

情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会報告(案) 概要

諮問第2036号

「ロボットにおける電波利用の高度化に関する技術的条件」
及び

諮問第2034号

「災害対応ロボット・機器向け通信システムの技術的条件」

平成28年1月26日
陸上無線通信委員会

- ロボットの積極的活用によって我が国の国際競争力を高めるために、ロボットの発展に向けた戦略等が策定

政府全体の動き

日本再興戦略

(改訂2014/平成26年6月24日閣議決定)

- 日本が抱える課題解決の柱として、ロボット革命の実現を提言
- 地域活性化・地域構造改革の実現を提言

ロボット新戦略

(ロボット革命実現会議/平成27年1月策定)

- 2020年にロボット革命を実現するための5カ年計画を策定
- ロボットの利活用を支える新たな電波利用システムの整備についても言及

近未来技術実証特区検討会

- 自動飛行、自動走行等の「近未来技術に関する実証プロジェクト」と、その実現のための規制改革等を検討

- 多様な分野でロボットの利用が期待

社会への普及



ロボットの活用
ニーズの高まり

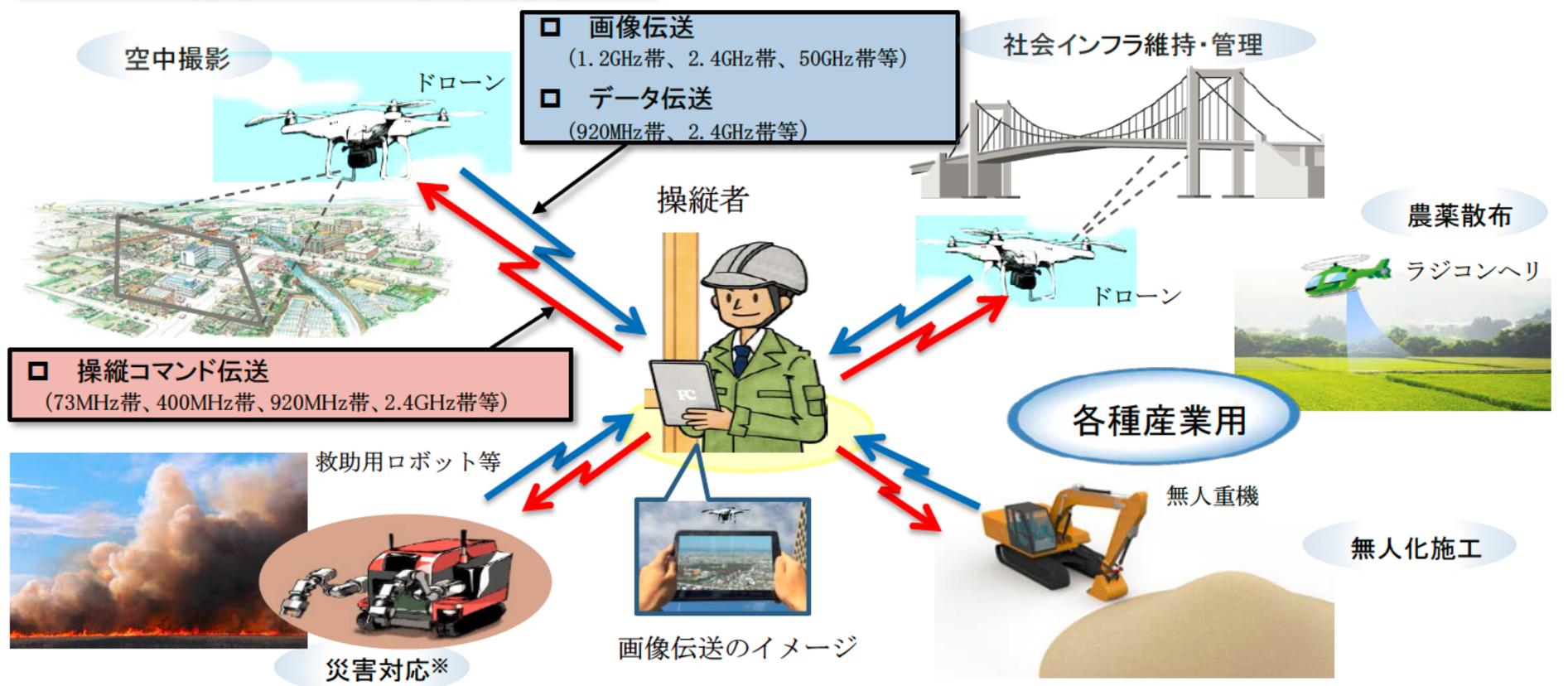
多様化するロボットの
電波活用ニーズに応える
ことが必要

- 人が立ち入れない場所において作業を行うためのロボットの重要性
- 手軽に入手可能な新しいタイプのロボットの登場
- 様々な分野へのロボットの活用可能性

現在でも、ロボットの運用（画像伝送、データ伝送、操縦コマンド等）に使用可能な周波数帯は複数存在するが、ドローンの普及等により、特に高画質や長距離の画像伝送用途等についてのニーズが高まってきている。

利便性向上のため、使用可能周波数の拡大、最大空中線電力の増力などに向けた技術検討が必要

ロボットの利用イメージと電波の利用イメージ



※本検討では、災害対応ロボットで利用する無線システム（諮問第2034号「災害対応ロボット・機器向け通信システムの無線設備の技術的条件」関連）も包含して検討。

□ ロボットにおける電波利用はこれまで制御系を中心に利用されてきたが、近年、ドローンを中心に画像伝送の需要が高まるものと推測

電波を利用するロボットの事例

無人ヘリコプター (農薬散布)



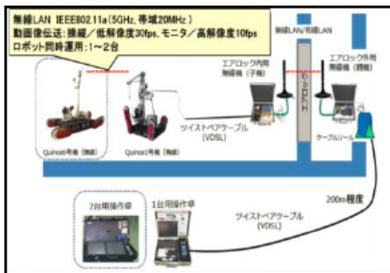
資料提供: ヤマハ発動機株

屋外遠隔作業ロボット (建設無人化施工)



資料提供: 産業競争力懇談会

小型調査ロボット



資料提供: 工学院大学 羽田准教授

ビークルロボット (ロボット農機)



資料提供: 北海道大学 野口教授

無人航空機(ドローン)



資料提供: セコム株

ロボットの通信形態

①テレコントロール

操縦者からロボットを操縦するための制御情報の伝送

②データ伝送

ロボットから操縦者等へロボットの状態や搭載された各種機器からの情報(画像を除く)*の伝送

※例) GPS情報、残存バッテリー情報の伝送等

③画像伝送

ロボットに搭載されたカメラ画像の情報の伝送

■無人飛行機の電波利用イメージ

単方向通信・単情報通信・単信方式



- 画像伝送は観測等が主体であり機体制御と一体的に運用する必要性は低い。
- テレコントロールは、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。

■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)



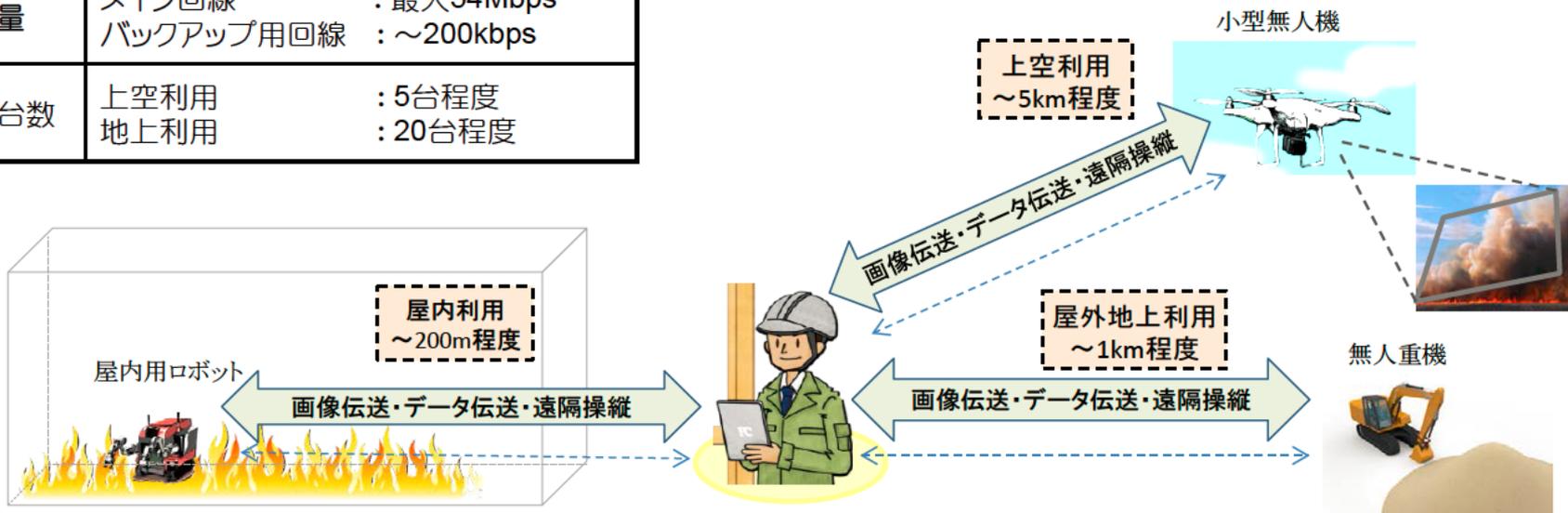
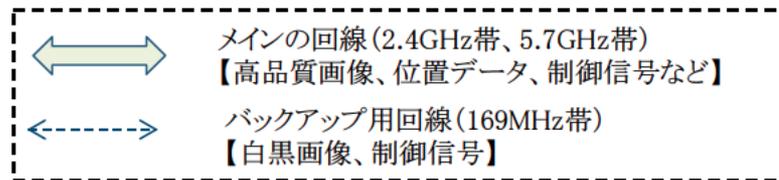
- 現状では、各種カメラやセンサーを容易に設置がしやすいIP接続を基本とした無線LANを活用。
- 画像伝送は、ロボット制御と一体の運用を必須としているため、一つの無線通信システムによる運用が望まれている。

電波利用に対するニーズ

- 高画質で長距離の画像伝送が可能となるよう、大容量の通信を可能とすること。
- ロボットを一つの運用場所で複数台運用できるように、いくつかの通信チャンネルが使用可能であること。
- 主に使用する回線の他に、混信やその他の電波伝搬上の障害等の何らかの事情により、当該主回線が不通となった場合に備えて、バックアップ用に別の通信回線が使用可能であること。
- 低コストの無線機実現の観点から、使用する周波数は、既存システムに利用されている汎用的な周波数帯が望ましい。

□ ロボット用無線システムに対する要求条件

通信距離	上空利用 : ~5km程度 地上利用 : ~1km程度、 屋内利用 : ~200m程度
伝送容量	メイン回線 : 最大54Mbps バックアップ用回線 : ~200kbps
同時運用台数	上空利用 : 5台程度 地上利用 : 20台程度



空中線電力について

- 各周波数帯において、1Wの空中線電力を用いることで、所要の通信距離(上空利用:5km、地上利用:1km)を満足することが可能。

想定運用モデル

◎ 上空利用(小型無人を想定)

小型無人機

操縦者



5km



◎ 地上利用(建設無人化施工を想定)



操縦者

1km



無人重機

通信可能距離

† 送信利得を6dBi、受信利得を2.14dBiとして試算

メイン回線用		空中線電力 (W)	通信距離(km)		バックアップ回線用		空中線電力 (W)	通信距離 (マージン10dB込み) (km)	所要通信距離におけるマージン (dB)
				マージン10dB込み					
2.4GHz	上空利用	1	17.3	5.5	169MHz	上空利用	1	59.8	31.6
	地上利用		1.0	0.53		地上利用		2.3	22.5 ^{※2}
5.7GHz	上空利用		7.6	2.4	地上利用	6	11.6 ^{※3}		
	地上利用		0.77 ^{※1}	0.36		0.6	-7.5		

※1 5.7GHz帯の地上利用については、受信空中線の高利得化が容易であるため、高利得の受信空中線の利用により、所要の通信距離(1km)を満足可能と考えられる。

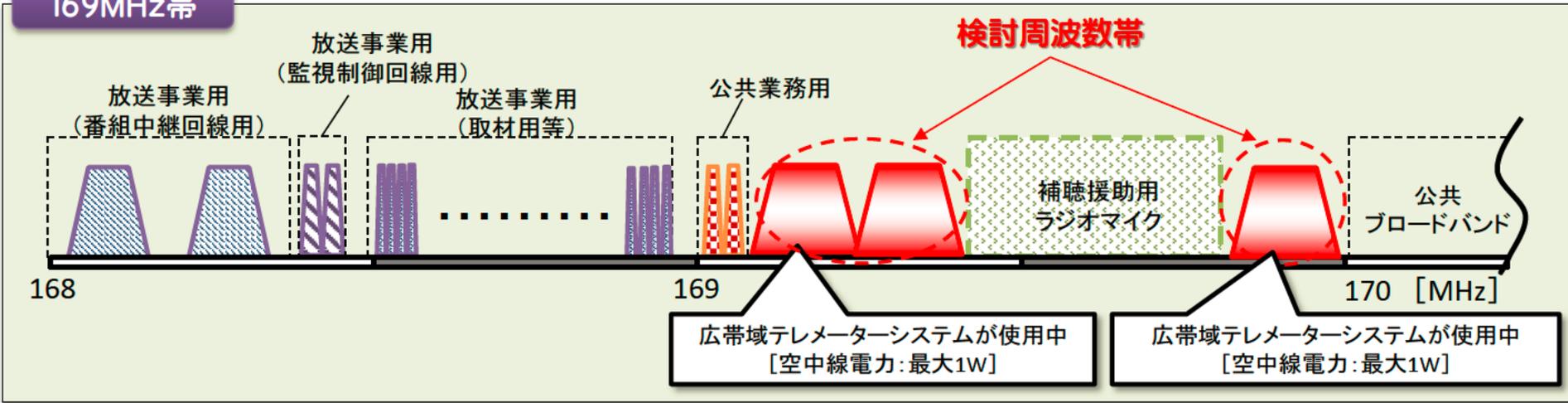
※2 169MHz帯の地上利用については、1Wの空中線電力により、20dB程度の追加の損失(遮蔽損失等)があっても、所要の通信距離(1km)を満足する。

※3 169MHz帯の上空利用については、10mWの空中線電力であっても、十分に所要の通信距離(5km)を満足する。

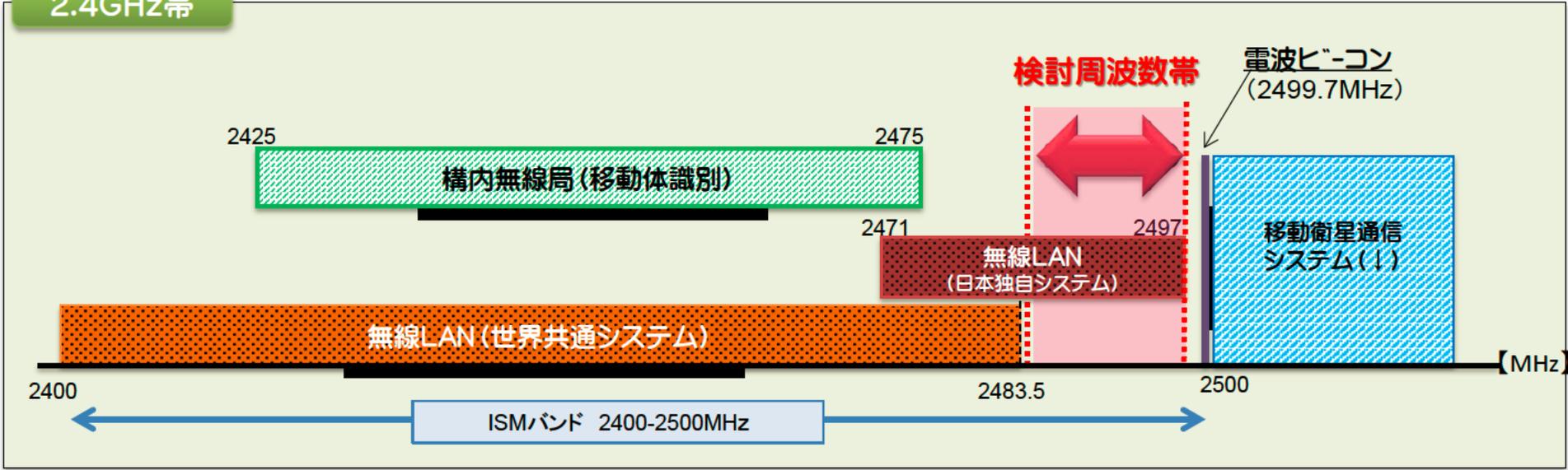
検討周波数帯①

バックアップ回線用に169MHz帯、メイン回線用に2.4GHz帯及び5.7GHz帯を候補周波数帯として、既存無線システムとの共用を検討

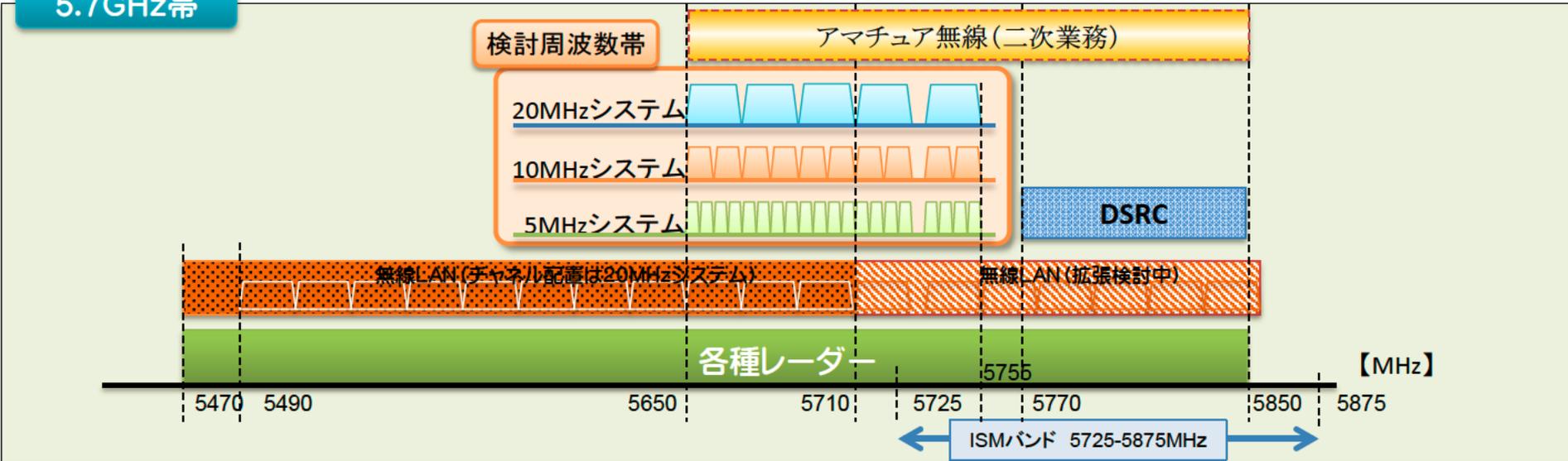
169MHz帯



2.4GHz帯

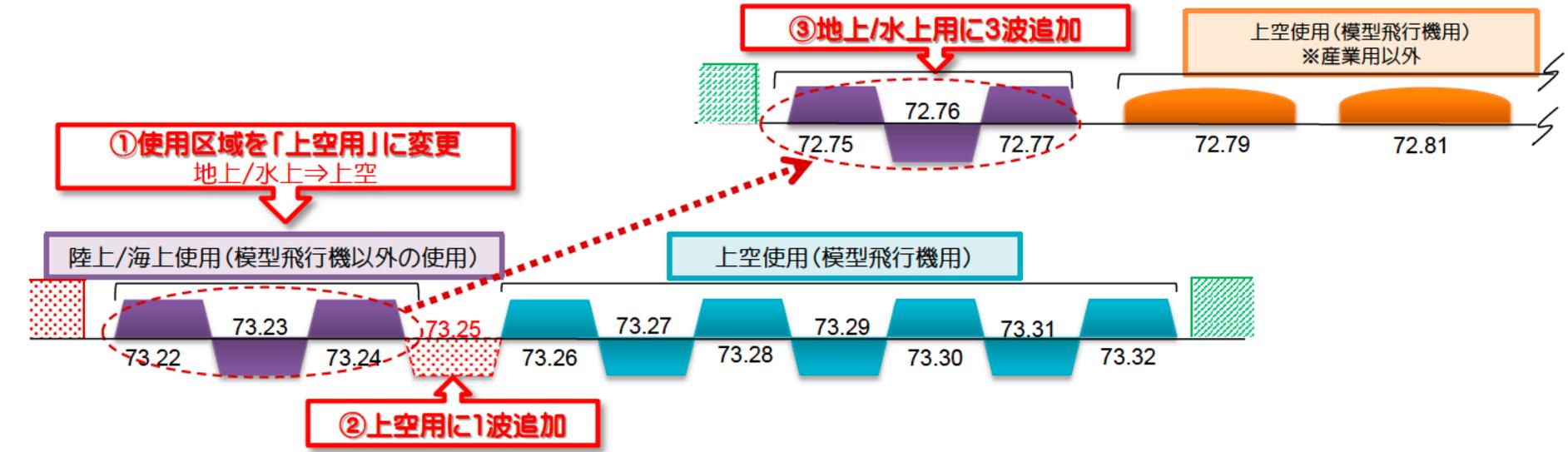


5.7GHz帯



73MHz帯模型飛行機用周波数の増波

□ 無人ヘリコプターの増加を踏まえ、73MHz帯の制御用周波数を3波増波 (総数:11波)



169MHz帯

- 既存無線システムに対し、計算結果からは与干渉で数キロメートル程度の離隔距離が必要となるが、移動業務相互間となること、また、必要に応じて運用調整を行う等により周波数を共用することは可能。

既存システム	検討結果	まとめ
放送業務用連絡無線	<p>【与干渉：ロボット⇒既存システム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 空中線電力1Wで上空利用の場合の離隔距離は7km程度。 空中線電力が10mWで上空利用の場合、空中線電力1Wで地上利用の場合の離隔距離は700m程度。 <p>【被干渉：既存システム⇒ロボット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 地上利用で1km程度、上空利用で7km程度。 <p>⇒双方が移動業務であり、継続した干渉が発生する確率は低い 離調周波数が少ない既存の無線システム間でも共用が図られている</p>	<ul style="list-style-type: none"> 運用状況等を勘案すれば、共用することは可能 なお、双方の無線システムが集中する災害現場等では、必要に応じて両者間で運用調整を行うことにより、共用が可能。
公共業務用無線システム	<p>【与干渉：ロボット⇒既存システム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 離隔距離は、空中線電力1Wでの上空利用で約15km程度、地上利用では2km程度。 <p>【被干渉：既存システム⇒ロボット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 離隔距離は、約60km程度、地上3km程度。 <p>⇒双方が移動業務であり、継続した干渉が発生する確率は低い 既存の無線システム間でも共用が図られている</p>	<ul style="list-style-type: none"> 運用状況等を勘案すれば、共用することは可能。
公共ブロードバンド移动通信システム	<p>【与干渉：ロボット⇒既存システム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 離隔距離は、空中線電力1Wでの上空利用で約16km程度。 空中線電力が10mWで上空利用の場合、空中線電力1Wで地上利用の場合の離隔距離は1～2km程度。 <p>【被干渉：既存システム⇒ロボット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 離隔距離は、300m程度。 <p>⇒双方が移動業務であり、継続した干渉が発生する確率は低い</p>	<ul style="list-style-type: none"> 運用状況等を勘案すれば、共用することは可能 なお、双方の無線システムが集中する災害現場等では、必要に応じて両者間で運用調整を行うことにより、共用が可能。
補聴援助用ラジオマイク広帯域テレメータシステム	<p>⇒現に運用されている無線システムと同等程度であり、現状においても共用が図られている。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 運用状況等を勘案すれば、共用することは可能

2.4GHz帯

- 現に運用されている無線システム間の干渉と同等程度であること、また、既存無線システムの運用に配慮するなどにより周波数を共用することは可能。

既存システム	検討結果	まとめ
2.4GHz帯無線LAN	<p>【与干渉：ロボット⇒既存システム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 隣接帯域の無線LANに対し、既存の他の無線システムとの影響と同等程度である。 同一帯域の無線LANに対し、双方の運用状況を考慮した運用を行うことにより共用は可能。 <p>【被干渉：既存システム⇒ロボット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 隣接帯域の無線LANからの離隔距離は約400m程度、同一帯域の無線LANからは15km程度となるが、双方の運用状況を勘案すれば継続的に影響が生じる確率は低い。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 運用状況等を勘案すれば、共用することは可能
構内無線局 (移動体識別)	<p>【与干渉：ロボット⇒既存システム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 離隔距離は、約40m程度となるが、壁の損失を考慮すれば約6m程度。 <p>【被干渉：既存システム⇒ロボット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 離隔距離は、約1.9km程度となるが壁の損失を考慮すれば約270m程度。 <p>⇒現に共用関係にある無線LANシステムより干渉波レベルより十分小さい。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 現状を踏まえれば、共用することは可能
電波ビーコン※ (VICS：車載端末) ※VICSサービスは平成34年3月31日に停止する予定。	<p>【与干渉：ロボット⇒既存システム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 離隔距離は、約120m程度である。 <p>【被干渉：既存システム⇒ロボット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 離隔距離は、約700m程度である。 <p>⇒電波ビーコンの設置場所への配慮が必要</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高速道路付近での運用に配慮することにより共用は可能
移動衛星 (衛星⇒端末)	<p>【与干渉：ロボット⇒既存システム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 互いの位置関係を考慮しつつ、ロボット側でその主ビーム方向を避けるような運用により共用が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地上端末の運用に配慮することにより、共用は可能

5.7GHz帯

- 不要発射強度の許容値の設定、無線LANシステムとの周波数離調を確保するなどにより、既存無線システムと周波数共用することは可能。

既存システム	検討結果	まとめ
5GHz帯無線LAN	<p>【与干渉：ロボット⇒既存システム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 離隔距離は同一周波数関係では約13.5km程度、隣隣接周波数関係で無線LANが屋内利用の場合は約12m程度。 <p>【被干渉：既存システム⇒ロボット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 離隔距離は同一周波数関係では約4.7km程度、隣接周波数関係で約230m、隣隣接周波数関係は約40m程度。 <p>⇒周波数離調をできるだけ確保する観点から、ロボット側が高い周波数から使用することが望ましい。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 周波数離調の確保により、共用することは可能
狭域通信システム (DSRC)	<p>【与干渉：ロボット⇒既存システム】</p> <ul style="list-style-type: none"> ロボット用無線システムの不要発射強度の許容値を考慮した場合の離隔距離は100m程度。 <p>【被干渉：既存システム⇒ロボット】</p> <ul style="list-style-type: none"> 与干渉による離隔距離となる100m程度の場合、許容干渉量を下回る。 	<ul style="list-style-type: none"> 狭域通信システムに配慮した不要輻射の許容値を設定することにより、共用することは可能
各種レーダー	<ul style="list-style-type: none"> レーダー側の運用状況を勘案すると周波数共用は可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 共用可能

◎その他留意事項

- 周波数共用を図るために既存無線システムへの運用に配慮し、また、ロボット無線システム相互間の運用調整を行うことが必要。
- このため、ロボット用電波利用システムにおいては、他の無線システムを含めて円滑な運用調整を図るために無線局免許の取得を必要とすることが適当。
- 円滑な周波数利用の観点から、ロボット運用者側が主体となって運用調整のための仕組み作りが行われることが望ましい。

169MHz帯システム

□ 一般的条件

◆ 周波数帯

169.050MHz～169.3975MHz及び169.8075MHz～170.000MHz

◆ 通信方式

単向・同報・単信・複信方式

□ 無線設備の技術的条件

◆ 送信装置の条件

(1) 周波数の許容偏差

$\pm 3.0 \times 10^{-6}$ 以内

(2) 占有周波数帯幅の許容値

300kHz以内

(3) スプリアス発射又は不要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 : 100 μ W以下

スプリアス領域における不要発射の強度の許容値 : 50 μ W以下

(4) 空中線電力及びその許容偏差

空中線電力 : 1W (等価等方輻射電力 : 3.25W)以下

許容偏差 : 上限20%、下限50%

(5) 隣接チャネル漏えい電力

(1) 占有周波数帯幅が100kHz以内 :

搬送波の周波数から100kHz離れた周波数の(±)50kHzの帯域内に

輻射される電力が、搬送波電力より45デシベル以上低いこと。

(2) 占有周波数帯幅が100kHzを超え、200kHz以内 :

搬送波の周波数から200kHz離れた周波数の(±)100kHzの帯域内に

輻射される電力が、搬送波電力より45デシベル以上低いこと。

(3) 占有周波数帯幅が200kHzを超え、300kHz以内 :

搬送波の周波数から200kHz離れた周波数の(±)150kHzの帯域内に

輻射される電力が、搬送波電力より45デシベル以上低いこと。

(6) 送信空中線利得

5.12dB以下

◆ 受信装置の条件

- ・ 副次的に発する電波等の限度

4ナノワット以下

2.4GHz帯システム

□ 一般的条件

◆ 周波数帯

2483.5MHz～2493.5MHz

◆ 通信方式

単向・同報・単信・複信方式

◆ 変調方式

デジタル変調及びアナログ変調の各種変調方式を利用できるようにするため、特に規定しない。

◆ 周波数チャネル配置

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

□ 無線設備の技術的条件

◆ 送信装置の条件

(1) 周波数の許容偏差

$\pm 50 \times 10^{-6}$ 以内

(2) 占有周波数帯幅の許容値

10MHzシステム : 9MHz以下

5MHzシステム : 4.5MHz以下

(3) 空中線電力及びその許容偏差

空中線電力 : 1W (等価等方輻射電力 : 4W) 以下

許容偏差 : 上限20%、下限80%以下

(4) スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値

右表のとおり

(5) 送信空中線利得

6dBi以下

◆ 受信装置の条件

・ 副次的に発する電波等の限度

1GHz未満の周波数 : 4nW以下

1GHz以上の周波数 : 20nW以下

不要発射の強度の許容値(10MHzシステム)

周波数帯	任意の1MHzの帯域幅における平均電力
2473.5MHz未満及び 2500MHzを超え2510MHz以下	10 μ W以下
2473.5MHz以上2478.5MHz未満及び 2498.5MHzを超え2500MHz以下	150 μ W以下
2478.5MHz以上2483MHz未満及び 2494MHzを超え2498.5MHz以下	1mW以下
2510MHzを超えるもの	1 μ W以下

不要発射の強度の許容値(5MHzシステム)

周波数帯	任意の1MHzの帯域幅における平均電力
2478.5MHz未満及び 2498.5MHzを超え2500MHz以下	20 μ W以下
2478.5MHz以上2481MHz未満及び 2496MHzを超え2498.5MHz以下	300 μ W以下
2481MHz以上2483.25MHz未満及び 2493.75MHzを超え2496MHz以下	2mW以下
2500MHzを超え2510MHz以下	10 μ W以下
2510MHzを超えるもの	1 μ W以下

5.7GHz帯システム

□ 一般的条件

◆ 周波数帯

5650MHz～5755MHz

◆ 通信方式

単向・同報・単信・複信方式

◆ 変調方式

デジタル変調及びアナログ変調の各種変調方式を利用できるようにするため、特に規定しない。

□ 無線設備の技術的条件

◆ 送信装置の条件

(1) 周波数の許容偏差

$\pm 20 \times 10^{-6}$ 以内

(2) 占有周波数帯幅の許容値

20MHzシステム : 19.7MHz以下

10MHzシステム : 9MHz以下

5MHzシステム : 4.5MHz以下

(3) 空中線電力及びその許容偏差

空中線電力 : 1W (等価等方輻射電力 : 4W)以下

許容偏差 : 上限50%、下限50%以下

(4) 隣接チャネル漏洩電力

搬送波の周波数からF1MHz及びF2MHz離れた周波数の $\pm F3$ MHzの帯域内に輻射される平均電力が、搬送波の平均電力よりそれぞれ25dB及び40dB以上低い値。

システム	F1	F2	F3
20MHzシステム	20	40	9.5
10MHzシステム	10	20	4.5
5MHzシステム	5	10	2.25

(6) 送信空中線利得

6dBi以下

◆ 周波数チャネル配置

システム種別	中心周波数
5MHzシステム	5652.5MHzから5752.5MHzまでの5MHz間隔の21波
10MHzシステム	5655MHzから5750MHzまでの10MHz間隔の10波
20MHzシステム	5660MHzから5720MHzまでの20MHz間隔の4波及び5745MHz

(5) スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値 (20MHz及び10MHzシステム)

周波数帯	任意の1MHzの帯域幅における平均電力
5590MHz未満及び5815MHz以上	0.63 μ W以下
5590MHz以上5630MHz未満及び5775MHz以上5815MHz未満	3 μ W以下

(5MHzシステム)

周波数帯	任意の1MHzの帯域幅における平均電力
5590MHz未満、5815MHz以上	0.63 μ W以下
5590MHz以上5630MHz未満及び5775MHz以上5815MHz未満	3 μ W以下
5630MHz以上5640MHz未満及び5765MHz以上5775MHz未満	6.3 μ W以下

◆ 受信装置の条件

・副次的に発する電波等の限度

1GHz未満の周波数 : 4nW以下

1GHz以上の周波数 : 20nW以下

73MHz帯システム

- 73MHz帯無線操縦用周波数について、産業の用に供するものについては、以下のとおりとすることが適当

電波の型式	周波数	備考
F1D F2D F3D	<u>73.22MHz</u> 、 <u>73.23 MHz</u> 、 <u>73.24 MHz</u> 、 <u>73.25 MHz</u> 、 <u>73.26 MHz</u> 、 <u>73.27 MHz</u> 、 <u>73.28 MHz</u> 、 <u>73.29 MHz</u> 、 <u>73.30 MHz</u> 、 <u>73.31 MHz</u> 、 <u>73.32 MHz</u>	模型飛行機用の無線操縦用発振器に使用する場合であって、産業の用に供するものに限る。
	<u>72.25 MHz</u> 、 <u>72.26 MHz</u> 、 <u>72.27 MHz</u>	模型飛行機以外の無線操縦用発振器に使用する場合であって、産業の用に供するものに限る。

※下線部が変更部分

氏名		所属
主査委員	安藤 真	東京工業大学 理事・副学長(研究担当) 産学連携推進本部長
主査代理専門委員	矢野 博之	国立研究開発法人 情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク研究所 研究所長
委員	森川 博之	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
専門委員	飯塚 留美	(一財)マルチメディア振興センター 電波利用調査部 研究主幹
〃	伊藤 数子	特定非営利活動法人STAND 代表理事
〃	大寺 廣幸	(一社)日本民間放送連盟 常勤顧問
〃	小笠原 守	日本電信電話(株) 技術企画部門 電波室長
〃	加治佐 俊一 (第27回まで)	日本マイクロソフト(株) 兼 マイクロソフトディベロップメント(株) 技術顧問
〃	川嶋 弘尚	慶應義塾大学 名誉教授
〃	菊井 勉 (第27回まで)	(一社)全国陸上無線協会 常務理事・事務局長
〃	河野 隆二	横浜国立大学大学院 工学研究院 教授 兼 同大学未来情報通信医療社会基盤センター長
〃	小林 久美子	日本無線(株) 研究開発本部 研究所 ネットワークフロンティア チームリーダー
〃	斉藤 知弘 (第23回まで)	日本放送協会 放送技術研究所 伝送システム研究部長
〃	鈴木 薫 (第28回から)	(一社)全国陸上無線協会 常務理事・事務局長
〃	玉眞 博義	(一社)日本アマチュア無線連盟 専務理事
〃	田丸 健三郎 (第28回から)	日本マイクロソフト(株) 兼 技術統括室 本部長
〃	中原 俊二	日本放送協会 放送技術研究所 伝送システム研究部長
〃	本多 美雄	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長
〃	松尾 綾子	(株)東芝 研究開発センター 研究主務
〃	三谷 政昭	東京電機大学 工学部情報通信工学科 教授
〃	矢野 由紀子	日本電気(株)クラウドシステム研究所 シニアエキスパート
〃	若尾 正義	元(一社)電波産業会 専務理事

氏名	現職
【主任】 中嶋 信生	国立大学法人電気通信大学 産学官連携センター長 特任教授
【副主任】 羽田 靖史	工学院大学 機械システム工学科 准教授
姉齒 章	双葉電子工業(株) 無線機器事業センター無線機器企画開発部 主管技師
有賀 寿	日本放送協会 技術局計画部 副部長
石垣 悟	日本無線(株) 事業本部 事業統括部 担当部長
小竹 信幸	(一財)テレコムエンジニアリングセンター 企画・技術部門 技術グループ 担当部長
加藤 数衛	(株)日立国際電気 映像・通信事業部 技師長
川上 勝彦	建設無人化施工協会 技術委員長
神林 喜彦	(一財)日本ラジコン電波安全協会 専務理事
北原 成郎	産業競争力懇談会 災害対応ロボットの社会実装プロジェクト WG3 副主査
坂本 修	日本産業用無人航空機協会 副会長
千田 泰弘	(一社)日本UAS産業振興協議会 副理事長
渡並 智	セコム(株) IS研究所 コミュニケーションネットワークグループ グループリーダー
蛭川 明則	日本電信電話(株) NTTアクセスサービスシステム研究所 主幹研究員
細田 祐司	(一社)日本ロボット工業会 ロボットビジネス推進協議会 通信SWG 副主査
三浦 龍	国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク研究所 ディペンダブルワイヤレス研究室 室長
八木 学	日本電気(株) 交通・都市基盤事業部 シニアエキスパート
八木 義男	(一社)電波産業会 研究開発本部 次長
山崎 高日子	三菱電機(株) 通信システムエンジニアリングセンター 技術担当部長

(敬称略:主任・副主任以外は五十音順)