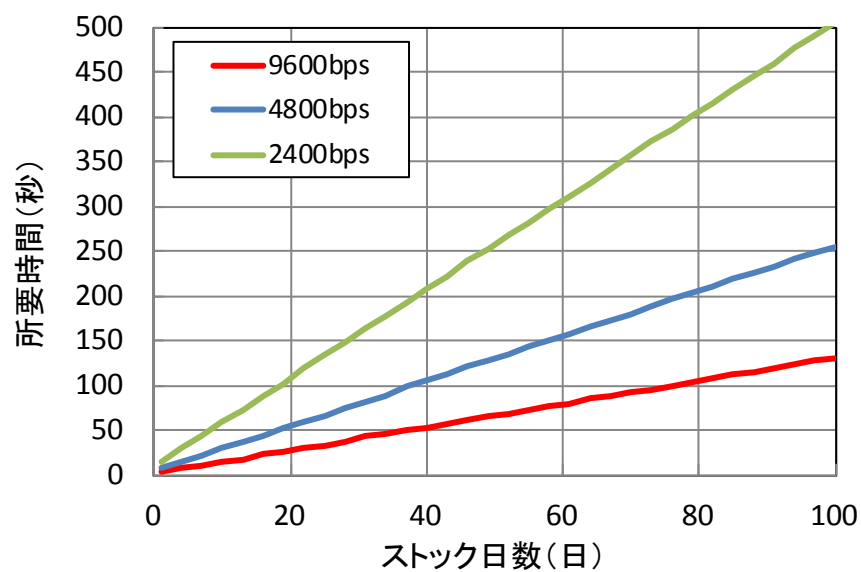
長時間のデータ通信が必要となるストックデータのダウンロードにおいて、ストック日数と所要時間の関係を示した。ストックデータのダウンロードに必要な所要通信速度は 9600bps であることが検討会でも示され、それを考慮すると送信時間・休止時間を変更しても所要時間に大幅な増加は見られなかった。

また、通信エラーの発生を考慮すると、実際はデータ単位ごとに区切り、ACK 交換を行いながら通信する方法が利用されと考えられる。そのため、データ単位の送信毎にキャリアセンスを行えば、送信時間内に関わらず、キャリアセンスにより近隣の他装置と時間軸上での共用が可能と考えられる。

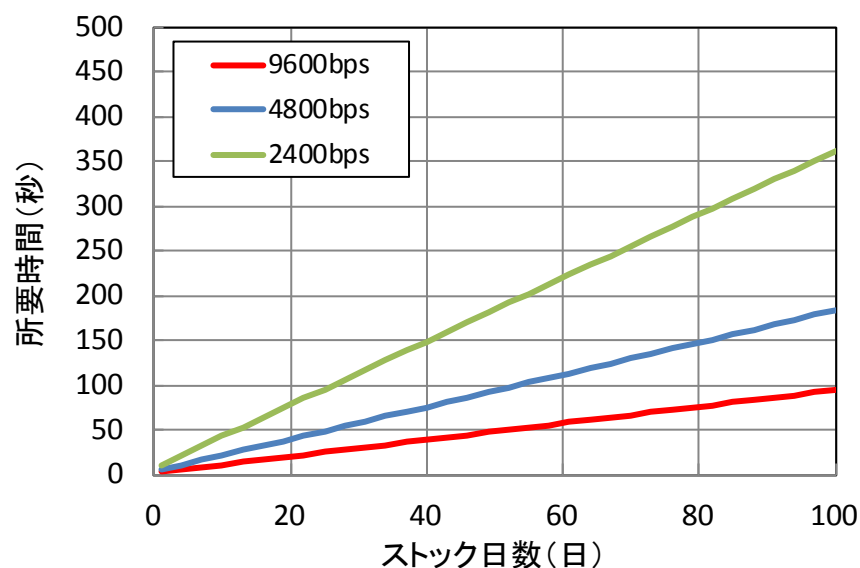
仮に送信時間分すべてを占有してしまう音声やデータ通信を行う場合は、キャリアセンス機能でも近隣の他装置と時間軸上の共用はできない。従って、時間軸上で共用を図るためには休止時間と休止時間発生頻度が必要であり、検討結果から送信時間 5 秒、休止時間 2 秒が最も効果的である。



付図 8-2 送信時間 40 秒 休止時間 2 秒の場合における
ストックデータダウンロード所要時間



付図 8-3 送信時間 5 秒 休止時間 2 秒の場合における
ストックデータダウンロード所要時間



付図 8-4 送信時間 600 秒 休止時間 1 秒の場合における
ストックデータダウンロード所要時間

4. まとめ

各グラフを比較すると、送信時間が短いほど所要時間は長くなるが、伝送速度が遅い（2400bps）場合は、送信時間による所要時間の差が大きいのに対して、伝送速度が速い（9600bps）場合は所要時間に大きな差は見られなかった。

ストックデータ等のダウンロードでは、高速伝送（9600bps 程度）を使用するという意見を考慮すると、「時間的有效利用の効果」と「伝送所要時間」との兼ね合いから送信時間制御 5 秒（休止 2 秒）が適当と考えられる。

試験用モジュールの基本性能

1. 占有周波数帯幅

登山者等の位置検知システムの要求伝送速度を実現するための占有周波数帯幅について、机上計算及び試験用モジュール（以下、「試験モデルシステム」という）を用いた検証を行った。変調方式は動物検知通報システムで使用されている FSK 変調とし、最大周波数偏移を変化させた際の占有周波数帯幅を測定した。なお、試験モデルシステムは Gauss フィルタ $BbT=0.5$ 変調指数 1 の GFSK である。

（1）机上計算

要求伝送速度を実現する占有周波数帯幅を机上計算により算出する。FM 波の占有周波数帯域幅は、以下のカーソンの帯域幅の近似式で求めることが可能である。

$$B = 2(\Delta f + f_m) = 2(\beta + 1)f_m$$

Δf : 最大周波数偏移

f_m : 変調信号の周波数

β : 変調指数

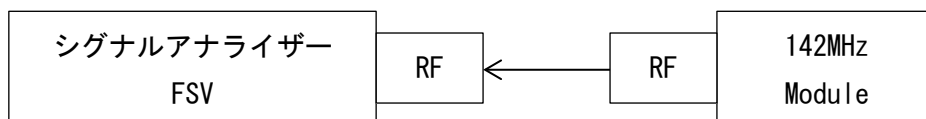
また、データの 1 ビット時間長を T 、変調度を m とすると

$$m = 2 \cdot \Delta f \cdot T = \frac{2 \cdot \Delta f}{\text{伝送速度}}$$

と表すことが出来る。

（2）試験モデルシステムを用いた検討

付図 9-1 に試験系を示す。登山者等の位置検知システムの Module（以下、「142MHz Module」）の周波数偏移を変更させて、伝送速度 1200bps、2400bps、4800bps、9600bps における占有周波数帯幅を測定する。送信周波数は 149.24MHz とし、測定方法は TELECOM-T246 動物検知通報システム用特定小電力無線機に使用するための無線設備の特性試験方法を参考とした。



付図 9-1 試験系概略図

占有周波数帯幅の机上計算結果と測定結果を付表 9-1 に示す。同じ要求伝送速度でも周波数偏移を変えることで占有周波数帯幅も変わっていることがわかる。FSK 変調では、変調指数を大きくするほど S/N 比が良くなり受信感度が向上するが、それに伴い占有周波数帯幅も広がり、周波数の利用効率が悪くなるため、一般的には変調指数は 0.5~2 程度の範囲で使用されることが多い。

机上計算の結果と測定結果を比較すると、占有周波数帯幅が広がるほど机上計算と測定値の差が広がる傾向であったが、測定結果の占有周波数帯幅は机上計算よりも狭くなっていた。このことから、机上計算による占有周波数帯幅で検討することが有効であると考えられる。変調指数が 0.5 の位相連続 FSK を特に MSK (Minimum Shift Keying) という。

付表 9-1 机上計算及び測定結果一覧

伝送速度 (bps)	周波数偏移 (±kHz)	変調指数	机上計算による 占有周波数帯幅 (kHz)	試験モデルシステム による占有周波数帯幅 (kHz)
1200	0.3	0.50	1.8	1.44
	0.6	1.00	2.4	2.01
	0.8	1.33	2.8	2.44
	1.0	1.67	3.2	2.83
	1.2	2.00	3.6	3.26
2400	0.6	0.50	3.6	2.5
	0.8	0.67	4	2.8
	1.0	0.83	4.4	3.26
	1.2	1.00	4.8	4.02
	1.4	1.17	5.2	4.5
	1.6	1.33	5.6	4.74
	1.8	1.50	6	4.89
	2.0	1.67	6.4	5.23
	2.2	1.83	6.8	5.94
	2.4	2.00	7.2	6.52
4800	1.2	0.50	7.2	4.89
	1.6	0.67	8	5.27
	2.0	0.83	8.8	6.71
	2.4	1.00	9.6	8.15
	2.8	1.17	10.4	8.92
	3.2	1.33	11.2	9.4
	3.6	1.50	12	9.78
	4.0	1.67	12.8	10.16
	4.4	1.83	13.6	12.08
	4.8	2.00	14.4	13.04
9600	2.4	0.50	14.4	9.89
	3.0	0.63	15.6	10.44
	3.6	0.75	16.8	10.74
	4.2	0.88	18	14.38
	4.8	1.00	19.2	16.23

※試験モデルシステムは Gauss フィルタ BbT=0.5 変調指数 1 の GFSK

2. 隣接チャネル漏えい電力

登山者等の位置検知システムの隣接チャネル漏えい電力について、机上計算及び試験モデルシステムを用いた検証を行った。検討する変調方式及び試験系については占有周波数帯幅と同様とした。

(1) 机上計算

FM 変調は、周波数偏移が過大になると隣接チャネル漏えい電力が急激に増大する傾向にある。変調周波数のベースバンド信号を FM 変調した際に、搬送波の周波数を中心として、上下に変調周波数の整数倍の周波数成分からなる側波帯を発生する。側波の大きさは、第一ベッセル関数として変調指数と側波の次数から計算することが可能である。その結果を付表 9-2 に示す。

隣接チャネル漏えい電力の検討においては、チャンネル間隔 10kHz で占有周波数帯幅 8.5kHz（以下、10kHz/8.5kHz という。）及びチャンネル間隔 6.25kHz で占有周波数帯幅 5.8kHz（以下、6.25kHz/5.8kHz という。）の周波数軸上のナロー化案を対象に行った。チャンネル間隔 10kHz で占有周波数帯幅 5.8kHz については、10kHz/8.5kHz に比べて占有周波数帯幅が狭くなり、隣接チャネル隣接漏えい電力は低くなるため省略する。

検討は測定により得られた占有周波数帯幅の結果と比較を行い、机上計算を行う占有周波数帯幅を超さない組合せについてのみ検討を行った。付表 9-2 に示す青色の背景箇所については、2 チャンネルを結束した場合における隣接チャネル漏えい電力を計算しており、チャンネル間隔及び占有周波数帯幅は 2 倍としている。なお、机上計算による隣接チャネル漏えい電力の値は搬送波からの減衰量とし、60dBc 以上となった場合には 60dBc としている。また、測定占有周波数帯幅が周波数軸上のナロー化案の帯占有周波数帯幅よりも大きい場合は検討対象から除いている。

周波数偏移が小さくなるにつれ、隣接チャネル漏えい電力は低くなることわかる。なお、FSK のうち、変調指数が 0.5 である MSK は、さらなるナロー化が実現可能である。また、受信復調側の工夫により、雑音に強く長距離通信が実現できる可能性があり、より性能をあげることもできる。

付表 9-2 隣接チャネル漏えい電力の机上計算結果一覧

伝送速度 (bps)	周波数偏移 (±kHz)	変調 指数	測定占有周 波数帯幅 (kHz)	隣接チャネル漏えい電力 (dBc)	
				10kHz/8.5kHz	6.25kHz/5.8kHz
1200	0.3	0.50	1.44	60.0	60.0
	0.6	1.00	2.01	60.0	60.0
	0.8	1.33	2.44	60.0	60.0
	1.0	1.67	2.83	60.0	60.0
	1.2	2.00	3.26	60.0	60.0
2400	0.6	0.50	2.50	60.0	60.0
	0.8	0.67	2.80	60.0	60.0
	1.0	0.83	3.26	60.0	58.3
	1.2	1.00	4.02	60.0	52.1
	1.4	1.17	4.50	60.0	46.9
	1.6	1.33	4.74	59.8	42.4
	1.8	1.50	4.89	54.8	38.5
	2.0	1.67	5.23	50.4	35.0
	2.2	1.83	5.94	46.5	
	2.4	2.00	6.52	42.9	
4800	1.2	0.50	4.89	51.8	51.8
	1.6	0.67	5.27	44.4	44.4
	2.0	0.83	6.71	38.7	38.7
	2.4	1.00	8.15	34.1	34.1
	2.8	1.17	8.92		30.3
	3.2	1.33	9.40		27.0
	3.6	1.50	9.78		24.1
	4.0	1.67	10.16		21.6
	4.4	1.83	12.08		
	4.8	2.00	13.04		
9600	2.4	0.50	9.89		30.3
	3.0	0.63	10.44		26.5
	3.6	0.75	10.74		23.4
	4.2	0.88	14.38		
	4.8	1.00	16.23		

※網掛けは 2 チャネル結束における計算結果

※試験モデルシステムは Gauss フィルタ BbT=0.5 変調指数 1 の GFSK

(2) 試験モデルシステムを用いた検討

付表 9-3 に GFSK 方式の試験モデルシステムにおける測定結果一覧を示す。測定した隣接チャネル漏えい電力は変調指数が 1.0 となる周波数偏移とし、比較のために周波数軸上のナロー化案の机上計算結果も合わせて示す。なお、測定占有周波数帯幅が周波数軸上のナロー化案の占有周波数帯幅を超さない条件とした。測定値と机上計算値を比較するとほぼ一致した。このことから、机上計算による隣接チャネル漏えい電力で検討することが有効であると考えられる。

付表 9-3 測定結果一覧

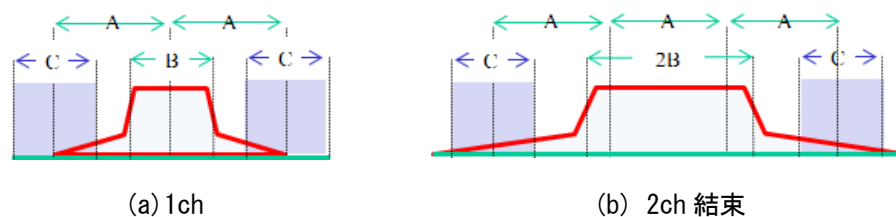
伝送速度 (bps)	変調 指数	隣接チャネル漏えい電力 (dBc)			
		10kHz/8.5kHz		6.25kHz/5.8kHz	
		測定値	机上計算値	測定値	机上計算値
2400	1.00	64.05	60.00	54.99	58.3
4800	1.00	37.02	34.1	43.48	34.1

付表 9-4 に隣接チャネル漏えい電力の検討結果、付図 9-2 に各項目の説明を示す。ナロー化案に合わせ、隣接チャネル漏えい電力について規定する必要があるが、ナロー化による隣接チャネル漏えい電力の机上計算及び測定結果からは $1\mu\text{W}$ の実現は厳しいものであった。隣接チャネル漏えい電力についてはデジタル簡易無線局の設備規則に加え、机上計算および測定結果を考慮すると搬送波電力に対して 45dB 以上とすることで装置の実現が可能と考えられる。変調度により隣接チャネル漏えい電力は変化するため、45dB 以上の実現を行うために適切な変調度を選択する必要がある。

付表 9-4 隣接チャネル漏えい電力

システム	ch 数	(A) 周波数セパレーション (kHz) (B) 占有周波数帯幅 (kHz) (C) 規定の周波数帯域 (kHz) (C') C の帯域内に輻射される電力 (μW または dB)			
		(A)	(B)	(C)	(C')
		(A)	(B)	(C)	(C')
現行制度※1	5	20	16	± 8	$1\mu\text{W}$
ナロー化案①	5	10	8.5	± 4.25	搬送波電力に対して 45dB 以上
ナロー化案①'	5	10	5.8	± 2.9	搬送波電力に対して 45dB 以上
ナロー化案②	8	6.25	5.8	± 2	搬送波電力に対して 45dB 以上
ナロー化案②' (2ch 結束利用)	4	12.5	11.6	± 5.8	搬送波電力に対して 45dB 以上
デジタル簡易無線局	—	6.25	5.8	± 2	搬送波電力に対して 45dB 以上
小電力セキュリティ システム (I 型)	—	12.5	4	± 2	搬送波電力に対して 40dB 以上

※1 現行周波数配列のうち、偶数番目の周波数をインターリーブ波とみなした場合



付図 9-2 各項目の説明

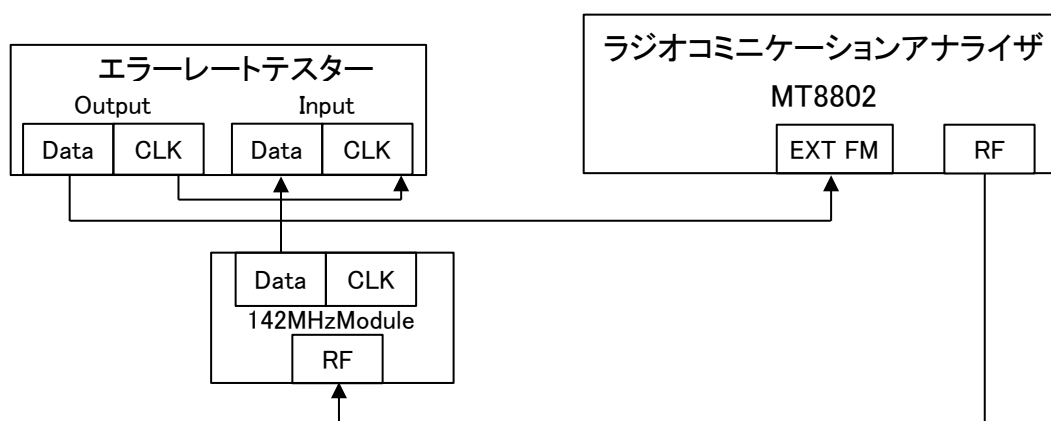
3. 伝送品質

登山者等の位置検知システムの伝送品質について試験モデルシステムを用いた検証を行った。

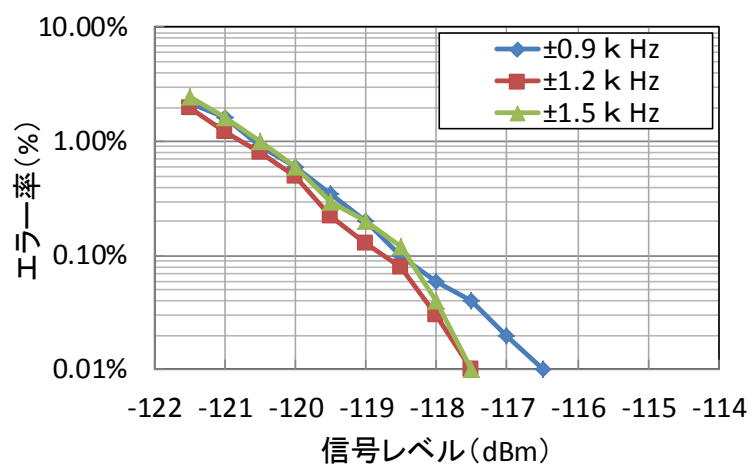
(1) 試験モデルシステムを用いた検討

付図 9-3 に試験系を示す。142MHz Module の伝送速度 2400bps 及び 4800bps については、変調指数 1.0 を基本として周波数偏移を $\pm 0.3\text{kHz}$ に設定、伝送速度 9600bps については、変調指数 0.88 を基本として周波数偏移を $\pm 0.6\text{kHz}$ に設定する。信号レベルを変化させてビットエラーを測定する。

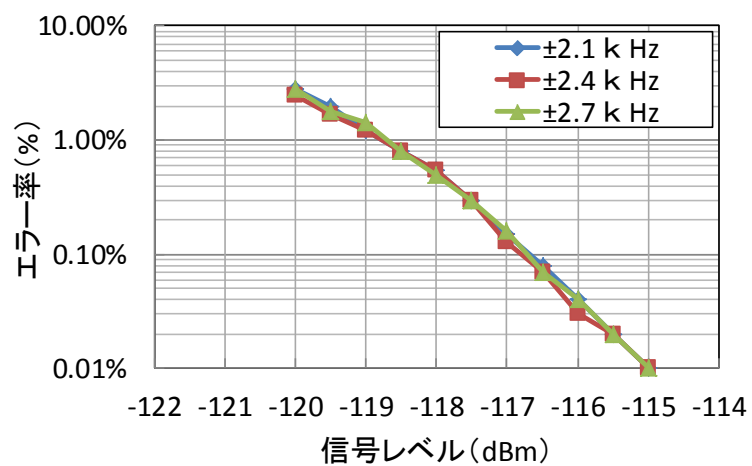
付図 9-4 に各伝送速度における試験結果を示す。ビットエラー率が 0.01%となる信号レベルは、2400bps で約 -117dBm 、4800bps で -115dBm 、9600bps で $-101\text{dBm} \sim -106\text{dBm}$ となった。



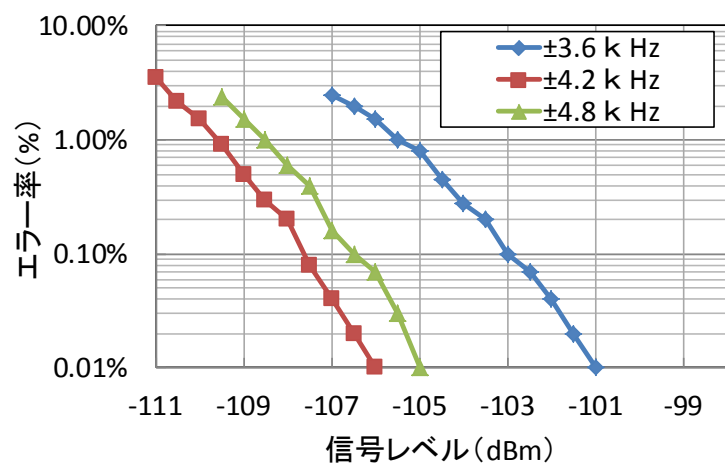
付図 9-3 試験系概略図



(a) 伝送速度 2400bps



(b) 伝送速度 4800bps



(c) 伝送速度 9600bps

付図 9-4 各伝送速度における試験結果

屋内実証試験

1. 概要

システムの性能評価、屋外試験のための装置の有線特性を把握し、登山者等の位置検知システムの技術的条件の検討に資することを目的に、平成 26 年 11 月 10～14 日長野県安曇野市、平成 26 年 11 月 25～28 日神奈川県横須賀市、平成 26 年 12 月 10～25 日および平成 27 年 1 月 5～13 日横浜市戸塚区において屋内実証試験を実施した。

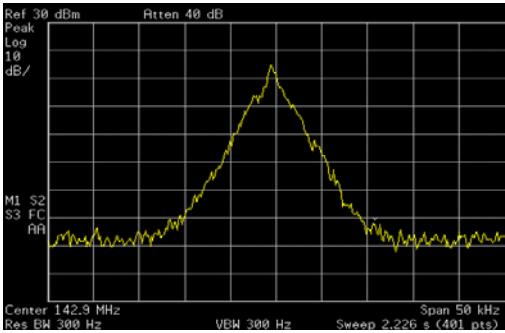
検知者端末 2 台と登山者端末 4 台および現行システム 1 台を使用して、受信電力特性、データ伝送品質特性、同システム並びに異システムの干渉時におけるキャリアセンス動作検証およびデータ伝送品質特性検証を行った。さらにキャリアセンスの動作確認結果からキャリアセンスが動作する可能性がある離隔距離計算値を算出した。

2. 試験モデルシステム

屋内実証試験では、登山者等の位置検知システムとして試作した試験モデルシステムと現行方式の試験モデルシステムを用いて検証を行った。試験モデルシステムの諸元は 4.1.1 項に示している。付図 10-1 に現行システム（ドッグマーカ）の外観、付図 10-2 に送信スペクトル（2 チャンネル）を示す。また、現行方式の試験モデルシステムの諸元を付表 10-1 に示す。



付図 10-1 現行システム



付図 10-2 送信スペクトル

付表 10-1 現行システムの諸元

項目	諸元	単体測定結果
周波数	142.94～142.98MHz (10kHz 間隔の 5 波)	142.94～142.98MHz (10kHz 間隔の 5 波)
占有周波数帯幅	16kHz 以下	7.2kHz
送信電力	40mW	39.5mW
スプリアス電力	-43dBc 以下 ※1	-56.7dBc
隣接チャネル漏えい電力	1μW 以下 ※1	0.28μW 以下
受信感度	-117dBm	-117dBm
変調方式、通信内容	F3E、音声	—
キャリアセンス機能	あり (-97dBm 程度)	-97dBm

※1 動物検知通報システム（ARIB STD-T99）の標準規格を参照

3. データ伝送品質確認試験

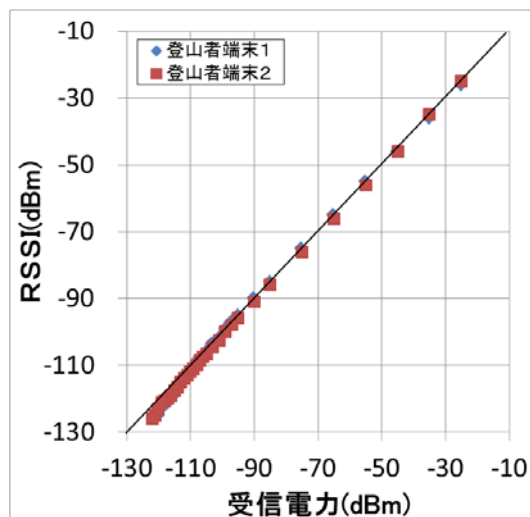
ナロー化した試験モデルシステムを用いて、システム性能の把握目的とした受信電力および通信品質の検証を実施した。付図 10-3 に検証試験の構成図示す。測定では、登山者端末と検知者端末とを可変アッテネータを介して有線接続し、検知者端末に入力される電力を変化させて RSSI または PER を USB 接続したデータ取得用 PC に取得した。



付図 10-3 試験構成図

3.1 受信電力特性

付図 10-4 に受信電力-RSSI 特性を示す。受信電力特性は、登山者端末に依存せずほぼ直線性を確保している。このことから本データをもとに RSSI 値から受信電力へ変換するための 6 次近似式を作成し、屋外試験の較正カーブへ適用した。

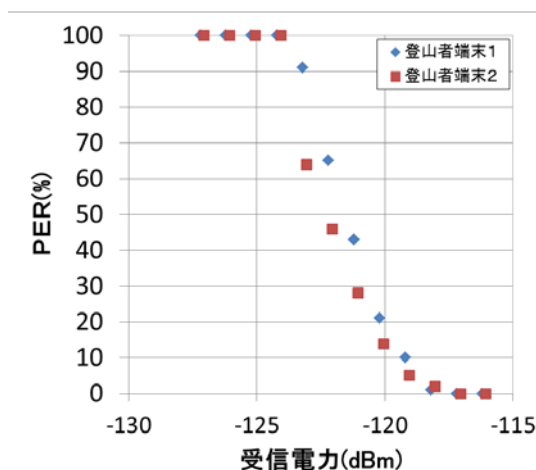


付図 10-4 受信電力-RSSI 特性

3.2 伝送品質特性

付図 10-5 に受信電力-PER 特性を示す。測定結果からいずれの端末も受信電力-117dBm で PER が発生し始め、-124dBm で PER が 100% となった。このことから装置諸元である入

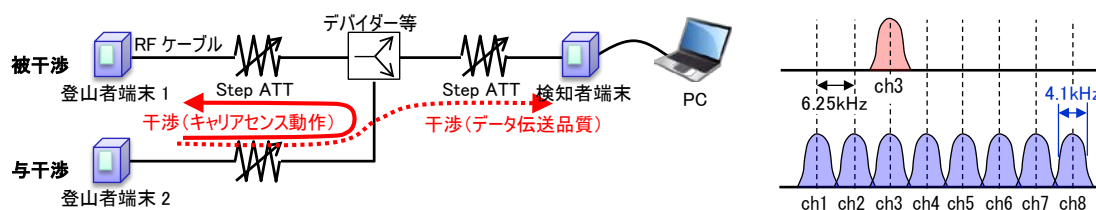
力信号レベル-117dBm と一致し、試験モデルシステムが設計通りの性能で動作していることを確認した。



付図 10-5 受信電力-PER 特性

4. ナロー化システム同士の共用試験

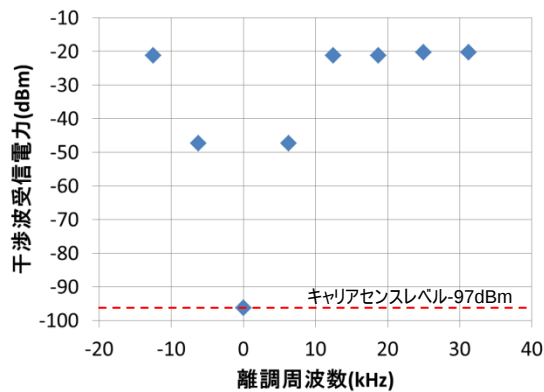
ナロー化した試験モデルシステムを用いて、システム性能の把握目的とした同一・隣接チャネルの干渉に有効なキャリアセンスの動作検証を実施し、その結果をもとにキャリアセンスが動作する可能性がある離隔距離計算値を算出した。また、キャリアセンスが動作しない状況におけるデータ伝送品質確認も合わせて実施した。付図 10-6 に本試験における試験構成図を示す。



付図 10-6 同一システムにおける共用試験の構成図

4.1 キャリアセンス動作確認

付図 10-7 にキャリアセンスが動作する干渉波の受信電力を示す。測定結果から同一チャネルでは受信電力-97dBm でキャリアセンスが動作するのに対して、隣接チャネルでは、受信電力-48dBm で動作した。さらに次隣接以降のチャネルでは、受信電力-21dBm 程度であった。



付図 10-7 離調周波数－干渉波受信電力特性

上記結果をもとに同一システムにおける干渉時の離隔距離を算出する。算出に必要な条件は以下の通りである。

付表 10-2 計算条件

	登山者等の位置検知システム
中心周波数	142.95MHz (ch3)
周波数帯域幅	5.8kHz
送信出力	100mW
アンテナ利得	1.8dBi
アンテナ高	1.5m
キャリアセンスレベル	-97.0dBm
伝搬式	平面大地における2波干渉モデル (付属資料 11 屋外実証試験結果 付図 11-3 参照)
アンテナ高補正值	屋外実証試験で得られたアンテナ高さ補正 (図 4-28 参照)

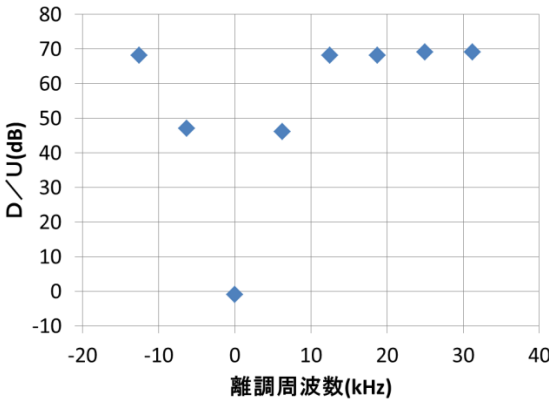
付表 10-3に被干渉チャネル3に対する各チャネルにおける干渉波電力値と離隔距離を示す。同一チャネル (ch3) における離隔距離は、1,579m、隣接チャネル、次隣接以降のチャネルでは、それぞれ 99m、21m となった。このことから同一チャネルでは、1,579m の範囲内に他の端末がいた場合は、キャリアセンスが動作する可能性があることを示している。また、同一チャネルに比べ隣接チャネル以降では、100m 以遠では干渉の影響がないことからキャリアセンスが動作する可能性は低いことが想定される。

付表 10-3 被干渉チャンネル 3 に対する各チャンネルにおける干渉波電力と離隔距離

	ch1	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6	ch7	ch8
離隔周波数 (kHz)	-12.5	-6.25	0	6.25	12.5	18.75	25.0	31.25
干渉波電力測定値 (dBm)	-22.3	-49.3	-97.3	-49.3	-22.3	-22.3	-21.3	-21.3
離隔距離計算値 (m)	21	99	1,579	99	21	21	20	20

4.2 干渉時のデータ品質特性

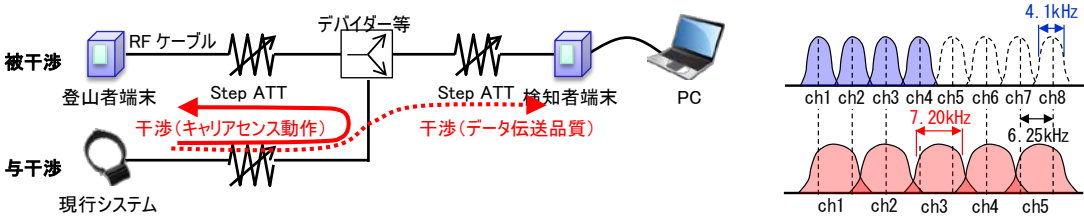
同一システムにおける干渉時のデータ伝送品質結果について示す。付図 10-8 に希望波に対する干渉波を加え PER が発生する時のレベル差 D/U (Desired/Undesired) と離調周波数の関係を示す。D/U は、同一チャンネル-2dB、隣接チャンネル 46dB、次隣接チャンネル以上が 68dB となった。



付図 10-8 離調周波数-D/U 特性

5. 現行システムとナロー化システムとの共用試験

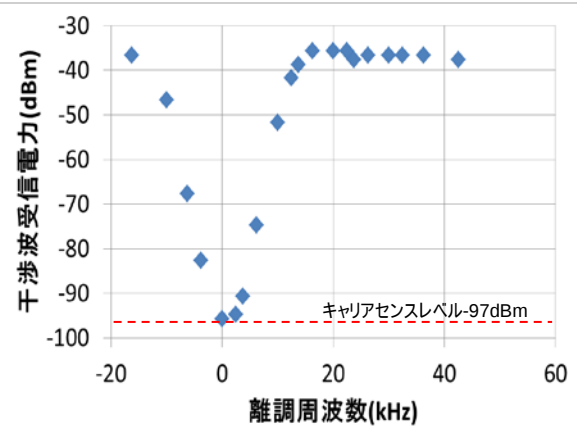
ナロー化した試験モデルシステムと現行システムを用いて、各システムのチャンネル組合せにおける干渉に有効なキャリアセンスの動作検証を実施し、その結果をもとにキャリアセンスが動作する可能性がある離隔距離計算値を算出した。付図 10-9 に本試験における試験構成図を示す。



付図 10-9 現行システムとナロー化システムとの共用試験の構成図

5.1 キャリアセンス動作確認

付図 10-10 に離調周波数－干渉波受信電力特性を示す。測定結果から同一中心周波数となる最悪値で受信電力-97dBm でキャリアセンスが動作し、離隔周波数が大きくなるに従い干渉波受信電力も上がり、離隔周波数 15kHz 以上では-38dBm で動作した。



付図 10-10 離調周波数－干渉波受信電力特性

付表 10-4 にキャリアセンス動作レベルの測定値を示す。また、現行システムの送信波形と帯域幅等から帯域内電力を算出する。付表 10-5 にチャネル組合せにおけるキャリアセンス動作レベル計算値を示す。

付表 10-4 チャネル組合せにおけるキャリアセンス動作レベル測定値

		与干渉（現行システム）				
		ch1	ch2	ch3	ch4	ch5
被干渉 （登山者等の位置 検知システム）	ch1	-95.7	-43.7	-37.7	-38.7	-38.7
	ch2	-84.7	-76.7	-37.7	-38.7	-38.7
	ch3	-48.7	-97.7	-53.7	-38.7	-38.7
	ch4	-38.7	-68.7	-92.7	-41.7	-38.7

付表 10-5 チャネル組合せにおけるキャリアセンス動作レベル計算値

		与干渉（現行システム）				
		ch1	ch2	ch3	ch4	ch5
被干渉 （登山者等の位置 検知システム）	ch1	-96.4	—	—	—	—
	ch2	-88.0	-76.3	—	—	—
	ch3	-54.7	-97.0	-59.0	—	—
	ch4	—	-71.8	-93.0	—	—

上記結果から、測定値と計算値は若干のばらつきがあるもののほぼ一致した。このことから帯域幅が異なるキャリアセンスレベルの検討において、帯域内電力計算による検討が可能であると考えられる。

これを踏まえてナロー化した試験モデルシステムと現行システムとの干渉時の離隔距離を算出する。

初めに現行システム(帯域幅 16kHz)から登山者等の位置検知システム(帯域幅 5.8kHz)へ干渉させた場合における離隔距離を計算する。算出に必要な条件は以下の通りである。

付表 10-6 計算条件

	現行システム	登山者等の位置検知システム
周波数帯域幅	16kHz	5.8kHz
送信出力	1W	—
アンテナ利得	0dBi	2.14dBi
アンテナ高	0.5m	1.5m
キャリアセンスレベル	—	-97.0dBm
伝搬式	平面大地における2波干渉モデル (付属資料 11 屋外実証試験結果 付図 11-3 参照)	
アンテナ高補正值	屋外実証試験で得られたアンテナ高さ補正 (図 4-28 参照)	

付表 10-7 にキャリアセンスが動作する登山者等の位置検知システムの受信電力計算値を示す。また、

付表 10-8 にキャリアセンスが動作する離隔距離を示す。計算結果から受信電力計算値 -92.6dBm となるチャネル組合せで最大離隔距離 1,556m となった。

付表 10-7 キャリアセンスが動作する登山者等の位置検知システムの受信電力計算値

		与干渉(現行システム)				
		ch1	ch2	ch3	ch4	ch5
被干渉 (登山者等の位置 検知システム)	ch1	-92.6	—	—	—	—
	ch2	-92.6	-91.6	—	—	—
	ch3	-84.5	-92.6	-84.5	—	—
	ch4	—	-91.6	-92.6	—	—
	ch5	—	—	-92.6	-90.3	—
	ch6	—	—	-88.3	-92.6	—
	ch7	—	—	—	-92.6	-92.6
	ch8	—	—	—	—	-92.6

単位: dBm

付表 10-8 キャリアセンスが動作する離隔距離

		与干渉（現行システム）				
		ch1	ch2	ch3	ch4	ch5
被干渉 （登山者等の位置 検知システム）	ch1	1,556	—	—	—	—
	ch2	1,556	1,475	—	—	—
	ch3	978	1,556	978	—	—
	ch4	—	1,475	1,556	—	—
	ch5	—	—	1,556	1,367	—
	ch6	—	—	1,220	1,556	—
	ch7	—	—	—	1,556	1,556
	ch8	—	—	—	—	1,556

単位:m

同様に、現行システム（帯域幅 16kHz）から登山者等の位置検知システム（帯域幅 8.5kHz）へ干渉させた場合における離隔距離を計算する。算出に必要な条件は帯域幅 8.5kHz 以外の項目は 5.8kHz と同様とした。この条件における同一チャネル、隣接チャネルにおける受信電力計算値は、それぞれ-94.2dBm、-88.5dBm となり、離隔距離に換算すると 1,704m、1,229m となる。

同様に、その他の組合せにおけるキャリアセンスが動作する最大離隔距離を算出する。

付表 10-9 計算条件

	現行システム	登山者等の位置検知システム
中心周波数	142.95MHz（ch2）	142.95MHz（ch3）
周波数帯域幅	16kHz	5.8kHz、8.5kHz
送信出力	1W	1W
アンテナ利得	0dBi	2.14dBi
アンテナ高	0.5m	1.5m
キャリアセンスレベル	-97.0dBm	-97.0dBm
伝搬式	平面大地における 2 波干渉モデル （付属資料 11 屋外実証試験結果 付図 11-3 参照）	
アンテナ高補正值	屋外実証試験で得られたアンテナ高さ補正 （図 4-28 参照）	

付表 10-10 に各システム組合せにおけるキャリアセンスが動作する最大離隔距離を示す。但し、各システムが常時送信しているわけではないことから最大離隔距離内であってもキャリアセンスが必ず動作するわけではないことは注意が必要である。この結果から

現行システムと登山者等検知システムの組合せで最大離隔距離 2,014m となった。また、同一システムの離隔距離は、登山者等の位置検知システムが最大 2,857m、現行システムが 1,770m となった。

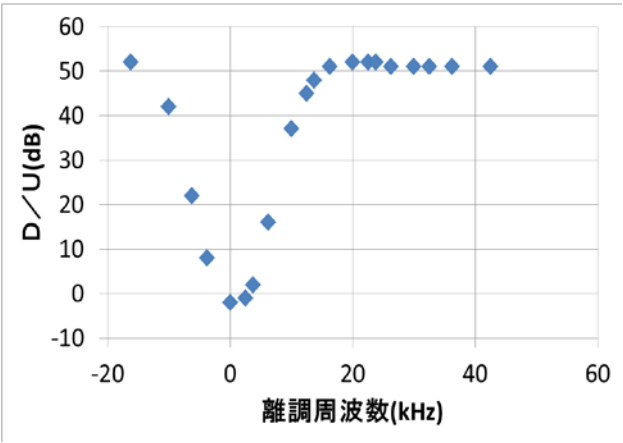
付表 10-10 各システム組合せにおけるキャリアセンスが動作する最大離隔距離

		与干渉		
		登山者等の位置 検知システム (5.8kHz)	登山者等の位置 検知システム (8.5kHz)	現行システム (16kHz)
被干渉	登山者等の位置検知システム (5.8kHz)	2,857	2,608	1,556
	登山者等の位置検知システム (8.5kHz)	2,857	2,857	1,704
	現行システム (16kHz)	2,014	2,014	1,770

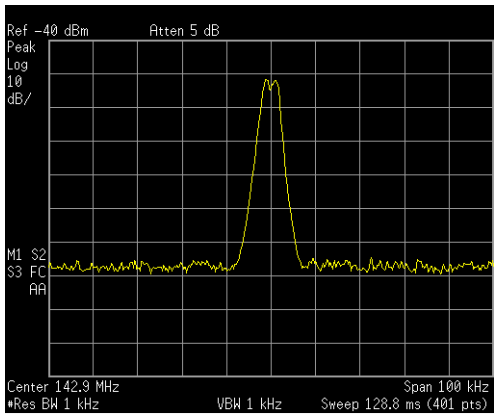
単位:m

5.2 干渉時のデータ品質特性

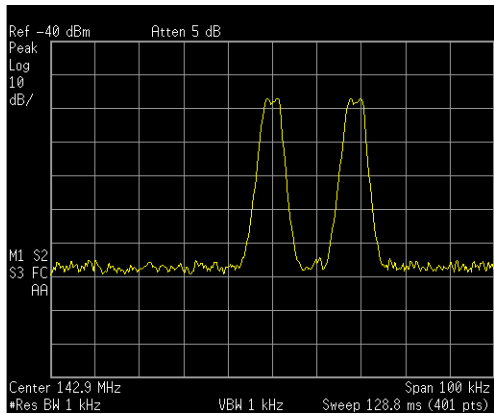
異システムにおける干渉時のデータ伝送品質結果についてに示す。付図 10-11 に希望波に対する干渉波を加え PER が発生する時のレベル差 D/U (Desired/Undesired) と離調周波数の関係を示す。D/U は、離調周波数 0kHz が-2dB、離調周波数が離れるに従って徐々に大きくなり、離調周波数 15kHz 以上においては、50dB 以上となった。



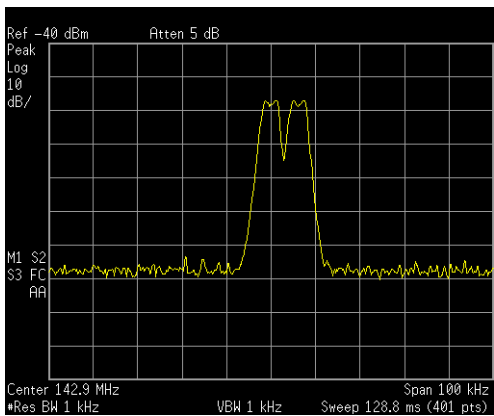
付図 10-11 離調周波数-D/U 特性



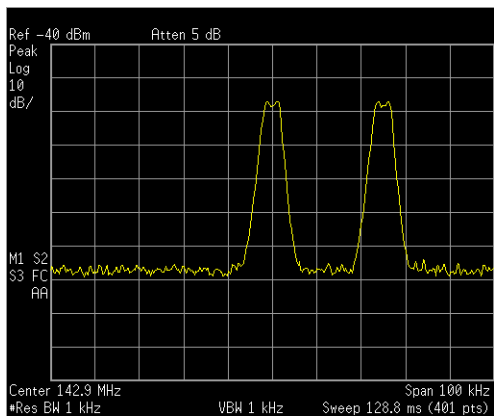
(a) 被干涉 ch3、与干涉 ch3



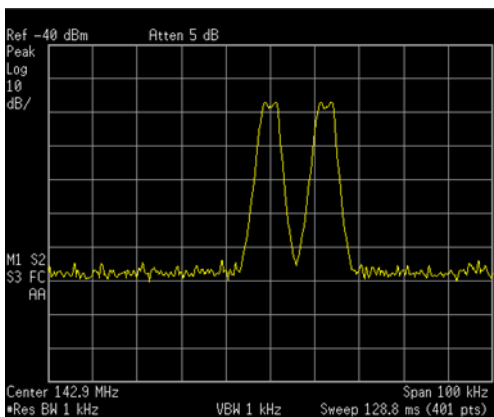
(d) 被干涉 ch3、与干涉 ch6



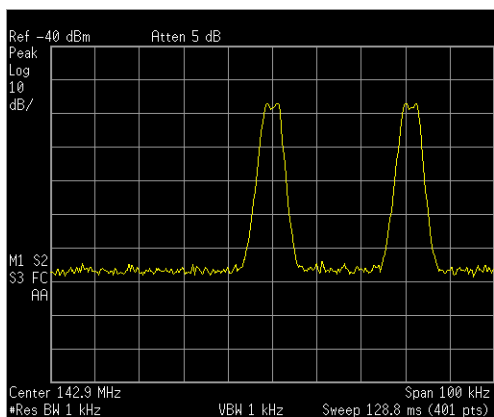
(b) 被干涉 ch3、与干涉 ch4



(e) 被干涉 ch3、与干涉 ch7

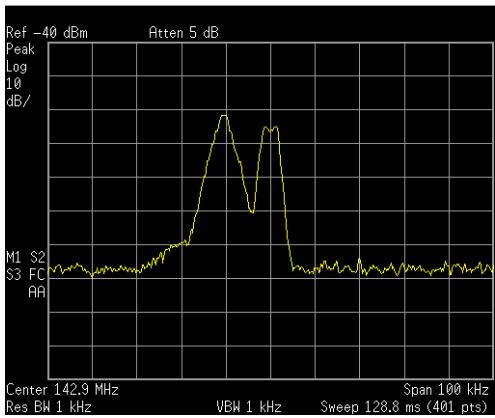


(c) 被干涉 ch3、与干涉 ch5

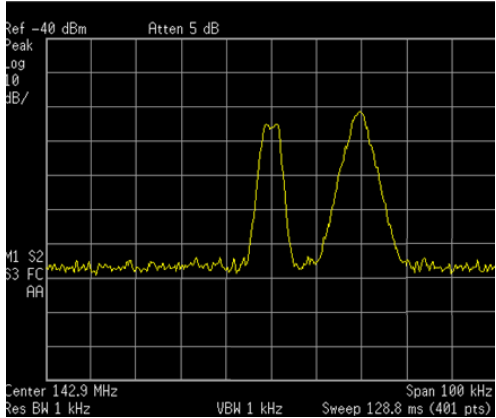


(f) 被干涉 ch3、与干涉 ch8

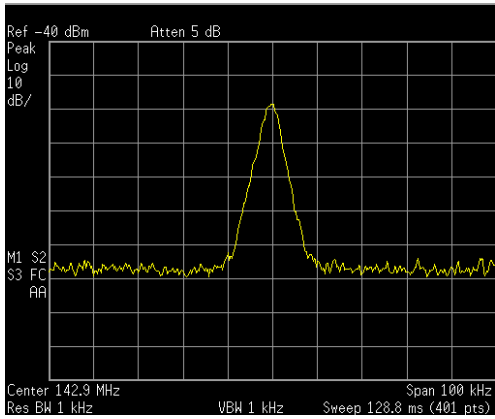
参考図 1 ナロー化システム同士の共用試験の干渉時スペクトル例



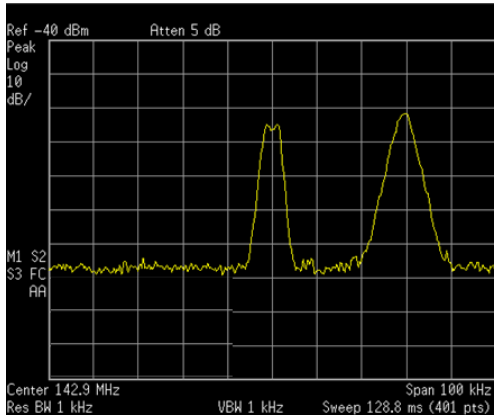
(a) 被干渉 ch3、与干渉 ch1



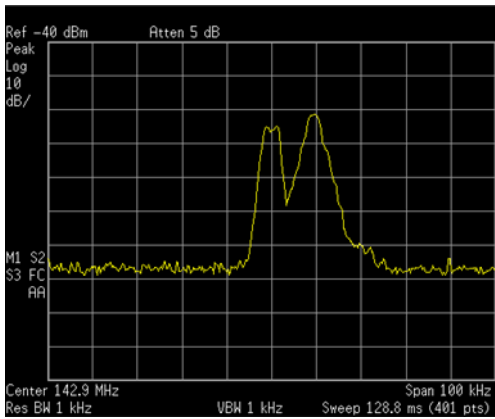
(d) 被干渉 ch3、与干渉 ch4



(b) 被干渉 ch3、与干渉 ch2



(e) 被干渉 ch3、与干渉 ch5



(c) 被干渉 ch3、与干渉 ch3

参考図 2 現行システムとナロー化システムとの共用試験の干渉時スペクトル例

屋外実証試験

1. 概要

ナロー化した登山者等の位置検知システムを用いて、実環境における伝搬特性を把握し、登山者等の位置検知システムの技術的条件の検討に資することを目的に、平成 26 年 12 月 1 日（月）～平成 26 年 12 月 5 日（金）の期間において、石川県の医王山スポーツセンター周辺地域において実証試験を実施した。

検知者端末 2 台と登山者端末 4 台を使用して、山間地における機能試験およびアンテナ高特性の検証を行った。

2. 試験モデルシステム

（1）試験モデルシステムの構成

屋外実証試験における装置構成をに示す。検知者端末側は八木アンテナを三脚に固定し、RF ケーブルにて検知者端末と接続する。検知者端末から USB ケーブルにてデータ取得端末と接続し、登山者端末からの受信電力・位置情報・パケットエラー等の情報を保存する。登山者端末のアンテナ高は実証試験の項目に合わせて、登山者の腕や手で持つこととする。



付図 11-1 測定画面

（2）試験モデルシステムの諸元

検知者端末及び登山者端末の諸元については、本章に記載の通りであり、アンテナ諸元を付表 11-1 に示す。

付表 11-1 測定結果一覧

項目	検知者端末	登山者端末
名称	八木アンテナ	ホイップアンテナ
アンテナ指向性	指向性	無指向性
アンテナ利得	1.8dBi	-0.57dBi

3. 機能試験

(1) 測定内容

登山者が端末を持つ高さと山小屋等に検知者端末を設置する高さを想定し、アンテナ高 1.5m における距離特性の把握を行った。実環境における試験モデルシステムでの通信距離を把握することに加え、GPS による登山者の移動経路の取得ができることの確認を行った。なお、実証試験を行うに当たり、同一周波数帯の電波が使用されていないことを確認した。

検知者端末を医王山スポーツセンターと白兀平ヒュッテの 2 ヶ所に設置し、登山者端末を周辺の山道を移動しながら測定を行った。

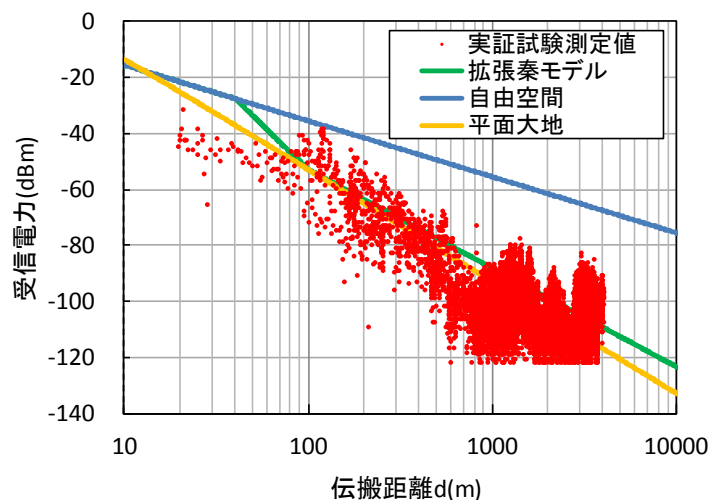


付図 11-2 測定風景

(2) 通信エリアシミュレーションの結果

実証試験で得られた位置情報と受信電力を基に、自由空間損失計算式、拡張秦式、平面大地による 2 波モデルの計算式との比較結果を付図 11-3 に示す。医王山周辺で実施した実証試験の測定データも合わせて表示する。同図より、医王山周辺の測定結果が拡張

秦式若しくは平面大地による 2 波モデルに近い傾向であったが、今回の実証試験で得られた測定結果であることから、他の地域における通信エリアシミュレーションを行う場合には地形データを考慮した多重回折損失計算や ITU-R P.1812 を用いる方が良いと考えられる。

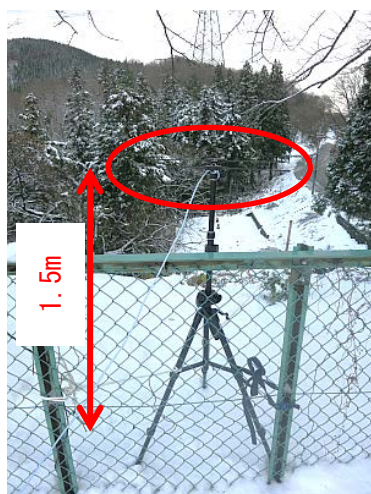


付図 11-3 実証試験測定値と机上計算の比較

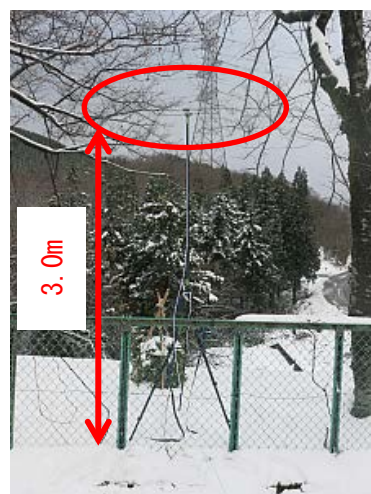
(3) アンテナ高特性試験

(a) 実施フィールドにおけるアンテナ高特性試験

検知者端末の設置風景を付図 11-4、登山者端末の設置風景を付図 11-5 に示す。アンテナ高特性試験では 5 ヶ所の地点に登山者端末を設置し測定を行った。



(a) アンテナ高 1.5m



(b) アンテナ高 3.0m

付図 11-4 検知者端末のアンテナ設置風景



(a) アンテナ高 1.5m



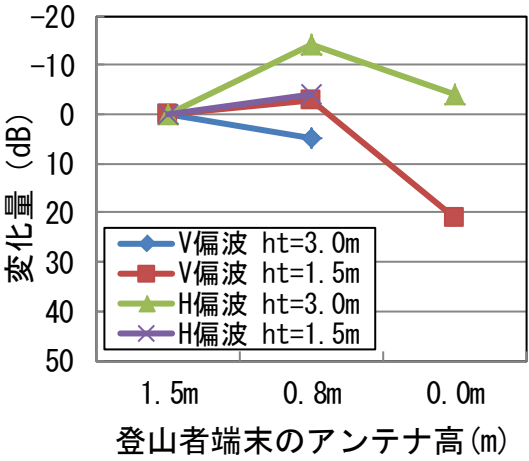
(b) アンテナ高 0.8m



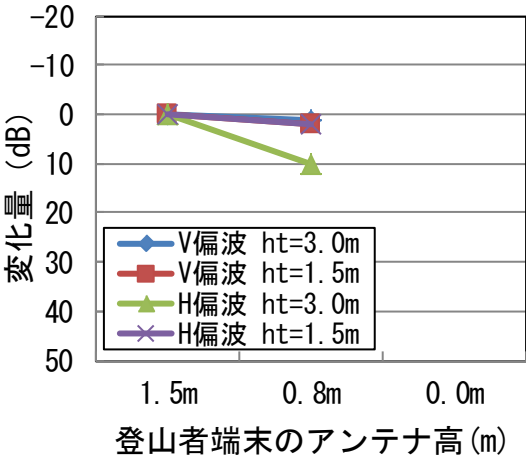
(c) アンテナ高 0.0m

付図 11-5 登山者端末のアンテナ設置風景

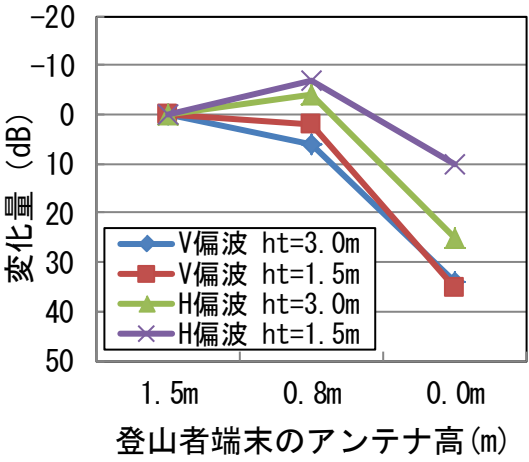
各設置場所における受信電力の変化量を付図 11-6 に示す。登山者端末のアンテナ高を 1.5m とした場合でも受信電力が受信感度の -117dBm に近い場合には、アンテナ高を下げることで受信感度を下回り、受信電力の測定ができない場合もあったが、Point3 は検知者端末の設置場所から見通しがある環境であったことから、登山者端末のアンテナ高を 0.0m とすると受信電力が下がったことが測定できた。また、ばらつきはあるものの、Point3 以外においては、登山者端末のアンテナ高を 0.0m とした場合には最大で 20dB 程度の変化量であった。



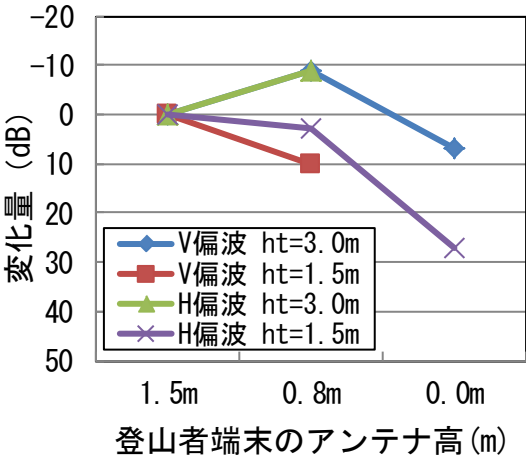
(a) Point01



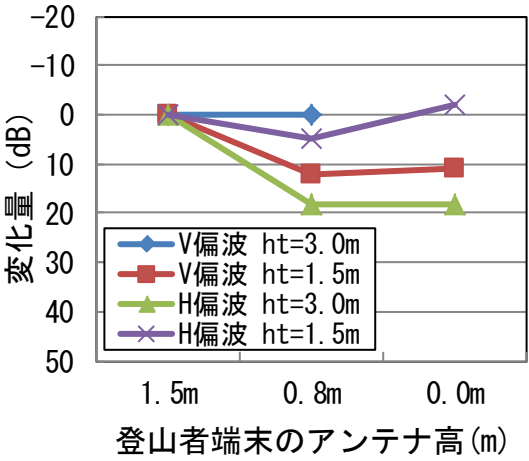
(b) Point02



(c) Point03



(d) Point04



(e) Point05

付図 11-6 各地点における受信電力の変化量

(b) 医王山スポーツセンターのグラウンドにおけるアンテナ高特性試験
医王山スポーツセンターのグラウンドにおける測定風景を付図 11-7 に示す。



(a) 全体風景



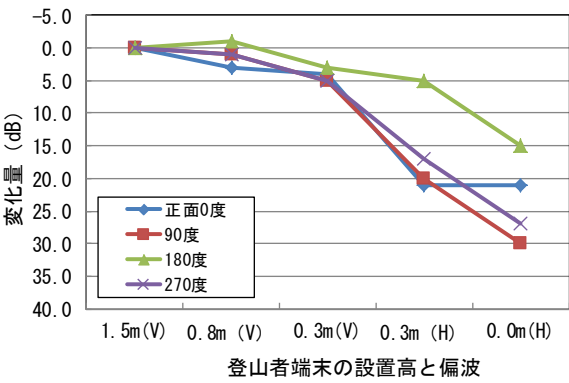
(b) 登山者端末



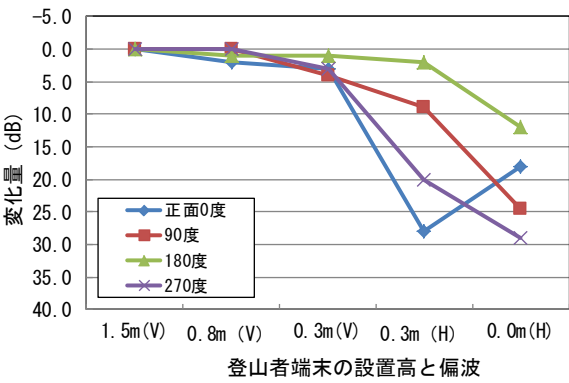
(b) 検知者端末

付図 11-7 グラウンドにおける測定風景

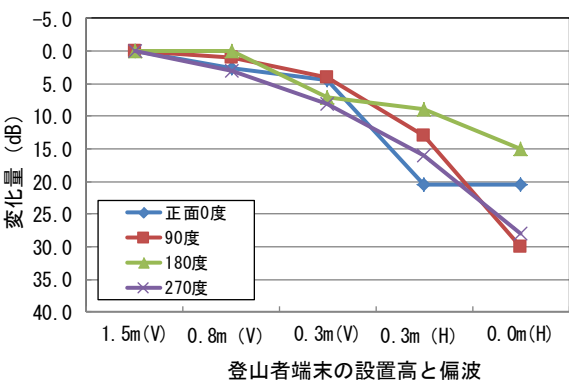
医王山スポーツセンターのグラウンドでは登山者端末を持つ人を変えて測定を行った。各登山者における受信電力の変化量を付図 11-8 に示す。登山者端末のアンテナ高が低くなるにつれ受信電力が下がる傾向は、登山者や登山者端末の向きに関わらず同様な傾向であった。



(a) 登山者 A における変化量



(b) 登山者 B における変化量



(c) 登山者 C における変化量

付図 11-8 各登山者における受信電力の変化量

公開実証試験

1. 概要

ナロー化した登山者等の位置検知システムの有効性を示すことを目的に、平成 26 年 12 月 4 日（木）に、石川県の医王山スポーツセンターにおいて公開実証試験を実施した。

検知者端末 2 台と登山者端末 4 台を使用して、山岳での伝搬特性に優れた VHF（150MHz）帯電波を使用することにより実現する登山者等の見守りの有用性を示した。

2. 公開実証試験の内容

（１）緊急時利用を想定した実証試験

登山者を見守るシステムとして、山小屋等に見立てた検知者端末設置場所から、登山者端末を持った登山者を検索するための情報となる移動経路を把握する。また、登山者自身が緊急事態となった場合に、自らが位置情報を送信することで、山小屋等で位置を把握する。

（２）緊急時・平常時を想定した実証試験

登山者を見守るシステムとして、山小屋等に見立てた検知者端末設置場所から、登山者端末を持った登山者の位置を把握する。

（３）連携効果を確認する実証試験

登山者を見守るシステムとして、山小屋等に見立てた検知者端末設置場所から、登山者端末を持った登山者の位置を把握する。山岳の特殊な環境下においては、山小屋との距離が近くても登山者の位置を把握できないことも想定される。そこで、遠方の山小屋と連携することで登山者の位置を把握する。

3. 公開試験の様子



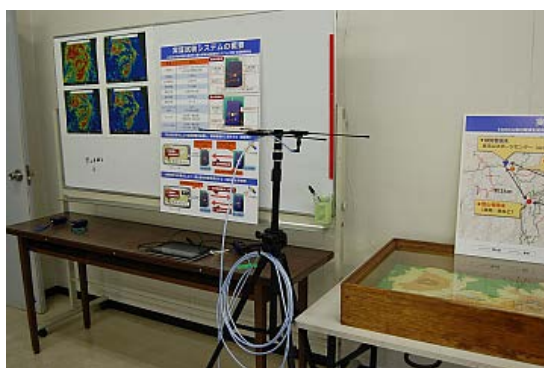
(a) 座長講義



(b) 会場参加者



(c) 公開試験説明



(d) 試験モデルシステム

4. まとめ

公開実証試験で試験モデルシステムを用いた公開実証試験で有用性を示すことができた。ただし、前日までの降雪により、公開実証試験（3）については、遠隔地に検知者端末を設置することが出来ず、実証試験期間の前半で取得した測定データにより代わりに説明を行った。

音声評価試験

1. 概要

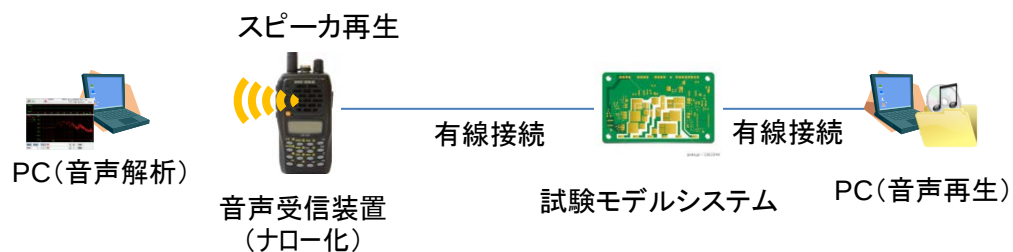
ナロー化した登山者等の位置検知システムで、狩猟等の利用目的で利用される犬の声（以下、「音声」という）が通るか確認を行う。音声評価は付表 13-1 に示す通り、5.8kHz 帯域幅にナロー化した試験モデルシステム、デジタル簡易無線局、ドッグマーカの 3 種類を用いた。なお、デジタル簡易無線局は 350MHz 帯の機器である。

付表 13-1 測定装置一覧

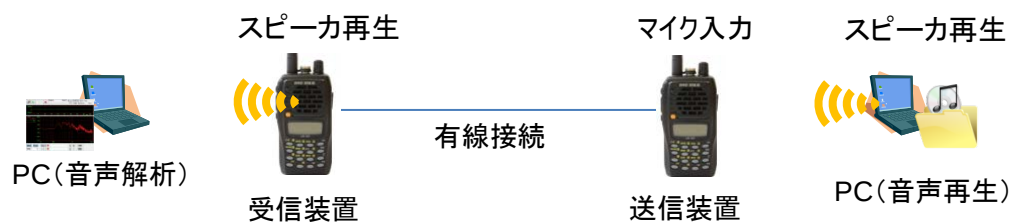
名称	試験モデルシステム	デジタル簡易無線	ドッグマーカ
周波数	142.9375～ 142.98125MHz (6.25kHz 間隔の 8 波)	351.2MHz ～ 351.38125MHz (6.25kHz 間隔の 30 波)	142.940～142.980MHz (10kHz 間隔の 5 波)
占有周波数 帯幅	5.8kHz 以下	5.8kHz 以下	16kHz 以下

2. 測定構成

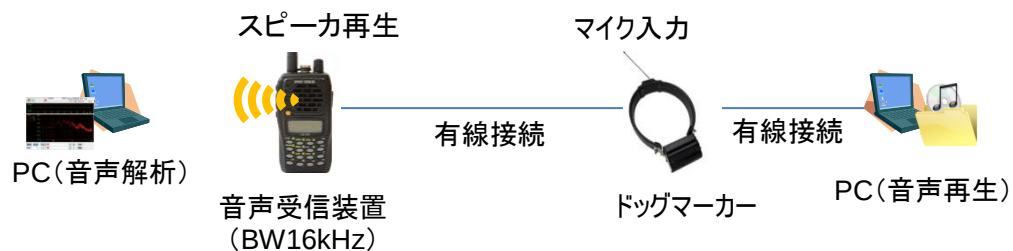
音声評価の試験構成を付図 13-1 に示す。それぞれの構成で犬の声を録音したファイル再生し、受信機から出てくる音声を解析する。なお、構成では十分に受信電力が高い状態とし、受信機のスピーカで最もよく聞こえるように音量を調整した。



(a) 試験モデルシステムを用いた構成



(b) デジタル簡易無線局を用いた構成

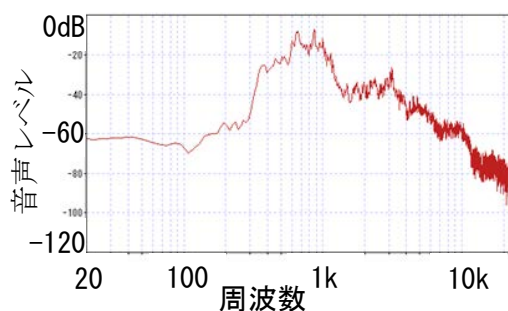


(c) ドッグマーカーを用いた構成

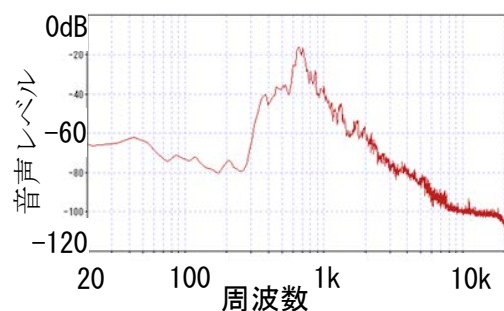
付図 13-1 構成図

3. 測定結果

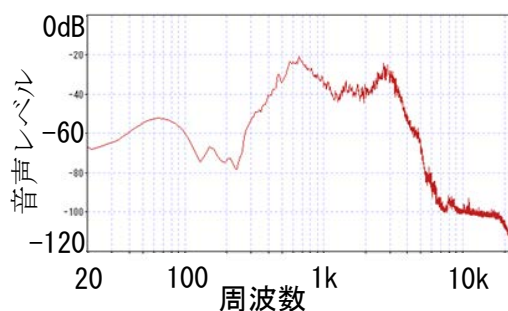
音声再生と音声解析の PC を直接接続した場合の静特性結果に加え、各装置を用いた音声解析結果を付図 13-2 に示す。受信機のスピーカで最もよく聞こえるように音量を調整しているため、音声レベルは一定ではない。各装置の測定結果を見ると高周波になるにつれ、波形に差が見られた。このことは、受信機で再生される音声に差が表れることとなる。



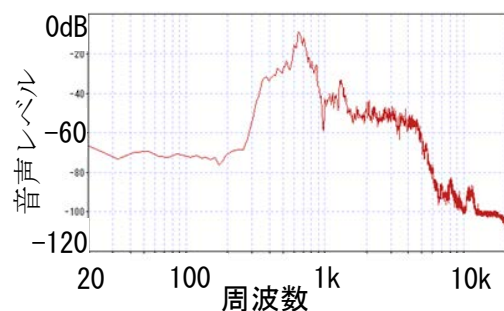
(a) 静特性結果



(b) 試験モデルシステム結果



(c) デジタル簡易無線局結果



(d) ドッグマーカ結果

付図 13-2 解析結果

また、各測定装置の測定構成において音声を再生し、男女合わせて 4 人による音声評価を行った。犬の音声として認識できるかを評価項目として実施した。いずれの装置においても犬の声として認識できる結果であったが、聞き取りやすさ等は人によって若干の差が見られた。

4. まとめ

ナロー化した試験モデルシステムを中心に、犬の音声の周波数特性と人の耳による音声評価を行った。周波数特性では高周波成分で差が見られた。ただし、今回の試験モデルシステムでは音声のデコーダー等の具備がされていないため、ナロー化による周波数成分の差がそのまま性能評価とはならない。また、音声評価では犬の音声として認識できるものの、主観評価である上、実際に利用される狩猟者による評価ではない結果として取り扱う必要がある。しかしながら、音声としてまったく聞き取れない結果ではなかったことから、音声通話を行うための装置設計若しくは 2 チャネル利用による広帯域などの対応を取ることで狩猟などにも利用できる可能性はあると思われる。

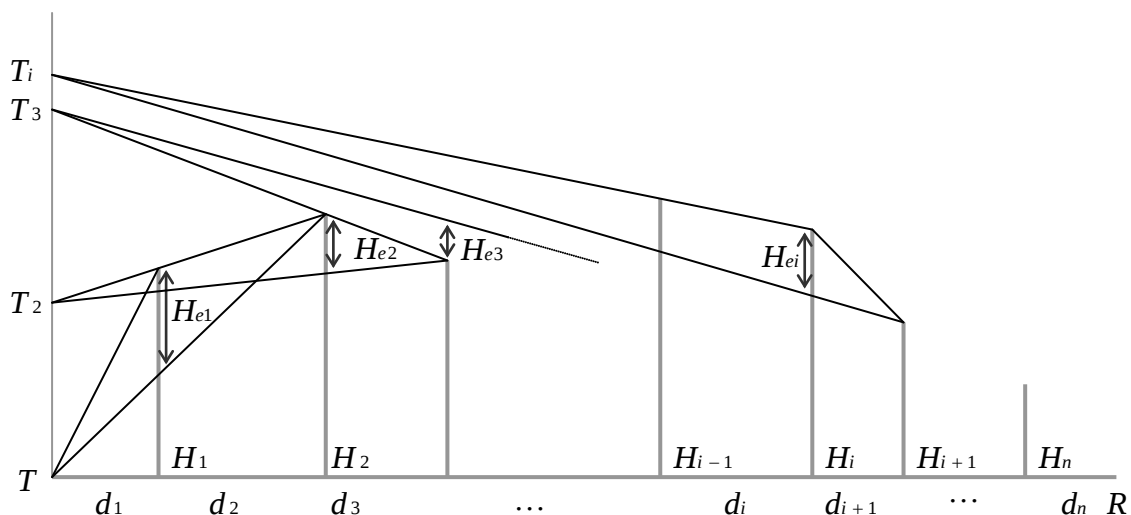
多重回折計算

多重回折計算⁹は、各リッジでの回折角から求めるため、結果的に第2リッジ以後のリッジによる回折損失を第*i*リッジ頂点と第(*i*−1)リッジ頂点とを結ぶ線と送信点位置との交点を仮送信点として求める方法である。即ち付図 14-1 に示すように、仮送信点から第*i*リッジを回折して第(*i*+1)リッジ頂点に到達する電波の回折損失を求めることとなり、仮送信点から第(*i*+1)リッジ頂点に直接引かれた線からの第*i*リッジ高を等価回折高 He_i として回折損失を計算し、第*n*リッジまでの回折損失の dB 和から回折損失を計算する。この場合、各リッジでの回折損失を規定する等価回折高 He_i は各リッジ間距離を d_i 、リッジ高を H_i として以下の式(1)で表される。

$$He_i = \frac{(d_1 + \dots + d_i)(d_i + d_{i+1})}{d_i(d_1 + \dots + d_{i+1})} \cdot \left(Hi - \frac{d_i \cdot H_{i+1} + d_{i+1} \cdot H_{i-1}}{d_i + d_{i+1}} \right) \dots \dots \dots (1)$$

一方、第*i*リッジの回折係数 p_i は以下の式(2)で計算できる。

$$p_i = \sqrt{\frac{2(d_1 + \dots + d_{i+1})}{\lambda \cdot d_{i+1}(d_1 + \dots + d_i)}} \cdot He_i \dots \dots \dots (2)$$



付図 14-1 電波研法による多重回折計算モデル

ここで伝搬路と周波数とで決まる各リッジの回折係数を t_i 、伝搬路におけるリッジの位置で決まるパラメータを m_i とすれば、それぞれの値は以下に示す式(3)、(4)より求められる。

⁹ 電波伝ぱん 柿田潔著 昭和 34 年 9 月発行 (社)電気通信学会発行 (株)コロナ社販売

$$t_i = \sqrt{\frac{2(d_1 + \dots + d_{i+1})}{\lambda \cdot d_{i+1}(d_1 + \dots + d_i)}} \cdot H_i \dots\dots\dots (3)$$

$$m_i = \sqrt{\frac{d_{i+1}(d_1 + \dots + d_{i-1})}{d_i(d_1 + \dots + d_{i+1})}} \dots\dots\dots (4)$$

これら t_i, m_i パラメータを用いて式(2)を変形すれば p_i パラメータは以下の式(5)となる。

$$p_i = (1 + m_i^2)t_i - m_{i+1} \cdot t_{i+1} - m_i \cdot t_{i-1} \dots\dots\dots (5)$$

この式を基に n 重回折電界強度は各リッジ回折損失 (dB) の和として計算されることを考慮して、真値表現すれば以下の式(6)で表される。ここで具体的な計算にあたっては、伝搬路条件から $m_1, t_0, m_{n+1}, t_{n+1} = 0$ と考えてよいことを考慮する。

$$P = \frac{1}{(2\pi^2)^{n/2} \prod_{i=1}^n p_i} \dots\dots\dots (6)$$

ここでは例として三重回折の場合の計算式を、式(5)を基に導出する。第1～第3リッジによる p_1, p_2, p_3 は $t_0, t_4, m_1 = 0$ となることを考慮し最終的に以下の式(7)で求められる。

$$\begin{aligned} p_1 &= (1 + m_1^2)t_1 - m_2 \cdot t_2 - m_1 \cdot t_0 = t_1 - m_2 \cdot t_2 = u_0 - m \cdot v_0 \\ p_2 &= (1 + m_2^2)t_2 - m_3 \cdot t_3 - m_2 \cdot t_1 = (1 + m^2)v_0 - n \cdot w_0 - m \cdot u_0 \dots\dots (7) \\ p_3 &= (1 + m_3^2)t_3 - m_4 \cdot t_4 - m_3 \cdot t_2 = (1 + m_3^2)t_3 - m_3 \cdot t_2 = (1 + n^2)w_0 - n \cdot v_0 \end{aligned}$$

ここで三重回折各リッジ間の距離とリッジ高とを $d_1, d_2, d_3, d_4, H_1, H_2, H_3$ とすれば、積分領域を規定する u_0, v_0, w_0, m, n の各パラメータは以下の式(8)となる。

$$\begin{aligned}
 u_0 &= \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}} \cdot H_1, & v_0 &= \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2 + d_3)}{\lambda \cdot (d_1 + d_2) \cdot d_3}} \cdot H_2 \\
 w_0 &= \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2 + d_3 + d_4)}{\lambda \cdot (d_1 + d_2 + d_3) \cdot d_4}} \cdot H_3 & & \dots\dots\dots (8) \\
 n &= \sqrt{\frac{(d_1 + d_2) \cdot d_4}{(d_1 + d_2 + d_3 + d_4) \cdot d_3}}, & m &= \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_3}{(d_1 + d_2 + d_3) \cdot d_2}}
 \end{aligned}$$

これらを基に三重回折電界強度を計算すれば式(7)より以下の式(9)で表される。

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{(\sqrt{2})^3 \pi^3 p_1 p_2 p_3} \\
 &= \frac{1}{(\sqrt{2})^3 \pi^3 (1 + m^2)(1 + n^2) [u_0 - m \cdot v_0] [v_0 - \{(n \cdot w_0 + m \cdot u_0)/(1 + m^2)\}] [w_0 - \{n \cdot v_0/(1 + m^2)\}]} \\
 &\dots\dots\dots (9)
 \end{aligned}$$

用語解説

FSK (Frequency Shift Keying : 周波数偏移変調方式)

デジタル信号の 1、0 を送信するために使用する FM 変調の一種。1 に割り当てられた周波数と 0 に割り当てられた周波数を切りかえて使用する。伝送速度を上げるためには占有帯域幅が広がる特性がある。振幅が一定となるため、電力増幅器の非直線性の影響は少なく、電力利用効率がよい特性がある。

GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying : ガウス型周波数偏移変調)

ガウス型フィルタを使った FSK 変調の一種。変調される前にパルスを整形する。これによりスペクトル帯域幅と帯域外スペクトルを減らし不要輻射を抑える。

GPS (Global Positioning System)

全地球測位システムの略。宇宙空間に配置された GPS 衛星から送られる電波を地上のアンテナで受信して位置を求める測位方法。測量作業の他にカーナビや登山などに利用。

PER (Packet Error Rate)

送信したパケット数に対し、エラーとなり受信できなかったパケット数の割合をパーセンテージで示すもの。受信品質の評価をする一般的手法の一つ。

衛星携帯電話 (イリジウム)

イリジウムとは、宇宙にある人工衛星「イリジウム」66 機を使って通話をすることができる衛星通信の携帯電話サービスである。イリジウムは低軌道衛星と言われ、高度 780km の上空を周回している。

キャリアセンス

自分が送信しようとする周波数やチャネルの利用状況を予め検知して、同一周波数で複数の搬送波を送信しないようにする。利用されている場合には一定時間たってから再度通信を試みる機能である。

コスパス・サーサット

国際的な衛星支援・捜索救助システムである。遭難した船舶、航空機、または陸上移動体に備え付けられた発信機（ビーコン）が発射する遭難警報（アラート）の位置を人工衛星により検出し、それらに関係する最寄りの国等の救助機関等に迅速に配信するための国際的なシステムである。

周波数の許容偏差

発射によって占有する周波数帯の中央の周波数の割当周波数からの許容することができる最大の偏差又は発射の特性周波数の基準周波数からの許容することができる最大の偏差をいい、百万分率又はヘルツで表わす。

周波数偏移 (Frequency Deviation)

周波数変調における周波数変化の幅を示す。周波数変調においては、変調信号に対応して搬送周波数が変化する。変調信号入力がある場合の搬送周波数は、変調信号入力がない無変調時の搬送周波数からずれる。このずれの幅の周波数が周波数偏移である。周波数偏移を変調信号周波数で割った値を変調指数という。

占有周波数帯幅

搬送波を変調することで生じる電波の幅のこと。発射電波に許容される帯幅の値を占有周波数帯幅の許容偏差といい、ヘルツで表わされる。

ハーモニックレーダー

自ら電波を発射して、反射板に電波があたり、高調波として戻ってくる電波を受信し、対象物を検知するレーダーシステムである。

パケット

データの単位で、送信先の所在データなど制御情報を付加した小さなまとまりのこと。

ビーコン

無線局等から発射される電波により位置や各種情報を取得する。標識の位置を他の者に知らせる目的で用いられるものにも、ビーコンが用いられる。

ホイップアンテナ

無指向性であり、どの角度でも電波を受信又は送信することができる棒状のアンテナである。無指向性であることから、指向性アンテナに比べるとノイズを拾いやすいこともある。ワンセグやラジオなどによく使われている。

八木アンテナ

平行線路に長さが約半波長の導体を直角につけ、さらにこれと平行に反射・導波の役をする導体棒をつけて利得及び指向性を向上させたアンテナ。一番後方から、反射器、輻射器、導体棒を並べた構造になっている。

関係法令・参考文献

総務省 審議会答申等

- [1] 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 小電力セキュリティシステム等の高度化に関する技術的条件
- [2] 平成 16 年度 山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関する検討会 総務省北陸総合通信局
- [3] 平成 17 年度 電波を活用した生態位置検知システムに関する調査検討 総務省北陸総合通信局
- [4] 平成 22 年度 猟犬等位置把握・検知用無線システムに関する調査検討会 総務省九州総合通信局

ITU-R 勧告

- [5] Recommendation ITU-R P.1812-3 (09/2013)
A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands

(社) 電波産業会 標準規格等

- [6] ARIB STD-T99 “特定小電力無線局 150MHz 帯動物検知通報システム用無線局の無線設備”
平成 24 年 7 月 3 日 2.0 改定
- [7] ARIB STD-T67 “特定小電力無線局 400MHz 帯及び 1,200MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備”
- [8] ARIB STD-T98 “デジタル簡易無線局の無線設備”
- [9] 一般社団法人電波産業会 規格会議 小電力無線局作業班（平成 24 年 3 月 14 日）

その他

- [10] 平成 24 年度 ニホンザル行動域調査に係る発信器の電波伝播特性調査委託業務
- [11] 電波伝搬ハンドブック, 細矢良雄 監修, 株式会社リアライズ社, 1999.
- [12] アンテナ・無線ハンドブック, 後藤尚久、中川正雄、伊藤精彦他, オーム社, 2006/10
- [13] レジャー白書 2014 ～マイ・レジャー時代の余暇満足度～ 平成 26 年 8 月(財)日本生産性本部編集 生産性出版発行
- [14] 平成 25 年中における山岳遭難の概況 平成 26 年 6 月警察庁生活安全局地域課発表
- [15] 環境省 HP 野生鳥獣による生態系への影響が懸念される地域(ニホンジカ及びイノシシ)
- [16] 平成 25 年度 鳥獣被害対策の現状と課題(農林水産省)
- [17] 平成 24 年度 ニホンザル行動域調査に係る発信器の電波伝播特性調査委託業務
- [18] 平成 25 年度 神奈川県ニホンザル保護管理事業計画