

ロボット用電波利用システムに関する 要求要件及び候補周波数帯について

平成27年7月29日

一般社団法人 電波産業会
ロボット用電波利用システム調査研究会

ロボット用電波利用システムの技術的条件案

1. ロボット用電波利用システムの条件案

	上空・地上・海上利用を想定		非常時用
用途	テレコントロール データ伝送／画像伝送	テレコントロール データ伝送／画像伝送	テレコントロール データ伝送／画像伝送
周波数帯	2.4GHz帯	5GHz帯	169MHz帯
通信方式	単向・同報・単信・複信	単向・同報・単信・複信	単向・同報・単信・複信
変調方式	各種	各種	各種
伝送容量	3M～27Mbps	3M～54Mbps	100k～200kbps
占有周波数帯幅の許容値	5/10MHz	5/10/20MHz	100k/200kHz
ch間隔及びch数	5MHz × 2ch 10MHz × 1ch	5MHz × 8ch 10MHz × 4ch 20MHz × 2ch	100kHz × 4ch 200kHz × 2ch
等価等方輻射電力	4W	1W	1W

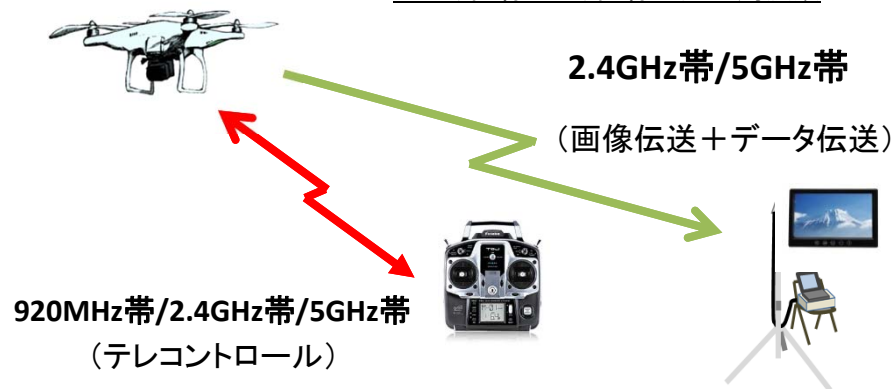
2. 想定される使用環境及び台数

使用環境	地上高	移動範囲	同一使用場所における運用台数	備考
上空	250m	5km未満	5台	地上高は、航空法において無許可で飛行できる空域の最大地上高とする。
地上(屋外)	3m	1km未満	20台	地上(屋外)のモデルは、無人化施工を想定したものである。

■無人飛行機の利用イメージ

単向通信・同報通信・単信方式

※上り回線と下り回線は別の周波数

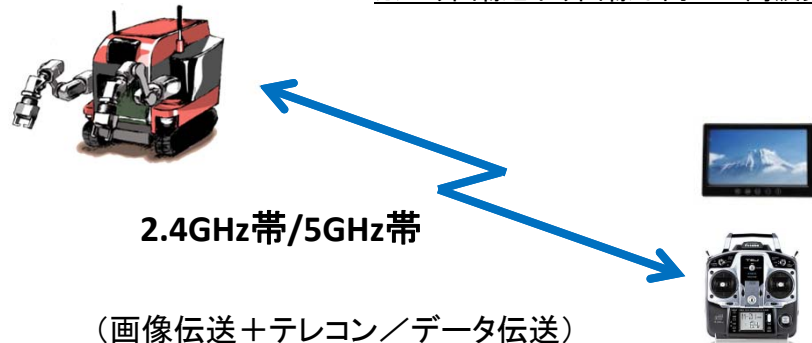


- 無人飛行機の利用イメージとして、画像伝送は観測や監視等の用途が主体であり、無人飛行機の機体制御と一体的に運用する必要性は低いことから、テレコントロールと通信系を切り分けて運用される。
- テレコントロールの通信システムとしては、既存の周波数や技術的条件の範囲で必要な通信距離を確保することが十分可能である。
- なお、機体の搭載スペース等の観点から、利用形態に応じて、一の無線システムによる運用(一周波複信方式)することも考えられる。

■無人化施工や屋内作業用の利用イメージ

一周波複信方式(TDD)

※上り回線と下り回線は同一の周波数



- 無人化施工や屋内作業のロボットにおいては、現状、各種カメラやセンサーを容易に設置がしやすいIP接続を基本とした無線LANを活用している。
- 特に無人飛行機と異なり、画像伝送は、ロボットの制御と一体の運用を必須としているところであり、一つの無線通信システムによる運用が望まれている。

3 周波数帯の検討

- ロボット側の要求要件では、IP接続を前提とし、画像伝送等の広帯域通信を可能とするものであり、無線装置の低廉化や現在の国内外の市場で対応できるものを前提に検討すると、2.4GHz帯又は5GHz帯の利用を要望されている。
- 一方、既存の2.4GHz帯では多数の無線システムが利用されており、干渉を許容する必要があること、また、5GHz帯においては、無線LANに周波数を割当てられているが、他の無線システムとの周波数共用から一部の周波数帯では使用場所が屋内利用に限定されたり、あるいはレーダーとの干渉軽減機能を備えるなど、電波利用における制約がある。

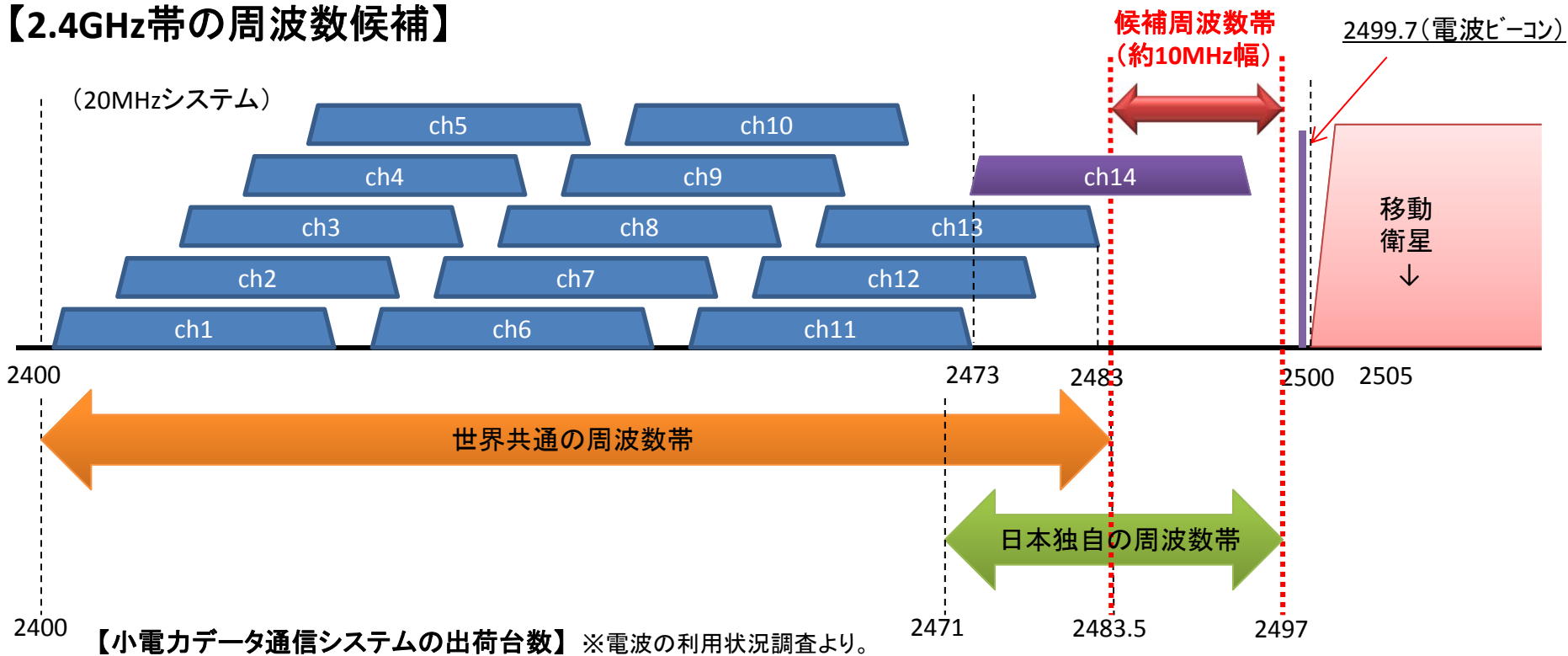


このため、ロボット側の要求要件及び2.4GHz帯及び5GHz帯の周波数帯における電波の利用状況を踏まえ、比較的干渉が少なく、他の無線システムとの周波数共用の可能性のある候補周波数帯について、今後、既存無線システムとの詳細な周波数共用のための技術検討を行うこととする。

検討候補の周波数帯【2.4GHz帯】

2.4GHz帯においては、日本独自の周波数帯が比較的利用が少ないところであり、ロボット電波利用システムとして既存の無線LANより送信出力を増力したとしても、既存無線局への影響は比較的少ないと考えられる。ただし、ロボット側の無線設備の仕様をはじめ、同一周波数帯又は隣接周波数帯の既存の無線システムとの共用検討により、当該周波数幅は変動するものである。

【2.4GHz帯の周波数候補】



周波数帯(MHz)	H22	H23	H24	3年間合計	
2400-2483.5	82,254,943	107,613,927	114,272,386	304,316,625	(96.0%)
2471-2497	5,934,170	3,911,612	2,979,997	12,825,779	(4.0%)

※ 2.4GHz帯電波ビーコン(主に高速道路で利用)は、次世代ITSスポットサービスへの移行を踏まえ、平成34年3月に停止される予定。

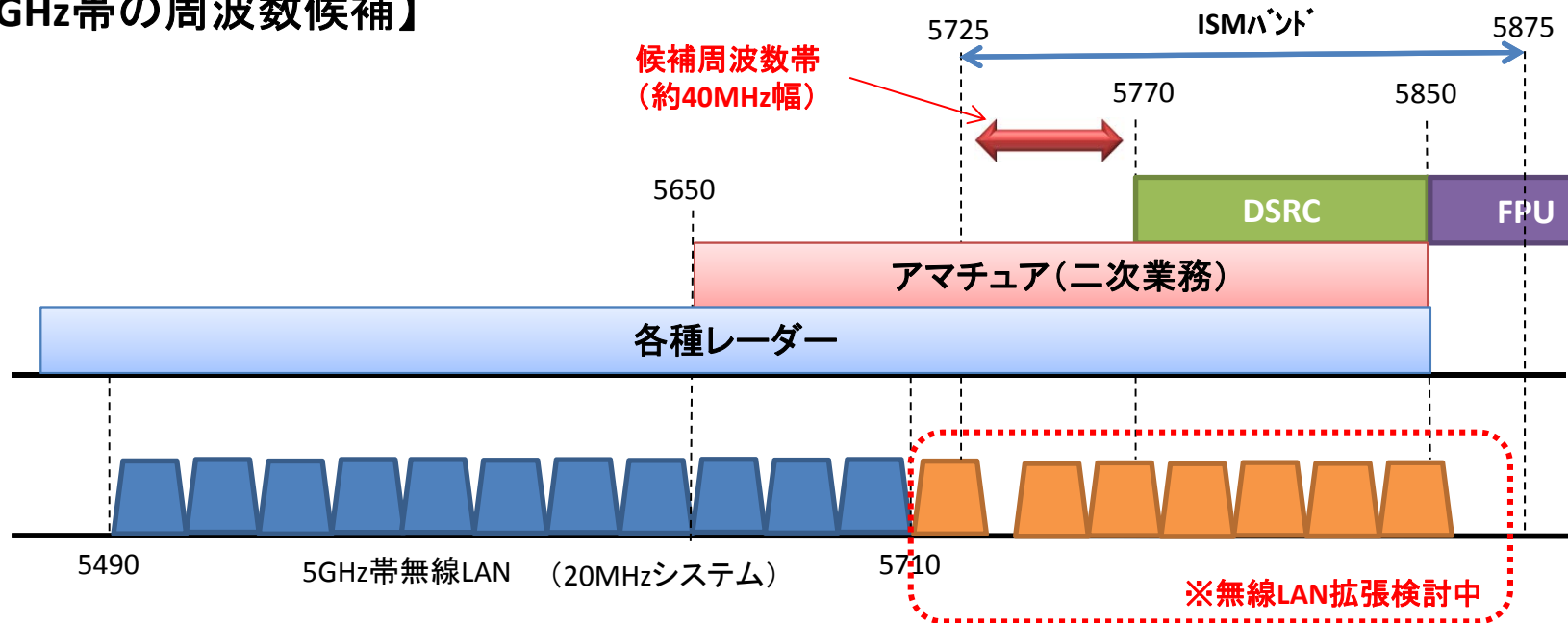
検討候補の周波数帯【5GHz帯】

5GHz帯においては、各種レーダー及びDSRCの無線システムが使用しているが、現在、携帯電話や無線LANの周波数の逼迫等により、無線LANの周波数帯拡張に向けた技術検討が行われているところである。

既存の無線LAN及びDSRCとの周波数と重複をしないよう周波数の割当てを考慮すれば、比較的干渉が少ない周波数帯として、約40MHz幅の候補周波数が考えられる。

ただし、ロボット側の無線設備の仕様をはじめ、同一周波数帯又は隣接周波数帯の既存の無線システムとの共用検討により、当該周波数幅は変動するものである。

【5GHz帯の周波数候補】



周波数の共用検討の対象システム

4. 周波数の共用検討を行う無線局

【2.4GHz帯】

既存システム名	使用周波数
2.4GHz帯無線LAN	2400～2497MHz
構内無線局(移動体識別)	2425～2475MHzMHz
電波ビーコン(VICS : 車載端末)	2499.7MHz
移動衛星(ワイドスター端末:衛星受信)	2500～2535MHz

【5GHz帯】

既存システム名	使用周波数
5GHz帯無線LAN	5470-5725MHz(※)
DSRC(ETCシステム及び次世代DSRC)	5770-5850MHz
各種レーダー	5350～5850MHz

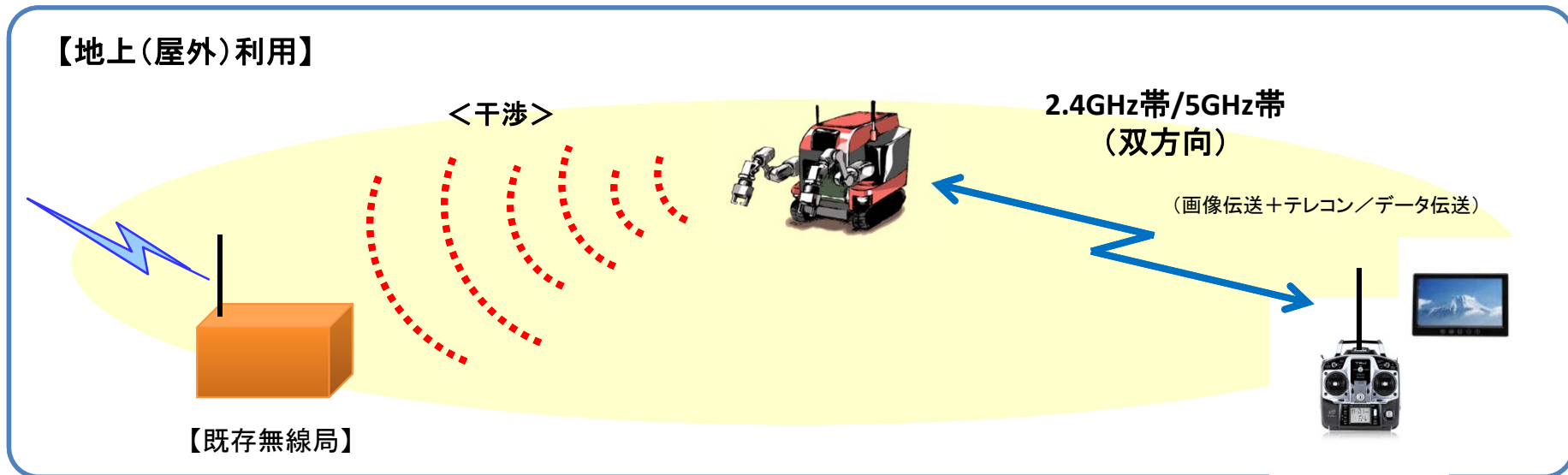
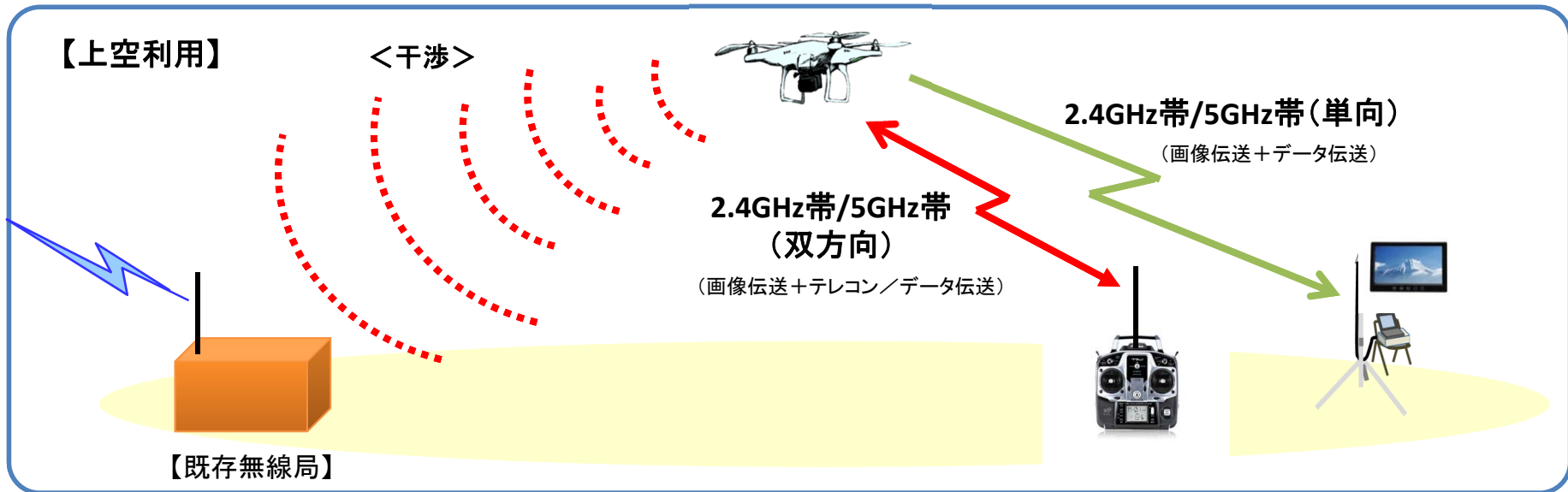
※ 5GHz帯無線LANについては、拡張検討を行っている周波数帯も含む(5725～5850MHz)。

アマチュア局と使用周波数を共用するがアマチュア局が二次業務のため検討対象から外すこととする。

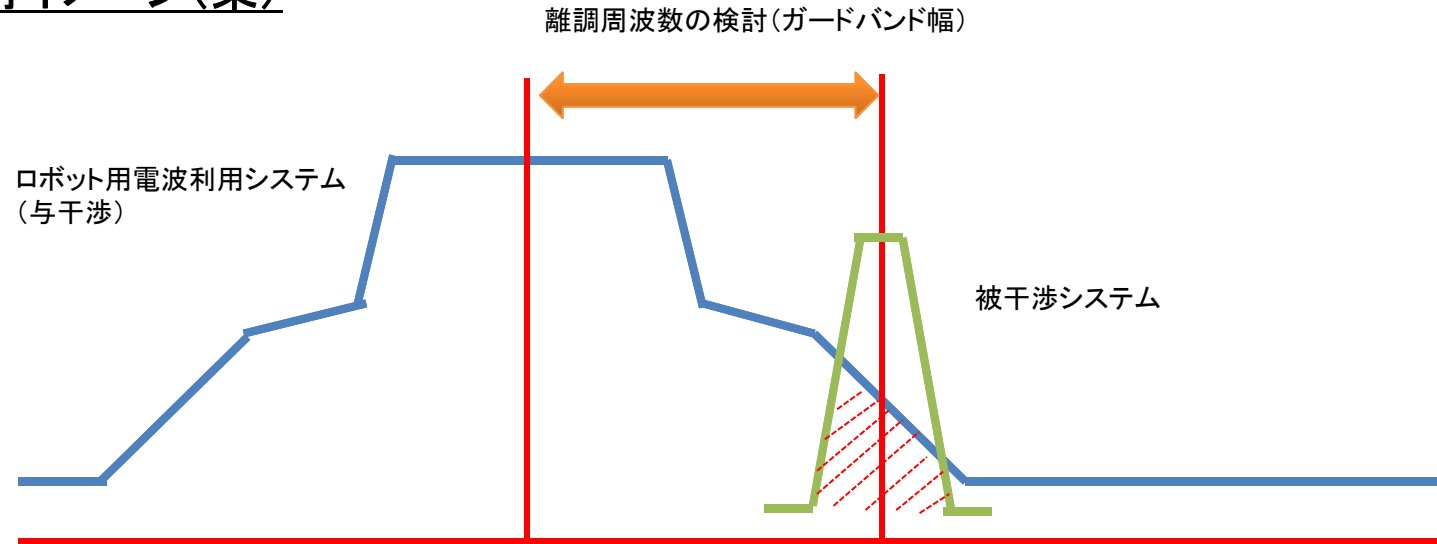
周波数の共用検討モデルについて

6. 共用検討モデル(例)

【与干渉：ロボット 被干渉：既存無線局】



○干渉検討イメージ(案)



- 与干渉システムと被干渉システムのそれぞれの利用形態を踏まえた距離における干渉検討モデルを検討。
- それぞれの無線システムの送信特性及び受信特性を踏まえ、当該干渉検討モデルによる干渉の所要改善量を算出し、離調周波数(ガードバンド幅)及び離隔距離に応じて検討。
- 当該干渉検討を踏まえた場合の周波数配置を検討。



- ロボット用電波利用システムは移動することを前提とするため、上記の干渉検討結果を踏まえ、所要改善量が満足できない場合等において、モンテカルロシミュレーションにより、干渉確率を検討。

■送信スペクトルマスク

占有周波数帯幅は、ロボットの要求要件及び既存無線方式を踏まえ、5MHz、10MHz及び20MHzを候補とし、システムの低廉化を図るため、既存の無線LANシステムの応用することを前提に干渉検討することが適当と考えられる。

5MHz及び10MHzの規格としては、11j又は11pがあるため、それらのスペクトルマスクを活用することとする。

IEEE規格	周波数帯（現行）	変調方式	最大速度	チャンネル間隔（帯域幅）
802.11	2.4GHz	DSSS, FHSS	2Mbps	25MHz
802.11a	5GHz	OFDM	54Mbps	20MHz
802.11b	2.4GHz	CCK	11Mbps	20MHz
802.11g	2.4GHz	OFDM	54Mbps	20MHz
802.11j	4.9GHz	OFDM	54Mbps	5/10/20MHz
802.11n	2.4/5GHz	OFDM-MIMO	600Mbps	20/40MHz
802.11ac	5GHz	OFDM-MIMO	6.93Gbps	20/40/80/160MHz
802.11ad	60GHz	SC OFDM	4.6Gbps 6.8Gbps	2.16GHz
802.11af		OFDM		6MHz
802.11p	5.8GHz	OFDM	54Mbps	5/10/20MHz

IEEE802.11jにおける 5/10/20MHz幅のスペクトルマスク

スペクトルマスクの許容値については、基本波からの減衰値以外に下表の基準値がある。

	5MHzシステム	10MHzシステム	20MHzシステム
離調周波数	±7.5MHz	±15MHz	±30MHz
許容値	-40dB and -47dBm/MHz	-40dB and -50dBm/MHz	-40dB and -53dBm/MHz

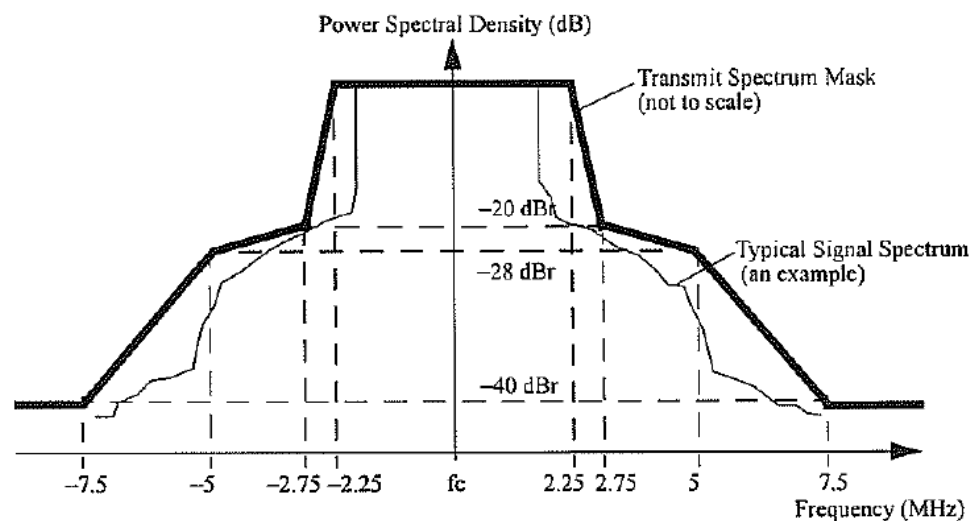


Figure 18-15—Transmit spectrum mask for 5 MHz transmission

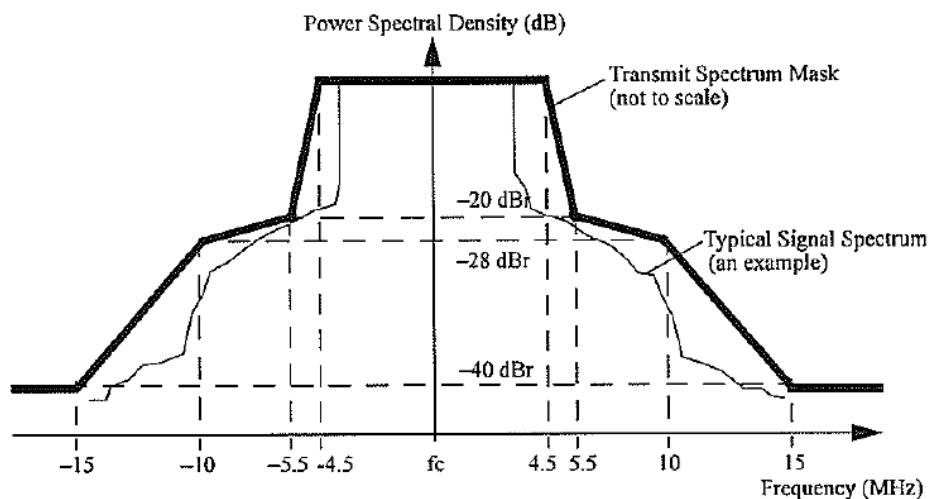


Figure 18-14—Transmit spectrum mask for 10 MHz transmission

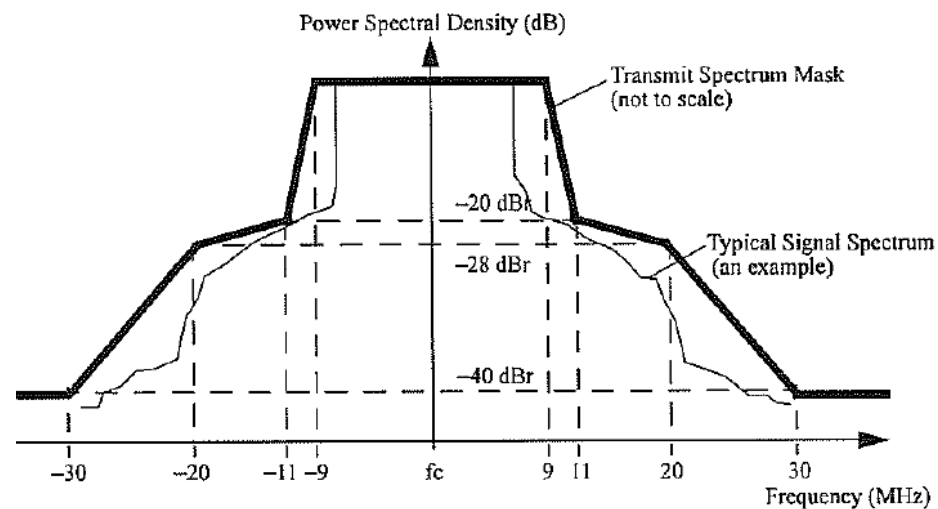


Figure 18-13—Transmit spectrum mask for 20 MHz transmission

IEEE802.11pにおける 5/10MHz幅のスペクトルマスク

※ 空中線電力により、スペクトルマスクが異なる。

なお、802.11p規格には20MHz幅もあるが、スペクトルマスクの規定はない(要確認)。

Table I.5a—Maximum STA transmit power classification for the 5.85–5.925 GHz band in the United States

STA transmit power classification	Maximum STA transmit power (mW)	Maximum permitted EIRP (dBm)
A	1	23
B	10	23
C	100	33
D	760 Note that for this class higher power is permitted as long as the power level is reduced to this level at the antenna input and the emission mask specifications are met.	33 for non government 44.8 for government

Table I.7—Spectrum mask data for 5 MHz channel spacing in the 5.85–5.925 GHz band in the United States

STA transmit power class	Permitted power spectral density, dBr				
	± 2.25 MHz offset (±f1)	± 2.5 MHz offset (±f2)	± 2.75 MHz offset (±f3)	±5 MHz offset (±f4)	± 7.5 MHz offset (±f5)
Class A	0	-10	-20	-28	-40
Class B	0	-16	-20	-28	-40
Class C	0	-26	-32	-40	-50
Class D	0	-35	-45	-55	-65

Table I.8—Spectrum mask data for 10 MHz channel spacing in the 5.85–5.925 GHz band in the United States

STA transmit power class	Permitted power spectral density, dBr				
	± 4.5 MHz offset (±f1)	± 5.0 MHz offset (±f2)	± 5.5 MHz offset (±f3)	± 10 MHz offset (±f4)	± 15 MHz offset (±f5)
Class A	0	-10	-20	-28	-40
Class B	0	-16	-20	-28	-40
Class C	0	-26	-32	-40	-50
Class D	0	-35	-45	-55	-65

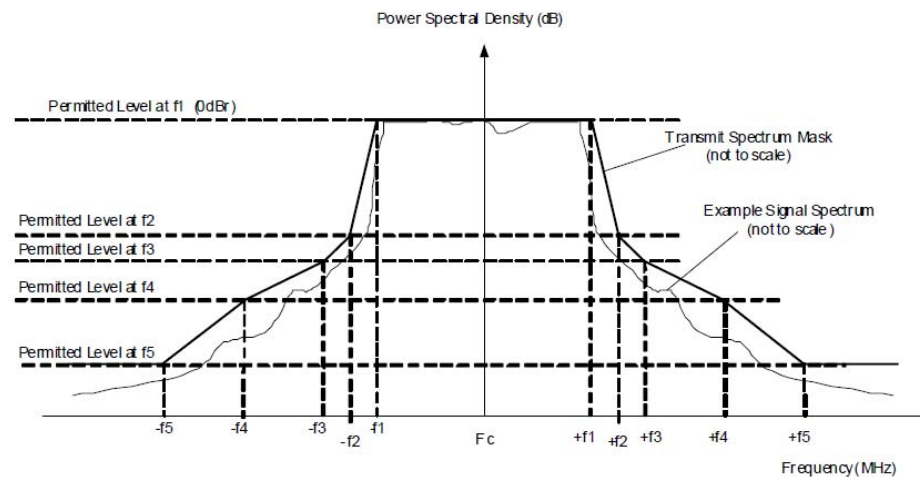
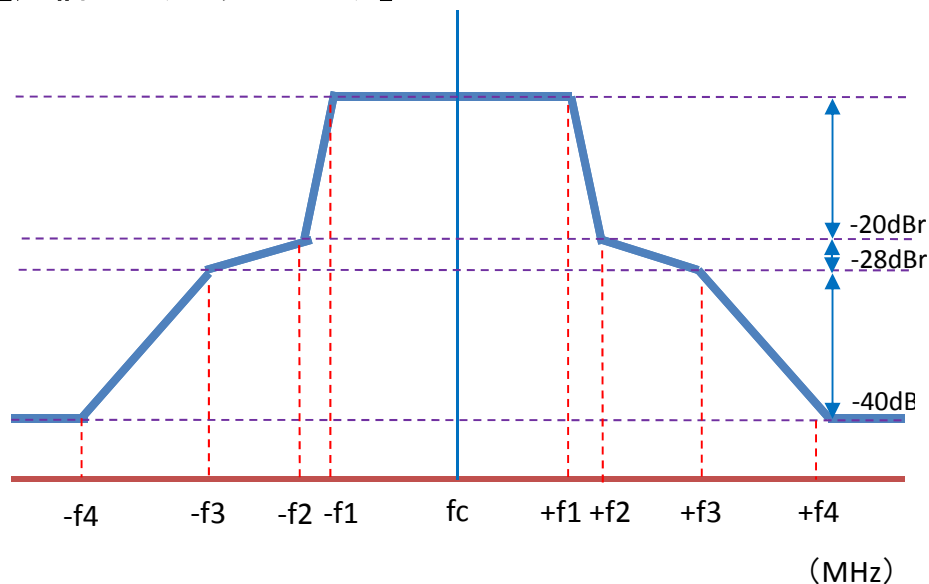


Figure I.2—Transmit spectrum mask and application

ロボット用電波利用システムの送信スペクトラムマスクについては、無線LANの規格(IEEE802,11j)を参考にし、以下のマスクにおいて、2.4GHz帯及び5GHz帯の干渉検討を行うこととする。

なお、2.4GHz帯においては、候補周波数帯幅が約10MHz幅のため、5/10MHzシステムとし、5GHz帯においては、5/10/20MHzシステムとする。

【送信スペクトラムマスク】



システム	f_1	f_2	f_3	f_4
5MHzシステム	2.25	2.75	5	7.5
10MHzシステム	4.5	5.5	10	15
20MHzシステム	9	11	20	30

【受信特性】

ARIB-STD71(広帯域無線アクセスシステム)より抜粋

PSDU 長1000 バイトの packets 誤り率 (PER) が表 5.3-12 に示されたレート毎に定められた入力レベルに対して10%以下であることとする。最小入力レベルはアンテナコネクタ部で測定される(10dB のNF 値と5dB の装置化マージンを仮定した)。

表 5.3-12 受信特性要求値

Modulation	Coding Rate (R)	Adjacent channel rejection (dB)	Alternate adjacent channel rejection (dB)	Minimum sensitivity (dBm) (20 MHz channel spacing)	Minimum sensitivity (dBm) (10 MHz channel spacing)
BPSK	1/2	16	32	-82	-85
BPSK	3/4	15	31	-81	-84
QPSK	1/2	13	29	-79	-82
QPSK	3/4	11	27	-77	-80
16QAM	1/2	8	24	-74	-77
16QAM	3/4	4	20	-70	-73
64QAM	2/3	0	16	-66	-69
64QAM	3/4	-1	15	-65	-68