資料 7-3

「1.6GHz帯/2.4GHz帯を用いた移動衛星通信システムの技術的条件」の検討について

干渉検討に関する報告

平成28年10月25日

株式会社テレキュート

## 「1.6GHz帯/2.4GHz帯を用いた移動衛星通信システムの技術的条件」の検討について

## 干渉検討に関する報告

- 1. 概要
- 2. 電波天文との干渉
- 3. 無線LAN・小電力データ通信システムとの干渉
- 4. ロボット無線との干渉
- 5. まとめ
- 6. 参考資料

### 1. 概要

「1.6GHz帯/2.4GHz帯を用いた移動衛星通信システムの技術的条件」の検討としては、平成 12年9月に電気通信技術審議会が一部答申を行っているが、電波使用状況が当時と比べ大きく 変化し、周波数共用検討の前提条件が変わったことと、及び同システムの技術の進展があった ことから、同システムの高度化を図るための追加検討を行う必要がある。

現在の電波使用状況から主に以下の3点について干渉検討をする必要がある。

- 1. 電波天文:与干涉
- 2. 無線LAN・小電力データ通信システム:被干渉
- 3. ロボット無線:被干渉

### 2.電波天文との干渉

#### 2. 電波天文との干渉

#### 2.1 電波天文業務の概要

図2.1に示すように、本システムの上りサービスリンク(Lバンド、1,610.0~1,626.5MHz)の一部(1,610.6~1,613.8MHz)は、電波天文業務と周波数を共用することになる。電波天文業務は、電波送信は行わず、受信のみを行う業務であり、微弱な信号を扱っている。 電波天文のシステムの一例として、国立天文台野辺山の概要について、 図2.2に示す。

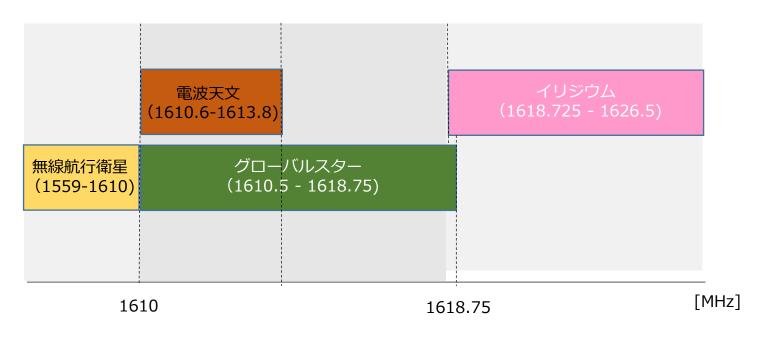


図2.1 1.6GHz帯の状況

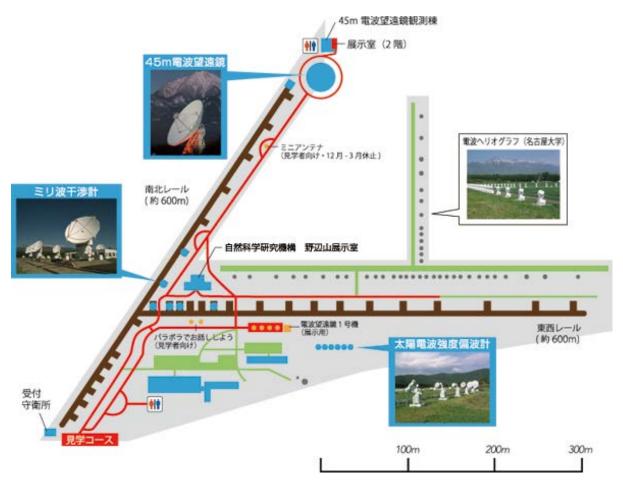


図2.2 国立天文台野辺山の概要

(出典:http://www.nro.nao.ac.jp/public/about.html)

### 2.電波天文との干渉

#### 2.2 電波天文との干渉の検討

本システムと、電波天文との共用については、平成12年の一部答申において、以下の共用条件が示されている。

"本システムが電波天文業務に支障を与えないよう、当該施設から一定の距離以内では常時または観測時のみ端末の電波を停止するなどの措置を講じることについて、電波天文各機関とシステム運用者との間で合意を得て、これを着実に実施することが必要である。"

これを踏まえ、本システムの導入検討に際して、米国FCC規定§25.213での規制や従前の干渉検討を基に、表2.1に示した条件で運用協定が関係者間で結ばれている。

### 2.電波天文との干渉

表2.1 H12年度答申後に締結された運用条件

観測施設	運用条件	例外条件 運用指針
国立天文台野辺山宇宙電波観測所	0~50Km 全周波数使用禁止 50Km~160Km Ch. 4,5,6,7 (1613.805- 1618.725 MHz)使用可能 160Km~全周波数使用可能	自然災害時、防災訓練時は制限を解除(解除時は連絡)
JAXA臼田宇宙空間観測所	0~100Km 全周波数使用禁止 100Km~160Km Ch. 4,5,6,7 (1613.805- 1618.725 MHz)使用可能 160Km~全周波数使用可能	サービス利用者への周知
NICT鹿島宇宙技術センター	0~30Km 全周波数使用禁止 30Km~160Km Ch. 4,5,6,7 (1613.805- 1618.725 MHz)使用可能 160Km~全周波数使用可能	

しかしながら、表2.1に示した運用協定では、本州の中央部分において半径100Km圏での運用ができず、またこの地域は、現在、地上系の携帯電話サービスの圏外となっているために、実際にサービスが導入された際に利用の需要が高いと見られることから、隣接周波数帯となる、Ch. 4、5、6、7 (1613.805-1618.725 MHz) の運用条件の緩和について検討を行った。

検討に際し、グローバルスターの端末実機を用い、当該の隣接周波数のCHで最大出力 (30dbm/1.23MHz)で出した場合の電波天文領域でのスプリアス電力値を測定した結果を表2.2に示す。

表2.2 実機でのスプリアス測定結果

CH(中心周波数)	電波天文領域(1613.8MHz)での電力値	参考 ITU-R M1343-1での許容値
CH4(1614.42MHz)	-60 dBw/30KHz	-44.5 dBw/30KHz (オフセット225~650KHz/-38.5~-45dBW)
CH5(1615.65MHz)	-75 dBw/30KHz	-56 dBw/30KHz (オフセット1.8MHz以上)
CH6(1616.88MHz)	-89 dBw/30KHz	-56 dBw/30KHz (オフセット1.8MHz以上)

ITU-R RA.769に規定された干渉制限値を用いて、各天文台における干渉を検討した結果、CH4を使用した際の電波天文領域のへのスプリアス輻射は、干渉制限値を超えるため、これを使用しないことが適当であると判明した。

CH5以上の使用については、自由空間損失の予測値では、電波天文領域のへのスプリアス輻射が、 干渉制限値を超えるものの、地形等を考慮した結果、地上においては30Kmの離隔をとることで、 観測に影響は生じないものと考えられる。

一方、太平洋に面している鹿島宇宙技術センターについては、海上において携帯衛星端末が使用された場合には、有効な遮蔽が期待できないことから、球面形状を考慮した追加損失の計算により、50Kmの離隔を取る事によって観測に影響は生じないものと考えられる。

## 2.電波天文との干渉

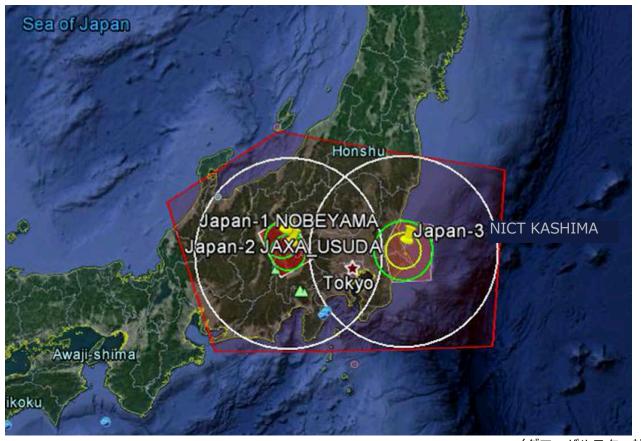
#### 2.3 電波天文との共用条件の検討

電波天文との干渉の検討を行った結果、表2.3に示す運用条件を適切に実施することにより、1.6GHz帯における、電波天文と本システムとの周波数共用は可能であると考えられる。

表2.3 干渉検討結果に基づく新たな運用条件案

観測施設		運用条件	例外条件 運用指針
国立天文台野辺山宇宙電波観測所 JAXA臼田宇宙空間観測所	Ŧ	0~30Km 全周波数使用禁止 30Km~160Km Ch. 1,2,3,4 (1610.115- 1615.305 MHz) 使用禁止 Ch. 5,6,7 (1615.035- 1618.725 MHz) 使用可能 160Km~全周波数使用可能	自然災害時、防災訓練時は制限を 解除(解除時は連絡) サービス利用者への周知
NICT鹿島宇宙技術センター 陸上 上		0~30Km 全周波数使用禁止 30Km~160Km Ch. 1,2,3,4 (1610.115- 1615.305 MHz) 使用禁止 Ch. 5,6,7 (1615.035- 1618.725 MHz) 使用可能 160Km~全周波数使用可能	
		0~50Km 全周波数使用禁止 50Km~160Km Ch. 1,2,3,4 (1610.115- 1615.305 MHz) 使用禁止 Ch. 5,6,7 (1615.035- 1618.725 MHz) 使用可能 160Km~全周波数使用可能	

図2.3および図2.4は、表2.3に示した運用条件地域案を図示したものである。



(グローバルスター社提供)

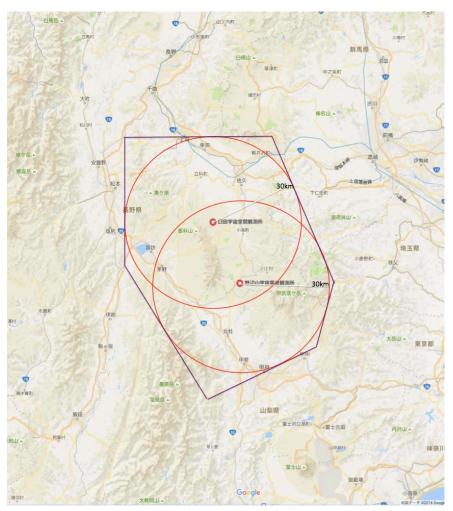
図2.3 運用条件地域案

小多角形内:全周波数使用不可

小多角形外から大多角形内: CH1~4使用不可

大多角形外: 全周波数使用可能

JAXA臼田宇宙空間観測所(上側) 国立天文台野辺山宇宙電波観測所(下側)



NICT鹿島宇宙技術センター

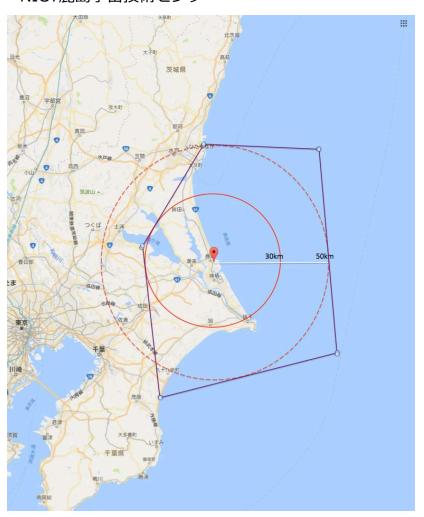


図2.4 運用条件地域案(詳細)

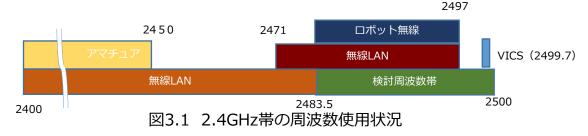
小多角形内:全周波数使用不可

#### 3. 無線LAN・小電力データ通信システムとの干渉

#### 3.1 無線LAN・小電力データ通信システムの概要

2400~2497MHzにおいて、2.4GHz帯無線LAN(LAN: Local Area Network)が利用されている(図3.1)。無線LANの規格としては、米国電気電子学会(IEEE: The Institute of Electrical and Electronics Engineers)により標準化された規格が広く利用されている。

IEEE802.11bにおける20MHzシステムのチャネル配置を図3.2に示す。2412MHzから2472MHzまでの5MHz間隔の計13 チャネル(ch1~ch13)と、2484MHzのch14(我が国においてのみ使用可能)の計14 チャネルから構成される。



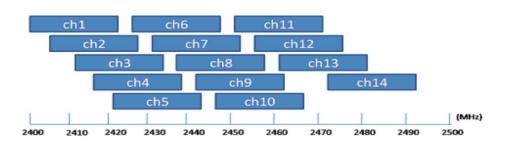


図3.2 2.4GHz帯無線LAN(IEEE802.11b:20MHz システム)のチャネル配置

#### 3.2 無線LAN・小電力データ通信システムとの干渉の検討

表3.1及び表3.2に示した諸元、並びに、図3.3に示した伝搬モデルを基に、本システムと無線LAN・小電力データ通信システムとの干渉の検討を行った。

表3.1 隣接検討諸元 (STD-T66) 「第二世代小電力データ通信システム」

表3.2 共用検討諸元(STD-33) 「小電力データ通信システム」

項目	単位	屋外使用 モデル	屋内使用 モデル
周波数	MHz	247	2
空中線利得	dBi	2.14	1
壁等による減衰	dB	_	17
壁までの距離	m	_	5
受信空中線利得 (衛星携帯電話端末)	dBi	0.53	1
不要輻射	mW/MHz	0.02	5
	dBm/MHz	-16.0	)2

項目	単位	屋外使用 モデル	屋内使用 モデル
周波数	MHz	248	34
空中線利得	dBi	2.1	.4
壁等による減衰	dB	-	17
壁までの距離	m	_	5
受信空中線利得 (衛星携帯電話端末)	dBi	0.5	51
干渉波	mW/MHz	10	)
	dBm/MHz	10	)

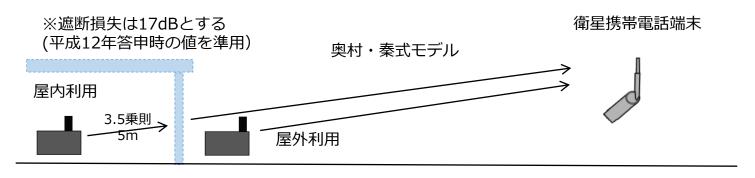


図3.3 伝搬モデル

表3.3に所要離隔計算の結果を示す。

表3.3 所要離隔計算の結果

許容干涉電	力		所要離隔距離
隣接干渉	-119.4 (dB/MHz)	屋内利用	0.9 m
		屋外利用	71.5 m
共用干渉		屋内利用	3.7 m
		屋外利用	288.9 m

(※"参3.1 無線LAN・小電力データ通信システムとの所用離隔距離計算"に詳細を示す)

Wi-Fiに代表されるCH1~CH13までの無線LAN機器から、衛星携帯電話端末への隣接干渉に対する所要離隔距離は、干渉元が屋内使用では約1mであり影響は非常に少ないと考えられる。 一方で、屋外使用においては、計算された所要離隔距離が約72mであり、一定の距離において衛星

一方で、屋外使用においては、計算された所要離隔距離か約/2mであり、一定の距離において衛星携帯電話の通信が困難になる事も考えられる。

周波数を共用するCH14を使用した無線LANから、衛星携帯電話への干渉については、屋内使用では約3.7mであり、隣接干渉に比較すると必要な離隔距離は大きいものの、その影響は限定的であると考えられる。また屋外使用においては計算された所要離隔距離が約290mであり、より広い範囲で、衛星携帯電話の通信が困難になる事も考えられる。

#### 3.3 実際の環境での試験運用

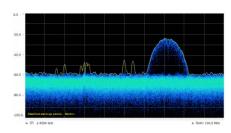
Wi-Fi利用機器が高度に普及した現在の状況で、本システムが実用に耐え得るかを実証するために、幾つかの代表的な環境を選び、試験運用を行った。

- (1) Wi-Fi機器との同時使用
- (2) 公衆無線LANサービスエリア内での使用
- (3) 事業用無線LANとの同時使用

### (1)Wi-Fi機器との同時使用

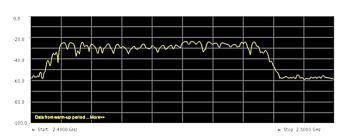
衛星携帯電話の利用者が、Wi-Fiルータも携帯して使用する場合を想定し、Wi-FiルータをCH13に設定した状態で、実際に、衛星携帯電話の使用を試みたところ通話は可能であった。





また、今日では、複数の携帯端末を効率的に利用するために、多くの利用者が、日常の通信手段として、Wi-Fiルータを使用したり、スマートフォンのテザリング機能を活用している。このため、公園のように多くの人が集まる場所では、多くのWi-Fi電波が送信されている状況が想定され、実際にパソコンやスマートフォンのWi-Fi検索機能によって、複数のWi-Fi機器が存在することが確認できる。このような状況において、実際に衛星携帯電話の使用を試みたところ、通話は可能であった。





これらは一例に過ぎず、隣接するWi-Fi機器の種類や台数によって、影響の度合いは変化することが考えられるが、利用者がWi-Fi機器からの影響受ける場合があり得ることを理解し、運用場所を適切に選択することで、多くの場合、衛星携帯電話の利用は可能であると考えられる。

### (2) 公衆無線LANサービスエリア内での使用

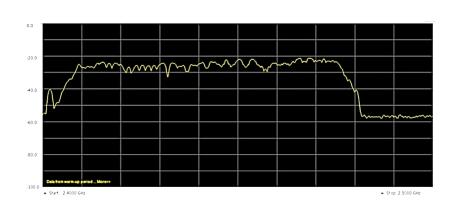
今日では、主要な鉄道駅や繁華街等において、通信事業者、地方公共団体、施設の運用会社などによって、公衆無線LANアクセスポイントが設置され、一般の利用者にインターネット接続サービスが提供されている。

都市部においては、周辺の建物の遮蔽によって、衛星までの伝播路が確保できず、本システムの衛星 携帯電話を安定して使用することは、通常は困難である場合が多い。しかしながら衛星の通過軌道に よっては、短時間利用可能になる場合もある。

このような状況において、実際に衛星携帯電話の使用を試みた。その結果一時的に衛星からの電波を 受信することはでき、その際の通話は可能であった。

これは非常に極端な例ではあるが、本システムの利用者がこのような衛星携帯電話の特性を理解し、 運用場所を適切に選択することで利用可能な場面を拡大することができると考えられる。



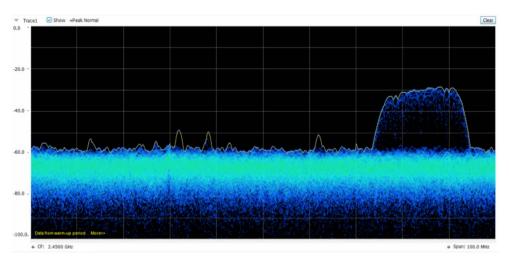


### (3) 事業用無線LANとの同時使用

工場などで、無線LANを、特にWi-FiのCH14で使用した場合を想定し、使用CHをCH14に固定したWi-Fi機器を対向で設置し、相互に通信を行なわせて、その周辺で衛星携帯電話の使用を試みた。

無線LAN機器から、直線見通しで50m離れた地点では、特段の支障はなく通話が出来た。距離が概ね10m以内近付いた場合に、衛星からの電波が掴みにくい場合があり、通話が途切れる場合もあった。 これは一例に過ぎないが、Wi-FiのCH14が使用されている事業の周辺等でも、一定の距離が確保できれば、衛星携帯電話を使用することは可能であると考えられる。





#### 3.4 災害発生時の利用シーン

本システムが導入の目的として関心の高い、災害時の利用シーンについても検討を行った。

利用シーン(1):災害発生時(陸上)

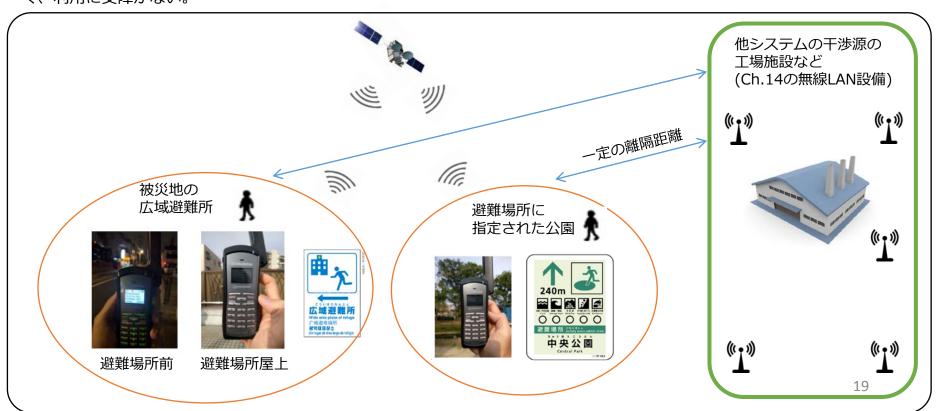
想定の状況:広域災害が発生し、停電などで固定電話回線が利用できず、また携帯電話網は基地局の被災、利用者急増による輻輳が発生し、回線がつながりにくい状況となる

衛星携帯電話の利用:衛星携帯電話網を利用し、災害を受けた場所近くにある避難場所(学校、避難場所に指定された公園などの広場)から音声回線を通じて避難状況の報告や救助を求める。

想定利用者:避難所に避難している地域住民をはじめ、各地方自治体、自衛隊、警察、消防、災害救助隊、海外からの災害 救助隊、米軍関係者

想定利用場所:住宅地に点在する学校、公民館、避難場所に指定された公園など

他システムとの電波干渉:衛星携帯電話が工場施設などでの利用が残るCh.14の無線LAN設備等からの被干渉を受けるが、 被災地で指定された避難所や避難場所に指定された公園は、工場からの一定の離隔距離が保たれるので、影響が極めて小さ く、利用に支障がない。



#### 3.5 無線LAN・小電力データ通信システムとの周波数共用

所要離隔計算、及び実環境での試験運用から、無線LAN・小電力データ通信システムの内、特に広く普及している、1CH~13CHまでを使用した機器からの、有害な干渉を受け可能性は低く、周波数の共用は可能であると考えられる。

無線LAN・小電力データ通信システムの内、14CHの帯域を使用する機器の周辺に於いては、一定の距離内で、衛星携帯端末が、衛星からのダウンリンク信号を受信する事ができない場合が考えらるが、その場合でも干渉を受ける範囲は限定的であり、本システムの利用者がこのように、他システムからの干渉を受ける可能性を理解し、運用場所を適切に選択することで、利用可能な場面を拡大することができると考えられる。

衛星携帯電話は、固定電話、携帯電話、Wi-Fiの電波が届かないエリア(陸上、海上・洋上)にて、より利用されることが想定され、多くの場合、必要な離隔は得られるものと考えられる。

これらの考察から、本システムと、無線LAN・小電力データ通信システムとの周波数共用は可能であると考えられる。

#### 4.1 ロボット無線の概要

ロボット無線については、「ロボットにおける電波利用システムの技術的条件」として、平成28年3月に情報通信審議会から答申を受け、同年8月に制度化が行われており、今後、高精細画像の伝送等の高度利用が見込まれている。ロボット無線の2.4GHz帯での周波数配置を図4.1 及び表4.1に示す。



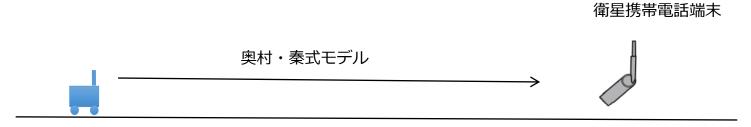
図4.1 2.4GHz 帯口ボット用無線システム)のチャネル配置

表4.1 2.4GHz 帯口ボット用無線システム)のチャネル配置

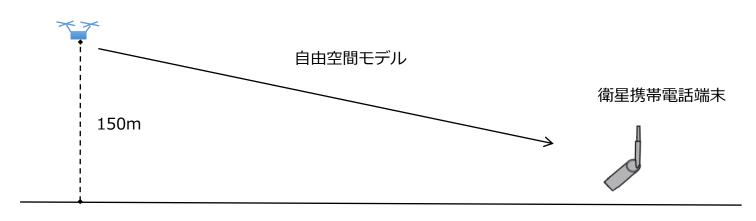
システム	中心周波数
5MHzシステム	2486MHz、2491MHz
10MHzシステム	2488.5MHz

### 4.2 ロボット無線との干渉の検討

図4.2に示した伝搬モデル及び、表4.2に示した諸元を基に、本システムとロボット無線との干渉の検討を行った。



ロボット無線(陸上ロボット利用)



ロボット無線(上空ドローン利用)

図4.2 伝搬モデル

表4.2 ロボット無線 共用検討用諸元

項目	単位	陸上利用	上空利用
周波数	MHz	24	88.5
空中線電力 (e.i.r.p.)	W		4
ロボット高度	m	1.5	150
受信空中線利得 (衛星携帯電話端末)	dBi	0	.51

表4.3に所要離隔計算の結果を示す。

ロボット無線から衛星携帯電話への干渉については、陸上利用では、10MHzシステムの場合で約560m、5MHzシステムの場合で約656mであり、比較的広い範囲で、衛星携帯電話の通信が困難になる事が考えられる。

また上空利用の場合には、離隔距離が、等価地球半径を考慮した可視範囲を超える事から、見通し範囲内でロボット無線が使用された場合には、衛星携帯電話の通信が困難になると考えられる。

許容干渉電力		所要離隔距離	10MHzシステム	5MHzシステム
共用干渉	-119.4 (dB/MHz)	地上利用 (1.5m高)	560m	656m
		上空利用(150m高)	169Km (※)	238Km(※)

表4.3 所要離隔計算の結果

※等価地球半径での見通し距離は、約50.5Km

("表 参3.2 ロボット無線との所用離隔距離計算"に詳細を示す)

#### 4.3 ロボット無線の想定される利用シーンでの干渉の検討

現時点では、2.4GHz帯におけるロボット無線の活用は、まだ導入段階ではあるが、今後想定される代表的な利用シーンにおいて、それぞれ干渉が生じる状況の可能性について検討を行った。

- (1) 平常時(陸上)
- (2) 災害発生時直後(陸上)

利用シーン(1): 平常時(陸上)

ドローンやロボットの想定利用状況:高層ビルやお城の外観、大規模な橋梁、送電線を支える鉄塔、大規模ソーラーパネルなど人間が容易に近づけない場所へ、ドローンやロボットを利用して画像情報を取得するために利用する

- 1)都心部など人口が密集しているエリアでは航空法の定めるルール(\*)により、事前に国土交通大臣の許可を受けた場合を除き、ドローンを利用する許可が降りず、衛星携帯電話との干渉は考えにくい。また、地上の携帯電話が利用出来る都心部では衛星携帯電話の利用ニーズがないと想定される。
- 2) お城や大規模な橋梁の外観を撮影するなどの利用では、ドローンの飛行中は衛星携帯電話との電波干渉が考えられるが、万が一衛星携帯電話が利用できない場合、利用者は周囲にドローンが飛行しているか確認し、しばらく間を空けてから再度利用してみる。ドローンの連続飛行時間(10分程度)を考えれば、干渉により衛星携帯電話が長時間に渡って利用できないケースは少ないと想定される。
- 3) 送電線を支える鉄塔、大規模ソーラーパネルのチェックのためにドローンを利用する場合、同じタイミングで衛星携帯電話を利用した場合は電波干渉が考えられるが、万が一衛星携帯電話が利用できない場合、利用者は周囲にドローンが飛行しているか確認し、しばらく間を空けてから再度利用を試みることが想定される。
- \*)ドローンとの電波干渉:平時における衛星携帯電話の利用時にドローンやロボットと遭遇した場合は、電波干渉により利用できない場合が考えられるが、しばらく間を空けてから再度利用することで衛星携帯電話が利用できると想定される。

#### (\*)航空法の定めるルール:

(A) ~ (C) の空域のように、航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域や、落下した場合に地上の人などに危害を及ぼすおそれが高い空域において、無人航空機を飛行させる場合には、あらかじめ、国土交通大臣の許可を受ける必要があります。

- (A) 空港等の周辺(進入表面等)の上空の空域
- (B) 150m以上の高さの空域
- (C) 人口集中地区の上空







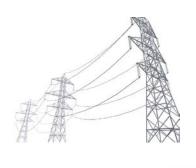


衛星携帯電話





衛星携帯電話との共存可能

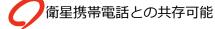








ドローン



利用シーン(2): 災害発生時(陸上)

想定の状況:発災直後からの通信状況 (\*参考資料:放送メディア研究 No.11 2014年:ケータイから見た3.11 東日本大震災)

- 1)発災直後、固定電話・携帯電話網が不通となる。
  - (\*東日本大震災では、東北・関東全域では震災当日、実質的に携帯電話が使えなかった人が42.8%(アンテナ表示の「圏外」・「0本」の合計)
- 2) 発災から三日間程度は、衛星携帯電話を活用し関係機関との連絡や救急活動や応急活動、情報の収集や伝達に利用される。
- (\*震災から三日目以降は携帯電話が徐々に改善を見せ、実質的に使えなかった人の割合が16.1%(アンテナ表示の「圏外」・「0本」の合計)

#### にまで大幅に減少する)

- 3) 災害対策本部等の設置後は、被災・被害状況の把握、情報収集(今後はドローンやロボットの活用が見込まれる)、関係機関との連絡などが一元管理され、衛星携帯電話の利用もこれに含まれる。
- \*)ドローンとの電波干渉:災害対策本部等などが設置された以降は、ドローンやロボットなどの情報収集用機器、非常用通信伝達手段である衛星携帯電話等の利用について利用場所や利用時間が一元管理され、円滑な利用が想定される。





#### 4.4 ロボット無線との周波数共用

所要離隔計算の結果から、ロボット無線が、特に上空で使用された場合には、広範囲で衛星携帯端 末が、衛星からのダウンリンク信号を受信する事ができない場合が考えられる。

ロボットによる、2.4GHz帯の電波利用は、その導入が始まりつつあるところではあるが、想定される利用シーンを検討すると、多くの場合衛星携帯電話の利用は可能であると考えられる。

また、災害時等においては、衛星携帯電話の利用と、ロボットの無線利用とでは、利用ニーズが高まる時期・期間に差異が生じると考えられる。さらに、ロボットの無線利用が活発に行われるような大規模災害時においては、現地対策本部などの主導により、各種通信システムが、その緊急度、重要度に対応して適切に活用されるよう、運用調整が実施されると考えられる。

これらの考察から、ロボット無線が導入された場合においても衛星携帯電話の利用は可能であると 考えられる。

### 5. まとめ

#### 5. まとめ

#### 5.1 検討結果のまとめ

本報告における干渉検討の結果を以下に示す。

#### 1. 電波天文との干渉

保護が必要な天文台の周辺で、離隔距離や使用可能な周波数等の運用条件を設定し、これを適切に実施することにより、1.6GHz帯における、電波天文と本システムとの周波数共用は可能であると考えられる。

2. 無線LAN・小電力データ通信システムとの干渉 無線LAN・小電力データ通信システムから受ける干渉は非常に限定的であり、特定の状況で干渉を受ける可能性を利用者が理解することで、周波数共用は可能と考えられる。

#### 3. ロボット無線との干渉

ロボットが近傍で使われている状況では、干渉を受けることが考えられるが、平時の衛星携帯電話の利用シーンを考えると、利用する時間を考慮することによって衛星携帯電話の利用は可能と考えられる。また災害時などには災害対策本部等による適切な運用調整が行われることで衛星携帯電話の利用は可能と考えられる。

# 参考資料1:グローバルスターシステム 諸元(1/2)

### ダウンリンク(衛星→端末)

構成	単位	衛星局 (Inner)	衛星局 (Middle)	衛星局 (Outer)
周波数	MHz		2483.5 <b>~</b> 2500	
EIRP/ユーザー	dBWi	-3.7	-2.1	1.4
衛星高度	Km		1414	
仰角	deg	70	50	25
地球半径	Km		6378.13	
帯域幅	MHz		1,23	
自由空間損失	dB	163.83	165.20	168.44
偏波/追跡損失	dB		-1	
受信信号電力	dBm	-138.53	-138.30	-138.04
受信信号入力 (アンテナ出力)	dBm	-138.02	-137.97	-138.4
所用Eb/No	db		3.5	
許容干渉電力	dB/MHz		-119.4	

# 参考資料 1 グローバルスターシステム 諸元 (2/2)

#### アップリンク(端末→衛星)

#### 双方向端末

構成	単位	数値
周波数	MHz	1610.5 <b>~</b> 1617.775
帯域幅	MHz	1,23
EIRP	dBm	30

#### シンプレックス端末

構成	単位	数值
周波数	MHz	1611.25 <b>~</b> 1618.75
帯域幅	MHz	2.5
EIRP	dBm	23.5

#### 参考資料 2 減衰モデル

#### 奥村・秦式モデル

```
減衰量[dB] = 69.55 + 26.16log_{10}F-13.82log_{10}h_b-a(h_m)+(44.9-6.55log_{10}h_b)log_{10}D a(h_m) = (1.1log_{10}f-0.7)h_m-(1.56log_{10}f-0.8) (中小都市) a(h_m) = 3.2l(og_{10}11.75hm)^2-4.97 (大都市) F: 周波数(MHz) D: 距離(Km) h_b: 基地局空中線高 (m) h_m: 移動局空中線高 (m)
```

#### 3.5乗則

```
減衰量[dB] = 40 + 10nlog<sub>10</sub>d
n = 3.5
d:距離(m)
```

### 自由空間モデル

減衰量[dB] = 20log10(4n/0.3)+20log10F+20log10d F:周波数(MHz) d:距離(m)

### 参考資料 3 所用離隔距離計算

表 参3.1 無線LAN・小電力データ通信システムとの所用離隔距離計算

構成単				第二世代小電力データ通信システム		小電力データ通信システム		
			単位	屋外	屋内	屋外	屋内	計算式
衛星携帯端末 受信電力	[1]	周波数	Mhz	2472	2472	2484	2484	
	[2]	送信アンテナ利得	dBi	2.14	2.14	2.14	2.14	
	[3]							
	[4]	壁等の減衰	dB		17		17	
	[5]	受信アンテナ利得	dBi	0.51	0.51	0.51	0.51	
	[6]	偏波/追跡損失	dB	-1	-1	-1	-1	
	[7]	総合損失	dB	-1.65	15.35	-1.65	15.35	=[3]-[2]-[5]+[4]
干渉量	[8]	- 干渉出力/不要輻射	mW/MHz	0.025	0.025	10	10	
	[9]		dBm/MHz	-16.0	-16.0	10	10	=10log10([8])
	[10]	耐干渉入力	dB/MHz	-119.4	-119.4	-119.4	-119.4	
	[11]	壁からの距離	m		5		5	
	[12]	屋内伝搬損失	dB		64.5		64.5	=40+10*3.5*Log10([11])
	[13]	所用結合損	dB	103.4	103.4	129.4	129.4	= [9]-[10]
	[14]	所用改善量	dB	105.0	23.6	131.1	49.6	屋外 = [13]-[7] 屋内 = [13]-[7]-[12]
所用利確距離	[15]	周波数	MHz	2495	2495	2495	2495	
	[16]	自由空間減衰						= 10^(([14]-(20*LOG <sub>10</sub> (4*PI()/0.3) +20*LOG <sub>10</sub> ([15])+20*LOG <sub>10</sub> (1/1000)))/(10*2))
	[17]	奥村秦モデル	m	71.5	0.9	288.9	3.7	= (10^(([14]-69.55-26.16*LOG10([15]) +13.82*LOG10([18])+[21])/(44.9-6.55*LOG10([18]))))*1000
奥村・秦パラメータ	[18]	基地局空中線高	m	2	2	2	2	
	[19]	移動局空中線高	m	1.5	1.5	1.5	1.5	
		a(hm):大都市	dB	-0.00092	-0.00092	-0.00092	-0.00092	= 3.2*(LOG <sub>10</sub> (11.75*[19]))^2-4.97
	[21]	a(hm):中小都市	dB	0.05574	0.05574	0.05574	0.05574	= $(1.1*LOG_{10}([15])-0.7)*[19]-(1.56*LOG_{10}([10])-0.8)$

## 参考資料 3 所用離隔距離計算

表 参3.2 ロボット無線との所用離隔距離計算

構成			上空ドローン		陸上ロボット			
		単位	屋外(10MHz)	屋外(5MHz)	屋外(10MHz)	屋外(5MHz)	計算式	
衛星携帯端末 受信電力	[1]	周波数	Mhz	2488.5	2491	2488.5	2491	
	[2]	送信アンテナ利得	dBi	0	0	0	0	
	[3]							
	[4]							
	[5]	受信アンテナ利得	dBi	0.51	0.51	0.51	0.51	
	[6]	偏波/追跡損失	dB	-1	-1	-1	-1	
	[7]	総合損失	dB	0.49	0.49	0.49	0.49	=[3]-[2]-[5]+[4]
干涉量	[8]	- 干渉出力	mW/MHz	400	800	400	800	4 W e.i.r.p / 帯域幅
	[9]		dBm/MHz	26	29	26	29	=10log10([8])
	[10]	耐干渉入力	dB/MHz	-119.4	-119.4	-119.4	-119.4	
	[11]							
	[12]							
		***************************************	dB	145.4	148.4	145.4	148.4	= [9]-[10]
		所用改善量	dB	144.9	147.9	144.9	147.9	= [13]-[7]
所用利確距離	[15]	周波数	MHz	2488.5	2491	2495	2495	
	[16]	自由空間減衰	m	168,859	238,281			= 10^(([14]-(20*LOG10(4*PI()/0.3) +20*LOG10([15])+20*LOG10(1/1000)))/(10*2))
	[17]	奥村秦モデル	m			560	656	= (10^(([14]-69.55-26.16*LOG10([15]) +13.82*LOG10([18])+[21])/(44.9-6.55*LOG10([18]))))*1000
奥村・秦パラメータ	[18]	基地局空中線高	m	150	150	2	2	
	[19]	移動局空中線高	m	2	2	2	2	
	[20]	a(hm):大都市	dB	-0.000919047	-0.000919047	-0.000919047	-0.000919047	= 3.2*(LOG <sub>10</sub> (11.75*[19]))^2-4.97
	[21]	a(hm):中小都市	dB	0.055634388	0.055673635	0.055736349	0.055736349	= (1.1*LOG <sub>10</sub> ([15])-0.7)*[19]-(1.56*LOG <sub>10</sub> ([10])-0.8)