

山岳・雪崩等遭難者電波探索システムのための  
周波数有効利用技術に関する調査検討  
報告書

平成 29 年 3 月

山岳・雪崩等遭難者電波探索システムのための  
周波数有効利用技術に関する調査検討会



## まえがき

近年の山岳・雪崩遭難事案の増加は、国内のみならず海外からの来訪者によるマウンテンスポーツ及びレジャー人口の増加に伴ったものであります。

山岳・雪崩遭難者の救難救助に当たっては、一刻を争うものであり、警察、消防及び自治体等の公の機関をはじめとした多数の捜索関係者により昼夜天候の区別なく長期間にわたって実施されている状況があります。救難救助に必要な経費は、その大半が自治体の負担となっており、限られた予算の中で優先的に対処しているところですが、一層の効率的かつ迅速な対応が常に求められており、国民の安心安全の確保といったニーズに適切に対応する必要が求められているところです。また、救難救助に利用できる探索システムを全ての登山者、スキーヤー等に一律に所持させることは課題が多い状況です。

諸外国では、電源が不要な無線タグを利用した探索システムが利用されており、登山ウェアメーカーから無線タグが装着された登山ウェアが販売されるなど、各種団体等と連携で普及拡大を図る動きがあります。電源が不要で、登山ウェア、ヘルメット、ブーツなどに最初から組み込まれたものを着用することで、他の探索システムの所持を忘れた遭難者の保護に役立つとともに、既存探索システムの補完として有効です。

このような状況から、山岳高原観光資源に恵まれつつも山岳・雪崩遭難事案の対応を迫られている地域において、遭難発生時に、一刻を争う救難救助の円滑かつ迅速化、捜索関係者の二重遭難回避並びに負担軽減を実現するための 900MHz 帯及び 1800MHz 帯の周波数を使用する電波の反射を利用した山岳・雪崩遭難者電波探索システムを利用したいとする要望が出されております。

山岳・雪崩遭難者電波探索システムの実現に向け、周波数配置、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、本調査検討会では、山岳・雪崩遭難者電波探索システム実現のために実証実験と机上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山岳・雪崩遭難者電波探索システムが一日も早く実現されるとともに、多くの利用者に普及し、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長野県白馬クロスカントリー競技場関係者の皆様、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。

山岳・雪崩等遭難者電波探索システムのための  
周波数有効利用技術に関する調査検討会  
座長 笹森 文仁

## 目次

第1章 現状と課題.....	1
1.1 山岳・雪崩遭難の現状.....	1
1.1.1 雪崩発生件数の現状.....	1
1.1.2 雪崩死者数の推移（平成3年～平成27年）.....	2
1.1.3 雪崩死者数の活動別分布（平成3年～平成27年）.....	3
1.1.4 雪崩死者数のレクリエーション別割合（平成3年～平成27年）.....	3
1.2 山岳遭難救助の現状と課題.....	4
1.2.1 山岳遭難救助の現状.....	4
1.2.2 山岳遭難の特徴.....	5
1.2.3 山岳遭難救助の現状と課題.....	6
1.2.4 消防防災ヘリコプターによる救助活動実施状況.....	7
1.2.5 雪崩発生時の捜索.....	9
1.3 登山者の位置や捜索を目的とする無線システム等.....	9
1.3.1 雪崩ビーコン.....	11
1.3.2 プローブ.....	11
1.3.3 携帯電話.....	12
1.3.4 救助犬.....	13
1.4 まとめ.....	13
第2章 電探システムの概要.....	14
2.1 システム概要.....	14
2.2 利用シーン.....	15
2.3 導入事例・捜索事例.....	15
2.4 海外利用におけるライセンス.....	16
2.5 システムの普及見込み.....	16
2.6 検討内容.....	17
第3章 実証実験.....	18
3.1 屋内実証実験（電波暗室試験）.....	18
3.1.1 概要.....	18
3.1.2 試験装置.....	19
3.1.3 リフレクターの電気的特性.....	20
3.1.4 ディテクターの電気的特性.....	28
3.1.5 屋内実証実験のまとめ.....	34
3.2 屋外実証実験（雪氷環境外）.....	35

3.2.1 概要 .....	35
3.2.2 試験装置 .....	36
3.2.3 ディテクターの伝搬特性.....	36
3.2.4 リフレクターの応答距離特性 .....	39
3.2.5 試作機を用いたリフレクターの応答距離特性.....	43
3.2.6 屋外実証実験（雪氷環境外）のまとめ.....	45
3.3 屋外実証実験（雪氷環境） .....	46
3.3.1 概要 .....	46
3.3.2 ディテクターの伝搬距離特性 .....	46
3.3.3 リフレクターの応答距離特性 .....	49
3.3.4 雪埋設による減衰.....	53
3.3.5 屋外実証実験（雪氷環境）のまとめ .....	56
第4章 共用検討.....	57
4.1 共用検討の概要 .....	57
4.1.1 共用検討の流れ .....	57
4.2 検討に用いる手法.....	57
4.3 共用検討条件 .....	61
4.3.1 検討周波数.....	61
4.3.2 対象システム.....	61
4.3.3 共用検討における利用シーン .....	63
4.3.4 共用検討のモデル化.....	63
4.4 共用検討結果 .....	65
4.4.1 895MHz の共用検討結果.....	65
4.4.2 919.2MHz の共用検討結果.....	66
4.4.3 928.5MHz の共用検討結果.....	68
4.4.4 941.5MHz の共用検討結果.....	69
4.4.5 1790MHz の共用検討結果.....	71
4.4.6 1838.4MHz の共用検討結果.....	71
4.4.7 1857MHz の共用検討結果.....	72
4.4.8 1883MHz の共用検討結果.....	73
4.4.9 電探システムの被干渉の影響 .....	74
4.5 まとめ.....	76
第5章 システム検討 .....	86
5.1 周波数帯 .....	86
5.2 空中線電力.....	88
5.3 空中線利得.....	90

5.4 スプリアス.....	91
5.5 占有周波数帯幅.....	91
5.6 電波防護指針.....	91
5.7 その他.....	92
第6章 提言.....	94
6.1 技術的条件.....	94
6.1.1 一般条件.....	94
6.1.2 送信設備.....	94
6.1.3 受信設備.....	96
6.1.4 空中線等.....	96
6.1.5 その他.....	97
6.1.6 今後の検討課題.....	97

## 第1章 現状と課題

登山ブームや外国人観光客の増加に伴い、近年山岳・雪崩遭難案件数は増加している。山岳・雪崩遭難者の救難救助は一刻を争うものであり、警察、消防及び自治体等を始めとした多数の捜索関係者により、昼夜天候の区別なく過酷な状況において実施されている状況であり、効率的かつ迅速な対応が常に求められている。

山岳・雪崩遭難者の救難救助に必要な経費については、その大半が自治体の負担となっており、限られた予算の中で対処している状況である。また、救難救助に利用できる探索システムを全ての登山者、スキーヤー等に一律に所持させることは課題が多い。

諸外国では、無線タグを利用した探索システム（以下、「電探システム」と言う）が利用されており、登山ウェアメーカーから無線タグが装着された登山ウェアが販売されるなど、各種団体等と連携で普及拡大を図る動きがある。電探システムは電源が不要で、登山ウェア、ヘルメット、ブーツなどに最初から組み込まれているという特徴を持っており、その利用を求める声があがっている。

電探システムは電波の反射を利用した、山岳・雪崩遭難者の探索用無線装置として、900MHz 帯及び 1800MHz 帯の周波数を活用している。当該周波数帯を他のシステムと共用を図りつつ実現するための検討・実証試験を行い、得られた結果を基に、技術的条件等の策定に向けた提言等を取りまとめる。検討の流れは図 1-1 のとおりである。

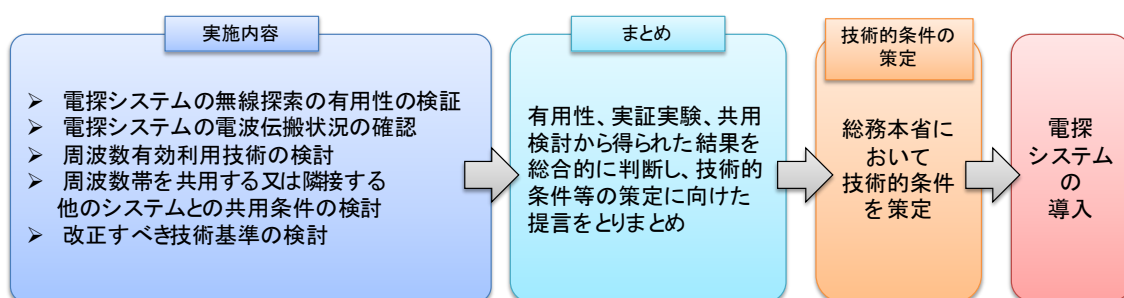


図 1-1 検討の流れ

### 1.1 山岳・雪崩遭難の現状

#### 1.1.1 雪崩発生件数の現状

雪崩とは、斜面に積もった雪が、重力の作用により下方に滑り落ちる現象で、雪崩には厳冬期に多く起きる表層雪崩と春先に多く起きる全層雪崩がある。特に表層雪崩は、速度が速く破壊力が強大で被害範囲も広がる。

我が国では、国土の半分以上が豪雪地帯に指定されており、豪雪地域には日本全国の人口の 2 割近くにあたる人々が生活を営んでいる。また、集落を対象とした雪崩の危険箇所（人家 5 戸以上等）は、全国に 20,501 箇所あり、こうした危険箇所に対して雪崩対策事業が行われている。

我が国における雪崩災害では、地域住民だけでなく、冬山登山やスキー、観光などで豪

雪地帯を訪れる国内外の多くの人々が被害に遭っている。雪崩災害は1～3月を中心に発生しており、死者・行方不明者を伴う被害も発生している。全国の雪崩発生件数と死者・行方不明者数は図 1-2 のとおりであり、雪崩災害は、集落や山間の道路のほか、スキー場や山岳観光地といった様々な場所で発生している。

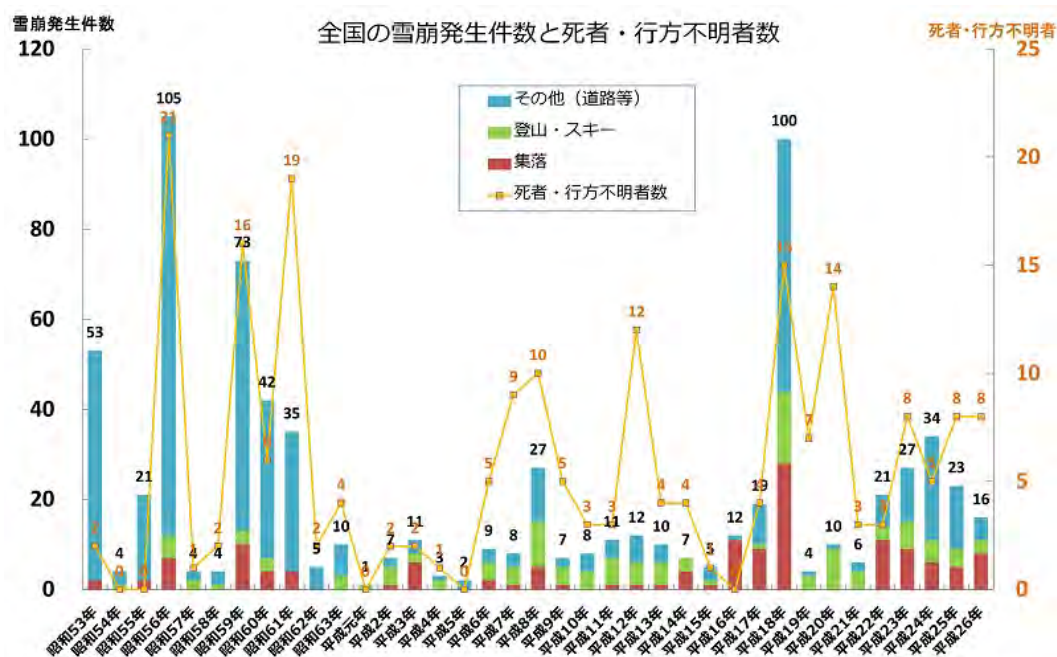


図 1-2 全国の雪崩発生件数と死者・行方不明者数<sup>1</sup>

### 1.1.2 雪崩死者数の推移（平成3年～平成27年）

雪崩死者数の推移は図 1-3 のとおりで、平成3年（1991年）～平成27年（2015年）の間における雪崩発生件数は135件、死者数221件となっており、年平均で雪崩発生件数は5件、死者数は9人となっている。

暖冬のシーズンは死者が少なく、豪雪のシーズンは里での事故（道路や住居）が増える傾向がある。また、死者数が多いシーズンは、複数人が亡くなる大きな事故が複数発生していることが報告されている。図の棒グラフの色分けは活動種別（レクリエーション／産業／その他）を示しており、多くの年でレクリエーション中の雪崩死者数が多い。

<sup>1</sup>参照：国土交通省ホームページ <http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/nadare.html>（平成27年6月9日）



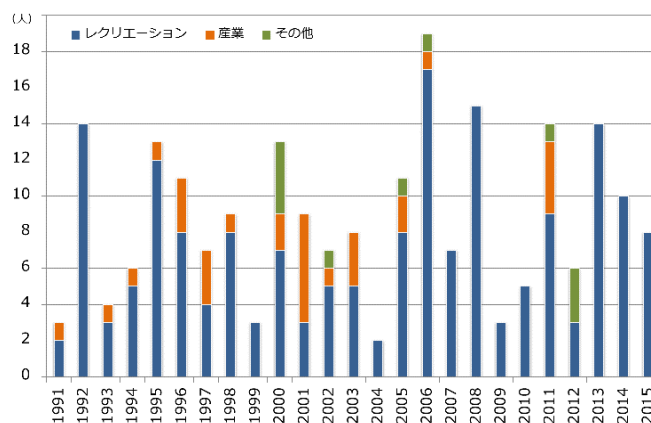


図 1-3 雪崩死者数の推移<sup>2</sup>

### 1.1.3 雪崩死者数の活動別分布（平成3年～平成27年）

雪崩死者数の活動別分布は図 1-4 のとおりである。死者数全体の 8 割を「レクリエーション」が占めているが、欧米と比較すると、日本では「産業」及び「その他」での死者数が比較的多い。

近年、外国人観光客が増加しており、また、マウンテンスポーツ及びレジャー人口も増加傾向であることから、今後、雪崩死者数が増加していく可能性がある。

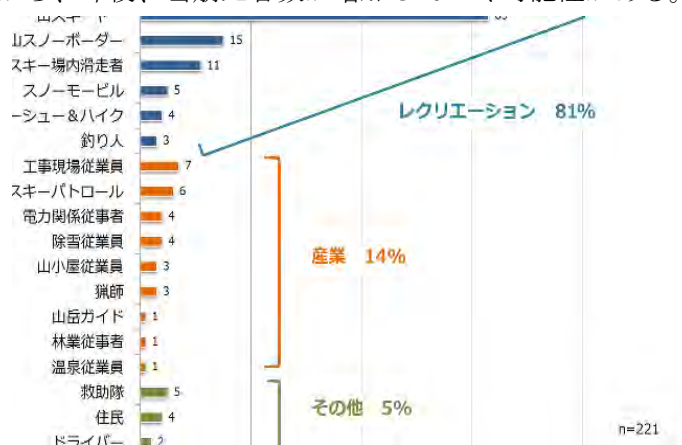


図 1-4 活動別の雪崩死者数<sup>2</sup>

### 1.1.4 雪崩死者数のレクリエーション別割合（平成3年～平成27年）

雪崩死者数のレクリエーション別の割合は図 1-5 のとおりである。死亡事故の 94%が山間地で発生したものであり、そのうち最も割合が大きいものが登山中の死亡で、4 割以上を占める。

<sup>2</sup> データ提供：特定非営利活動法人 日本雪崩ネットワーク

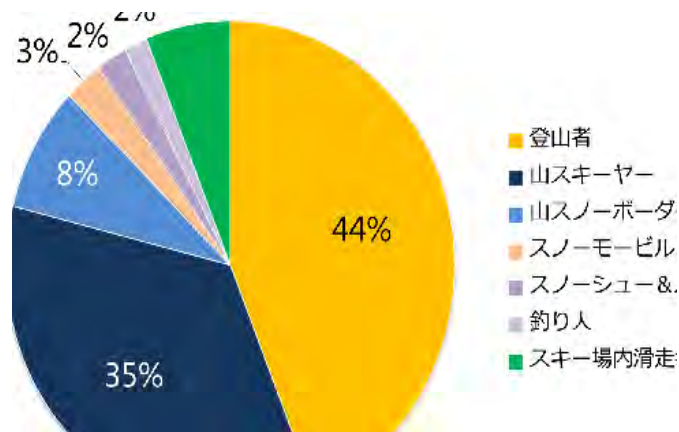


図 1-5 雪崩死者数のレクリエーション別の割合<sup>2</sup>

## 1.2 山岳遭難救助の現状と課題

### 1.2.1 山岳遭難救助の現状

山岳遭難救助における遭難件数の概況は表 1-1 及び図 1-6 のとおりである。平成 27 年中の山岳遭難件数は、2,508 件となり前年比 215 件増、遭難者は 3,043 人となり前年比 249 人増であった。遭難者のうち、死者・行方不明者は 335 人（前年比 24 人増）、負傷者は 1,151 人（前年比 110 人増）、無事救助者は 1,557 人（前年比 115 人増）であり、発生件数、遭難者、死者・行方不明者は、統計の残る昭和 36 年以降で最も高い数値となった。

過去 10 年間、山岳遭難件数は毎年増加しており、平成 18 年と比較して発生件数は 1,091 件の増加（77.0%増）、遭難者は 1,190 人の増加（64.2%増）、死者・行方不明者は 57 人の増加（20.5%増）となっている。

表 1-1 山岳遭難件数の概況<sup>3</sup>

項目	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27
発生件数（件）	1,417	1,484	1,631	1,676	1,942	1,830	1,988	2,172	2,293	2,508
遭難者数（人）	1,853	1,808	1,933	2,085	2,396	2,204	2,465	2,713	2,794	3,043
死者・不明者（人）	278	259	281	317	294	275	284	320	311	335

<sup>3</sup> 「平成 27 年度における山岳遭難の概況」警察庁生活安全局地域課

[https://www.npa.go.jp/safetylife/chiiki/h27\\_sangakusouan.pdf](https://www.npa.go.jp/safetylife/chiiki/h27_sangakusouan.pdf)

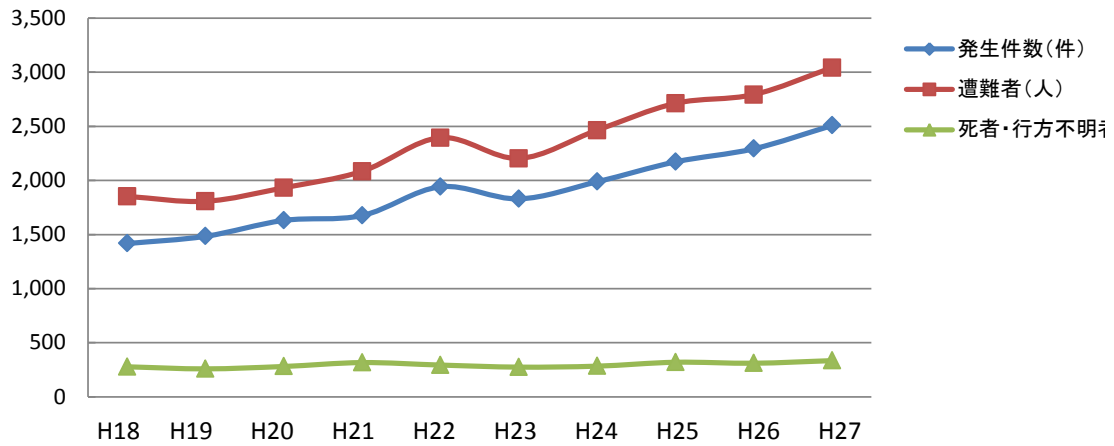


図 1-6 山岳遭難件数の概況

### 1.2.2 山岳遭難の特徴

#### (1) 目的別

平成 27 年の山岳遭難者の目的別の割合は図 1-7 のとおりであり、登山（ハイキング、スキー登山、沢登り、岩登りを含む）が 75.0%と最も多く、次いで山菜・茸採りが 12.8%を占めている。

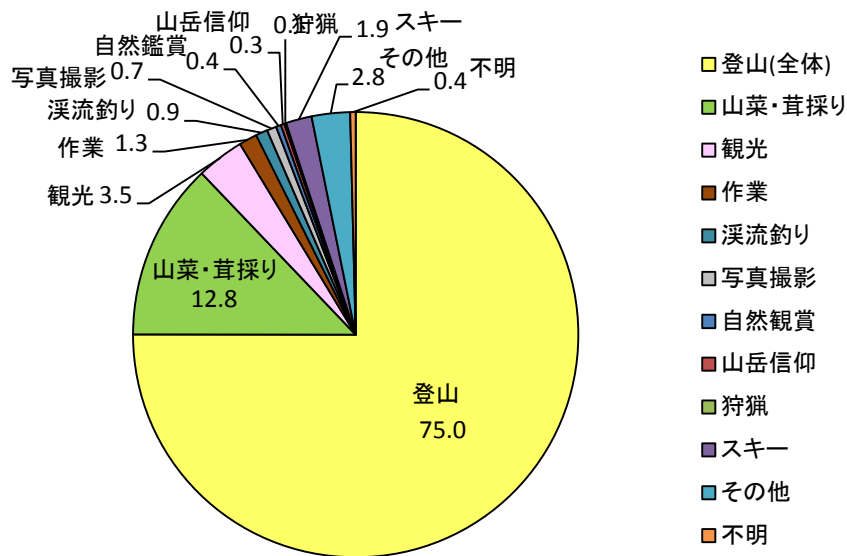


図 1-7 山岳遭難者の目的別の割合

#### (2) 態様別

平成 27 年の山岳遭難者の態様別の割合は図 1-8 のとおりであり、道迷いが 39.5%と最も多く、次いで滑落が 16.5%、転倒が 15.3%と続いている。

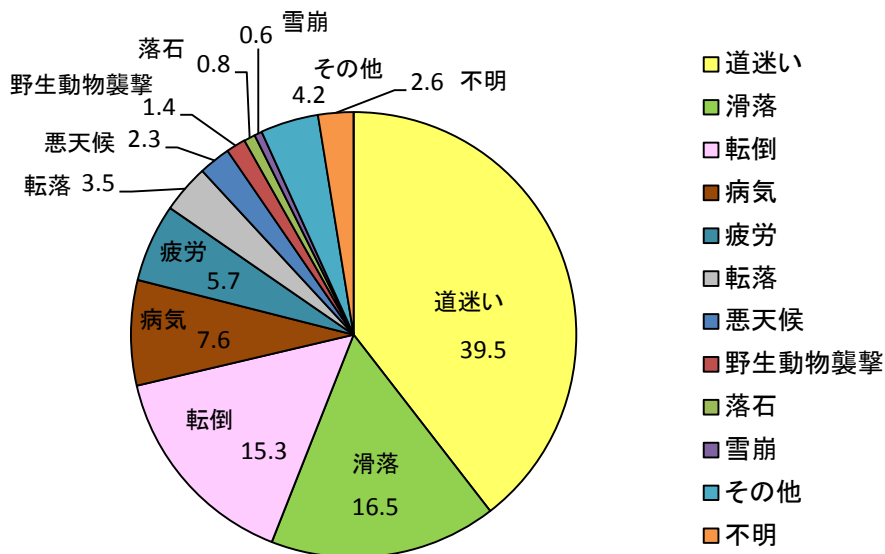


図 1-8 山岳遭難者の態様別の割合

### 1.2.3 山岳遭難救助の現状と課題

#### (1) 遭難事故発生から救助支援まで

通常、登山者は自らの登山計画に基づいて登山計画書を作成し、提出する。遭難事故に遭遇した場合に、どのようにして遭難者（又は関係者）と救助機関との関わりが作られて行くかを整理した概念図が図 1-9 である。

遭難が発生した現場から、登山者自らあるいは仲間等により救助機関への救助要請が出される場合と、下山予定日を過ぎても行方の確認が出来なかったことを契機に、家族等から救助機関に救助要請する流れを示している。

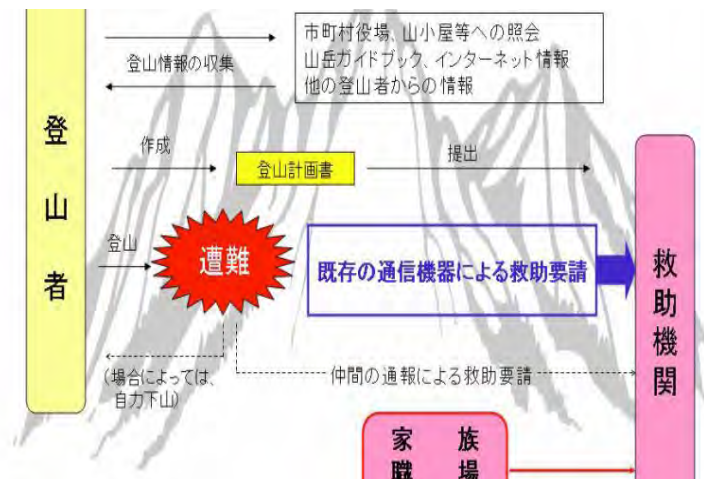


図 1-9 遭難時の救助要請の流れ概念図

## (2) 捜索・救助活動

山岳遭難者に対する捜索・救助活動は、遭難等の事故発生の情報を受けた警察、消防の組織を中核として構成される対策本部がこれに当たることとなり、一般的には、機動性の高いヘリコプター等（以下単にヘリコプターと記述）からの目視による捜索活動が最初に行われる。

同時に公的機関に要請のほか山岳協会等に私的に要請を行い、連携して捜索・救助活動を地上から行い、上空からの捜索で地域が特定できていればピンポイントで、これがかなわない事態では面的な捜索・救助活動を展開することとなる。

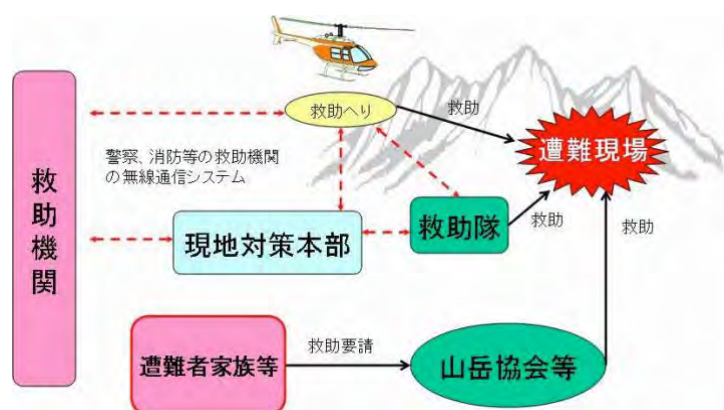


図 1-10 山岳遭難者の捜索・救助活動のイメージ

## (3) 課題

ヘリコプターにより上空から目視による捜索を実施したとしても、遭難している場所の特定には時間を要し、さらには莫大な費用を要する。

また、これらの救助・救援活動においては、常に二次遭難・二次災害の危険性を孕んでいる一方で、遭難者の救助・救援活動は迅速かつ確に行う必要があり、その二面性を如何に克服するかが関係者の長年の課題とされてきた。とりわけ、事態発生から救助までの絶対時間が存命率にかかる重要な要素となる積雪期においては、遭難者の早期の位置特定が大きな課題となっている。

### 1.2.4 消防防災ヘリコプターによる救助活動実施状況

#### (1) 救助出動件数及び救助人員

消防機関の行う救急業務、救助業務及び都道府県の行う消防防災ヘリコプターによる消防活動に関する実施状況について、総務省消防庁の救急救助の現状によれば、平成 27 年中の消防防災ヘリコプターの救助出動件数は、図 1-11 に示すように、2,290 件（対前年比 162 件増、7.6%増）、救助人員は 1,644 人（対前年比 371 人増、29.1%増）となっている。平成 27 年中の消防防災ヘリコプターの救助出動状況を事故種別ごとにみると、

最も多いのは、山岳救助の 1,345 件で全体の 58.7%を占めている。また、救助人員数で比較すると、図 1-12 に示すように、山岳救助が、1,085 人で全体の 66.0%となっている。

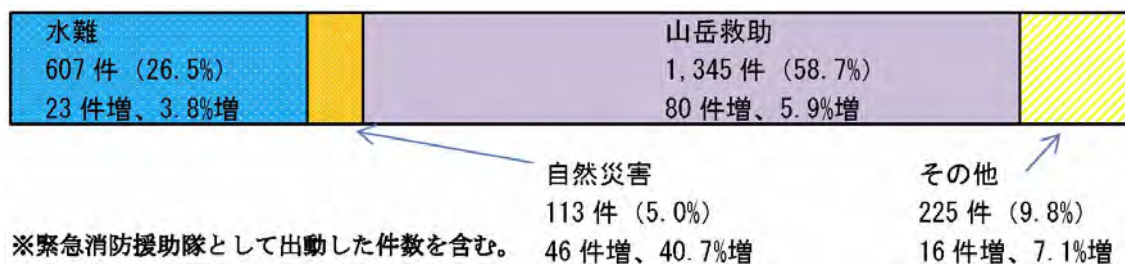


図 1-11 平成 27 年中の消防防災ヘリコプターの救助出動件数<sup>4</sup>

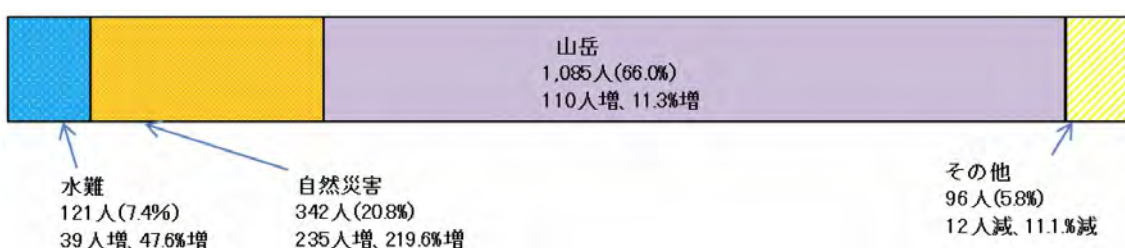


図 1-12 平成 27 年中の消防防災ヘリコプターの救助人員数（救助人員数 1,644 人）<sup>4</sup>

## (2) 二次災害

山岳における救助活動においては、前項で示したとおり、ヘリコプターによる救助出動件数が多くなっている。しかし、これまでの救助活動において、ヘリコプターによる救助活動中に、ヘリコプターが墜落するなどの二次災害が発生している。以下は、近年発生した遭難救助中の二次災害で、いずれも標高 1,000m を超える山岳地帯において、ホバリングによる救助を実施中に発生した事案として報告<sup>5</sup>がされている。

- ・ 平成 21 年 9 月 11 日、岐阜県防災航空隊のヘリコプターが 山中で救助活動中に墜落し、3 名が死亡する事故
- ・ 平成 22 年 7 月 25 日、埼玉県防災航空隊のヘリコプターが 山中で救助活動中に墜落し、5 名が死亡する事故

<sup>4</sup> 「平成 28 年版 救急救助の現況」総務省消防庁

<sup>5</sup> 「消防防災ヘリコプターによる山岳救助のあり方に関する検討会報告書」平成 24 年 3 月 総務省消防庁



### 1.2.5 雪崩発生時の捜索

雪崩が発生し、遭難者が雪に埋もれてしまった場合、15分以内に救助できないと生存の可能性が大幅に薄れてしまうといわれている。図 1-13 は埋没時間と生存率の関係である。

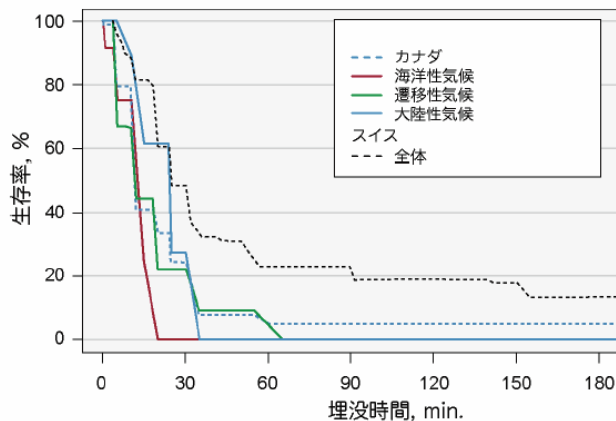


図 1-13 埋没時間と生存率<sup>6</sup>

国内において、雪崩に巻き込まれた遭難者を捜索する手段として、雪崩ビーコンやプローブと呼ばれる長い棒を使ったものが一般的である。最近ではスマートフォンのアプリケーションによる捜索や雪崩救助犬等が配置されている施設もある。これらの手段の概要は、次項のとおりである。

### 1.3 登山者の位置や捜索を目的とする無線システム等

遭難時の無線の活用については、救助要請を行う連絡用の他に、電波の発射源を探索して登山者の位置を特定するものや、GPSを利用して登山者の位置を特定するものがある。

登山者等の位置を検知できるシステムの種類とその特徴一は表 1-2 のとおりである。位置を検知するシステムは、様々な測位方式、周波数を使用したものが国内外で開発・販売されている。平成 16 年度に開催された「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）では、雪崩ビーコン、山岳遭難者探索ビーコンシステム（通称：ヤマタン）が紹介されている。また、平成 26 年度に開催された「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」（総務省北陸総合通信局主催）では、150MHz 帯を利用した登山者位置検知システムが検討されている。

<sup>6</sup> P. Hageali, M. Falk, H. Brugger, H.-J. Etter, J. Boyd, Comparison of avalanche survival patterns in Canada and Switzerland, *Canad. Med. Assoc. J.*, 183(7):789—795, 2011.

表 1-2 登山者等の位置検索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
登山者等の位置検知システム		特定小電力無線局 (150MHz)	①登山者の位置把握 ②数百 m～見通しで数 km の範囲の探索 ③双方向通信 (位置情報送信要求)
HITOCOCO		特定小電力無線局 (920MHz 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)
BEBoor		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・サーサット衛星	コスパス・サーサット衛星	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
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 ②数十 m ③探知機と反射器の組合せ、反射器は電源不要、要無線従事者免許



### 1.3.1 雪崩ビーコン

雪崩ビーコンは雪崩等に巻き込まれた遭難者の捜索に特化した装置である。当該装置は遭難者と捜索関係者の双方が所持する。

雪崩ビーコンは電波送信モードと電波受信モードがあり、入山時には電波送信モードにし、登山グループの誰かが雪崩に巻き込まれた場合には、残りの人は雪崩ビーコンを電波受信モードに切り替え、遭難者の雪崩ビーコンから発信される電波を受信して位置を特定する。雪崩ビーコンによる位置特定後、プローブを利用して遭難者のさらに正確な位置を探す場合もある。雪崩ビーコンはセルフレスキューで威力を発揮し、その場で直ちに捜索活動を開始することができる。雪崩ビーコンを正しく装着し、かつ正常に機能していれば、発見される可能性が高い。なお、雪崩ビーコンから発信される周波数は 457kHz と世界的に統一されている。

雪崩ビーコンは、バックカントリースキーヤーには普及率が高いが、これは、滑走者が雪崩の発生しやすい地形に好んで入るため、危機意識が高い事が要因と考えられる。また、日本山岳協会等が使用を推奨しており、捜索に有効なシステムである一方で、危険な冬山でも山岳者全員が雪崩ビーコンを必ずしも持参しておらず、普及に向けた課題が残されている。仮に有効性を認識していても、確率の低い雪崩遭難事故のために、数万円のシステムを所持しなければならないことや、登山者は重量 250g 程度であっても重く煩わしく思い嫌う傾向がある。また、電源スイッチの入れ忘れや、電池の消耗を抑えるために、山中で電源を切ってしまう利用者もいると言われている。

### 1.3.2 プローブ

プローブは長さ 40~50cm 程度の棒がワイヤーなどでつながっており、使用時には一本の長い棒に組み立てるものである。雪面にプローブを刺し、遭難者の位置を特定する。短すぎると十分な捜索活動が出来ず、径が細すぎると硬い雪にさすことが困難となる。雪崩による埋設深度が 2m 以下で適切な救助活動を行えば救出できる可能性が高いことから、最低でも 2m 以上が望ましい。捜索現場の状況により、雪面を刺す間隔が荒いスラロームプロービングや間隔が狭い密なスポットプロービングなどが実施されている。

スラロームプロービングは図 1-15 のとおりである。救助者が約 150cm 間隔で並び、横移動と前移動を 50cm 間隔で繰り返してプローブを雪面に刺して遭難者を探す方法であり、速さを重要視したものである。一方、遭難者が埋もれている可能性が高い場所では 25cm 間隔で螺旋を描きながら捜索するスパイラルプロービング等が利用される。

しかしながら、捜索範囲が広範囲となる場合にはプローブだけの捜索で遭難者を発見することは困難となる。



図 1-14 搜索活動<sup>7</sup>

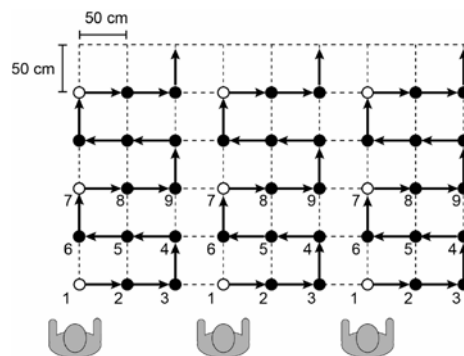


図 1-15 スラロームプロービング

### 1.3.3 携帯電話

スマートフォン用に様々なレスキューアプリケーションが提供されており、そのアプリケーションの多くは、災害発生時にスマートフォンの位置情報を送信し、その位置情報を他の端末で閲覧するというものである。周波数特性により異なるが、2m 程度の埋設であれば基地局と通信できる可能性がある。スマートフォンは、バッテリー時間が限られている上、雪中の位置特定を目的には設計されていないが、普及率が高いことから、状況によっては十分に活用できる可能性がある。

なお、北海道総合通信局において、スマートフォンを利用し、雪に埋もれた遭難者などの位置を特定する方策を検討する「携帯・スマホ等を活用した遭難者の位置特定に関する調査検討会」を平成 28 年度に開催している。

<sup>7</sup> 出典：倶知安駐屯地公式ウェブサイト

([http://www.mod.go.jp/gsdf/nae/11d/jgsdf-post/images/kucyan/katudou-tiiki/saigai/saaha\\_1.html](http://www.mod.go.jp/gsdf/nae/11d/jgsdf-post/images/kucyan/katudou-tiiki/saigai/saaha_1.html))

#### 1.3.4 救助犬

ヨーロッパや北米では、雪崩発生現場に雪崩救助犬が優先的に投入されている。例えば、カナダのスキー場には複数の雪崩救助犬が配備され、多いところでは 8 頭が配備されている。国内では、柵池や妙高等のスキー場で配備されているほか、北海道に 7 頭いるものの、雪崩発生現場への投入実績は低くなっている。

#### 1.4 まとめ

以上のように、捜索のための機器や手法は多く存在しているが、軽量で低価格な広範囲の捜索を可能とする装置があれば、普及する可能性は高いものと考えられる。特に登山者にとってみれば、軽量で電池不要な安価なものが望まれる。この要望を満たす装置の 1 つとして、海外で利用実績のある電波の反射を利用した山岳・雪崩等遭難者の捜索システム（電探システム）があり、本検討会では、このシステムの有用性などについて検討を行う。なお、雪崩等による遭難者を捜索する方法は一つあれば十分ということではなく、既にある装置等を合わせて活用することで救助の可能性が高くなると考えられる。

## 第2章 電探システムの概要

電探システムの概要及び利用シーン等は以下のとおりである。

### 2.1 システム概要

電探システムの利用イメージは図 2-1 のとおりであり、検索関係者が所持する探知用の送受信機（以下、「ディテクター」という。）と、遭難者が装着する反射器（以下、「リフレクター」という。）から構成され、ディテクターから送信された電波をリフレクターが反射し、その反射された電波をディテクターで受信してリフレクターの位置を特定するものである。

ディテクターから送信された電波を、リフレクターに搭載されたショットキーダイオードの非直線性（整流作用）による高周波発生の原理で 2 倍の周波数を反射する仕組みであり、送信した電波と反射された電波との切り分けが容易にできることから、システム設計を容易に行うことができる。

また、ディテクターが振幅変調した電波を送信し、その信号を変調したままリフレクターが反射し、ディテクターはその信号を受信・復調し、スピーカより音として鳴らす。振幅変調を単純に復調するものであることから受信機の仕組みは簡単であり、内部は AM ラジオと同様の回路構造である。

検索者がディテクターの音の強弱を聞き分け、リフレクターの方向、位置を特定し、遭難者を探知する。

リフレクターは銅のアンテナとショットキーダイオードが付いた小さな電子回路であり、動作するための電源が必要なく、アウターウェア、スキー、スノーボードブーツ、防護ギアやヘルメットなどに装着することが可能となっている。

ディテクターとリフレクターの間に人体が存在すると信号が減衰されるため、一人が複数のリフレクターを装着することが推奨されている。



図 2-1 電探システムのイメージ

## 2.2 利用シーン

電探システムの利用シーンは図 2-2 のとおりである。リフレクターは、登山者やスキーヤーが普段身に着けている登山用リュックやスキーウェアに装着される。リフレクターは気にならないほどの小型・軽量であり、電源も不要である。雪崩や遭難発生時においては、捜索関係者が所有するディテクターを使用して、雪に埋もれた遭難者を捜索する。

ディテクターから送信された電波をリフレクターが 2 倍の反射波を返すことで位置を知ることが可能となり、プローブ（ゾンデ棒）のみの捜索に比べ迅速な対応が可能となる。



図 2-2 電探システムの利用シーン

## 2.3 導入事例・捜索実例

現在、世界のスキーリゾート施設等の 800 以上の施設においてディテクターが装備され、雪崩等により遭難した人の捜索に使用された実績<sup>8</sup>がある。日本では、特定非営利活動法 ACT 等による社会実験が平成 27 年夏より開始され、ディテクターが配備されている。

海外における捜索実例は以下のとおりである。

- ・ 2006 年 1 月 30 日、スイスで単独滑走路外スノーボーダーが雪に埋まったが、ヘリコプターでの電探システムの使用により場所が特定された。
- ・ 2006 年 1 月 30 日、フランスで単独滑走路外スノーボーダーが雪に埋まったが、電探システムの使用により生存のまま発見された。
- ・ 2006 年 2 月 20 日、フランスで単独滑走路外スキーヤーが雪崩に埋まったが、警察山岳救助隊が電探システムのディテクターを使い 15 分後に遭難者を発見した。
- ・ 2006 年 2 月 20 日、フランスで単独滑走路外スキーヤーが雪崩に押し流され雪に埋められたが、スキーパトロールが電探システムを使用し 10 分以内に遭難者位置を確認した。

<sup>8</sup> RECCO AB 社

- ・ 2012年、アメリカでスキーヤーが雪に埋まったが、電探システムを使用し発見された。
- ・ 2012年、オーストリアでスキーヤーが雪に埋まったが、電探システムを使用し発見された。
- ・ 2014年1月、イタリアの南チロルで14歳の少年が雪崩に埋まったが、電探システムを使用し発見された。
- ・ 2014年3月、オーストリアでスキーヤーが雪崩に埋まったが、電探システムを使用し発見された。

## 2.4 海外利用におけるライセンス

海外における電探システムは、他の機器への干渉を与えないことと公共サービス（public safety）の提供、公共の利益の損益（public interest）に基づきライセンス不要で利用されている。

欧州連合（European Union：EU）加盟国の全てで同じガイドラインに従って利用されている。EU加盟国内での利用に際しては、CEマーク（EC指令の必須要求事項に適合していることを示すマーク）を装置に付ける必要がある。一方で、特定の周波数で送信することを許可されているが、その特定の周波数に排他的権利が与えられているわけではない。また、電探システムの受信周波数が妨害を受けない保証を担保しているわけでもない。その他、パッシブ型のリフレクターは特別な承認やライセンスは不要となっている。

連邦通信委員会<sup>9</sup>（Federal Communications Commission：FCC）においては、公共の利益になること、独特又は珍しい状況に対して規則の適用は不公平かつ過度な負担となること、限定された使用が干渉の可能性を大幅に低くしていること、既に欧州、米国で使用されているタグと互換性があり公共の利益になることなどと合わせ、以下の条件下で雪崩救助システムの使用を認めている。

- ・ スキー場やその他の雪崩の可能性が高い地域に限定して使用
- ・ 生命の安全に対する脅威を伴う実際の緊急事態及びその様な業務に関連する必要な訓練に限定して使用
- ・ 雪崩救助システムは、政府の無線測位、ISM、LMS、およびアマチュア業務への干渉を引き起こさず、干渉を許容しなければならない。
- ・ ディテクターとリフレクターの機器認証を取得すること
- ・ 使用には個別の委員会の承認が必要

## 2.5 システムの普及見込み

リフレクターは、世界のアパレル大手メーカー、スキー・スノーボード用のヘルメットな

---

<sup>9</sup> FCC DA 15-1457, Waiver of LMS Rules for RECCO Avalanche Rescue System Granted in Part, Dec 18, 2015

どの製品に装着した状態で販売されている。主に TNF、Patagonia、Arc'teryx、Mountain Hardwear、Helly Hansen、Peak Performance のメーカーの製品として日本国内に輸入・販売されている。

国内に存在するリフレクターの総数を把握することは困難であるが、毎年、10万～30万個のリフレクター付きの製品が輸入されていると推測される。これに加え、登山、スキーで日本を訪れる外国人観光客がリフレクター付のウェアを着用している可能性がある。今後、ウェア等の製品にリフレクターの採用が増えると、総数は増えていくものと予想される。

## 2.6 検討内容

電探システムについての検討内容を以下に示す。

### (1) 電探システムによる無線探査の有用性の検証

電探システムによる無線探査の有用性について検証を行う。検証は、電波暗室、屋外見通し環境、常緑樹林環境、雪氷環境及び火山灰質等の実環境で確認を行う。

### (2) 電探システムの電波伝搬状況の確認

各実環境において電波伝搬試験を行う。

### (3) 周波数有効利用技術の検討

所要受信感度の確認を行うとともに、占有周波数帯幅の抑制技術の検討を行う。

### (4) 周波数帯を共用する又は隣接する他のシステムとの共用条件の検討

同一周波数帯を使用する同一システム同士、同一周波数帯を使用する他の無線システム、隣接する周波数帯を使用する携帯電話等の他の無線システムについて共用条件の検討を行う。

### (5) 改正の必要性を検討すべき技術基準

- ・ 電波法施行規則（昭和 25 年 11 月 30 日電波監理委員会規則第 14 号）適用条項の検討と追加・改正内容の検討
- ・ 無線設備規則（昭和 25 年 11 月 30 日電波監理委員会規則第 18 号）適用条項の検討と追加・改正内容の検討
- ・ 特定無線設備の技術基準適合証明等に関する規則（昭和 56 年 11 月 21 日郵政省令第 37 号）適用条項の検討と追加・改正内容の検討
- ・ 電波法関係審査基準（平成 13 年 1 月 6 日総務省訓令第 67 号）無線局の免許等に係る審査基準、識別信号の指定基準、地域周波数利用計画策定基準一覧表に係る改正

### 第3章 実証実験

電探システムは既に EU、アメリカで利用が認められている。リフレクターは既に世界のスポーツウェアメーカーの製品に装着されており、日本国内でも通信販売等を利用することでリフレクター付きのスキーウェア等を購入することが可能である。そのため、リフレクターの電気的特性の測定については、欧州、米国で使用されているものと同一のものを使用する。一方、ディテクターについては、欧州と米国でも異なる周波数のものが使用されており、統一仕様のものはない。また、今後、国内無線機器製造メーカーによる製品開発の可能性も予想されるため、実証試験は、現在各国で使用されている周波数ごとの各ディテクター及び本実験のために用意した試作機を用いて行う。

実証実験は、基礎的な電気的特性を測定する屋内実証実験と、実環境での特性を測定する屋外実証実験の二つの環境で実施する。

得られた測定データは、共用検討のパラメータや、技術基準策定に向けた検討に利用する。

#### 3.1 屋内実証実験（電波暗室試験）

##### 3.1.1 概要

電探システムのディテクター及びリフレクターの電気的特性の測定については、外来波の影響を受けない電波暗室で実施する。リフレクターの反射周波数の範囲や反射電力の強度などを把握するとともに、ディテクターの周波数や空中線電力の実測値などの測定データを取得し、結果をまとめる。

屋内実証実験を実施した期間と場所は表 3-1 のとおりである。また、屋内実証実験の様子は図 3-1 のとおりで、電波暗室の幅と高さに余裕は十分にあり、壁・床面に電波吸収体を敷設した環境となっている。なお、屋内実証実験で使用した測定装置は付属資料 5 のとおりである。

表 3-1 屋内実証実験の実施概要

項目	内容
実施期間	平成 28 年 9 月 5 日（月）～9 月 9 日（金）、9 月 17 日（土）
実施場所	株式会社 富士通ゼネラルイーエムシー研究所 第 I 電波暗室（10m 法電波暗室） 神奈川県川崎市高津区末長 3 丁目 3 番 17 号



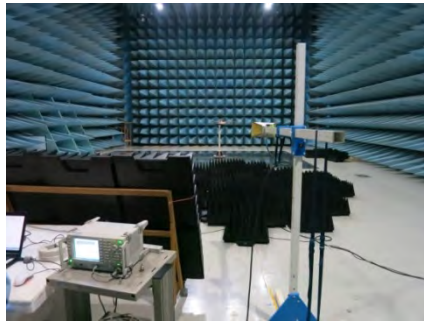


図 3-1 屋内実証実験の様子

### 3.1.2 試験装置

屋内実証実験で使用したディテクター及びリフレクターの諸元は表 3-2 のとおりである。ディテクターは全部で 4 台、リフレクターは全部で 5 個用意した。試験装置の外観は図 3-2 のとおりである。また、4 台のディテクターのうち 928.5MHz の 1 台については背面に空中線入力端子を所有しており、有線接続による測定が可能となっている。

表 3-2 試験装置の諸元

項目	ディテクター	リフレクター
送信周波数	868MHz,902.5MHz,928.5MHz	受信周波数の 2 倍
アンテナ	Integrated Yagi (送信) / 平面アンテナ (受信)	—
アンテナ利得	9dBi (送信) / 6dBi (受信)	—
変調方式	振幅変調	—
送信 Duty 比	20% (20msec 送信,80msec 休止)	ディテクターと同様
空中線電力	4W	—
占有周波数帯幅	50kHz 以下 (15kHz 以下@928.5MHz)	—
受信感度	-135dBm (アンテナ受信) ※100% 1.2kHz AM @1857MHz SN10dB 以上	—
サイズ	2600×1900×2100 (mm)	50×10×6 (mm)
重量	約 900g	約 4g
周波数安定	-30℃ to 50℃	—
台数	868MHz×1 台 902.5MHz×1 台 928.5MHz×2 台 (うち 1 台は有線接続可)	5 台 ※No.1~No.5



(a) ディテクター



(b) リフレクター

図 3-2 試験装置外観



図 3-3 ディテクター背面の端子

### 3.1.3 リフレクターの電気的特性

リフレクターから送信される信号（以下、「応答信号」という。）の電気的特性等について測定を実施した。測定項目毎の結果は以下のとおりである。

#### 3.1.3.1 占有周波数帯幅

リフレクターへの入力信号に対して応答信号が発生するか確認を行うとともに、応答信号の占有周波数帯幅の測定を実施した。実証実験では既存のディテクターで使用されている振幅変調と、周波数・Phase・Pulse 変調を加えた 4 種類の変調方式で測定を実施した。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

##### (1) 測定方法

測定系は図 3-4 のとおりであり、標準信号発生器を使用して各変調方式の入力信号を生成した。標準信号発生器の設定は、振幅変調では AM Depth=100%、Gen Freq=1.2kHz とし、周波数変調では FM Deviation=3kHz、Gen Freq=3kHz とし、Phase 変調では PhiM Deviation=6rad、Gen Freq=3kHz とし、Pulse 変調では Pulse Period=6msec、Pulse Width=3 $\mu$ s とした。

リフレクターとの離隔距離を 3m、設置高をそれぞれ 1.5m に固定した状態で、標準信号発生器で生成した各変調方式の入力信号とリフレクターからの応答信号をスペクトラムアナライザで測定した。

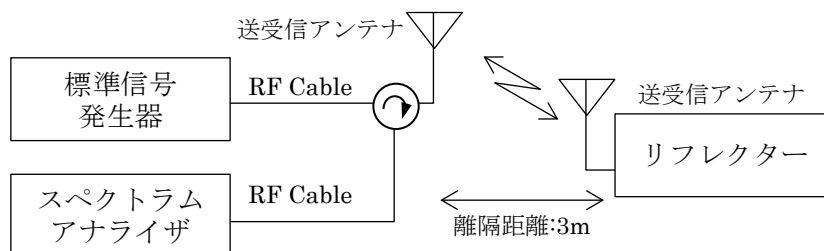
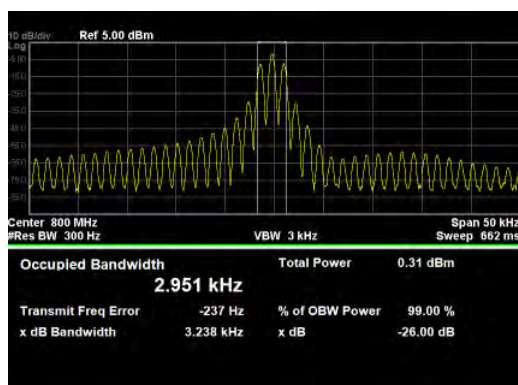


図 3-4 占有周波数帯幅の測定系

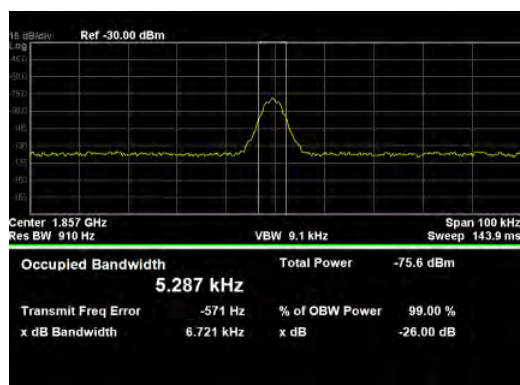
## (2) 測定結果

4つの変調方式の信号を入力した場合、いずれの変調方式でもリフレクターから応答信号を確認することができた。その際、リフレクターからの応答信号の占有周波数帯幅は、標準信号発生器で生成した送信波よりも大きくなった。リフレクターは2倍の周波数を返す仕様であるが、応答信号の占有周波数帯幅は2倍よりも小さくなった。

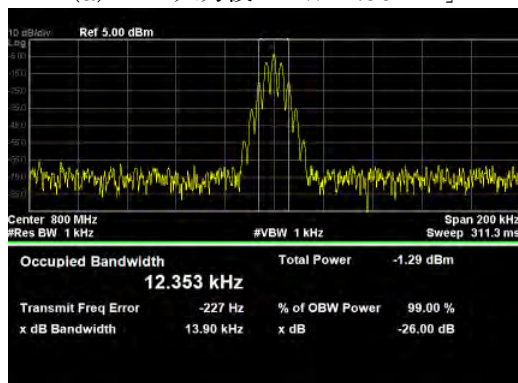
標準信号発生器で生成した各変調方式の入力波形と応答波形及び測定した占有周波数帯幅の値は図 3-5 のとおりである。5つのリフレクターを使用したけど、いずれも同じ結果であった。



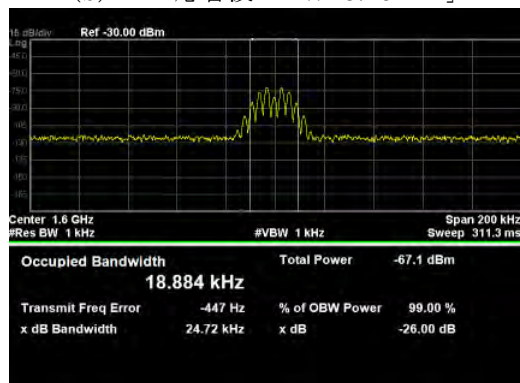
(a) AM 入力波「BW=2.95kHz」



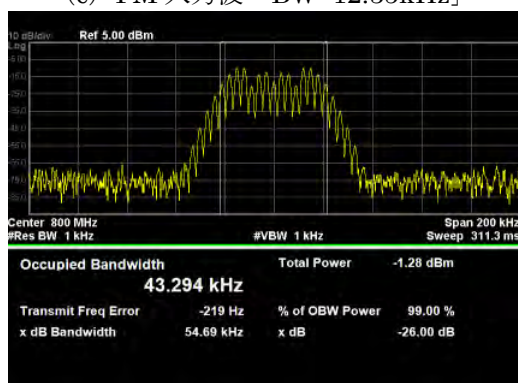
(b) AM 応答波「BW=5.29kHz」



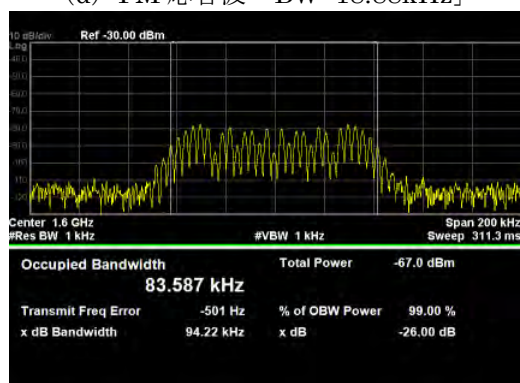
(c) FM 入力波「BW=12.35kHz」



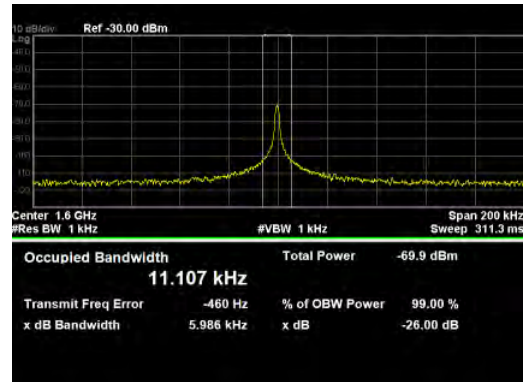
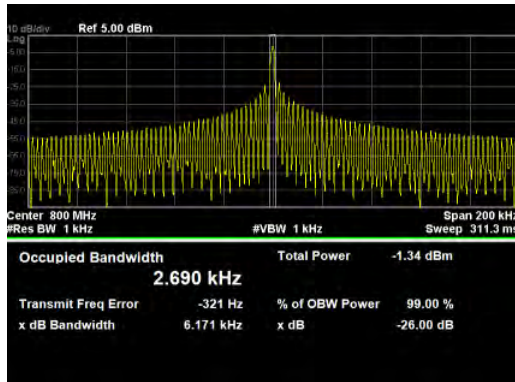
(d) FM 応答波「BW=18.88kHz」



(e) Phase 入力波「BW=43.29kHz」



(f) Phase 応答波「BW=83.59kHz」



(g) Pulse 入力波「BW=2.69kHz」

(h) Pulse 応答波「BW=11.11kHz」

図 3-5 各変調方式の入力波形と応答波形の占有周波数帯幅

### 3.1.3.2 周波数特性

リフレクターへの入力信号の周波数を変化させ、リフレクターの応答周波数範囲の測定を実施した。入力信号の変調方式については、既存のディテクターで使用されている振幅変調を使用した。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

#### (1) 測定方法

占有周波数帯幅の測定と同様の測定系を使用した。標準信号発生器により 700MHz から 1,200MHz の振幅変調の入力信号を生成し、リフレクターとの離隔距離を 3m、設置高をそれぞれ 1.5m に固定した状態で、リフレクターからの応答信号をスペクトラムアナライザで測定した。その際、リフレクターへの入力電力は約-15dBm であった。

#### (2) 測定結果

入力信号に対して 2 倍の周波数における応答信号の結果は図 3-6、3 倍の周波数における応答信号の結果は図 3-7 のとおりである。

応答電力は 950MHz (応答周波数 1,900MHz) が最も高く、入力信号と応答信号の電力差を示す反射損失は 4.1dB~4.7dB であった。

950MHz を中心に周波数を変えると反射損失が大きくなった。また、5 台のリフレクターの周波数特性はほぼ同じであった。3 倍波の応答信号の周波数特性についてはリフレクターNo.5 についてのみ取得した。なお、測定結果からは送受信アンテナ利得やケーブル損失等を除いている。

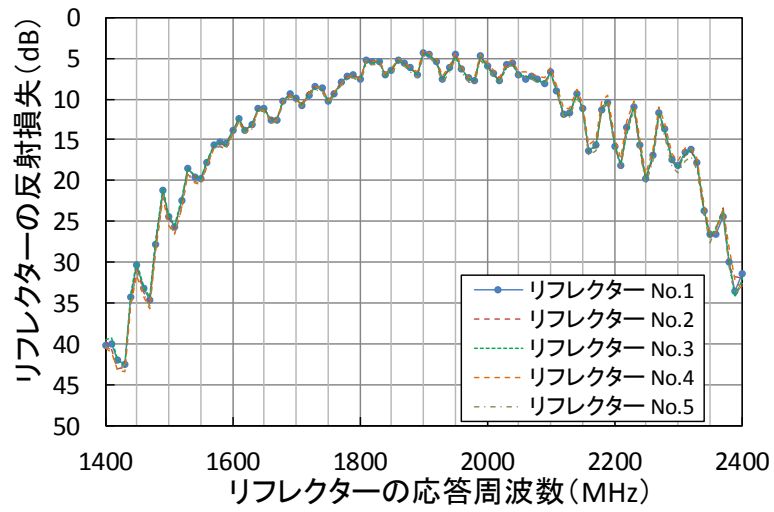


図 3-6 応答信号の周波数特性 (振幅変調./2 倍周波数)

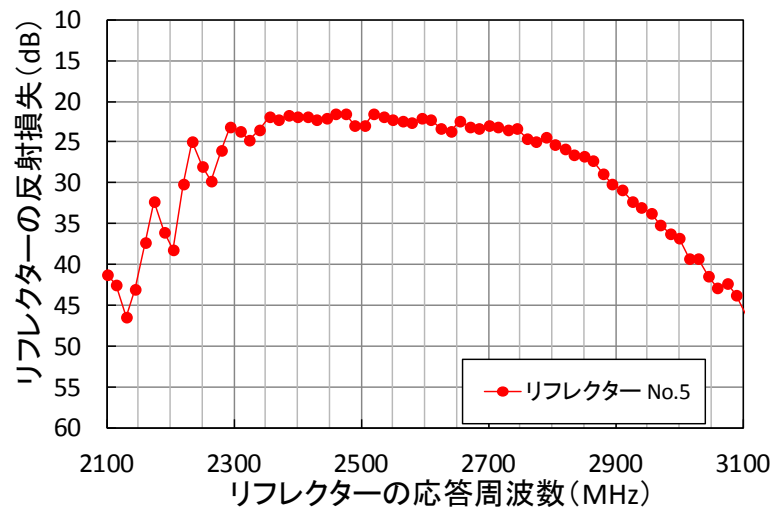


図 3-7 応答信号の周波数特性 (振幅変調./3 倍周波数)

標準信号発生器の送信波が 850MHz から 1,050MHz (応答周波数 1,700MHz から 2,100MHz) の際に反射損失は 5dB 程度の範囲に入っており、応答周波数特性が良い結果であった。また、この周波数範囲外になるとリフレクターの周波数特性は悪くなることが確認できた。

### 3.1.3.3 応答信号の電力特性

リフレクターへの入力電力を変化させ、応答信号の電力特性の測定を実施した。入力信号の変調方式は、既存のディテクターで使用されている振幅変調を使用した。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

#### (1) 測定方法

占有周波数帯幅の測定と同様の測定系を使用し、標準信号発生器により 700MHz から 1,200MHz の振幅変調の入力信号を生成した。リフレクターとの離隔距離を 3m、設置高をそれぞれ 1.5m に固定した状態で、標準信号発生器の送信電力を +10dBm ~ -15dBm の 2dB ステップ (-12dBm ~ -15dBm への変化時のみ 3dB ステップ) で低下させながら、リフレクターからの応答信号をスペクトラムアナライザで測定した。なお、この時のリフレクターへの入力電力は空間伝搬損失等を考慮すると -15dBm ~ -40dBm となる。リフレクター 5 台の特性がほぼ同じであったことから、本測定では No.5 のリフレクターを用いて測定を行った。

#### (2) 測定結果

入力電力に対する応答信号の電力特性の結果は図 3-8 のとおりである。入力電力を 2dB ステップで低下させ、それぞれの応答信号の周波数特性を図中に描画した。

リフレクターの応答電力特性は周波数ごとに違いが表れた。入力信号と応答信号の電力差を示す反射損失は、880MHz ~ 890MHz (応答周波数 1,760MHz ~ 1,780MHz) が約 8dB ~ 約 12dB の範囲で一定であったが、その他の周波数帯では入力電力が低下するにつれて、反射損失が増加した。

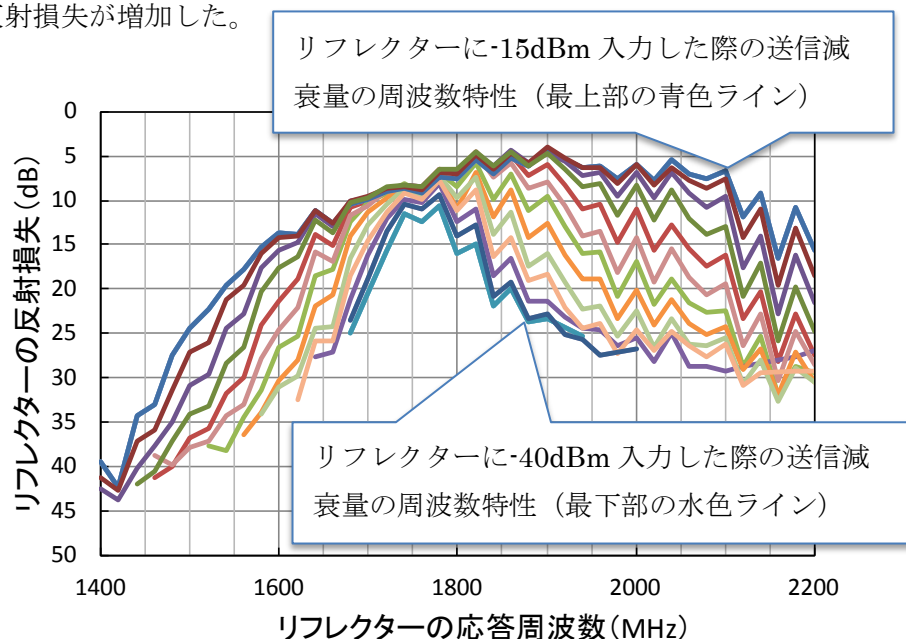


図 3-8 リフレクターの応答特性 (振幅変調./2 倍周波数)



リフレクターへの入力電力に対する反射損失の変化は図 3-9 のとおりである。図 3-8 における 750MHz (応答周波数 1,500MHz) から 50MHz 間隔の値を抽出したものであり、リフレクターへの入力電力が比較的高い-15dBm の場合は、950MHz~1,000MHz (応答周波数 1,900MHz~2,000MHz) の反射損失は 5dB 程度であった。一方、リフレクターへの入力電力が比較的低い-30dBm の場合は、850MHz~950Hz (応答周波数 1,700MHz~1,900MHz) の反射損失は 10dB 程度となり、低くなった。なお、その他の入力周波数における反射損失の変化については付属資料 5 の付図 5-3 のとおりである。

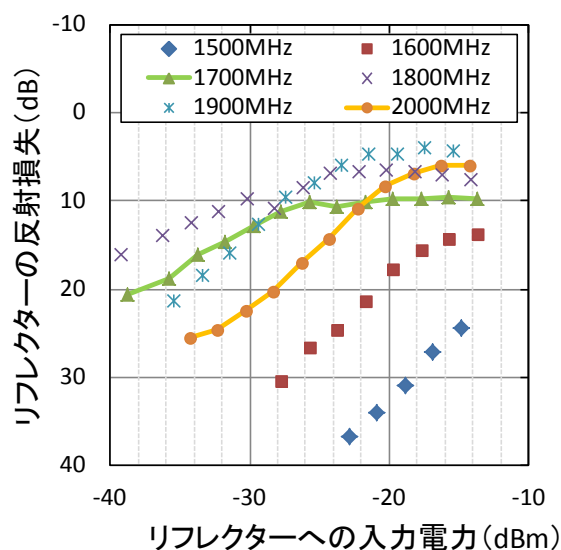


図 3-9 リフレクターへの入力電力に対する反射損失の変化

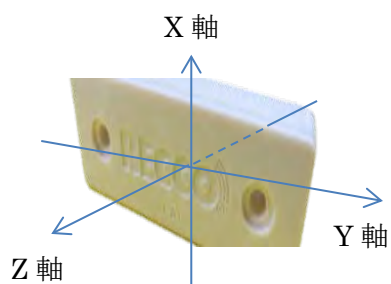
### 3.1.3.4 角度特性

リフレクターの角度を変化させ、応答信号の角度特性の測定を実施した。入力信号の変調方式は、既存のディテクターで使用されている振幅変調を使用した。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

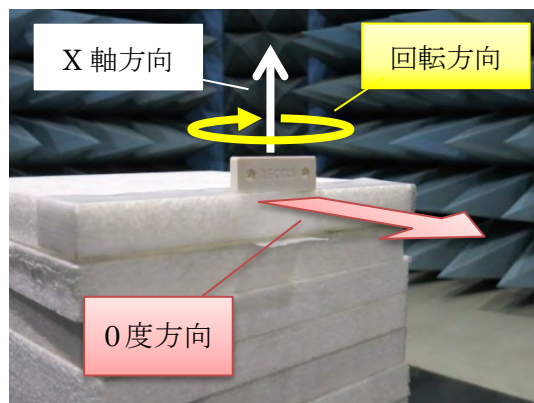
#### (1) 測定方法

占有周波数帯幅の測定と同様の測定系を使用した。標準信号発生器により 928.5MHz の振幅変調の入力信号を生成し、リフレクターとの離隔距離を 3m、設置高をそれぞれ 1.5m に固定した状態で、リフレクターからの応答信号をスペクトラムアナライザで測定した。なお、リフレクターへの入力電力は約-15dBm であった。リフレクター5台の特性がほぼ同じであったことから、本測定では No.1、3、5 のリフレクターを用いて測定を行った。

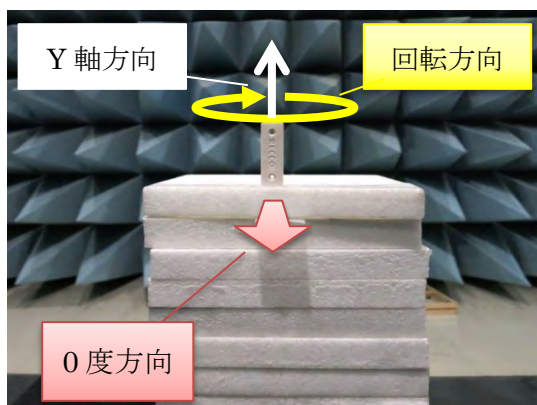
測定時のリフレクターの設置方法及び回転方向は図 3-10 のとおりである。リフレクターに対して X 軸、Y 軸、Z 軸を設定し、スペクトラムアナライザの設置方向を 0 度方向として回転させた。



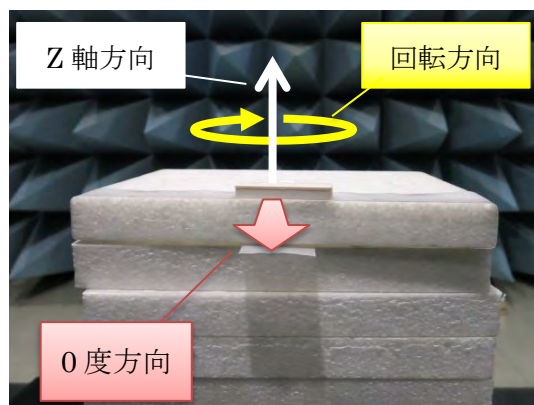
(a) 回転軸



(b) X軸回転



(c) Y軸回転



(d) Z軸回転

図 3-10 リフレクターの設置方法及び回転方向

## (2) 測定結果

リフレクターの角度特性の結果は図 3-11 のとおりであり、基準となる最大の応答電力値からの角度ごとの減衰量を示している。個々のリフレクターの角度特性の測定結果を見る限り、個体差は特に現れなかった。測定結果からリフレクターについては通常ウェア等に取り付けるような正面向きが最も特性が良いことが確認できた。



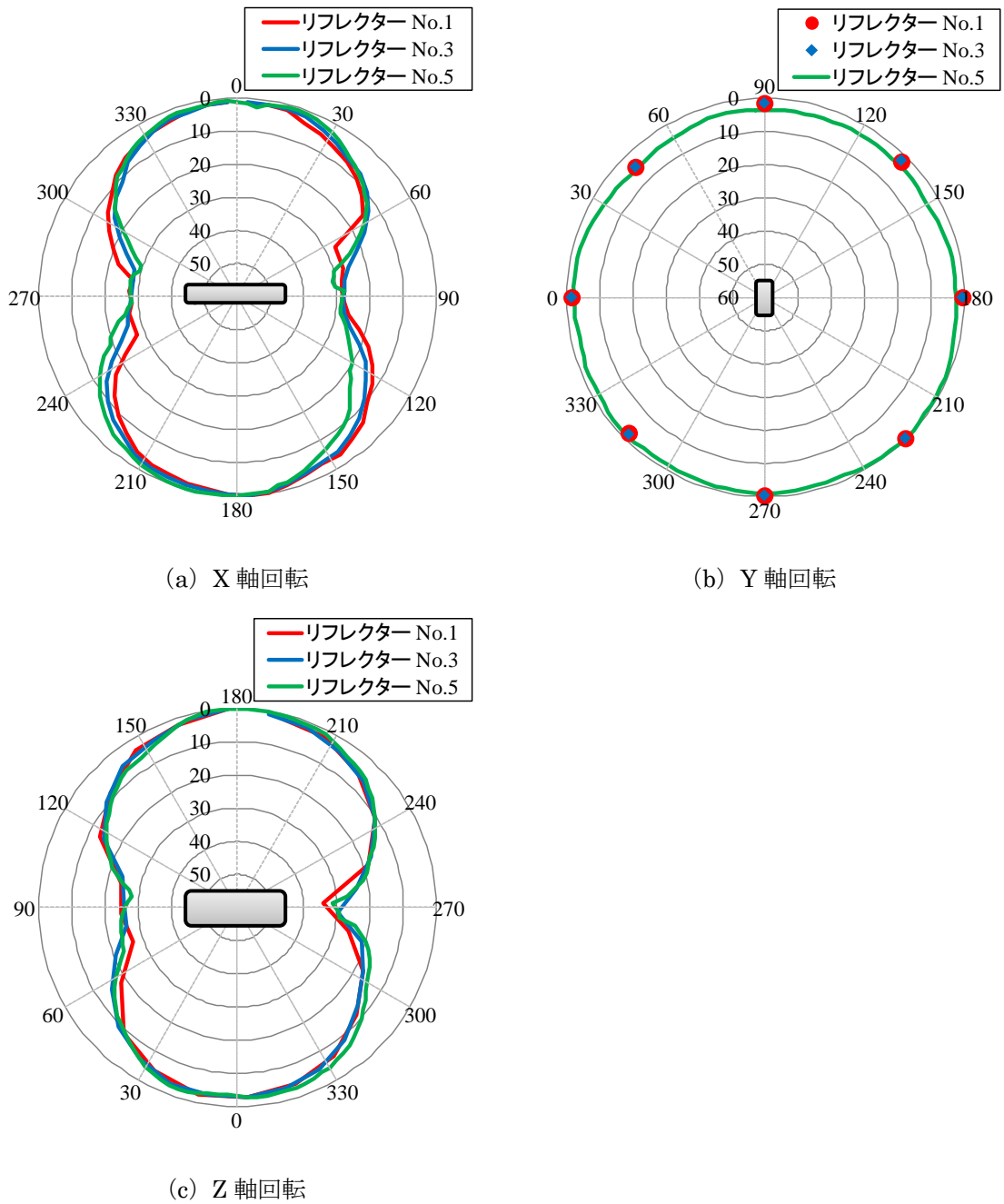


図 3-11 リフレクターの角度特性

次にリフレクターを X 軸方向に 30 度、60 度、90 度に固定した状態で 700MHz～1,000MHz の入力信号を与えた際に、0 度方向時の応答電力を基準とした減衰量は図 3-12 のとおりである。なお、リフレクターは No.5 を使用した。

リフレクターを 30 度方向に設置した測定結果では周波数によって 0 度方向からの減衰量に差は見られなかった。リフレクターを 60 度方向、90 度方向に変えることで、入力周波数 900MHz (応答周波数 1,800MHz) から離調するにつれ、減衰量が大きくなった。

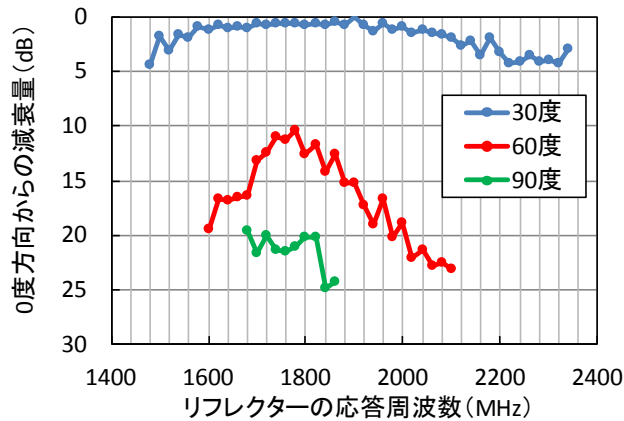


図 3-12 リフレクターの角度と周波数特性

### 3.1.4 ディテクターの電気的特性

ディテクターから送信される信号の電気的特性等について測定を実施した。測定項目毎の結果は以下のとおりである。

#### 3.1.4.1 送信信号特性

ディテクターの中心周波数、占有周波数帯幅、空中線電力、不要発射強度、送信アンテナ利得について測定を実施した。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

##### (1) 測定方法

4台のディテクターのうち、3台については空中線電力の出力端子を所有していないことから、測定においては図 3-13 に示すように、離隔距離 3m での空間伝搬による測定を行った。また、出力端子を所有している 1 台（ディテクターNo.4）については図 3-14 に示すように有線接続による測定を行った。なお、空間伝搬時の測定では、ディテクター及び受信アンテナは設置高を 1.5m とした。

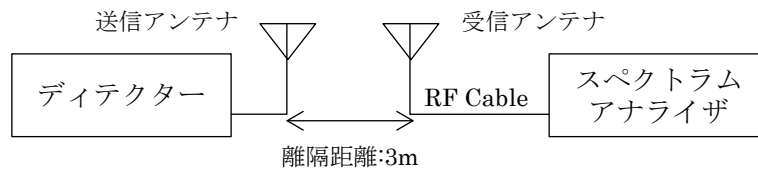


図 3-13 ディテクターの測定系（空間伝搬時）

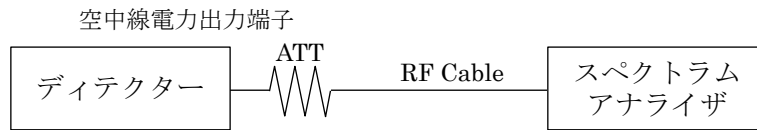


図 3-14 ディテクターの測定系（有線接続時）

## (2) 測定結果

4 台のディテクターの測定結果は表 3-3 のとおりである。中心周波数及び占有周波数帯幅の測定時におけるスペクトラムアナライザの測定画面は付属資料 5 の付図 5-10 のとおりである。

中心周波数については、ディテクターNo.1 の諸元である 868MHz に対して 1MHz 程度、ディテクターNo.2 は 0.3MHz 程度の周波数差が見られたが、928.5MHz のディテクターについてはほぼ諸元の通りであった。

占有周波数帯幅については、50kHz の仕様に対して全てのディテクターが収まっている結果であった。

空中線電力については、空間伝搬による測定結果から、測定系の損失等を除いて算出した結果である。ディテクターNo.1 が 4W (36dBm) に近い測定結果であり、中心周波数が高くなるにつれて空中線電力が下がる傾向であった。なお、同一中心周波数であるディテクターNo.3 とディテクターNo.4 では、空間伝搬と有線接続の測定系違いによる測定結果が示されており、空中線電力の差は 1.3dB であったことから、概ね空間伝搬による測定であっても正しい結果が得られていると考えられる。

不要発射強度については、中心周波数より下側周波数帯については空中線電力からの差は 50dBc 以上あり、上側帯域と比較して低い値であった。上側周波数帯については、空間伝搬の測定をしたディテクターNo.1 から No.3 については約 35dBc~50dBc であった。有線接続での測定結果であるディテクターNo.4 については、上側帯域の不要発射強度は 50dBc を超える結果であった。空間伝搬の場合、中心周波数の 2 倍及び 3 倍の周波数に強い受信電力が測定された。

4 台のディテクターにおける送信信号特性を取得しているが、有線接続による測定結果は送受信アンテナの周波数特性や空間伝搬による損失等が含まれていないことから、最も信頼の高い結果であることから、ディテクターNo.4 を基本として検討を進める。なお、図 3-15 にディテクターNo.4 の測定時に取得したスペクトラムアナライザの画面を示す。

表 3-3 ディテクターの電力特性結果一覧

項目	単位	No.1	No.2	No.3	No.4
中心周波数	MHz	866.9002	902.8504	928.5002	928.5003
周波数地域	—	欧州	米国	日本	日本
占有周波数帯幅	kHz	33.88	24.16	12.93	14.23
空中線電力	dBm	37.6	33.3	32.2	30.9
不要発射強度 <sup>注1</sup>	dBm	-35.3	-36.1	-35.7	-23.5
	dBc	72.9	69.4	67.9	54.4
不要発射強度 <sup>注2</sup>	dBm	2.7	-2.8	-15.9	-27.6
	dBc	34.9	36.1	48.1	58.5
アンテナ利得 <sup>注3</sup>	dBi	8.34	9.22	6.83	6.83
e.i.r.p	dBm	45.94	45.52	39.03	37.73

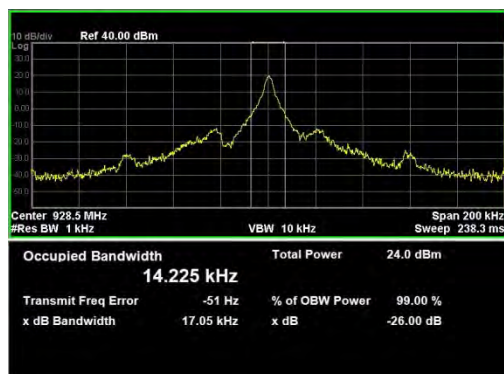
注1： スプリアス領域（30MHz~中心周波数-2.5BN）の測定結果 BN=必要周波数帯（50kHz）

スペクトラムアナライザのRBWは100kHzで測定

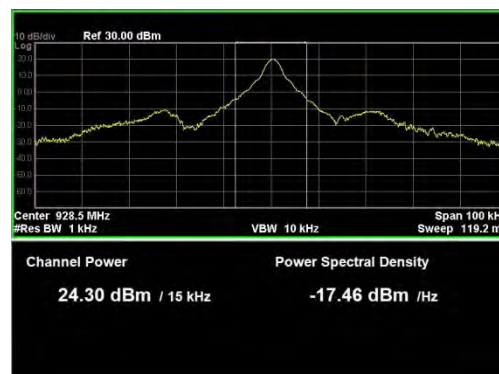
注2： スプリアス領域（中心周波数+2.5BN~3GHz）の測定結果 BN=必要周波数帯（50kHz）

スペクトラムアナライザのRBWは1MHzで測定

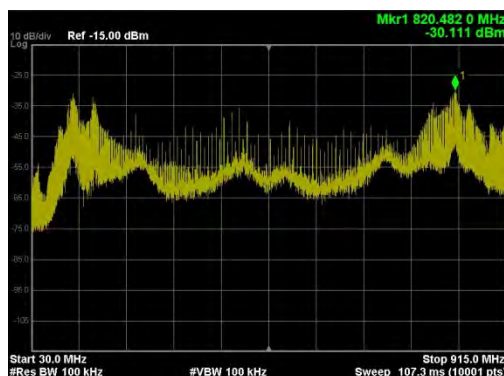
注3： 送信アンテナ利得は付属資料5の付図5-9に示す送信アンテナの周波数特性の測定結果参照



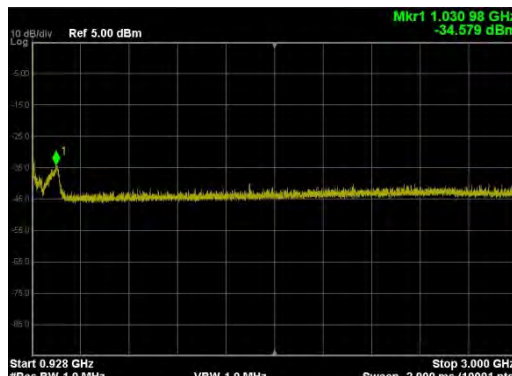
(a) 占有周波数帯幅



(b) 空中線電力



(c) 不要発射強度（下側）



(d) 不要発射強度（上側）

図 3-15 測定時のスペクトラムアナライザ画面

### 3.1.4.2 角度特性

中心周波数の異なる 4 台のディテクターを使用し、角度特性の測定を実施した。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

#### (1) 測定方法

送信電力特性の測定と同様の測定系を使用した。ディテクターとの離隔距離を 3m、設置高をそれぞれ 1.5m に固定した状態で、ディテクターからの応答信号をスペクトラムアナライザで測定した。

測定時のディテクターの設置方法及び回転方向は図 3-16 のとおりであり、ディテクターに対して X 軸、Y 軸、Z 軸を設定し、スペクトラムアナライザの設置方向を 0 度方向として回転させた。

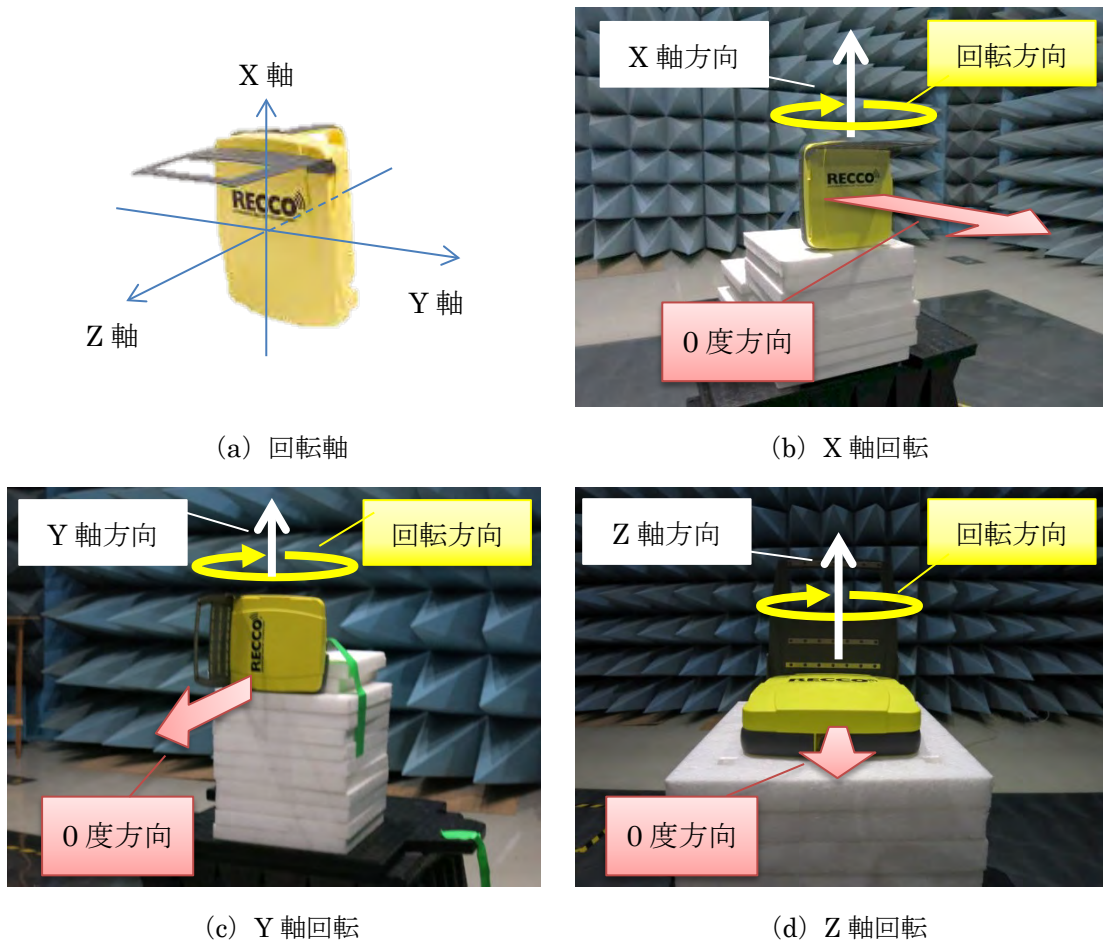


図 3-16 ディテクターの設置方法及び回転方向

(2) 測定結果

ディテクターの角度特性の結果は図 3-17 のとおりであり、基準となる最大の応答電力値からの角度ごとの減衰量を示している。それぞれのディテクターの角度特性の測定結果を見る限り、概ね個体差は現れなかった。特に重要な探索時にリフレクターに向ける X 軸及び Y 軸の 0 度方向については、 $\pm 60$  度程度までほぼ一致している結果であった。

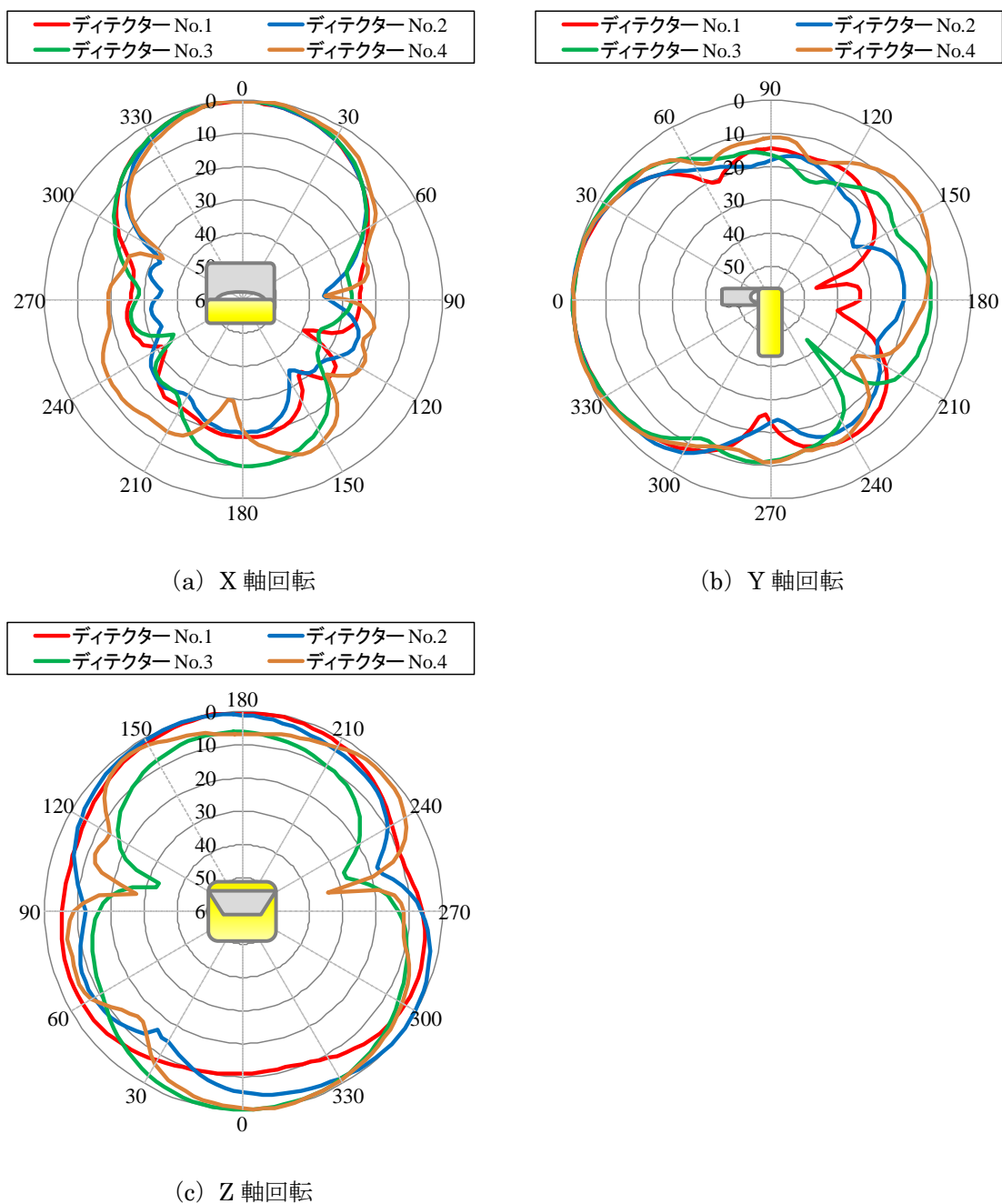


図 3-17 ディテクターの角度特性

### 3.1.4.3 受信感度特性

ディテクターの受信感度特性の測定を実施した。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

#### (1) 測定方法

測定系は図 3-18 のとおりであり、ディテクターとリフレクターの離隔距離を 3m、設置高をそれぞれ 1.5m に固定した状態で、ディテクターからの応答信号をスペクトラムアナライザで測定した。スペクトラムアナライザはディテクターと横並びに設置した。ディテクターのヘッドホン端子とパソコンのマイク端子を Audio Cable で接続し、リフレクターを受信した際にディテクターから発生する音の波形を記録した。

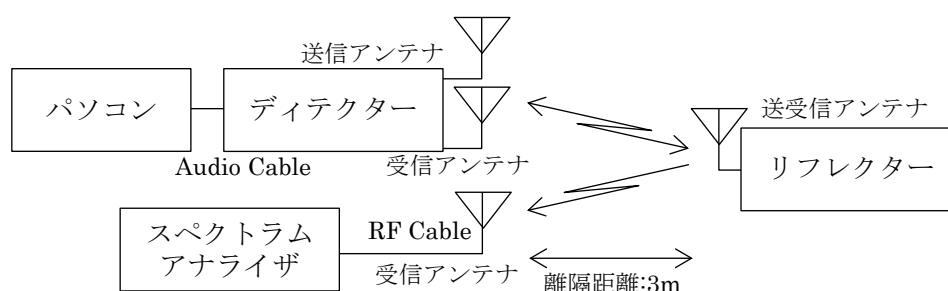


図 3-18 受信感度特性の測定系

#### (2) 測定結果

ディテクターに接続したパソコンで取得した音声スペクトルは図 3-19 のとおりであり、リフレクターを感知した際には、1kHz 等に特徴的な音声スペクトルを観測した。なお、リフレクターの反応がない時でも、人の耳にはディテクターから若干のノイズ音が聞こえる。耳による主観評価等で音が聞こえる限界の時のスペクトラムアナライザの測定値は-117dBm であった。ディテクターのアンテナ利得点を差し引きすると、アンテナ給電点での値は-125.6dBm となる。なお、音声スペクトルよりも人の耳による主観評価の判定の方が、より低い受信電力まで音の判定が可能であった。このことから、実利用環境では、周辺のノイズ環境や人の聞こえ方によって受信感度は変わってしまうが、室内試験の結果である-125.6dBm が一つの目安として考えられる。ディテクターの受信感度の諸元値は-135dBm であるが、人の耳による主観評価の違いや、ディテクターから常時発せられるノイズ音などの影響により、諸元値と差が生じたものと考えられる。

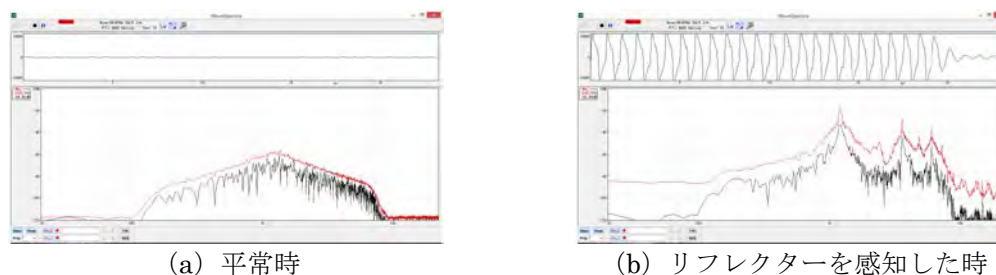


図 3-19 ディテクターの音声スペクトル



### 3.1.5 屋内実証実験のまとめ

#### (1) リフレクター

既存のディテクターで利用されている振幅変調に加え、いくつかの変調方式をリフレクターに入力してその応答信号を確認したところ、いずれの変調方式においても、応答信号はディテクターの送信信号と同一の変調方式であった。よって、ディテクターの変調方式は振幅変調以外でも可能であることから、音による判別以外でも検索は可能であると考えられる。また、測定結果から、応答信号の占有周波数帯幅は、いずれの変調方式においても、入力信号の2倍以内に収まるものと考えられる。

リフレクターの応答信号の周波数特性は、リフレクターの入力信号の周波数が850MHzから1,050MHzであれば、十分な応答信号強度を持つことが確認できた。この周波数範囲内において、特に880MHz～890MHzについては、リフレクターへの入力電力が低下しても、リフレクターの反射損失は8dB～12dBの範囲で一定となる特性が確認できた。

リフレクターについては、実際に海外で利用されている周波数以外でも十分に利用できるものであることが確認できた。ただし、反射損失の特性からリフレクターに入力される周波数が850MHz～1,050MHzの範囲であることが望まれる。

#### (2) ディテクター

実際に海外で使用されている3つの周波数を測定したところ、周波数が高くなるにつれて空中線電力が低下していた。928.5MHzの測定値は30.9dBmであり、諸元の値の36dBm(4W)から5.1dB低下していた。また、欧州向けの周波数のディテクターと比較すると、6.7dBの差が生じていた。また、空中線電力と同様に、周波数が高くなるにつれて空中線利得も低下していた。928.5MHzの測定値は6.83dBiであり、諸元の値の9dBiから2.17dB低下していた。また、空中線利得は880MHz～900MHzの周波数の範囲が最も高く、それ以外の範囲では低い傾向であった。

以上から、e.i.r.p.の測定値は約37.73dBm(30.9dBm+6.83dBi)であり、諸元の45dBm(36dBm+9dBi)から7.27dB低下していた。また、欧州向けの周波数のディテクターと比較し、日本向けのディテクターはEIRPで8.21dB低いものであった。このことから、海外向けのディテクターに比べ、日本向けのものは空中線電力・アンテナ利得が低いため探知距離が短くなると考えられる。これは、実際に海外で利用しているディテクターの周波数を、日本向けに変更したことにより特性が悪くなったものと考えられる。ディテクターについては、実際に割り当てられた日本向けの周波数に特性を合わせて製造されることが望まれる。



### 3.2 屋外実証実験（雪氷環境外）

#### 3.2.1 概要

電探システムのディテクター及びリフレクターの伝搬特性の測定について、屋外の実環境下で実施する。電探システムは雪氷環境下での利用となるが、まずは雪氷による影響がない環境下（以下、「雪氷環境外」という。）での基本となる伝搬特性を確認する。また、雪氷環境外の電波伝搬特性の机上計算も行い、実測データとの比較を行う。

電探システムを用いた雪氷環境外の屋外実証実験を実施した期間と場所は表 3-4 のとおりであり、実施場所の地図は図 3-20、実施場所の風景は図 3-21 のとおりである。スノーハープの周辺道路は障害物の無い開放地であり、舗装されている直線道路が 1 km程度続いている。スノーハープ敷地内にはグラウンドとクロスカントリーコースがある。グラウンドには照明や建物は存在しているが数が圧倒的に少ないため開放地に近い環境である。また、クロスカントリーコースは樹木で囲われており、見通しがあったとしても数十メートル程度しか取れない環境である。

表 3-4 屋外実証実験（雪氷環境外）の実施概要

項目	内容
実施期間	平成 28 年 9 月 27 日（火）、9 月 28 日（水）、9 月 30 日（金）
実施場所	長野県北安曇野郡白馬村 白馬クロスカントリー競技場（スノーハープ）及び周辺道路

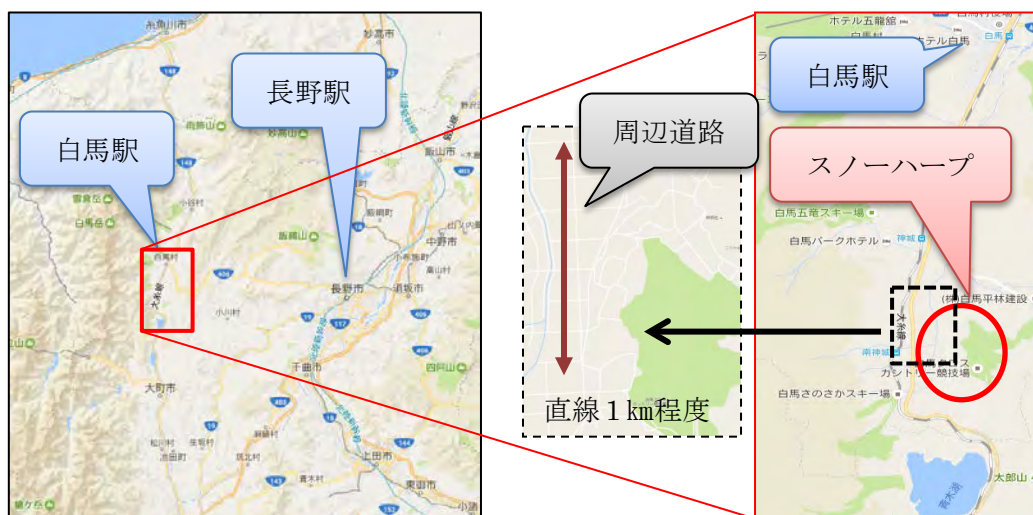


図 3-20 実施場所の地図



(a) スノーハーブ周辺道路

(b) スノーハーブ敷地内

図 3-21 実施場所の風景

### 3.2.2 試験装置

屋外実証実験で使用した試験装置は表 3-5 のとおりであり、そのディテクター及びリフレクターの諸元については 3.1 項の表 3-2 に示した内容と同じである。試験装置の送信周波数は 928.5MHz とする。その他、スペクトラムアナライザによる受信電力測定系には屋内実証実験と同じ標準ホーンアンテナを使用する。なお、机上計算については 3.1 項の屋内実証実験にて測定したディテクター及びリフレクターの電気的特性結果を用いることとする。

表 3-5 試験装置の諸元

機器名	型番・諸元
ディテクター	928.5MHz ディテクター2台 (有線接続可能な No.4 を主に利用)
リフレクター	5台 (特性にばらつきが無いことから No.5 を主に利用)
スペクトラムアナライザ	Anritsu 製 MS2713E 9kHz~6GHz
受信アンテナ	ETS Model 3115 ※付図 5-1 参照
Low Noise Amplifier	R&K LA130-0S 100MHz~3200MHz Gain36dB

### 3.2.3 ディテクターの伝搬特性

スノーハーブ周辺道路の開放地で、ディテクターの送信信号の伝搬特性の測定を実施した。ディテクターの送信信号の伝搬特性については、距離ごとの到達電力の値を測定するとともに、周波数共用検討における伝搬距離の机上計算にも使用する。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

#### (1) 測定方法

伝搬距離特性の測定方法の概略図は図 3-22、測定系は図 3-23 のとおりであり、928.5MHz のディテクターの設置高は 1.5m 及び 3.0m とし、地面に対して水平に設置す

る。受信アンテナの設置高は 0.2m、1.5m 及び 3.0m とし、ディテクターと同様に地面に対して水平に設置する。

伝搬距離特性の測定風景は図 3-24 のとおりであり、ディテクターと受信アンテナ間の離隔距離を変更して、ディテクターからの受信電力を測定した。

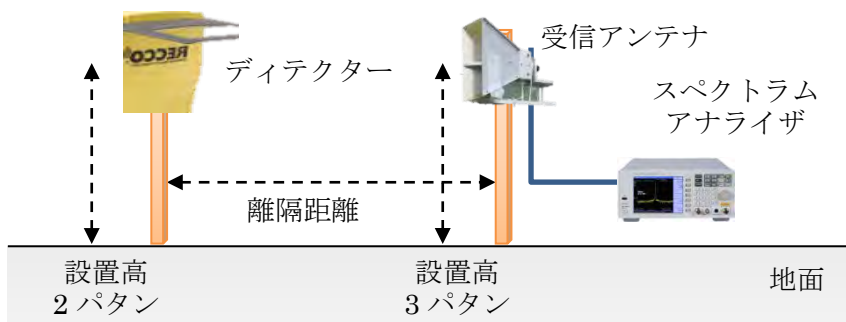


図 3-22 伝搬距離特性の概略図

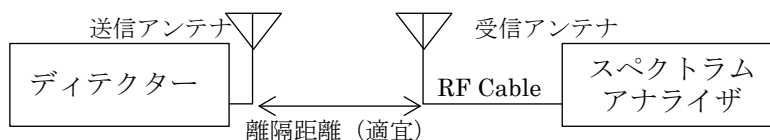


図 3-23 伝搬距離特性の測定系



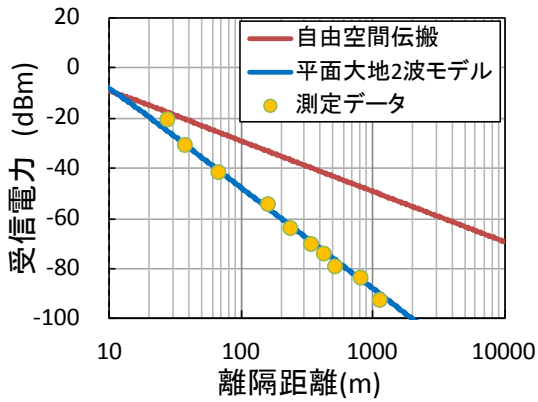
(a)ディテクター設置風景

(b)受信アンテナ設置風景

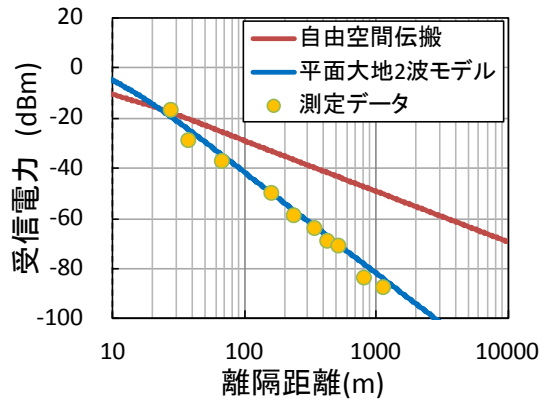
図 3-24 伝搬距離特性の測定風景

## (2) 測定結果

伝搬距離特性の測定結果は図 3-25 から図 3-27 のとおりであり、測定結果のグラフには 928.5MHz における自由空間伝搬と平面大地 2 波モデルによる机上計算結果を合わせて示している。測定環境が見通しのある直線道路上であることから、いずれのアンテナ高においても平面大地 2 波モデルにほぼ一致する結果であった。雪の無い開放された環境下においては、ディテクターからの送信信号の強度は理論計算を用いて算出することが可能と考えられる。

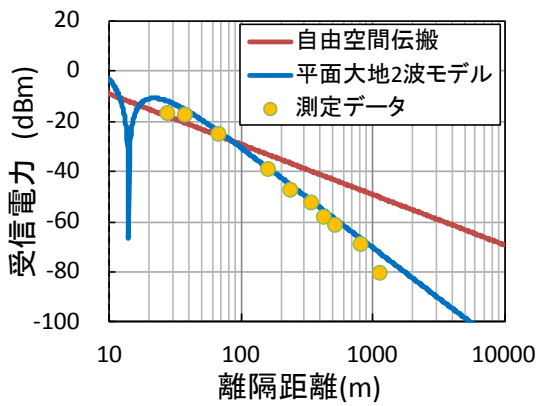


(a) ディテクター設置高 1.5m

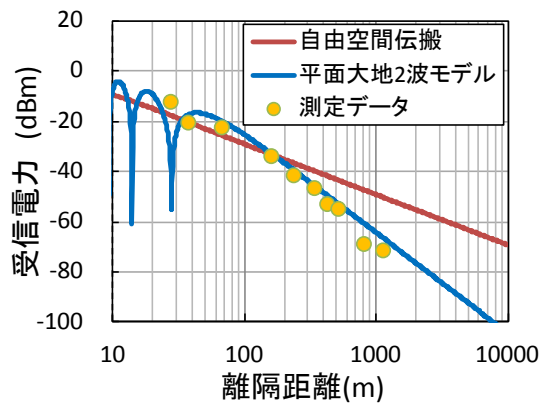


(b) ディテクター設置高 3.0m

図 3-25 受信アンテナ高 0.2m

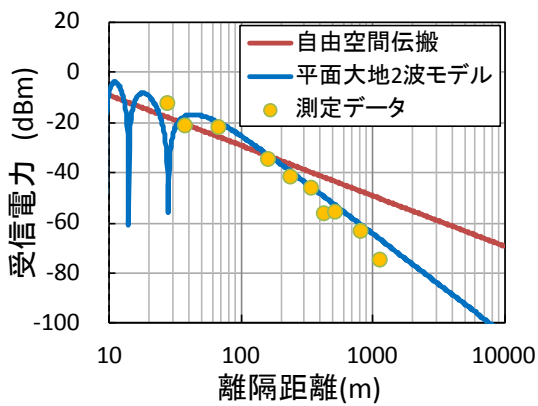


(a) ディテクター設置高 1.5m

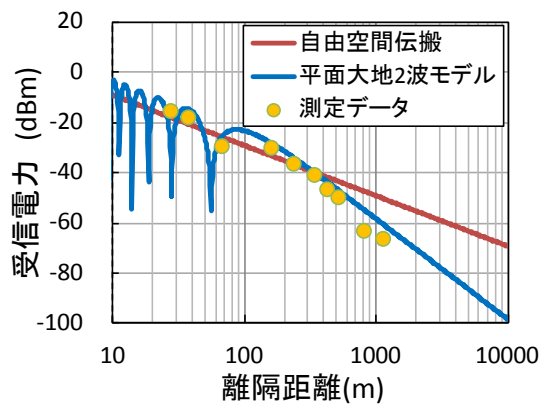


(b) ディテクター設置高 3.0m

図 3-26 受信アンテナ高 1.5m



(a) ディテクター設置高 1.5m



(b) ディテクター設置高 3.0m

図 3-27 受信アンテナ高 3.0m

### 3.2.4 リフレクターの応答距離特性

スノーハープ敷地内で、リフレクターの応答距離特性の測定を実施した。測定結果は周波数共用検討における伝搬距離の机上計算や、本システムに必要な空中線電力の算出等の技術的条件の検討に使用する。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

#### (1) 測定方法

応答距離特性の概略図は図 3-28、測定系は図 3-29 のとおりであり、928.5MHz のディテクターを人が利用する状態を想定し、設置高は 1.5m で、地面に対して水平に設置する。リフレクターの設置高は 0.0m (地面設置)、0.2m、1.5m、2.5m 及び 3.0m とし、地面に対して垂直となるように設置する。また、受信電力を測定するための受信アンテナをディテクターと同じ設置高は 1.5m とし、並べて設置する。

応答距離特性の測定風景は図 3-30 のとおりであり、ディテクターとリフレクター間の離隔距離を変更して、ディテクターの応答音と受信電力を同時に測定した。

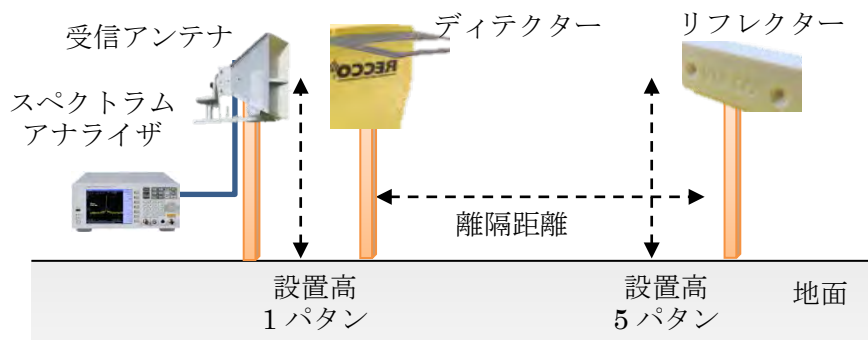


図 3-28 応答距離特性の概略図

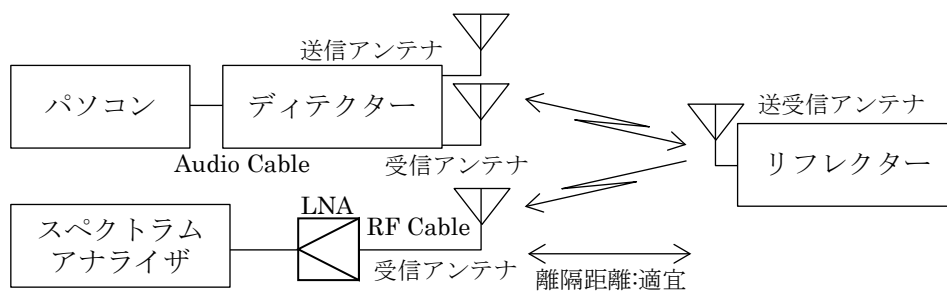
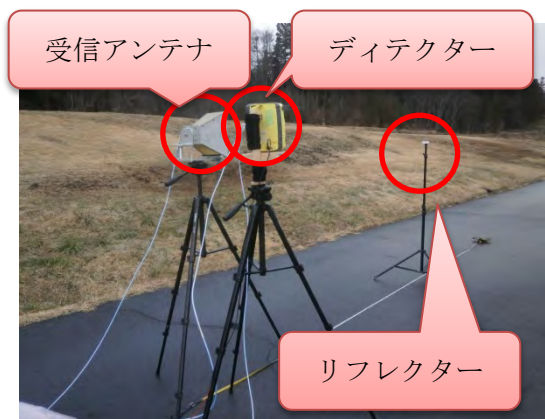


図 3-29 応答距離特性の測定系





(a) ディテクター設置風景



(b) リフレクター設置風景



(c) リフレクター設置高 3.0m



(d) リフレクター設置高 0.2m

図 3-30 応答距離特性の測定風景

## (2) 測定結果

ディテクターの応答音の判定結果は図 3-31 のとおりであり、応答音を判定できた地点を色で表している。アンテナ高によっては、離隔距離の途中の区間で音の判定ができなかった場合もあったが、リフレクター設置高 1.5m の場合に離隔距離約 50m まで音の判定が出来た。

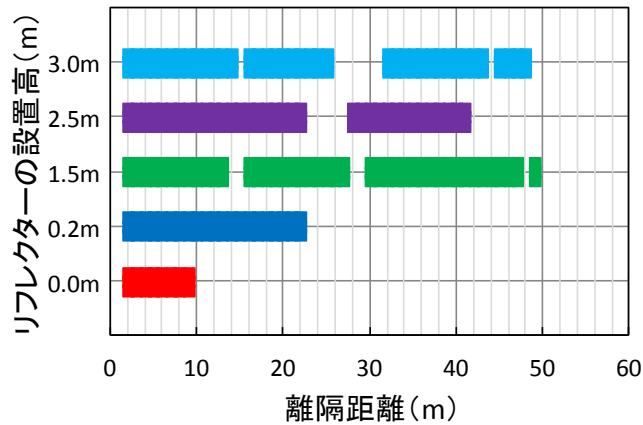
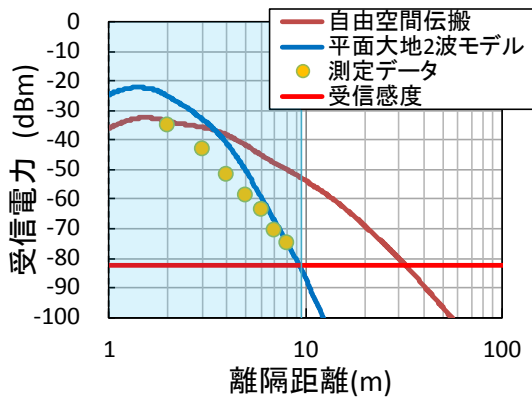


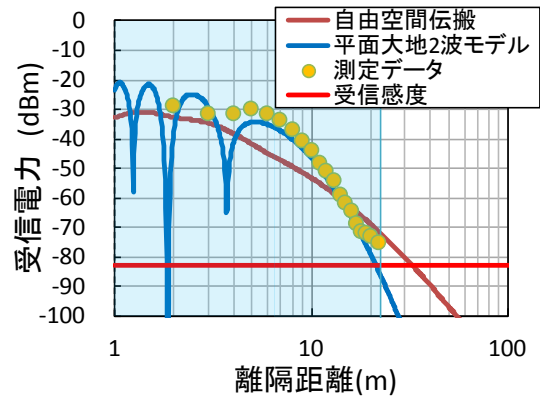
図 3-31 応答距離特性の音判定

リフレクターからディテクターに戻ってくる応答信号の受信電力の測定結果は図 3-32 のとおりである。なお、受信電力はスペクトラムアナライザで測定した値を示し、受信アンテナはディテクターに並べて設置している。グラフにある受信感度の値は、付属資料 6 に示している屋外実証実験の実施前に確認した受信感度-122.2dBm から受信アンテナの利得、ケーブル損失、LNA 利得を換算した値である-82.5dBm を描画している。また、図に示す机上計算のグラフは、リフレクターの応答電力特性や離隔距離によるアンテナパターンを考慮し、ディテクターとリフレクター間の往復の空間損失も含めている。さらに、グラフの背景を青く塗りつぶしている領域は、ディテクターで音判定ができた地点を示している。

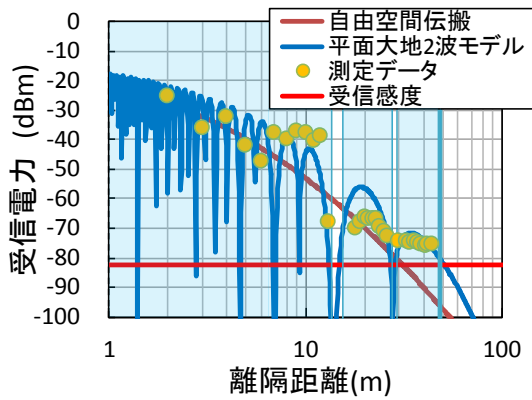
スペクトラムアナライザで測定した受信電力並びに音判定の結果は、リフレクターの応答距離特性を考慮した机上計算を比較すると、平面大地 2 波モデルにほぼ一致していた。



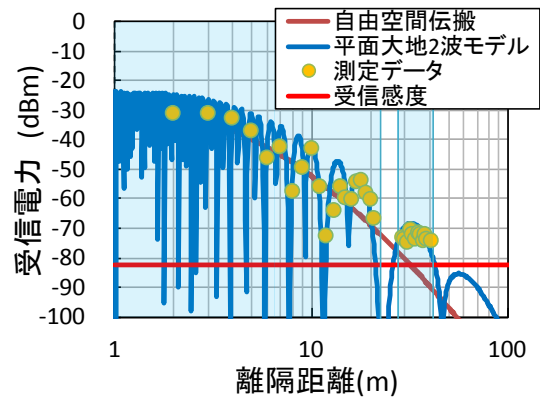
(a) リフレクター設置高 0.0m



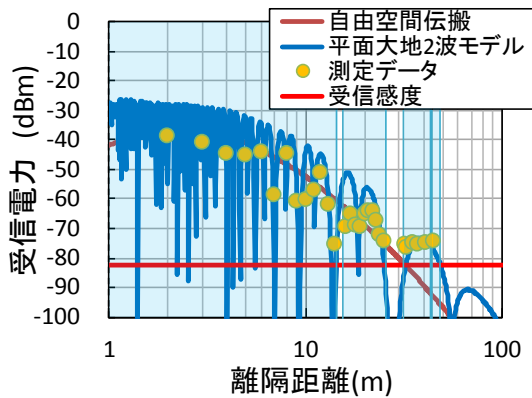
(b) リフレクター設置高 0.2m



(c) リフレクター設置高 1.5m



(d) リフレクター設置高 2.5m



(e) リフレクター設置高 3.0m

図 3-32 応答距離特性の受信電力



### 3.2.5 試作機を用いたリフレクターの応答距離特性

スノーハープ敷地内で、試作機の応答距離特性の測定を実施し、ディテクターの既製品以外の製造の可能性について確認を行う。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

#### (1) 測定方法

試作機を用いてリフレクターの応答距離特性を測定した。測定風景は図 3-33 のとおりであり、試作機を用いた場合のリフレクターの応答信号をスペクトラムアナライザで測定するとともに、応答音の記録も行った。なお、リフレクターの設置高は 1.5m とした。



図 3-33 試作機を用いた測定風景

#### (2) 測定結果

音判定の測定結果は図 3-34、試作機の受信電力の測定結果は図 3-35 のとおりである。音判定については試作機及びディテクターで測定した結果を比較できるように図中に合わせて示す。試作機の場合、42m 以遠で音が聞こえない範囲があったが、47m で再度聞こえることもあった。これは、試作機の場合は付属資料 5 に示すとおり、ディテクターに比べて約 3dB のアンテナ利得が低下となることから 42m 以遠での結果に差が表れてきたものと考えられる。応答距離特性の受信電力では、平面大地 2 波モデルにほぼ一致するような結果であった。机上計算では受信感度となる離隔距離は約 42m であることから音判定もほぼ一致していると考えられる。

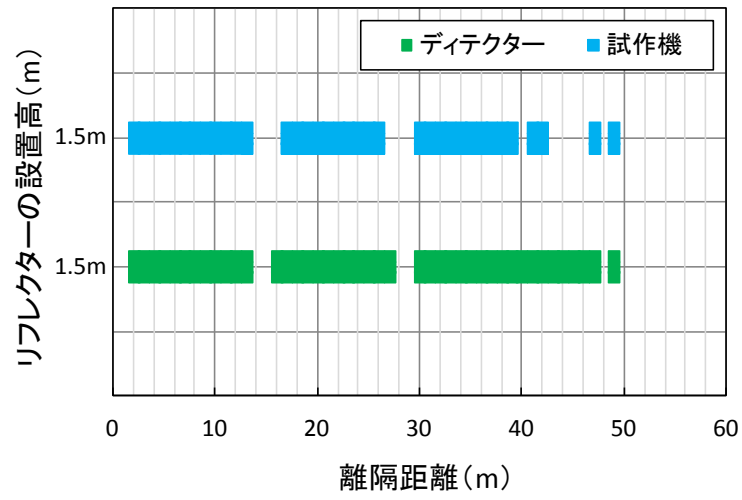


図 3-34 試作機による応答距離特性の音判定

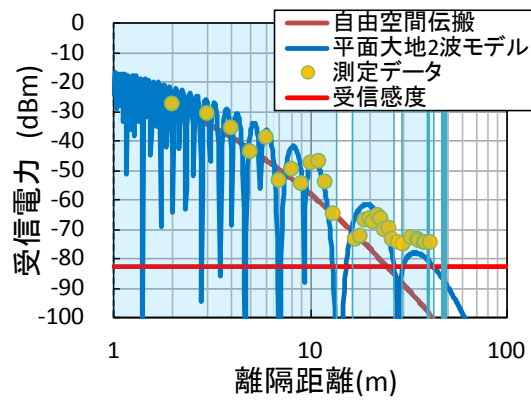


図 3-35 試作機による応答距離特性の受信電力

### 3.2.6 屋外実証実験（雪氷環境外）のまとめ

屋外実証実験（雪氷環境外）ではディテクター、リフレクター及び試作機を利用して測定を実施した。

#### （1）ディテクター

ディテクターからの送信信号の伝搬特性は、平面大地 2 波モデルの机上計算に一致している結果であった。積雪の無い開放された環境下においては、ディテクターからの送信信号は理論計算を用いて推定することが可能である。

#### （2）リフレクター

ディテクターとリフレクターを用いた応答距離特性では、リフレクターの周波数特性を考慮した机上計算に一致した結果であった。空中線電力約 1W では 50m 程度まで応答することが確認できたが、樹木等によって見通しがさえぎられる場合には 50m 未満でも応答しない場合もあった。

#### （3）試作機

試作機を用いた応答距離特性等の結果では、ディテクターと同様に机上計算に一致した結果であった。雪氷環境外においても、試作機からの送信信号でリフレクターが応答することも合わせて確認することができた。よって、ディテクターが既存品以外でも、リフレクターは問題なく動作すると考えられる。

### 3.3 屋外実証実験（雪氷環境）

#### 3.3.1 概要

電探システムのディテクター及びリフレクターの電気的特性の測定について、主に利用される雪氷による影響がある環境（以下、「雪氷環境」という。）での伝搬距離特性を確認する。

電探システムを用いた雪氷環境外の屋外実証実験を実施した期間と場所は表 3-6 のとおりであり、実施場所については、雪氷環境外と同じである。実施場所の風景は図 3-36 のとおりであり、積雪が 60cm 程度の環境である。また、試験装置については、雪氷環境外と同じものを利用した。

表 3-6 屋外実証実験（雪氷環境）の実施概要

項目	内容
実施期間	2017年1月29日（日）～2017年2月2日（木）
実施場所	長野県北安曇野郡白馬村 白馬クロスカントリー競技場（スノーハープ）及び周辺道路



(a) スノーハープ周辺道路

(b) スノーハープ敷地内

図 3-36 実施場所の風景

#### 3.3.2 ディテクターの伝搬距離特性

雪氷環境外と同様、ディテクターからの送信信号の伝搬特性の測定をスノーハープ周辺道路の開放地で実施した。ディテクターからの伝搬特性についてはリフレクターまでの到達電力の確認をするとともに、周波数共用検討における伝搬距離の机上計算にも使用することが可能となる。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

(1) 測定方法

伝搬距離特性の概略図を図 3-37、測定系は図 3-38 のとおりである。積雪高が 60cm 程度であり、その上に 928.5MHz のディテクターを設置高 1.5m 及び 3.0m で、地面に対して水平に設置する。雪氷環境外では受信アンテナの設置高を 0.2m で測定を実施したが、積雪のため、受信アンテナの設置高は 1.5m 及び 3.0m とし、ディテクターと同様に地面に対して水平に設置する。

伝搬距離特性の測定風景は図 3-39 のとおりであり、ディテクターと受信アンテナ間の離隔距離を変更して、ディテクターからの受信電力を測定した。

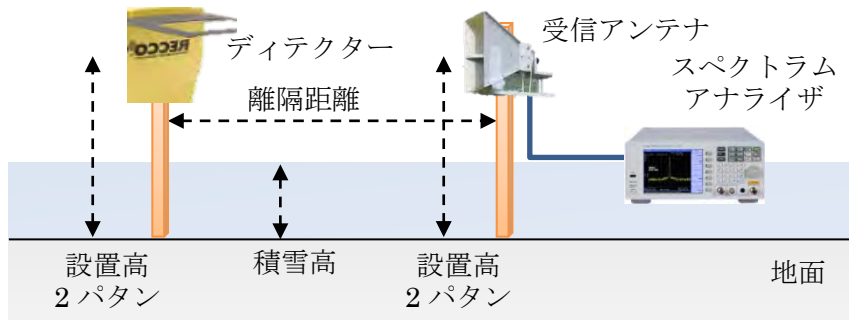


図 3-37 伝搬距離特性の概略図

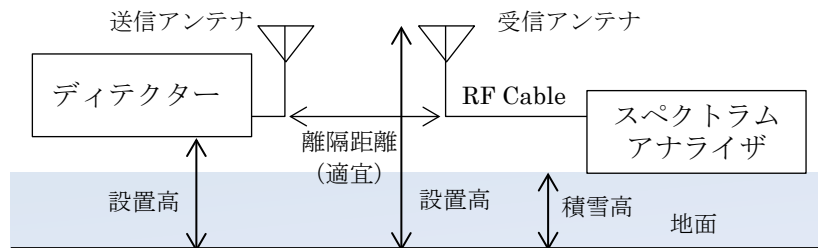


図 3-38 伝搬距離特性の測定系



(a)ディテクター設置風景

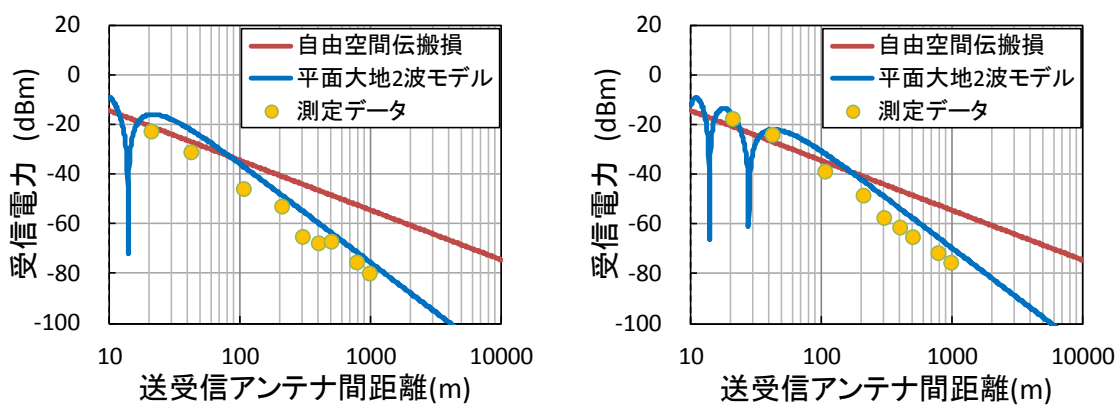


(b)受信アンテナ設置風景

図 3-39 伝搬特性の測定風景

(2) 測定結果

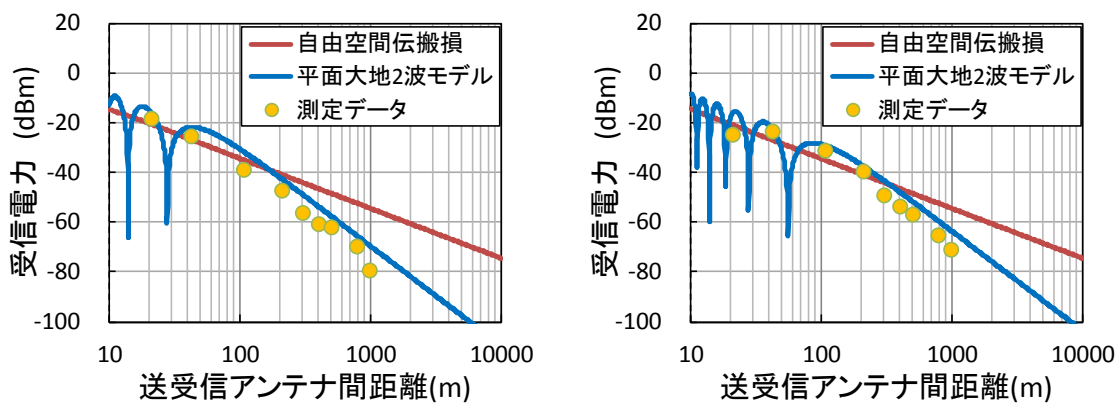
伝搬特性の測定結果は図 3-40、図 3-41 のとおりであり、測定結果のグラフには 928.5MHz における自由空間伝搬と平面大地 2 波モデルによる机上計算結果を合わせて示す。測定環境が見通しのある直線道路上であったことから、いずれのアンテナ高の組み合わせにおいても平面大地 2 波モデルにほぼ一致する結果であった。積雪 60cm の環境下においても、見通しのある直線道路上ではディテクターからの送信信号の強度は理論計算を用いて算出することが可能と考えられる。



(a)ディテクター設置高 1.5m

(b)ディテクター設置高 3.0m

図 3-40 受信アンテナ高 1.5m



(a)ディテクター設置高 1.5m

(b)ディテクター設置高 3.0m

図 3-41 受信アンテナ高 3.0m

### 3.3.3 リフレクターの応答距離特性

雪氷環境外と同様、スノーハーブ敷地内で、リフレクターの応答距離特性の測定を実施した。測定結果は周波数共用検討における伝搬距離の机上計算や、本システムに必要な空中線電力の算出等の技術的条件の検討に使用する。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

#### (1) 測定方法

応答距離特性の概略図を図 3-42 と図 3-43、測定系は図 3-44 のとおりであり、928.5MHz のディテクターを人が利用する状態を想定して雪面上に設置高 1.5m で、地面に対して水平に設置する。リフレクターの設置高は、雪面上に 0.0m (雪面設置)、0.2m、1.5m、2.5m 及び 3.0m、雪面下に 0.2m、0.4m、0.6m とし、地面に対して垂直となるように設置する。また、受信電力を測定するための受信アンテナをディテクターと同じ設置高 1.5m とし、並べて設置する。

応答距離特性の測定風景は図 3-45 のとおりであり、ディテクターとリフレクターの離隔距離を変更して、ディテクターの応答音と受信電力を同時に測定した。

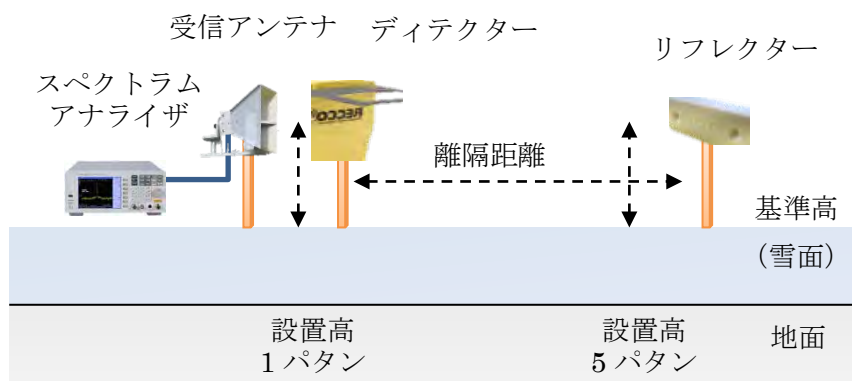


図 3-42 応答距離特性の概略図 (雪面上設置)

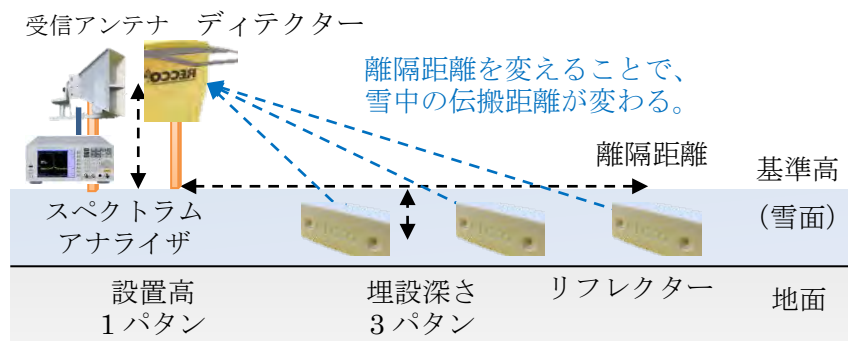


図 3-43 応答距離特性の概略図 (雪面下設置)



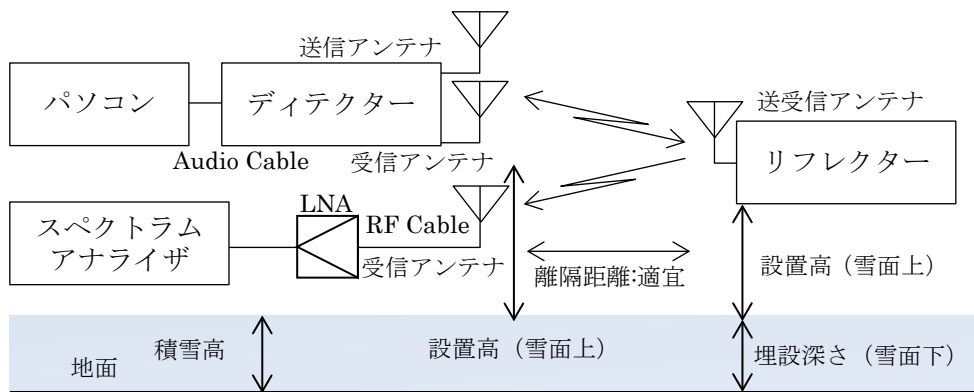
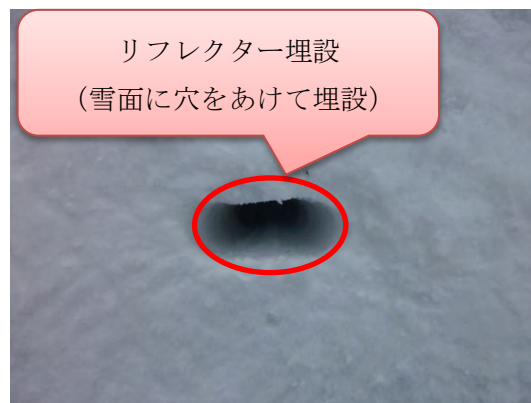


図 3-44 応答距離特性の測定系



(a) ディテクター設置風景



(b) リフレクター設置風景



(c) リフレクター設置高 3.0m



(d) リフレクター設置高 0.2m

図 3-45 応答距離特性の測定風景

(2) 測定結果

応答距離特性の測定において、ディテクターからの音判定による結果は図 3-46 のとおりである。リフレクターの設置高は、雪面を 0m として雪面下に埋設した場合にはマイナ

ス値で示している。リフレクターからの応答音がディテクターで判定できた地点を色で表しており、アンテナ高によっては、離隔距離の途中の区間で音の判定ができない場合もあったが、リフレクター設置高 1.5m の場合に離隔距離約 42m まで音の判定が出来た。図 3-31 の雪氷環境外における測定結果と比較すると、雪面上にリフレクターを設置した場合には距離が伸びている結果となった。これは、雪面を 0m としているが、実際には積雪の約 65cm が地上からのアンテナ高に加算されるため、アンテナ高が高くなった分遠方まで届くようになったものと考えられる。

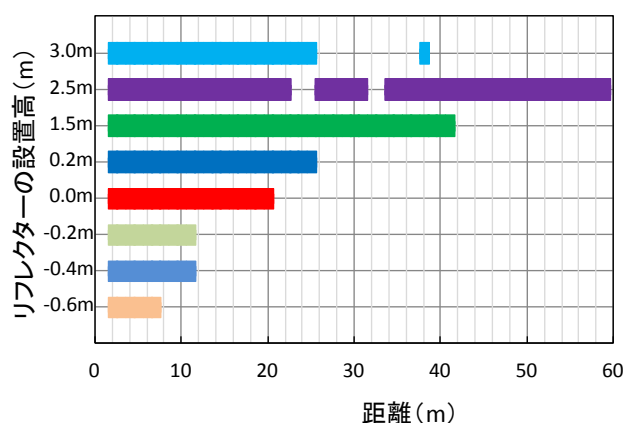
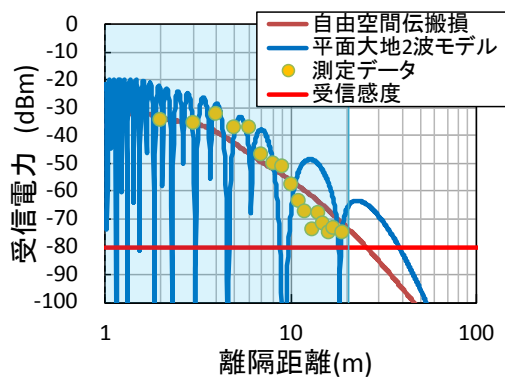


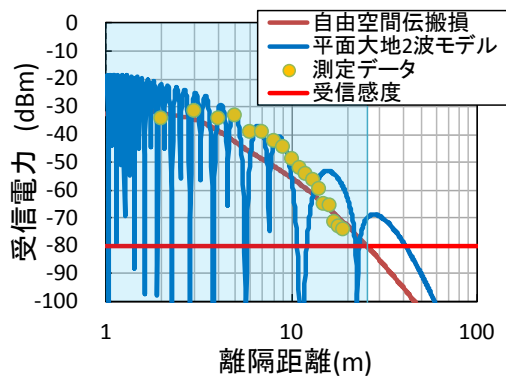
図 3-46 応答距離特性の音判定

リフレクターからディテクターに戻ってくる受信電力の測定結果は図 3-47 のとおりである。なお、受信電力はディテクターに並べて設置した受信アンテナを用いたスペクトラムアナライザで測定した値で示している。グラフにある受信感度の値は、屋外実証実験の実施前に確認した受信感度-122.2dBm から受信アンテナ、ケーブル損失、LNA 利得を換算した値である-82.5dBm で描画をしている。また、図中に示す机上計算は、リフレクターの応答電力特性や離隔距離によるアンテナパターンを考慮し、ディテクターとリフレクター間の往復の空間損失も含めている。さらに、グラフの背景を青く塗りつぶしている領域は、ディテクターで音判定ができた地点を示している。加えて、雪面下にリフレクターを埋設した場合には、雪の損失を含めている。雪の損失は測定時に取得した雪密度と含水率より導いた 4.5dB/m@928.5MHz と 17.7dB/m@1857MHz を用いている。

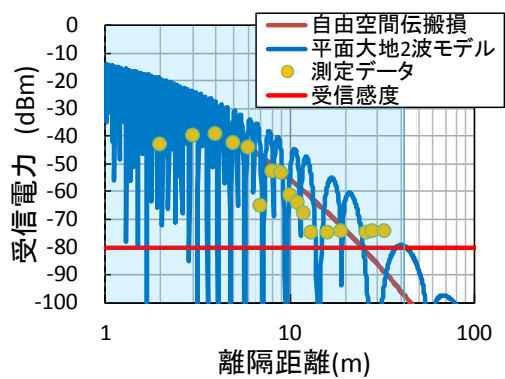
スペクトラムアナライザで測定した受信電力及び音判定の結果はリフレクターの応答距離特性を考慮した机上計算と比較すると、雪氷環境下では自由空間伝搬モデルに近い結果であった。



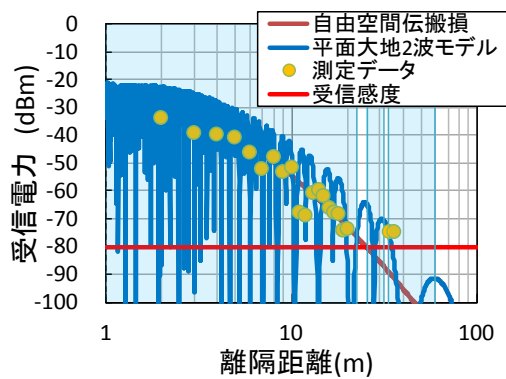
(a) リフレクター設置高 0.0m



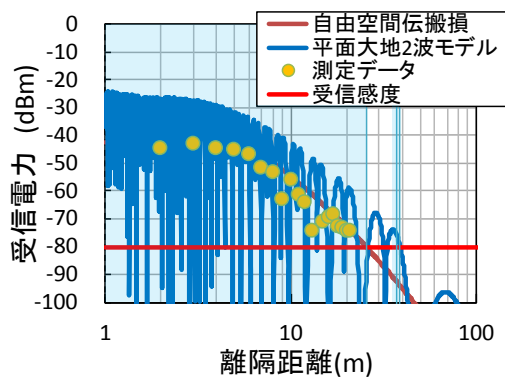
(b) リフレクター設置高 0.2m



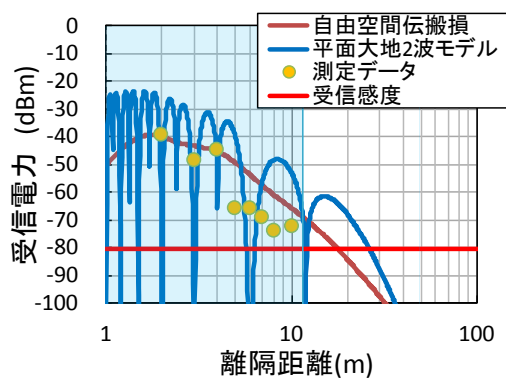
(c) リフレクター設置高 1.5m



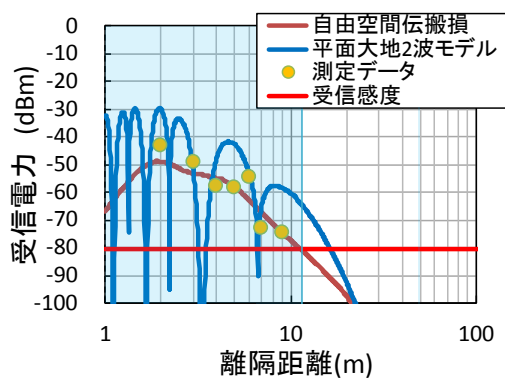
(d) リフレクター設置高 2.5m



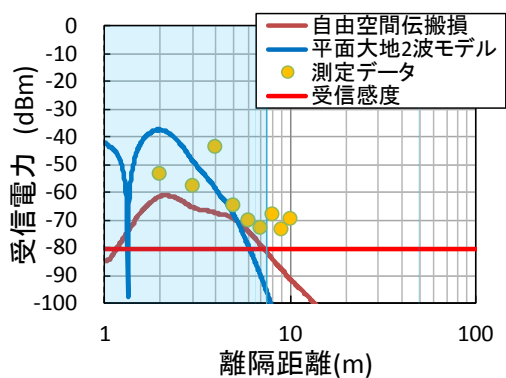
(e) リフレクター設置高 3.0m



(f) リフレクター設置高 -0.2m



(g) リフレクター設置高 -0.4m



(h) リフレクター設置高 -0.6m

図 3-47 応答距離特性の受信電力

### 3.3.4 雪埋設による減衰

雪埋設時におけるリフレクターの応答する距離特性の測定を実施した。埋設位置を変化させることで雪中での伝搬距離を変化させ、受信電力の変化を記録する。また、試作機を用いた応答音の確認も合わせて実施した。測定方法及び測定結果については以下のとおりである。

#### (1) 測定方法

雪埋設の概略図を図 3-48、測定系は図 3-49 のとおりであり、928.5MHz のディテクターを雪面から設置高 1.5m で地面に対して水平に設置する。また、受信電力を測定するための受信アンテナをディテクターと同じ設置高 1.5m で並べて設置する。リフレクターの設置高も地上から 1.5m とし、地面に対して垂直となるように設置する。積雪からの離隔距離を 1.5m に固定し、リフレクターの埋設位置を変えて埋設距離を変化させた。試作機はディテクターに併設し、ディテクターの受信部を用いてリフレクターからの応答音を確認した。

雪埋設の測定風景は図 3-50 のとおりであり、リフレクターの埋設距離を変更して、ディテクターから発生される音とリフレクターからの受信電力を同時に測定した。なお、(d) の垂直方向設置については、ダイポールアンテナを使用して雪による減衰を測定した。

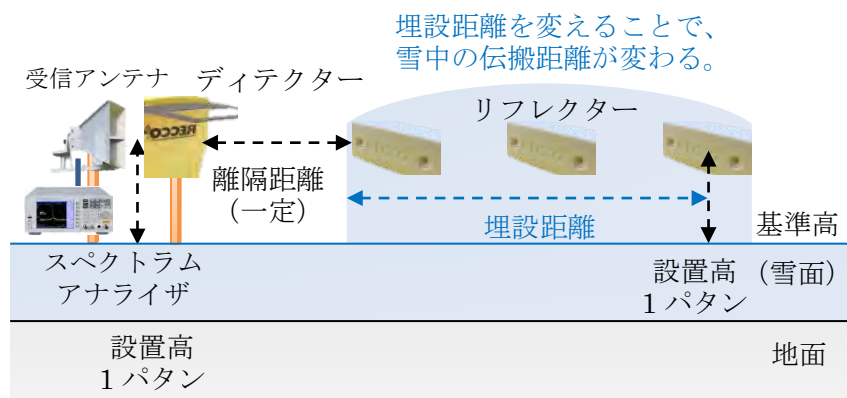


図 3-48 雪埋設の概略図

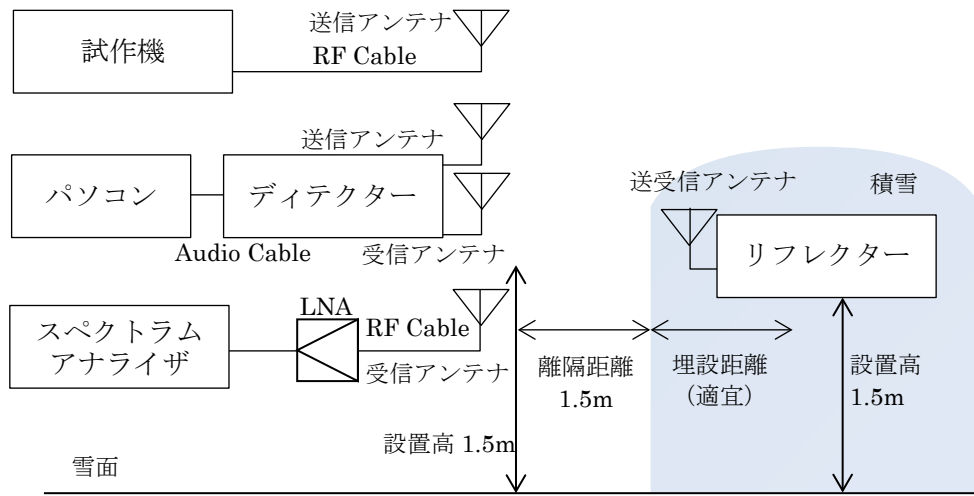


図 3-49 雪埋設の測定系



(a) ディテクター設置風景



(b) リフレクター埋設



(c) 試作機設置風景



(d) 垂直方向設置風景

図 3-50 雪埋設によるの測定風景

## (2) 測定結果

雪埋設における減衰量の測定結果は図 3-51 のとおりである。離隔距離 1.5m 地点の雪に埋もれていない場所にリフレクターを設置した値を基準の受信電力とし、埋設距離を変えた時の受信電力との差を減衰量としている。測定は日付を変えて 2 回実施したところ、埋設距離が 1m を超えるあたりから減衰量に 10dB 以上の差が見られた。グラフには、測定時に取得した雪密度と含水率から求めた雪減衰として、1 回目 4.3dB/m@928.5MHz と 16.7dB/m@1857MHz、2 回目 3.8dB/m@928.5MHz と 14.8dB/m@1857MHz の理論値を合わせて示す。なお、雪密度と含水量は付属資料 7 に示す。同じ場所での測定であるが、時間経過と共に雪質が変わったことから測定結果と理論値のばらつきが見られた。また、理論計算値と差が 10dB 程度となった結果もあるが、これは積雪状態も一様ではないことも原因と考えられる。

垂直方向の設置の 928.5MHz での雪減衰の結果は図 3-52 のとおりである。この結果にも雪減衰の理論値を合わせて示している。理論値では、1m 当り 4.1dB の減衰であるが、実測は半分の 2dB 程度であった。なお、図 3-51 の結果についても、1m の埋設距離で見ただけには理論計算値の方が実測値よりも 3dB 程度大きい結果であった。

ディテクターによるリフレクターからの応答音については、測定 1 回目は埋設の深さ 2m で聞こえなくなったが、測定 2 回目では埋設の深さ 2.5m でも聞こえた。これは測定時の雪の状況が時間変化で変わってしまい、その結果として減衰量が変わったことによることが原因と考えられる。特に 1 回目の測定では 2m を超える場合にはスペクトラムアナライザで測定ができないほど減衰していた。なお、試作機を用いたリフレクターからの応答音についても、ディテクターと同様の結果であった。

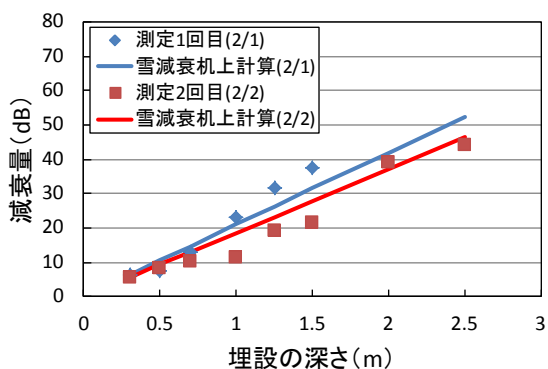


図 3-51 雪減衰量 (928.5MHz と 1857MHz)

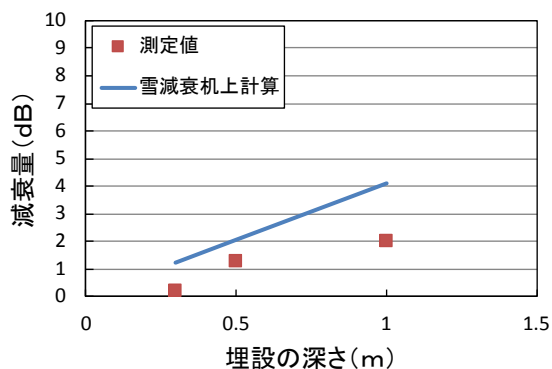


図 3-52 雪減衰量 (928.5MHz)



### 3.3.5 屋外実証実験（雪氷環境）のまとめ

雪氷環境の屋外実証実験ではディテクター、リフレクター及び試作機を利用して測定を実施した。

#### (1) ディテクター

ディテクターからの送信信号の伝搬距離特性は、平面大地 2 波モデルの机上計算に一致している結果であった。積雪状態で開放された環境においては、ディテクターからの送信信号は理論計算を用いて算出することが可能である。

#### (2) リフレクター

ディテクターとリフレクターを用いた応答距離特性では、リフレクターの周波数特性を考慮した自由空間伝搬モデルの机上計算に一致した結果であった。空中線電力約 1W では雪面上 1.5m の高さで 40m 程度まで応答することが確認できたが、樹木等によって見通しがさえぎられる場合には 40m 未満でも応答しない場合もあった。

雪面下にリフレクターが埋もれている場合には、雪減衰の理論値を含めると自由空間伝搬モデルの机上計算に一致した結果であった。本実証実験で用意したディテクターの諸元であれば埋設の深さが 0.4m 程度であれば 10m 程度の離隔距離でも反応することも確認できた。

雪面からの離隔距離 1.5m で探知した場合は、深さ 2.5m で応答することもあったが、2m で反応しない場合もあり、雪の状態により異なることを確認した。

#### (3) 雪の減衰

ディテクターとリフレクターを用いた雪の減衰測定では、雪減衰の理論値と比較しても 10dB の差が見られた。雪の状況は時間で変わることや積雪状態が一様ではないことから理論計算と測定データが完全に一致することは難しい。ただし、測定では埋設距離が増えた場合には雪による減衰量も増加し、今回の測定結果から減衰量の埋設距離における増加傾向は似ていたことから、ディテクターとリフレクターの探索距離から必要となる空中線電力の算出には、雪減衰の理論計算を含めることが必要である。この場合、雪密度や含水量は時間とともに変化することから測定時の雪の状態を想定する必要がある。



## 第4章 共用検討

### 4.1 共用検討の概要

#### 4.1.1 共用検討の流れ

電探システムが利用を想定している周波数帯域には、携帯電話、RFID、MCA などの各種システムが既に存在しており、導入するためには、これらのシステムと共用可能か検討をする必要がある。電波暗室内で実施したリフレクターの動作する周波数帯を中心に共用検討を実施する。検討周波数帯は 850MHz～1000MHz とし、既に利用されている他システムとの共用検討を行う。得られた共用検討の結果を基に電探システムの技術的条件等を検討する。

電探システムと他システムとの共用検討の主な流れは図 4-1 のとおりである。

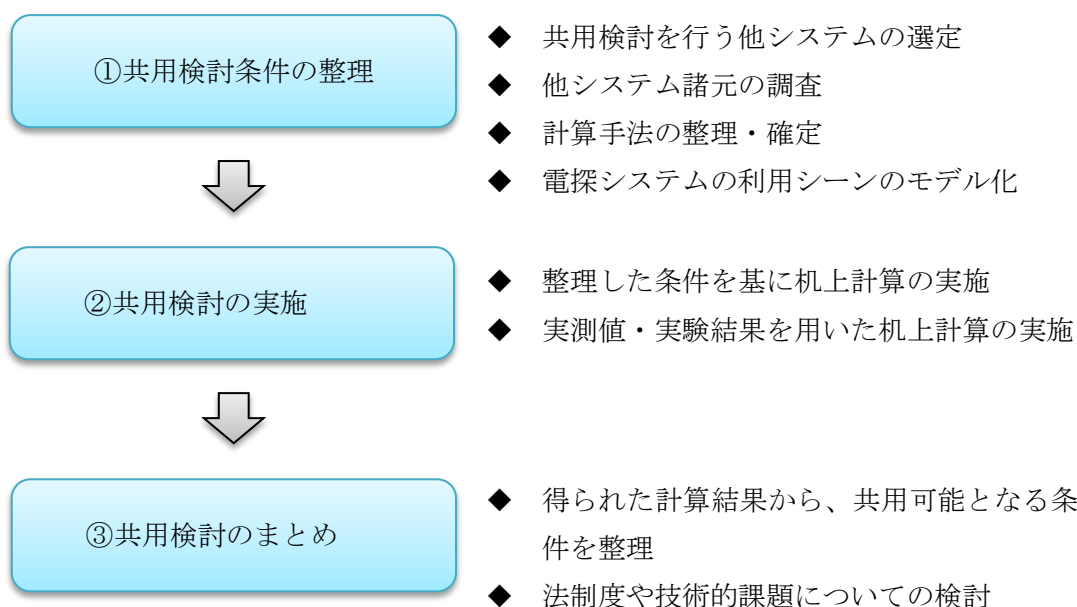


図 4-1 共用検討の流れ

#### 4.2 検討に用いる手法

共用検討は、システムのモデル化や諸元を用いて、所要最少減衰量(以下、MCL(Minimum Coupling Loss)という。)を算出し、MCLを満足するために必要な所要改善量を算出する。この所要改善量と許容干渉レベルの値を用いて干渉の判定を行う。表 4-1 は所要改善量を算出するパラメータである。

表 4-1 算出パラメータ

分類	項番	項目	単位	備考
与干渉局	(01)	最大送信電力	dBm	
	(02)	送信アンテナ利得	dBi	
	(03)	送信給電線損失	dB	
	(04)	帯域幅	MHz	
	(05)	送信マスク減衰量	dBr	
	(06)	帯域外輻射電力密度	dBm/MHz	$=(01)+(02)-(03)-10\log[(04)]-(05)$
	(07)	帯域内輻射電力 (EIRP)	dBm	$=(01)+(02)-(03)$
	(08)	帯域内輻射電力密度	dBm/MHz	$=(01)+(02)-(03)-10\log[(04)]$
被干渉局	(09)	受信アンテナ利得	dBi	
	(10)	受信給電線損失	dB	
	(11)	許容干渉レベル	dBm/MHz	
所要最少減衰量	(12)	MCL	dB	$=(06)+(09)-(10)-(11)$
伝搬条件	(13)	送信アンテナ高	m	
	(14)	受信アンテナ高	m	
	(15)	局間水平距離	m	
	(16)	伝搬路の距離	m	
アンテナ特性	(17)	送信アンテナ指向性減衰	dB	
	(18)	受信アンテナ指向性減衰	dB	
伝搬損失	(19)	伝搬損失 (自由空間など)	dB	$=伝搬損失+(17)+(18)$
その他	(20)	付加損失 (XPD)	dB	
所要改善評価	(21)	所要改善量	dB	$=(12)-(19)-(20)$

#### 4.2.1.1 所要改善量による評価

使用する周波数帯による所要改善量のイメージは図 4-2 のとおりである。与干渉システムと被干渉システムの周波数により隣接及び同一の条件で所要改善量を算出する。被干渉システムの帯域内干渉許容値と帯域外干渉許容値の許容干渉レベルを用いる。

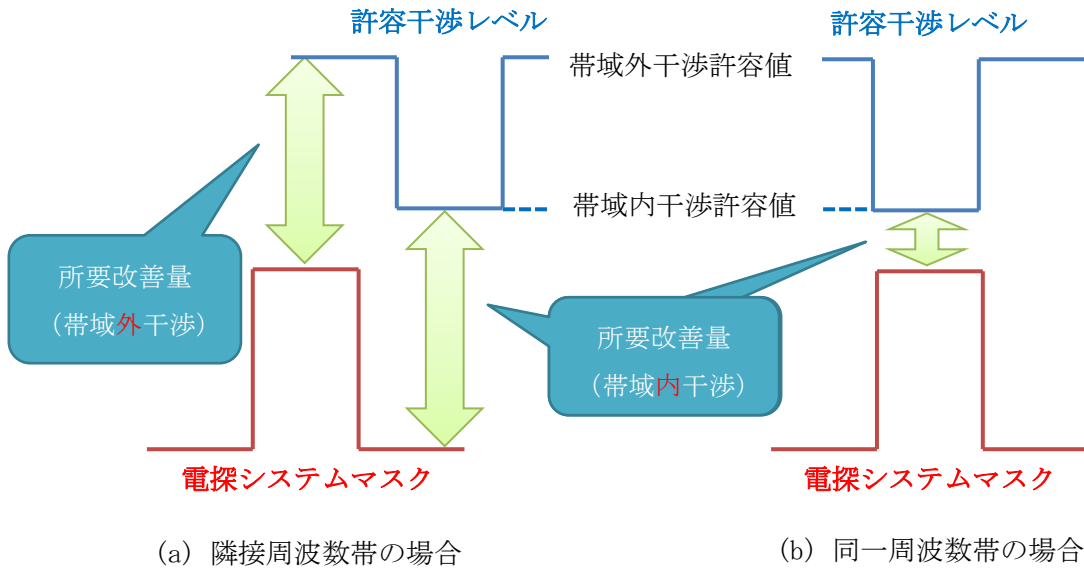


図 4-2 所要改善量イメージ

#### 4.2.1.2 1対1の対向モデルによる検討

現実的な設置条件に近いモデルとして、アンテナ高低差を考慮した検討モデルで干渉調査を実施する。空間伝搬損失と垂直方向の指向性減衰量を足し合わせた損失が最小となる離隔距離、つまり最悪値条件となる離隔距離での所要改善量を算出する。図 4-3 は 1 対 1 対向モデルのイメージである。なお、電探システムが雪崩等発生現場で利用されることを想定して、離隔距離は 10m 以遠として共用検討を実施する。

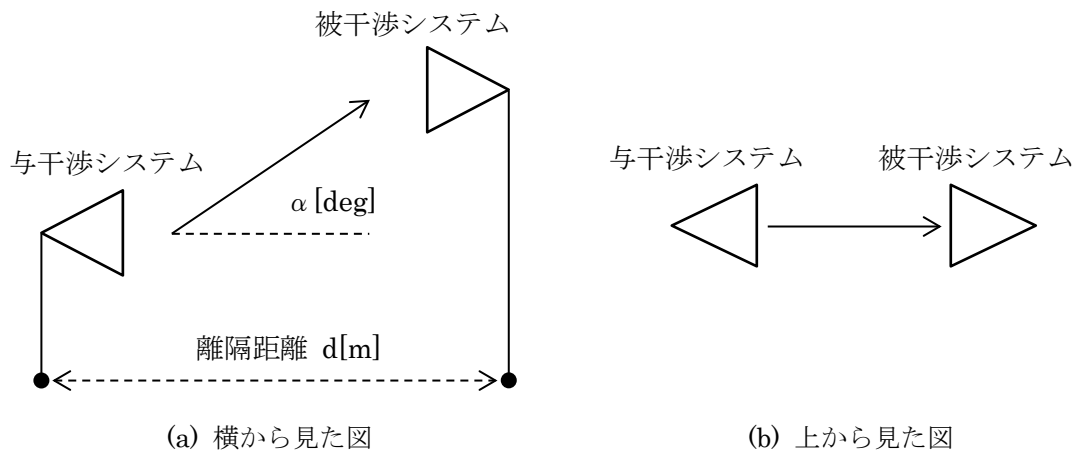


図 4-3 1対1対向モデル

### 4.2.1.3 伝搬モデル

所要改善量、必要離隔距離算出に使用する伝搬モデルは以下のとおりである。

#### (1) 自由空間伝搬損失

あるポイントのエネルギーが同心円状に拡散するような理想環境において示される伝搬損失式である。

$$L = 20 \log(4\pi d / \lambda) = 20 \log(4\pi f d / c) = 20 \log f + 20 \log d + 20 \log(4\pi / c) \\ = 20 \log f + 20 \log d + 32.4 \text{ (dB)}$$

f : 周波数 [MHz]

d : 距離 [km]

C : 光速  $3.0 \times 10^8$  [m/s]

#### (2) 平面大地伝搬モデル

平面大地に送信点と受信点を配置すると、受信点には直接波と大地反射波の 2 波が到来し、互いに干渉を生じる。

$$L = 20 \log(4\pi d / \lambda) - 10 \log\{1 + \gamma^2 + 2\gamma \cos(2\pi \Delta l / \lambda + \varphi)\}$$

伝搬距離差  $\Delta l = 2h_b h_m / d$

f : 周波数 [MHz]

d : 距離 [km]

$h_b$  : 基地局アンテナ高 [m]

$h_m$  : 基地局アンテナ高 [m]

$\gamma$  : 大地反射係数 (振幅)

$\varphi$  : 大地反射係数 (位相) [deg]

#### (3) 奥村-秦モデル (開放地)

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d + C$$

$$C = -4.78 (\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94$$

$$a(h_m) = (1.1 \log f - 0.7) h_m - (1.56 \log f - 0.8)$$

f : 周波数 [MHz]

$h_b$  : 基地局アンテナ高 [m]

$h_m$  : 移動局アンテナ高 [m]

d : 距離 [km]

$a(h_m)$  : 移動局アンテナ高に対する補正項

C : 都市の規模に応じた補正值

### 4.3 共用検討条件

#### 4.3.1 検討周波数

現在、電探システムに関して験試験局で免許されている周波数及び電波暗室試験で特性が良好であった帯域などを中心に、895MHz、919.2MHz、928.5MHz、941.5MHz を、共用検討を行う周波数として選定した。共用検討を行う周波数の配置は図 4-4 のとおりである。電波暗室内の実証実験で確認できたとおり、リフレクターからの送信周波数はディテクターの 2 倍の周波数であることから、共用検討においても 2 倍の周波数で検討を行う。なお、各システムのダウンリンクを（↓）、アップリンクを（↑）で表記する。

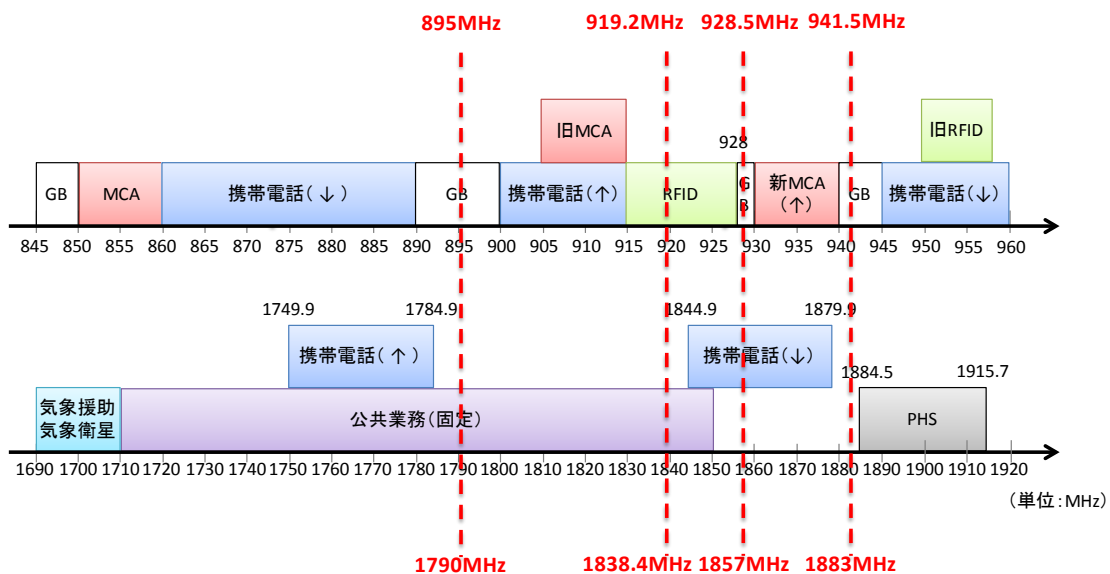


図 4-4 周波数使用状況

#### 4.3.2 対象システム

共用検討を行う与干渉システム及び被干渉システムの組み合わせは表 4-2 のとおりである。919.2MHz におけるディテクターと RFID 及び 1857MHz におけるリフレクターと携帯電話（↓）との組み合わせについては同一周波数帯における帯域内干渉となる。その他の組み合わせについては、隣接周波数帯における帯域外及び帯域内干渉となる。

表 4-2 共用検討の組み合わせ

周波数	与干渉システム	被干渉システム
895MHz	電探システム (ディテクター)	携帯電話 (↓) [860MHz～890MHz] 携帯電話 (↑) [900MHz～915MHz]
919.2 MHz		携帯電話 (↓) [945MHz～960MHz] 携帯電話 (↑) [900MHz～915MHz] MCA システム RFID
928.5 MHz		携帯電話 (↓) [945MHz～960MHz] 携帯電話 (↑) [900MHz～915MHz] MCA システム RFID <sup>注1</sup>
941.5 MHz		携帯電話 (↓) [945MHz～960MHz] 携帯電話 (↑) [900MHz～915MHz] MCA システム
1790 MHz	電探システム (リフレクター)	携帯電話 (↑) [1749.9MHz～1784.9MHz]
1838.4 MHz		携帯電話 (↓) [1844.9MHz～1979.9MHz]
1857 MHz		携帯電話 (↓) [1844.9MHz～1979.9MHz] <sup>注1</sup>
1883 MHz		携帯電話 (↓) [1844.9MHz～1979.9MHz] PHS

注 1: 同一周波数帯における帯域内干渉の組み合わせ

表 4-3 共用検討の検討無線局

システム	検討を実施する無線局
携帯電話 (↓)	LTE 移動局 中継局 (基地局対向器 屋外用) 中継局 (基地局対向器 屋内用一体型) 中継局 (基地局対向器 屋内用分離型) 小電力レピータ (基地局対向器一体型) 小電力レピータ (基地局対向器分離型)
携帯電話 (↑)	LTE 基地局 中継局 (移動局対向器 屋外用) 中継局 (移動局対向器 屋内用一体型) 中継局 (移動局対向器 屋内用分離型) 小電力レピータ (移動局対向器)
MCA システム	陸上移動中継局
RFID	RFID 高出力パッシブタグシステム (1W) RFID 中 (低) 出力パッシブタグシステム (250mW、10mW) RFID アクティブタグシステム (250mW) RFID アクティブタグシステム (20mW) RFID アクティブタグシステム (1mW)
PHS	PHS (基地局) PHS (移動局) PHS (小電力レピータ (屋内) )

### 4.3.3 共用検討における利用シーン

共用検討における電探システムの利用シーンは図 4-5 のとおりである。共用検討においては、海外での電探システムの利用を想定した利用シーンも合わせて検討を行うため、ヘリコプターやドローンに搭載した場合のパラメータも検討に含める。

地上高については、捜索者が使う場合を想定して 1.5m とする。ヘリコプターでの利用を想定した場合には、救助時に電探システムの探索限度を考慮して 10m~200m とする。ドローンでの利用を想定した場合には、許可・承認が不要な高度である 30m~150m とする。なお、リフレクターについては雪崩などで 1m 程度埋もれた場合とする。実際には雪崩等ではもっと深く埋もれることもあるが、共用検討においては条件の厳しい 1m とする。



図 4-5 利用シーン

### 4.3.4 共用検討のモデル化

電探システムの諸元や利用シーンを踏まえて共用検討計算に使用するモデルケースの与干渉パラメータを表 4-4 に示している。ディテクターの不要輻射電力については、電波暗室の実証実験で得られた実測値を用いることとする。不要輻射電力の実力値は図 4-6 のとおりである。電探システムの空中線電力は公証値の 4W を上限とする。

人体損失について、ディテクターについては人が手を伸ばして前面で操作することから考慮しないこととする。リフレクターについては、人が着ているウェア等についていることを考慮し、情報通信審議会携帯電話等高度化委員会報告等を参考に 8dB とする。

樹木遮蔽損失については、雪崩等が発生する現場は山岳等であることが多いことから伝搬路内に 10m 程度の樹木が存在することを想定し、900MHz 帯では 1.7dB、1800MHz 帯では 2.9dB の損失とする。

雪による損失については、積雪等の誘電的性質を有する媒質中の電波伝搬による机上計算から、ディテクターについては 1.9dB/m、リフレクターについては 7.4dB/m とする。ただし、雪の密度 0.3、体積含水率 3% の条件である。また、共用検討において雪に埋もれていないシステム間での共用検討の場合には、雪による損失は含めない。

共用検討は各種システム諸元及び伝搬損失モデル式などで条件の厳しいものを使用する。

これらの条件を踏まえて利用シーンをモデル化し、ヘリコプターやドローンに乗せたモデルについても検討を行う。



表 4-4 モデルケースの与干渉パラメータ

項目	ディテクター			リフレクター
送信周波数	895 MHz 919.2MHz 928.5 MHz 941.5 MHz			1790 MHz 1838.4MHz 1857 MHz 1883 MHz
受信周波数	1790 MHz 1838.4MHz 1857 MHz 1883 MHz			-
空中線電力	4W/1W (36 dBm/30 dBm)			入力電力- 5 dB <sup>注1</sup>
アンテナ利得	9 dBi			0 dBi
指向減衰	オムニ/実測結果			オムニ/実測結果
不要輻射電力	実測値 -58.4 dBc (13.5 MHz 離調) -62.8 dBc (38.5 MHz 離調)			-50 dBc
搜索者	人	ヘリコプター	ドローン	-
地上高	1.5m	10m~200m の 最小値/最大値	30m~150m の 最小値/最大値	-1m
操作角度	水平方向	真下	真下	-
人体損失	0 dB	0 dB	0 dB	8 dB
樹林遮蔽損失	推定値:1.7dB	推定値:1.7dB	推定値:1.7dB	推定値:2.9dB
埋もれる深さ	-	-	-	1 m
雪の損失	推定値:1.9dB/m			推定値:7.4dB/m
伝搬モデル	自由空間/ 平面大地	自由空間	自由空間	自由空間/ 平面大地

(注1) 実験結果よりリフレクターからの応答電力はリフレクターへの入力電力から 5dB 程度の応答損失であった。机上計算ではディテクターとリフレクター間を 10m と仮定し、その時の反射電力を用いる。なお、ディテクターからの伝搬損失は自由空間損失式を用いる。

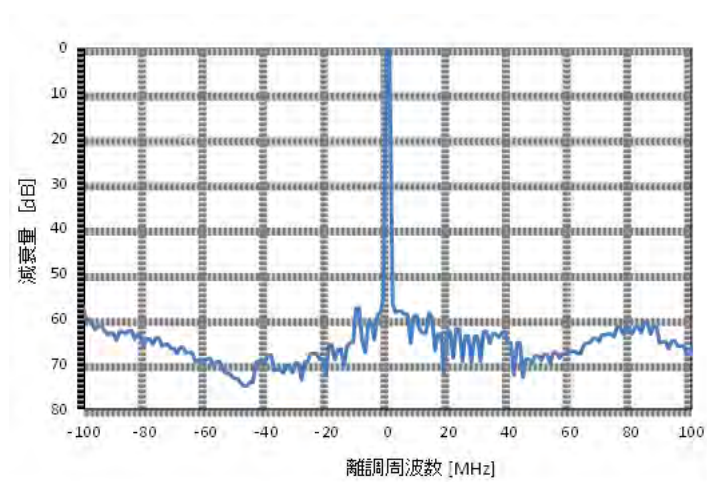


図 4-6 不要輻射電力特性

#### 4.4 共用検討結果

周波数毎の共用検討の結果は以下のとおりである。ここでの共用検討結果は電探システムの主な利用方法である雪崩等の遭難時を想定し、捜索関係者がディテクターを水平に所持した状態で、リフレクターを付けた遭難者が雪に1m埋もれている状態での結果である。また、自由空間伝搬損失、平面大地伝搬モデルを用いた共用検討結果のうち、所要改善量が最大となる結果を示している。

##### 4.4.1 895MHzの共用検討結果

携帯電話（↓）との共用検討結果は表 4-5、携帯電話（↑）との共用検討結果は表 4-6 のとおりである。

携帯電話（↓）のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（基地局対向器一体型）の44.0dBとなり、所要改善量が0dBとなる必要な離隔距離は1.58kmであった。また、帯域外干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（基地局対向器一体型）の46.7dBとなり、所要改善量が0dBとなる必要な離隔距離は2.155kmであった。

表 4-5 携帯電話（↓）との共用検討結果（895MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	37.2	0.722	40	0.997
中継局（基地局対向器 屋外用）	7.9	0.128	10.6	0.175
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	28.3	0.259	31	0.354
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	13.7	0.057	16.4	0.067
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	44	1.58	46.7	2.155
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	40.7	1.144	43.4	1.561

携帯電話（↑）のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（移動局対向器）の41.7dBとなり、所要改善量が0dBとなる必要な離隔距離は1.213kmであった。また、帯域外干渉の最も大きい所要改善量は、同様に小電力レピータ（移動局対向器）の25.9dBとなり、所要改善量が0dBとなる必要な離隔距離は0.197kmであった。

表 4-6 携帯電話（↑）との共用検討結果（895MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	6.2	0.179	-10.7	0
中継局（移動局対向器 屋外用）	27.5	0.226	11.7	0.031
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	27.7	0.242	11.9	0.039
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	23.1	0.108	7.3	0.021
小電力レピータ（移動局対向器）	41.7	1.213	25.9	0.197

#### 4.4.2 919.2MHz の共用検討結果

携帯電話（↓）との共用検討結果は表 4-7、携帯電話（↑）との共用検討結果は表 4-8、RFID との共用検討結果は表 4-9、MCA との共用検討結果は表 4-10 のとおりである。

携帯電話（↓）のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（基地局対向器一体型）の 38.1dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.808km であった。また、帯域外干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（基地局対向器一体型）の 34.0dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.504km であった。

表 4-7 携帯電話（↓）との共用検討結果（919.2MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	31.3	0.369	27.3	0.233
中継局（基地局対向器 屋外用）	-30.8	0	-34.9	0
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	-10.4	0	-14.5	0
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	-31.7	0	-35.8	0
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	38.1	0.808	34	0.504
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	34.8	0.585	30.7	0.365

携帯電話（↑）のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（移動局対向器）の 42.9dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 1.401km であった。また、帯域外干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（移動局対向器）の 25.6dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.191km であった。

表 4-8 携帯電話（↑）との共用検討結果（919.2MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	7.8	0.219	-10.6	0
中継局（移動局対向器 屋外用）	29	0.286	11.7	0.039
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	29.3	0.293	12	0.04
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	24.6	0.121	7.3	0.021
小電力レピータ（移動局対向器）	42.9	1.401	25.6	0.191

RFID のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、高出力パッシブタグシステムの 89.8dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 308.7km であった。

表 4-9 RFID との共用検討結果（919.2MHz）

共用検討対象システム	同一周波数帯域内干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
RFID		
高出力パッシブタグシステム	89.8	308.675
中（低）出力パッシブタグシステム	86.8	218.525
アクティブタグシステム（250mW）	86.8	218.525
アクティブタグシステム（20mW）	86.8	218.525
アクティブタグシステム（1mW）	86.8	218.525

MCA（↑）との共用検討において、帯域内及び帯域外干渉の所要改善量は 0 以下となった。

表 4-10 MCA（↑）との共用検討結果（919.2MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
MCA（↑）				
中継局	-37.9	0	-35	0

#### 4.4.3 928.5MHz の共用検討結果

携帯電話（↓）との共用検討結果は表 4-11、携帯電話（↑）との共用検討結果は表 4-12、RFID との共用検討結果は表 4-13、MCA（↑）との共用検討結果は表 4-14 のとおりである。

携帯電話（↓）のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（基地局対向器一体型）の 35.1dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.575km であった。また、帯域外干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（基地局対向器一体型）の 34.0dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.504km であった。

表 4-11 携帯電話（↓）との共用検討結果（928.5MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	28.3	0.263	27.3	0.233
中継局（基地局対向器 屋外用）	-22.1	0	-23.2	0
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	2.5	0.014	1.4	0.014
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	-23	0	-24.1	0
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	35.1	0.575	34	0.504
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	31.8	0.416	30.7	0.365

携帯電話（↑）のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（移動局対向器）の 42.1dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 1.278km であった。また、帯域外干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（移動局対向器）の 25.6dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.191km であった。

表 4-12 携帯電話（↑）との共用検討結果（928.5MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	5.3	0.019	-12.3	0
中継局（移動局対向器 屋外用）	11.8	0.039	-4.7	0
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	16.6	0.063	0.1	0.012
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	7.4	0.021	-9.1	0
小電力レピータ（移動局対向器）	42.1	1.278	25.6	0.191

RFID のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、高出力パッシブタグシステムの 33.9dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.497km であった。また、帯域外干渉の最も大きい所要改善量は、高出力パッシブタグシステムの 27.5dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.237km であった。

表 4-13 RFID との共用検討結果 (928.5MHz)

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
RFID				
高出力パッシブタグシステム	33.9	0.497	27.5	0.237
中 (低) 出力パッシブタグシステム	30.9	0.352	24.5	0.168
アクティブタグシステム (250mW)	30.9	0.352	24.5	0.168
アクティブタグシステム (20mW)	30.9	0.352	24.5	0.168
アクティブタグシステム (1mW)	30.9	0.352	24.5	0.168

MCA (↑) との共用検討において、帯域内及び帯域外干渉の所要改善量は 0 以下となった。

表 4-14 MCA (↑) との共用検討結果 (928.5MHz)

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
MCA (↑)				
中継局	-10.5	0	-10	0

#### 4.4.4 941.5MHz の共用検討結果

携帯電話 (↓) との共用検討結果は表 4-15、携帯電話 (↑) との共用検討結果は表 4-16、MCA (↑) との共用検討結果は表 4-17 のとおりである。

携帯電話 (↓) のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ (基地局対向器一体型) の 42.5dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 1.347km であった。また、帯域外干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ (基地局対向器一体型) の 46.0dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 2.007km であった。

表 4-15 携帯電話（↓）との共用検討結果（941.5MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	35.7	0.616	39.3	0.928
中継局（基地局対向器 屋外用）	7.2	0.119	10.7	0.177
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	27.6	0.241	31.1	0.359
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	6.3	0.044	9.8	0.066
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	42.5	1.347	46	2.007
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	39.2	0.976	42.7	1.454

携帯電話（↑）のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（移動局対向器）の 32.5dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.423km であった。また、帯域外干渉の最も大きい所要改善量は、小電力レピータ（移動局対向器）の 25.6dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.191km であった。

表 4-16 携帯電話（↑）との共用検討結果（941.5MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	-36.4	0	-44.4	0
中継局（移動局対向器 屋外用）	-24.3	0	-31.2	0
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	-14.9	0	-21.8	0
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	-25	0	-31.9	0
小電力レピータ（移動局対向器）	32.5	0.423	25.6	0.191



MCA (↑) との共用検討において、帯域内及び帯域外干渉の所要改善量は 0 以下となった。

表 4-17 MCA (↑) との共用検討結果 (941.5MHz)

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
MCA (↑)				
中継局	-9.8	0	-10.1	0

#### 4.4.5 1790MHz の共用検討結果

携帯電話 (↑) との共用検討結果は表 4-18 のとおりである。

携帯電話 (↑) との共用検討において、帯域内及び帯域外干渉の所要改善量は 0 以下となった。

表 4-18 携帯電話 (↑) との共用検討結果 (1790MHz)

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話 (↑)				
LTE 基地局	-54.6	0	-80.6	0
中継局 (移動局対向器 屋外用)	-46.5	0	-71.4	0
中継局 (移動局対向器 屋内一体型)	-35.9	0	-60.8	0
中継局 (移動局対向器 屋内分離型)	-46.2	0	-71.1	0
小電力レピータ (移動局対向器)	-21.9	0	-46.8	0

#### 4.4.6 1838.4MHz の共用検討結果

携帯電話 (↓) との共用検討結果は表 4-19 のとおりである。

携帯電話 (↓) との共用検討において、帯域内及び帯域外干渉の所要改善量は 0 以下となった。なお、携帯電話 (↓) は 1844.9MHz までが割り当てられているが、今後の計画を考慮して 1839.9MHz で共用検討を実施した。

表 4-19 携帯電話（↓）との共用検討結果（1838.4MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	-29.2	0	-34	0
中継局（基地局対向器 屋外用）	-38.7	0	-43.6	0
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	-20.3	0	-25.2	0
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	-40.5	0	-45.4	0
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	-23	0	-27.9	0
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	-27.7	0	-32.6	0

#### 4.4.7 1857MHz の共用検討結果

携帯電話（↓）との共用検討結果は表 4-20 のとおりである。

携帯電話（↓）のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、中継局（基地局対向 屋内一体型）の 32.7dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.451km であった。また、中継局（基地局対向器 屋外用）の所要改善量が 20.7dB であるが、設置高が高いことから、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は最大の 0.517km であった。

表 4-20 携帯電話（↓）との共用検討結果（1857MHz）

共用検討対象システム	同一周波数帯域内干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）		
LTE 移動局	20.8	0.113
中継局（基地局対向器 屋外用）	20.7	0.517
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	32.7	0.451
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	12.6	0.118
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	27	0.234
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	29.1	0.234

#### 4.4.8 1883MHz の共用検討結果

携帯電話（↓）との共用検討結果は表 4-21、PHS との共用検討結果は表 4-22 のとおりである。

携帯電話（↓）との共用検討において、帯域内及び帯域外干渉の所要改善量は 0 以下となった。

表 4-21 携帯電話（↓）との共用検討結果（1883MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	-29.6	0	-34.4	0
中継局（基地局対向器 屋外用）	-59.1	0	-64	0
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	-40.7	0	-45.6	0
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	-60.8	0	-65.7	0
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	-23.4	0	-28.3	0
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	-28.1	0	-33	0

PHS のうち、帯域内干渉の最も大きい所要改善量は、PHS（基地局）の 16.4dB となり、所要改善量が 0dB となる必要な離隔距離は 0.057km であった。帯域外干渉の所要改善量は 0dB 以下となった。

表 4-22 PHS との共用検討結果（1883MHz）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
PHS				
PHS（基地局）	16.4	0.057	-28.4	0
PHS（移動局）	-15.6	0	-44.4	0
PHS（小電力レピータ（屋内））	2.7	0.011	-26.1	0

#### 4.4.9 電探システムの被干渉の影響

電探システムの同一周波数帯で利用されている他のシステムから受ける影響（被干渉）を検討する。電探システムの受信については、リフレクターから送信された2倍の周波数帯となることから、検討周波数帯は1800MHz帯とし、電探システムの利用周波数は900MHz帯と同様に4つの周波数とする。また、ディテクターについては捜索者が所持していることを想定し、高さ1.5mとする。なお、電探システムの許容干渉電力が定められていないため、装置の実力値である受信感度-122dBmと、諸元のSN10dBを用いて-132dBmを許容受信レベルとする。また、探索距離が1/10程度まで短くなることを許容した場合を仮定して、受信感度-102dBmでの検討も行う。なお、机上計算では最悪値を考慮し自由空間伝搬モデルを用いる。

共用検討結果は表4-23～表4-27のとおりである。いずれの検討結果でも所要改善量は0以下とはならず、離隔距離が必要となった。探索現場においてリフレクターからの応答距離が短くても十分利用に耐えうるとするならば、許容干渉レベルがもっと高くなっても良いこととなる。検討では探索距離を1/10程度で実施したが、さらに距離が短くなっても良いことであれば所要改善量が小さくなり離隔距離が短くなる。また、ディテクターを下に向けることや、他システムとの伝搬路が見通し外となれば干渉の影響も小さくなり、離隔距離を確保したとしても探索距離が長くなることもある。なお、付属資料6には他システムからの影響が大きいスノーパーク周辺道路での測定結果を示しており、探索距離が短くなることを確認している。

表 4-23 1790MHzにおける結果（携帯電話（↑））

共用検討対象与干渉システム	受信感度-122dBm		受信感度-102dBm	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 移動局	59.6	9.6	39.6	1
中継局（基地局対向器 屋外用）	31	1.8	11	0.2
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	48.8	2.8	28.8	0.3
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	27.4	0.5	7.4	0.1
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	60.1	10.1	40.1	1
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	56.8	7.3	36.8	0.7

表 4-24 1838.4MHz における結果 (携帯電話 (↓))

共用検討対象与干渉システム 携帯電話 (↓)	受信感度-122dBm		受信感度-102dBm	
	所要 改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要 改善量 [dB]	離隔距離 [km]
LTE 基地局	37.1	6.4	17.1	0.6
中継局 (移動局対向器 屋外用)	36.2	1.6	16.2	0.2
中継局 (移動局対向器 屋内一体型)	35.6	0.6	15.6	0.1
中継局 (移動局対向器 屋内分離型)	25.6	0.2	5.6	0
小電力レピータ (移動局対向器)	64.3	16.5	44.3	1.7

表 4-25 1857MHz における結果 (携帯電話 (↓))

共用検討対象与干渉システム 携帯電話 (↓)	受信感度-122dBm		受信感度-102dBm	
	所要 改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要 改善量 [dB]	離隔距離 [km]
LTE 基地局	104.7	15456.1	84.7	1545.6
中継局 (移動局対向器 屋外用)	103.8	3794	83.8	379.4
中継局 (移動局対向器 屋内一体型)	103.3	1459.1	83.3	145.9
中継局 (移動局対向器 屋内分離型)	93.2	461.4	73.2	46.1
小電力レピータ (移動局対向器)	91.3	366.5	71.3	36.7

表 4-26 1883MHz における結果 (携帯電話 (↓))

共用検討対象与干渉システム 携帯電話 (↓)	受信感度-122dBm		受信感度-102dBm	
	所要 改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要 改善量 [dB]	離隔距離 [km]
LTE 基地局	37.4	6.7	17.4	0.7
中継局 (移動局対向器 屋外用)	36.5	1.6	16.5	0.2
中継局 (移動局対向器 屋内一体型)	36	0.6	16	0.1
中継局 (移動局対向器 屋内分離型)	25.9	0.2	5.9	0
小電力レピータ (移動局対向器)	64.2	16.1	44.2	1.6

表 4-27 1883MHz における結果 (PHS)

共用検討対象与干渉システム	受信感度-122dBm		受信感度-102dBm	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話 (↓)				
PHS (基地局)	62.7	22.8	42.7	2.3
PHS (移動局)	43.2	1.4	23.2	0.1
PHS (小電力レピータ (屋内))	55.2	5.7	35.2	0.6

#### 4.5 まとめ

共用検討の対象とした各システムにおける検討結果は以下のとおりである。

ディテクターと携帯電話(↑)との共用検討結果は表 4-28、ディテクターと携帯電話(↓)との共用検討結果は表 4-29 に示す。また、ディテクターと RFID との共用検討結果は表 4-30、ディテクターと MCA (↑) との共用検討結果は表 4-31 のとおりである。

リフレクターと携帯電話(↑)との共用検討結果を表 4-31、ディテクターと携帯電話(↓)との共用検討結果は表 4-32 のとおりである。また、リフレクターと PHS との共用検討結果は表 4-33 のとおりである。

表 4-28 ディテクターと携帯電話 (↑) の共用検討結果

対象システム	まとめ
LTE 基地局	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>941.5MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>895MHz では所要改善量 6.2dB (179m)、919.2MHz では 7.8dB (219m)、928.5MHz では 5.3dB (19m) となる。</li> <li>離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各周波数で所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>
中継局 (移動局対向器屋外用)	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>941.5MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>895MHz では所要改善量 27.5dB (226m)、919.2MHz では 29.0dB (286m)、928.5MHz では 11.8dB (39m) となる。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 928.5MHz、941MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>・ 895MHz では所要改善量は 11.7dB (31m)、919.2MHz では所要改善量は 11.7dB (39m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 941.5MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>・ 895MHz では所要改善量 27.7dB (242m)、919.2MHz では 29.3dB (293m)、928.5MHz では 16.6dB (63m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 941MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>・ 895MHz では所要改善量は 11.9dB (39m)、919.2MHz では所要改善量は 12.0dB (40m)、928.5MHz では所要改善量は 0.1dB (12m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 941.5MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>・ 895MHz では所要改善量 23.1dB (108m)、919.2MHz では 24.6dB (121m)、928.5MHz では 7.4dB (21m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 928.5MHz、941MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>・ 895MHz では所要改善量は 7.3dB (21m)、919.2MHz では所要改善量は 7.3dB (21m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>
小電力レピータ (移動局対向器)	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 895MHz では所要改善量 41.7dB (1,213m)、919.2MHz では 42.9dB (1,401m)、928.5MHz では 42.1dB (1,278m)、941.5MHz では 32.5dB (423m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 895MHz では所要改善量は 25.9dB (197m)、919.2MHz/928.5MHz/941.5MHz では所要改善量は 25.6dB (191m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>

表 4-29 ディテクターと携帯電話 (↓) の共用検討結果

対象システム	まとめ
LTE 移動局	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 895MHz では所要改善量 37.2dB (722m)、919.2MHz では 31.3dB (369m)、928.5MHz では 28.3dB (263m)、941.5MHz では 35.7dB (616m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 895MHz では所要改善量は 40.0dB (997m)、919.2MHz/928.5MHz では所要改善量は 27.3dB (233m)、941.5MHz では所要改善量は 39.3dB (928m) となる。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>
中継局（基地局対向器屋外用）	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>919.2MHz／928.5MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>895MHz では所要改善量 7.9dB(128m)、941.5MHz では 7.2dB(119m) となる。</li> </ul> <p>離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</p> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>919.2MHz／928.5MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>895MHz では所要改善量は 10.6dB(175m)、941.5MHz では所要改善量は 10.7dB(177m) となる。</li> </ul> <p>離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</p>
中継局（基地局対向器屋内用一体型）	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>919.2MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>895MHz では所要改善量 28.3dB(259m)、928.5MHz では 2.5dB(14m)、941.5MHz では 27.6dB(241m) となる。</li> </ul> <p>離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</p> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>919.2MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>895MHz では所要改善量は 31.0dB(354m)、928.5MHz では所要改善量は 1.4dB(14m)、941.5MHz では所要改善量は 31.1dB(359m) となる。</li> </ul> <p>離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</p>
中継局（基地局対向器屋内用分離型）	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>919.2MHz／928.5MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 895MHz では所要改善量 13.7dB(57m)、941.5MHz では 6.3dB (44m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 919.2MHz/928.5MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>・ 895MHz では所要改善量は 16.4dB (67m) 、941.5MHz では所要改善量は 9.8dB (66m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>
<p>小電力レピータ（基地局対向器一体型）</p>	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 895MHz では所要改善量 44.0dB (1,580m) 、919.2MHz では所要改善量 38.1dB(808m)、928.5MHz では所要改善量 35.1dB (575m) 、941.5MHz では 42.5dB (1,347m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 895MHz では所要改善量は 46.7dB (2,155m) 、919.2MHz/928.5MHz では所要改善量は 34dB (504m) 、941.5MHz では所要改善量は 46dB (2,007m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>
<p>小電力レピータ（基地局対向器分離型）</p>	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 895MHz では所要改善量 40.7dB (1,144m) 、919.2MHz では所要改善量 34.8dB(585m)、928.5MHz では所要改善量 31.8dB (416m) 、941.5MHz では 39.2dB (976m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>

	<p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 895MHz では所要改善量は 43.4dB (1,561m) 、919.2MHz／928.5MHz では所要改善量は 30.7dB (365m) 、941.5MHz では所要改善量は 42.7dB (1,454m) となる。</li> <li>・ 離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>
--	--

表 4-30 ディテクターと RFID の共用検討結果

対象システム	まとめ
高出力パッシブタグシステム	<p>(1) 同一周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 919.2MHz では所要改善量は 89.8dB (308.68km) となるが、奥村-秦を用いた離隔距離は 89.8dB (3.083km) となる。</li> <li>・ RFID は工場等の物流管理等に利用され、ディテクターの実利用現場（雪崩発生現場）での利用頻度は低く、離隔距離を確保しやすい。</li> <li>・ 建物内などで RFID が利用される場合には、壁損失として 10dB 程度の減衰量が期待できる。</li> <li>・ 実運用上の建物損失や雪崩が発生しやすい山岳内での利用が少ないことから離隔距離を確保しやすいが、これらの効果が得られない場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 928.5MHz では所要改善量は 33.9dB (497m) となる。</li> <li>・ 同一周波数の帯域内干渉と同様、実運用上の建物損失や雪崩が発生しやすい山岳内での利用が少ないことから離隔距離を確保しやすいが、これらの効果が得られない場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(3) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 928.5MHz では所要改善量は 27.5dB (237m) となる。</li> <li>・ 同一周波数の帯域内干渉と同様、実運用上の建物損失や雪崩が発生しやすい山岳内での利用が少ないことから離隔距離を確保しやすいが、これらの効果が得られない場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>

<p>中（低）出力パッシブタグシステム</p> <p>アクティブタグシステム（250mW）</p> <p>アクティブタグシステム（20mW）</p> <p>アクティブタグシステム（1mW）</p>	<p>(1) 同一周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 919.2MHz では所要改善量は 89.8dB（218.53km）となるが、奥村-秦では 0.978km となる。</li> <li>・ RFID は工場等の物流管理等に利用され、ディテクターの実利用現場（雪崩発生現場）での利用頻度は低く、離隔距離を確保しやすい。</li> <li>・ 建物内などで RFID が利用される場合には、壁損失として 10dB 程度の減衰量が期待できる。</li> <li>・ 実運用上の建物損失や雪崩が発生しやすい山岳内での利用が少ないことから離隔距離を確保しやすいが、これらの効果が得られない場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 928.5MHz では所要改善量は 30.9dB（352m）となる。</li> <li>・ 同一周波数の帯域内干渉と同様、実運用上の建物損失や雪崩が発生しやすい山岳内での利用が少ないことから離隔距離を確保しやすいが、これらの効果が得られない場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となる。</li> </ul> <p>(3) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 928.5MHz では所要改善量は 24.5dB（168m）となる。</li> <li>・ 同一周波数の帯域内干渉と同様、実運用上の建物損失や雪崩が発生しやすい山岳内での利用が少ないことから離隔距離を確保しやすいが、これらの効果が得られない場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下による発射強度の低下が必要となる。</li> </ul>
--	---

表 4-31 ディテクターと MCA（↑）の共用検討結果

対象システム	まとめ
中継局	<p>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 919.2MHz／928.5MHz／941.5MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul> <p>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 919.2MHz／928.5MHz／941.5MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>

表 4-32 リフレクターと携帯電話（↑）の共用検討結果

対象システム	まとめ
LTE 基地局	(1) 隣接周波数の帯域内干渉 ・ 1,790MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。 (2) 隣接周波数の帯域外干渉 ・ 1,790MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。
中継局（移動局対向器 屋外用）	(1) 隣接周波数の帯域内干渉 ・ 1,790MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。 (2) 隣接周波数の帯域外干渉 ・ 1,790MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	(1) 隣接周波数の帯域内干渉 ・ 1,790MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。 (2) 隣接周波数の帯域外干渉 ・ 1,790MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	(1) 隣接周波数の帯域内干渉 ・ 1,790MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。 (2) 隣接周波数の帯域外干渉 ・ 1,790MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。
小電力レピータ（移動局 対向器）	(1) 隣接周波数の帯域内干渉 ・ 1,790MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。 (2) 隣接周波数の帯域外干渉 ・ 1,790MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。

表 4-33 リフレクターと携帯電話（↓）の共用検討結果

対象システム	まとめ
LTE 移動局	(1) 同一周波数の帯域内干渉 ・ 1,857MHz では所要改善量は 20.8dB（113m）となる。 (2) 隣接周波数の帯域内干渉 ・ 1,857MHz／1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。 (3) 隣接周波数の帯域外干渉 ・ 1838.4MHz／1,857MHz／1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。
中継局（基地局対向器 屋外用）	(1) 同一周波数の帯域内干渉 ・ 1,857MHz では所要改善量は 20.7dB（517m）となる。 (2) 隣接周波数の帯域内干渉

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1838.4MHz/1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>(3) 隣接周波数の帯域外干渉</li> <li>・ 1838.4MHz/1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 同一周波数の帯域内干渉</li> <li>・ 1,857MHz では所要改善量は 32.7dB（451m）となる。</li> <li>(2) 隣接周波数の帯域内干渉</li> <li>・ 1838.4MHz/1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>(3) 隣接周波数の帯域外干渉</li> <li>・ 1838.4MHz/1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 同一周波数の帯域内干渉</li> <li>・ 1,857MHz では所要改善量は 12.6dB（118m）となる。</li> <li>(2) 隣接周波数の帯域内干渉</li> <li>・ 1838.4MHz/1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>(3) 隣接周波数の帯域外干渉</li> <li>・ 1838.4MHz/1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>
小電力レピータ（基地局 対向器一体型）	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 同一周波数の帯域内干渉</li> <li>・ 1,857MHz では所要改善量は 27.0dB（234m）となる。</li> <li>(2) 隣接周波数の帯域内干渉</li> <li>・ 1838.4MHz/1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>(3) 隣接周波数の帯域外干渉</li> <li>・ 1838.4MHz/1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>
小電力レピータ（基地局 対向器分離型）	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 同一周波数の帯域内干渉</li> <li>・ 1,857MHz では所要改善量は 29.1dB（234m）となる。</li> <li>(2) 隣接周波数の帯域内干渉</li> <li>・ 1838.4MHz/1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>(3) 隣接周波数の帯域外干渉</li> <li>・ 1838.4MHz/1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>

表 4-34 リフレクターと PHS の共用検討結果

対象システム	まとめ
基地局	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</li> <li>・ 1,883MHz では所要改善量は 16.4dB（57m）となる。</li> <li>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</li> <li>・ 1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>
移動局	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> <li>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</li> <li>・ 1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>
小電力レピータ (屋内)	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 隣接周波数の帯域内干渉</li> <li>・ 1,883MHz では所要改善量は 2.7dB (11m) となる。</li> <li>(2) 隣接周波数の帯域外干渉</li> <li>・ 1,883MHz では所要改善量は 0dB 以下となる。</li> </ul>

## 第5章 システム検討

### 5.1 周波数帯

電探システムが利用できる周波数帯については、これまでの検討結果を考慮する必要がある。

電探システムのリフレクターは既に世界で販売され、日本でもリフレクターがついているスキーウェア等が販売されていることから、まずは既存のリフレクターを利用することを前提として検討を行う。

屋内実証実験で得られたリフレクターの電気特性のうち、周波数毎の応答電力特性結果を合わせた周波数配置は図 5-1 のとおりである。リフレクターの応答時における減衰量の変化が一定である 880MHz~890MHz を赤枠で表示し、リフレクターへの入力電力が高い場合に減衰量が小さい 850MHz~950MHz を青枠で表示している。既存のリフレクターを用いる場合には赤枠若しくは青枠で示した周波数帯で電探システムが使えることが望ましい。なお、ヨーロッパでは 868MHz が利用されている。

赤枠で表示している周波数帯では携帯電話（↓）（↑）が割り当てられている。近年では携帯電話は山岳地域でも通信エリアとなっている場合が多く、所要改善量を確保するための離隔距離を確保することは困難である。同一周波数帯であることから、ディテクターの空中線電力を低下させる対策が有効であるが、空中線電力の大幅な低下は探索範囲の低下につながる。周波数共用を可能としつつ電探システムも十分な探索が行える条件の整理が必要となるが、この周波数帯は困難と考えられる。また、青枠で表示している周波数帯で実施した4つの周波数帯においても、携帯電話との所要改善量は0dB以下となっていない。これらの周波数帯で利用する場合には、隣接周波数帯との所要改善量を改善するために空中線電力の低下ならびにフィルタを電探システムに挿入するなどの対策による不要発射強度の低減が必要となる。なお、リフレクターにはフィルタを入れることが物理的に不可能であるため、1857MHz を含む携帯電話の周波数帯での利用は困難と考えられる。なお、919.2MHz の場合には、RFID との共用を可能とする条件整理した上で、RFID の不要発射強度の規定値（ARIB STD-T106 等）を参考として、電探システムの不要発射強度を設けることが必要である。なお、RFID の高出力パッシブタグシステムは、空中線電力 1W かつアンテナ利得 6dBi となっていることから、電探システムに用いる空中線電力とアンテナ利得の差分を RFID の不要発射強度に加える、もしくは空中線電力や利得に制限を加えることとなる。

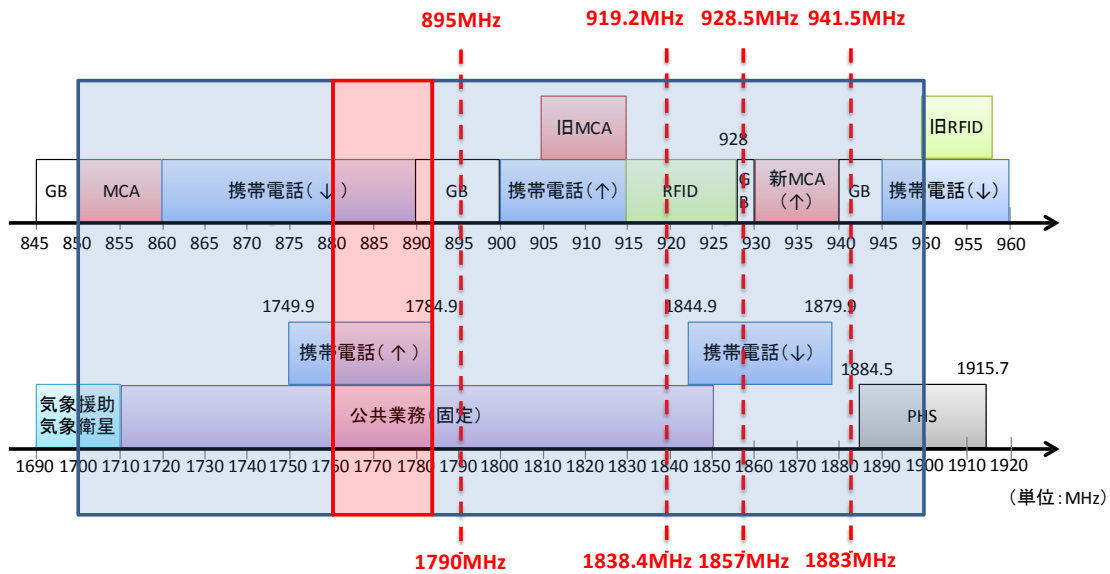


図 5-1 リフレクター特性と周波数配置

なお、リフレクターの構造は銅のアンテナとダイオードであり単純であることから、他の周波数帯に対応したものを製造することは可能と考えられる。一方で、他の周波数帯での利用を考える場合、周波数を低くするとアンテナが大きくなり、それに伴いリフレクターも大きくなることから、利用者が意識せずウェアにつけることが困難となる。周波数が高くなると雪等の減衰が大きくなり探知距離が短くなることから、既存のリフレクターと同等の探知性能を得るためには空中線電力をあげる必要がある。この場合、他システムとの周波数共用が困難となることが予想される。

また携帯電話からの被干渉を考慮すると、リフレクター、ディテクターともに携帯電話との同一周波数を利用した場合は、干渉を受け有効に機能しない可能性に留意する必要がある。

電探システムが利用できる周波数を選定する上ではこれらの条件や課題を考慮することが必要である。

## 5.2 空中線電力

これまでの実証実験で得られた結果を基に、電探システムの空中線電力と探索距離の検討を行う。電探システムに必要な空中線電力と探索距離を検討するための諸元は表 5-1 のとおりである。既存のシステム諸元を引用するとともに、実証実験で得られた結果を踏まえて検討する。

表 5-1 空中線電力の検討諸元

項目	条件	備考
周波数	885MHz,895MHz, 919.2MHz,928.5MHz, 941.5MHz	リフレクターの応答時における減衰量の変化が一定である 885MHz と周波数共用検討を実施した 4 周波数帯とする。
空中線電力	適宜	既存装置諸元を参考に最大 4W までと変化させる。
アンテナ利得	9dBi (送信) 6dBi (受信)	既存装置諸元を参考とする。
設置高 (ディテクター)	1.5m	捜索関係者が持参すること等を考慮して 1.5m とする。
埋設深さ (リフレクター)	雪面以下 1m～	雪崩等で埋もれた場合を想定し、雪面以下 1m から変化させる。
受信感度	-122dBm	既存装置諸元では-135dBm であるが、実証実験で確認した実力値の-122dBm を用いる。
伝搬モデル	自由空間モデル	雪氷環境外では平面大地 2 波モデルに近似しているが、雪氷環境では自由空間伝搬モデルに近い結果であったことを踏まえる。
人体損	8dB	遭難者等の体による損失を想定する。
探索距離	1m～	1m から探索距離を変化させる。
リフレクター 応答特性	実力値	屋内実証実験で得られたリフレクターの応答電力特性の実力値を用いる。(3.1.3.3 参照)
雪の状態	0.3% (密度) 適宜 (含水率)	実測値と参考文献と参考に、雪の密度は 0.3% とし、含水率は 0.5% から変化させる。

検討周波数毎における空中線電力と探索距離の関係は図 5-2 のとおりである。まず、実証実験と似た条件での探索距離を算出するため、埋設深さを 1m、雪密度 0.3%、含水率 6% で計算を実施した。リフレクターの応答時における減衰量の変化が一定である 885MHz が最も探索距離が長く、空中線電力 1W で 19.2m であった。なお、実証実験と同じ 928.5MHz の検討結果は 13.7m であった。実証実験において、リフレクターを埋設した場合には 10m 程度の探索距離であった。計算値との差分については、空中線電力及びディテクターのア

アンテナ利得が諸元値よりも小さいことなどが原因と考えられるが、ほぼ同じ探索距離の結果であった。

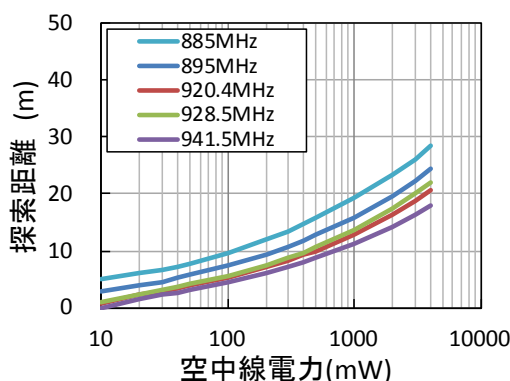


図 5-2 周波数毎の検討結果 (埋設深さ 1m/雪密度 0.3%/含水率 6%)

埋設の深さと含水率による探索距離の結果は図 5-3 のとおりである。ここでは周波数は 919.2MHz を用いる。リフレクターの応答時における減衰量の変化が一定である 885MHz は同一周波数帯に携帯電話が割り当てられていることから検討の周波数帯候補から外し、共用検討の 4 つの周波数帯のほぼ中心である 919.2MHz とした。

埋設深さの条件を 3m と 5m とした検討結果は図 5-3 のとおりである。含水率が小さい場合には探索距離が長くなり、含水率 0.5% では空中線電力が 1W の場合に 27.9m (埋設深さ 3m)、24.9m (埋設深さ 5m) であった。含水率が 5% となると探索距離が 1.5m (埋設深さ 3m) であるが、埋設深さ 5m では探索ができない結果となった。雪による減衰量は付属資料 10 に示しているが、実際の雪の状態は時間とともに変化しており、場合によっては埋設の深さがもっと深くても探索できる場合も十分にあると考えられる。そのため、ここで示した空中線電力と探索距離の関係性とならない場合も十分に考えられる。

机上検討の結果からわかるように、空中線電力を上げても探索距離が大幅に広がることはなかった。ディテクターから送信される 900MHz 帯の空中線電力上昇分がそのまま探索距離には反映されなかった。これは、リフレクターからの応答周波数による雪の減衰が大きいためと考えられる。

探知距離を伸ばすためには空中線電力を上げる必要があるが、他のシステムとの共用が困難となる。また、探索距離は埋設の深さや雪の状態 (雪密度/含水量) で変わる。

一方で、空中線電力の上限を定めない場合、無制限な空中線電力を設定できてしまう可能性があることから、上限を定める必要がある。また、バッテリーの持ちから考えても、高出力にしても実現性はなく、現実的な値を設定する必要がある。

遭難救助者の探索距離のニーズを踏まえると、10m 程度の探索距離は最低限必要であり、また、ここで得られた検討結果を用いると、10m 程度を探索距離とした場合には 500mW (埋設深さ 3m/含水率 2%で 11.2m) から 4W (埋設深さ 5m/含水量 2%で 12.8m) で良

いと考えられる。

上記を総合的に考え、空中線電力の上限は 4W 程度とすることが考えられる。

ただし、上記の値はあくまで上限であり、端末を操作する捜索者による捜索範囲を確保しつつ、同一もしくは隣接周波数で利用されている他システムとの周波数共用を可能とする値とする必要がある。また、上限が基準になってしまう懸念があることに留意が必要である。

その他、空中線電力が高くなると電池の消耗が大きくなる。小型軽量の探索システムを実現することを想定するとバッテリー容量も必然的に小さくなるため、空中線電力の増加は探索可能時間の減少となる。今回用意したディテクターは、空中線電力の公証値 4W（実力値 1W 程度）で、連続 2 時間程度の持続であった。バッテリー容量からも空中線電力の上限を検討する必要がある。

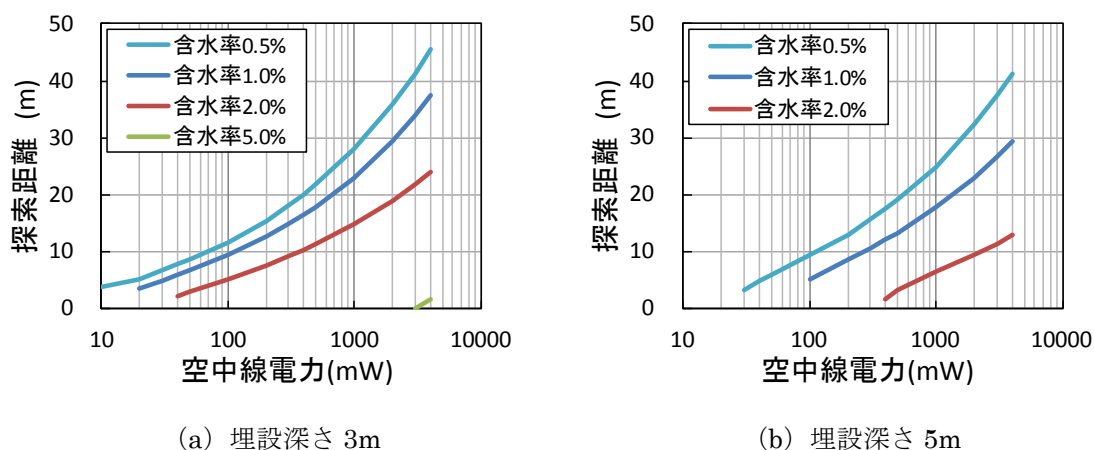


図 5-3 周波数毎の検討結果 (周波数 919.2MHz)

### 5.3 空中線利得

2.2 項の検討と同様に、空中線利得についても、空中線利得が大きければ捜索距離が長くなるが、その分所要改善量は大きくなってしまいう関係にある。

2.2 項と同様に、空中線利得の上限を決めない場合、無制限な値を設定できてしまう可能性があることから、上限を定める必要がある。

通常の八木アンテナの性能を考えると、現実的な空中線電力の値として、上限は 9dBi 程度とすることが考えられる。

ただし、上記の値はあくまで上限であり、端末を操作する捜索者による捜索範囲を確保しつつ、同一もしくは隣接周波数で利用されている他システムとの周波数共用を可能とする値とする必要がある。

また、上限が基準になってしまう懸念があることに留意が必要である。

#### 5.4 スプリアス

スプリアスの値についても、上限を定めない場合、無制限な値を設定できてしまう可能性があることから、上限を定める必要がある。

現実的なスプリアスの値として、一般的な無線設備に適用される、無線設備規則に規定されている値を上限とすることが考えられる。

ただし、上記の値はあくまで上限であり、端末を操作する捜索者による捜索範囲を確保しつつ、同一もしくは隣接周波数で利用されている他システムとの周波数共用を可能とする値とする必要がある。

#### 5.5 占有周波数帯幅

電探システムの占有周波数帯幅の諸元値は **50kHz** である。本調査検討会では4台のディテクターを用意しており、それぞれの占有周波数帯幅の測定結果は表 5-2 のとおりである。それぞれの装置の占有周波数帯幅は **50kHz** 以下であった。また、電波暗室内における実証実験では、標準信号発生器による占有周波数帯幅 **5.29kHz** の振幅変調をリフレクターに入力した際も正常に応答していることが確認できている。

占有周波数帯幅については、狭帯域でも動作することが確認できているが既存の電探システムを考慮し、製造誤差、マージンを考慮すると、占有周波数帯幅は諸元値の **50kHz** であることが望まれる。

表 5-2 占有周波数帯幅（実測）

No.	送信周波数	占有周波数帯幅
1	868MHz	29.6kHz
2	902.5MHz	24.2kHz
3	928.5MHz	12.9kHz
4	928.5MHz	14.9kHz

#### 5.6 電波防護指針

電波法施行規則第 21 条の 3 では、電波のエネルギー量と生体への作用との関係が定量的に定められている。電探システムは移動する無線局の無線設備と考えられるが、平均電力が **20mW** よりも高くなる場合が想定される。また、電探システムは雪崩等の発生現場において、捜索関係者が複数人いる限られた範囲での利用となることから、ディテクターの近傍に他の捜索関係者がいることも考えられる。このことから、ここでは電波防護指針の規定範囲内に入る距離を求める。

周波数共用を実施した候補周波数帯の電波防護指針の規定値は表 5-3 のとおりである。ディテクターの空中線電力 **4W**、送信アンテナ利得 **9dBi** の条件において、表 5-3 の全ての電波防護指針を下回る必要な離隔距離は **0.66m** となる。ディテクターは遭難者を見つける



ため地面方向に向けることとなる。また、遭難者のリフレクターからの応答があったとしても、最後はプローブでの詳細な位置確認とスコープによる救出活動となることから、0.66m 以内で平均時間 6 分間を越えることは通常利用では考えにくい。ただし、雪崩が発生している平時ではない状況において、ディテクターを人に向け続けることが無いとも言えないことから、ディテクターを利用する捜索関係者に対し電波防護指針に関する適切な情報の提供を行うことが望ましい。なお、リフレクターの周波数帯における電波防護指針については、共用検討を実施した条件においては、0.01m 以下となることからウェア等についている状態であっても問題はない。

表 5-3 電波防護指針

周波数 (MHz)	電界強度 E (V/m)	磁界強度 H (A/m)	電力密度 S(mW/cm <sup>2</sup> )
895	47.4	0.1258	0.6
919.2	48.1	0.1276	0.6
928.5	48.3	0.1281	0.6
941.5	48.6	0.129	0.6

## 5.7 その他

### (1) 統一規格

電探システムは既に欧州、米国での利用も実施され、雪崩現場などでの実績も報告されている。全世界的に利用できるシステムであるが、その規格については統一されていない。統一規格があることで、複数の製造メーカーでも電探システムの製造が可能となるが、リフレクターについては既に使用実績があり、新たなものの製造は困難である。

リフレクターについては電源設備がないことから、日本の電波法に照らし合わせると規格を設ける必要はない。しかしながら、電波暗室の実証実験で確認されたように、リフレクターは 900MHz 帯の幅広い範囲での動作をする上、ウェア等に取り付けられるため個体数を管理することが出来ない。周波数共有の観点から、雪崩等の発生現場で安全・迅速に使えるシステムのために日本国内のみならず世界的に統一された規格となることが望ましい。ただし、欧州、米国での周波数事業により使用できる周波数は異なることから、ある程度の範囲内で規格を合わせる事が有効である。

### (2) 局種の検討

電探システムのディテクターをヘリコプターやドローンなどに搭載した上空からの探索利用も想定されるが、屋内・屋外環境の実証実験の結果から探索距離は 10m～数十 m であった。探索距離は雪の状態、遭難者の埋設深さ、ディテクターの空中線電力によって変わる。雪密度 0.3%、含水率 2%、埋設深さ 5m、空中線電力 4W とした場合には約 12m となる。それに対してヘリコプターが広範囲に探索する場合には高度を上げて飛行

するため、ヘリコプター上から電探システムを使用したとしても、探知することは困難な場合が多いと考えられる。ドローンに搭載させての運用については、現時点で実例がなく、捜索方法が確立されているわけではないことから、利用シーンは捜索隊が地上で使用することを想定し、陸上移動局とすることが望ましい。

今後のドローンの利用形態の想定としては、人が立ち入れない危険な場所へドローンを飛ばしての捜索が考えられる。その場合、探知可能距離を考慮すると、ドローンの雪面からの高さは捜索者が持つ場合と大幅には変わらない（低高度）と考えられるため、今回の共用検討結果を参考にすることが考えられる。

### （3）変調方式

音を鳴らして遭難者等を探すことから、既存のディテクターには振幅変調が用いられている。振幅変調は原理が簡単であり、装置の製造コストも安くなることが考えられる。一方、屋内の実証実験では、標準信号発生器を用いて振幅変調以外の変調方式をリフレクターに送信しその応答について確認した。実証実験の結果、いずれの変調方式の信号においても、リフレクターは受けた信号を変調したそのままですべて返すため、特段、変調方式を制限する必要がないと考えられる。

### （4）フィルタ

周波数共用のため、一般的な無線設備に適用される不要発射強度の基準を満たしたとしても、なお、隣接周波数への不要発射を押さえる対策が必要である。

その対策の一つとして、フィルタの挿入が考えられる。

### （5）キャリアセンス

周波数共用のための有効な手段の一つとして、無線装置にキャリアセンス機能を具備することが用いられる。電探システムについてはディテクターによる送信周波数とリフレクターからの応答周波数が異なるため、ディテクター側では送信及び受信周波数の両方をキャリアセンスする機能が必要となる。一方、リフレクター自体は簡単な回路構造であることから、リフレクターにキャリアセンス機能を具備することは不可能である。ディテクターとリフレクターが常に近距離にあるわけではない為、ディテクターによるキャリアセンスが動作しない共用条件であっても、リフレクターからの送信信号による影響が出る場合も考えられる。なお、同一周波数帯で利用されている 920MHz 帯のアクティブタグシステム<sup>10</sup>はデータ通信用途で技術的条件が規定されている。音声信号を検知して遭難者を捜索する電探システムが、アクティブタグシステムと同様の共用化技術（キャリアセンス機能等）を実装するのは難しいと考えられる。

---

<sup>10</sup> 平成 25 年度 920MHz 帯マルチホップセンサーネットワーク技術を応用した 移動無線通信システムに関する調査検討

## 第6章 提言

ここでは実証実験の結果、共用検討の結果および既存のシステム諸元を基に技術的条件について提言する。ただし、その実現に当たっては、他システムとの共用条件の整理など、前章までに記載された課題を解決することが前提である。

### 6.1 技術的条件

第3章及び第4章の検討結果を踏まえて、電探システムの技術的条件を次のとおり整理する。なお、技術的条件はディテクターを対象とし、リフレクターについては特段設けないものとする。ただし別の定めがある場合は、この限りではない

#### 6.1.1 一般条件

##### (1) 用途

雪崩等に埋まった遭難者の捜索及び人命救助に用いるものであること。

##### (2) 局種

陸上移動局であること。

##### (3) 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。

##### (4) 電波型式

電波型式については特に規定しないものとする。

##### (5) 使用周波数帯

候補となる周波数は、800～900MHz帯とする。

※具体的な使用周波数はリフレクターの応答特性とディテクター及びリフレクターの周波数共用条件を考慮して決定されること。なお、リフレクターの反射周波数については、ディテクターの2倍の周波数を反射するものを前提としている。

#### 6.1.2 送信設備

##### (1) 空中線電力

[4W]以下とする。

※ただし、上記の値は上限であり、電探システムについては、端末を操作する捜索者による捜索範囲を確保しつつ、同一もしくは隣接周波数で利用されている他システムとの周波数共用を可能とする値とすること。また、記載されている上限が基準になってしまう懸念があることに留意が必要である。

(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 50%とする。

※設備規則第 14 条第 18 項より

(3) 発振方式

特段規定しない。

(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、 $\pm 1.5 \times 10^{-6}$  とする。

※設備規則別表第 1 号第 7 項 2 (1) より

(5) 変調方式

変調方式は規定しない。

(6) 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 50kHz とする。

※調査検討結果より

(7) 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

[1W を超える場合 25  $\mu$ W 以下]

[1W 以下の場合 100  $\mu$ W 以下]

※設備規則別表第 3 号より

※ ただし、上記の値は上限であり、電探システムについては、端末を操作する捜索者による捜索範囲を確保しつつ、同一もしくは隣接周波数で利用されている他システムとの周波数共用を可能とするスプリアス発射の許容値とすること。また、記載されている上限が基準になってしまう懸念があることに留意が必要である。

(イ) スプリアス領域における不要発射の強度の許容値

[1W を超える場合 25  $\mu$ W 以下]

[1W 以下の場合 50  $\mu$ W 以下]

※設備規則別表第 3 号より

※ ただし、上記の値は上限であり、電探システムについては、端末を操作する捜索者による捜索範囲を確保しつつ、同一もしくは隣接周波数で利用されている他システムとの周波数共用を可能とする不要発射の許容値とすること。また、記載されている上限が基準になってしまう懸念があることに留意が必要である。

(8) フィルタ

送信設備にはバンドパスフィルタを使用すること。

※具体的なフィルタは周波数共用条件を考慮して決定されること。

(9) 他の種類のシステムへの混信保護

- ・ 電探システムの周波数の利用は、他の無線局の運用に有害な混信を生じさせてはならない。
- ・ 電探システムの周波数の利用は、他の無線局からの有害な混信に対して保護を要求してはならない。

### 6.1.3 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、4nW 以下であること。

※無線設備規則第 24 条より

### 6.1.4 空中線等

(1) 空中線の利得

送信設備の空中線の利得は、絶対利得[9.0dBi]以下とすることとし、指向性を有すること。

※ ただし、上記の値は上限であり、電探システムについては、端末を操作する捜索者による捜索範囲を確保しつつ、同一もしくは隣接周波数で利用されている他システムとの周波数共用を可能とする値とすること。また、記載されている上限が基準になってしまう懸念があることに留意が必要である。

(2) 測定方法

電探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測定法を参考にすること。また、測定用の端子を設けること。

### 6.1.5 その他

#### (1) 操作者に求められる資格

電探システムの利用においては、装置操作者に無線従事者（第三級陸上特殊無線技士以上）の資格が望まれる。

#### (2) 移動範囲

移動範囲は、必要最低限（スキー場単位、捜索者の業務区域単位等）に限定することが適当である。

#### (3) システム構成

本システムはディテクターと呼ばれる装置とリフレクターと呼ばれる装置で構成されること。なお、この周波数の使用については、この周波数により作動する装置から発射される電波が他の無線局の運用に妨害を与えない場合に限る。

### 6.1.6 今後の検討課題

#### (1) 具体的な周波数ポイントの検討

候補の周波数を提言することを行ったが、具体的な周波数ポイントは今後検討が必要である。検討の際には、共用条件を満足する必要がある。また既存の割当て業務や将来的な周波数割り当て計画を考慮する必要がある。

#### (2) 具体的な空中線電力の検討

探知距離のニーズから、上限とされる空中線電力の提言を行ったが、共用検討の結果次第ではさらに低下させる必要があり、その値は具体的な周波数ポイントによって異なることから、引き続き検討することが望ましい。

#### (3) 具体的な空中線利得の検討

探知距離のニーズから、上限とされる空中線利得の提言を行ったが、共用検討の結果次第ではさらに低下させる必要があり、その値は具体的な周波数ポイントによって異なることから、引き続き検討することが望ましい。

#### (4) 具体的な不要発射の強度の検討

上限とされる不要発射強度の提言を行ったが、共用検討の結果次第ではさらに低下させる必要があり、その値は具体的な周波数ポイントによって異なることから、引き続き検討することが望ましい。

#### (5) 導入に向けての検討

導入に向けては、周波数を共用並びに隣接する事業者などと協議の上、引き続き検討することが望ましい。



# 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
設置要綱	
付属資料 3	付 3
構成員名簿	
付属資料 4	付 5
開催経過	
付属資料 5	付 6
屋内実証実験（暗室試験）	
付属資料 6	付 20
屋外実証実験（雪氷環境外）	
付属資料 7	付 36
屋外実証実験（雪氷環境）	
付属資料 8	付 39
共用検討の各システム諸元	
付属資料 9	付 47
共用検討結果	
付属資料 10	付 55
計算式	
付属資料 11	付 60
利用シーン	
付属資料 12	付 63
用語解説	
付属資料 13	付 64
関係法令・参考文献	

## 開催趣旨

近年の山岳・雪崩遭難事案の増加は、国民のみならず海外からの来訪者によるマウンテンスポーツ及びレジャー人口の増加に伴ったものであります。

山岳・雪崩遭難者の救難救助に当たっては、一刻を争うものであり、警察、消防及び自治体等の公の機関を始めとした多数の捜索関係者により昼夜天候の区別なく長期間にわたって実施されている状況があります。

また、救難救助に必要な経費は、その大半が地方公共団体の負担となっており、限られた予算の中で優先的に対処しているところですが、一層の効率的かつ迅速な対応が常に求められており、国民の安心安全の確保のニーズに適切に対応する必要が求められているところです。

このような状況から、山岳高原観光資源に恵まれつつも山岳・雪崩遭難事案の対応を迫られている地域において、900MHz帯及び1800MHz帯の周波数を使用する電波の反射を利用した山岳・雪崩遭難者電波探索システムについて検討することで、遭難発生時に、一刻を争う救難救助の円滑かつ迅速化と捜索関係者の二重遭難回避と負担軽減を図り、周波数を有効利用するための方策、技術的条件の策定に資することを目的に行うものです。

平成 28 年 6 月

## 設置要綱

### 1. 目的

山岳高原観光資源に恵まれつつも山岳・雪崩遭難事案の対応を迫られている地域において、900MHz 帯及び 1800MHz 帯の周波数を使用する電波の反射を利用した電波探索システムについて検討することで、一刻を争う救難救助の円滑かつ迅速化と捜索関係者の二重遭難回避と負担軽減を図り、周波数を有効利用するための方策、技術的条件の策定に資するものとする。

### 2. 名称

本調査検討会は、「山岳・雪崩等遭難者電波探索システムのための周波数有効利用技術に関する調査検討会（以下「調査検討会」という。）」と称する。

### 3. 調査検討事項

本調査検討会では、第1項の目的を達成するために、以下の事項について検討する。

- (1) 電波反射による無線探索の有用性の検証
- (2) 電波伝搬状況に関する技術的諸条件の検討
- (3) 電波有効利用の観点から周波数利用技術と占有帯域抑制技術の検討
- (4) 周波数帯を共用又は隣接する他のシステムとの共用条件
- (5) 改正すべき技術基準の検討

### 4. 構成等

調査検討会の構成は、以下のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、総務省信越総合通信局長の委嘱した委員を以て構成する。
- (2) 調査検討会に、座長1名及び座長代理1名を置く。
- (3) 座長は、委員の互選によって選出し、座長代理は、委員の中から座長が指名する。

### 5. 運営

- (1) 調査検討会は、座長が招集し主宰する。座長が不在の場合にあっては、座長代理がこれを行う。
- (2) 調査検討会は、委員以外の者から意見を徴することが必要であると認める時は、これを行うことができる。
- (3) その他、調査検討委員会の運営に必要な事項について、座長が定める。

### 6. 開催期間

平成28年6月から平成29年3月までとする。

### 7. 事務局

調査検討会の事務局は、信越総合通信局無線通信部企画調整課が担当する。

## 構成員名簿

氏 名	団 体 名	役 職 等
笹森 文仁 (座長)	国立大学法人信州大学	工学部 電子情報システム工学科 学術研究院 工学系 准教授
金 叡錫 (座長代理)	国立大学法人新潟大学	工学部 電気電子工学科 教育研究院 自然科学系 准教授
石垣 悟	日本無線株式会社	事業本部 事業総括部 渉外グループ 担当部長 副参与
佐藤 敏朗	株式会社ウィビコム	代表取締役社長
佐野 弘和	ソフトバンク株式会社	渉外本部 周波数企画室 標準化推進部 制度推進課長
塩沢 宏昭	長野県	企画振興部 情報政策課長
田中 和也	KDD I 株式会社	技術企画本部 電波部 企画・制度グループ マネージャー
玉井 裕司	長野県山岳遭難防止対策協会	防止対策部長 長野県観光参事兼山岳高原観光課長
細川 隆	北アルプス広域連合	北アルプス広域消防本部 総務課長兼庶務係長
丸山 浩司	株式会社サーキットデザイン	常務取締役
宮崎 茂男	長野県警察本部	地域部山岳安全対策課管理官兼次長 長野県警察山岳遭難救助隊隊長
元村 幸時	特定非営利活動法人ACT	理事長
八木 宏樹	株式会社NTTドコモ	電波部 電波技術担当課長

以上 13名

## オブザーバ名簿

氏名	団体名	役職等
江藤 弘司	株式会社ウィビコム	R&D センター長
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
長谷川 文	特定非営利活動法人ACT	理事

以上3名

## 実務者会議（実証実験）名簿

氏名	団体名	役職等
石垣 悟	日本無線株式会社	事業本部 事業総括部 渉外グループ 担当部長 副参与
笹森 文仁	国立大学法人信州大学	工学部 電子情報システム工学科 学術研究院 工学系 准教授
佐藤 敏朗	株式会社ウィビコム	代表取締役社長
丸山 浩司	株式会社サーキットデザイン	常務取締役
元村 幸時	特定非営利活動法人ACT	理事長

以上5名

## 実務者会議（共用検討）名簿

氏名	団体名	役職等
佐野 弘和	ソフトバンク株式会社	渉外本部 周波数企画室 標準化推進部 制度推進課長
田中 和也	KDDI株式会社	技術企画本部 電波部 企画・制度グループ マネージャー
八木 宏樹	株式会社NTTドコモ	電波部 電波技術担当課長

以上3名

## 開催経過

### 1. 第1回会合

日時： 平成28年7月29日（金）14:00～17:00

場所： 長野県 メルパルク長野 飛翔

議事： ① 調査検討会の設置について  
② 調査検討会の概要  
③ 雪崩・山岳遭難の現状  
④ 遭難探索システムについて  
⑤ 実証実験の進め方  
⑥ 共用検討の進め方

### 2. 第2回会合

日時： 平成28年10月20日（木）14:00～16:00

場所： 長野県 JA長野県ビル13F 特別会議室Ⅱ

議題： ① 実証実験（暗室実験）報告  
② 実証実験（屋外実験：雪氷環境外）の報告  
③ 実証実験（屋外実験：雪氷環境）の実施方法（案）  
④ 共用検討中間報告

### 3. 第3回会合（予定）

日時： 平成29年3月10日（金）14:00～16:00

場所： 長野県 JA長野県ビル13F 特別会議室Ⅱ

議題： ① 報告書（案）に関すること

### 4. 実務者会議

実証実験（1回）及び共用検討の実務者会議（3回）に加え、実務者会議の構成員によるメーリングリストでの審議を開催。

## 実証実験（屋内）

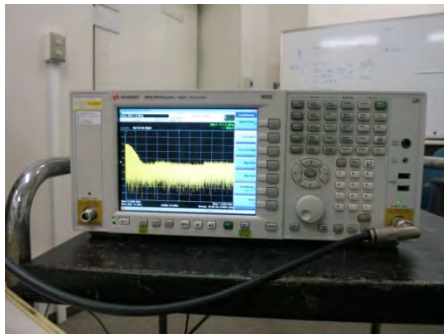
### 1. 使用装置一覧

屋内実証実験で使用した装置を付図 5-1 に示す。



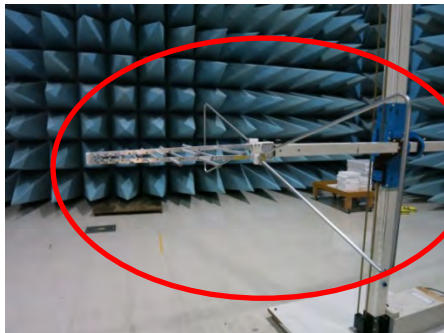
メーカー：ROHDE&SCHWARZ  
型番：SMC100A  
周波数：9kHz～3.2GHz  
送信出力：-120dBm～+13dBm  
変調方式：AM,FM,Pulse,Phase  
寸法：236×112×368 (mm)  
重量：3.9 (kg)

(a) 信号発生器



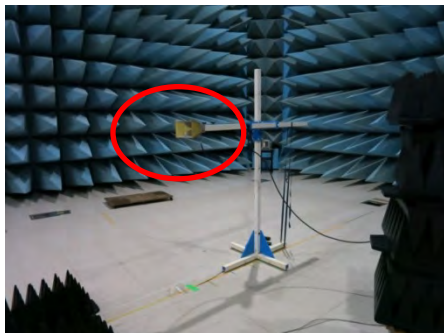
メーカー：KEYSIGHT  
型番：N9038A  
周波数：20Hz～44GHz  
寸法：425×117×571 (mm)  
重量：24 (kg)

(b) スペクトラムアナライザ



メーカー：Schwarz beck  
型番：VUKB9160SE  
周波数：30MHz～2GHz  
利得：7dBi@1GHz  
寸法：1090×1490×560 (mm)  
重量：3.1 (kg)

(c) バイログアンテナ



メーカー：ETS  
型番：Model 3155  
周波数：0.75GHz～18GHz  
利得：6dBi@1GHz  
寸法：244×279×159 (mm)  
重量：1.8 (kg)

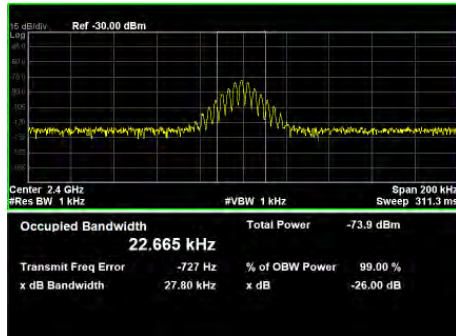
(d) 標準ホーンアンテナ

付図 5-1 測定装置の外観

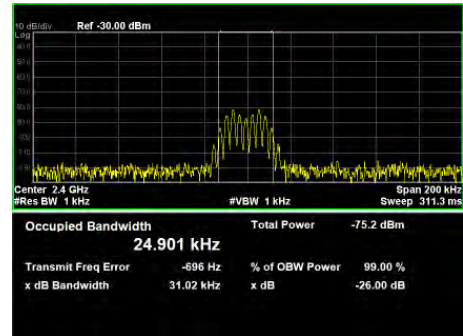
## 2. リフレクターの電気的特性

### 2.2 占有周波数帯幅

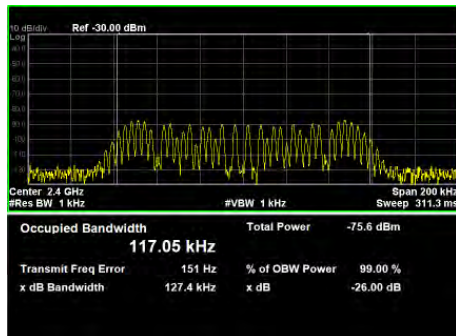
標準信号発生器で生成した各変調方式の入力波形と応答波形を付図 5-2 に示す。なお、入力波形の 3 倍の応答波形の図面である。



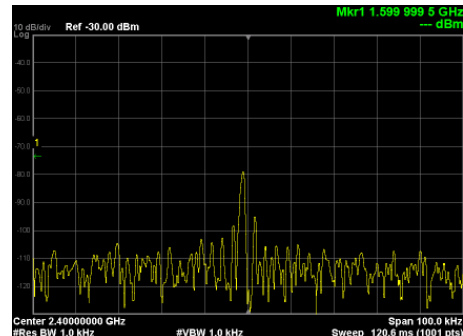
(a) AM 応答波



(b) FM 応答波



(c) Phase 応答波



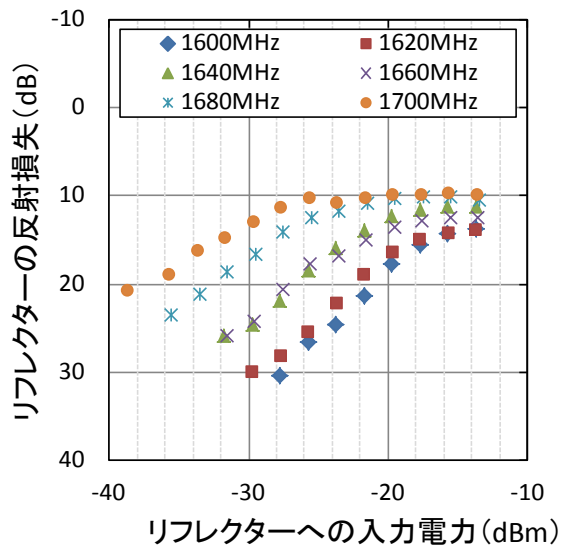
(d) Pulse 応答波

付図 5-2 各変調方式の入力波形の 3 倍周波数における応答波形

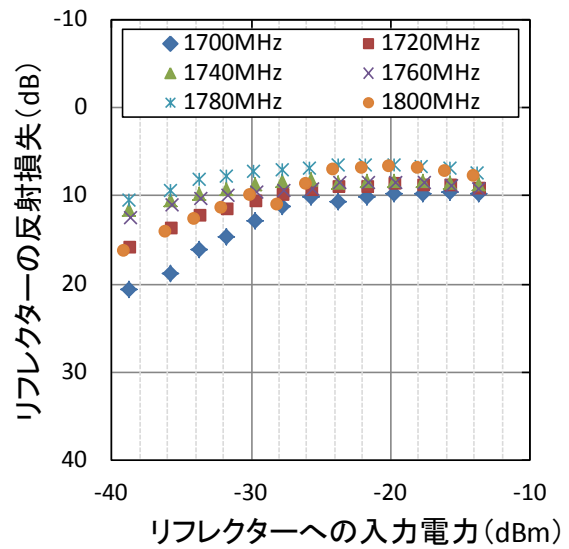
### 2.3 応答電力特性

リフレクターへの入力電力に対する反射損失の変化を、入力周波数 750MHz から 10MHz 毎に示した結果を付図 5-3 に示す。

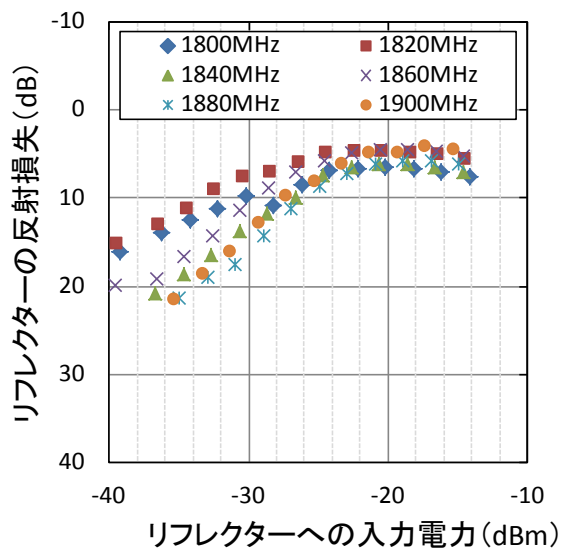




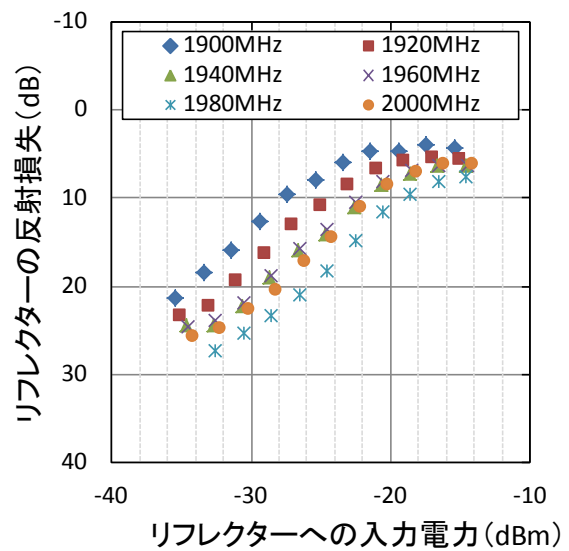
(a) 1,600MHz~1,700MHz



(b) 1,700MHz~1,800MHz



(c) 1,800MHz~1,900MHz

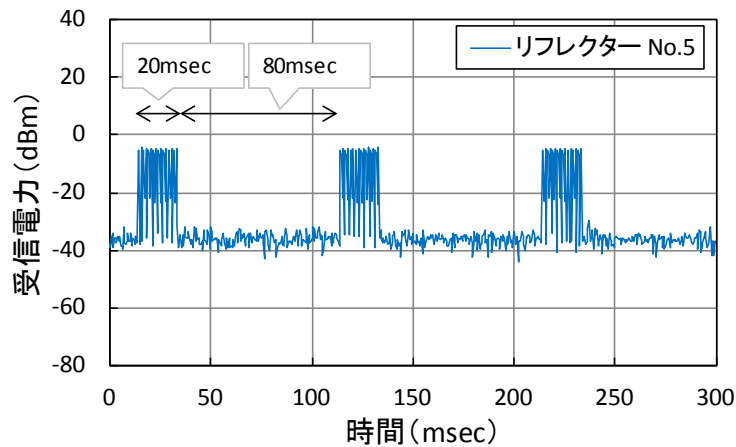


(d) 1,900MHz~2,000MHz

付図 5-3 リフレクターへの入力電力に対する反射損失の変化

## 2.4 応答 Duty 比

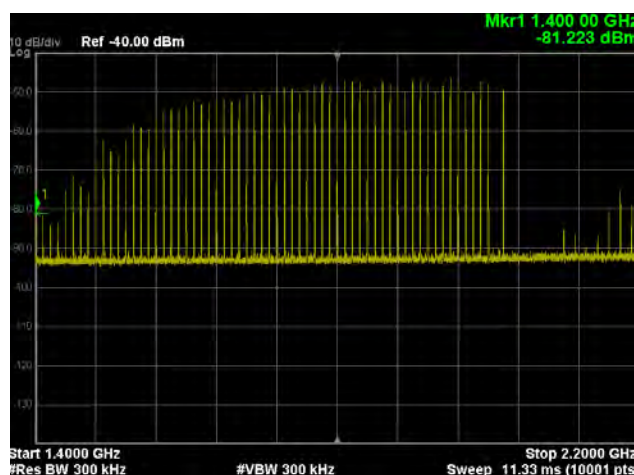
送信 Duty 比が 20%であるディテクターをリフレクターに入力した際、リフレクターからの応答 Duty 比を測定した結果を付図 5-4 に示す。入力された Duty 比と同じ比率で応答することを確認した。屋内実証試験では標準信号発生器による振幅変調等を連続入力した際、リフレクターからは連続して応答波が出力されていたことから、入力の Duty 比と同一で応答する動作をすることが予想される。



付図 5-4 リフレクターから送信される Duty 比

## 2.5 漏洩電力

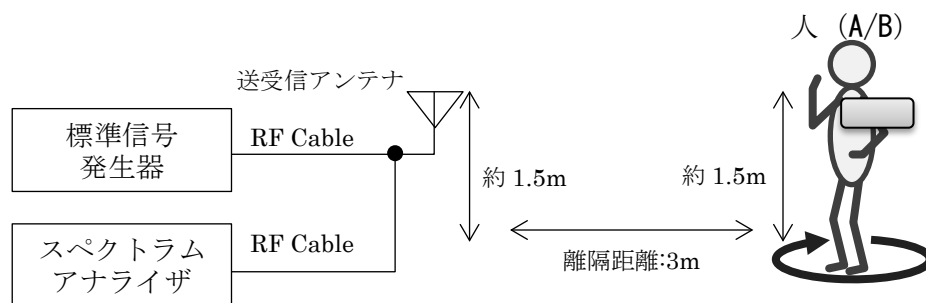
標準信号発生器により 700MHz~1,000MHz の 5MHz 間隔で振幅変調の入力信号を生成し、リフレクターからの応答電力を測定した結果を付図 5-5 に示す。入力信号の周波数によって応答電力値は変わるが、入力信号の 2 倍の周波数以外はスペクトラムアナライザのノイズフロアであった。リフレクターの応答特性が良い 900MHz (応答周波数 1,800MHz) ではノイズフロアまで大凡 50dB 程度であったことから、リフレクターの漏洩電力は応答信号の 50dB 程度と考えられる。なお、図中の 2,000MHz で応答電力が途切れている理由は、700MHz の入力信号の 3 倍波である 2,100GHz と測定値が混在しないように、入力信号の周波数を 700MHz~1,000MHz と 1,000MHz~1,400MHz と分けて測定したためである。付図 5-5 は入力信号の周波数を 700MHz~1,000MHz とした結果である。



付図 5-5 リフレクターの応答電力

## 2.6 人体装着状況における応答特性

リフレクターを人体に装着した時における応答特性の測定系を付図 5-6 に示す。リフレクターとの離隔距離を 3m、設置高をそれぞれ 1.5m に固定した状態で、標準信号発生器で生成した振幅変調の入力信号とリフレクターからの応答信号をスペクトラムアナライザで測定した。被験者は男性 2 名とし、リフレクターを人体の首、右肩、正面に装着し、45 度毎の応答電力を測定とした。



付図 5-6 人体装着時における測定構成

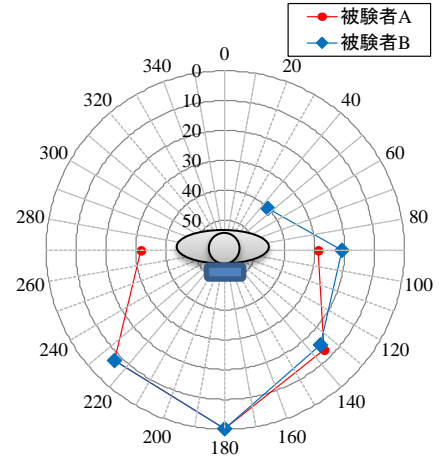
入力信号の周波数を 928.5MHz とした時における応答電力の結果を付図 5-7 に示す。なお、各装着状況における応答電力の最大値を基準値としてパターンを示す。

0 度方向に標準信号発生器の送受信アンテナを設置し、人が正面を向いた状況から 45 度ずつ回転した結果、送受信アンテナからリフレクターが見えなくなる角度になると受信電力が急激に低下する傾向であった。なお、測定結果のパターンに測定データが描画されていない角度のデータについては、スペクトラムアナライザのノイズフロア以下であったため、ここでは描画から除外している。人によって若干の電力差はあるものの、概ね同じ傾向の応答電力であったことが確認できる。

人体による影響で応答電力が大きく変わることが確認でき、ディテクター側に反射器がある場合にのみ、応答電力が受信しやすいことが考えられる。リフレクターについては、一人一つの装着ではなく、服やヘルメット等に複数装着が望まれており、一人当たり複数のリフレクターが付いていれば、どの方向でもディテクターからの入力信号に応答できると考えられる。



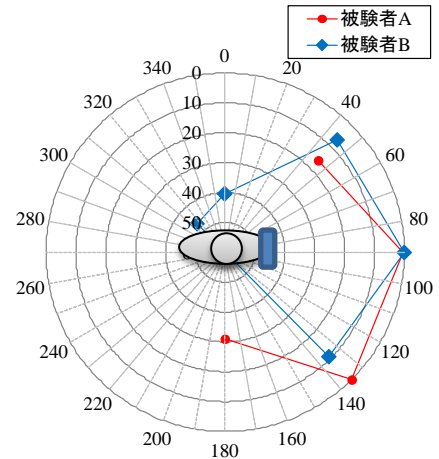
(a) リフレクターの装着状況「首装着」



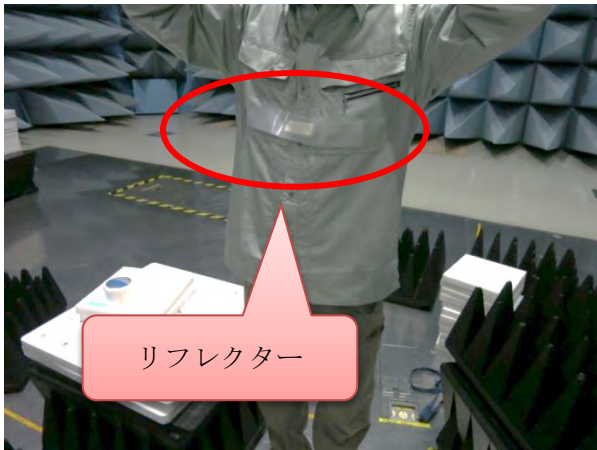
(b) 応答電力特性「首装着」



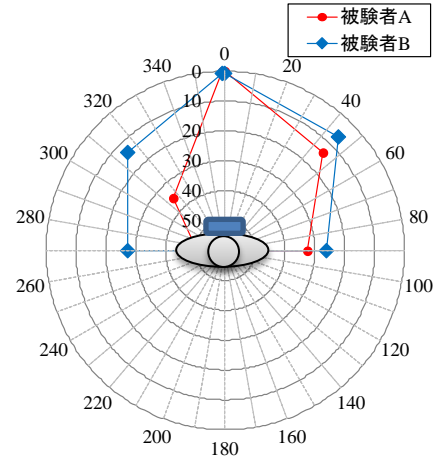
(c) リフレクターの装着状況「肩装着」



(d) 応答電力特性「肩装着」



(e) リフレクターの装着状況「正面装着」



(f) 応答電力特性「正面装着」

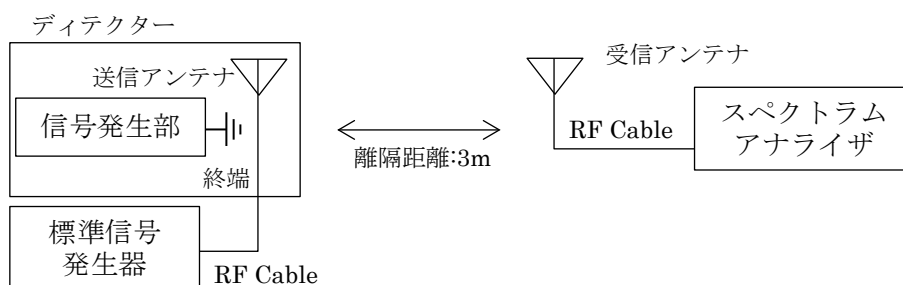
付図 5-7 人体装着時の応答特性

### 3. ディテクターの電気的特性

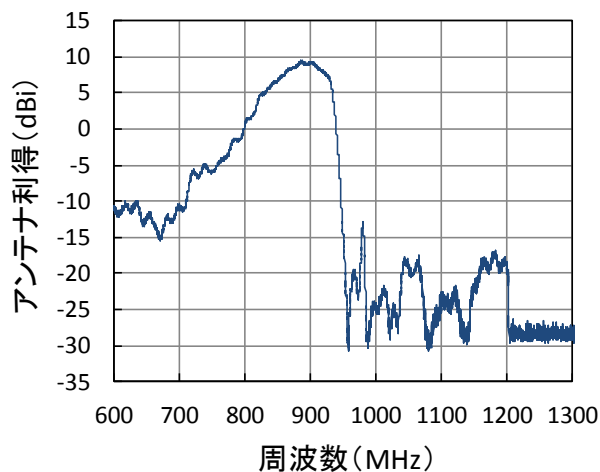
#### 3.2 送信アンテナの周波数特性

有線接続が可能なディテクターNo.4 を利用した送信アンテナの周波数特性の測定系を付図 5-8 に示す。送信アンテナに標準信号発生器を接続し、離隔距離 3m に設置した受信アンテナで受信電力を測定した。測定結果を付図 5-9 に示す。送信周波数が 930MHz を超えるとアンテナ利得が急激に低下する結果であった。930MHz で 6.67dBi、940MHz で-1.1dBi、950MHz で-15.5dBi である。アンテナ利得の最大値は 886MHz の 9.4dBi であった。また、諸元の 9dBi とする周波数範囲は 882MHz~907MHz であった。

4 台のディテクターの送信周波数におけるアンテナ利得は、No.1 から順に 8.34dBi、9.22dBi、6.83dBi、6.83dBi であった。



付図 5-8 送信アンテナ測定系



付図 5-9 送信アンテナの周波数特性

### 3.3 中心周波数及び占有周波数帯幅

ディテクターの中心周波数及び占有周波数帯幅の測定画像を付図 5-10 に示す。



(a) ディテクターNo.1

(b) ディテクターNo.2



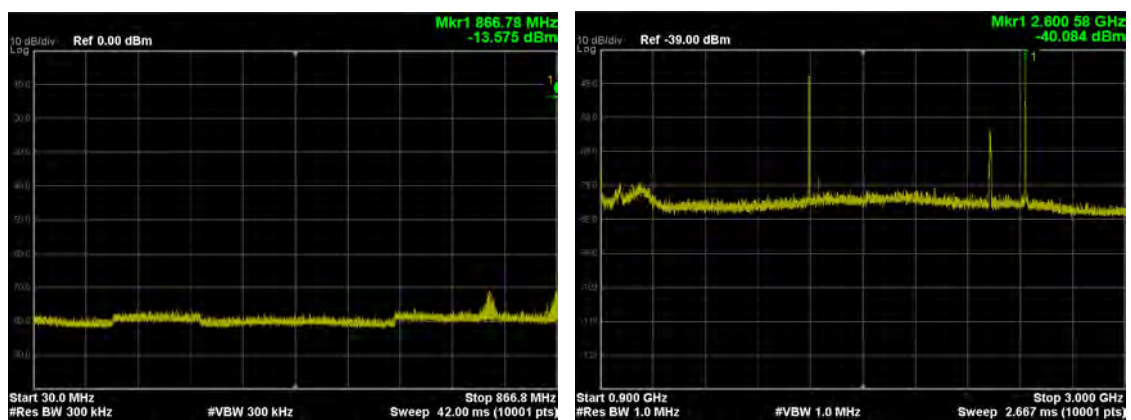
(c) ディテクターNo.3

(d) ディテクターNo.4

付図 5-10 占有周波数帯幅の測定結果画面

### 3.4 不要発射強度

ディテクターの不要発射強度の測定画像を付図 5-11 から付図 5-13 に示す。

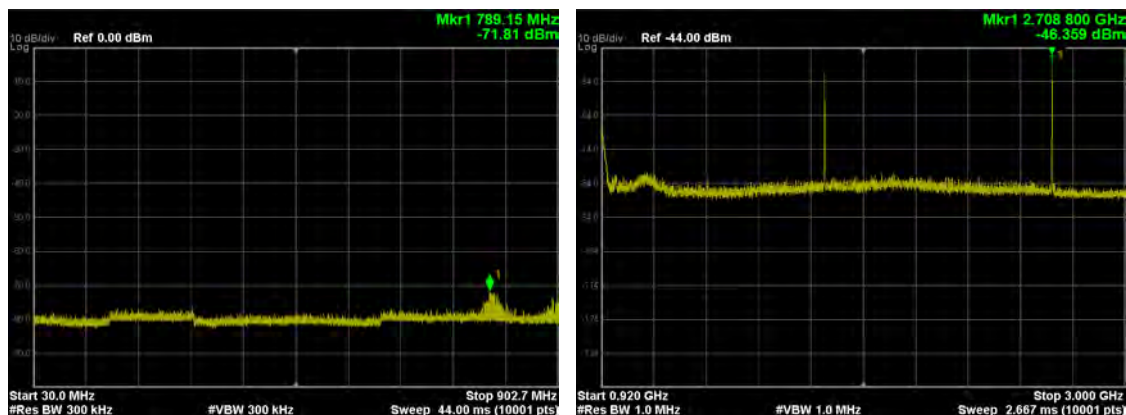


(a) 不要発射強度 (下側)

(b) 不要発射強度 (上側)

付図 5-11 占有周波数帯幅の測定結果画面

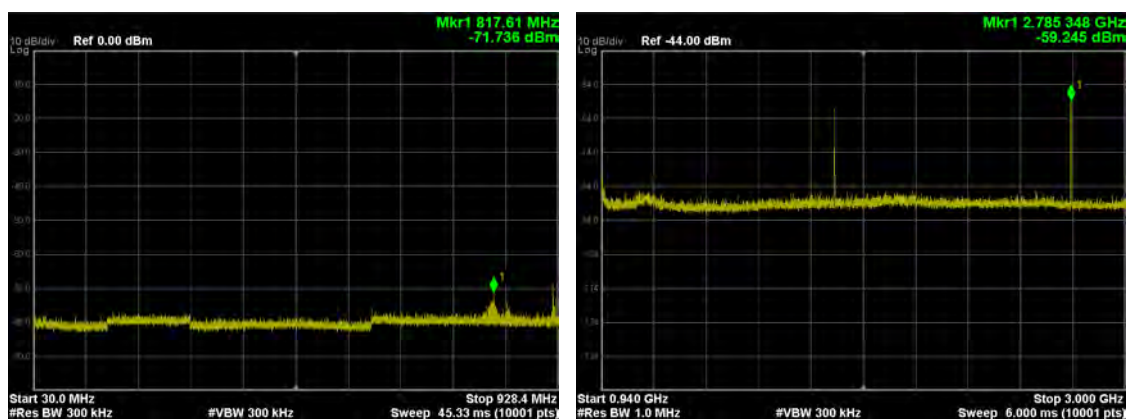




(a) 不要発射強度（下側）

(b) 不要発射強度（上側）

付図 5-12 占有周波数帯幅の測定結果画面



(a) 不要発射強度（下側）

(b) 不要発射強度（上側）

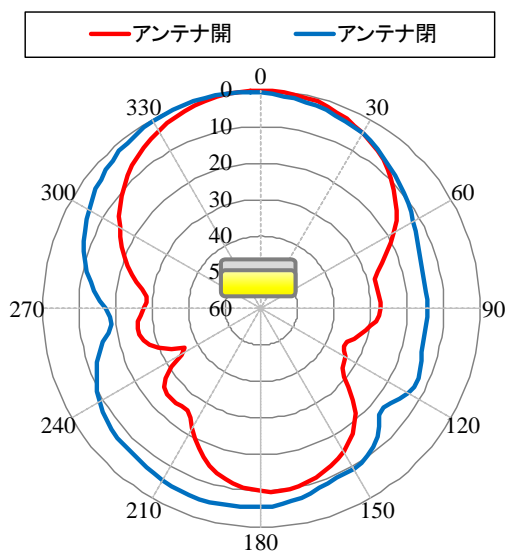
付図 5-13 占有周波数帯幅の測定結果画面

### 3.5 アンテナ開閉時の電力差と角度特性

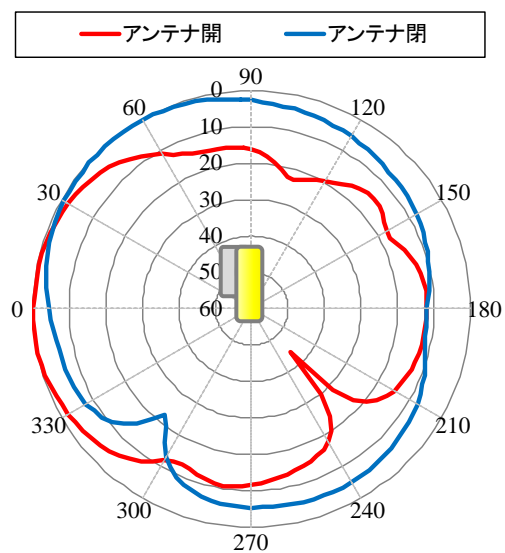
ディテクターのアンテナを閉じた時における電力差の測定を行った。ディテクターの正対方向にスペクトラムアナライザを設置し、ディテクターのアンテナ開閉時の受信電力を測定した。ディテクターのアンテナを開いた状態を基準とし、アンテナを閉じた際の受信電力の減衰量は、ディテクターNo.1 の 866.9MHz で 7.17dB、ディテクターNo.2 の 902.8MHz で 9.78dB、ディテクターNo.3 の 928.5MHz で 10.59dB であった。ディテクターのアンテナ利得は諸元値として 9dBi であることから、概ねアンテナ利得分の低下となる結果が得られたが、周波数が高くなるにつれて減衰量が大きくなった。

ディテクターのアンテナを閉じた時における角度特性の結果を付図 5-14 に示す。アンテナを開いた時には各周波数での測定結果は大きな差がなかったことより、アンテナ開閉時

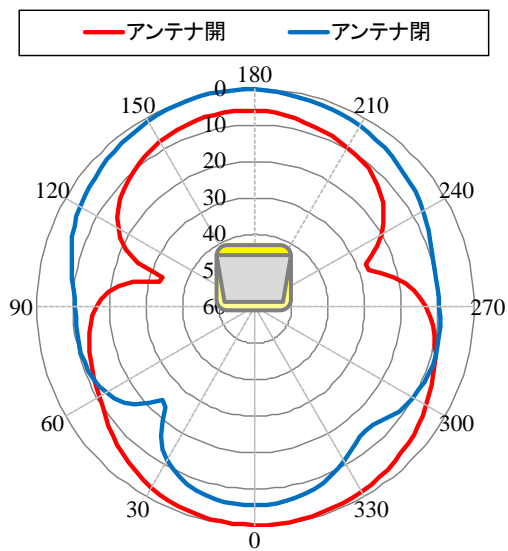
の角度特性では 928.5MHz のディテクターNo.3 を用いて測定を行った。アンテナ開閉のそれぞれの状態での最大の受信電力を基準とし減衰量で角度特性を示している。アンテナを閉じた状態での角度特性はアンテナを開いた状態に比べて指向性特性が無くなる結果であった。



(a) X 軸回転



(b) Y 軸回転



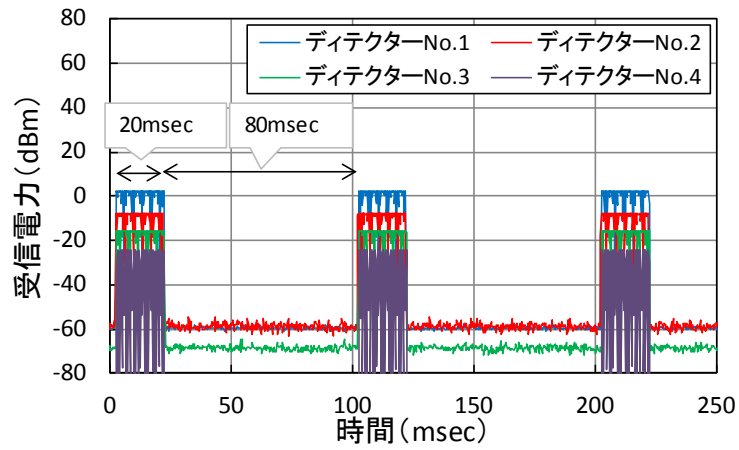
(c) Z 軸回転

付図 5-14 ディテクターのアンテナ開閉による角度特性



### 3.6 送信 Duty 比

ディテクターの Duty 比における諸元は 20%である。ディテクターからの送信 Duty 比を測定した結果を付図 5-15 に示す。各ディテクターからの受信電力は表示上分かり易くするため調整を行っている。また、時間軸についても送信の立ち上がりタイミングを合わせて表示している。各ディテクターから送信された Duty 比の結果が諸元と同じ比率である結果であった。



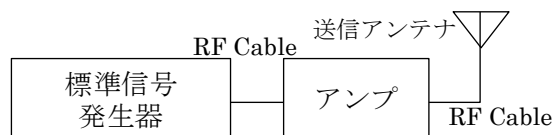
付図 5-15 リフレクターから送信される Duty 比

#### 4. 試作機の電気的特性

屋内及び屋外実証実験で使用した試作機の諸元を付表 5-1、試作機の構成を付図 5-16 に示す。試作機は 1 台用意した。試作機は信号発生器を使用し、アンプを用いて空中線電力 1W とした。送信アンテナにはディテクターと同様に Integrated Yagi アンテナを用いる。受信部については試作機には含まれていないことから、スペクトラムアナライザによる受信電力測定を行うか、ディテクターの受信部のみを用いて応答音の判断を実施した。

付表 5-1 試作機の諸元

項目	試作機
送信周波数	928.5MHz
送信アンテナ	Integrated Yagi
アンテナ利得	3.01dBi ※付属資料 4.1 参照
変調方式	振幅変調
空中線電力	1W
占有周波数帯幅	50kHz 以下
台数	1 台

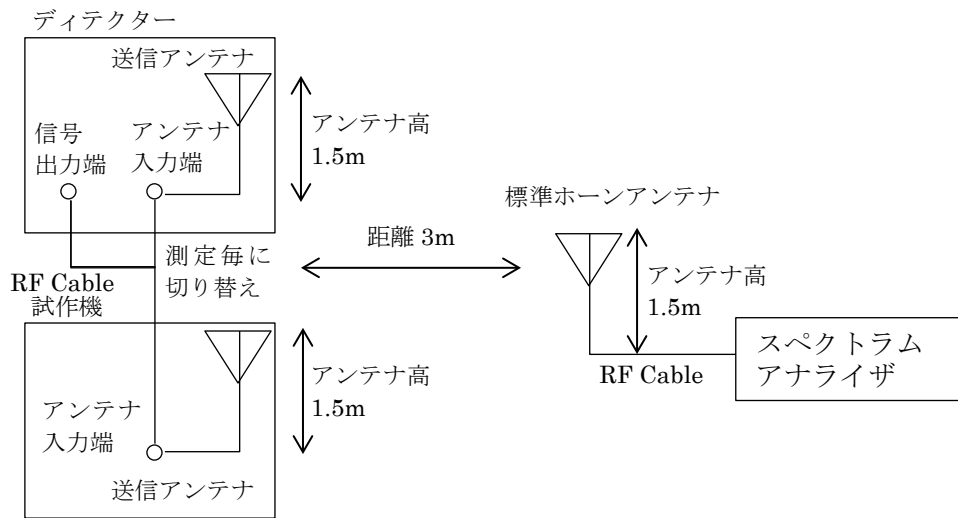


付図 5-16 試作機の構成

##### 4.1 アンテナ利得

実証実験で使用する試作機のアンテナ特性について、平成 28 年 11 月 22 日に富士通ゼネラル EMC センター暗室内にて測定を実施した。

アンテナ利得を測定するためにディテクターと試作機を用いて測定を実施した。付図 5-17 に測定系を示す。試作機の信号源をディテクター及び試作機のアンテナ入力端に切り替えて接続し、3m 離れた位置に設置したスペクトラムアナライザによる受信電力を測定した。アンテナ高は 1.5m とし、スペクトラムアナライザとの距離は 3m とした。なお、ディテクターと試作機のアンテナを同じ位置に設置して測定した。



付図 5-17 測定系

付表 5-2 に測定結果を示す。既知のケーブル損失や標準ホーンアンテナの利得と共に、スペクトラムアナライザで測定した受信電力からアンテナ利得を求めると、ディテクターでは 6.12dBi、試作機では 3.01dBi となった。事前に測定したディテクターの 928.5MHz におけるアンテナ利得は 6.83dBi となっており、今回の測定との差分は約 0.7dB である。この値は測定誤差として十分許容できる範囲であると考えられることから、試作機のアンテナ利得は 3.01dBi と見なすことが可能である。試作機のアンテナはディテクターのアンテナに比べ 3.0dB 程度低いことが判明した。

付表 5-2 測定結果

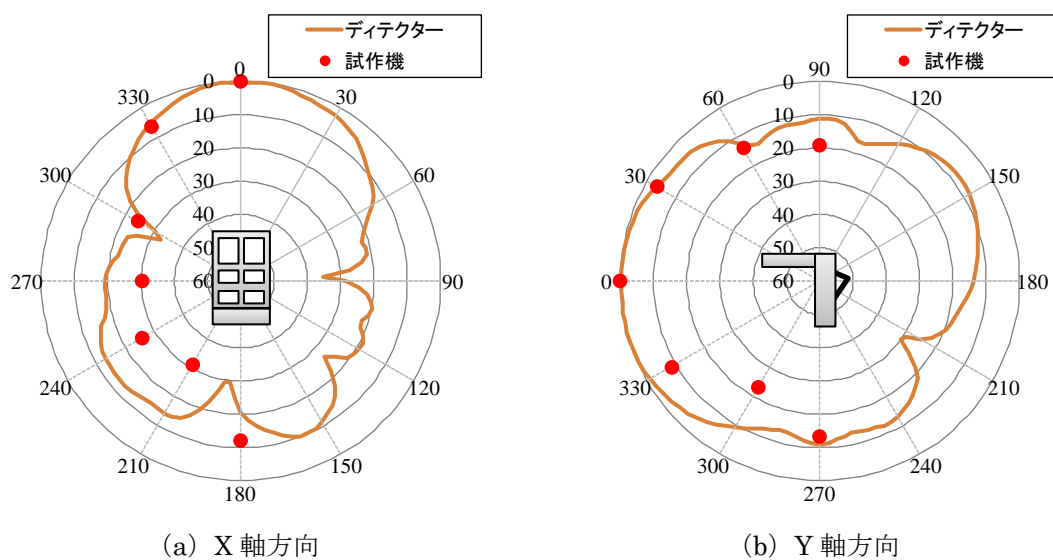
項目	単位	ディテクター	試作機
送信周波数 <sup>※1</sup>	MHz	928.5	928.5
空中線電力 <sup>※1</sup>	dBm	30.9	30.9
送信側ケーブル損失 <sup>※2</sup>	dB	1.8	1.8
自由空間損失	dB	41.3	41.3
標準ホーンアンテナ利得 <sup>※2</sup>	dBi	5.75	5.75
受信側ケーブル損失 <sup>※2</sup>	dB	1.8	1.8
受信電力 (測定値)	dBm	-2.17	-5.28
アンテナ利得	dBi	6.12	3.01

※1：ディテクターの信号源を用いるためディテクターと同じとなる

※2：周波数 928.5MHz における値

## 4.2 角度特性

試作機の角度特性の測定結果を付図 5-18 に示す。測定ではディテクターと同様に X 軸方向と Y 軸方向の 2 種類で実施し、ディテクターの結果と合わせてグラフ表示をしている。試作機はアンテナや筐体の大きさがディテクターと異なることから角度特性は完全に一致はしていないが、メインローブに近い 30 度程度の範囲においては比較的似ている傾向であった。



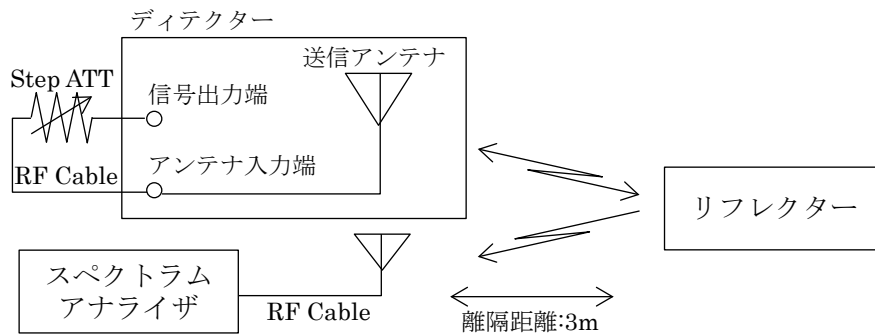
付図 5-18 試作機の角度特性結果

## 屋外実証実験（雪氷環境外）

### 1. リフレクターの応答電力特性

リフレクターの応答電力特性の測定は屋内実証実験で実施した。その結果、リフレクターに入力される周波数や入力電力によって反射損失が変化することが得られた。屋外実証実験では 928.5MHz のディテクターを用いて実施することから、屋内実証実験で得られた応答電力特性が屋外実証実験でも同じように動作するか測定する。

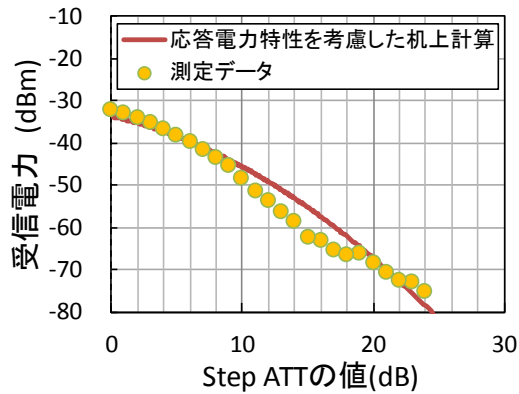
測定系を付図 6-1 に示す。リフレクターの応答距離特性と同じ様な測定系であるが、離隔距離は 3m に固定し、ディテクターの送信系に Step ATT を挿入して空中線電力を低下させる。



付図 6-1 測定系

ディテクターに挿入した Step ATT を変化させた時の受信電力の変化を付図 6-2 に示す。結果の図には屋内実証実験で得られたリフレクターの応答電力特性を考慮した机上計算による受信電力値も合わせて示す。測定結果より、ディテクターの Step ATT を変化させた場合、測定値はおおよそ机上計算値に一致していることが確認できた。このことから屋外の雪氷環境外においても、屋内実証試験で得られたリフレクターの応答特性で動作していると考えられる。

また、Step ATT を変化させながら同時にディテクターからの音を評価したところ、ATT が 25dB の時まで音が聞こえた。この時の受信電力は机上計算では -82.6dBm となり、ディテクターのアンテナ入力値に換算すると -122.2dBm となる。屋内実証試験での受信感度は -125dBm でありほぼ一致した。

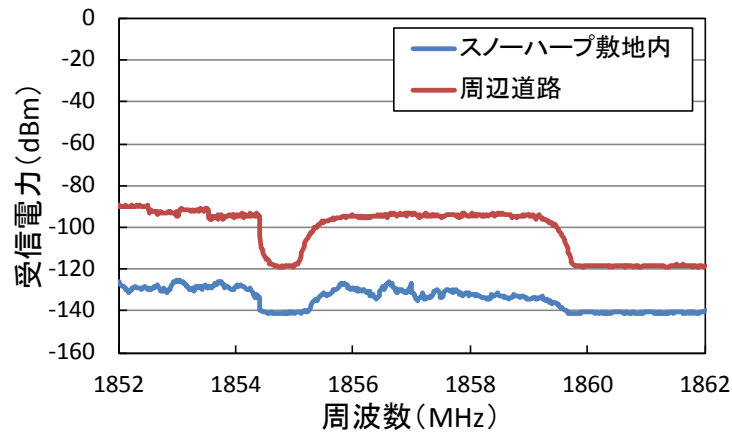


付図 6-2 測定結果

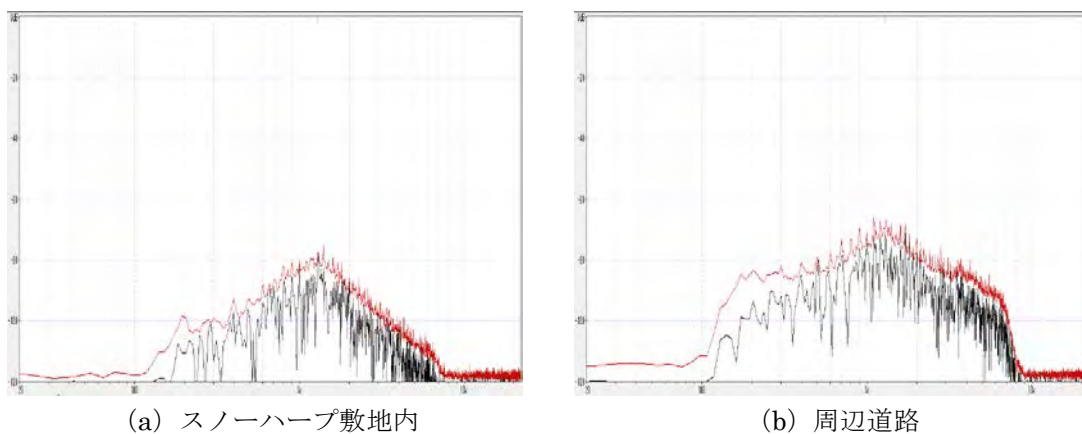
## 2. 環境ノイズが高い場所での応答距離特性

雪氷環境外において、スノーハープ敷地内と周辺道路での環境ノイズを測定した。測定結果を付図 6-3 に示す。スノーハープ敷地内での測定ではスペクトラムアナライザでは測定が出来なかったため、Gain36dB の LNA を利用した。測定結果のグラフは LNA の補正をした後である。周辺道路と比較するとスノーハープ内では約 35dB のノイズ差があった。

リフレクターがディテクターの周囲にない平時の状況における音声波形を付図 6-4 に示す。環境雑音が高い周辺道路では常に雑音が高く、発せられる音のスペクトラムも高いことが確認できた。

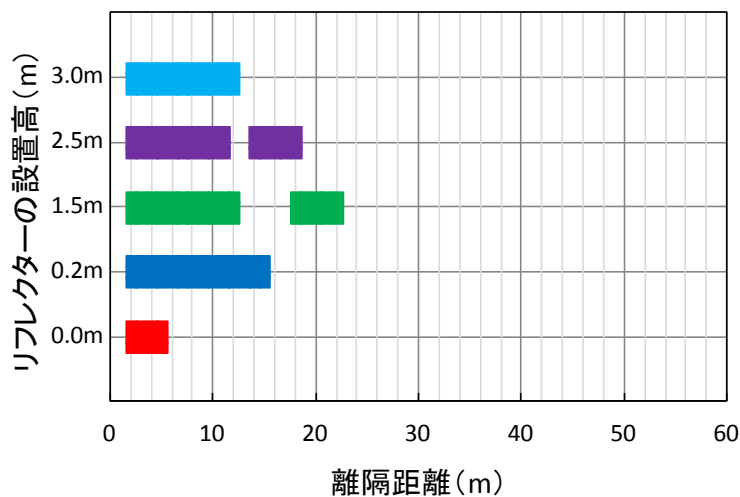


付図 6-3 環境ノイズの測定結果



付図 6-4 平時におけるディテクターの音声波形

環境雑音の高い周辺道路上で応答距離特性の測定を実施した。ディテクターからの音判定による結果を付図 6-5 に示す。リフレクターからの応答音がディテクターで判定できた地点を色で表している。アンテナ高によっては、離隔距離の途中の区間で音の判定ができない場合もあったが、リフレクター設置高 1.5m の場合に離隔距離約 22m まで音の判定が出来た。環境雑音の低いスノーハーブ敷地内ではリフレクターの設置高 1.5m の場合には約 50m であったことから半分の距離となっている。その他の設置高の結果においてもいずれも距離が短くなっていた。

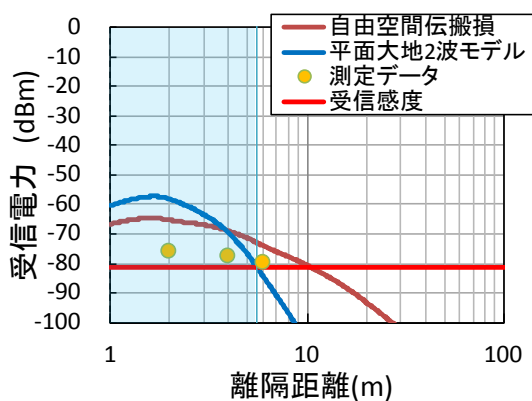


付図 6-5 応答距離特性の音判定

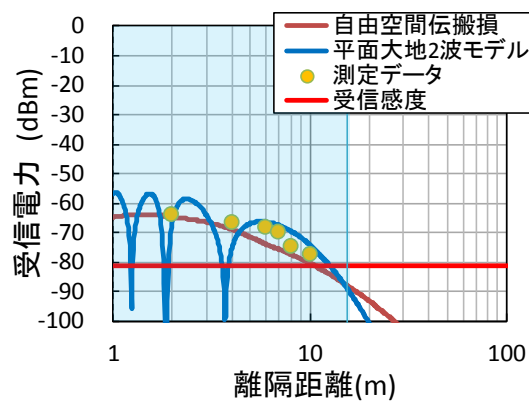
次にリフレクターからディテクターに戻ってくる受信電力の測定結果を付図 6-6 に示す。なお、受信電力はディテクターに並べて設置した受信アンテナを用いたスペクトラ

ムアナライザで測定した値で示す。結果のグラフに示している受信感度の値は、屋外実証実験の実施前に確認した受信感度 $-122.2\text{dBm}$  から受信アンテナ、ケーブル損失に加え、環境ノイズ分の  $35\text{dB}$  を換算した値である $-86.2\text{dBm}$  で描画をしている。ここで環境ノイズを加味した理由は、電探システムの受信感度は $-122\text{dBm}$  であるが、 $\text{SN}10\text{dB}$  以上である。よって、周辺道路では環境ノイズが  $35\text{dB}$  程度上昇していることから、受信感度も  $35\text{dB}$  悪くなったと考えられるためである。図中に示す机上計算は、リフレクターの応答電力特性や離隔距離によるアンテナパターンを考慮し、ディテクターとリフレクター間の往復の空間損失も含めている。さらに、グラフの背景を青く塗りつぶしている領域は、ディテクターで音判定ができた地点を示している。

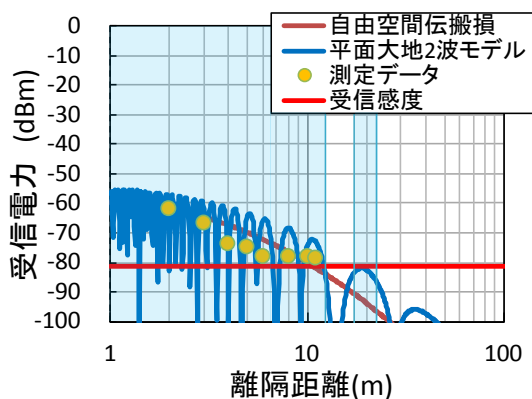
スペクトラムアナライザで測定した受信電力並びに音判定の結果はリフレクターの応答距離特性を考慮した机上計算を比較すると平面大地 2 波モデルにはほぼ一致している結果であった。この結果は、スノーハープ敷地内で実施した応答距離特性と同じ傾向の結果であった。



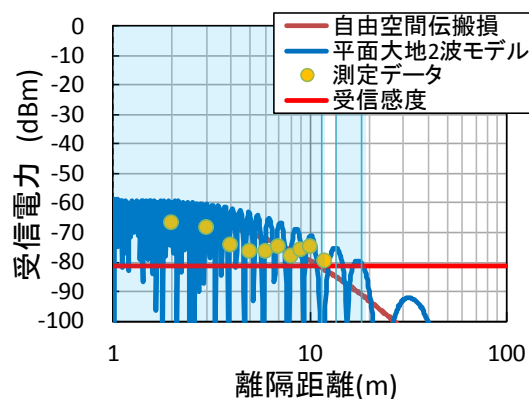
(a) リフレクター設置高 0.0m



(b) リフレクター設置高 0.2m

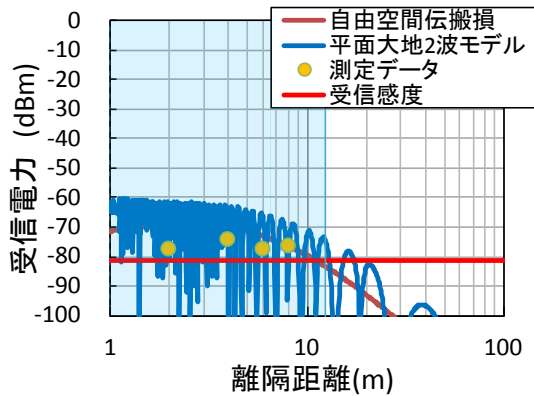


(c) リフレクター設置高 1.5m



(d) リフレクター設置高 2.5m





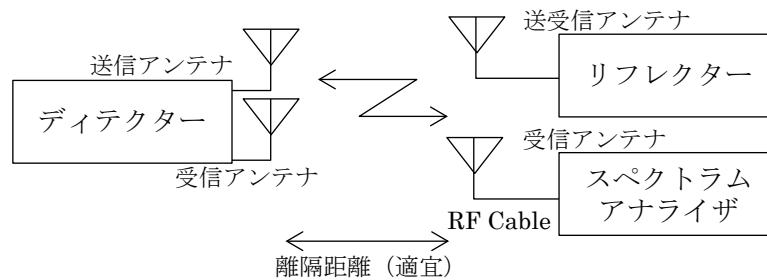
(e) リフレクター設置高 3.0m

付図 6-6 応答距離特性の受信電力

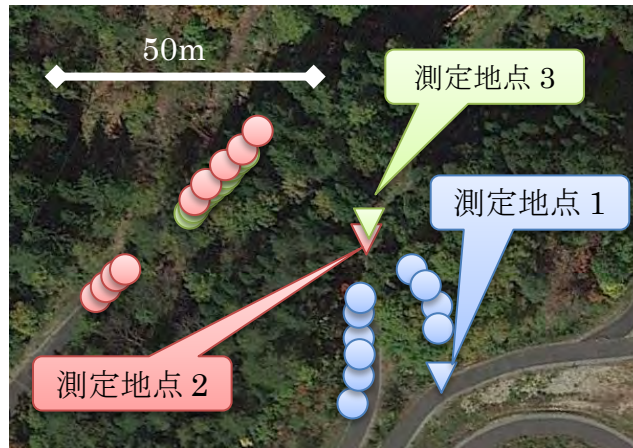
### 3. 樹木環境による応答特性

樹木環境における測定系を付図 6-7 に示す。ディテクターとリフレクターの間に樹木等が存在する環境において、リフレクターの応答状況を確認した。ディテクター及びリフレクターは共に設置高を 1.5m とし、リフレクターと同じ場所に受信アンテナを設置してディテクターからの受信電力を測定した。

測定を実施した位置関係を付図 6-8 に示す。測定ではディテクターの位置を 3 か所に変えて測定を実施した。



付図 6-7 樹木環境による測定系

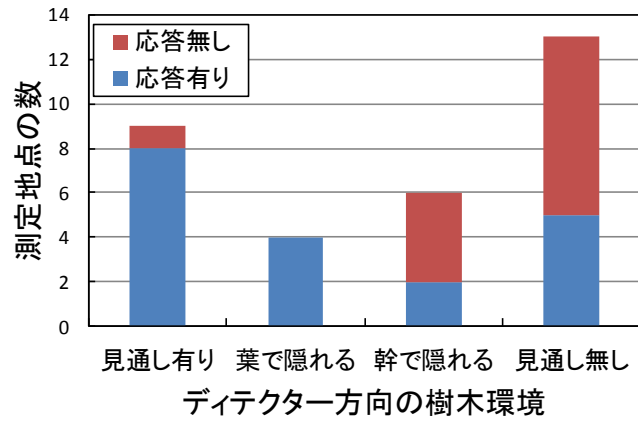


付図 6-8 樹木環境による測定地点

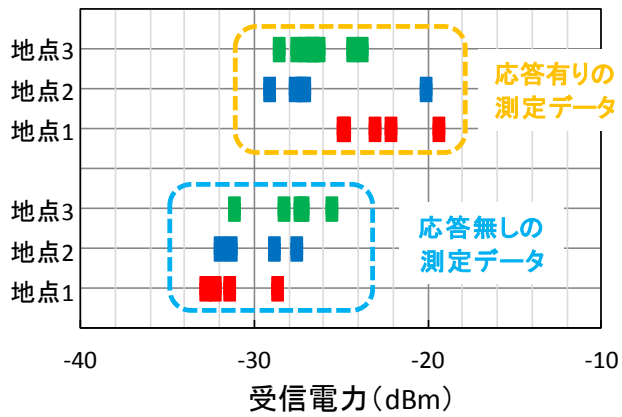
樹木環境での測定を実施した結果を付図 6-9 に示す。リフレクターからディテクターを見た時に、ディテクターが見える状況を「見通し有り」、ディテクターを直視することができないが、葉っぱや枝などに隠れている先にディテクターが見える状況を「葉で隠れる」、一本の木の幹などで遮蔽されている状況を「幹で隠れる」、盛り土や複数の木々で遮蔽されている状況を「見通し無し」と定義し、人の主観評価で測定地点ごとの環境を分類した。

リフレクターの応答は距離や環境により大きく変わることが確認できた。見通しが無くなると、ディテクターの反応が悪くなることから、樹木などによる遮蔽が搜索範囲を狭めることに繋がりやすいことが確認できた。また、樹木環境での受信電力測定結果を付図 6-10 に示す。今回の環境ではディテクターからの受信電力が $-25\text{dBm}$ ～ $-30\text{dBm}$ で反応の切り替わり閾値となり、 $-30\text{dBm}$ を下回ると聞こえない状況であった。地点 3 については見通しのある条件から樹木によって見通しが隠れるようにリフレクターの位置を変化させ、その時の受信電力の変動は見通し時の最大値から  $3.4\text{dB}$ ～ $9.1\text{dB}$ の変動が見られた。

付図 6-11 から付図 6-13 にそれぞれの測定地点におけるリフレクターからディテクターを見た風景を示す。図中には樹木環境の状態とディテクター方向を赤マークで示す。



付図 6-9 樹木環境と応答結果 (見通し状況)



付図 6-10 樹木環境と応答結果 (受信電力)



(a) 地点 1-1



(b) 地点 1-2





(c) 地点 1-3



(d) 地点 1-4



(e) 地点 1-5



(f) 地点 1-6



(g) 地点 1-7



(h) 地点 1-8





幹で隠れる

(i) 地点 1-9



葉で隠れる

(j) 地点 1-10

付図 6-11 測定地点 1 におけるリフレクターからディテクターを見た風景



幹で隠れる

(a) 地点 2-1



見通し有り

(b) 地点 2-2



幹で隠れる

(c) 地点 2-3



見通し無し

(d) 地点 2-4





見通し無し

(e) 地点 2-5



見通し無し

(f) 地点 2-6



幹で隠れる

(g) 地点 2-7



見通し無し

(h) 地点 2-8



見通し無し

(i) 地点 2-9

付図 6-12 測定地点 2 におけるリフレクターからディテクターを見た風景





見通し無し

(a) 地点 3-1



見通し無し

(b) 地点 3-2



見通し無し

(c) 地点 3-3



見通し有り

(d) 地点 3-4



見通し有り

(e) 地点 3-5



見通し有り

(f) 地点 3-6





(g) 地点 3-7



(h) 地点 3-8



(i) 地点 3-9



(j) 地点 3-10



(k) 地点 3-11



(l) 地点 3-12





(m) 地点 3-13

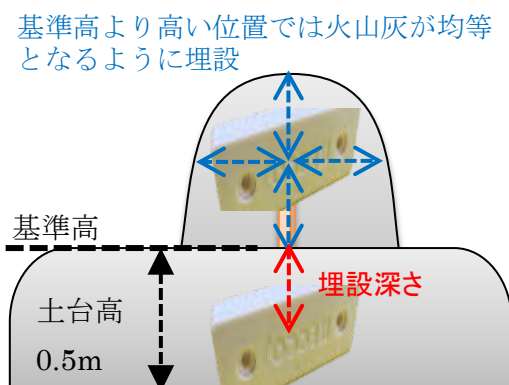
付図 6-13 測定地点 3 におけるリフレクターからディテクターを見た風景

#### 4. 灰媒質における伝搬特性

リフレクターを火山灰に埋設した時の測定を実施した。リフレクターを火山灰に埋設しディテクターの応答距離特性や火山灰による減衰量測定を行った。測定風景とリフレクターの埋設方法について付図 6-14 に示す。火山灰は一カ所に集められており、地面からの高さ 0.5m であった。地上高 0.5m を基準高とする。基準高より高い位置にリフレクターを設置する場合には、火山灰の厚みが均等となるように埋設した。基準高より低い位置にリフレクターを設置する場合には、土台の端ではなく中心に近い位置で埋設した。なお、いずれの設置においてもリフレクターは地面に対して垂直となるようにし、正面をディテクター方向に向けた。火山灰の状態は数日前の雨天により水分を含んでいた。さらに土台部分の火山灰は長期間堆積されており、水分と木々の破片が混ざっている状態であった。基準高より高い位置に設置したリフレクターを埋設した火山灰の含水率は約 15% から 18% 程度であり、土台部分の含水率は 26% 程度であった。



(a) 測定風景



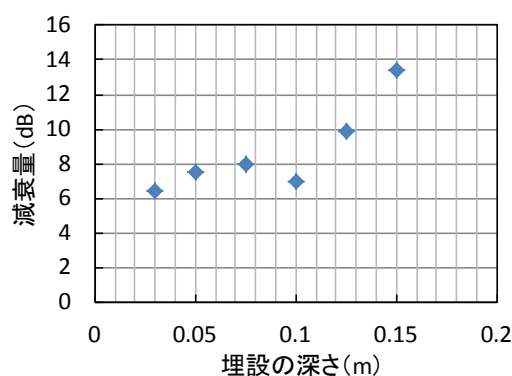
(b) リフレクター設置方法

付図 6-14 測定風景と設置条件

#### (6) ディテクターからの受信電力測定

受信アンテナを火山灰に埋設する前後でディテクターからの受信電力を測定した。受信アンテナにはダイポールアンテナを使用し、基準高から 0.1m の高さに設置した。火山灰で埋設していない状況でのディテクターからの受信電力を基準値とし、火山灰を 0.03m から 0.15m の範囲で変化させた時の減衰量を測定した。

ディテクターからの受信電力減衰量を測定した結果を付図 6-15 に示す。0.1m までは 6dB から 8dB、0.125m から 0.15m で 10dB から 13.4dB の減衰量の結果であった。ただし、火山灰の水分含有量や火山灰の埋設の仕方によって減衰量は変わると考えられる。



付図 6-15 埋設の深さによる受信電力減衰量

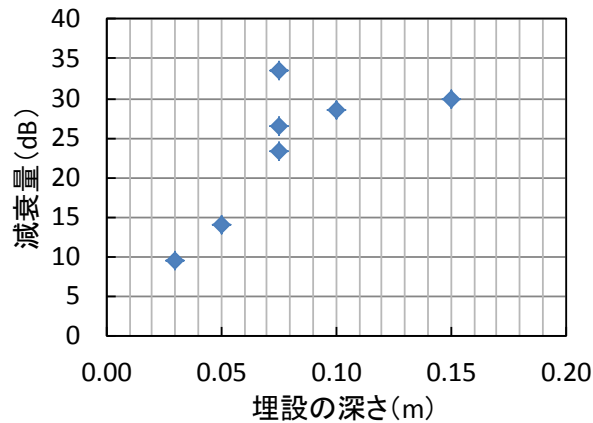
#### (7) リフレクターからの受信電力測定

リフレクターを火山灰で埋設する前後でリフレクターからの受信電力をスペクトラムアナライザで測定した。リフレクターの埋設風景を付図 6-16 に示す。地上高 1.5m のディテクターとリフレクターまでの水平距離を 5m、リフレクターから受信アンテナまでの距離を 0.5m に固定した状態で火山灰の埋設条件を変更させて測定を実施した。

基準高から 0.1m 上げた状態でリフレクターを設置し、火山灰で埋めていない時の受信電力を基準値とする。火山灰を 0.03m から 0.15m の範囲で変化させた時の減衰量を付図 6-17 に示す。埋設の深さが深くなるにつれて、10dB から 35dB の減衰量となる結果であった。なお、この減衰量にはリフレクターの反射損失は含まれているが、(1) に示したディテクターからリフレクターまでの減衰量は含めていない。全体としての減衰量では 16dB から 43.4dB となる。火山灰の水分含有量や火山灰の埋設の仕方によって減衰量が大きく変わることは 0.075m における測定結果から予想される。



付図 6-16 リフレクターの埋設風景



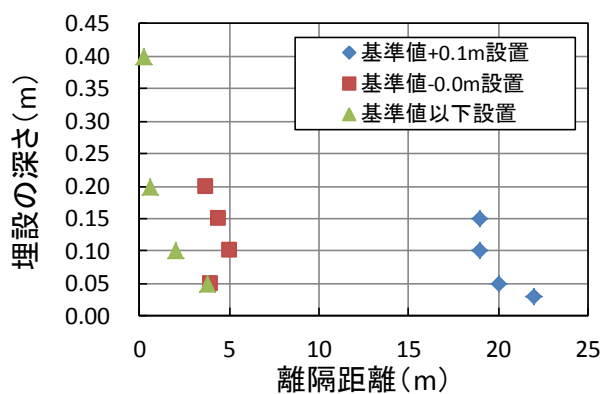
付図 6-17 埋設の深さによる受信電力減衰量

#### (8) 応答距離測定

リフレクターを基準値より 0.1m 高く設置した場合、基準値の高さに設置した場合、基準値よりも低く設置した場合の 3 つの状況において、音の判断による応答距離を測定した。それぞれの設置時におけるリフレクターの応答距離を付図 6-18 に示す。埋設の深さは可能な限りリフレクターのどの面に対しても同じ深さとなるようにした。また、ディテクターは人が持ち、実際の利用シーンのように向きを変えたりしながら操作した。

火山灰が積もっていた土台の基準値から 0.1m 上げた場合、リフレクターによる応答距離は埋設の深さにあまり大きく依存せず距離は 20m 程度となった。埋設の深さによって減衰量は変化する結果が得られているが、実際には応答距離に大きく影響がないような結果であった。次に設置高 0m とした場合には 5m 程度までと短くなった。これは、リフレクターが火山灰の固まった土台に設置していることから、伝搬路における減衰量が増

えたため、全体としての応答距離が短くなったものと考えられる。土台に埋めた場合には、深さに依存して大きく距離が変わり、埋設深さ 0.4m では地面から高さでディテクターから音が聞こえる程度であった。なお、この時はディテクターアンテナが地面にちょうど接しない程度まで近づけた状態である。火山灰の水分含有量や火山灰の埋設状況によって応答距離が急に変化することが確認できた。



付図 6-18 埋設の深さによる応答距離

## 実証実験（雪氷環境）

### 1. 雪の状況

雪氷環境の実証実験中、実験場所付近の雪の状態として含水量と雪密度を測定し記録した。雪の状況は時間によって変化することから可能な限り実証実験と同時に測定を行った。なお、含水率の測定は遠藤式を用いた。

測定結果を付表 7-1 に示す。実証実験前までに降った雨や実験当日の晴天等により雪の状況が変わっている。含水率や雪密度は深さとは関係が無い結果であった。雪の状況を一律で考えることは難しいと考えられる結果であった。



付図 7-1 雪の状態の測定風景

付表 7-1 測定結果

測定日	測定箇所	含水率 (%)	雪密度 (g/cm <sup>3</sup> )
1/29	伝搬距離特性時（表面の雪）	4.9	0.278
1/29	〃（雪面から深さ 10cm）	20.0	0.231
1/29	〃（雪面から深さ 40cm）	20.0	0.272
1/29	〃（雪面から深さ 50cm）	20.0	0.389
1/31	応答距離特性時（表面の雪）	6.0	0.115
1/31	〃（雪面から深さ 20cm）	16.2	0.513
1/31	〃（雪面から深さ 40cm）	8.7	0.449
2/1	埋設特性時（表面の雪）	9.3	0.183
2/1	〃（実験高さにおける雪中）	6.3	0.419
2/2	〃（実験高さにおける雪中）	5.1	0.118

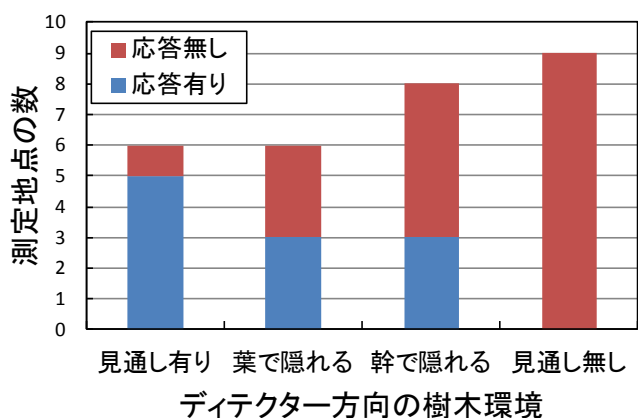


## 2. 樹木環境による応答特性

雪氷環境外と同じ場所、同じ測定系を用いて、ディテクターとリフレクターの間に樹木等が存在する雪氷環境で、リフレクターの応答状況を確認した。可能な限り、雪氷環境外と同じ場所にディテクターとリフレクターを設置した。ただし、ディテクター及びリフレクターはの設置高は、雪氷環境外では地上から 1.5m であるが、雪氷環境では利用シーンを想定し雪面から 1.5m とした。なお、樹木環境による応答特性の積雪高は 70cm であった。

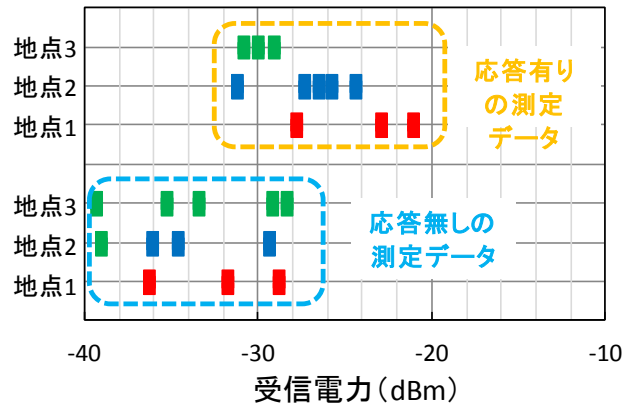
樹木環境での測定を実施した結果を付図 7-2 に示す。リフレクターからディテクターを見た時に、ディテクターが見える状況を「見通し有り」、ディテクターを直視することができないが、葉っぱや枝などに隠れている先にディテクターが見える状況を「葉で隠れる」、一本の木の幹などで遮蔽されている状況を「幹で隠れる」、盛り土や複数の木々で遮蔽されている状況を「見通し無し」と定義し、人の主観評価で測定地点ごとの環境を分類した。

リフレクターの応答は距離や環境により大きく変わることが確認できた。見通しが無くなると、ディテクターの反応が悪くなることから、樹木などによる遮蔽が搜索範囲を狭めることに繋がりがやすいことが確認できた。この結果については雪氷環境外と同様の傾向である。



付図 7-2 樹木環境と応答結果（見通し状況）

また、樹木環境での受信電力測定結果を付図 7-3 に示す。雪氷環境ではディテクターからの受信電力が -25dBm ~ -30dBm で反応の切り替わり閾値となり、-30dBm を下回ると聞こえない状況であった。受信電力についても雪氷環境外と同じ傾向であった。



付図 7-3 樹木環境と応答結果 (受信電力)

## 共用検討の各システム諸元

ここでは、周波数共用検討を実施したシステムの諸元を示す。

### 1. 携帯電話の諸元

共用検討に用いた LTE 基地局及び移動局の諸元を付表 8-1 に示す。

付表 8-1 LTE 基地局及び移動局

	LTE 基地局	移動局
占有周波数帯幅	5,10,15,20MHz	
空中線電力	36dBm/MHz <sup>注3</sup>	23dBm <sup>注2</sup>
空中線利得 <sup>注4</sup>	14dBi <sup>注3</sup> (900MHz) 17dBi (1.7GHz)	0dBi <sup>注3</sup>
給電線損失 <sup>注4</sup>	5dB <sup>注3</sup>	0dB <sup>注3</sup>
アンテナ放射パタン (水平)	付図 8-1 (a) 参照	無指向性
アンテナ放射パタン (垂直)	付図 8-1 (b) 参照	無指向性
空中線設置高 <sup>注4</sup>	40m <sup>注3</sup>	1.5m <sup>注3</sup>
許容干渉レベル	-119dBm/MHz (I/N=-10dB)	-110.8dBm/MHz (I/N=-6dB)
感度抑圧干渉許容レベル	-43dBm <sup>注1</sup>	-56dBm(BWChannel/2+7.5MHz 離調) <sup>注2</sup> -44dBm(BWChannel/2+12.5MHz 離調) <sup>注2</sup>
スプリアス発射の強度	-13dBm/MHz <sup>注1</sup>	-30dBm/MHz
付加損失		8dB(人体吸収損失) <sup>注3</sup>

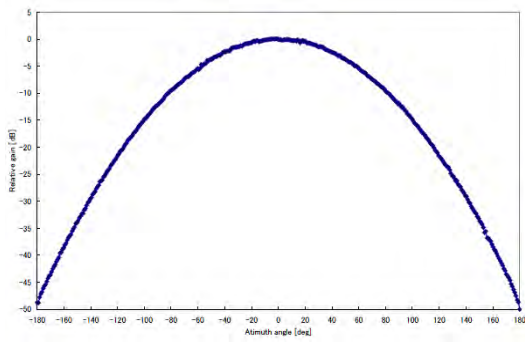
注 1 : 3GPP TS36.104 v8.3.0(2008-9)

注 2 : 3GPP TS36.104 v8.3.0(2008-9)

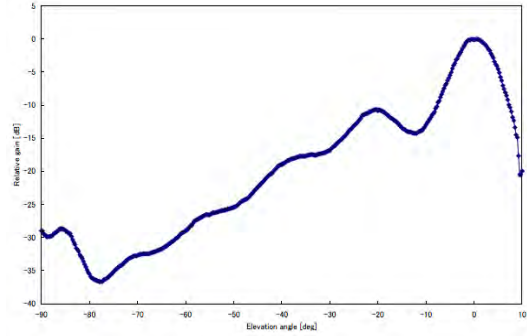
注 3 : 「携帯電話等周波数有効利用方策委員会報告」(平成 17 年 5 月 30 日)

注 4 : 送信系、受信系共に同じ



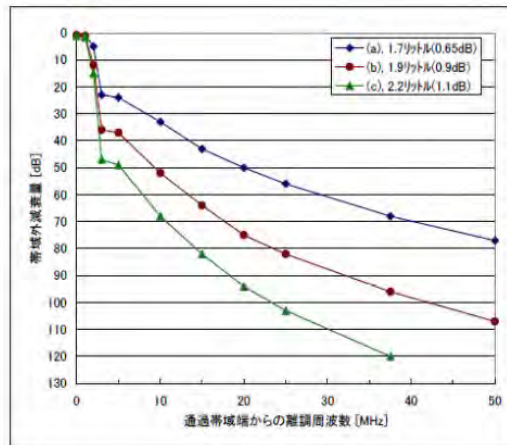


(a) 水平放射パターン

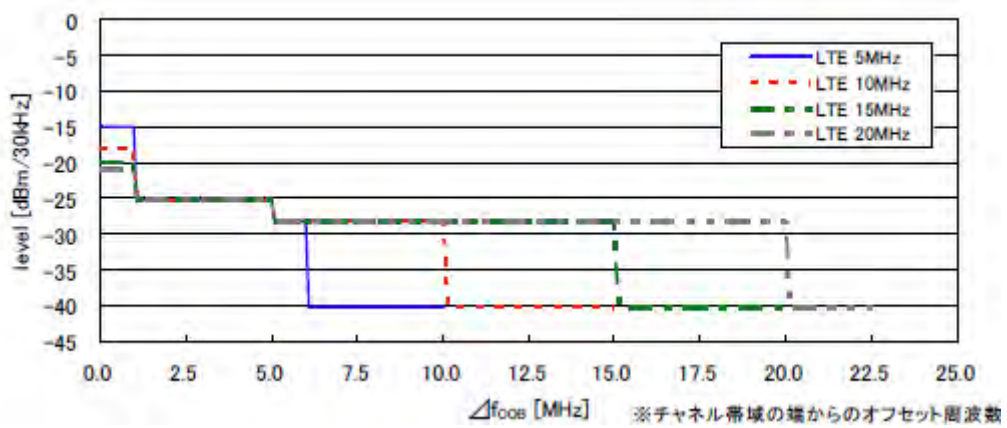


(b) 垂直放射パターン

付図 8-1 LTE 基地局のアンテナ放射パターン



付図 8-2 LTE 基地局/陸上移動中継局の送受信フィルタ特性



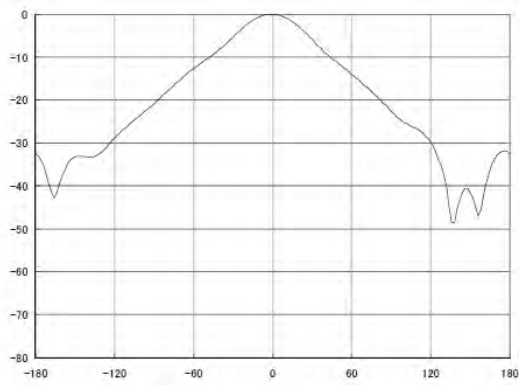
付図 8-3 LTE 移動局のスペクトラムエミッションマスク特性

共用検討に用いた陸上移動中継局の諸元を付表 8-2 に示す。

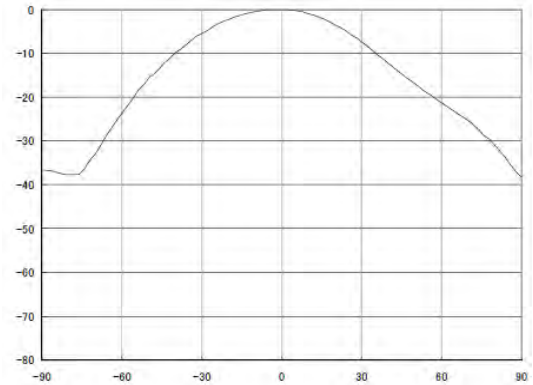
付表 8-2 陸上移動中継局

	陸上移動局対向器	基地局対向器
空中線電力	[屋外エリア用] 36dBm [屋内エリア用] 26dBm	[屋外エリア用] 23dBm [屋内エリア用] 20.4dBm
空中線利得 <sup>注1</sup>	[屋外エリア用] 11dBi [屋内エリア用] 0dBi	[屋外エリア用] 13dBi [屋内エリア用] 7dBi
給電線損失 <sup>注1</sup>	[屋外エリア用] 8dB [屋内エリア用] 0dB (一体型) 10dB (分離型)	[屋外エリア用] 8dB [屋内エリア用] 0dB (一体型) 10dB (分離型)
アンテナ放射パタン <sup>注1</sup> (水平)	[屋外エリア用] 付図 8-4 (a) [屋内エリア用] 無指向性	[屋外エリア用] 付図 8-5 (a) [屋内エリア用] 付図 8-6 (a)
アンテナ放射パタン <sup>注1</sup> (垂直)	[屋外エリア用] 付図 8-4 (b) [屋内エリア用] 無指向性	[屋外エリア用] 付図 8-5 (b) [屋内エリア用] 付図 8-6 (b)
空中線設置高 <sup>注1</sup>	[屋外エリア用] 15 m [屋内エリア用] 2 m (一体型) 3 m (分離型)	[屋外エリア用] 15 m [屋内エリア用] 2 m (一体型) 10 m (分離型)
許容干渉レベル	-118.9dBm/MHz	-110.9dBm/MHz
感度抑圧干渉 許容レベル	-44dBm	-56dBm(5MHz 離調) -44dBm(10MHz 離調)
スプリアス発射の強度	30MHz-1GHz (送信周波数帯 域端から 10MHz 以上離れ (送信周波数帯域を除く)) : -13dBm/100kHz 以下	30MHz-1GHz (送信周波数 帯域端から 10MHz 以上離れ (送信周波数帯域を除く)) : -26dBm/100kHz 以下

注 1 : 送信系、受信系共に同じ

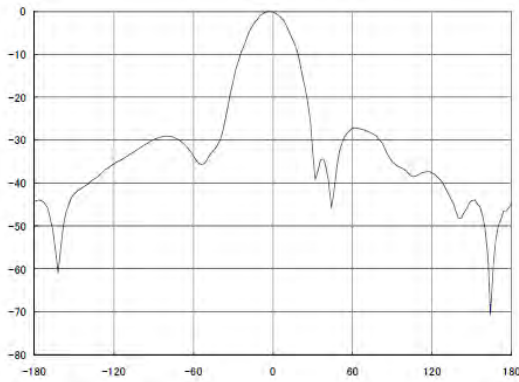


(a) 水平放射パターン

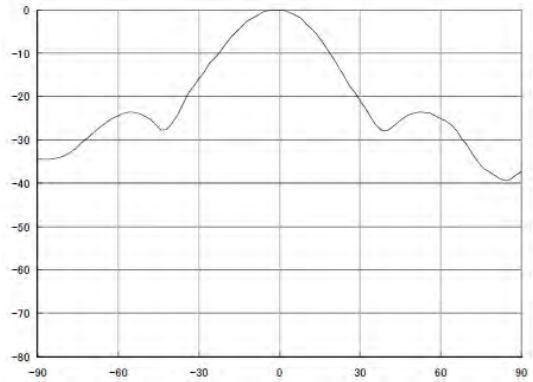


(b) 垂直放射パターン

付図 8-4 陸上移動中継局（屋外エリア用）陸上移動局対向器

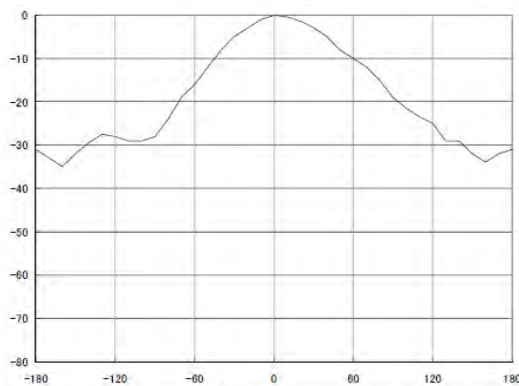


(a) 水平放射パターン

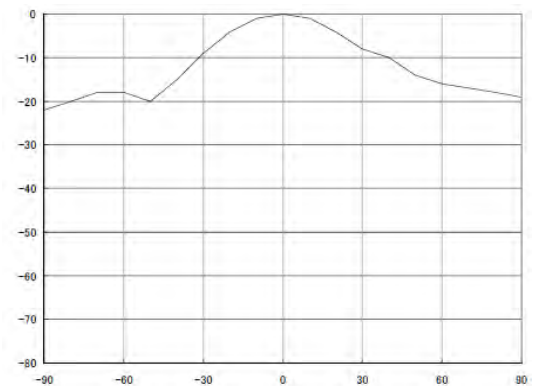


(b) 垂直放射パターン

付図 8-5 陸上移動中継局（屋外エリア用）基地局対向器



(a) 水平放射パターン



(b) 垂直放射パターン

付図 8-6 陸上移動中継局（屋内エリア用）基地局対向器

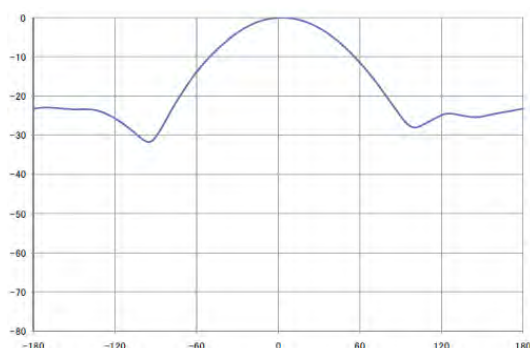
共用検討に用いた小電力レピータの諸元を付表 8-2 に示す。

付表 8-3 小電力レピータ

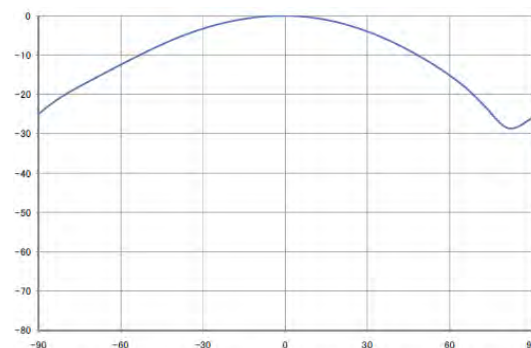
	陸上移動局対向器	基地局対向器
空中線電力	24dBm	16dBm
空中線利得 <sup>注1</sup>	0dBi	9dBi
給電線損失 <sup>注1</sup>	0dB	0dB (一体型) 12dB (分離型)
アンテナ放射パターン <sup>注1</sup> (水平)	無指向性	付図 8-7 (a)
アンテナ放射パターン <sup>注1</sup> (垂直)	無指向性	付図 8-7 (b)
空中線設置高 <sup>注1</sup>	2 m	2 m (一体型) 5 m (分離型)
許容干渉レベル	-118.9dBm/MHz	-110.9dBm/MHz
感度抑圧干渉 許容レベル	-44dBm	-56dBm(5MHz 離調) -44dBm(10MHz 離調)
スプリアス発射の強度	30MHz-1GHz (送信周波数帯 域端から 10MHz 以上離れ (送信周波数帯域を除く)) : -13dBm/100kHz 以下	30MHz-1GHz (送信周波数 帯域端から 10MHz 以上離れ (送信周波数帯域を除く)) : -26dBm/100kHz 以下
付加損失 <sup>注2</sup>	10dB	10dB (一体型) 0dB (分離型)

注 1 : 送信系、受信系共に同じ

注 2 : 本検討の利用シーンを想定し、壁損失として 10dB を設ける。



(a) 水平放射パターン



(b) 垂直放射パターン

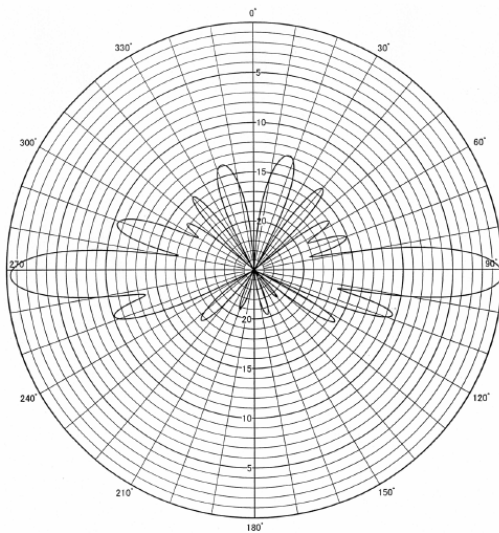
付図 8-7 陸上移動中継局 (屋内エリア用) 基地局対向器

## 2. MCA の諸元

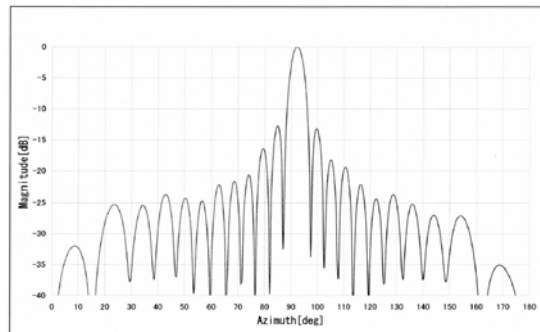
共用検討に用いた MCA の諸元を付表 8-4 に示す。

付表 8-4 MCA

	中継局	移動局
空中線電力	40W/キャリア	2W/キャリア
給電線損失	8.5dB	1.5dB
空中線利得	10.5dBi 17dBi (大都市部)	4.0dBi (車載移動局) 10dBi (管理移動局)
アンテナ放射パターン (垂直)	付図 8-8 参照	無指向性 (車載移動局)
アンテナ放射パターン (水平)		付図 8-9 参照 (管理移動局)
空中線設置高	40m 150m (大都市部)	1.5m (車載移動局) 10m (管理移動局)
許容干渉レベル	-126.8dBm/16kHz	-123.8dBm/16kHz
感度抑圧干渉許容レベル	-51dBm	-51dBm
スプリアス発射の強度	送信電力に対して-60dB 以下又は $2.5 \mu W$ 以下	送信電力に対して-60dB 以下又 は $2.5 \mu W$ 以下

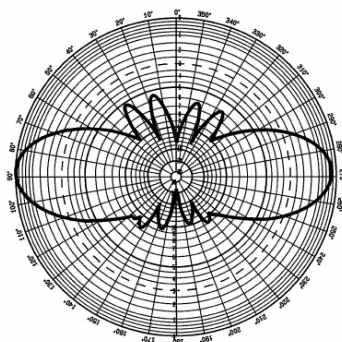


(a) 送受信アンテナ特性

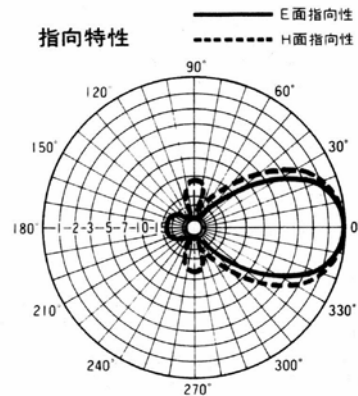


(b) 利得 17dBi

付図 8-8 中継局のアンテナ放射パターン



(a) 車載移動局



(b) 管理移動局

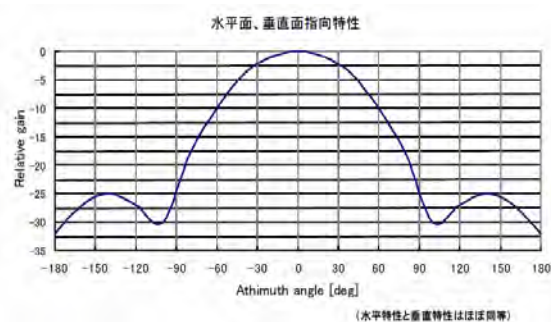
付図 8-9 移動局のアンテナ放射パターン

### 3. RFID

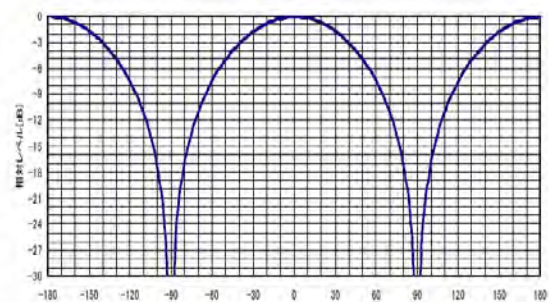
共用検討に用いた RFID の諸元を付表 8-6 に示す。

付表 8-5 RFID

	パッシブタグシステム (リーダー/ライター)			アクティブタグシステム	
	高出力型	中出力型	低出力型	1mW タイプ	10mW タイプ
出力	30dBm	24dBm	10dBm	0dBm	10dBm
給電線損失	0dB	0dB	0dB	0dB	0dB
空中線利得	6dBi		3dBi	3dBi	
アンテナ放射パターン	付図 8-10 参照			付図 8-10 参照	
空中線設置高	1.5m			1.5m	
許容干渉レベル	-86dBm/4.2MHz				
感度抑圧干渉許容レベル	-30dBm@2MHz				



(a) 高出力型パッシブタグシステム  
リーダー/ライター



(b) 中出力型及び低出力型パッシブタグ

付図 8-10 RFID のアンテナ放射パターン

#### 4. PHS

共用検討に用いた PHS の諸元を付表 8-6 に示す。

付表 8-6 PHS

	基地局	端末	小電力レピータ
給電線損失	0dB	0dB	0dB
空中線利得	16dBi <sup>注1注2</sup>	0dBi <sup>注1</sup>	4dBi <sup>注3</sup>
アンテナ放射パターン (垂直)	付図 8-11 参照	無指向性 <sup>注1</sup>	無指向性
アンテナ放射パターン (水平)			
空中線設置高	15m <sup>注4</sup>	1.5m	2m
許容干渉レベル <sup>注1</sup>	-132dBm/300kHz	-130dBm/300kHz	-130dBm/300kHz
感度抑圧干渉許容レベル	-32dBm	-46dBm <sup>注1注5</sup>	-46dBm <sup>注1注5</sup>
人体吸収損	-	8dB	-

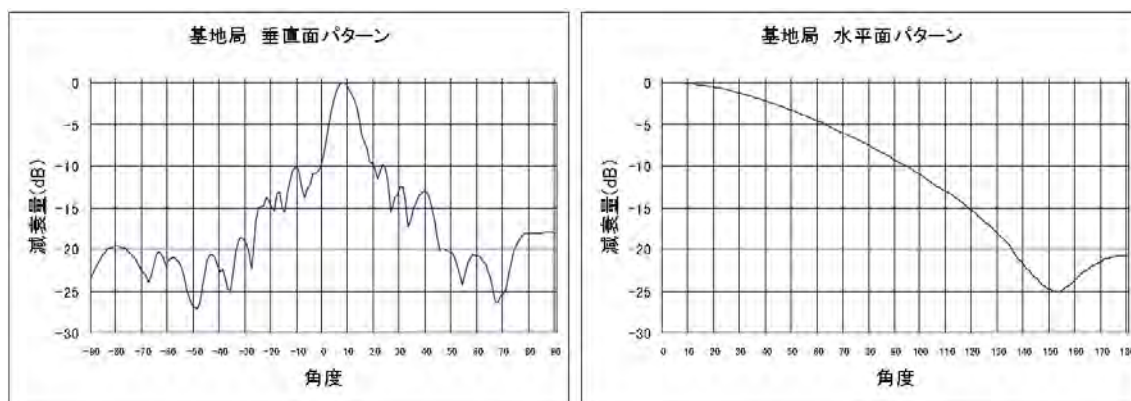
注 1：携帯電話等周波数有効利用方策委員会報告(平成 17 年 5 月 30 日)

注 2：(参考)無線設備規則では基地局アンテナ利得は 1884.65MHz 以上 1893.35MHz 以下の周波数においては最大 21dBi まで

注 3：(参考)無線設備規則ではレピータのアンテナの端末側アンテナ利得は 1884.65MHz 以上 1893.35MHz 以下の周波数においては最大 21dBi まで

注 4：住宅地での値

注 5：1844.9MHz～1879.9MHz 並びに 1925MHz～1980MHz での値



付図 8-11 PHS 基地局のアンテナ放射パターン

## 共用検討結果

ここでは、電探システムのうちディテクターとの共用検討結果を示す。本文中は地上の  
 捜索関係者が持参する条件であったが、ここではヘリコプター及びドローンの利用条件を  
 記載する。

### 1. 895MHz の共用検討結果

付表 8-1 携帯電話（↓）との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要 改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要 改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	34.8	0.722	37.6	0.997
中継局（基地局対向器 屋外用）	16.6	0.13	19.3	0.177
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	17.8	0.125	20.5	0.171
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	18.1	0.08	20.8	0.109
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	37.6	0.974	40.3	1.329
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	38.8	0.974	41.5	1.329

付表 8-2 携帯電話（↓）との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要 改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要 改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	27.6	0.721	30.4	0.996
中継局（基地局対向器 屋外用）	4.9	0.108	7.6	0.148
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	8	0.079	10.7	0.111
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	0.9	0.017	3.6	0.03
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	27.2	0.858	29.9	1.171
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	26.2	0.681	28.9	0.93



付表 8-3 携帯電話（↑）との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	8.4	0.181	-8.5	0
中継局（移動局対向器 屋外用）	26.3	0.231	10.5	0.037
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	25.5	0.242	9.7	0.038
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	15.9	0.076	0.1	0.01
小電力レピータ（移動局対向器）	39.5	1.212	23.7	0.197

付表 8-4 携帯電話（↑）との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	17.9	0.183	1	0.024
中継局（移動局対向器 屋外用）	15.1	0.201	-0.7	0.029
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	18.2	0.24	2.4	0.028
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	8.5	0.072	-7.3	0
小電力レピータ（移動局対向器）	32.2	1.212	16.4	0.195

## 2. 919.2MHz の共用検討結果

付表 8-5 携帯電話（↓）との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	29	0.369	25	0.233
中継局（基地局対向器 屋外用）	-22.1	0	-26.2	0
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	-20.8	0	-24.9	0
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	-20.6	0	-24.7	0
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	31.8	0.498	27.7	0.311
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	33	0.498	28.9	0.311

付表 8-6 携帯電話（↓）との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	21.7	0.368	17.7	0.231
中継局（基地局対向器 屋外用）	-33.7	0	-37.8	0
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	-30.6	0	-34.7	0
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	-37.7	0	-41.8	0
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	21.3	0.438	17.2	0.272
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	20.4	0.348	16.3	0.216

付表 8-7 携帯電話（↑）との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	10	0.22	-8.4	0
中継局（移動局対向器 屋外用）	28	0.28	10.7	0.038
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	27.2	0.293	9.9	0.039
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	17.6	0.092	0.3	0.011
小電力レピータ（移動局対向器）	40.8	1.401	23.5	0.191

付表 8-8 携帯電話（↑）との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	19.5	0.222	1.1	0.025
中継局（移動局対向器 屋外用）	16.8	0.243	-0.5	0.03
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	19.9	0.291	2.6	0.029
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	10.1	0.089	-7.2	0
小電力レピータ（移動局対向器）	33.5	1.401	16.2	0.189

付表 8-9 RFID との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	同一周波数帯域内干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
RFID		
高出力パッシブタグシステム	84.7	226.205
中（低）出力パッシブタグシステム	82.5	175.591
アクティブタグシステム（250mW）	82.5	175.591
アクティブタグシステム（20mW）	82.5	175.591
アクティブタグシステム（1mW）	82.5	175.591

付表 8-10 RFID との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	同一周波数帯域内干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
RFID		
高出力パッシブタグシステム	75.7	183.866
中（低）出力パッシブタグシステム	73.7	146.05
アクティブタグシステム（250mW）	73.7	146.05
アクティブタグシステム（20mW）	73.7	146.05
アクティブタグシステム（1mW）	73.7	146.05

付表 8-11 MCA との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
MCA（↑）				
中継局	-35.7	0	-32.8	0

付表 8-12 MCA との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
MCA（↑）				
中継局	-32.6	0	-29.7	0

### 3. 928.5MHz の共用検討結果

付表 8-13 携帯電話（↓）との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	26	0.263	25	0.233
中継局（基地局対向器 屋外用）	-13.4	0	-14.5	0
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	-12.1	0	-13.2	0
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	-11.9	0	-13	0
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	28.8	0.354	27.7	0.311
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	30	0.354	28.9	0.311

付表 8-14 携帯電話（↓）との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	18.7	0.261	17.7	0.231
中継局（基地局対向器 屋外用）	-25	0	-26.1	0
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	-21.9	0	-23	0
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	-29	0	-30.1	0
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	18.3	0.311	17.2	0.272
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	17.4	0.247	16.3	0.216

付表 8-15 携帯電話（↑）との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	-7.2	0	-24.8	0
中継局（移動局対向器 屋外用）	10.8	0.038	-5.7	0
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	10	0.04	-6.5	0
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	0.4	0.011	-16.1	0
小電力レピータ（移動局対向器）	40	1.278	23.5	0.191

付表 8-16 携帯電話（↑）との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	2.3	0.029	-15.3	0
中継局（移動局対向器 屋外用）	-0.4	0.03	-16.9	0
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	2.7	0.029	-13.8	0
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	-7.1	0	-23.6	0
小電力レピータ（移動局対向器）	32.7	1.278	16.2	0.189

付表 8-17 RFID との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
RFID				
高出力パッシブタグシステム	28.8	0.364	22.4	0.174
中（低）出力パッシブタグシステム	26.6	0.283	20.2	0.135
アクティブタグシステム（250mW）	26.6	0.283	20.2	0.135
アクティブタグシステム（20mW）	26.6	0.283	20.2	0.135
アクティブタグシステム（1mW）	26.6	0.283	20.2	0.135

付表 8-18 RFID との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
RFID				
高出力パッシブタグシステム	19.8	0.295	13.4	0.139
中（低）出力パッシブタグシステム	17.8	0.233	11.4	0.109
アクティブタグシステム（250mW）	17.8	0.233	11.4	0.109
アクティブタグシステム（20mW）	17.8	0.233	11.4	0.109
アクティブタグシステム（1mW）	17.8	0.233	11.4	0.109

付表 8-19 MCA との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
MCA（↑）				
中継局	-3.3	0	-2.8	0

付表 8-20 MCA との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
MCA（↑）				
中継局	-0.2	0.024	0.3	0.026

## 4. 941.5MHz の共用検討結果

付表 8-21 携帯電話（↓）との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	33.4	0.616	37	0.928
中継局（基地局対向器 屋外用）	15.9	0.121	19.4	0.18
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	17.2	0.116	20.7	0.174
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	17.4	0.075	20.9	0.111
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	36.2	0.831	39.7	1.237
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	37.4	0.831	40.9	1.237

付表 8-22 携帯電話（↓）との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↓）				
LTE 移動局	26.1	0.615	29.7	0.927
中継局（基地局対向器 屋外用）	4.3	0.101	7.8	0.151
中継局（基地局対向器 屋内用一体型）	7.4	0.073	10.9	0.113
中継局（基地局対向器 屋内用分離型）	0.3	0.014	3.8	0.031
小電力レピータ（基地局対向器一体型）	25.7	0.731	29.2	1.09
小電力レピータ（基地局対向器分離型）	24.8	0.581	28.3	0.866

付表 8-23 携帯電話（↑）との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	-34.3	0	-42.3	0
中継局（移動局対向器 屋外用）	-16.3	0	-23.2	0
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	-17	0	-23.9	0
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	-26.6	0	-33.5	0
小電力レピータ（移動局対向器）	30.4	0.423	23.5	0.191

付表 8-24 携帯電話（↑）との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
携帯電話（↑）				
LTE 基地局	-24.8	0	-32.8	0
中継局（移動局対向器 屋外用）	-27.4	0	-34.3	0
中継局（移動局対向器 屋内一体型）	-24.3	0	-31.2	0
中継局（移動局対向器 屋内分離型）	-34.1	0	-41	0
小電力レピータ（移動局対向器）	23.1	0.422	16.2	0.189

付表 8-25 MCA との共用検討（ヘリコプター高度 10m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
MCA（↑）				
中継局	-2.6	0	-2.9	0

付表 8-26 MCA との共用検討（ドローン高度 30m）

共用検討対象システム	隣接周波数帯域内干渉		隣接周波数帯域外干渉	
	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]	所要改善量 [dB]	離隔距離 [km]
MCA（↑）				
中継局	0.5	0.026	0.2	0.025

## 計算式

### 1. 雪の中の伝搬減衰

#### (1) 雪の複素誘電率<sup>11</sup>

雪は氷と空気、および水の混合誘電体である。日本雪氷学会が1967年に雪の顕微鏡写真によって粒子の大きさや密度をもとに行った雪質の分類<sup>12</sup>を付表10-1に示す。ただし、同じ雪でも温度や時間の変化とともに変態していくので、数値的に明確な区別ができるわけではなく、大まかな目安である。

付表 10-1 雪質の分類

大分類	小分類	密度
新雪	新雪	0.05～0.15
しまり雪	小しまり雪	0.15～0.25
	しまり雪	0.25～0.5
ざらめ雪	ざらめ雪	0.3～0.5
しもざらめ雪	こしもざらめ雪	0.3程度
	しもざらめ雪	0.3程度（結晶が大）

これらの雪質に対して、その誘電率は氷、空気、水の各成分の割合に依存する。氷の複素比誘電率は周波数1MHzから1THzにおいて、周波数を $f$ [GHz]、温度を $T$ [°C]とすると次式で表わされる<sup>13</sup>。

$$\epsilon_{ice} = \epsilon'_{ice} - j\epsilon''_{ice} = 3.15 - j10^{-4} \left[ \frac{\alpha(\theta)}{f} + \beta(\theta)f \right] \quad \dots\dots\dots (10.1)$$

$$\alpha(\theta) = (50.4 + 62\theta)e^{-22.1\theta} \quad \dots\dots\dots (10.2)$$

$$\beta(\theta) = \frac{0.502 - 0.131\theta}{1 + \theta} + 0.00542 \left( \frac{1 + \theta}{\theta + 0.0073} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (10.3)$$

$$\theta = \frac{300}{273.15 + T} - 1 \quad \dots\dots\dots (10.4)$$

<sup>11</sup>細矢良雄 編著：「電波伝搬ハンドブック」リアライズ社（1999）P68

<sup>12</sup>清水 弘：「雪氷の研究」日本雪氷学会 4（1970），または日本建設機械化協会：「防雪工学ハンドブック」p21, 森北出版（1989）

<sup>13</sup> G. Hufford：” A model for the complex permittivity of ice at frequencies below 1 THz”, Int. J. Infrared Millim. Waves 12 [7] pp.677-682（1991）



粒子のすき間は空気や水分であるから、粒子状態によって誘電率が決まる。水分の含まれ具合は体積含水率  $m_v$  で表現されるが、いわゆる乾雪（新雪、しまり雪、 $m_v < 3\%$ ）の状態では水分は殆どなく、密度と比誘電率の間には次の関係がある。

(a) 乾雪 (Dry Snow)

$$\epsilon_{ds} = \begin{cases} 1.0 + 1.9\rho_s & \text{for } \rho_s \leq 0.5 \text{ g/cm}^3 \\ 0.51 + 2.88\rho_s & \text{for } \rho_s \geq 0.5 \text{ g/cm}^3 \end{cases} \dots\dots\dots (10.5)$$

(b) 湿雪 (Wet Snow)

Debye モデルと実験結果によって以下の近似式が提案されている。

$$\epsilon_{ws} = \epsilon'_{ws} - j\epsilon''_{ws} \dots\dots\dots (10.6)$$

$$\epsilon'_{ws} = 1.0 + 1.83\rho_s + 0.02m_v^{1.015} + \frac{0.073m_v^{1.31}}{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \dots\dots\dots (10.7)$$

$$\epsilon''_{ws} = \frac{0.073 \left(\frac{f}{f_0}\right) m_v^{1.31}}{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \dots\dots\dots (10.8)$$

適用範囲：  $3 \leq f \leq 37 \text{ GHz}$

$f_0 = 9.07 \text{ GHz}$

$\rho_s$  : 密度,  $0.09 \leq \rho_s \leq 0.38 \text{ g/cm}^3$

$m_v$  : 体積含水率,  $0 < m_v < 15\% \text{ max}$

一般に、乾燥した雪では複素比誘電率の実部が 1.5 程度以下、水分が多く含まれていると思われる積雪でも最大 3 以下である。

(2) 積雪等の誘電的性質を有する媒質中の電波伝搬<sup>14</sup>

無限に広い一様等方性伝搬媒質中を電波が通過する場合の伝搬定数 (propagation constant)  $k$  は次式で表わされる。

$$k = \beta - j\alpha \dots\dots\dots (10.9)$$

$$\beta = \omega\sqrt{\epsilon\mu} \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} + 1 \right\}} \dots\dots\dots (10.10)$$

$$\alpha = \omega\sqrt{\epsilon\mu} \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} - 1 \right\}} \dots\dots\dots (10.11)$$

<sup>14</sup> 細矢良雄 編著：「電波伝搬ハンドブック」リアライズ社 (1999) P13

ここで、 $\beta[\text{rad/m}]$ は位相定数、 $\alpha[\text{Np/m}]$ は減衰定数とよばれる。 $\omega[\text{rad/s}]$ ( $\omega = 2\pi f$ ,  $f[\text{Hz}]$ は周波数)は角周波数 $\epsilon[\text{F/m}]$ は誘電率、 $\mu[\text{H/m}]$ は透磁率、 $\sigma[\text{S/m}]$ は導電率(電気導電率ともいう)である。また、 $\alpha[\text{Np/m}]$ から $\alpha'[\text{dB/m}]$ の変換は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \alpha'[\text{dB/m}] &= 20 * \log_{10}(\exp(\text{Neper})) \\ &= 8.686 \times \alpha[\text{Np/m}] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (10.12)$$

強磁性対以外では、 $\mu[\text{H/m}] = \mu_0$ として取り扱っても差し支えない<sup>15</sup>。

次に、Maxwell の方式の Ampere の法則の電流項を考えると、周波数領域では伝導電流と誘電率虚部による変位電流との区別がなくなることから

$$\sigma = \omega \epsilon_r'' \epsilon_0 \quad \dots\dots\dots (10.13)$$

で表すことが出来る。

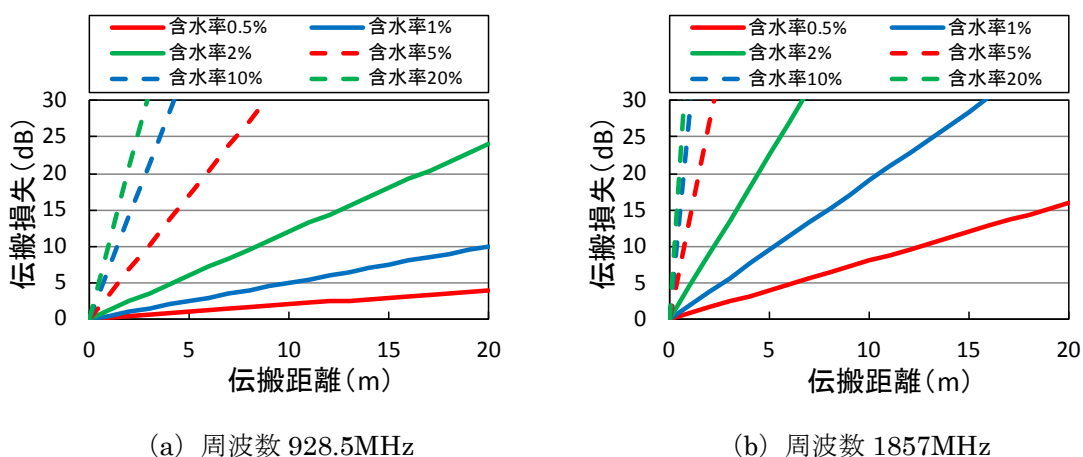
誘電正接 $\tan \delta$ は媒質の損失の程度を表すのに用いられる。また複素誘電率のベクトル関係による、誘電正接は以下の式で表すことができる。

$$\tan \delta \equiv \frac{\sigma}{\omega \epsilon} = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \quad \dots\dots\dots (10.14)$$

### (3) 伝搬距離と伝搬損失の関係

雪密度と含水率をパラメータとした雪中の伝搬距離と伝搬損失の関係を付図 10-1 示す。

雪密度については、大まかな目安として 0.05~0.3%であることが示されているうえ、今回の実証実験中で測定した雪密度が 0.1~0.5%であり、測定の平均値が 0.3%であったことから 0.3%を用いる。含水率については実証実験中の降雨等によりバラつきが大きかったため、0.1~20%と変化させる。



付図 10-1 伝搬距離と伝搬損失

<sup>15</sup> 山田直平：「電気磁気学」第二次改訂版,電気学会,p.216 (1992)

## 2. 樹林の影響

樹林による伝搬損失が生じるが、樹木の種類や形状等が多いため正確なモデル化は極めて難しい。また、樹幹や葉などの複素誘電率から予想される値よりも、伝搬損失の実測値はかなり小さい。さらには測定例のいくつかでは損失は距離に依存しないとの報告<sup>16</sup>もある。樹木による伝搬損失の推定モデルを付表 10-2 に示す。本調査検討会で用いた電探システムの対象周波数では、ITU-R モデル、回折モデル、Weissberger モデルとなっている。それぞれのモデルについて示す。

付表 10-2 樹林損推定モデルの適用領域

	3MHz	30MHz	300MHz	3GHz	30GHz	
	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF
樹林損なし			①ITU-R モデル			
		誘電体スラブモデル		②回折モデル		
			③Weissberger モデル			
				Seville-Craig モデル		

### (1) ITU-R モデル

ITU-R では、送受信アンテナが共に樹林内にある場合の付加損失の減衰係数を与えている。また、アンテナが樹林外にある場合の理論的計算方も示されている。

$$A_{ev} = A_m [ 1 - \exp(-d \gamma / A_m) ]$$

d : length of path within woodland (m)

$\gamma$  : specific attenuation for very short vegetative paths (dB/m)

$A_m$  : maximum attenuation for one terminal within a specific type and depth of vegetation (dB)

### (2) 回折モデル

送受信アンテナが樹林から十分遠く、送受信結合のほとんどが樹木による回折によって生じているとみることができる場合がある。送受信アンテナに最も近い樹林の位置に回折物体が存在していると仮定したナイフエッジによる損失計算値は、実験値とよく一致している。

### (3) Weissberger モデル

温帯の樹林において送受信のアンテナのいずれかが小さい樹林(深さが 400m 以下)

<sup>16</sup> W.C.Y.Lee: "Mobile Communications Engineering," pp.134-136, McGraw-Hill, (1982)

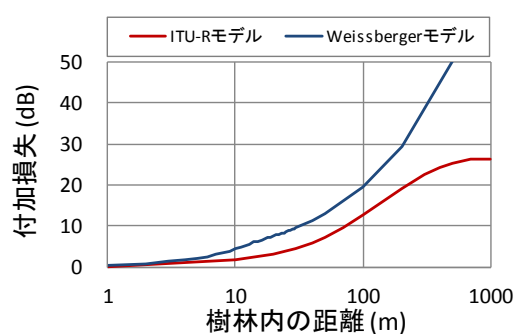
に充分近くに設置され、電波のエネルギーのほとんどが樹木内を伝搬する場合、樹林による付加損失は以下の式で近似される。

$$L \cong 0.187 f^{0.284} d^{0.588} \quad (14 \leq d \leq 400\text{m})$$

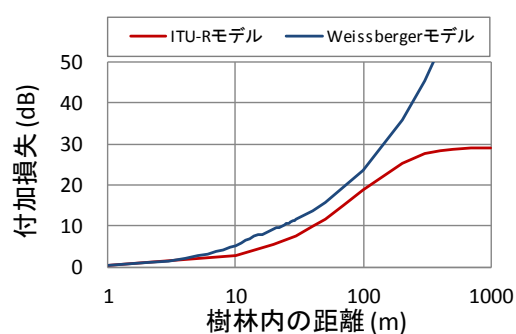
$$\cong 0.0633 f^{0.284} d \quad (14 \leq d \leq 400\text{m})$$

#### (4) 伝搬距離と伝搬損失の関係

樹林における伝搬距離と伝搬損失の関係を付図 10-2 に付図 10-1 示す。伝搬路内に樹林が 10m あると想定した場合、ITU-R モデルにおいて 1.7dB@928.5MHz、2.9dB@1857MHz であった。



(a) 周波数 928.5MHz



(b) 周波数 1857MHz

付図 10-2 伝搬距離と伝搬損失

## 利用シーン

これまでの検討により、携帯電話、携帯基地局や小電力レピータ局等の他の無線局との離隔距離の確保、同一エリアでの利用を前提とする場合には所要改善量を確保するためにディテクターの空中線電力の低下若しくはフィルタの挿入による不要発射強度の低下が必要となることが確認できた。今後は以下の状況を基に利用シーンを詳細に検討することが望まれる。

### 1. 電探システム（ディテクター）の利用状況

電探システムのイベント毎の利用状況は付表 11-1 のとおりである。電探システムの利用は雪崩発生後の捜索時に用いることとなる。その他、訓練時でも利用されることがある。

付表 11-1 利用状況

イベント	場所	電探システム (ディテクター)	他の無線局の 利用状態	備考
平常時	山岳全般	利用なし	登山者、一般人が利用している無線局	一般人は整備されたスキー場を利用。 電探システムは山岳救助施設等で電源 OFF
訓練時	訓練会場	利用あり	訓練参加者が持参する無線局(現場にある訓練参加者の無線局の台数把握・管理は可能)	他の無線局に対する影響を事前に周知・調整することは可能。
雪崩発生時 (直後)	雪崩発生現場	利用なし	現場に居合わせた登山者等が所有している無線局等	雪崩発生直後は捜索者が現地にいないため、ディテクターは現場にない。
捜索時	雪崩発生現場	利用あり	捜索者が持参する無線局(現場にある無線局の把握・管理は可能)、遭難者の無線局	電探システムを使う際には他の捜索者(プローブ捜索者、救助犬等)は別場所で待機或いは捜索。 麓の集落付近で発生した雪崩には電子機器等による誤認識のため電探システムが利用できない。 捜索隊の電子機器は別場所で管理。
捜索終了	雪崩発生現場	利用なし		

## 2. 電探システムの利用詳細

雪崩発生時に電探システムを利用する条件は付表 11-2 のとおりである。

付表 11-2 利用条件

項目	内容	備考
利用場所	雪崩発生現場	主に谷間が雪崩発生現場となる。 雪崩発生現場であっても、携帯電話のサービスエリア内の場合もある。 雪崩が起こる場所は通常一般人は入らない。 捜索者が現着した後は捜索者以外の登山者等は現場から出される。
	訓練会場	訓練会場は登山者や一般人が入らない雪崩発生と同じ様な谷間。 ディテクターの利用が許可されれば麓に近い場所。なお麓に近い会場では登山者や一般人が付近にいることもあるが、訓練を実施している敷地内には入れない。
利用タイミング	雪崩発生時	雪崩発生時に利用。捜索申請後に現地に到着したのち使用する。他の捜索者との調整可能。
利用台数	1～2 台	雪崩規模に関わらず捜索現場で 2 台利用
利用時間	数時間～1 日	捜索実施時間に依存する。若しくはディテクターのバッテリー駆動時間による。
入場規制範囲	捜索者以外の入場規制	雪崩のデブリ（堆積）規模による。数百メートルとなる場合がある。
無線局の管理	救助隊長	雪崩現場の救助隊（組織長）が捜索に当たる人の他の無線機器の管理が可能。 組織長は救助機関や警察等による任命で決まる。

※登山者：雪山登山やバックカントリースキー・スノーボーダー等雪山に慣れている人

※一般人：登山者等以外の人。雪山等に普段から入らない人

※訓練参加者：捜索関係者（山岳警備隊等の機関等に所属している人）

## 3. 捜索時

雪崩発生後、セルフレスキューであれば直ちに捜索が実施されるが、行政機関等へ要請した場合は出動の準備等の時間が掛かる。早くても 1 時間以上は掛かると考えられる。なお、天候によっては回復するまで捜索が実施されない場合もある。雪崩現場には電探システムを持参した捜索者が持ち込むこととなる。

本格的な捜索活動のために現場に入場規制が掛かった場合の電探システムを利用するシーンは付図 11-1 のとおりである。二次雪崩誘発の可能性が有るため、現場の谷間は入場規制の措置が取られる。

### (1) 雪崩発生現場の無線局について

雪崩発生現場付近にあると考えられる無線局を以下に示す。

- ・ 雪崩遭難者が所有する携帯端末等

- ・ 捜索活動を実施する捜索者が所持する電探システム及び他の無線局
- ・ 近くにある山小屋などに設置されている小電力レピータ局等
- ・ 山の尾根などにある携帯基地局

## (2) 捜索活動時の状況について

捜索活動時の状況を以下に示す。

- ・ 二次雪崩の危険性を排除するため一般登山者の現場付近への入場が規制される。
- ・ 電探システムは捜索者によって現場に持ち込まれる。
- ・ 捜索活動には多くの人数（捜索チーム）が派遣される。
- ・ 現場に詳しい捜索者が入山することから、携帯電話基地局や近隣の山小屋等の位置は把握しやすい。
- ・ 捜索者（捜索チーム「プローブ利用、救助犬、他の無線システム」）は、順番で捜索を実施することが可能。
- ・ 捜索の順番や待機指示は、現場の救助隊長による判断で決まる。
- ・ 入場規制範囲が雪崩堆積区である。

## (3) 電探システムと他の無線局との位置

電探システムと他の無線局の位置関係等を以下に示す。

- ・ 電探システムが誤検知しないよう、救助活動の捜索者が所有する無線局は捜索方向と反対方向にまとめることが可能である。なお、電探システムが誤検知しないよう、救助活動の捜索者が所有する無線局は捜索方向と反対方向にまとめることが可能である。なお、電探システムの操作者の後方 20m 位に待機すれば誤検知しない実績がある。
- ・ 電探システムの利用中、後方に置いた無線局の利用について制限はない。
- ・ 入場規制範囲で登山者等が所有する携帯電話等と離隔距離を確保できる。
- ・ 電探システムの使用方法を事前にレクチャーしておくことで、可能な範囲で電探システムを他の無線局等に直接向けることを避けるよう努める。



付図 11-1 入場規制後の利用シーン

## 用語解説

### 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。

### 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。

### 振幅変調 (amplitude modulation)

通信変調方式の一つで、主として音声信号からなる情報を、電波の振幅を変化させることで伝達する。

### 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。

### 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。

### 八木アンテナ (Integrated Yagi)

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 移動通信システム委員会報告 "920MHz 帯における周波数有効利用のための周波数共用技術",調査検討報告書,平成 25 年 3 月
- [2] 情報通信審議会 情報通信技術分科会 携帯電話等高度化委員会報告 「携帯電話等の周波数有効利用方策」のうち「900MHz 帯を使用する移動通信システムの技術的条件」及び「携帯無線通信の中継を行う無線局の技術的条件」
- [3] 平成 25 年度 920MHz 帯マルチホップセンサーネットワーク技術を応用した 移動無線通信システムに関する調査検討

### 総務省公開情報等

- [4] 総務省北陸総合通信局「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」,平成 17 年 3 月

### ITU-R 勧告

- [5] Rec.ITU-R P.833-1:"Attenuation in vegetation",ITU-R Recommendations,Volume 1997 P Series-Part1,pp.193-194,ITU,Geneva(1997)
- [6] CCIR:"Influence of terrain irregularities and vegetatin on tropospheric Propagation",Rep236-6,Recommendations and Reports of the CCIR V,pp.96-101,ITU,Geneva,(1986)

### IEEE

- [7] T.Abe,etrl,"Experimental study of microwave transmission in snowpack",IEEE Trans.Geosci.Remote Sens.28[5],pp.915-921(1990)

### (社)電波産業会 標準規格等

- [8] ARIB STD-27,STD-28 “デジタル方式自動車電話システム”
- [9] ARIB STD-T106 “構内無線局 920MHz 帯移動体識別用無線設備”
- [10] ARIB STD-T107 “特定小電力無線局 920MHz 帯移動体識別用無線設備” ,
- [11] ARIB STD-T108 “920MHz 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” ,

### 和文論文

- [12] 浅田峯夫, "電波干渉法による雪の複素誘電率推定," 電子情報通信学会論文信誌 B, Vol.J87-B, no.3, pp.428-436, 2004年3月.
- [13] 山田直平: 「電気磁気学」第二次改訂版,電気学会,p.216 (1992)

### その他

- [14] 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.
- [15] 清水 弘: 「雪氷の研究」日本雪氷学会 4 (1970), または日本建設機械化協会: 「防雪工学ハンドブック」 p21, 森北出版 (1989)
- [16] G. Hufford: "A model for the complex permittivity of ice at frequencies below 1 THz", Int. J. Infrared Millim. Waves 12 [7] pp.677-682 (1991)
- [17] W.C.Y.Lee: "Mobile Communications Engineering," pp.134-136,McGraw-Hill, (1982)