

400MHz帯気象・地象観測用周波数の
有効利用に関する調査検討
報告書(概要版)

平成30年3月

400MHz帯気象・地象観測用周波数の有効利用に関する調査検討会

現状と課題

近年、火山活動(口永良部、桜島、阿蘇山等)や地震活動(熊本地震、鳥取中部地震等)が活発化してきており、火山や地震の観測が重要になってきている。

また、ゲリラ豪雨等気候変動による豪雨災害やそれに伴う土砂災害も多発しており、気象観測や災害状況を把握する事も重要である。

■気象援助局及び地震又は火山噴火予知観測用無線局数

気象援助局:全国 480 局 九州 23 局

地震又は火山噴火予知観測用:全国 194 局 九州 54 局

※平成29.12末現在。ここ数年間は大きな変化は無い。

■気象・地象観測に使用している回線の種類および割合

図1-1より、気象・地象データの観測には、有線回線、携帯電話、テレメータ、特定小電力、無線LAN、衛星通信回線と様々な回線が利用されている。また、今回検討対象とする400MHz帯気象援助局(2%)及び400MHz帯地震又は火山噴火予知観測用移動局(6%)、固定局(2%)の回線割合は計10%しか利用されてなく、利用が進んでいない。

■利用が進んでいない理由

地震又は火山噴火予知観測用無線機は表1-1の理由から利用が進んでいないと考えられる。

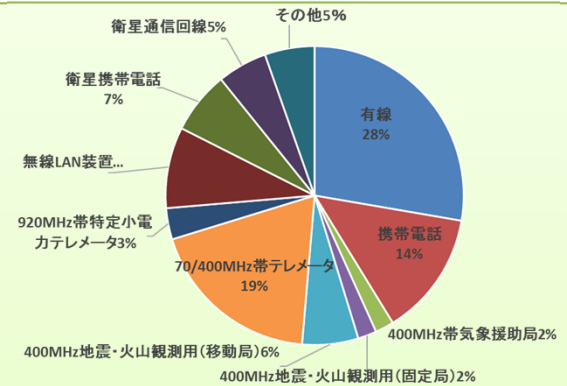


図1-1 気象・地象観測に使用している回線

表1-1地震又は火山噴火予知観測用無線機の利用が進んでいない理由

項目	理由
機能	<ul style="list-style-type: none"> 多項目観測の要望から移動系の9.6kbpsでは通信速度不足。
予算	<ul style="list-style-type: none"> 適材適所で選定しており、携帯電話や有線のエリアが比較的広範囲で使え、費用も安価で、高速伝送が可能である。 予算の減少。
利用	<ul style="list-style-type: none"> 他の機関へ移管したり、光回線へ乗り換えたりして予備機として保管している。
制度	<ul style="list-style-type: none"> 新スプリアス規定に対応不可のため緊急時の予備機として保管している。

省電力・長距離伝送に優れたLoRa方式を始め、多様な伝送方式が出現しているため、これら新しい技術の導入により400MHz帯の周波数を利用する気象援助局及び地震又は火山噴火予知観測用無線局の周波数(以下、「気象・地象観測用周波数」という)の活性化による有効利用が可能になると考えられる。そのため、ニーズ調査、実証試験から新しい通信方式の導入のために必要な技術基準等を提言する。

調査検討の目的

・新たな通信方式を導入可能にして伝送手段の選択肢を広げることにより、400MHz帯の気象・地象観測用周波数の利用促進を図り、もって防災・減災に資する。
 ・新たな通信方式の伝搬測定を実施し、その有効性、利用方法などの検討を行い、導入のために必要な技術基準等を提言する。



- ①現状、ニーズ調査を行い、問題点の整理や新しい伝送方式の活用方法を検討する。
- ②新たな通信方式の伝搬測定を実施し、各方式の特性を明らかにする。
- ③現行システムとの周波数共用を検討する。
- ④技術的条件等を検討する。

第1章 現状と課題(検討対象周波数)

今回の検討対象は400MHz帯気象・地象観測用周波数である。

【気象援助局】

用途等	周波数 (MHz)	占有周波 数帯幅 (kHz)	電波の 型式	空中線 電力 (W)
ラジオ・ロケット用 12.5kHz間隔 13波	402.875	8.5	F2D,F1D	1
	402.8875	8.5	"	1
	402.9	8.5	"	1
	402.9125	8.5	"	1
	402.925	8.5	"	1
	402.9375	8.5	"	1
	402.95	8.5	"	1
	402.9625	8.5	"	1
	402.975	8.5	"	1
	402.9875	8.5	"	1
	403	8.5	"	1
	403.0125	8.5	"	1
	403.025	8.5	"	1
ラジオ・ロケット 中継用 12.5kHz間隔 8波	405.9	8.5	F2D,F1D	1
	405.9125	8.5	"	1
	405.925	8.5	"	1
	405.9375	8.5	"	1
	405.95	8.5	"	1
	405.9625	8.5	"	1
	405.975	8.5	"	1
405.9875	8.5	"	1	

【地震又は火山噴火予知観測用】

用途等	周波数 (MHz)	占有周波 数帯幅 (kHz)	空中線 電力 (W)
固定系	346.6	50	20
固定系	347.5	50	20
固定系	363.1	50	20
固定系	364	50	20
移動系 12.5kHz間隔 21波	402.6	8.5	1
	402.6125	8.5	1
	402.625	8.5	1
	402.6375	8.5	1
	402.65	8.5	1
	402.6625	8.5	1
	402.675	8.5	1
	402.6875	8.5	1
	402.7	8.5	1
	402.7125	8.5	1
	402.725	8.5	1
	402.7375	8.5	1
	402.75	8.5	1
	402.7625	8.5	1
	402.775	8.5	1
	402.7875	8.5	1
	402.8	8.5	1
	402.8125	8.5	1
	402.825	8.5	1
	402.8375	8.5	1
	402.85	8.5	1
※			
移動系 12.5kHz間隔 3波	403.05	8.5	1
	403.0625	8.5	1
	403.075	8.5	1
固定系 75kHz間隔 4波	409.025	50	20
	409.1	50	20
	409.175	50	20
	409.25	50	20
固定系	409.7	50	20

帯域幅8.5kHzの連続した周波数
 帯域幅50kHzの周波数

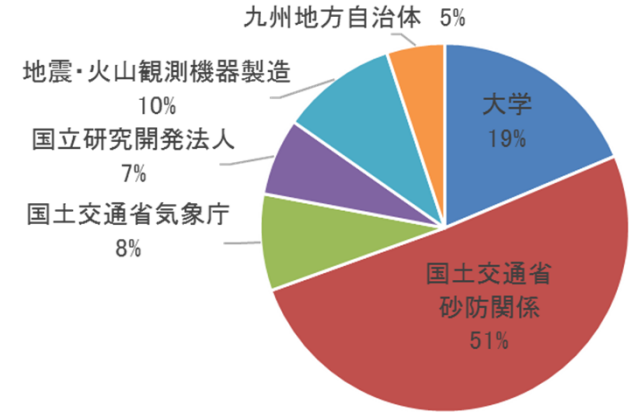
第2章 利用促進に求められるニーズ調査

ニーズ調査

気象・地象観測に携わる大学及び関係機関に、利用している無線機の現状把握及び望まれる諸元等(技術的条件、一般項目)のニーズ、併せて、新たな通信方式としてLoRa方式の代替可能性、公共業務等における利用可能性についてアンケートとヒアリングを実施した。

表2-1 ニーズ調査の概要

調査実施日	対象者等	アンケート数	回答数
2017年8月10日 ～9月1日	400MHz帯気象・地象観測に関係する大学・国交省砂防関係、気象庁、国立研究開発法人、地震又は火山噴火予知観測用機器製造メーカー、九州地方自治体	67	59 *：回答辞退8 「対象システムを所有していない」
2017年10月6日 ～10月31日	アンケート調査を踏まえて個別ヒアリング	8	8



技術的条件に関する項目

表2-2 ニーズ調査のまとめ

図2-1 アンケート調査対象事業者

項目	結果
伝送速度 占有周波数帯幅	<ul style="list-style-type: none"> 伝送速度については、重要という意見は50%、非常に重要が26%。 希望する値として9.6kbps以上が70%超を占めた。 占有周波数帯幅については、必要な伝送速度を実現するために現行の8.5kHz(12.5kHzステップ)を結束することで広帯域化の検討が望まれる。 一方で、占有周波数帯幅を広げるチャンネル結束に伴う混信発生を懸念する。 多項目観測が重要になってきている。高品位な観測が求められており、伝送量が増加している。 伝送速度を求める意見がある一方で、一定の頻度でデータ伝送ができればよい。データ量が少ないため、さほど重要でない意見もある。
通信距離	<ul style="list-style-type: none"> 通信距離については、重要という意見は44%、非常に重要が39%。 希望する値として30km未満が88%であった。
送信周期	<ul style="list-style-type: none"> 地震データに関しては、リアルタイム性を求めるニーズが高い。
専用周波数帯の確保	<ul style="list-style-type: none"> 火山災害時は、有線の通信回線や、電力線が遮断される恐れがあるため、火山観測点のための専用周波数帯は特に重要。 チャンネルの占有周波数帯幅を広げることによるチャンネル間干渉(混信)を回避するために専用周波数帯の利用が望まれる。
通信品質	<ul style="list-style-type: none"> リアルタイムよりもデータの欠損率の低下を望むニーズもある。欠測、異常値発生は、国のデータとして許されない。通信品質が悪いと正しい処理が行われず正しい情報(警報、注意報)が送受信できなかつたり、遅延が生じるためという意見もある。

第2章 利用促進に求められるニーズ調査

LoRa方式の代替可能性及び公共業務等における利用可能性

項目	ニーズ
伝送速度	<ul style="list-style-type: none"> • 現行のシステムがLoRa方式で代替可能となるかについての判断となる伝送速度として9.6kbps以上の意見が多い。 • データ量の少ない傾斜計などのデータでは低速にして長距離伝送も可能であることからこれらに適合すればLoRa方式による利用も可能である。 • 携帯回線や有線を使用してる方からは、伝送容量等の観点から代替は困難という意見もある。
通信距離	<ul style="list-style-type: none"> • 臨時観測(観測点間5km以下)や携帯エリアまでのデータの中継、ラストワンマイルの拠点選択自由度をあげるためにLoRa方式による利用も可能である。 • 都市部の超稠密観測にもLoRa方式による利用が有効である。 • 30km未満が88%であった。
具体的な活用法	<ul style="list-style-type: none"> • 地滑り、土石流の多点による監視(現在は携帯電話のデータ伝送を使用) • 地震のトリガー情報や現地での震度 • 機器が正常に動いているかどうかのチェック • 河川水位検知 • 消防緊急通報などのスマートホームなどの防災 • 構造ヘルスマニタリング、物理探査 • 携帯圏外の山間地現場との内線電話の通信回線 • 樋門樋管水門制御
その他	<ul style="list-style-type: none"> • 新しい火山観測の方法が生まれる可能性があるので、LoRa方式への利用及び通信機器の開発を進めてもらいたい。

一般項目

項目	ニーズ
通信機器に係わる費用	<ul style="list-style-type: none"> • 現用機器と同能力で維持費が安ければ更新時にLoRa方式に更新できる可能性がある。 • 50万円以下との回答が5割超あった。
電源供給	<ul style="list-style-type: none"> • 希望する消費電力で最も多かったニーズは、「太陽電池で1年以上動くこと」が41%であった。次いで、1W以下が24%であった。
使用場所	<ul style="list-style-type: none"> • 複数設置による干渉の影響がない場合、都市部で超稠密観測にも有効である。 • その他、臨時観測点、砂防区域、役所などのふもとの自営施設・公共施設など。

概要

アンケート結果及びニーズを実現するために実験機を用いて装置特性を把握するとともに、技術的条件等の検討に必要な測定を行った。ラボ試験では、各変調方式の基本特性を把握するための単体試験及び共用検討に必要な干渉試験を実施した。フィールド試験では、実利用環境を想定し平坦地、山岳地、海を隔てた2点間で伝搬試験を実施した。各変調方式においては、空中線電力や帯域幅を変化させて伝送距離、受信レベル、スループット、PER (Packet Error Rate: パケットエラー率) 等を測定し評価した。

実証試験項目

実証試験で実施した試験項目を表3-1に示す。

表3-1 実証試験の項目

実証試験項目	試験内容	
ラボ試験	単体試験 (受信感度測定)	標準信号発生器で生成した変調波の受信電力を変化させながらPER(BER)、スループットを測定し、試験装置の受信感度を確認する。LoRa方式はチャンネル結束及び拡散率(SF)を変える。2値FSK方式及び4値FSK方式はチャンネル結束を変える。
	干渉試験 (D/U比測定)	標準信号発生器で生成した変調波または無変調波の入力電力を変化させながら、試験装置のD/U値を確認する。受信感度測定と同様にチャンネル結束や拡散率を変えて測定する。
	消費電力	各装置の消費電力を測定する。
フィールド試験	伝搬特性試験	実験機を用いて、山岳、海上、平地利用を想定し、それぞれ異なる環境で伝搬特性試験絵を実施する。
	伝搬損失モデル	伝搬特性試験結果から、伝搬損失モデルを検討する。



図3-1 実験機の概観

実験機の諸元

実証試験で使用した機器の諸元を表3-2、機器の概観を図3-1に示す。

表3-2 実験機の諸元

項目	LoRa方式	2値FSK方式	4値FSK方式
中心周波数	412.4 ~ 412.4875 MHz		412.4MHz
空中線電力	10/100/500mW	10/100/500mW 1 W/5 W	10 /100/500mW 1 W/5 W
変調方式	LoRa	2値FSK	4値FSK
チャンネル間隔	12.5 / 25.0 / 37.5 / 50.0 kHz		6.25 / 12.5
占有周波数帯幅 (参考値)	7.8 / 20.8 / 31.25 / 41.7 kHz		5.8 / 8.5 kHz
通信速度 (理論値)	0.018 ~ 37.5kbps※	4.8 ~ 19.2kbps	4.8 / 9.6kbps
受信感度	-135 ~ -150dBm	-118dBm	-119 / -115 dBm
サイズ	40 × 29 × 6.2 (mm) (注)モジュールサイズ		160 × 45 × 157 (mm)
動作温度	-40°C to 85°C		-30°C to 60°C
動作電圧	3.3 ~ 5.5 V DC		13.6 V DC ± 15%

※0.018bps (BW=7.8kHz,SF12) ~ 37.5kbps (BW=500kHz,SF6)

単体試験(受信感度)

■表3-2、3-3に各方式の受信レベル特性を示す。LoRa方式はFSK方式よりも16dBも受信感度が低いことが確認できた。また、表3-4ではLoRa方式ではSF値を大きくすると受信感度が低くなる事が確認できた。

表3-3 受信感度

方式	結束	受信感度 (dBm)
LoRa (SF7時)	1CH	-134
	2CH	-132
	3CH	-130
	4CH	-128
2値FSK	1CH	-116
	2CH	-112
	3CH	-109
	4CH	-107
4値FSK	5.8kHz	-119
	8.3kHz	-115

表3-4 LoRa方式の拡散率(SF)と受信感度

方式	SF (1CH時)	受信感度 (dBm)
LoRa	SF8	-136
	SF9	-138
	SF10	-141
	SF11	-143
	SF12	-148

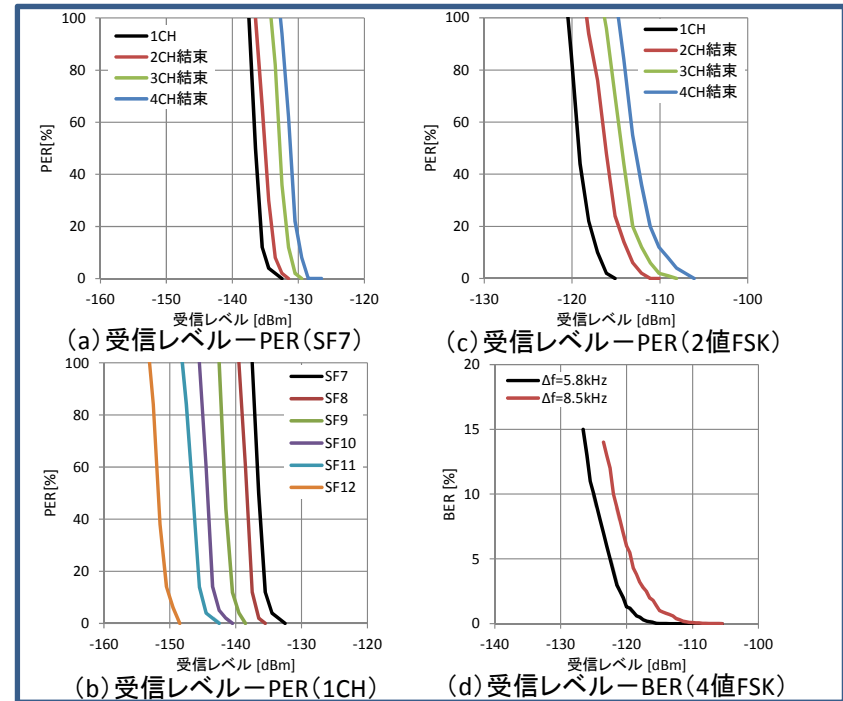


図3-2 受信レベル-PER (a)(b)はLoRa方式 (c)2値FSK方式 (d)4値FSK方式

■表3-5にスループットの測定結果を示す。チャンネル結束数が増えるほど、スループットは高くなる。LoRa方式では、拡散率(SF)を大きくするとスループットは低くなり、4CH結束でも1kbps程度(SF7)であった。2値FSK方式は3CH結束で上限となってしまったが、これは実験機器の制約のためであり、理論上はスループットは大きくなる。

表3-5 スループット

方式	1CH		2CH結束		3CH結束		4CH結束	
	拡散率 (SF)	スループット [bps]	拡散率 (SF)	スループット [bps]	拡散率 (SF)	スループット [bps]	拡散率 (SF)	スループット [bps]
LoRa	SF7	227.4	SF7	587.2	SF7	856.5	SF7	1106.8
	SF8	137.0	SF8	357.3	SF8	527.7	SF8	691.1
	SF9	79.7	SF9	209.5	SF9	312.6	SF9	411.4
	SF10	45.3	SF10	120.0	SF10	178.9	SF10	237.3
	SF11	25.3	SF11	67.4	SF11	100.7	SF11	133.7
	SF12	14.1	SF12	37.5	SF12	56.2	SF12	74.7
2値FSK	—	3227.3	—	6824.3	—	8309.4	—	8370.6

干渉試験(D/U比)

■各方式において、希望波(D)が最小受信感度のときに妨害波(U)を入力したときに、希望波のPERが1%となるときのD/U比を測定した。

表3-6 受信感度

組合せ (方式とチャンネル)			希望波(D)		
			LoRa(SF7)	2値FSK	4値FSK
妨害波(U)	LoRa(SF8)	同一	-3 dB	14 dB	14 dB
		隣接	-60 dB	-41 dB	-25 dB
	2値FSK	同一	-2 dB	10 dB	12 dB
		隣接	-59 dB	-30 dB	-33 dB
	4値FSK	同一	-5 dB	8 dB	—
		隣接	-64 dB	-30 dB	—

【測定結果】

- ・D/U比がマイナスとは、希望波より高いレベルの妨害波でも通信ができる。LoRa方式の同一チャンネルはマイナスなので、他の方式と比べても小さな値となっており、LoRa方式が干渉に強いことが確認された。図3-3(d)(e)の隣接チャンネルの特性において、チャンネル結束なしとありの場合に異なる傾向が現れた。チャンネル結束の有無により、隣接CHへの漏えい電力に差があることが原因と考えられる。
- ・2値FSK方式は、同一チャンネルの干渉特性において、妨害波のシステムにかかわらず、同じような傾向が確認された。図3-4に示す。
- ・4値FSK方式は同一チャンネル、隣接チャンネルそれぞれの特性において、妨害波のシステムにかかわらず、同じような傾向が確認された。図3-5に示す。

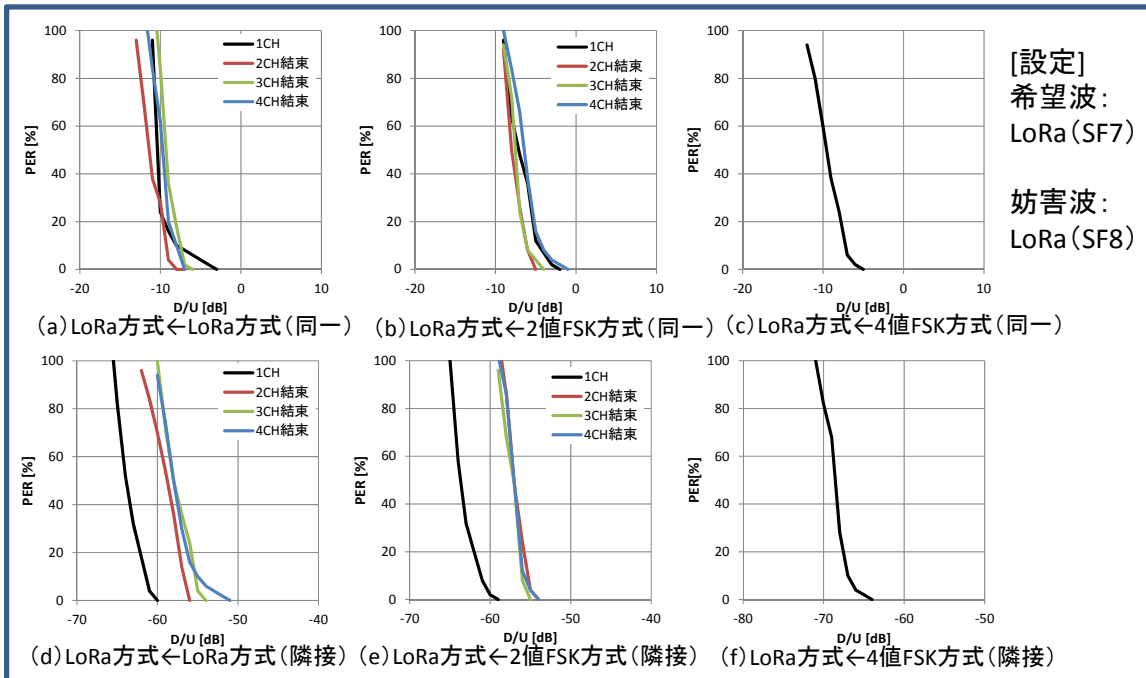


図3-3 希望波がLoRa方式の場合の各方式とのD/U比

表3-7 方式毎の隣接チャンネルの漏えい電力比

結束	LoRa		2値FSK
	下側	上側	下側
1CH	56.6 dBc	52.0 dBc	42.8 dBc
2CH結束	45.7 dBc	39.1 dBc	40.0 dBc
3CH結束	45.4 dBc	37.6 dBc	38.2 dBc
4CH結束	47.8 dBc	37.5 dBc	39.3 dBc

LoRa方式及び2値FSK方式の各結束時における隣接チャンネルの漏えい電力比を表3-7に示す。2CH以上の結束時における漏えい電力比はほぼ同等であるが、1CHの場合、漏えい電力比は大きくなっている。この差によって、1CHの場合のD/U特性が良くなっていると考えられる。

また、LoRa方式は上側の隣接チャンネル漏えい電力が下側に比べ10dB大きい傾向にある。本実験のD/Uは実験周波数の関係から妨害波は下側にある条件で測定している。

干渉試験(D/U比)

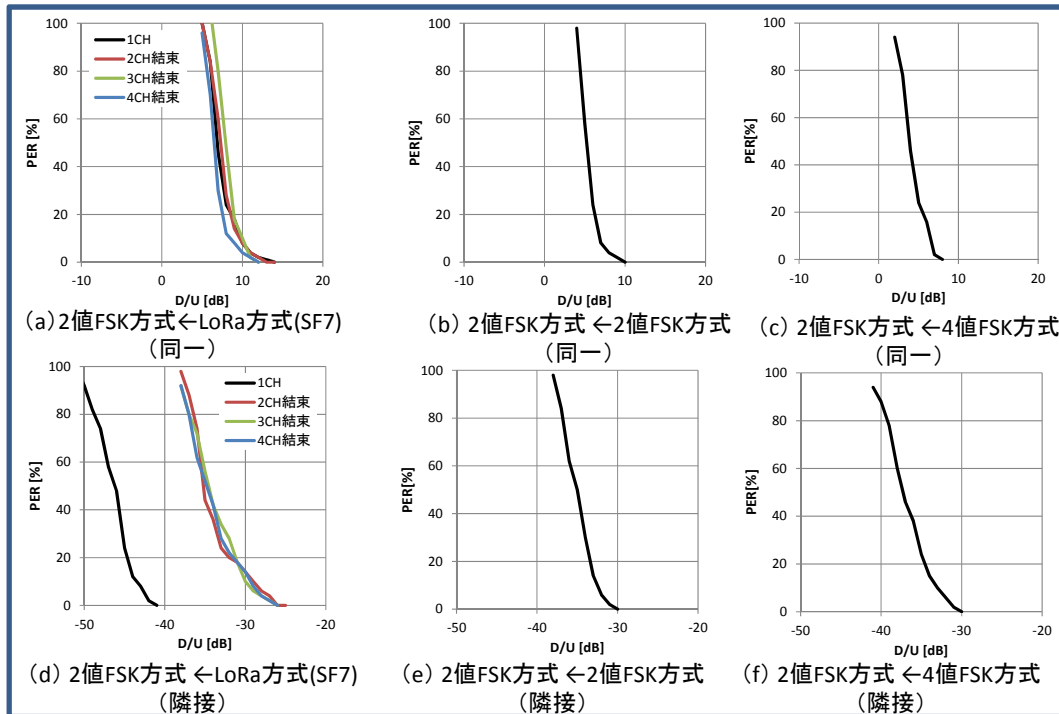


図3-4 希望波が2値FSK方式の場合の各方式とのD/U比

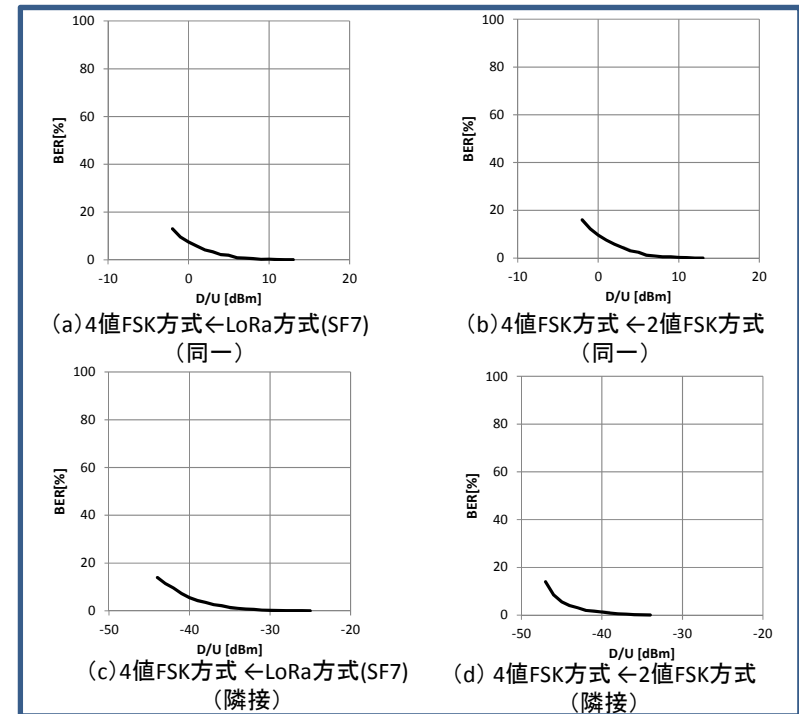


図3-5 希望波が4値FSK方式の場合の各方式とのD/U比

消費電力

消費電力のカタログ値又は実測値を表3-8に示す。LoRa方式は消費電力が小さいことが確認できた。

表3-8 消費電力

現行システム (FM/PCM/GMSK)	LoRa方式 (4CH結束)41.7kHz幅SF=7※1)	4値FSK方式
A社製1W送信時:5.4W以下	1W送信時:1.1W以下※2	1W送信時:17.1W※3
B社製100mW送信時:0.6W以下	100mW送信時:0.44W	

※1 LoRa Calculator (Semtec社)を用いた計算値(消費電流)×3.5Vで算出

<http://www.semtech.com/apps/filedown/down.php?file= SX1272LoRaCalculatorSetup1%271.zip>

※2 外部アンプを接続することを仮定して算出

※3 音声通話が可能な現用装置(車載機)使用しているため、消費電力は高くなっている。専用機を製造すれば現行システムと同等程度まで低消費電力化は可能と想定される。

第3章 実証試験(フィールド試験概要)

フィールド試験場所

関東地方及び九州地方の2ヶ所において、山岳、平地、海上それぞれの環境で伝搬特性の試験を実施した。

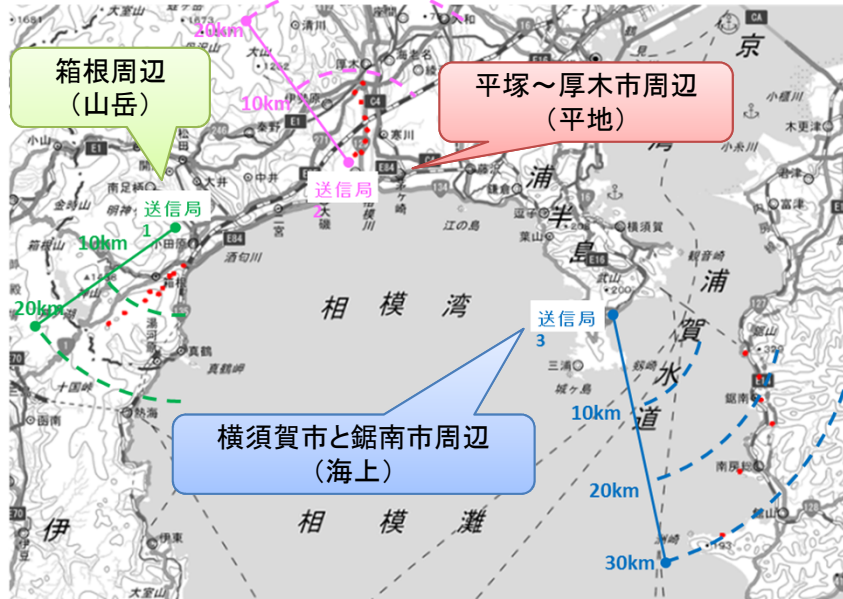


図3-6 試験場所_関東

表3-9 関東地方

送信局	伝搬状況	設置場所	緯度	経度	標高(m)
1	山岳	県立おだわら諏訪の原公園	35° 16'48.1"	139° 07'52.6"	112
2	平地	平塚総合公園北駐車場	35° 20'42.9"	139° 20'38.7"	9
3	海上	下浦海岸第3駐車場	35° 11'38.2"	139° 39'53.6"	4

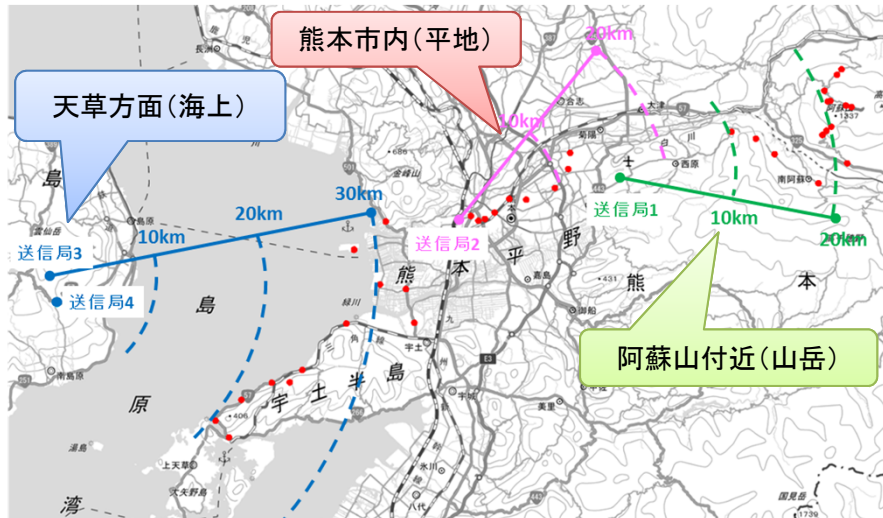


図3-7 試験場所_九州

表3-10 九州地方

送信局	伝搬状況	設置場所	緯度	経度	標高(m)
1	山岳	熊本空港ホテルエミナーズ	32° 49' 28.2"	130° 50' 47.7"	174
2	平地	熊本駅前駐車場	32° 47' 17.3"	130° 41' 20.3"	10
3	海上	仁田峠第二展望所	32° 44' 28.1"	130° 17' 31.9"	1017
4	海上	俵石展望所	32° 43' 8.9"	130° 17' 54.3"	466

※図中の赤いポイントは定点測定のために受信局を設置した場所

■フィールド試験装置の構成

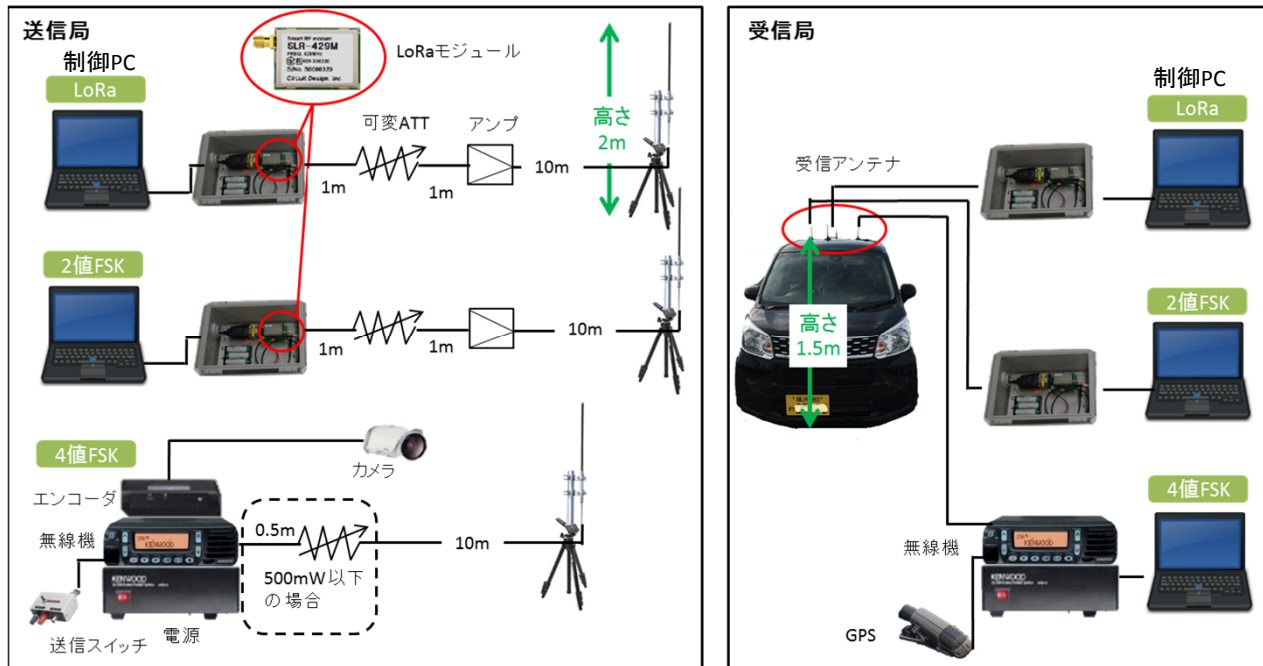


図3-8 試験構成

■試験環境(受信局側)



図3-9 受信側の環境

■試験環境(送信局側)



図3-10 送信側の環境

第3章 実証試験(フィールド試験)

■実証試験の移動測定及び定点測定での機器の設定値を以下に示す。LoRa方式は省電力で長距離伝送が可能のため、空中線電力を500mWまでとした。

■移動測定

表3-11 移動測定時の機器設定

項目	LoRa方式	2値FSK方式	4値FSK方式	備考
空中線電力	0.5W	5W	5W	各装置の最大空中線電力
周波数	412.45MHz	412.4875MHz	412.4MHz	
占有周波数帯幅	7.8kHz	7.8kHz	5.8kHz	
空中線	3素子八木アンテナ(送信局のみ) スリーブアンテナ(送信局・受信局)			送信局は八木アンテナとスリーブアンテナを切り替えて測定を実施
空中線利得	8.15dBi(八木)／2.15dBi(スリーブ)			※送受信とも
空中線設置高	2.0m(送信局)／1.5m(受信局)			※地上からの高さ
その他損失	ケーブル損として1dB(送信局側)			

■定点測定

表3-12 定点測定時の機器設定

項目	LoRa方式	2値FSK方式	4値FSK方式	備考
空中線電力	10/100/ 500mW	10/100/500mW 1 W/5 W	10 /100/500mW 1 W/5 W	各装置の最大空中線電力から0.01Wまで変化
占有周波数帯幅	7.8／20.8／31.25／41.7 kHz		5.8kHz／8.3kHz	4値FSK以外は1CHから4CH結束
拡散率	SF7、SF12	-	-	LoRa方式のみ
空中線	スリーブアンテナ(送信局・受信局)			
空中線利得	2.15dBi(スリーブ)			※送受信とも
空中線設置高	2.0m(送信局)／1.5m(受信局)			※地上からの高さ
その他損失	ケーブル損として1dB(送信局側)			

第3章 実証試験(移動測定結果_山岳)

図3-11に関東地方の山岳環境における測定結果を示す。測定場所は神奈川県で比較的高い山がある箱根山周辺を選択した。送信局を標高112m、受信局を標高20m～1000mの範囲を移動した。

■ 送信点

同心円:
5km単位

[送信電力]
LoRa:0.5W
2値FSK:5W
4値FSK:5W

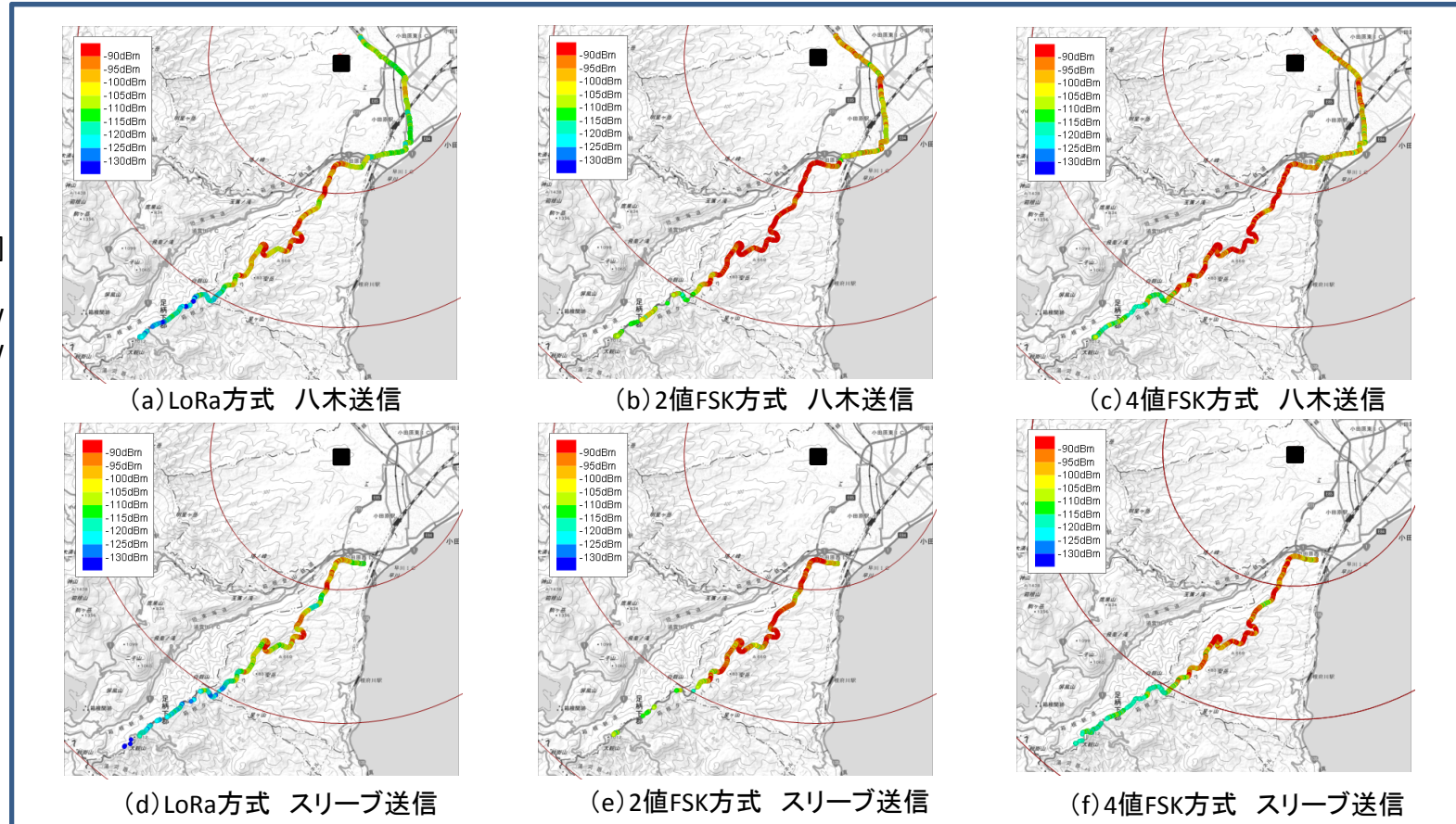


図3-11 移動測定結果 山岳 関東

【結果】

- ・八木アンテナで送信した場合、スリーブアンテナ送信と比べてアンテナ利得分だけ受信レベルが向上している。(全試験共通)
- ・2値FSK方式の受信感度が-116dBm、4値FSK方式の受信感度が-119dBmであるため、2値FSK方式の方が4値FSK方式より伝搬距離が短い。(全試験共通)
- ・今回測定を実施した箱根山付近の環境では、LoRa方式は約13km、2値FSK方式は約11km、4値FSK方式は約13kmまで途切れる事なく受信できた。13km地点までは送信局から離れるにつれて標高が高くなる地形であるが、13km地点を過ぎると標高が下がり山岳回折等による損失が大きくなったためと考えられる。

第3章 実証試験(移動測定結果_山岳)

図3-12に九州地方の山岳環境における測定結果を示す。測定場所は熊本県の火山環境である阿蘇山周辺を選択した。送信局を標高174m、受信局を標高170m～1100mの範囲を移動した。

■送信点

同心円:
5km単位

[送信電力]
LoRa:0.5W
2値FSK:5W
4値FSK:5W

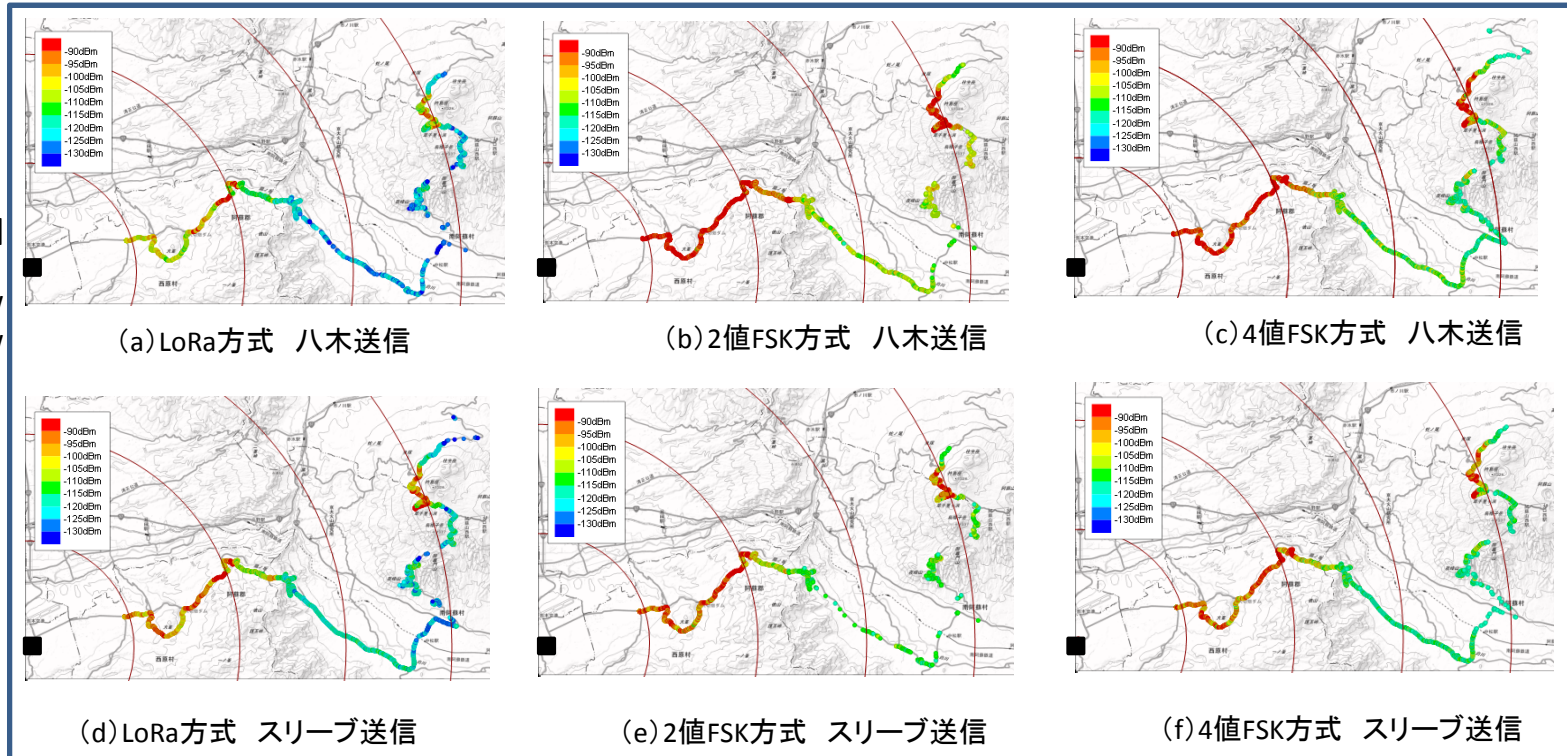


図3-12 移動測定結果 山岳_九州

【結果】

- ・今回測定を実施した阿蘇山付近の環境では、各変調方式も約20kmの山頂で受信できた。これは山岳による遮への影響が少ない環境であり受信レベルも-95dBmと高かったからである。一方で山岳による遮へいが厳しくなる15km地点や山頂を越えた24km地点では2値FSK方式では受信できないことがあったが受信感度が良いLoRa方式では空中線電力が小さくても受信出来る場所があった。
- ・今回の測定ルートでは、山の谷間や上り下りがある地形であり、送受信局間の回折・見通しなどの伝搬環境が変わるため、伝搬距離が短くても受信レベルが低い地点や長距離でも受信レベルが高い地点が見られた。
- ・全ての変調方式で受信不可の地点(黒枠内)はトンネル内である。
- ・関東試験と九州試験とで伝搬距離が2倍近く異なるのは、山岳地形の違いによるためと考えられる。

第3章 実証試験(移動測定結果_平地)

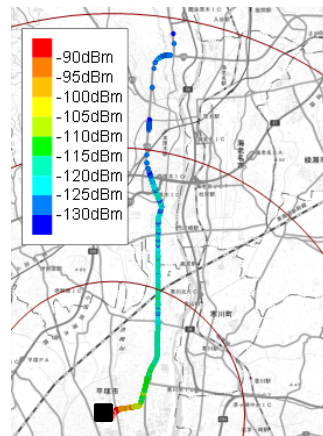
図3-13に関東地方及び九州地方の平地の測定結果を示す。LoRa方式等を用いた気象・地象に関する観測を市街地でも利用することを想定して、比較的長距離で平坦地が続く場所を選択した。

■送信点

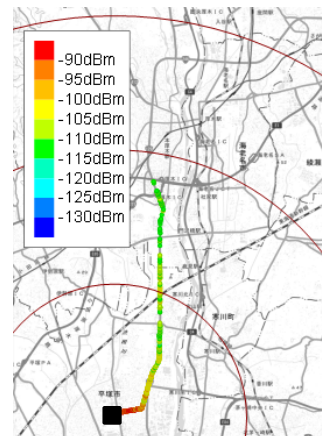
同心円:
5km単位

[送信電力]
LoRa:0.5W
2値FSK:5W
4値FSK:5W

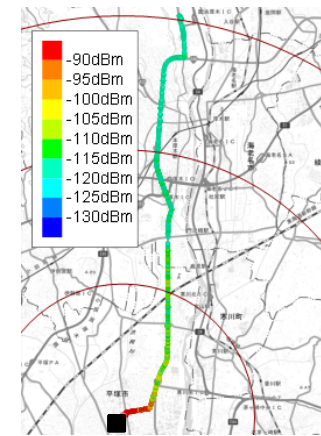
関東



(a)LoRa方式 スリープ送信

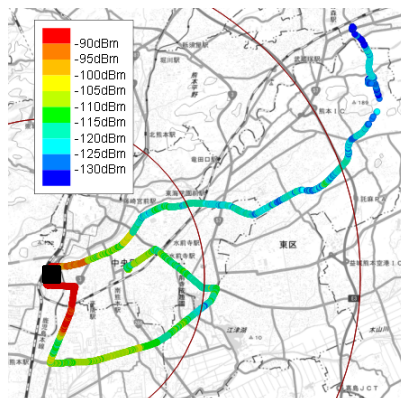


(b)2値FSK方式 スリープ送信

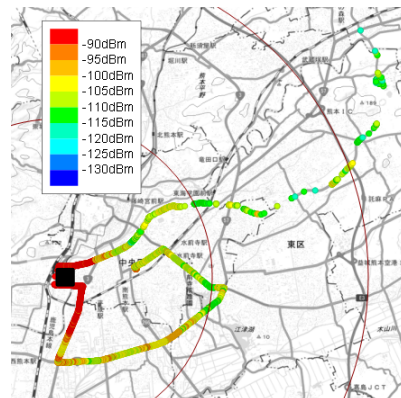


(c)4値FSK方式 スリープ送信

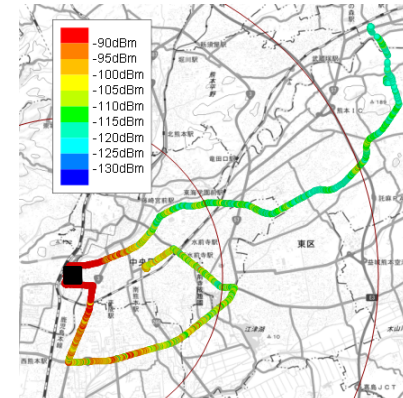
九州



(a)LoRa方式 スリープ送信



(b)2値FSK方式 スリープ送信



(c)4値FSK方式 スリープ送信

図3-13 移動測定結果 平地_関東と九州

【結果】<関東試験>LoRa方式が約10km、2値FSK方式が約6km、4値FSK方式が約15kmまで途切れることなく受信できた。

<九州試験>LoRa方式が約12km、2値FSK方式が約6km、4値FSK方式が約12kmまで途切れることなく受信できた。

・山岳と比べて伝搬距離が約半分であるのは、アンテナ高に比べ伝搬路周辺の建物が高いため、遮へい損失やマルチパスの影響により受信レベルが低下したと考えられる。また、都市部における雑音レベルは山岳環境に比べると10dB程度上がっていたため、受信感度に影響があったと考えられる。

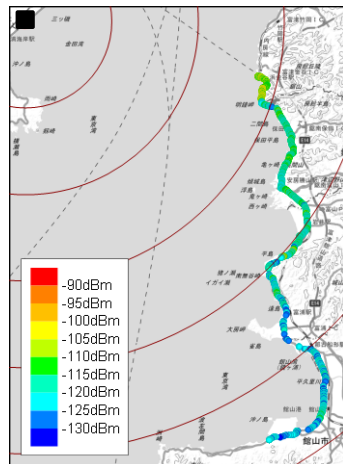
第3章 実証試験(移動測定結果_海上)

図3-14に関東地方の海上の測定結果を示す。気象・地象に関するアンケート調査で海上区間を伝搬させているケース(離島)もあることから、比較的長距離で海上伝搬が可能な試験場所として関東地方では横須賀～千葉区間を選択した。

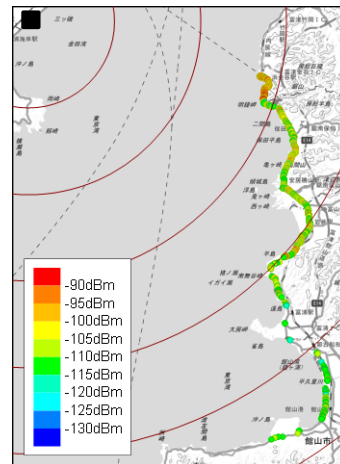
■送信点

同心円:
5km単位

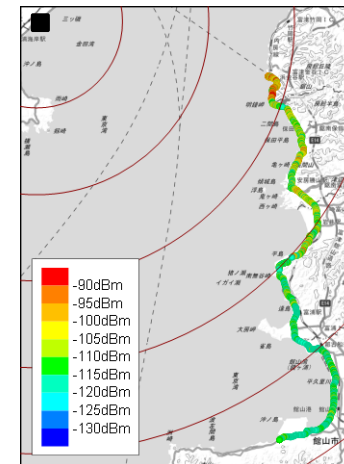
[送信電力]
LoRa:0.5W
2値FSK:5W
4値FSK:5W



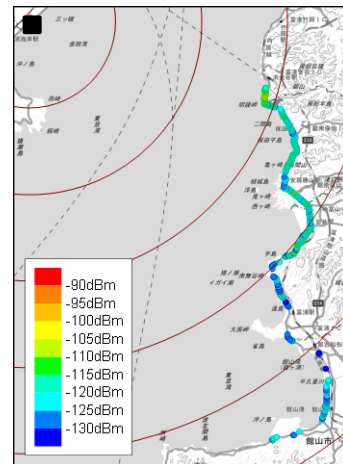
(a)LoRa方式 八木送信



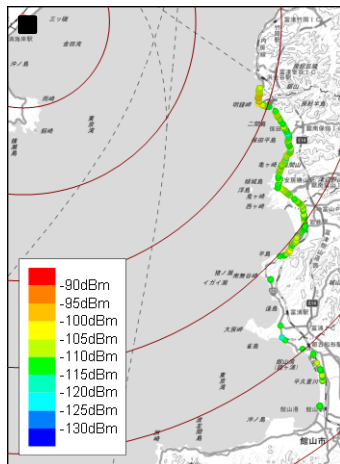
(b)2値FSK方式 八木送信



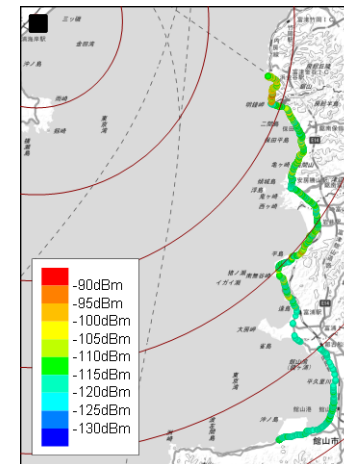
(c)4値FSK方式 八木送信



(d)LoRa方式 スリープ送信



(e)2値FSK方式 スリープ送信



(f)4値FSK方式 スリープ送信

図3-14 移動測定結果 海上_関東

【結果】

LoRa方式は約22km、2値FSK方式は約20km、4値FSK方式は約22kmまで受信できた。

第3章 実証試験(移動測定結果_海上)

図3-15に九州地方の海上の測定結果を示す。九州地方では熊本～島原区間を選択した。送信局及び受信局のアンテナ高の組合せは、海拔から低-低(関東)、中-低(俵石展望所)、高-低(仁田峠)となる3パターンで試験を実施した。

■送信点

同心円:
5km単位

[送信電力]
LoRa:0.5W
2値FSK:5W
4値FSK:5W

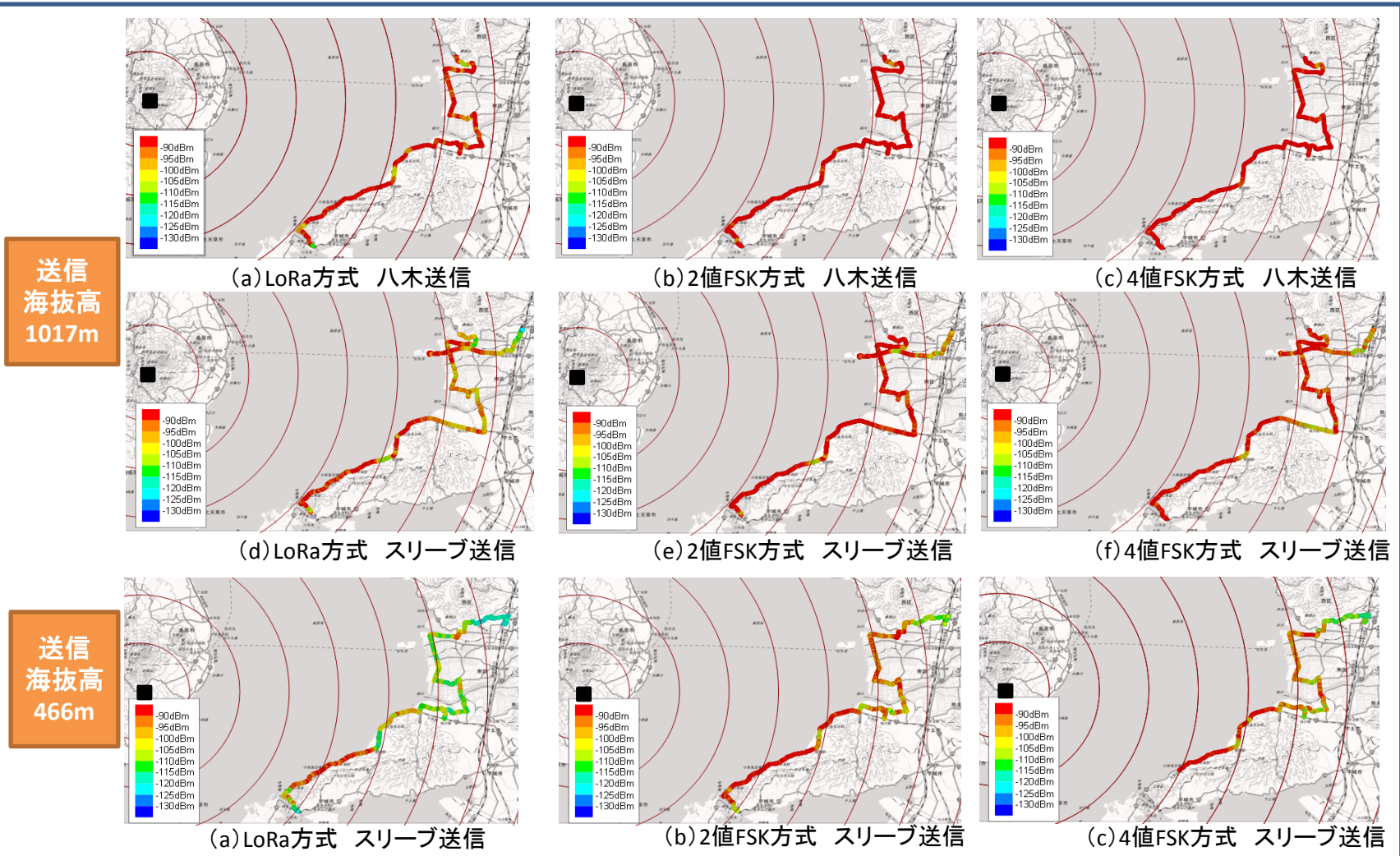


図3-15 移動測定結果 海上_九州仁田峠と俵石展望所

【結果】

・送信アンテナ高が高く見通しがとれているため、いずれの方式でも高い受信レベルを確保でき、38km程度まで受信レベルを測定することができた。なお、4値FSK方式の表示点が短いのは途中でデータが欠落したためである。

実証試験で得られた位置情報と受信電力を基に、標高を考慮した多重回折損失計算式※との比較結果を図3-16に示す。
 ※引用元: 電波研究所季報 Vol.3 No.11 April 1957 VHF山岳回折波電界強度の計算法 上杉弥兵衛

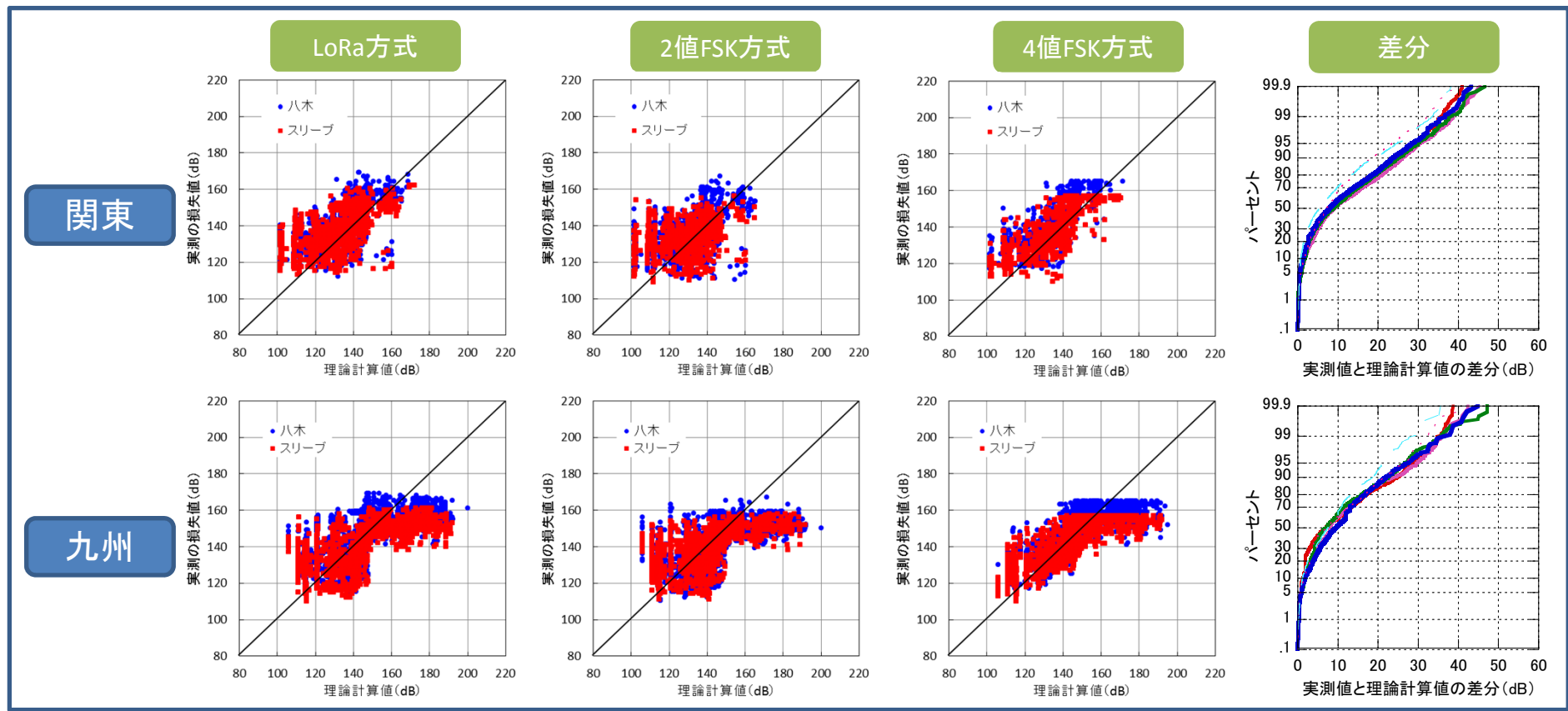


図3-16 伝搬損失 山岳

【結果】

- ・多重回折損失による理論計算値と実測値の差分で見ると、関東及び九州の環境において10dB以内が測定ポイントの60%程度であった。山岳環境においては、場所によって周辺状況が変わる上、理論計算式に木々による影響などが含めることは困難である。しかしながら、そのような状況においても誤差10dB程度が60%程度であることは、山岳環境における理論計算の一つとして、多重回折モデルを用いることができると考えられる。
- ・一方で、九州試験では理論計算値による損失値が大きい領域において、推定値が実測値よりも大きくなっているところもある。これらは変調方式にかかわらず同じ測定場所であったため、送受間のプロフィールによっては推定値が大きくなるケースもある。

平地については奥村秦モデル※を用いて計算した結果との比較を図3-17に示す。 ※奥村秦モデルの適用範囲は伝搬距離20kmまで

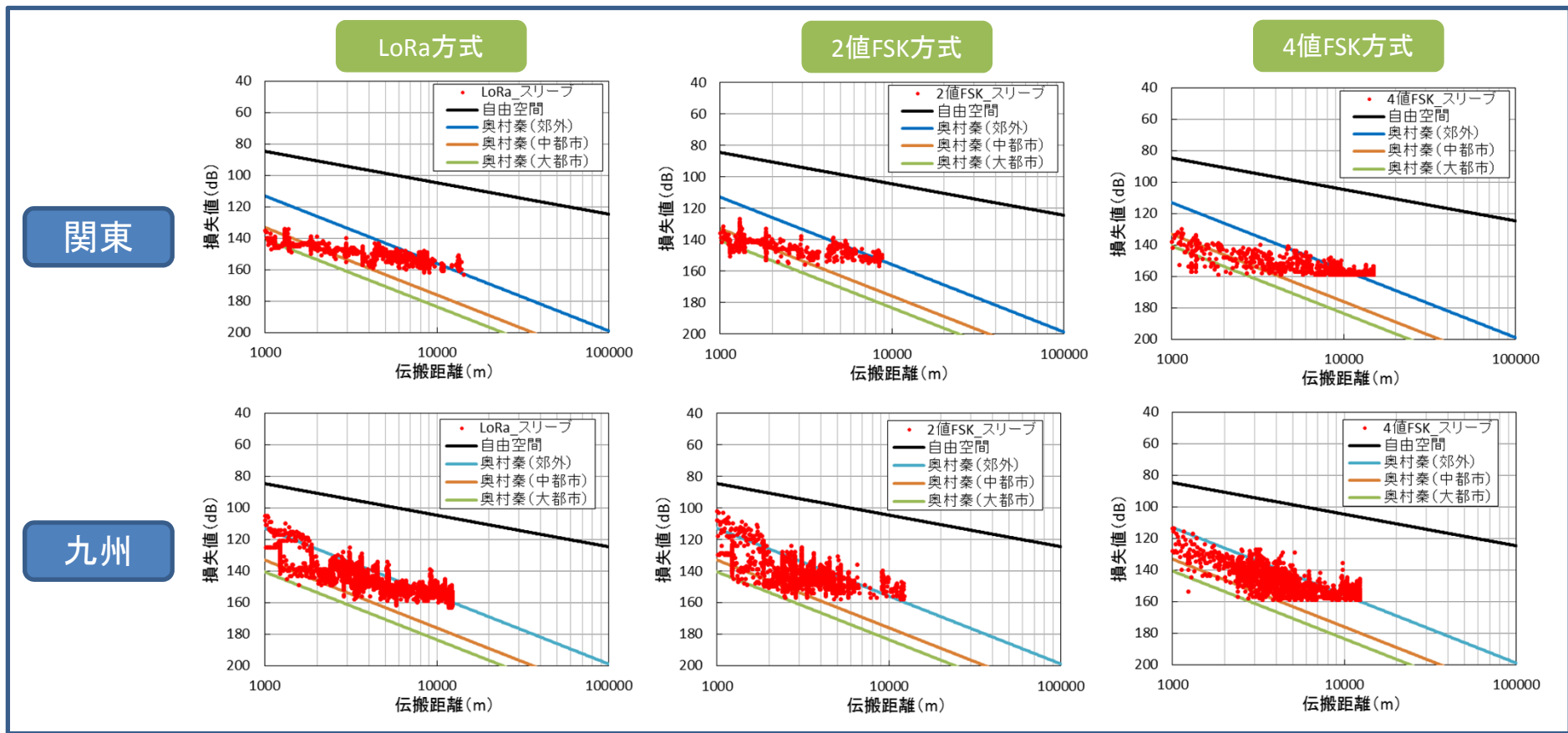


図3-17 伝搬損失 平地

【結果】

- ・いずれの変調方式でも奥村秦モデルを用いて実測値を推定できると考えられる。
- ＜関東試験＞ 約3kmまでは奥村秦モデル(中都市)に近く、それ以降の距離では奥村秦モデル(郊外)に近づく傾向が見られる。これは約3km以降になると周辺に田畑が増えるためである。
- ＜九州試験＞ 送信点付近で比較的高層ビルが乱立しているため、距離が短い領域において実測値のばらつきが大きい。距離に関わらず奥村秦モデル(郊外)と奥村秦モデル(中都市)との中間に位置する傾向がみられる。

関東試験では見通し外伝搬のため、二波モデルおよび球面回折損失モデルを用いて推定した。九州試験では見通し内伝搬のため、二波モデル及び球面回折損失モデルを用いて推定した。計算結果を図3-18に示す。

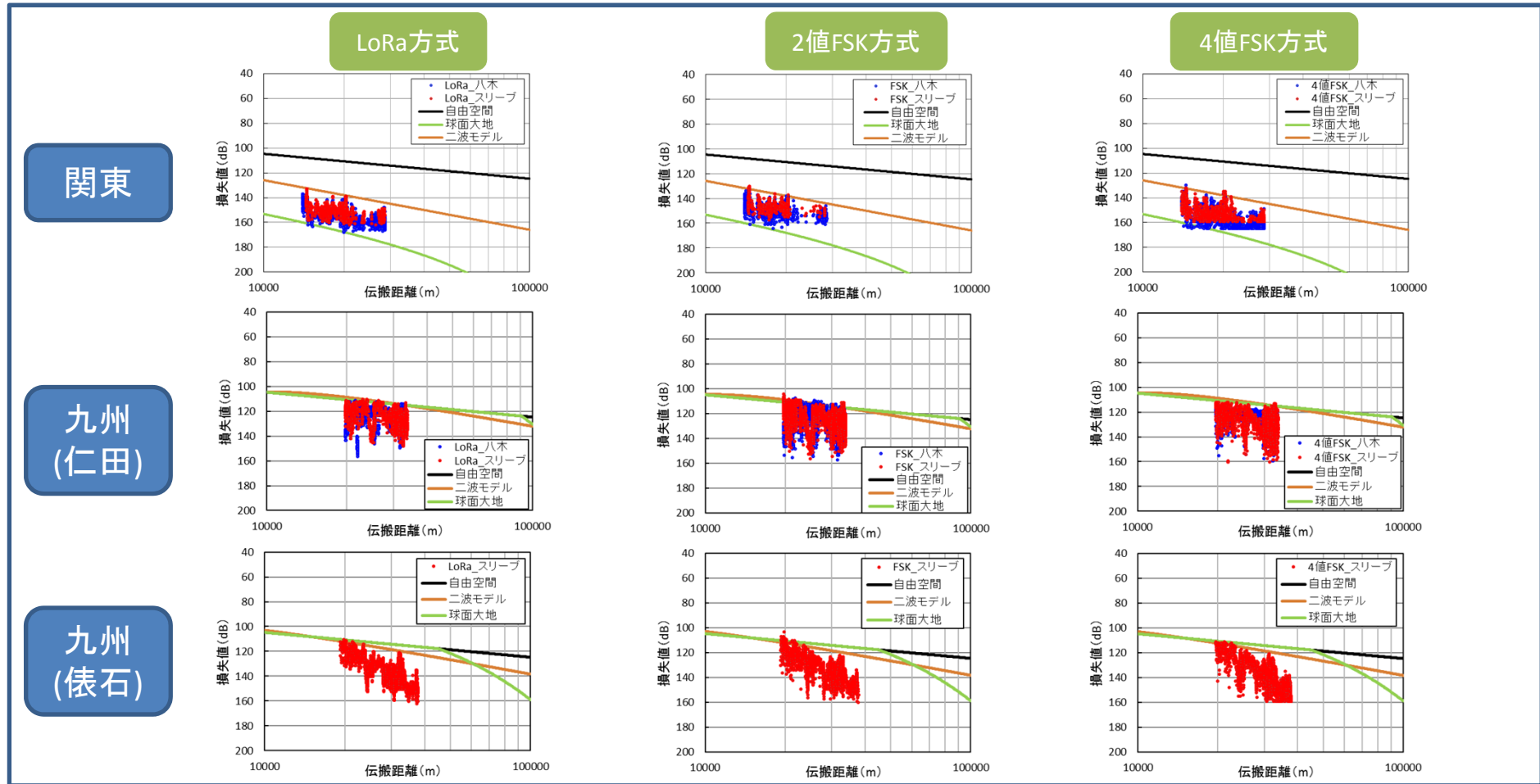


図3-18 伝搬損失 海上

【結果】

- ・いずれの変調方式でも二波モデル又は球面回折損失モデルを用いて実測値を推定できると考えられる。ただし海岸沿いから少し内陸に入ると住宅等により損失が大きくなるため、実測の上部分が推定値に合うと考えられる。
- ・関東試験の損失値は九州試験の損失値より全体的に大きい。これは送信海拔高が低く受信点が見通し外となるためである。
- ・九州(俵石)において距離が35kmを超えた領域のデータは市街地まで移動した受信データであるため、実測値が推定曲線から外れて大きくなっている。

第3章 実証試験(受信レベル-PERとスループット)

各方式で、フィールド試験とラボ試験を比較した結果を図3-19、図3-20に示す。実測値は全ての伝搬路の測定結果を示している。

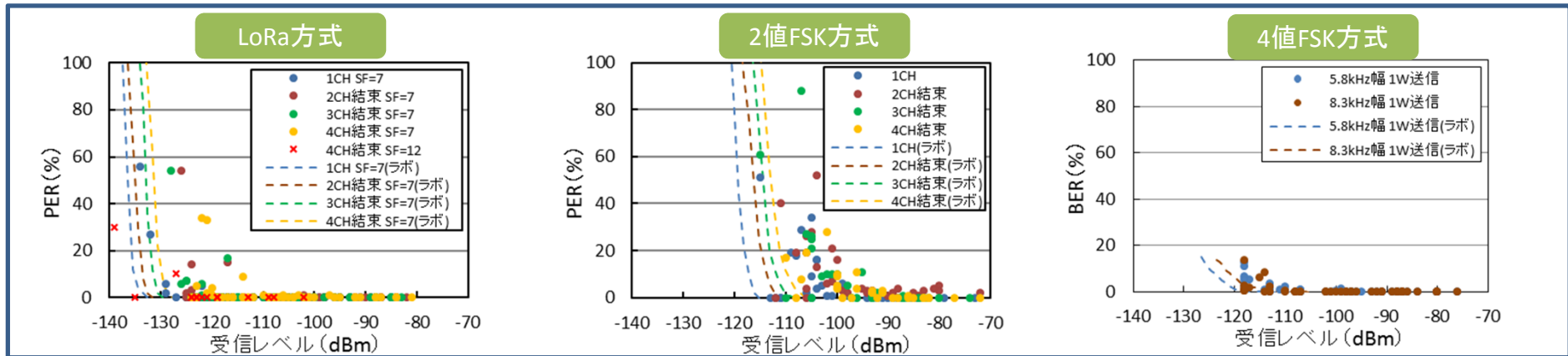


図3-19 受信レベルとPER/BER

【結果】

・いずれの方式についてもラボ試験結果よりも5~10dB高い受信レベルにおいてエラーが発生し始めている。これは実環境ではその他雑音の影響があるためと考えられる。

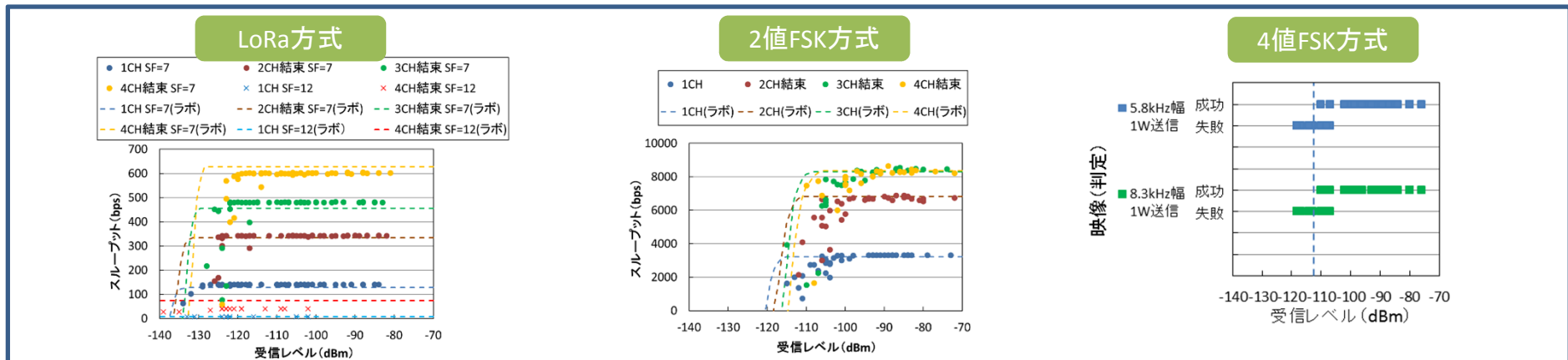


図3-20 受信レベルとスループット

【結果】

- ・LoRa方式および2値FSK方式ともに、最大スループットについてはラボ試験結果とほぼ等しい。
- ・LoRa方式および2値FSK方式ともに、スループットが低下し始める受信レベルがラボ試験より5dB~10dB高い。これは実環境ではその他雑音の影響があるためと考えられる。
- ・4値FSK方式による画像伝送ではラボ試験よりも6dB高いレベルで伝送が失敗することもある。

【まとめ】

- 山岳伝搬では、山の谷間や上り下りがある地形では、送受信局間の回折・見通しなどの伝搬環境が変わり、伝搬距離が短くても受信レベルが低い地点や長距離でも受信レベルが高い地点が見られ、環境に大きく依存することが確認できた。フィールド試験では、関東の箱根と九州の阿蘇山では、伝搬距離が約2倍も異なる結果であった。
山越えでは、FSK方式は空中線電力5Wで受信できない場所があったが、LoRa方式では500mWで山越えでも受信できる場所が多くあり、受信感度が良いことが検証できた。
山岳伝搬のシミュレーションは、多重回折損失計算式で近似する方法が適していると考えられる。
- 平地伝搬では、アンテナ高に比べ伝搬路周辺の建物による遮へい損失やマルチパスの影響による受信レベルの低下や都市部における雑音レベル(山岳環境に比べると10dB程度高い)により、受信感度にバラツキがあった。地形(建物)の変化(都市部から郊外)の影響を受けやすく、遠方まで伝搬する経路もあるが奥村秦モデルで近似できる。こちらでも、LoRa方式が遠距離まで通信できることが検証できた。
- 海上伝搬では、送信局の海拔高が関東では4m、九州では1017m、466mと高さを変えて測定したが、見通し距離外であっても海岸に近い場所であれば20km程度の通信が可能であった。これは、LoRa方式もFSK方式も大きな差は無かったが、FSK方式は空中線電力5W、LoRa方式は500mWなので、LoRa方式は少ない電力で遠距離まで通信できることが検証できた。海上伝搬のシミュレーションは二波モデルまたは球面回折付加損失モデルで近似できる。
- 各伝搬環境において途切れることなく受信できた距離を表 3- 20に示す。但し、安定したスループットを確保できる距離とは異なる。FSK方式は空中線電力5W、LoRa方式は500mWであるが、距離は同程度である。LoRa方式は少ない電力で遠距離まで通信できることが検証できた。

表3-20 途切れず受信できた伝搬距離[km]

伝搬状況	試験場所	LoRa方式	2値FSK方式	4値FSK方式
山岳	関東	13	11	13
	九州	24	13	24
平地	関東	10	6	15
	九州	12	6	12
海上	関東	22	20	22
	九州	38	38	38

<送信電力>
LoRa:0.5W
2値FSK:5W
4値FSK:5W

概要

気象・地象観測用周波数で 사용되는各周波数帯において、各変調方式（LoRa、2値FSK、4値FSK）が使用された場合の現行システム及び各変調方式の組合せで共用検討を行い、各変調方式の共用条件を整理した。共用条件は第3章の実証試験で得られた最小受信感度及びD/U値を用いて検討した。

ラボ試験では、受信したい電波（希望波＝Desired Signal）に対して妨害をする電波（妨害波＝Undesired Signal）がどれだけのレベル（D/U比）であるか測定しており、機器の諸元と利用シーン（地形やアンテナの指向性）によって同一周波数や隣接周波数の繰り返し利用がどの程度の所要改善量や離隔距離が必要かを机上計算によって示す。気象・地象観測用周波数帯の使用状況を図4-1に示す。システムの組合せを表4-1に示し、そのチャンネル配置を図4-2に示す。

図4-1 使用周波数帯

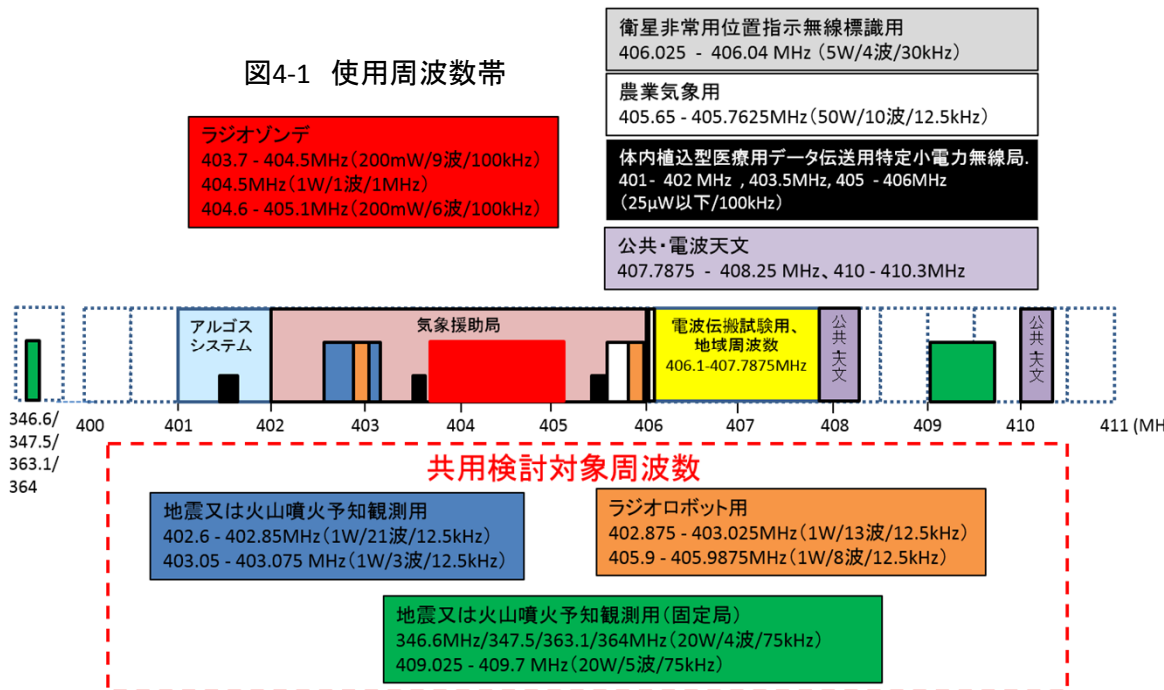


表4-1 共用検討の組合せ

共用対象システムの組合せ		妨害波(U)			
		現行システム	LoRa	2値FSK	4値FSK
希望波(D)	現行システム	○	○	○	○
	LoRa	○	○	○	○
	2値FSK	○	○	○	○
	4値FSK	○	○	○	○

※LoRa、2値FSK方式は、チャンネル結束(1~4)
4値FSK方式のチャンネル結束は狭帯域と1CHとする。

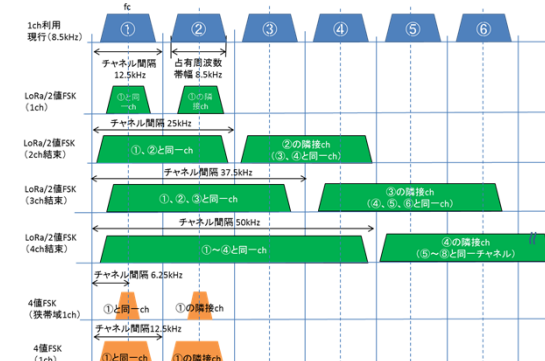


図4-2 チャンネル配置イメージ

(参考)体内植込型医療用データ伝送用特定小電力無線局への与干渉は情報通信審議会 情報通信技術分科会 小電力無線システム委員会報告(H20.12.11)を参照すると、ラジオゾンデからの与干渉は隣接チャンネル漏えい電力40dB以上、建物侵入損失20dBから89.1mの離隔距離(離調周波数200kHz)となっている。地震又は火山噴火予知観測用から体内植込型医療用データ伝送用特定小電力無線局は425kHz離調しておりスプリアス領域となることからさらに離隔距離は短くなる。また、体内植込型医療用データ伝送用特定小電力無線局はキャリアセンス等の干渉軽減機能を有することになっているため干渉を与える可能性は非常に低い。

第4章 周波数の共用検討(システムの諸元)

システムの諸元

気象・地象観測用周波数帯で使用されている無線局の諸元を表4-2に示す。新しい方式の諸元を表4-3に示す。アンテナ例を図4-3に示す。

表4-2 現行システムの諸元

項目	地震又は火山噴火予知観測用		気象援助局 (ラジオ ロボット用)
	移動系	固定系	
送信周波数	402.6 - 402.85MHz 403.05 - 403.075MHz	346.6MHz/347.5/ 363.1/364MHz/ 409.025 - 409.7 MHz	402.875 - 403.025MHz 405.9 - 405.9875MHz
変調方式	FSK/GMSK		
合計チャンネル数	24	9	21
空中線電力	1W	20W	1W
チャンネル間隔	12.5kHz	75kHz	12.5kHz
最小受信感度	-103~-107dBm		
占有周波数帯幅 (BN)	8.5kHz	50kHz	8.5kHz
帯域外領域における スプリアス発射の 強度の許容値	±62.5kHz, 25μW以下	±125kHz, 2.5μW 以下	±62.5kHz, 25μW以下
スプリアス領域に おける不要発射の 強度の許容値	25μW以下	2.5μW以下	25μW以下

表4-3 新しい方式のシステムの諸元

項目	LoRa方式	2値FSK方式	4値FSK方式
送信周波数	400MHz帯気象・地象観測用周波数		
空中線電力	1W以下	1W以下	1W以下
変調方式	LoRa	2値FSK	4値FSK
チャンネル間隔	12.5/25.0/37.5/50.0kHz		6.25/12.5kHz
受信感度 (理論値)	-135~ -150dBm	-118dBm	-115dBm
占有周波数帯幅	7.8/20.8/31.25/41.7kHz		5.8/8.5kHz
帯域外漏えい 電力	±62.5kHz/±62.5kHz/±78.1 25kHz/±104.25kHz 25μW		±62.5kHz 25μW
スプリアス輻射	25μW		

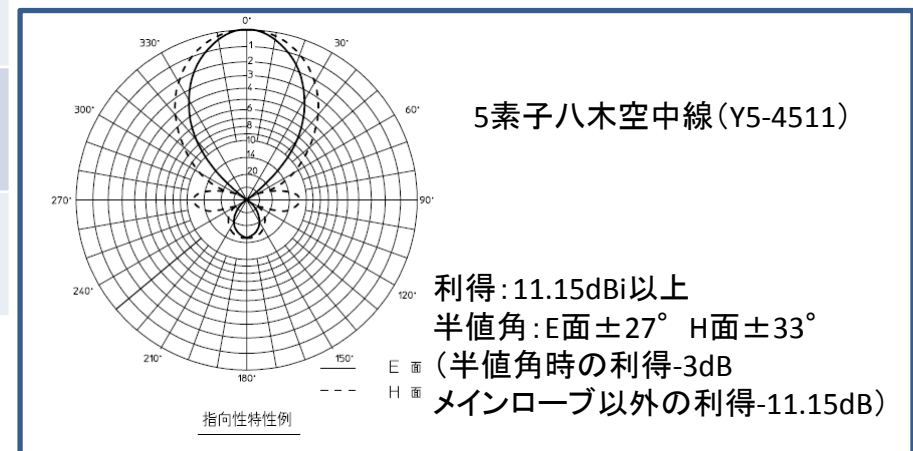


図4-3 八木空中線

※現行システムの諸元は、情報通信審議会 情報通信技術分科会
小電力無線システム委員会報告(案)より引用 平成20年

検討モデル

利用シーンはアンテナの方向や地形による高低差を考慮した。

図4-4水平面のモデルはアンテナ指向性特性により利得が異なるケースを3パターン示しており、①はアンテナが正対して妨害波が直接希望波の受信側に入力される場合。②はアンテナ指向特性が半値角で向き合った場合。③はアンテナ指向特性のメインローブ外にお互いの装置がある場合とした。

図4-5垂直面のモデルは利用場所によって異なる地形条件を3パターン示した。これらは、地形条件によって電波伝搬モデルが異なるため、①は平地利用の場合で、奥村泰モデル式を適用。②は山岳利用の場合で、実証試験結果から多重回折モデル式を適用。③は海上利用の場合で、球面回折付加損失モデル式を適用した。

気象・地象観測用の無線局は山頂付近に設置され、平地側の観測所に単方向通信でデータが送信される。観測点は複数存在するケースもあると思われるが、点在しており同一地点に複数のアンテナを設置することがないと想定し、最低でも基地局は100m離して設置すると想定した。そのイメージを図4-6に示す。

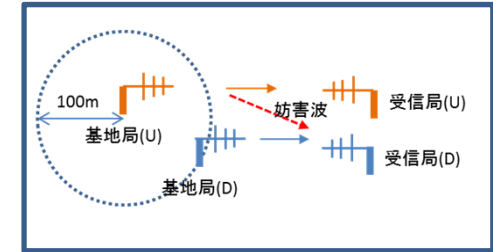


図4-6 希望波(D)と妨害波(U)の関係

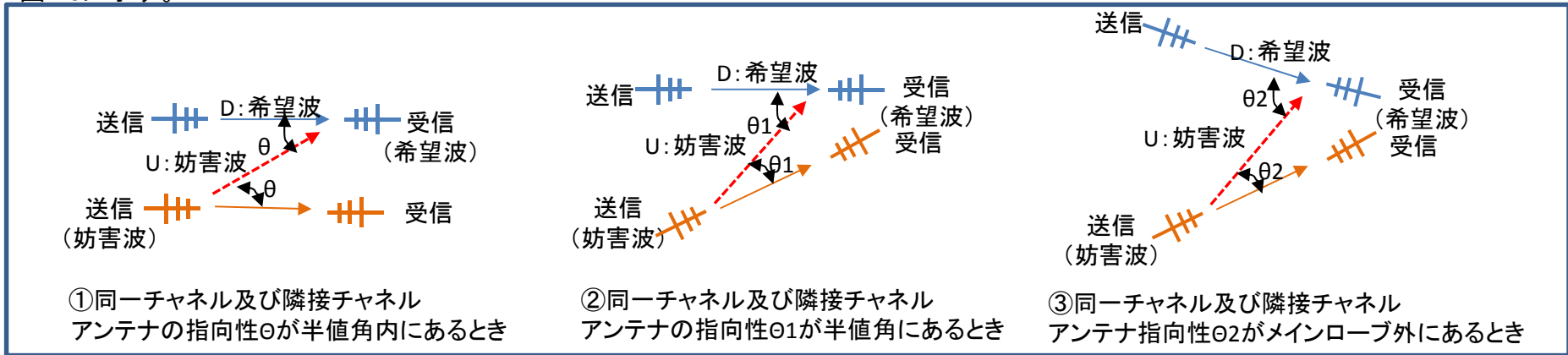


図4-4 水平面のモデル

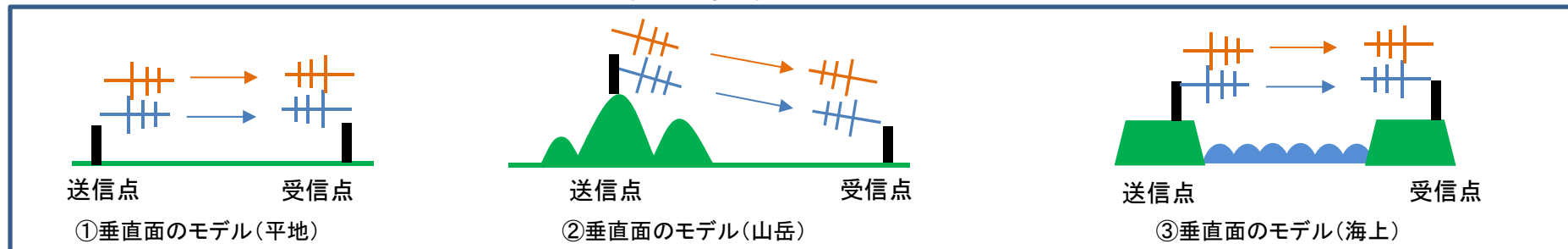


図4-5 垂直面のモデル

第4章 周波数の共用検討(計算条件)

計算条件

各方式毎の組合せのラボ試験結果のD/U値を表4-4に示す。

表4-4 ラボ試験結果のD/U値

(D)希望波	(U)妨害波	結束数	(D)希望波 最小受信感度(dBm)	同一 チャンネル	隣接 チャンネル	参考: 妨害波共用受信電力 (dBm)		
						同一 チャンネル	隣接 チャンネル	
現行システム ※1	現行システム/ LoRa/2値FSK/4値FSK	—	-107	22	-40	-113	-51	
LoRa (SF7)	現行システム	1	-134	0 ※2	-40	-118	-78	
		1	-134	-3	-60	-115	-58	
		2	-132	-8	-56	-108	-60	
		3	-130	-6	-54	-108	-60	
	LoRa(SF8)	4	-128	-7	-51	-105	-61	
		1	-134	-2	-59	-116	-59	
		2	-132	-5	-54	-111	-62	
		3	-130	-3	-55	-111	-59	
	2値FSK	4	-128	-1	-54	-111	-58	
		1	-134	-5	-64	-113	-54	
		1	-134	-5	-64	-113	-54	
	2値FSK	現行システム	1	-116	22 ※3	-40	-122	-60
			1	-116	14	-41	-114	-59
2			-112	13	-26	-109	-70	
3			-109	12	-26	-105	-67	
LoRa		4	-107	12	-26	-103	-65	
		1	-116	10	-30	-110	-70	
		2	-112	11	-28	-107	-68	
		3	-109	10	-27	-103	-66	
2値FSK		4	-107	9	-26	-100	-65	
		1	-116	8	-30	-108	-70	
		1	-116	8	-30	-108	-70	
4値FSK		現行システム	1	-115	22 ※3	-40	-121	-59
			1	-115	14	-25	-113	-74
	1		-115	12	-33	-111	-66	
	1		-115	12	-33	-111	-66	
	4値FSK	1	-115	22 ※3	-40	-121	-59	

※1: 最小受信感度はメーカーからの回答。同一チャンネルは※3参照。隣接チャンネルはH28.3東北総合通信局 地域振興周波数帯の有効利用のための技術的条件に関する調査検討で用いられた4値FSK方式のD/U値を参照した。

※2: LoRa方式は実証試験及びラボ試験から干渉に強い結果であるので現行システムとのD/Uは0dBとした。隣接チャンネルは※1を参照した。

※3: 電波法審査基準の審査値である「同一周波数の場合の受信機入力における所要D/Uは、21dB以上(4FSKについては22dB以上)を標準とするを参照した。

第4章 周波数の共用検討(共用条件の検討)

共用条件の検討

以下の計算表から所要改善量と離隔距離を算出する。条件は最悪条件(八木アンテナ、正対)とする。
表4-5 共用計算式

	項番	項目	記号	値	単位	
妨害波	(1)	送信周波数	f	412.4	MHz	
		波長	λ	0.728		
	(2)	送信アンテナ高	hb	30	m	※1:奥村泰モデルは30~200m
	(3)	空中線電力	Pt	1000	mW	表4-6 空中線電力
				30	dBm	
		空中線利得		11.15	dB	表4-7 アンテナ方向
		給電線損失		1.3	dB	
(4)	占有周波数帯幅	BW	7.8	kHz	表4-8 占有周波数帯幅	
希望波	(5)	受信アンテナ高	hm	3	m	
	(6)	空中線利得		11.15	dB	
	(7)	給電線損失		2.3	dB	
	(8)	占有帯域幅		12.5	kHz	システムチャンネル幅
	(9)	最小受信電力		-134	dBm	表4-4より
	(10)	最小受信感度(+16dB)		-118	dBm	(9)+16dB※2
送受信利得	(11)	送受信利得合計		48.7	dB	正対
D/U	(12)	同一チャンネルのD/U比		-3	dB	表4-4より
	(13)	隣接チャンネルのD/U比		-60	dB	表4-4より
妨害波の許容受信電力	(14)	同一チャンネル		-115	dBm	正対(10)-(12)
	(15)	隣接チャンネル		-58	dBm	正対(10)-(13)
所要改善量	(16)	同一チャンネル		53.9	dB	[(11)-Loss]-(14)※4
	(17)	隣接チャンネル		-3.1	dB	[(11)-Loss]-(15)※4
離隔距離	(18)	同一チャンネル		51.2	km	山岳(多重回折損失)
	(19)	隣接チャンネル		—	km	山岳(多重回折損失)

※1:送信アンテナ高は、平地は30m、海上の場合(離島側)は北海道の離島で使用されている110m、受信アンテナ高は3mとした。
※2:実証試験で約+10dBのレベル低下及び固定劣化等マージン+6dBを考慮して最小受信感度に+16dBとした。

表4-6 空中線電力

(D)希望波	空中線電力	(U)妨害波
LoRa方式		LoRa/2値FSK/4値FSK/現行システム
2値FSK方式	1000/500/100/10mW	LoRa/4値FSK/現行システム
4値FSK方式	20W※3	LoRa/2値FSK/現行システム
現行システム		LoRa/2値FSK/4値FSK/現行システム

※3:現行システムは固定系のみ20W

表4-7 アンテナ方向と利得

アンテナ方向	正対	半値角	メインローブ外
指向性	11.15	8.15	0

表4-8 占有周波数帯幅とチャンネル幅

システムチャンネル幅(kHz)	12.5	25	37.5	50
LoRa/FSK方式				
占有帯域幅(kHz)	7.8/8.5	20.8	31.25	41.7

※4:Lossは各モデル式で100mの損失を計算した値。

第4章 周波数の共用検討(所要改善量の計算結果)

希望波(D): 現行システム 妨害波(U): 現行システム/LoRa/2値FSK/4値FSK方式

表4-9 現行システム

地形	伝搬モデル		CH 結束	上段: 所要改善量(dB) 下段: 離隔距離(km)									
				20W		1W		0.5W		0.1W		10mW	
				同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH
平地	奥村秦 モデル	大都市	1	87.9	25.9	74.9	12.9	71.9	9.9	64.9	2.9	54.9	-7.1
				32.5	0.8	14.1	0.5	11.5	0.4	7.4	0.4	4.0	共用可
		郊外	1	95.9	33.9	82.9	20.9	79.9	17.9	72.9	10.9	62.9	0.9
	開放地	1	54.7	1.2	23.6	0.7	19.5	0.6	12.4	0.5	6.6	0.4	
			116.0	54.0	102.9	40.9	99.9	37.9	92.9	30.9	82.9	20.9	
			201.6	3.7	86.5	1.7	71.4	1.5	45.1	1.0	23.6	0.7	
海上	球面回折付加損失 モデル	1	106.9	44.9	93.8	31.8	90.8	28.8	83.8	21.8	73.8	11.8	
			79.7	10.9	62.2	5.6	58.3	4.8	49.5	3.3	36.6	2.0	
山岳	多重回折モデル	1	65.2	3.2	52.2	-9.8	49.2	-12.8	42.2	-19.8	32.2	-29.8	
			180.6	0.4	40.8	共用可	28.8	共用可	13.1	共用可	4.3	共用可	

【所要改善量と離隔のまとめ】

- 所要改善量の計算結果は、妨害波許容受信電力レベルとなる所要改善量(dB)と離隔距離(km)を示しており、必要な離隔距離をとるか、所要改善量を0以下又は改善することで共用が可能である。
- 平地、山岳利用で所要改善量を改善する方法として、指向性アンテナのメインローブ外(23dB)となる設置、空中線電力の適正化(1Wから10mWで20dB)、送受信アンテナ高を低く設置する、山や建物の遮により妨害波の損失を大きくする等が考えられる。これらの組合せで、設置場所ごとに所要改善量を改善する必要がある。
- いずれも設置場所を考慮したサイトエンジニアリングが必要であり、所要改善量の改善は可能と考えられる。
- 海上利用においては、遮へい物が無いので離隔距離をとるか、異なるチャネルを利用することで混信を回避する必要がある。
- 最小受信感度とD/Uにより所要改善量と離隔距離は決定されるため、現行システムや新しい方式の組合せによる差異は見られなかった。

第4章 周波数の共用検討(所要改善量の計算結果)

希望波(D):LoRa方式 妨害波(U):現行システム

希望波(D):LoRa方式 妨害波(U):LoRa方式

表4-10 LoRa方式←現行システム

地形	伝搬モデル	CH 結束	上段:所要改善量(dB) 下段:離隔距離(km)																
			1W		0.5W		0.1W		10mW										
			同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH									
平地	奥村秦モデル	大都市	1	79.9	39.9	76.9	36.9	69.9	29.9	59.9	19.9	19.3	1.6	16.0	1.4	10.2	1.0	5.4	0.6
			2	77.9	37.9	74.9	34.9	67.9	27.9	57.9	17.9	17.0	1.5	14.1	1.3	9.0	0.9	4.8	0.6
			3	75.9	35.9	72.9	32.9	65.9	25.9	55.9	15.9	15.0	1.3	12.3	1.1	7.9	0.8	4.2	0.5
			4	73.9	33.9	70.9	30.9	63.9	23.9	53.9	13.9	13.2	1.2	10.8	1.0	7.0	0.7	3.7	0.5
		郊外	1	87.9	47.9	84.9	44.9	77.9	37.9	67.9	27.9	32.5	2.6	26.8	2.2	17.0	1.5	9.0	0.9
			2	85.9	45.9	82.9	42.9	75.9	35.9	65.9	25.9	28.6	2.3	23.6	2.0	15.0	1.3	7.9	0.8
			3	83.9	43.9	80.9	40.9	73.9	33.9	63.9	23.9	25.1	2.1	20.8	1.7	13.2	1.2	7.0	0.7
			4	81.9	41.9	78.9	38.9	71.9	31.9	61.9	21.9	22.1	1.8	18.1	1.6	11.6	1.1	6.2	0.7
	開放地	1	107.9	67.9	104.9	64.9	97.9	57.9	87.9	47.9	119.4	9.0	98.4	7.4	62.2	4.8	32.5	2.6	
		2	105.9	65.9	102.9	62.9	95.9	55.9	85.9	45.9	105.0	7.9	86.5	6.6	54.7	4.2	28.6	2.3	
		3	103.9	63.9	100.9	60.9	93.9	53.9	83.9	43.9	92.3	7.0	76.1	5.8	48.1	3.7	25.1	2.1	
		4	101.9	61.9	98.9	58.9	91.9	51.9	81.9	41.9	81.2	6.2	66.3	5.1	42.3	3.3	22.1	1.8	
海上	球面回折付加損失モデル	1	98.8	58.8	95.8	55.8	88.8	48.8	78.8	38.8	68.8	21.0	65.1	18.3	55.7	13.3	42.7	8.0	
		2	96.8	56.8	93.8	53.8	86.8	46.8	76.8	36.8	66.3	19.1	62.2	16.7	53.2	12.1	40.4	7.2	
		3	94.8	54.8	91.8	51.8	84.8	44.8	74.8	34.8	63.9	17.5	60.0	15.2	50.4	10.9	37.9	6.6	
		4	92.8	52.8	89.8	49.8	82.8	42.8	72.8	32.8	61.1	16.0	57.3	13.9	48.1	9.9	35.6	5.9	
山岳	多重回折モデル	1	57.2	17.2	54.2	14.2	47.2	7.2	37.2	-2.8	72.0	1.0	50.8	0.8	22.9	0.5	7.4	共用可	
		2	55.2	15.2	52.2	12.2	45.2	5.2	35.2	-4.8	57.3	0.8	40.4	0.7	18.3	0.4	6.0	共用可	
		3	53.2	13.2	50.2	10.2	43.2	3.2	33.2	-6.8	45.5	0.7	32.2	0.6	14.6	0.4	4.8	共用可	
		4	51.2	11.2	48.2	8.2	41.2	1.2	31.2	-8.8	36.2	0.6	25.6	0.5	11.6	0.4	3.8	共用可	

表4-11 LoRa方式←LoRa方式

地形	伝搬モデル	CH 結束	上段:所要改善量(dB) 下段:離隔距離(km)																
			1W		0.5W		0.1W		10mW										
			同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH									
平地	奥村秦モデル	大都市	1	79.9	39.9	76.9	36.9	69.9	29.9	59.9	19.9	19.3	1.6	16.0	1.4	10.2	1.0	5.4	0.6
			2	77.9	37.9	74.9	34.9	67.9	27.9	57.9	17.9	17.0	1.5	14.1	1.3	9.0	0.9	4.8	0.6
			3	75.9	35.9	72.9	32.9	65.9	25.9	55.9	15.9	15.0	1.3	12.3	1.1	7.9	0.8	4.2	0.5
			4	73.9	33.9	70.9	30.9	63.9	23.9	53.9	13.9	13.2	1.2	10.8	1.0	7.0	0.7	3.7	0.5
		郊外	1	87.9	47.9	84.9	44.9	77.9	37.9	67.9	27.9	32.5	2.6	26.8	2.2	17.0	1.5	9.0	0.9
			2	85.9	45.9	82.9	42.9	75.9	35.9	65.9	25.9	28.6	2.3	23.6	2.0	15.0	1.3	7.9	0.8
			3	83.9	43.9	80.9	40.9	73.9	33.9	63.9	23.9	25.1	2.1	20.8	1.7	13.2	1.2	7.0	0.7
			4	81.9	41.9	78.9	38.9	71.9	31.9	61.9	21.9	22.1	1.8	18.1	1.6	11.6	1.1	6.2	0.7
	開放地	1	107.9	67.9	104.9	64.9	97.9	57.9	87.9	47.9	119.4	9.0	98.4	7.4	62.2	4.8	32.5	2.6	
		2	105.9	65.9	102.9	62.9	95.9	55.9	85.9	45.9	105.0	7.9	86.5	6.6	54.7	4.2	28.6	2.3	
		3	103.9	63.9	100.9	60.9	93.9	53.9	83.9	43.9	92.3	7.0	76.1	5.8	48.1	3.7	25.1	2.1	
		4	101.9	61.9	98.9	58.9	91.9	51.9	81.9	41.9	81.2	6.2	66.3	5.1	42.3	3.3	22.1	1.8	
海上	球面回折付加損失モデル	1	98.8	58.8	95.8	55.8	88.8	48.8	78.8	38.8	68.8	21.0	65.1	18.3	55.7	13.3	42.7	8.0	
		2	96.8	56.8	93.8	53.8	86.8	46.8	76.8	36.8	66.3	19.1	62.2	16.7	53.2	12.1	40.4	7.2	
		3	94.8	54.8	91.8	51.8	84.8	44.8	74.8	34.8	63.9	17.5	60.0	15.2	50.4	10.9	37.9	6.6	
		4	92.8	52.8	89.8	49.8	82.8	42.8	72.8	32.8	61.1	16.0	57.3	13.9	48.1	9.9	35.6	5.9	
山岳	多重回折モデル	1	57.2	17.2	54.2	14.2	47.2	7.2	37.2	-2.8	72.0	1.0	50.8	0.8	22.9	0.5	7.4	共用可	
		2	55.2	15.2	52.2	12.2	45.2	5.2	35.2	-4.8	57.3	0.8	40.4	0.7	18.3	0.4	6.0	共用可	
		3	53.2	13.2	50.2	10.2	43.2	3.2	33.2	-6.8	45.5	0.7	32.2	0.6	14.6	0.4	4.8	共用可	
		4	51.2	11.2	48.2	8.2	41.2	1.2	31.2	-8.8	36.2	0.6	25.6	0.5	11.6	0.4	3.8	共用可	

第4章 周波数の共用検討(所要改善量の計算結果)

希望波(D):LoRa方式 妨害波(U):2値FSK方式

希望波(D):LoRa方式 妨害波(U):4値FSK方式

表4-12 LoRa方式←2値FSK方式

地形	伝搬モデル		CH 結束	上段:所要改善量(dB)				下段:離隔距離(km)			
				1W		0.5W		0.1W		10mW	
				同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH
平地	奥村秦モデル	大都市	1	77.9	20.9	74.9	17.9	67.9	10.9	57.9	0.9
			2	72.9	23.9	69.9	20.9	62.9	13.9	52.9	3.9
			3	72.9	20.9	69.9	17.9	62.9	10.9	52.9	0.9
			4	72.9	19.9	69.9	16.9	62.9	9.9	52.9	-0.1
		1	85.9	28.9	82.9	25.9	75.9	18.9	65.9	8.9	
		2	80.9	31.9	77.9	28.9	70.9	21.9	60.9	11.9	
		3	80.9	28.9	77.9	25.9	70.9	18.9	60.9	8.9	
		4	80.9	27.9	77.9	24.9	70.9	17.9	60.9	7.9	
	開放地	1	105.9	48.9	102.9	45.9	95.9	38.9	85.9	28.9	
		2	100.9	51.9	97.9	48.9	90.9	41.9	80.9	31.9	
		3	100.9	48.9	97.9	45.9	90.9	38.9	80.9	28.9	
		4	100.9	47.9	97.9	44.9	90.9	37.9	80.9	27.9	
		1	96.8	39.8	93.8	36.8	86.8	29.8	76.8	19.8	
		2	91.8	42.8	88.8	39.8	81.8	32.8	71.8	22.8	
		3	91.8	39.8	88.8	36.8	81.8	29.8	71.8	19.8	
		4	91.8	38.8	88.8	35.8	81.8	28.8	71.8	18.8	
海上	球面回折付加損失モデル	1	55.2	-1.8	52.2	-4.8	45.2	-11.8	35.2	-21.8	
		2	50.2	1.2	47.2	-1.8	40.2	-8.8	30.2	-18.8	
		3	50.2	-1.8	47.2	-4.8	40.2	-11.8	30.2	-21.8	
		4	50.2	-2.8	47.2	-5.8	40.2	-12.8	30.2	-22.8	
	多重回折モデル	1	57.3	共用可	40.4	共用可	18.3	共用可	6.0	共用可	
		2	32.5	0.4	22.9	共用可	10.4	共用可	3.5	共用可	
		3	32.5	共用可	22.9	共用可	10.4	共用可	3.5	共用可	
		4	32.5	共用可	22.9	共用可	10.4	共用可	3.5	共用可	

表4-13 LoRa方式←4値FSK方式

地形	伝搬モデル		CH 結束	上段:所要改善量(dB)				下段:離隔距離(km)			
				1W		0.5W		0.1W		10mW	
				同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH
平地	奥村秦モデル	大都市	1	74.9	15.9	71.9	12.9	64.9	5.9	54.9	-4.1
			14.1	0.5	11.5	0.5	7.4	0.4	4.0	共用可	
		郊外	1	82.9	23.9	79.9	20.9	72.9	13.9	62.9	3.9
			23.6	0.7	19.5	0.7	12.4	0.5	6.6	0.4	
		開放地	1	102.9	43.9	99.9	40.9	92.9	33.9	82.9	23.9
			86.5	2.1	71.4	1.7	45.1	1.2	23.6	0.7	
海上	球面回折付加損失モデル	1	93.8	34.8	90.8	31.8	83.8	24.8	73.8	14.8	
			62.2	6.6	58.3	5.6	49.5	3.9	36.6	2.3	
山岳	多重回折モデル	1	52.2	-6.8	49.2	-9.8	42.2	-16.8	32.2	-26.8	
			40.8	共用可	28.8	共用可	13.1	共用可	4.3	共用可	

第4章 周波数の共用検討(所要改善量の計算結果)

希望波(D):4値FSK方式 妨害波(U):現行システム

希望波(D):4値FSK方式 妨害波(U):LoRa方式

表4-14 4値FSK方式←現行システム

地形	伝搬モデル		CH 結束	上段:所要改善量(dB) 下段:離隔距離(km)							
				1W		0.5W		0.1W		10mW	
				同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH
平地	奥村秦 モデル	大都市	1	82.9	20.9	79.9	17.9	72.9	10.9	62.9	0.9
				23.4	0.7	19.3	0.6	12.3	0.5	6.6	0.4
		郊外	1	90.9	28.9	87.9	25.9	80.9	18.9	70.9	8.9
				39.7	0.9	32.5	0.8	20.8	0.6	10.9	0.4
		開放地	1	110.9	48.9	107.9	45.9	100.9	38.9	90.9	28.9
				146.1	2.8	119.4	2.3	76.1	1.6	39.7	0.9
海上	球面回折付加 損失モデル	1	101.8	39.8	98.8	36.8	91.8	29.8	81.8	19.8	
			73.4	8.5	68.8	7.2	60.0	5.0	46.8	3.0	
山岳	多重回折 モデル	1	60.2	-1.8	57.2	-4.8	50.2	-11.8	40.2	-21.8	
			102.1	共用可	72.0	共用可	32.5	共用可	10.4	共用可	

表4-15 4値FSK方式←LoRa方式

地形	伝搬モデル		CH 結束	上段:所要改善量(dB) 下段:離隔距離(km)							
				1W		0.5W		0.1W		10mW	
				同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH
平地	奥村秦 モデル	大都市	1	74.9	35.9	71.9	32.9	64.9	25.9	54.9	15.9
				14.1	1.3	11.5	1.1	7.4	0.8	4.0	0.5
		郊外	1	82.9	43.9	79.9	40.9	72.9	33.9	62.9	23.9
				23.6	2.1	19.5	1.7	12.4	1.2	6.6	0.7
		開放地	1	102.9	63.9	99.9	60.9	92.9	53.9	82.9	43.9
				86.5	7.0	71.4	5.8	45.1	3.7	23.6	2.1
海上	球面回折付加 損失モデル	1	93.8	54.8	90.8	51.8	83.8	44.8	73.8	34.8	
			62.2	17.5	58.3	15.2	49.5	10.9	36.6	6.6	
山岳	多重回折 モデル	1	52.2	13.2	49.2	10.2	42.2	3.2	32.2	-6.8	
			40.8	0.7	28.8	0.6	13.1	0.4	4.3	共用可	

希望波(D):4値FSK方式 妨害波(U):2値FSK方式

希望波(D):4値FSK方式 妨害波(U):4値FSK方式

表4-16 4値FSK方式←2値FSK方式

地形	伝搬モデル		CH 結束	上段:所要改善量(dB) 下段:離隔距離(km)							
				1W		0.5W		0.1W		10mW	
				同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH
平地	奥村秦 モデル	大都市	1	72.9	27.9	69.9	24.9	62.9	17.9	52.9	7.9
				12.3	0.9	10.2	0.8	6.6	0.6	3.5	0.4
		郊外	1	80.9	35.9	77.9	32.9	70.9	25.9	60.9	15.9
				20.8	1.3	17.0	1.1	10.9	0.8	5.8	0.5
		開放地	1	100.9	55.9	97.9	52.9	90.9	45.9	80.9	35.9
				76.1	4.2	62.2	3.5	39.7	2.3	20.8	1.3
海上	球面回折付加 損失モデル	1	91.8	46.8	88.8	43.8	81.8	36.8	71.8	26.8	
			60.0	12.1	55.7	10.3	46.8	7.2	34.3	4.3	
山岳	多重回折モデル	1	50.2	5.2	47.2	2.2	40.2	-4.8	30.2	-14.8	
			32.5	0.4	22.9	0.4	10.4	共用可	3.5	共用可	

表4-17 4値FSK方式←4値FSK方式

地形	伝搬モデル		CH 結束	上段:所要改善量(dB) 下段:離隔距離(km)							
				1W		0.5W		0.1W		10mW	
				同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH	同一CH	隣接CH
平地	奥村秦 モデル	大都市	1	82.9	20.9	79.9	17.9	72.9	10.9	62.9	0.9
				23.4	0.7	19.3	0.6	12.3	0.5	6.6	0.4
		郊外	1	90.9	28.9	87.9	25.9	80.9	18.9	70.9	8.9
				39.7	0.9	32.5	0.8	20.8	0.6	10.9	0.4
		開放地	1	110.9	48.9	107.9	45.9	100.9	38.9	90.9	28.9
				146.1	2.8	119.4	2.3	76.1	1.6	39.7	0.9
海上	球面回折付加 損失モデル	1	101.8	39.8	98.8	36.8	91.8	29.8	81.8	19.8	
			73.4	8.5	68.8	7.2	60.0	5.0	46.8	3.0	
山岳	多重回折モデル	1	60.2	-1.8	57.2	-4.8	50.2	-11.8	40.2	-21.8	
			102.1	共用可	72.0	共用可	32.5	共用可	10.4	共用可	

【まとめ】

- 平地利用、山岳利用においてはサイトエンジニアリングにより共用が可能である。
- サイトエンジニアリングとして、指向性アンテナのメインローブ外(23dB)、空中線電力の適正化(1Wから10mWで20dB)、送受信アンテナ高を低くする、山や建物の遮へい損失等が考えられ、設置場所を考慮した設計が重要である。
- 海上利用においては、遮へい物が無いので異なるチャネルを利用することで混信を回避する必要がある。
- いずれの利用でも空中線電力は可能な限り必要最小電力に調整し運用することが望ましい。特に、平地では奥村秦モデルの地形による伝搬損失と一致しており、大都市と開放地を伝搬する場合は地形毎に伝搬距離が異なるので注意が必要である。
- チャネル結束することで所要改善量が改善(6~9dB)される。これは、最小受信感度が高くなるからで伝搬距離も短くなることによる。尚、ラボ試験では実験周波数の関係上LoRa方式の下側の隣接チャネル漏えい電力の帯域で測定しているが、上側の場合は隣接チャネル漏えい電力が10dB悪化するので、所要改善量はさらに10dBの改善が必要となる。
- 同一エリアで異なる免許人も利用することがあるので、混信を考慮して設置・運用(連絡体制)が重要となる。
- 混信を回避する方法としてキャリアセンスの導入が有効である。
キャリアセンスレベルは $7\mu\text{V}$ (-96.1dBm)とした場合、現行のシステムを検出できる。通信方式やチャネル結束の影響を受けない利点もあり、近くに基地局が無い事を確認することが可能になり、混信を避けることができる。

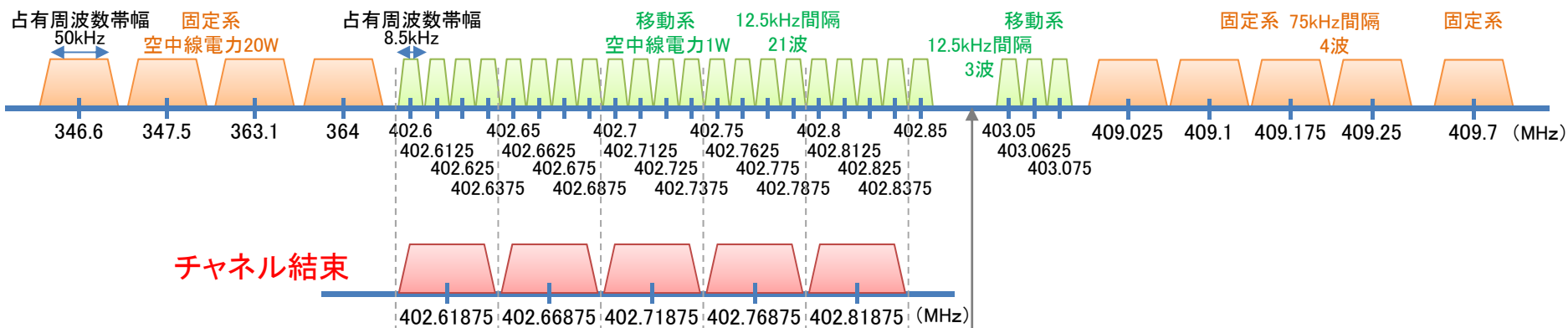
気象・地象観測用機器のシステムについての検討を以下に示す。

チャンネル結束時の周波数配置

ニーズ調査の結果から、求められる通信速度は、気象援助局では9.6kbpsが85.7%であり、2.4kbpsは14.3%である。地震又は火山噴火予知観測用の移動系は9.6kbps、固定系は19.2kbps以上が求められている。

通信速度を得るためには、現行の「気象援助局」、及び「地震又は火山噴火予知観測用周波数」の8.5kHzの占有周波数帯幅を拡張するチャンネルの結束が必要となる。チャンネル結束時の周波数配置を図 5-1に示す。4チャンネル結束における占有周波数帯幅は42kHzとすることが望まれる。

【地震火山噴火予知観測用】



【気象援助局】

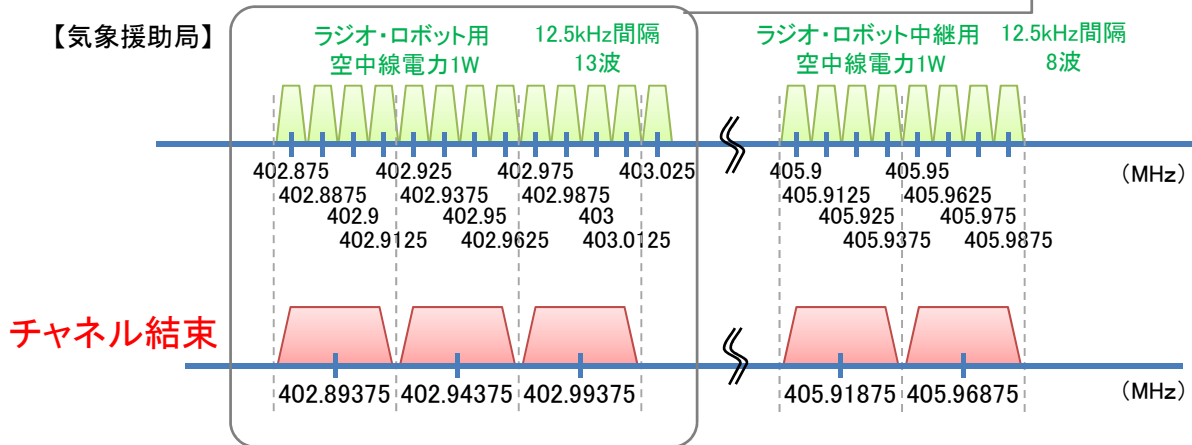


図 5-1 検討対象周波数とチャンネル結束

電波型式の検討

LoRa方式は、伝送容量は小さいが、長距離伝送及び低消費電力に優位性があり、FSK方式は、LoRa方式より短距離通信ではあるが、伝送容量が大きく、リアルタイムで画像も伝送可能であると考えられる。一方で、現行の地震又は火山噴火予知観測用無線機にはGMSK方式が利用されている。端末の普及、利用の活性化を考慮すると技術的条件の提言に当たっては、今回、検討した変調方式以外の方式もあり得るが、チャンネル結束における設備規則の早期実現は利用活性につながることから、今回検討に用いたLoRa方式、FSK方式の周波数変調方式を定めることとする。

変調信号の送信速度の検討

表 5-1に各変調方式の伝送速度の理論値を示す。LoRa方式は拡散率によって送信速度は変わるが、拡散率7における4チャンネル結束時は3.2kbpsとなる。2値FSK方式は4チャンネル結束時に現行の移動系(9.6kbps)より高速伝送(19.2kbps)の可能性がある。4値FSK方式は4チャンネル結束時の送信速度は理論上38.4kbpsとなる。

表 5-1 送信速度(理論値)

結束	変調方式		
	LoRa	2値FSK	4値FSK
4CH結束	3127.5 bps	19200 bps	38400 bps

周波数と局種の検討

チャンネル結束すると400MHz帯気象・地象観測用周波数の割当てチャンネル数が減少することにより、必要なチャンネルを多くするため、地震又は火山噴火予知観測用の固定系(50kHz帯幅)においても移動系が使用できるようにするために局種を固定／移動に変更することを提言する。なお、混信を避けるため、移動系の空中線電力は1Wまでとすることを提言する。

キャリアセンスの検討

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求められる。ただし、キャリアセンスを設けることにより伝送速度は低下する。特にLoRa方式においては、もともとの伝送速度が低速であることから、データ量を送ろうとした場合には該当チャンネルの占有時間が長くなり、近隣に設置されている他のLoRa端末の送信待ち時間も長くなってしまふ。

400MHz帯気象・地象観測用周波数については免許局であり、現行においては利用者間での調整が可能である。新たなシステムを導入しても利用者間での調整は可能であることと、リアルタイム伝送と低廉化のニーズが高いことを考慮してコスト増と待ち時間が長くなるキャリアセンスを設けないことが望まれる。

第5章 提言(技術的条件)

項目	技術的条件(案)	備考
一般条件		
(1)通信方式	単向通信方式、単信方式及び同報通信方式	
(2)電波型式	F1D、F1F	無線設備規則第57条の3
(3)周波数配置	気象援助局: 402.875 ~ 403.025MHz (12.5kHz間隔・13波) 405.9 ~ 405.9875MHz (12.5kHz間隔・8波) 地震又は火山噴火予知観測用 固定系: 346.6MHz/347.5/363.1/364MHz/409.7MHz 409.025 ~ 409.25 MHz (75kHz間隔・4波) 移動系: 402.6 ~ 402.85MHz (12.5kHz間隔・21波) 403.05 ~ 403.075MHz (12.5kHz間隔・3波)	現行と同じ
送信設備		
(1)空中線電力	固定系: 20W 以下 移動系: 1W以下	
(2)空中線電力の許容偏差	上限20%、下限50%とすること。	無線設備規則第14条
(3)周波数許容偏差	固定系: $\pm 3 \times 10^{-6}$ 移動系: チャンネル間隔が12.5kHzのもの $\pm 3 \times 10^{-6}$ それ以外のもの $\pm 4 \times 10^{-6}$	無線設備規則第5条
(4)変調方式	電波型式に適合する変調方式	
(5)周波数偏移	規定しない	
(6)変調信号の送信速度	LoRa方式: 3127.5bps(4CH結束) 2値FSK方式: 19200bps(4CH結束) 4値FSK方式: 38400bps(4CH結束)	調査検討会で得られた送信速度
(7)占有周波数帯幅の許容値	42kHz(4CH結束)	
(8)チャンネル間隔	(4値デジタル変調の場合) 時分割多重方式における一の搬送波当たり多重する数が4(ただし、時分割複信方式の場合は2とする。)の場合、又は時分割多元接続方式の一の搬送波当たりのチャンネルの数が4(ただし、時分割複信方式の場合は2とする。)の場合にあっては、50kHzであること。	調査検討会で得られたチャンネル間隔 (無線設備規則 第57条の3)

第5章 提言(技術的条件)

項目	技術的条件(案)	備考																																				
送信設備																																						
(9)スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値	<p>(ア)帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値 帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値は固定系2.5μW、移動系25μW 以下とすること。</p> <p>(イ) スプリアス領域における不要発射の強度の許容値 スプリアス領域における不要発射の強度の許容値は25μW 以下とすること。</p>	無線設備規則第7条																																				
(10)隣接チャンネル漏えい電力	(LoRa方式の場合)搬送波の周波数から50kHz 離れた周波数の(±)21kHzの帯域内に輻射される電力が、搬送波の電力より30dB以上低いものとする。	実験結果から (無線設備規則 第57条の3)																																				
	(2値FSK方式の場合)搬送波の周波数から50kHz 離れた周波数の(±)21kHzの帯域内に輻射される電力が、搬送波の電力より30dB以上低いものとする。	実験結果から (無線設備規則 第57条の3)																																				
	(4値デジタル変調の場合)チャンネル間隔が50kHzのものにあつては、搬送波の周波数から50kHz離れた周波数の(±)R (Rは2kHz)の帯域内に輻射される電力が、搬送波電力より55デシベル以上低い値又は32μW以下の値であること。ただし、1W以下の無線局の場合は45dB以上低い値であること。	変調方式の性質上、占有周波数帯域を広げても隣接チャンネルに生じる電力の比は同等になるという推定から (無線設備規則 第57条の3の2)																																				
受信設備																																						
(1)受信設備の特性	<p>受信設備の基準感度、実効選択度におけるスプリアス・レスポンス、隣接チャンネル選択度、相互変調特性は以下のとおりとすること。</p> <p>(LoRa方式の場合)送信装置の変調信号の送信速度が毎秒4キロビット以下であるもの</p> <table border="0" data-bbox="627 989 1299 1117"> <tr> <td>感度</td> <td></td> <td>1μV以下</td> </tr> <tr> <td>実効選択度</td> <td>スプリアス・レスポンス</td> <td>65dB</td> </tr> <tr> <td></td> <td>隣接チャンネル選択度</td> <td>40dB</td> </tr> <tr> <td></td> <td>相互変調特性</td> <td>65dB</td> </tr> </table> <p>(2値FSK方式の場合)送信装置の変調信号の送信速度が毎秒16キロビットを超え32キロビット以下であるもの</p> <table border="0" data-bbox="627 1165 1299 1292"> <tr> <td>感度</td> <td></td> <td>2.8μV以下</td> </tr> <tr> <td>実効選択度</td> <td>スプリアス・レスポンス</td> <td>65dB</td> </tr> <tr> <td></td> <td>隣接チャンネル選択度</td> <td>30dB</td> </tr> <tr> <td></td> <td>相互変調特性</td> <td>65dB</td> </tr> </table> <p>(4値FSK方式の場合)送信装置の変調信号の送信速度が毎秒32キロビットを超え64キロビット以下であるもの</p> <table border="0" data-bbox="627 1340 1299 1468"> <tr> <td>感度</td> <td></td> <td>4μV以下</td> </tr> <tr> <td>実効選択度</td> <td>スプリアス・レスポンス</td> <td>65dB</td> </tr> <tr> <td></td> <td>隣接チャンネル選択度</td> <td>30dB</td> </tr> <tr> <td></td> <td>相互変調特性</td> <td>65dB</td> </tr> </table>	感度		1μV以下	実効選択度	スプリアス・レスポンス	65dB		隣接チャンネル選択度	40dB		相互変調特性	65dB	感度		2.8μV以下	実効選択度	スプリアス・レスポンス	65dB		隣接チャンネル選択度	30dB		相互変調特性	65dB	感度		4μV以下	実効選択度	スプリアス・レスポンス	65dB		隣接チャンネル選択度	30dB		相互変調特性	65dB	<p>実験結果から 電波法第7条第1項第2号及び第3号の審査に適用する受信設備の特性 (昭和61年5月27日)(郵政省告示第395号) 17</p>
感度		1μV以下																																				
実効選択度	スプリアス・レスポンス	65dB																																				
	隣接チャンネル選択度	40dB																																				
	相互変調特性	65dB																																				
感度		2.8μV以下																																				
実効選択度	スプリアス・レスポンス	65dB																																				
	隣接チャンネル選択度	30dB																																				
	相互変調特性	65dB																																				
感度		4μV以下																																				
実効選択度	スプリアス・レスポンス	65dB																																				
	隣接チャンネル選択度	30dB																																				
	相互変調特性	65dB																																				

第5章 提言(技術的条件)

項目	技術的条件(案)	備考
(2) 局部発振器の周波数変動	局部発振器の周波数変動は、周波数の許容偏差と同様とすること。	
(3) 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
制御装置		
(1) 送信時間制御装置	送信時間制御装置の備付けを要しないこと。	
(2) キャリアセンス	リアルタイム性のニーズが高いこと、コスト増になることから、端末の低廉化を図ること、免許局であるために免許人間の調整が可能と考えられることから、キャリアセンスの備付けを要しないことが望ましい。	
(3) 回線接続手順	特に規定しないこと。	
その他		
(1) 空中線の構造	空中線の構造は特に規定しないものとする。	
(2) 空中線の利得	通信距離を長くするためには高い利得の空中線が望まれるが、他の利用者との共用が困難となる。通常市販されている八木アンテナの性能が一般的な空中線利得と考えられる。	
(3) 附属装置とのインターフェース	附属装置とのインターフェースについては規定しない。	
(4) 測定方法	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4値FSK 変調方式のデジタル簡易無線の測定法を参考にすること。	

低廉化の検討

普及に向けては、装置の低廉化が重要となる。アンケートで、現行の地震又は火山噴火観測用の無線装置は、300万円程度と高価であり、また、ニーズ調査で、火口等に設置し、災害で破損しても惜しくない程度の低廉な機器へのニーズ(50万円以下が50%以上)が高かったことから、新しく導入する装置の低廉化が望まれる。装置の低廉化のため、本周波数帯の免許人※に気象・地象観測を行う機関・団体を追記することを提言する。※1 装置の低廉化はメーカーの努力によるところが大きいですが、本検討における変調方式は既に他のシステムで使われている技術も存在し、技術の転用も可能と考えられる。

※1電波法関係審査基準 別表2(第3条) 現行

無線局の目的	免許の主体及び開設の理由	通信事項
一般業務用	文部科学省の諮問機関である科学技術・学術審議会測地学分科会の建議に基づく地震予知又は火山噴火予知のための観測を行う機関が、地震予知又は火山噴火予知の観測に必要な通信を行うために開設するものであること。	地震又は火山噴火予知観測に関する事項

改正案



無線局の目的	免許の主体及び開設の理由	通信事項
一般業務用	文部科学省の諮問機関である科学技術・学術審議会測地学分科会の建議に基づく地震予知又は火山噴火予知のための観測を行う機関及びそれに準ずる気象・地象観測を行う機関・団体が、地震予知又は火山噴火予知の観測に必要な通信を行うために開設するものであること。	地震又は火山噴火予知観測に関する事項

利用方法の検討

チャンネル結束を行うことで、より高画質、送信間隔の短縮につながり、利用方法や頻度が向上されるものと考えられる。なお、LoRa方式においては、4チャンネル結束しても、理論値で3kbps程度である。伝送容量の小さい温度・雨量計等の観測データ伝送や気象・地象観測分野でのIoT的な利用を提言する。

利用シーン

地震又は火山噴火予知観測用周波数の移動系についてはチャンネル結束を行うことにより固定系に近い伝送速度を実現することができ、移動系であることから、急遽高速な測定が必要になった場合にも対応できるようになる。また、LoRa方式においては高受信感度であるため、低消費電力で長距離伝搬を実現でき、気象・地象分野でのIoT的な利用も可能となる。また、海上に浮揚した地震観測データを収納した観測ブイの位置情報伝送や、そのほか高速通信を必要としない測定機器の動作状況確認等にも利用できる。これらの利用により、気象・地象観測用周波数の利用促進が期待される。

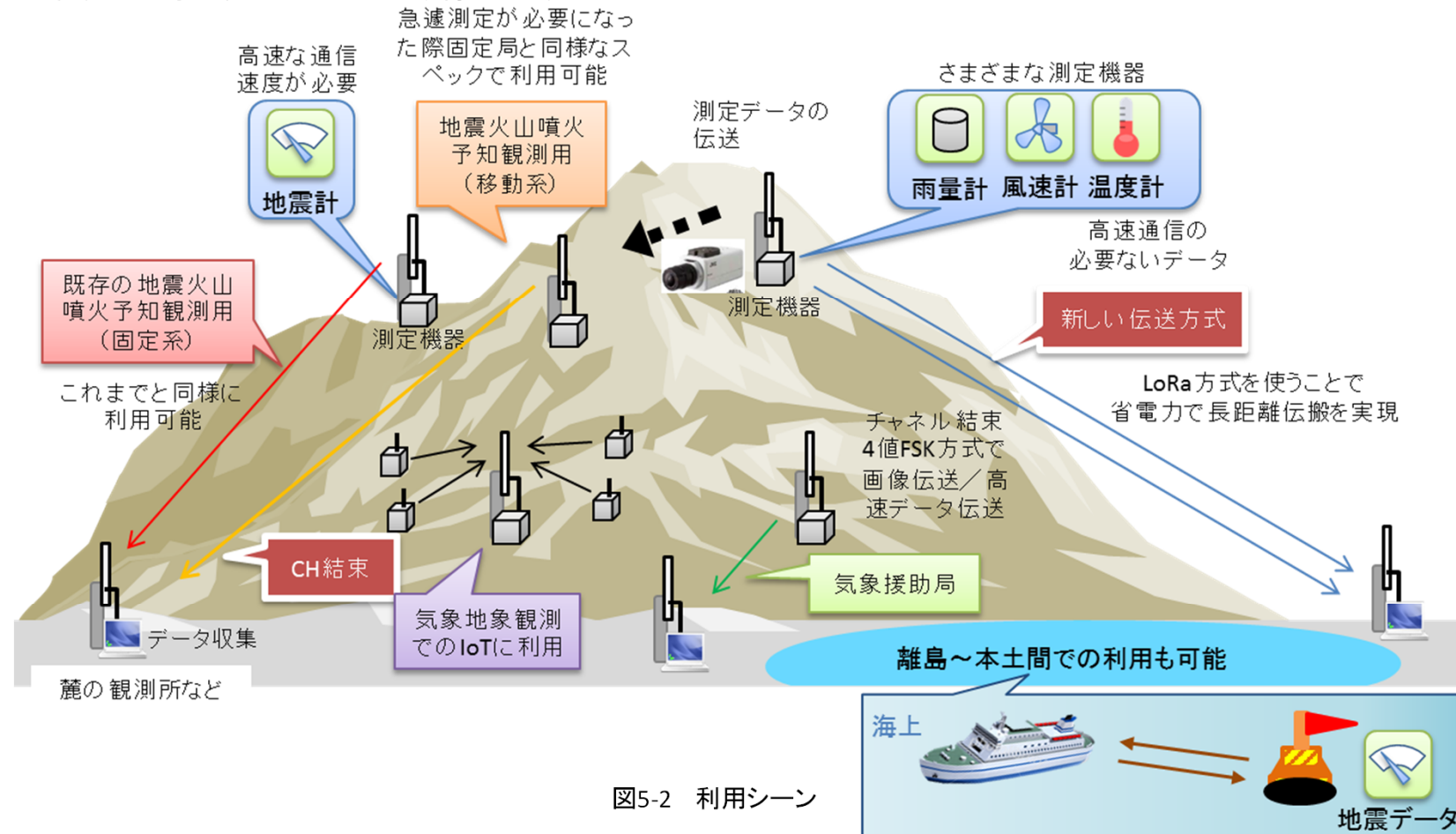


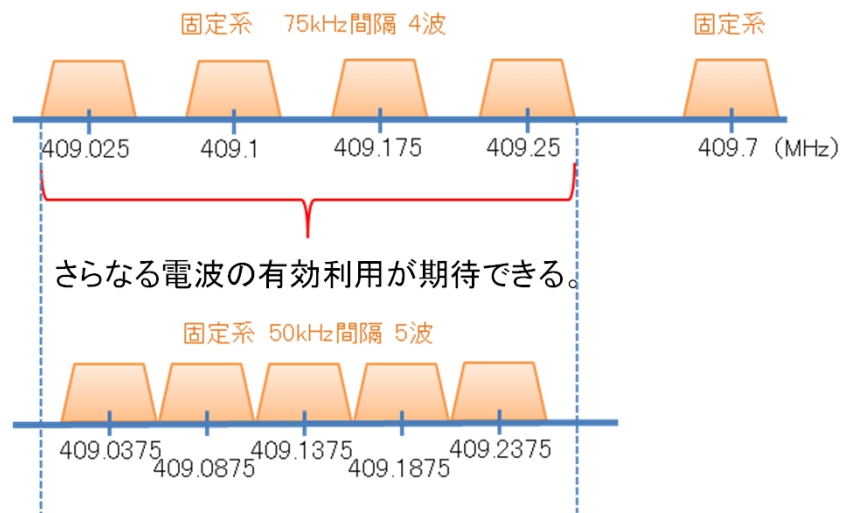
図5-2 利用シーン

海底地震観測データの回収
浮上したブイの位置情報を受信

さらなる電波の有効利用

(1) 固定系周波数の有効利用

固定系409.025~409.25MHzは、現在75kHz間隔(ガードバンド25kHz)で利用されているが、この帯域275kHzを周波数間隔50kHzに詰めて使用することで、4波から5波の利用が可能となり、さらなる電波の有効利用が期待できる。



(2) 400MHz帯気象・地象観測用周波数全体の有効利用

LoRa方式で9.6kbps以上の伝送速度を実現したり、FSK方式で更なる大容量伝送を実現するためには、400MHz帯気象・地象観測用周波数全体の有効利用が望まれ、今後の更なる技術開発が期待される。

調査検討会

構成員

(五十音順 敬称略)

氏名	団体名	役職等
松島 健 (座長)	国立大学法人九州大学	大学院 理学研究院附属地震火山観測研究センター 准教授
足立 幸夫	福岡管区気象台	地域火山監視・警報センター 火山調査官
伊形 仁宏	一般社団法人電波産業会	研究開発本部 次長
浦本 拓揮	総務省九州総合通信局	無線通信部長
木村 和夫	大井電気株式会社	SE本部 本部長付
齋藤 城太郎	セムテック・ジャパン合同会社	LoRa担当技術課長
佐藤 峰司	白山工業株式会社	防災研究システムユニット ユニット長
澤 純平	国土交通省九州地方整備局	企画部 情報通信技術調整官
豊島 孝郎	日本無線株式会社 九州支社	ソリューションテクノロジーグループ エグゼクティブマネージャー
中里 清行	明星電気株式会社	営業統括部 九州支店長
宮本 正	熊本県 知事公室	危機管理防災課 課長
渡川 洋人	株式会社JVCケンウッド	無線システム事業部 国内システム開発部 シニアマネジャー

開催経過

検討会	開催日/開催場所	議事内容
第1回	平成29年7月21日(金) 14:00～17:10 熊本合同庁舎A棟10階 会議室	<ol style="list-style-type: none"> 調査検討会の進め方及びスケジュール案 調査検討テーマを取り巻く現状等について 調査内容の検討
第2回	平成29年9月25日(月) 13:30～16:00 熊本合同庁舎A棟10階 会議室	<ol style="list-style-type: none"> 第1回検討会の議事録の確認 調査検討テーマを取り巻く現状等について アンケート調査結果について 実証試験の実施について
第3回	平成30年1月15日(月) 13:30～16:00 熊本合同庁舎A棟10階 会議室	<ol style="list-style-type: none"> 第2回検討会の議事録確認 アンケート調査結果について 実証試験結果について 共用検討について 公開実験の実施について 報告書骨子(案)について
セミナー&公開実験	平成30年2月6日(火) 13:30～16:30 阿蘇熊本空港ホテル エミナーズ りんどうB	<ol style="list-style-type: none"> 講演 公開実験 機器展示見学
第4回	平成30年2月22日(木) 15:00～17:00 熊本合同庁舎A棟10階 会議室	<ol style="list-style-type: none"> 第3回議事録の確認 セミナー公開実験報告 報告書