

TVホワイトスペースを活用した 災害・防災向けデータ伝送システム の周波数共用技術に関する検討

2013/5/14

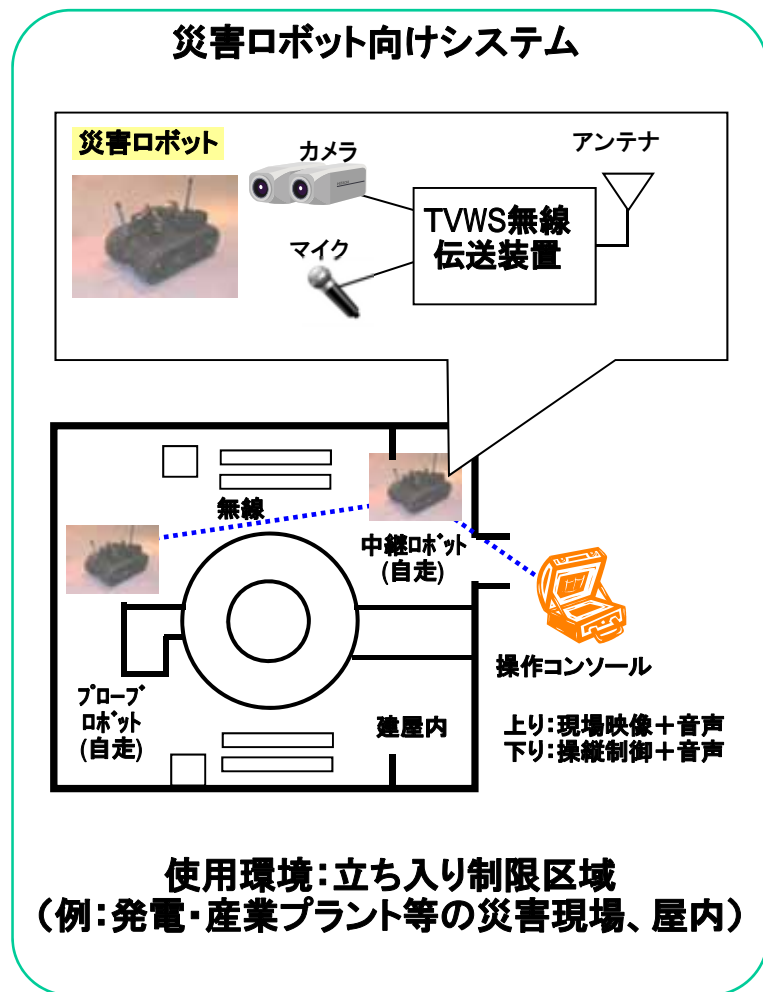
株式会社 日立製作所

1. アプリケーション:災害ロボット向け無線
2. 技術試験事務の概要
3. 無線設備の諸元(案)
4. 他システムとの周波数共用条件の検討
5. 屋外漏洩電力の検討
6. 運用可能チャンネルの調査
7. 訓練場所、災害現場における運用(案)
8. まとめ

アプリケーション: 災害ロボット向け無線

災害ロボットの定義

- 災害発生時等に、立ち入り制限されている環境(屋内等)で、使用されるロボット向け無線
- 関係機関へのヒアリングを通じてニーズを明確化 現場映像はVGA相当が必須、遅延も短く
- 上り:現場の映像+音声、下り:ロボットの操縦制御信号+音声



災害ロボットシステム要件

項目	内容
データ	上り:映像VGA~SVGA、30フレーム程度の動画、音声 下り:操縦制御+音声 上下非対称
通信距離	屋内、~数百m程度、典型例:100m×100m 操縦者が安全な場所から操作できること 角を曲がっても無線が届くこと グレーチングなど影響が少ないこと
電池寿命	2時間以上(連続走行の場合)
遅延時間	0.2~0.5秒以下 操縦制御が違和感なく実現できるレベルであること
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・災害時に優先使用希望(訓練での使用もあり) ・数台同時動作 ・中継機能 ・ロボットの移動速度は1~5km/h ・小型ロボットに取り付けられること ・安価であること

■ 目的

TVホワイトスペースを活用した災害・防災向けデータ伝送システムの実現に向けて、周波数の共用に関する所要な技術的検討を行い、無線設備の技術的条件の策定に資すること

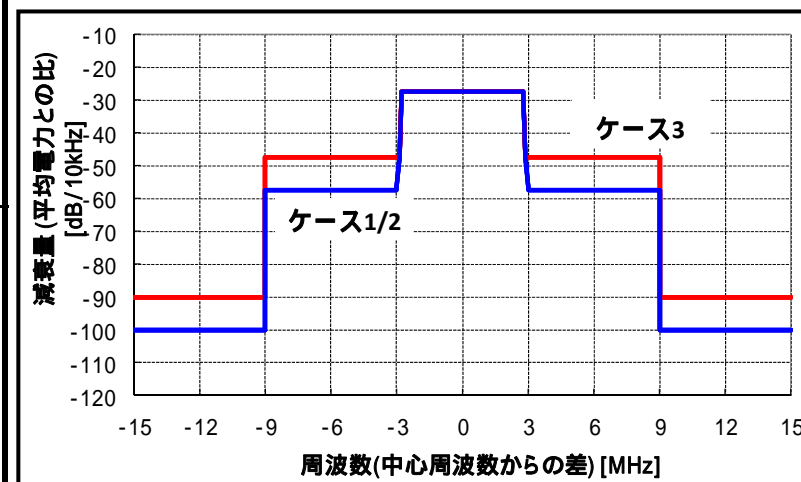
■ 実施項目 (■は本報告項目)

項目	内容
■ (1)周波数共用条件に関する検討	ア 他システムとの周波数共用条件の検討
	イ 干渉軽減のため必要な機能の検討
	ウ 屋外漏洩電力の検討
■ (2) システムの高度利用に向けた検討	ア マルチホップ中継
	イ 送信電力制御
	ウ 高信頼化無線技術
	エ QoS技術
■ (3)実証試験による検討	ア 実証実験
	イ 実験試験局の無線装置
	ウ 実証試験の場所
	エ 実証試験の項目
■ (4)国際動向	ア 公共保安及び災害救難(PPDR)通信の動向
	イ 運用形態の調査
	ウ 災害防災向け通信システムの各国の動向
	エ 災害防災向け通信システムの技術動向
	オ 災害ロボットの各国の運用事例
■ (5)システムの運用に向けた検討	ア 運用可能チャンネルの確保手法
	イ 運用調整を行う仕組み
	ウ 訓練場所における運用と災害現場における運用

無線設備の諸元(案)

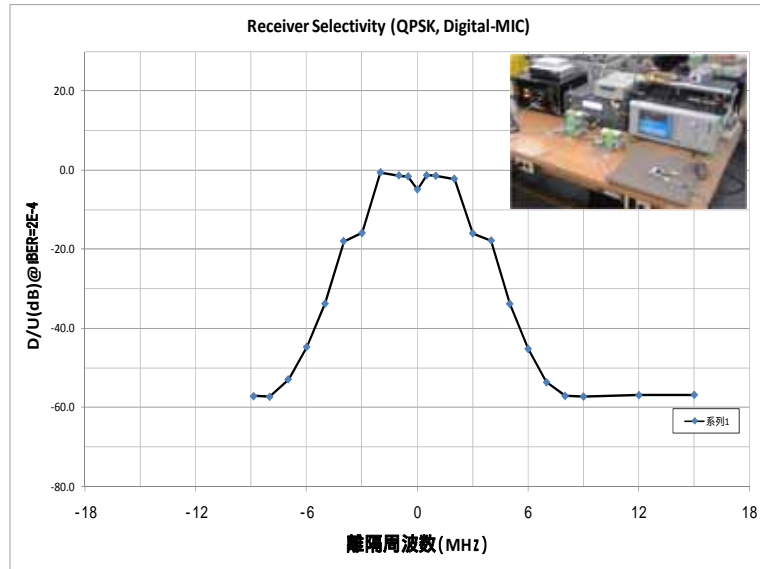
項目	技術的条件案
空中線電力	10mW(ケース1),100mW(ケース2),1W(ケース3) 許容値は+20%、-50%
最低受信感度	-80dBm
変調方式	OFDM-BPSK/QPSK/16QAM/64QAM
占有周波数帯幅	最大5.55MHz
周波数許容偏差	$\pm 20 \times 10^{-6}$ 以内
不要発射の強度の許容値	不要発射の強度は、次の通りであること。 ケース1 搬送波の周波数から9MHz以上離れた周波数の100kHzの帯域幅における等価等方輻射電力が0.01nW以下であること。 ケース2 搬送波の周波数から9MHz以上離れた周波数の100kHzの帯域幅における等価等方輻射電力が0.1nW以下であること。 ケース3 搬送波の周波数から9MHz以上離れた周波数の100kHzの帯域幅における等価等方輻射電力が10nW以下であること。
隣接チャネル漏えい電力	隣接チャネル漏えい電力は次の通りであること ケース1及び2 搬送波の周波数から6MHz離れた周波数の ± 2.775 MHzの帯域内に輻射される平均電力が、搬送波のものより30dB以上低い値であること。 ケース3 搬送波の周波数から6MHz離れた周波数の ± 2.775 MHzの帯域内に輻射される平均電力が、搬送波のものより20dB以上低い値であること。
アンテナ	2.14dBi

	ケース1	ケース2	ケース3
運用場所	準屋内	屋内通常	屋内大規模
運用場所の特徴	開口部のある、又は電波の減衰率が10dB以上見込めない建物内部	構造上10dB以上の減衰が見込める建物内部、地下等	災害時の立ち入り制限エリアにおいて30dB以上の減衰が見込める建物内部、地下等
最大送信電力	10mW	100mW	1W
屋外への最大漏洩電力	10mW	10mW	1mW

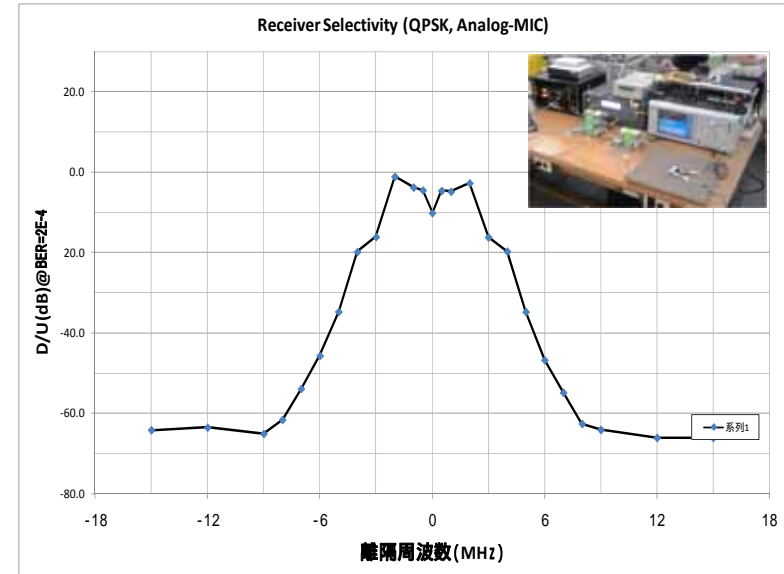


他システムとの周波数共用条件の検討

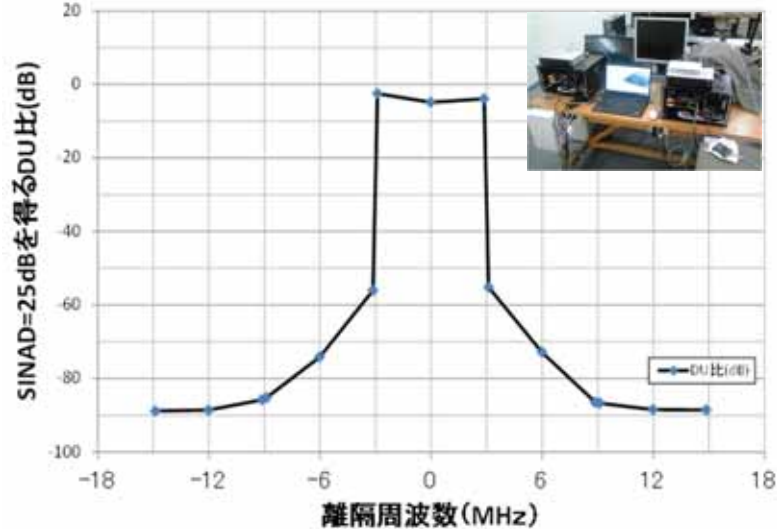
アナログ特定ラジオマイク TVWS災害



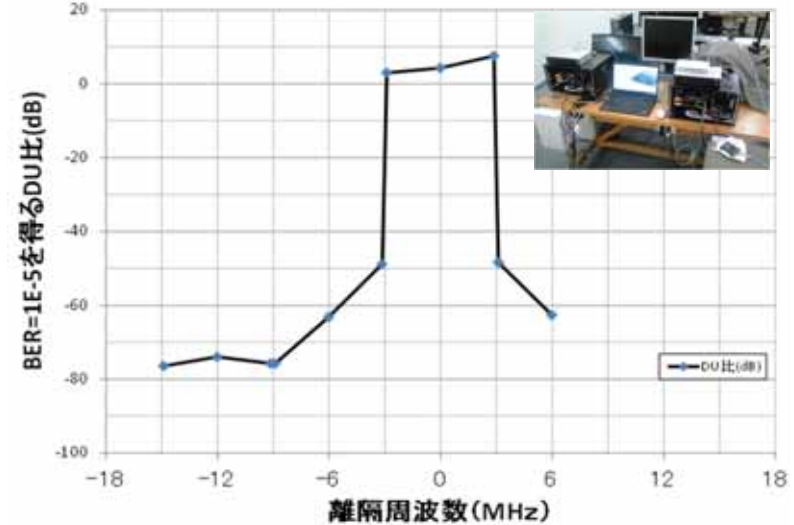
デジタル特定ラジオマイク TVWS災害



TVWS災害 アナログ特定ラジオマイク



TVWS災害 デジタル特定ラジオマイク



特定ラジオマイクとの周波数共用(案)

災害・防災向けデータ伝送システムの混信保護基準(案)

希望波	妨害波	周波数差	混信保護基準案(dB)	
			帯域外干渉	帯域内干渉
災害・防災向け データ伝送 システム波	特定ラジオマイク (アナログ)	同一チャンネル	-	19
		隣接チャンネル	-7	-
		隣々接チャンネル	-50	-
災害・防災向け データ伝送 システム波	特定ラジオマイク (デジタル)	同一チャンネル	-	19
		隣接チャンネル	-9	-
		隣々接チャンネル	-48	-

特定ラジオマイク(アナログ)の混信保護基準(案)

希望波	妨害波	周波数差	混信保護基準案(dB)	
			帯域外干渉	帯域内干渉
特定ラジオマイク (アナログ)	災害・防災向け データ伝送 システム波	同一チャンネル	-	-2
		隣接チャンネル	-55	-
		隣々接チャンネル	-85	-

特定ラジオマイク(デジタル)の混信保護基準(案)

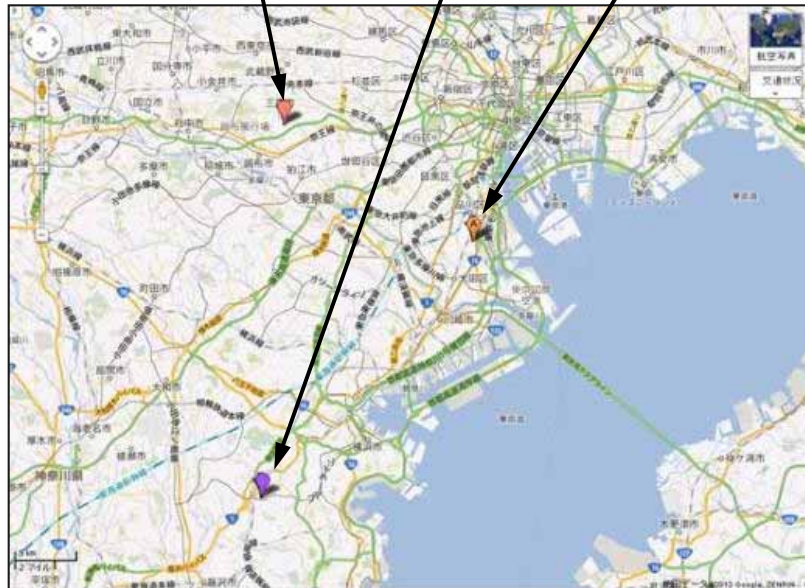
希望波	妨害波	周波数差	混信保護基準案(dB)	
			帯域外干渉	帯域内干渉
特定ラジオマイク (デジタル)	災害・防災向け データ伝送 システム波	同一チャンネル	-	8
		隣接チャンネル	-48	-
		隣々接チャンネル	-73	-

判定基準: TVWS災害 BER < 2×10^{-4} 、特ラ(アナログ) SINAD > 25dB、特ラ(デジタル) BER < 10^{-5}

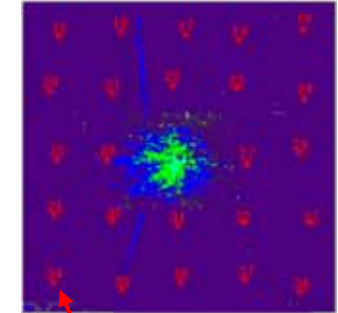
屋外漏洩電力の検討



	ケース1	ケース2	ケース3
運用場所	準屋内	屋内通常	屋内大規模
実証 実験場所	消防大学校 訓練棟	日立製作所 横浜研究所	大森 ベルポート 地下駐車場
送信点	1F,2F,3F,4F	1F,3F,6F	BF1*,BF2**
実験 送信電力	1mW	1mW	1mW*,1W**
			

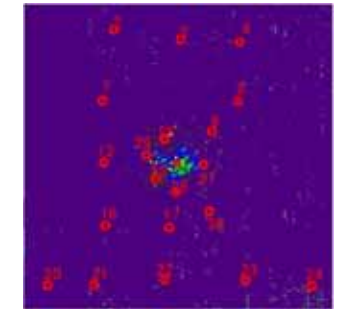


電波伝搬シミュレーション
10km x 10km

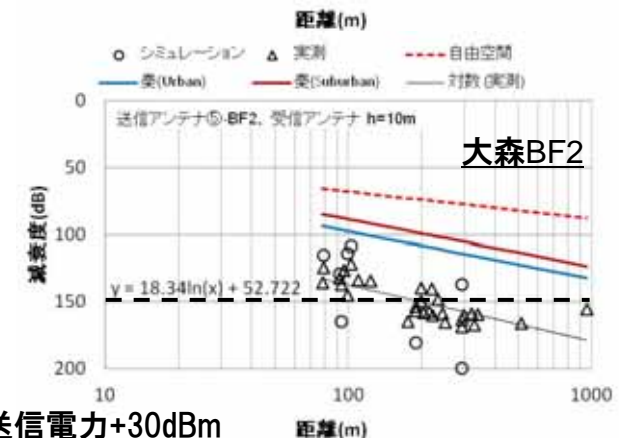
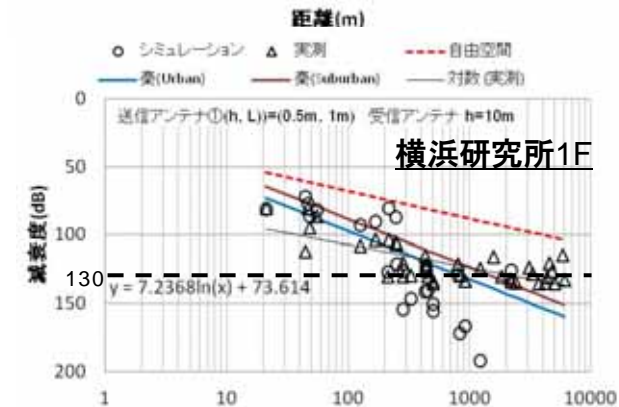
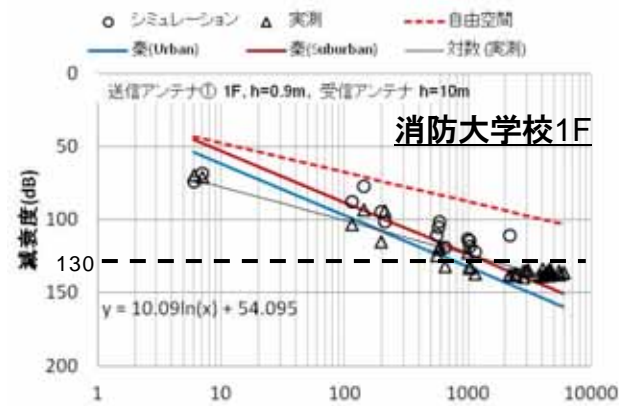
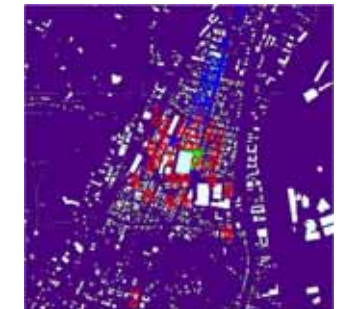


No
○実測点

10km x 10km



2km x 2km



※ I/N=-10dBを得る減衰量 130dB:送信電力+10dBm、150dB:送信電力+30dBm

- 屋外漏洩電力の検討からTVホワイトスペースでの運用にあたり得られた知見と結果に付帯する注意事項を以下に示す。 **減衰量130dB:+10dBmの送信でI/N=-10dBに相当

結果	まとめ
<p>準屋内 消防大学校(周囲に低層建物、平坦な郊外)の1F～4Fからの発射で減衰量>130dB** 点は1.2km～2.2km</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・4F以下の使用において、同一チャネルのサービスエリア端から3kmの離隔距離で共用の可能性有り
<p>屋内 横浜研究所(周囲に同程度の高さの建築物、建物高さ以上の丘)の1F～6Fからの発射において、窓からの距離(1m/ 5m)による顕著な差はない。減衰量>130dB点は、3Fで2.2km、6Fで3.3km。建物高さ以上の地点で1dB～10dB高くなる傾向</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・3F以下は同一チャネルのサービスエリア端から3kmの離隔距離で共用の可能性有り ・上記距離付近に建物高さ以上の地点がある場合は、その方向に窓等の開口部がないあるいはシールド遮蔽幕等による減衰条件で共用の可能性有り
<p>屋内大規模 大森地下駐車場(周囲に同程度の高さの建築物)からのBF1、BF2からの発射において、出入り口の漏洩電力が支配的。減衰量>130dB点はBF1で300m。BF2で+30dBm(1W)を使用する場合の減衰量>150dB点は242m。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・開口部の漏洩電力を測定することで屋外への漏洩量を予見できる可能性有り ・BF1(+10dBm)で400m、BF2(+30dBm)で300mの離隔距離で共用の可能性有り、また、開口部をシールド遮蔽幕等による減衰条件で離隔距離短縮の可能性有り

■ 訓練場所における運用

- 災害・防災向けデータ伝送システムの運用時には、一次利用システムへの干渉回避と、二次利用システムとの運用調整が必要である。そのため、TVホワイトスペース利用システム運用調整連絡会で既に行われている特定ラジオマイクとエリア放送に加えて運用調整することが望ましい。

■ 災害現場における運用

- 災害時にロボットを使用する可能性の高い場所を予めリストアップし、各仕様場所における使用チャネル、出力を予め免許する。
- しかしながら、訓練と異なり災害発生時に一時的に利用されることが想定される。このため、干渉可能性がある他のホワイトスペース利用システムとの間の運用調整手順やルール等について、定型的なひな型を整備することの可否を免許人として想定される者において検討しておくことが望ましい。

訓練場所と災害現場における運用

既にロボットが配備されている都市(札幌、東京、名古屋、大阪、福岡)において消防訓練や実際の災害でロボットを使用する可能性の高い箇所についてP-MAPによる空きチャネルの検討を行った。

検討条件は情報通信審議会のエリア型放送の資料を参考にした。災害ロボットの運用において屋外に10mWの漏洩電力がある想定で行った。結果を右表[A]に示す。

出力電力:10mW (屋外への漏洩電力)

アンテナパターン:

垂直偏波(全方位) : 2.14dB

水平偏波(全方位) : -0.86dB

また、送信電力10mWでは空きチャネルが存在しない箇所については送信電力を低減させて空きチャネルの有無を確認した。その結果を右表[B]に示す。

A

地域	名称	住所	経度	緯度	空きCH	空きCH数
札幌	中央消防署	札幌市中央区南4条西10丁目	141.2033	12.3637394143454749.5152		11
	市営地下鉄大通駅	札幌市中央区大通西2-4丁目	141.2118	12.37394143454749.5152		10
	江北消防署	札幌市北区北3条西3丁目	141.212	12.37394143454749.5152		10
	北海道大学	札幌市北区北3条西5丁目	141.2028	12.37394143454749.5152		10
	日通空港	札幌市東区日通町	141.2255	12.2728353637394143454749.5152		14
	御ヶ丘公園	札幌市東区厚別中央2条5丁目	141.2820	12.3637394143454749.5152		11
	札幌ゲーム	札幌市東区平野5丁目1番地	141.2434	12.31323637394143454749.5152		13
	北海道警察機中隊	札幌市南区真駒内南町6丁目	141.215	12.31323652		5
	札幌市消防学校	札幌市西区八軒10条西13丁目	141.187	12.37394143454749.5152		10
	消防学校	赤井区西条2-9-1	139.4019	139.4024	139.40	2
	消防出初式	江東区有明3-11-1	139.381	139.481	14.35.27.42	4
	パワ	赤井区神楽2-2-1	139.395	139.4148	14.35.36.40.42	6
	第3方面訓練場	八王子市小宮町306	139.4120	139.2232	49.50.51.52	4
	東京ビッグサイト	江東区有明3-11-1	139.3745	139.4741	14.35	2
	学芸大学	小金井市豊原北町4-1-1	139.4223	139.2924	-	5
東京	第2方面訓練場	大田区倉田島1-1-4	139.3424	139.4527	19.35.42	3
	第4方面訓練場	足立区新島3-37-1	139.458	139.458	13.14.34.35.36.37.38.39.40.41.44.47.48.50.52	12
	アイノープ施設	文京区本駒込2-29-45	139.4351	139.4458	31	1
	東京銀行	新宿区西新宿2-8-1	139.4121	139.4130	38.40	2
	東京駅	千代田区丸の内1-9-1	139.4053	139.462	13.14.34.35.36.37.38.39.40.41.42.43.44	13
	新大塚駅	新大塚駅3-30-1	139.4127	139.421	38.40	2
	新大塚駅地下街	新大塚駅新大塚1サブナード	139.4126	139.429	38.40	2
	市役所	豊島区西池袋1番	139.4340	139.4241	-	9
	特別消防隊第五方面隊	名古屋市中区金城5-1-1(豊地の3)	139.317	139.5110	33.35.36.37.38.40.41.43.45.47.52	11
	特別消防隊第一方面隊	名古屋市中川区北平通3丁目3番地	139.315	139.5212	33.35.36.37.38.40.41.43.45.47.52	11
	特別消防隊第二方面隊	名古屋市中区西新町2丁目24番18号	139.3131	139.5210	33.35.36.37.38.40.41.47.52	9
	特別消防隊第三方面隊	名古屋市中区上本町南町4丁目1番地の11	139.3127	139.519	33.34.35.36.37.38.39.40.41.47.52	11
	特別消防隊第四方面隊	名古屋市中区津島区田辺通3丁目3番地	139.320	139.5690	33.35.36.37.38.40.41.47.52	9
	名古屋消防学校	名古屋守山山下北野味長橋290	139.1410	137.114	35.32.33.34.35.36.37.38.39.40.41.47.52	13
	名古屋港	名古屋港区津町1	139.523	139.5250	33.35.36.37.38.40.41.47.52	9
名古屋駅地下街	名古屋市中区丸の内2丁目	139.1014	139.5254	33.35.36.37.38.40.41.47.52	9	
栄地下街	名古屋市中区栄3丁目	139.1014	139.5432	33.35.36.37.38.40.41.47.52	9	
大阪	大阪市消防局	大阪市西区九条南1-12-54	139.4012	139.2825	43.50.52	3
	大阪市消防学校	東大阪市三島	139.4128	139.3548	50.54.43	3
	難波消防訓練所	大阪市淀川区北津路1	139.3931	139.241	19.50.52	3
	ATC(アジア太平洋)レドセンター	大阪市淀川区津路北2-1-8	139.3810	139.2451	43.50.52	3
	大阪市役所	大阪市北区中之島1-3-20	139.4137	139.307	-	6
	豊島橋建設株式会社 石油増産	大阪市淀川区南町2-8-45	139.3912	139.2458	50.52	2
	住友化学	大阪市北区豊崎3丁目	139.4027	139.2657	50.52	2
	新大塚駅	大阪市淀川区西中島5	139.440	139.300	50.52	2
	JR大阪駅	大阪市北区橋本3	139.429	139.2947	-	5
	福岡	東消防署	福岡市東区早稲4-13-1	139.3850	139.2617	15.37.39.41.47.48.51.52
東消防署多々良出張所		福岡市東区早稲1-23-21	139.3810	139.2743	15.37.39.41.47.48.51	7
博多消防署		福岡市博多区博多駅前4-19-7	139.355	139.259	15.37.39.41.47.48.51	7
早良消防署		福岡市早良区西渡辺1-3-1	139.3021	139.2119	15.37.39.48.51	5
西新橋消防センター		福岡市中央区天神2丁目11番2号	139.3020	139.2358	15.37.39.41.47.48.51	7
アインランドーム		福岡市中央区地行浜2-2-2	139.3542	139.2143	15.37.39.48.51	5
マリンメッセ福岡	福岡市博多区博多駅前7-1	139.3626	139.247	15.37.39.48.51	5	

B

地域	名称	対応方法	空きCH	空きCH数
東京	学芸大学	出力電力低減(-9dB)	29.31	2
		出力電力低減(-10dB)	29.31.38.40	4
東京	市役所	出力電力低減(-1dB)	34	1
		出力電力低減(-2dB)	14.34.42	3
大阪	大阪市役所	出力電力低減(-1dB)	43	1
		出力電力低減(-5dB)	34, 43	2
大阪	JR大阪駅	出力電力低減(-6dB)	34	1
		出力電力低減(-7dB)	20.34	2

- 特定ラジオマイクとの周波数共用条件に関する検討を行い、混信保護基準のベースとなる値を示した。
- 消防大学校、横浜研究所および大森ベルポートの屋外漏洩電力の実験から、
 - TVホワイトスペース帯の屋内あるいは地下施設内からの電波伝搬は、自由空間伝搬損失や奥村・秦カーブ拡張モデルよりも伝搬損失が大きい。
 - 各運用場所において $I/N=-10\text{dB}$ を得る離隔距離が求められた。
 - 注意事項として、実験は無変調波(CW)を用いて測定点1か所の時間平均値を測定しているため、測定高や測定場所によっては本測定結果よりも高くなる場合もある。
- 運用可能チャネルの確保手法として、消防の訓練施設や災害が発生した場合にロボットを用いる可能性のある箇所をリストアップし、それぞれにおける空きチャネルの状況を調査するとともに、運用調整を行う仕組みを検討して、訓練場所における運用と災害現場における運用として既設の枠組みを利用した仕組みを提案した。