

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）

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

目次

I 検討事項	1
II 委員会及び作業班の構成	1
III 検討経過	1
IV 検討概要	3
第1章 検討の背景	3
第2章 ロボットにおける電波利用システムの現状と動向	5
2.1 電波を利用するロボット	5
2.2 ロボットの無線通信システム	9
第3章 電波利用に対する要求条件	11
3.1 電波利用に対するニーズ	11
3.2 要求条件	12
第4章 他の無線システムとの周波数共用条件	17
4.1 共用検討の条件	17
4.1.1 共用検討対象システム	17
4.2 共用検討パラメータ	20
4.3 ロボット用無線システムと他の無線システムとの周波数共用条件	22
4.3.1 169MHz 帯バックアップ用無線システムと他の無線システムとの周波数共用条件	22
4.3.2 2.4GHz 帯システムと他の無線システムとの周波数共用条件	23
4.3.3 5.7GHz 帯システムと他の無線システムとの周波数共用条件	25
4.4 その他留意事項	26
第5章 ロボットにおける電波利用システムの技術的条件	27
5.1 169MHz 帯バックアップ用通信システムの技術的条件	27
5.2 2.4GHz 帯システムの技術的条件	30
5.3 5.7GHz 帯システムの技術的条件	34
5.4 その他	39
別表1	40
別表2	41
参考資料1：各共用検討対象システムにおける共用検討用パラメータ	42
参考資料2：169MHz 帯における共用検討について	48
参考資料3：2.4GHz 帯における共用検討について	54
参考資料4：5.7GHz 帯における共用検討について	59
参考資料5：2GHz 帯及び5GHz 帯における伝搬特性について	63
参考資料6：メイン回線用無線システムのスペクトルマスク	65

I 検討事項

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（以下「委員会」という。）は、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」（平成 27 年 3 月 12 日諮問）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 25 年 6 月 21 日諮問）について検討を行った。

II 委員会及び作業班の構成

委員会の構成は別表 1 のとおりである。

検討の効率化を図るため、委員会の下に「ロボット作業班」（以下「作業班」という。）を設置し、技術的条件に関する調査を行った。

作業班の構成は別表 2 のとおりである。

III 検討経過

委員会及び作業班での検討経過は、以下のとおりである。

1 委員会

① 第 2 回（平成 25 年 6 月 27 日）

「災害対応ロボット・機器向け通信システムの技術的条件」に関し、委員会の運営方針等について検討を行った。

② 第 19 回（平成 27 年 3 月 17 日）

「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」に関し、委員会の運営方針について検討を行ったほか、検討の促進を図るため、作業班を設置することとした。また、広く提案を募集することとし、その説明が行われた。

③ 第 20 回（平成 27 年 4 月 9 日）

作業班から「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」に関する調査の進め方（案）及び提案募集の結果について報告を受け、検討を行った。

④ 第 24 回（平成 27 年 9 月 17 日）

作業班から「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」に関する要求条件について報告を受け、検討を行った。

⑤ 第 28 回（平成 28 年 1 月 26 日）

作業班から「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」に関する報告を受け、委員会報告案をとりまとめた。

2 作業班

① 第 1 回（平成 27 年 4 月 22 日）

委員会の運営方針、検討体制及び提案募集結果報告等について説明が行われ、検討に着手した。

② 第 2 回（平成 27 年 6 月 26 日）

「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」に関する調査の進め方（案）等について検討した。

- ③ 第3回（平成27年7月29日）
「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」について要求条件のとりまとめを行い、候補周波数帯の検討を行った。
- ④ 第4回（平成27年10月9日）
「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」について、周波数共用条件等について、検討を行った。
- ⑤ 第5回（平成27年11月12日）
「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」について、周波数共用要求条件について検討を行うとともに、技術的条件について検討を行った。
- ⑥ 第6回（平成27年12月8日）
「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」について技術的条件について検討を行うとともに、作業班報告概要について検討を行った。
- ⑦ 第7回（平成28年1月12日）
作業班報告書（案）について、検討を行った。
- ⑧ 第8回（平成28年1月19日）
作業班報告書を取りまとめた。

IV 検討概要

第1章 検討の背景

グローバルなコスト競争にさらされている製造業・サービス業の競争力強化や、農業・建設分野等における労働力の確保、物流の効率化など、我が国の産業は様々な課題を抱えている。このような課題を解決し、我が国の国際競争力を高めるためには、ロボットの積極的活用が有効であり、政府全体としても以下のようなロボットの発展に向けた戦略の策定等に取り組んできているところである。

- 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 23 日策定）
 - ・ 2020 年にロボット革命を実現するための 5 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
 - ・ プロジェクトの実施主体となる民間企業等の提案を公募、採用すべき技術実証プロジェクトや、その実現のための規制改革について検討

ロボットは工場などの製造業務での活用を中心として生産性の向上や品質の安定化、人が容易に近づけない場所での作業を中心として発展してきている。最近ではロボットのうち無人航空機（ドローン）によるインフラ点検や災害状況の把握、テレビ番組等の撮影、更には宅配などの輸送・物流分野など、多様な分野での利用が期待され、今後の市場規模として高い伸びが見込まれているところである。

ロボットにおける電波利用については、これまではロボットを遠隔操縦するために操縦者からロボットに対する操縦コマンドの送信に利用されており、比較的小容量の通信で運用されていたが、昨今では、ロボット活用の多様化に伴い操縦コマンドの伝送だけではなく、例えばドローンが上空から撮影する画像や無人建設重機を操作するための画像の伝送、更にはドローンの飛行位置を操縦者がリアルタイムに把握するための位置情報や機体の状態などのデータ伝送など、新たな電波利用が出現してきており、従来の操縦コマンドに比べると大きな伝送容量の通信を必要としている。

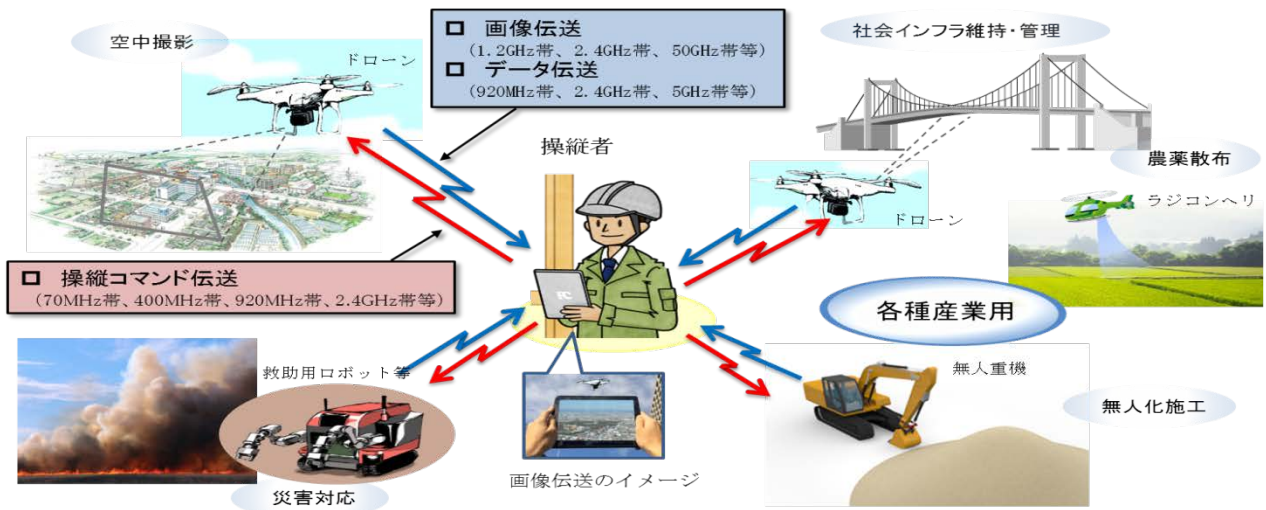


図 1.1 ロボットの利用イメージと電波の利用イメージ

このようにロボットの無線システムは、その用途（画像伝送、データ伝送、操縦コマンド等）に対して Wi-Fi 機器などの汎用的に使用可能な無線システムを活用して運用されてきた。しかしながら、様々な分野におけるロボットの活用可能性に注目が集まる中で、特に高画質や長距離の画像伝送用途等についてニーズが高まっており、今後のロボットにおける電波利用の高度化のニーズに応えるため、要求される条件や運用の形態等を踏まえ、使用可能周波数の拡大、最大空中線電力の増力等の電波利用に係る環境を整備するために技術的な検討を行うことが必要である。

なお、ロボットの電波利用に関する検討については、これまで諮問第 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」（平成 25 年 6 月 21 日諮問）において平成 25 年 6 月 27 日より委員会において調査検討を行ってきているところであるが、災害対応ロボットで利用する無線システムもロボット全体の無線システムの一部であることから、本件検討に包含して検討を行った。

第2章 ロボットにおける電波利用システムの現状と動向

2.1 電波を利用するロボット

従来、ロボットとは、センサー、知能・制御系、駆動系の3要素を備えた機械であると捉えられてきたが¹、今後のデジタル化の進展やAIの進歩等により、知能・制御系のみによるロボット機能は出現する可能性もあり、3要素の全てを兼ね備えた機械のみをロボットと定義することでは、実態を捉えきれなくなる可能性がある。

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ているが、近年、産業用ロボット分野では、ロボットが取得した画像伝送のための電波の利用が出現してきている。

電波を利用しているロボットの事例と概要は以下に示す。

◎産業用無人ヘリコプター

産業用無人ヘリコプターは、農薬散布や測量・各種測定用途等の分野で活用されている。

農薬散布では操縦用に73MHz帯の周波数(7波)が使用されており、混信防止のために近隣の運用者と使用周波数等の調整を行った上で運用されている。

無人ヘリコプターによる防除面積は年々増加し、現在、無人ヘリコプターの機体数は約2,600機となっており、今後、更に増加した場合の運用調整の容易化から操縦用周波数の増波の要望がある。

また、測量・各種測定用途の分野では、データ伝送や画像伝送の需要が高まっており、現在、画像伝送には1.2GHz帯及び2.4GHz帯、データ伝送には2.4GHz帯が使用されている。

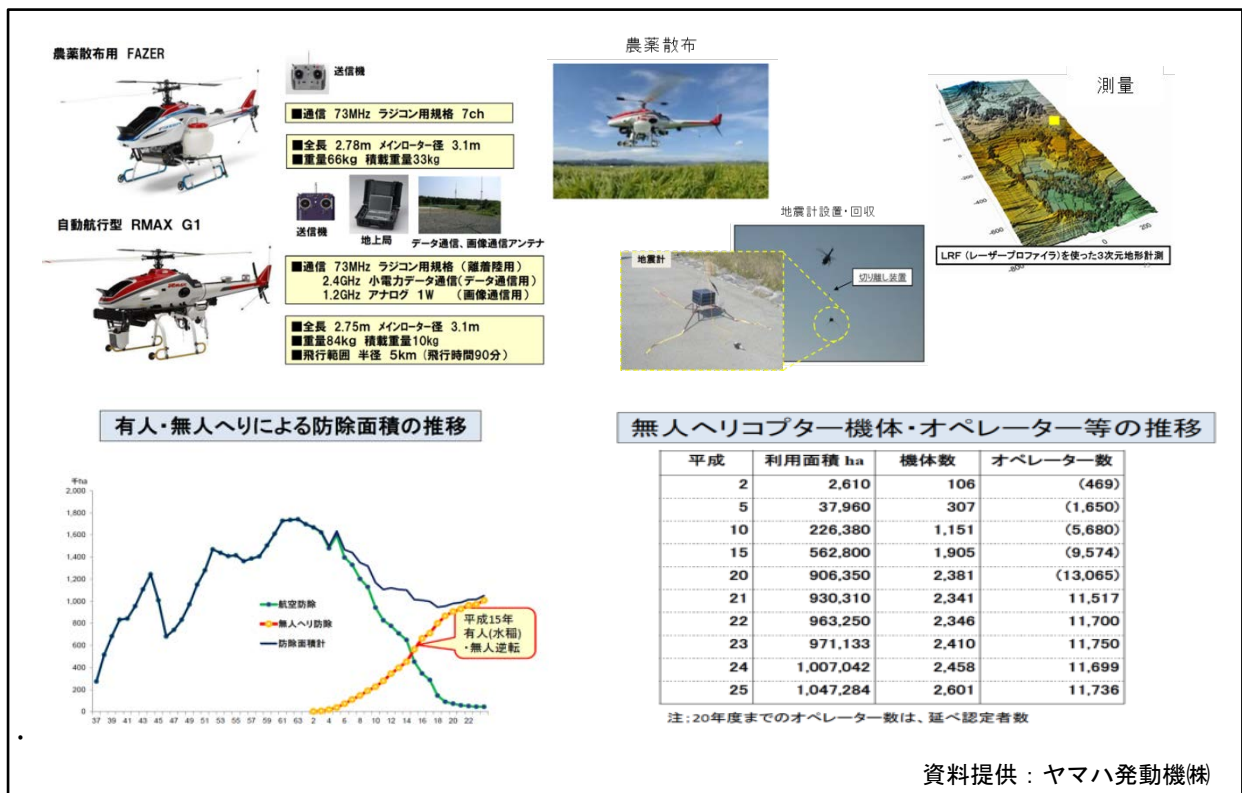


図 2.1 無人ヘリコプターの利用形態等

¹ J I Sにおける産業用ロボットの定義等

◎屋外遠隔作業ロボット（建設無人化施工）

建設分野における無人化施工では、災害復旧・復興及び二次災害が懸念される危険箇所、安全な場所から遠隔操作される建設機械（作業用ロボット）が導入されている。

一般的に、建設機械の遠隔操作系無線と、作業に必要な映像伝送系無線の2系統の無線が使用されており、主に無線 LAN（2.4GHz 帯及び 5GHz 帯）や無線アクセスシステム（5GHz 帯）が使用されている。

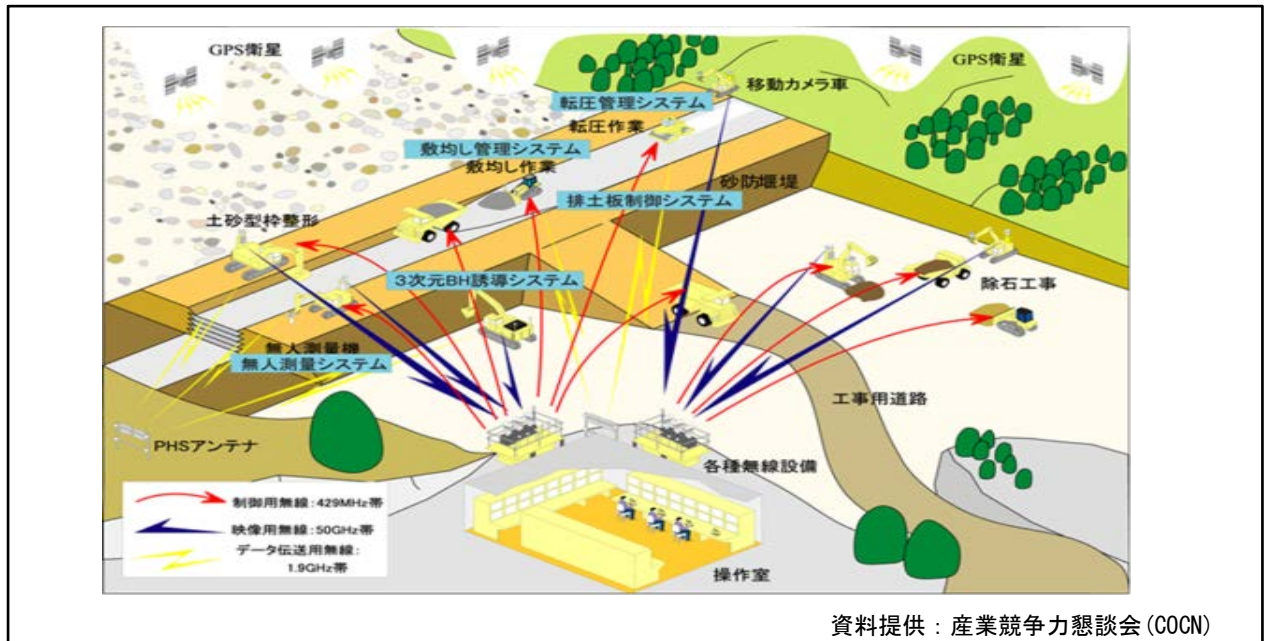


図 2.2 建設無人化施工

◎小型調査ロボット

ビル内、配管、プラント等の人が入ることができない場所での調査、点検等のために小型なロボットが導入されている。

小型調査ロボットでは各種カメラを用いて周囲の環境を把握しつつ、リアルタイムに操作・作業を行うため、画像伝送と操縦に無線 LAN（2.4GHz 帯及び 5GHz 帯）が使用されている。

小型調査ロボットは人が立ち入ることができない場所で利用されるため、画像を見ながら操縦することが基本となるが、建造物の遮蔽等の影響により操縦用電波が遮断されてしまうと身動きできなくなるため、バックアップとして伝送容量は少ないものの 2.4GHz 帯等より透過性が高い VHF 帯の電波利用の要望がある。

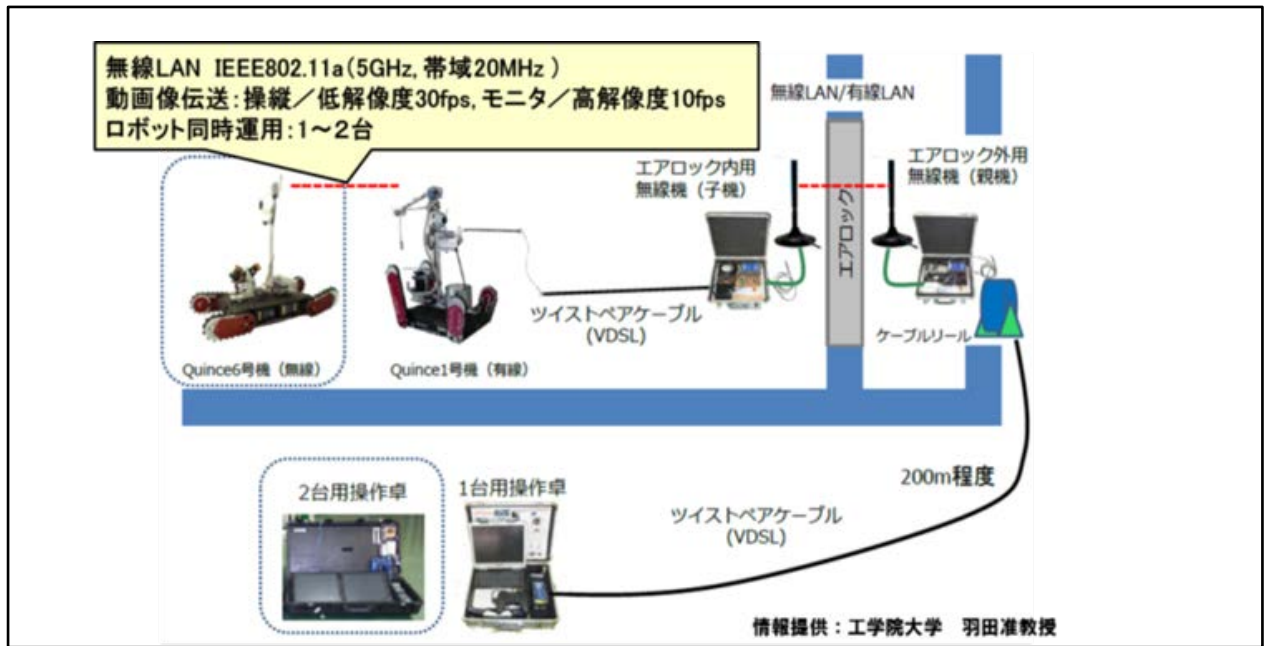


図 2.3 小型調査ロボット

◎ビークルロボット

ビークルロボットとはロボットトラクタ、田植ロボット、ロボットコンバインなどの車両系ロボット農機の総称であり、労働生産性の向上や生産物の低コスト化・品質管理の向上が期待されている。

有人農機と無人農機による協調作業システムにおいては、車車間通信では無線 LAN が利用されている。

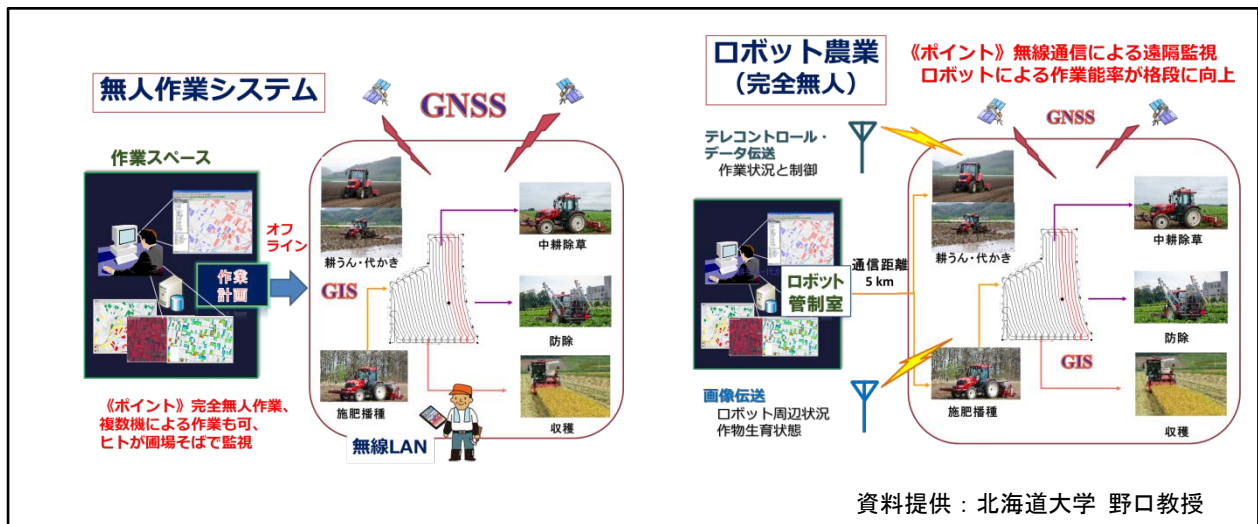


図 2.4 ビークルロボットによる農業の無人化

◎無人航空機(ドローン)

無人航空機(ドローン)は、インフラ点検や災害状況の把握、テレビ番組等の撮影、警備・監視などのセキュリティ分野、更には宅配などの輸送・物流分野など、多様な分野での利用が期

待され、今後の市場規模として高い伸びが見込まれている。

ドローンでの電波利用では、操縦は主に 2.4GHz 帯、ドローンからの画像伝送には 1.2GHz 帯や 2.4GHz 帯が使用されている。

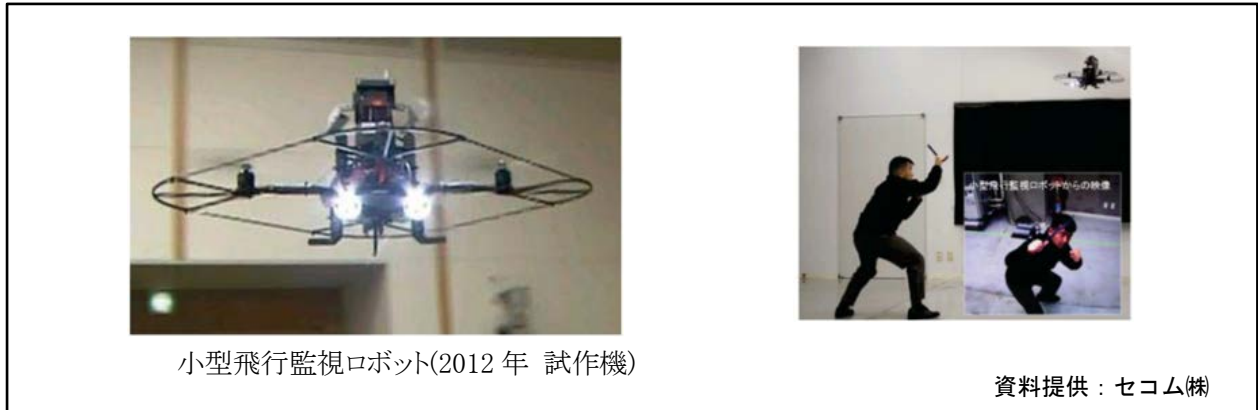


図 2.5 警備分野におけるドローンの導入例

上記のロボットは電波を利用するロボットの一例であり、これ以外にも多様な分野で電波を利用するロボットが活用されるものと想定される。一般社団法人電波産業会のロボット用電波利用システム調査研究会がアンケート調査した結果によるロボット用電波利用システムの想定される利用分野・用途は以下のとおりである。

表 2.1 ロボット用電波利用システムの想定される利用分野・用途

利用区分	具体的な利用用途
地上	<ul style="list-style-type: none"> 火山の無人観測 建設/土木工事の無人化施工 災害現場における調査/復旧作業 農業機械の無人化 車両の自動運転 案内/誘導サービス
屋内	<ul style="list-style-type: none"> 災害現場における調査/復旧作業 トンネル内災害調査 戸建住宅床下点検 屋内荷物の自動搬送 案内/誘導サービス
上空	<ul style="list-style-type: none"> 災害現場による観測 火山の無人観測 橋梁/建造物の老朽化点検 送電線の点検 壁面調査 プラント/工場/施設等の警備監視作業 ソーラー発電のパネル異常検出 農産物生育状況の確認 農薬散布 空撮/地図作成 荷物/物資輸送 番組制作/取材
海上	<ul style="list-style-type: none"> 水中ロボット等の位置把握等の測量探査 水中でのインフラ点検 深淺測量

上記のアンケート調査結果から、今後、電波を利用するロボットの用途は多岐に渡るものと推測されるが、通信形態としては

- 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）²の伝送

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
に分類され、今後、ロボットの利用用途が拡大したとしても当面はこの通信形態を装備するロボットが増加すると考えられ、特にドローンを中心に画像伝送の需要が高まるものと推測される。

2.2 ロボットの無線通信システム

現在、ロボットが利用している主な無線通信システムの概要を以下に示す。

表 2.2 ロボットに利用されている主な無線通信システム

無線システム名称 /無線局種	周波数帯	送信出力	伝送速度	利用形態	無線局 免許
ラジコン操縦用微弱無線	73MHz帯等	※1	5kbps	操縦	不要
特定小電力無線局	400MHz帯	10mW	5kbps	操縦	不要
特定小電力無線局	920MHz帯	20mW	～1Mbps	操縦	不要
携帯局	1.2GHz帯	1W	(アナログ方式)	画像伝送	要
小電力データ通信システム	2.4GHz帯	10mW/MHz (FH方式は 3mW/MHz)	200k～ 54Mbps	操縦 画像伝送 データ伝送	不要
無線アクセス	4.9GHz帯	250mW	～54Mbps	画像伝送 データ伝送	要
小電力データ通信システム	5GHz帯	10mW/MHz	～6.93Gbps	画像伝送 データ伝送	不要
簡易無線局	50GHz帯	30mW	(アナログ方式)	画像伝送	要

※1：500mの距離において、電界強度が200 μ V/m以下

それぞれの無線システムの概要は以下のとおりである。

(1) ラジコン操縦用微弱無線

従来から農薬散布のための多くの無人ヘリコプターの操縦に利用されており、通信距離^{*}は1～5km程度³である。

ラジコン用発振器の周波数は、表 2-1 のとおりホビー用（産業用以外）として40MHz帯及び72MHz帯、産業用として73MHz帯に専用波が規定されている。

² GPS 情報、残存バッテリー情報の伝送等

³ 通信距離は一般的な設備を想定した参考値であり、無線設備の仕様や利用環境等により異なる。
(以下の無線システムにおいても同様)

表 2-3 ラジコン用の周波数⁴

用途・使用区域		周波数帯:波数	周波数	電波型式
産業用	上空利用 (模型飛行機用)	73MHz帯:7波	73.26 73.27 73.28 73.29 73.30 73.31 73.32	F1D F2D F3D
	地上/水上利用 (模型飛行機以外)	73MHz帯:3波	73.22 73.23 73.24	F1D F2D F3D
産業用以外	上空利用 (模型飛行機用)	72MHz帯:10波	72.13 72.15 72.17 72.19 72.21 72.79 72.81 72.83 72.85 72.87	F1D F2D F3D A1D A2D
		40MHz帯:5波	40.77 40.79 40.81 40.83 40.85	
	地上/水上利用 (模型飛行機以外)	40MHz帯:8波	40.61 40.63 40.65 40.67 40.69 40.71 40.73 40.75	F1D F2D F3D A1D A2D

(2) 特定小電力無線局

特定小電力無線局のうち、テレメーター/テレコントロール/データ伝送用がロボットの操縦やデータ伝送に利用されており、400MHz 帯の通信距離は 500m～3km、920MHz 帯では 1～3km、1.2GHz 帯では 500m～2km 程度である。

(3) 1.2GHz 帯携帯局

画像伝送用として利用されており、通信距離は 1～3km 程度である。他の無線システムと周波数を共用していることから、他の無線局へ妨害を与えず、かつ、他の無線局からの混信を容認することが運用の条件となっている。

(3) 小電力データ通信システム

小電力データ通信システムは、無線 LAN として IEEE802.11 グループで標準化されたものが広く使用されており、無線装置の汎用性の高さからロボットにおいても 2.4GHz 帯小電力データ通信システムが操縦、画像伝送及びデータ伝送に広く利用されている。

特に無線操縦に使用する場合には、周波数ホッピング方式(FH方式)を採用するなどにより混信を回避した安定通信の向上を図っている。

通信距離は、操縦用では 500m～3km、操縦用に比べて高い伝送速度が必要となる画像伝送では 300m 程度である。

(4) 簡易無線

50GHz 帯の簡易無線は画像伝送用に利用されており、通信距離は 1～5km 程度である。

指向性の高い空中線を使用することから、建設無人化施工などで利用されており、広範囲に移動するドローン等では利用されていない。

⁴ 電波法施行規則第 6 条第 1 項第 2 号で規定されている周波数

第3章 電波利用に対する要求条件

3.1 電波利用に対するニーズ

各種ロボットにおける電波利用に対する要求条件について、意見募集及びロボット作業班でのヒアリング等により、検討を行った。

第2章で記載したとおり、ロボットは、様々な分野において、今後ますます利用が進むと見込まれている。ロボットそのものの用途としては、今後、思いもつかない分野においても利用されていく可能性があるが、ロボットに搭載される電波利用システムとしては、大きく分けて以下の3つに分類することが可能である。

(ア) 操縦者がロボットを遠隔で操縦するための無線操縦用通信

(イ) ロボット側の状態データや観測データを操縦者等に伝送するためのデータ伝送用通信

(ウ) ロボットに搭載したカメラにより撮像した画像を、操縦者等に伝送するための画像伝送用通信

このうち、特に(ウ)の画像伝送用通信については、近年のカメラの小型化・高性能化に伴って、ロボットにおいて撮像される画像のますますの高画質化が進んでいる。また、ロボットの普及が進んだ場合については、一つの場所で同時に複数のロボットが運用されるケースも想定されることから、大容量の通信を同時に複数使用可能とするニーズが高まっている。

また、ドローンに代表されるようにロボットの上空での利用が広がりつつある中で、長距離の通信に対するニーズが高まっており、例えば、災害発生現場等、人間が近寄ることが困難な場所に対し、ドローンを活用して観測用機器を設置するといった、従来では想定されていなかった用途にもロボットは活用されつつある。このような場合、離れた場所にいる操縦者が、ロボットに搭載されているカメラによる画像をリアルタイムで確認しながらの作業を行う必要があり⁵、電波利用システムの活用が期待されている。

加えて、人の立ち入ることが困難な場所でロボットを遠隔操縦して作業を行う場合などにおいては、何らかの伝搬障害によりロボットの遠隔操縦が不可能となってしまうと、ロボット自体の操縦を復旧することが困難となるため、そのままロボットを廃棄しなければならなくなる場合も起こりえる。このような場合に備えて、高画質の画像伝送等が可能な主回線の他に、例え伝送容量が必要最小限に限定されるものであっても、当該主回線より通信の到達性が期待可能なバックアップ用の回線についての必要性も高いと考えられる。

以上が、電波利用に対するシステムの機能の観点からのニーズであるが、その他に、実際にロボット用無線システムを実現する上で、無線機製造に係るコストの低廉化も考慮することも重要である。

これらをまとめると、電波利用に対するニーズとしては、以下のとおりとなる⁶⁷。

➤ 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。

⁵ 一方で、例えばドローンの多くがGPS (GPS:Global Positioning System) 等を活用した自律航行する機能を有しているなど、ロボットが操縦者から離れて運用される場合であっても、必ずしも電波利用が必須ではない点にも留意が必要である。

⁶ この他、既存の無線システムである73MH帯を利用したラジコンヘリ用の無線操縦用周波数についても増波の要望があった。

⁷ 一部で要望のあったドローンに係る管制システムの検討については、国際民間航空機関(ICAO)等の国際標準化団体における議論と整合性をとる必要のあること、また、携帯電話の活用等による広域的なロボット用通信網を必要とするものについては、別途電気通信事業用回線等の活用の観点からの検討が必要であることから、それぞれ本検討の対象外とし、今後別途の検討が必要である。

- ロボットを一つの運用場所で複数台運用できるように、複数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。

3.2 要求条件

前節で記載したニーズを更に具体的に検討した結果、通信に係る要求条件は表 3.1 のとおりとした。

表 3.1 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

これらについて、低コストの無線機実現の観点も踏まえ、ロボット用無線システムに活用可能な周波数について検討を行った結果、以下の 3 つの周波数帯を候補とすることとした。

(ア) メイン回線用 (2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯)

大容量の通信を可能とするメインの回線用としては、現在、2.4GHz 帯無線 LAN 及び 5GHz 帯無線 LAN において使用されている周波数帯及びその近傍の周波数帯である 2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯を候補周波数帯とした。

このうち、2.4GHz 帯については、2.4GHz 帯無線 LAN 用周波数 (2400MHz~2497MHz) のうち、我が国のみで使用可能なため使用が限定的である 2483.5MHz~2497MHz を候補周波数帯 (図 3.1) とし、チャンネル幅としては 5MHz 及び 10MHz とした。

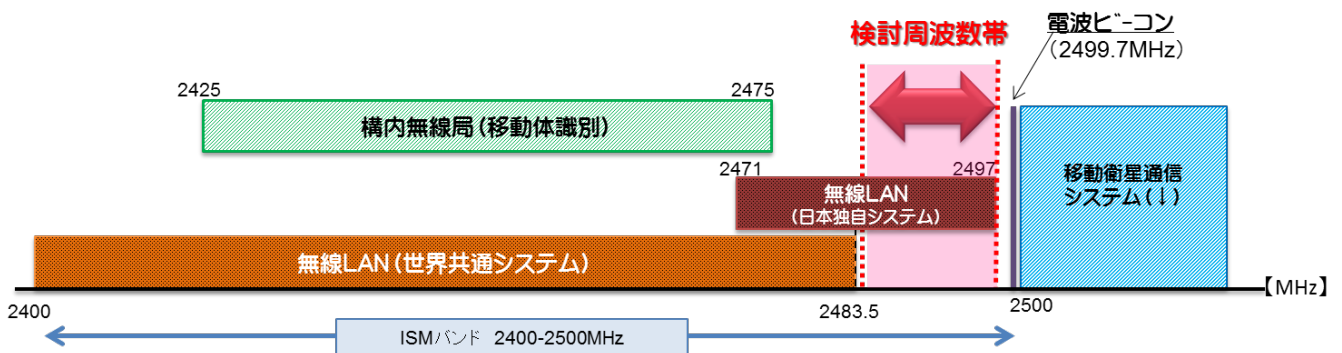


図 3.1 2.4GHz 帯における候補周波数帯

また、5.7GHz 帯については、図 3.2 のとおり、アマチュア無線用に割り当てられた周

波数帯の下限の周波数から狭域通信システム（DSRC：Dedicated Short-Range Communication System）用に割り当てられた周波数帯の下限の周波数までを候補の範囲とし、5GHz帯無線LANと親和性のあるシステムとするため、5GHz帯無線LAN（20MHzシステム）のチャンネル配置を基本とするチャンネル配置（チャンネル幅としては、5MHz、10MHz及び20MHz）とした。

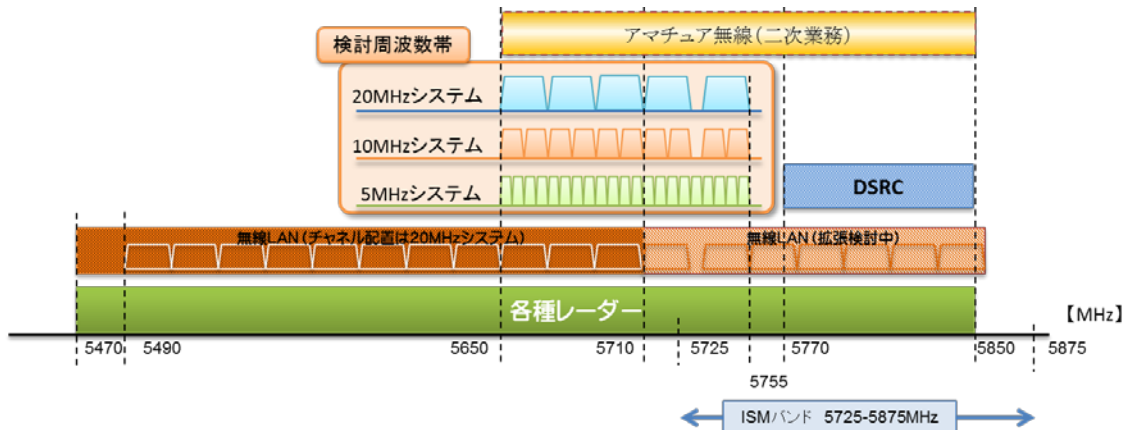


図 3.2 5.7GHz帯における候補周波数帯

これらの周波数については、既存の無線LAN機器に使用されている無線設備を活用することで、低コストの無線機の実現が期待される。

(イ) バックアップ回線用（169MHz帯）

メイン回線が使用不可能な際のバックアップ用回線としては、現在、169MHz帯において広帯域テレメーター用に使用されている周波数帯（169.05～170.01MHz）のうち、補聴援助用ラジオマイク用に使用されている周波数帯（169.3975～169.8025MHz）を除いた周波数帯を候補周波数帯（図 3.3）とした。本周波数帯の電波は、メイン回線用の候補周波数帯である2.4GHz帯及び5.7GHz帯と比較して高い回折性を有することから、障害物等の影響により2.4GHz帯または5.7GHz帯での通信が困難な場合であっても、通信が可能となる可能性が高い。また、最大で300kHz程度のチャンネル幅の通信を行うことにより、低画質ながらも画像伝送が可能である。

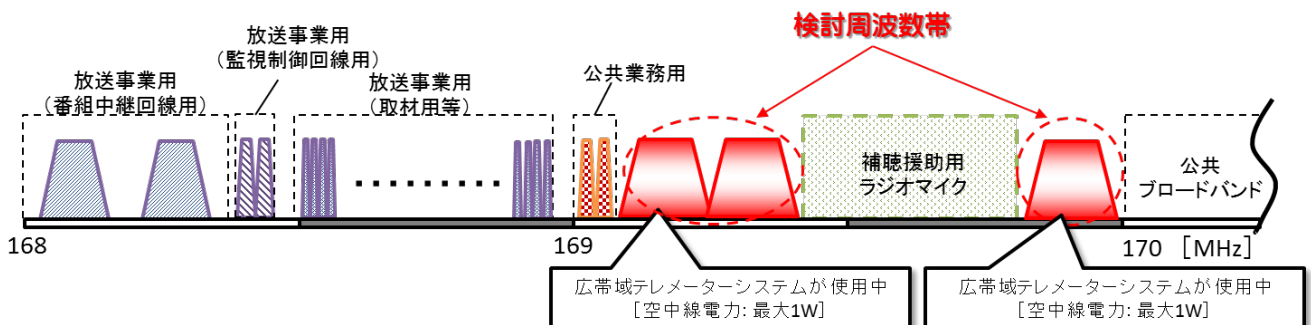


図 3.3 169MHz帯における候補周波数帯

本周波数についても、既存の広帯域テレメーター用に使用されている無線設備を活用することで、低コストの無線機の実現が期待される。

(ウ) その他

第2章で述べたとおり、73MHz帯無線操縦用周波数(産業用)は主に農薬散布用の無人ヘリコプターで使用されている。現在、無人ヘリコプターで使用可能な産業用の模型飛行機用周波数は7波⁸であるが、近年、農薬散布での無人ヘリコプターの利用台数が増加傾向にある。

(一財)日本ラジコン電波安全協会が行っているラジコン発振器の登録台数は表3.2のとおりであり、登録台数の殆どが模型飛行機用(上空用)となっており、地上・水上用の登録台数は著しく少ない状況である。

表 3.2 ラジコン用発振器の登録状況

用途	周波数	利用形態	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27(※)
ホビー用	40MHz	上空用	2,947	314	671	371	590	400	55	9
		地上・水上用	562	170	0	431	0	0	0	0
産業用	73MHz	上空用	4,863	919	3,186	1,960	351	646	463	14
		地上・水上用	180	220	177	206	385	250	288	192
ホビー/産業用	2.4GHz	地上・水上用	0	0	0	0	0	0	0	1
		上空用	17,878	11,163	16,919	13,201	19,656	21,316	37,484	30,815
合計			18,459	34,146	30,897	41,196	76,384	56,331	71,889	39,912
合計			44,889	46,932	51,850	57,365	97,816	78,943	110,180	70,944

注)平成27年度は9月末までの集計値

資料提供：(一財)日本ラジコン電波安全協会

これらの状況を勘案して図3.4のとおり模型飛行機用の周波数増波の検討を行った結果、地上/水上用の周波数を72MHz帯に追加して、これまで地上/水上用としていた3波を上空使用に変更する、また、未使用の1波を追加することにより無人ヘリコプターで使用可能となる産業用の周波数を11波に増波することができる。

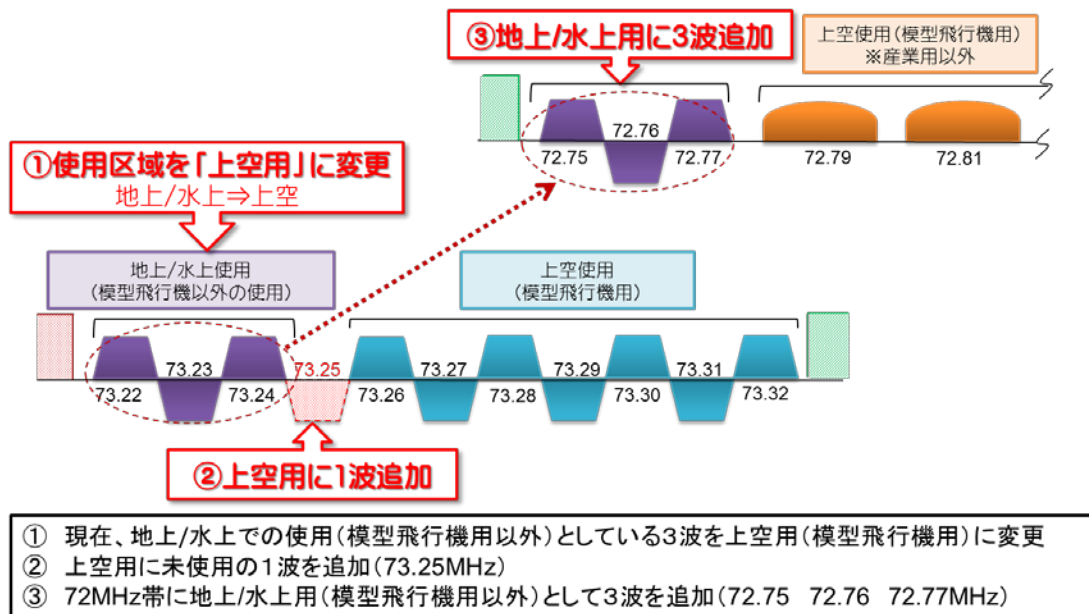


図 3.4 73MHz帯無線操縦用周波数における模型飛行機用周波数の増波検討

⁸ 電波法施行規則第6条第1項第2号の規定による免許を要しない無線局の用途並びに電波の型式及び周波数(昭和32年郵政省告示第708号)に定める「模型飛行機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」周波数の波数。なお、ここでの模型飛行機は、いわゆるラジコンを示すものであり、航空法上の「模型航空機」とは意味が異なる点に注意。

(エ) 空中線電力について

メイン回線用候補周波数（2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯）及びバックアップ回線用候補周波数帯（169MHz 帯）のそれぞれについて、通信距離の要求条件を勘案し、送信空中線電力については 1W を基本とした。

表 3.2 に 2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯におけるそれぞれの想定利用モデル（図 3.5）における通信距離⁹を示す（本試算にあたっては、受信空中線は無指向性として計算）。5.7GHz 帯における地上利用以外の利用ケースにおいて、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である。また、地上利用については受信空中線の高利得化が容易であり、5.7GHz の地上利用についても指向性を持った受信空中線の使用により更に通信距離を延伸することが可能であることから、送信空中線電力 1W により、十分に所要通信距離を満足することが可能と考えられる。

なお、参考資料 5 のとおり、2.4GHz 帯及び 5GHz 帯の上空利用時における伝搬特性は、自由空間モデルの理論値と概ね一致することが確認されている。

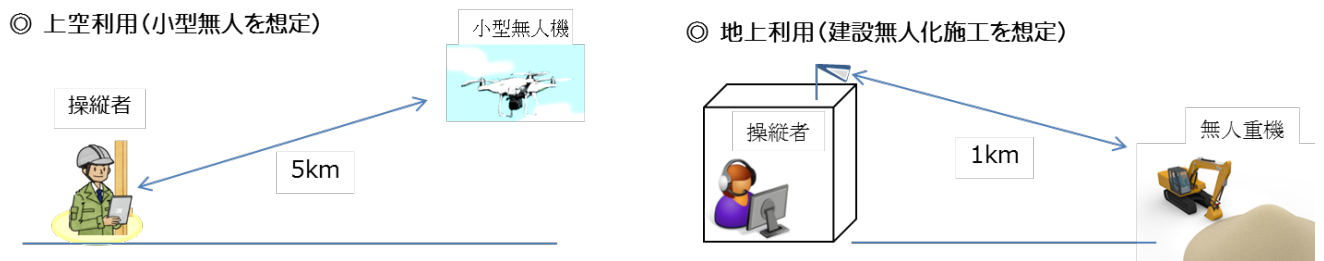


図 3.5 通信距離の計算上の想定モデル

表 3.2 メイン回線用候補周波数における通信距離

利用ケース	送信 空中線電力 (W)	空中線利得 (dBi)		受信 感度 (dBm)	空中線高(m)		通信可能距離 (km)	
		送信	受信		送信	受信	10dB マー ージン込	
2.4GHz 帯	1	6	2.14	-87	(自由空間)		17.3	5.5
					2	10	1.0	0.53
5.7GHz 帯	1	6	2.14	-87	(自由空間)		7.6	2.4
					2	10	0.77	0.36

また、バックアップ回線用候補周波数帯における想定利用ケースの通信距離¹⁰を表 3.3 に示す。上空利用については、送信空中線電力が 10mW の場合でも所要の通信距離 (5km) を満足することが可能である。一方で、屋内利用時の遮蔽損失等を加味した場合、バックアップ用途であることに鑑みれば、ある程度のマージンを確保することが望ましい。

⁹ 受信感度は既存の無線 LAN 機器の場合を参考とし (BER=1×10⁻⁵)、電波伝搬モデルは上空利用については自由空間モデル、地上利用については拡張秦モデル (郊外型) を用いた (5.7GHz 帯の地上利用は、ITU-R 勧告 P.1411 を参考に伝搬損失を計算)。

¹⁰ 受信感度は 4 章に記載する共用検討パラメータにおいて、所要 C/N を 20dB としたものの。電波伝搬モデルは上空利用については自由空間モデル、地上利用については拡張秦モデル (郊外型) を用いた。

この場合、1Wの送信空中線電力を活用することで地上利用において20dB程度の遮蔽損失があった場合でも、所要の通信距離（1km）を満足することが可能となる。

表 3.3 バックアップ回線用候補周波数帯における通信距離

利用ケース	送信 空中線電力 (W)	空中線利得 (dBi)		受信感度 (dBm)	空中線高 (m)		通信可能距離 (マージン 10dB 込) (km)	所要通信距離に おけるマージン (dB)
		送信	受信		送信	受信		
上空利用	1	5.1	2.14	-85.3	自由空間		59.8	31.6
地上利用					2	10	2.3	22.5
上空利用	0.01	5.1	2.14	-85.3	自由空間		6.0	11.6
地上利用					2	10	0.6	-7.5

第4章 他の無線システムとの周波数共用条件

4.1 共用検討の条件

前章で記載した以下の候補周波数帯それぞれについて、当該周波数帯及び隣接周波数帯における既存システムについて、共用検討を行った。

4.1.1 共用検討対象システム

(1) 169MHz 帯

169MHz 帯及びその隣接周波数帯の周波数の使用状況を図 4.1 に示す。

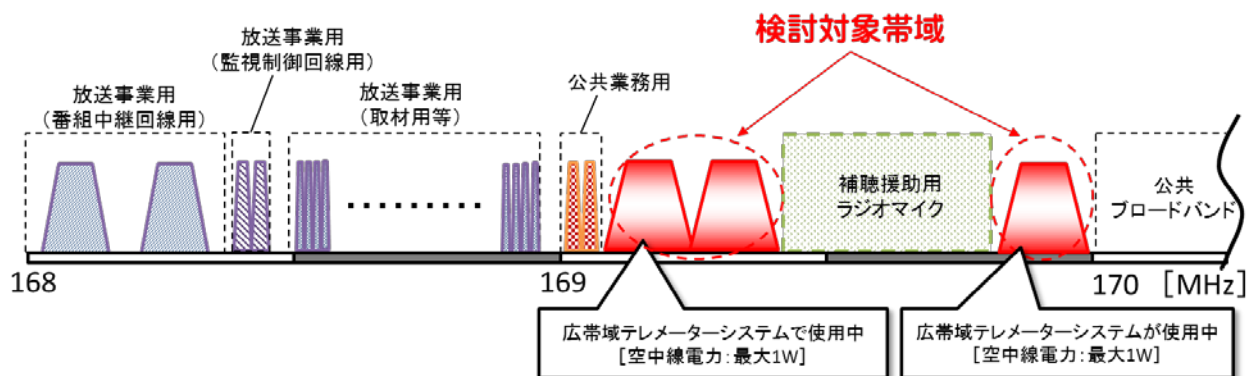


図 4.1 169MHz 帯の周波数使用状況

(ア) 放送事業用連絡用無線（取材用等）（～169MHz）

放送事業用連絡無線は、報道取材や番組制作において使用されるものであって、取材内容等の伝達のほか、災害現場等においては取材中継要員の安全を守るための連絡（避難指示等）を行うためのものである。

(イ) 公共業務用無線システム（169MHz 帯）

169MHz 帯は、公共業務用無線システムにより使用されている。

(ウ) 広帯域テレメーターシステム（169～170MHz）

広帯域テレメーターシステムは、自動車や建設機械等の移動体の諸特性を計測する、最大で 1W 出力の工業計測用のテレメーターである。主な使用者は、自動車、オートバイ、建設機械等のメーカー等であり、通常は、研究所のテストコースや試験場等の特定の場所で使用されている。

(エ) 補聴援助用ラジオマイク（169～170MHz）

補聴援助用ラジオマイクは、話者が装着したマイクロホンから補聴器に音声信号を伝送することで聴力を補うためのシステムである。ろう学校等において使用されるほか、聴覚障害者が個人で所有して、生活場面に応じて活用するものである。

(オ) 公共ブロードバンド移動通信システム（170～202.5MHz）

公共ブロードバンド移動通信システムは、交通事故や犯罪現場、火災や救急搬送などの緊

急現場、水害や土砂崩れなどの災害現場といった非常時における現場の映像を遠隔にある対策本部等にリアルタイムで伝送することを可能とする無線システムである。

(2) 2.4GHz 帯

2.4GHz 帯における周波数の使用状況を図 4.2 に示す。

このうち、2400～2500MHz は、産業科学医療用(ISM)機器からの有害な混信を容認して運用されている。

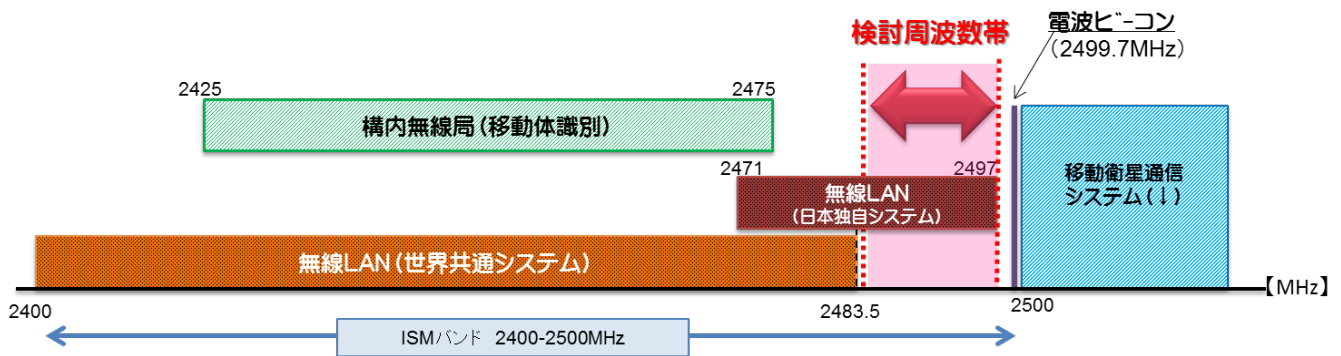


図 4.2 2.4GHz 帯における周波数使用状況

(ア) 無線 LAN (2400～2497MHz)

2400～2497MHz において、2.4GHz 帯無線 LAN (LAN: Local Area Network) が利用されている。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 システムのチャンネル配置を図 4.3 に示す。2412MHz から 2472MHz までの 5MHz 間隔の計 13 チャンネル (ch1～ch13) と、2484MHz の ch14 (我が国においてのみ使用可能) の計 14 チャンネルから構成される。

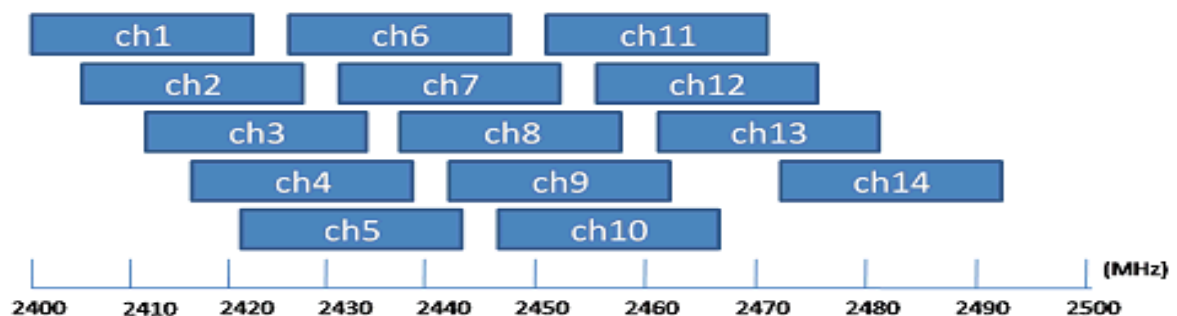


図 4.3 2.4GHz 帯無線 LAN (IEEE802.11b: 20MHz システム) のチャンネル配置

(イ) 構内無線局 (移動体識別用) (2400～2483.5MHz)

質問機から応答機に向けて電波を発射し、それを受けた応答機においてデータを確認後、移動体データを質問機に送信することで、同データにより移動体を識別する装置である。工場での生産物管理や物流分野における物品管理、人員の入退室管理等に用いられる。

(ウ) 電波ビーコン (2499.7MHz)

道路交通情報通信システム (VICS : Vehicle Information and Communication System) の一部として、道路上に設置した電波ビーコンにより、車載機に対して情報 (渋滞情報、規制情報、道路案内、駐車場情報など) を提供するシステムである。

(エ) 移動衛星通信システム (2500~2535MHz)

移動衛星通信システムは、静止衛星を利用した、日本及びその周辺海域をサービスエリアとして提供される移動通信システムである。2500~2535MHz までをダウンリンク (衛星から送信される電波を地上側の通信端末において受信) として使用している。

(3) 5.7GHz 帯

5.7 帯及びその隣接周波数帯の周波数の使用状況を図 4.4 に示す。

このうち 5725~5875MHz は、産業科学医療用(ISM)機器からの有害な混信を容認して運用されている。

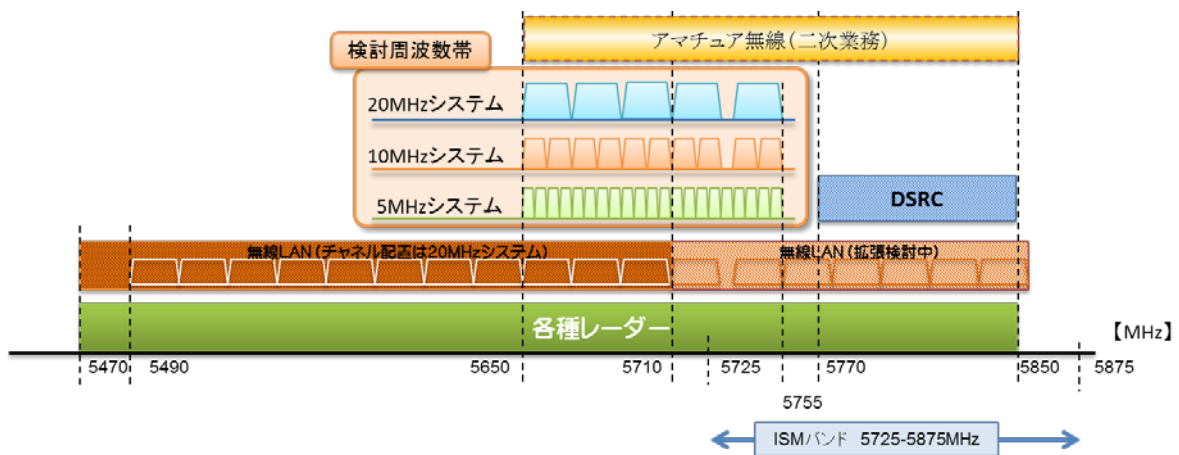


図 4.4 5.7GHz 帯及びその隣接周波数帯の周波数の使用状況

(ア) 無線 LAN (5470~5725MHz)

5470~5725MHz において、5GHz 帯無線 LAN が利用されており、2.4GHz 帯無線 LAN 同様、IEEE 規格に基づき利用されている。(20MHz の場合のチャンネル配列を図 4.5 に示す)

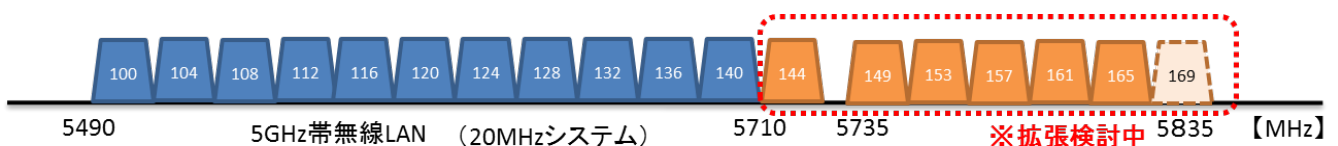


図 4.5 5GHz 帯無線 LAN のチャンネル配置 (20MHz)

なお、現在、5725MHz 以上の周波数帯について無線 LAN の使用可能周波数帯の拡張についての検討を行っている¹¹。

(イ) アマチュア無線局 (5650~5850MHz)

5650~5850MHz をアマチュア無線局が使用している。なお、当該周波数帯におけるアマ

¹¹ 平成 27 年 12 月より検討開始

チュア業務は二次業務であることから共用検討の対象外とする。

(ウ) 狭域通信システム (DSRC) (5770~5850MHz)

狭域通信システム (DSRC : Dedicated Short-Range Communication System) は、路車間の通信システムとして、自動料金収受システム (ETC : Electronic Toll Collection System) や、ITS スポットと車載器との通信等に利用されるシステムである。

DSRC におけるチャンネル配置図は図 4.6 のとおりであり、下側の 7 波をダウンリンク (車載機側受信)、上側の 7 波をアップリンク (路側機側受信) で使用している。

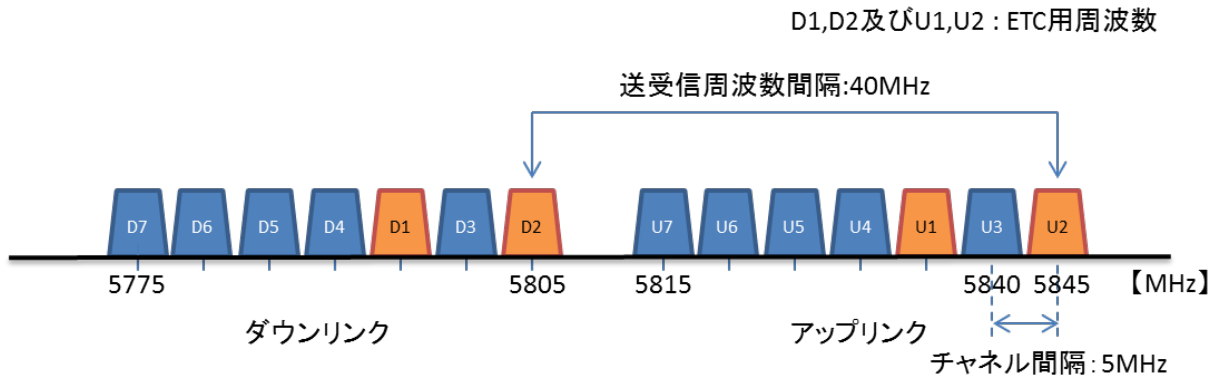


図 4.6 DSRC におけるチャンネル配置

(エ) 各種レーダー

当該周波数帯には公共業務用を目的とした無線標定業務に分配されている。また、隣接周波数帯となる 5480~5600MHz は船舶用レーダーに分配されているが、我が国においては使用されていない。

4.2 共用検討パラメータ

各周波数帯におけるロボットの無線局の検討パラメータを以下に示す。

(1) 169MHz 帯

表 4.1 169MHz 帯ロボット用無線システムの検討パラメータ

項目	パラメータ
送信出力	1W (30dBm)
周波数	169MHz
占有周波数帯幅	300kHz
空中線利得 (送受信)	5. 12dBi
給電線系損失	1. 0dB
空中線高 (送受信)	10m(地上:制御側) 3m (地上:ロボット側)・0~250m (上空:ロボット側)
隣接チャンネル漏えい電力	-45dBc
許容干渉レベル	-105. 3dBm/MHz ¹²

¹² 人工雑音を 9.1dB (ITU-R 勧告 P.372 より)、NF を 8.0dB、マージンを 3dB とした。

(2) 2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯

2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯ロボット用無線システムの検討諸元を表 4.2 に、送信及び受信特性を図 4.7 及び表 4.3 にそれぞれ示す。

表 4.2 2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯ロボット用無線システムの検討パラメータ

項目		パラメータ	
送信出力		1W (30dBm)	
周波数		2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯	
占有周波数帯幅		5MHz、10MHz、20MHz (5.7GHz 帯のみ)	
空中線利得 (送受信)		6dBi	
空中線高	地上利用	10m(制御側)	3m(ロボット側)
	上空利用	2m (制御側)	0~250m(ロボット側)

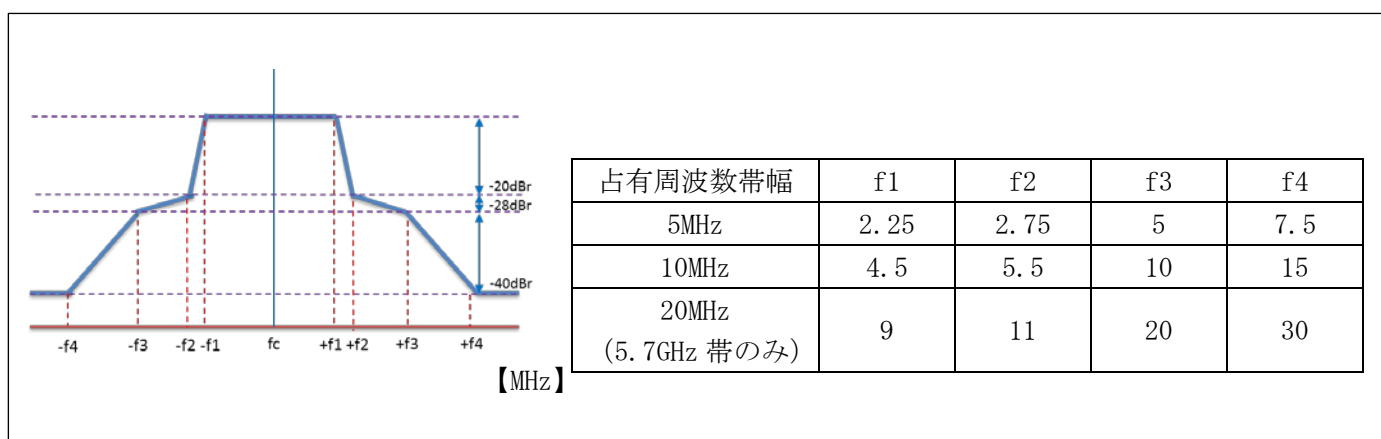


図 4.7 2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯ロボット用システムの送信特性

表 4.3 2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯ロボット用システムの受信特性

変調方式 (コーディングレート)	所要 D/U (dB)			受信感度 (dBm)		
	同一 チャンネル	隣接 チャンネル	次隣接 チャンネル	5MHz 幅	10MHz	20MHz
BPSK (1/2)	10	-16	-32	-88	-85	-82
QPSK (1/2)	13	-13	-29	-85	-82	-79
16QAM (1/2)	18	-8	-24	-80	-77	-74
64QAM (2/3)	26	0	-16	-72	-69	-66

なお、前節に記載した各共用検討対象システムに係る共用検討パラメータについては、参考資料 1 のとおりである。

4.3 ロボット用無線システムと他の無線システムとの周波数共用条件

4.3.1 169MHz 帯バックアップ用無線システムと他の無線システムとの周波数共用条件

169MHz 帯バックアップ用無線システムと他の無線システムとの周波数共用条件について、以下の検討結果を得た（具体的な所要離隔距離の検討方法等については、参考資料2を参照）。

(ア) 放送事業用連絡用無線との共用条件

a. 放送事業用連絡用無線への与干渉

放送事業用連絡用無線に対しては、ロボット用無線システムの不要発射が影響を与えることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（空中線電力1Wを上空で利用）で7km程度となる。一方で、ロボット用無線システムを上空で利用する場合には10mW程度の空中線電力でも十分な距離の伝搬が可能であることを踏まえれば、上空利用の場合は10mWで運用されることが想定され、この場合の所要の離隔距離は700m程度となる。ロボット用無線システム及び放送事業用連絡用無線は双方が移動業務であり、その運用状況を勘案すると継続した干渉が発生する確率は低いこと、また、離隔距離が必要となる1Wの空中線電力は主に地上での運用と考えられること、更に離調周波数が少ない既存の無線システムとの間でも共用が図られていることから、ロボット用無線システムとの共用は可能と考えられる。

なお、放送事業用連絡用無線については、災害現場等において、ロボット用無線システムと近接して使用されることが想定されることから、災害発生時等においては、ロボット用無線システム側において、放送事業用連絡用無線の運用状況に配慮しつつ、必要に応じて両者間で運用の調整を行う事により、共用することが可能と考えられる。

b. 放送事業用連絡用無線からの被干渉

ロボット用無線システムは、放送事業用連絡用無線の不要発射により影響を受けることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は地上利用で3km程度、空中利用で50km程度であるが、与干渉同様に移動業務間であることを踏まえると、実運用環境下においては指向性減衰が見込まれること及び実力値による更なる減衰が見込まれることから、ロボット用無線システム側における継続的な被干渉が起こる可能性は低く、共用は可能と考えられる。

(イ) 公共業務用無線システムとの共用条件

a. 公共業務用無線システムへの与干渉

公共業務用無線システムに対しては、ロボット用無線システムの不要発射が影響を与えることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（空中線電力1Wを上空で利用）で15km程度となる。一方で、ロボット用無線システムを上空で利用する場合には10mW程度の空中線電力でも十分な距離の伝搬が可能であることを踏まえれば、上空利用の場合は10mWで運用されることが想定され、この場合の所要の離隔距離は2km程度となる。ロボット用無線システム及び公共業務用無線システムは双方が移動業務であり、その運用状況を勘案すると継続した干渉が発生する確率は低いこと、また、離隔距離が必要となる1Wの空中線電力は主に地上での運用と考えられることから、ロボット用無線システムとの共用は可能と考えられる。

b. 公共業務用無線システムからの被干渉

ロボット用無線システムは、公共業務用無線システムの不要発射により影響を受けることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は地上利用で3km程度、空中利用で

60km 程度であるが、与干渉同様に移動業務間の干渉であることを踏まえると継続した干渉が発生する確率は低いこと、また実力値による更なる減衰が見込まれることから、ロボット用無線システム側における継続的な被干渉が起こる可能性は低く、共用は可能と考えられる。

(ウ) 広帯域テレメータシステムとの共用条件

広帯域テレメータシステムとロボット用無線システムは、同一周波数帯を共用する関係となるが、ロボット用無線システムから広帯域テレメータシステムへの影響は、現に運用されている既存の広帯域テレメータシステム相互間の影響と同等程度であることから、共用は可能と考えられる。

(エ) 補聴援助用ラジオマイクとの共用条件

補聴援助用ラジオマイクは、広帯域テレメータシステムと周波数を共用して運用されているシステムである。ロボット用無線システムは、補聴援助用ラジオマイクとは周波数が重複しないことから、ロボット用無線システムから補聴援助用ラジオマイクへの影響は、現状共用して運用されている広帯域テレメータシステムからの影響よりも少ないものと考えられ、共用は可能と考えられる。

(オ) 公共ブロードバンド移動通信システムとの共用条件

a. 公共ブロードバンド移動通信システムへの与干渉

公共ブロードバンド移動通信システムに対しては、ロボット用無線システムの不要発射が影響を与えることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（空中線電力 1W を上空で利用）で 16km 程度となる。一方で、ロボット用無線システムを地上で利用する場合や、上空で利用する場合であっても 10mW 程度の空中線電力で利用する場合、所要の離隔距離は 1~2km 程度となる。このため、ロボット用無線システム側において、公共ブロードバンド移動通信システムの運用状況に配慮しつつ、災害現場等で公共ブロードバンド移動通信システムと災害対応ロボットが接近して運用される場合には必要に応じて両者間で運用の調整を行う事により、共用することが可能と考えられる。

b. 公共ブロードバンド移動通信システムからの被干渉

公共ブロードバンド移動通信システムの不要発射により、ロボット用無線システムは影響を受けることとなる。許容干渉量を下回るための所要の離隔距離は、最も影響の大きい場合（ロボット用無線システムを上空で利用）でも 300m 程度であり、ロボット用無線システム側において、公共ブロードバンド移動通信システムの運用状況に配慮することで共用は可能と考えられる。

4.3.2 2.4GHz 帯システムと他の無線システムとの周波数共用条件

2.4GHz 帯システムと他の無線システムとの周波数共用条件について、以下の検討結果を得た（具体的な所要離隔距離の検討方法等については、参考資料 3 を参照）。

(ア) 2.4GHz 帯無線 LAN との周波数共用条件

a. 2.4GHz 帯無線 LAN への与干渉

2.4GHz 帯無線 LAN の ch1~ch13 に対するロボット用無線システムの不要発射による与干渉は、現に運用されている既存の無線システム間の干渉と同等程度であることから、共用は可能と考えられる。

一方で、ch14 への与干渉については、既存の無線局間の干渉のレベルを超え、最大で 30km 以上の離隔距離が必要となる。しかしながら、ch14 を利用する無線 LAN システムは、ch1~ch13 を使用する無線 LAN システムと比較して少数であることから、無線 LAN システム全体の影響は限定的であり、ロボット用無線システム側において、無線 LAN システムの運用状況を考慮した運用を行う事で共用は可能と考えられる。

b. 2.4GHz 帯無線 LAN からの被干渉

2.4GHz 帯無線 LAN からの被干渉のうち、最も影響の大きい場合の所要の離隔距離は、ch1~ch13 からの不要発射による被干渉において約 400m、ch14 からの被干渉において約 15km となる。上で記載したとおり、ch14 を利用する無線 LAN システムは、無線 LAN システム全体の一部であることからロボット用無線システムへの影響は限定的であり、双方の運用状況等を勘案すれば継続的に影響が生じる確率は低く、共用は可能と考えられる。

(イ) 構内無線局（移動体識別）との周波数共用条件

a. 構内無線局（移動体識別）への与干渉

構内無線局については、ロボット用無線システムからの不要発射が影響を与えることとなるが、当該不要発射の強度は、構内無線局と現に周波数を共用している 2.4GHz 帯無線 LAN からの干渉波のレベルよりも十分に小さいため、共用は可能と考えられる。

なお、所要の離隔距離としては 40m 程度（壁による透過損失を見込んだ場合は 6m 程度）となる。

b. 構内無線局（移動体識別）からの被干渉

構内無線局の不要発射による被干渉のうち、最も影響の大きい場合の所要の離隔距離は 1.9km 程度（壁による透過損失を見込んだ場合は 300m 程度）となるが、実際の利用環境を想定した場合、構内無線局側の指向性減衰を見込むことが可能であり、ロボット用無線システム側において、構内無線局の運用状況を考慮した運用を行う事で、共用は可能と考えられる。

(ウ) 電波ビーコンとの周波数共用条件

a. 電波ビーコンへの与干渉

電波ビーコンについては、ロボット用無線システムからの不要発射による影響を受ける。所要の離隔距離は最大で 120m 程度であり、ロボット用電波システム側において、電波ビーコンが設置されている高速道路付近での運用に配慮することで、共用は可能と考えられる。

b. 電波ビーコンからの被干渉

ロボット用無線システムは、電波ビーコンの不要発射による影響を受ける。所要の離隔距離は最大で 700m 程度であり、ロボット用無線システム側において、電波ビーコンが設置されている高速道路付近での運用に配慮することで、共用は可能と考えられる。

(エ) 移動衛星通信システム（ダウンリンク）との周波数共用条件

a. 移動衛星通信システム（ダウンリンク）への与干渉

移動衛星通信システム（ダウンリンク）については、最も影響が大きい場合（移動衛星通信システムの地上側端末の指向方向（衛星方向）にロボット用無線システムが存在）に

において、離隔距離が 500m 程の場合であっても、10dB 程度の改善量が必要となった。一方で、地上衛星通信システムの地上側端末の指向方向を避けることで指向性減衰による改善を見込むことが可能であることから、ロボット用無線システム側において、移動衛星通信システムの地上側端末との位置関係に考慮しつつ、その指向方向を避けて運用することで、共用は可能と考えられる。

b. 移動衛星通信システム（ダウンリンク）からの被干渉

移動衛星通信システム（ダウンリンク）がロボット用無線システムに与える影響については、衛星側の地表面における電力束密度が規定値以下であるという前提において有害な混信はないと考えられるため、共用は可能と考えられる。

4.3.3 5.7GHz 帯システムと他の無線システムとの周波数共用条件

5.7GHz 帯システムと他の無線システムとの周波数共用条件について、以下の検討結果を得た（具体的な所要離隔距離の検討方法等については、参考資料 4 を参照）。

(ア) 5GHz 帯無線 LAN との周波数共用条件

a. 5GHz 対無線 LAN への与干渉

5GHz 帯無線 LAN については、同一周波数帯を共用する場合と、不要発射による影響を与える場合と、双方の場合がある。許容干渉量を下回るための所要離隔距離は、空中線電力を 1W とすると、同一チャネル関係の場合で 13.5km 程度となる。一方で、5GHz 帯無線 LAN とロボット用無線システムが次隣接チャネルの関係の場合であって、壁の透過損失（17dB）を見込んだ場合、所要の離隔距離は 12m 程度となることから、この場合は十分に共用が可能である。

このため、5GHz 帯無線 LAN が運用されている環境下においては、ロボット用無線システム側において、空中線電力の限定や使用されている無線 LAN チャネルからの周波数離調の確保などの措置を講じ、5GHz 帯無線 LAN への干渉量を低減することで、ロボット用無線システムと 5GHz 帯無線 LAN の共用は可能と考えられる。

また、現在、5GHz 帯無線 LAN において使用可能な周波数帯は 5710MHz までとなっており、5GHz 帯無線 LAN への干渉を可能な限り回避するため、周波数離調をできるだけ確保する観点から、ロボット用無線システムとしては、使用可能周波数のうち高い周波数を優先して使用することが望ましい。

b. 5GHz 帯無線 LAN からの被干渉

5GHz 帯無線 LAN からの被干渉については、許容干渉量を下回るための所要離隔距離として、同一チャネル関係の場合で 4.7km 程度、隣接チャネル関係の場合で約 230m、次隣接チャネル関係の場合で約 40m（壁の透過損失を見込んだ場合は、それぞれ約 660m、約 30m、約 5m）となる。このため、5GHz 帯無線 LAN の運用されている環境下においては、当該無線 LAN が使用しているチャネルからの周波数離調を確保することなどにより、共用は可能と考えられる。

(イ) 狭域通信システムとの周波数共用条件

a. 狭域通信システムへの与干渉

狭域通信システムへの与干渉については、ロボット用無線システムの不要発射の強度の許容値を、狭域通信システムに配慮した値（5775MHz 以上 5815MHz 未満において、 $3\mu\text{W/MHz}$ 以下、5815MHz 以上において $0.63\mu\text{W/MHz}$ 以下）とすることにより、許容干渉

量を下回るための離隔距離は 100m 程度となる。

このため、ロボット用無線システムの不要発射の強度の許容値を、上の値とすることで、共用は可能と考えられる。

b. 狭域通信システムからの被干渉

狭域通信システムからの被干渉については、100m 程度の離隔距離の場合に、十分に許容干渉量を下回ると考えられることから、共用は可能と考えられる。

(ウ) 各種レーダー

公共業務用を目的とする無線標定業務の無線局に関し、その運用状況から周波数を共用して運用することは可能と考えられる。

4.4 その他留意事項

4.3 に記載したとおり、既存の無線システムと円滑な周波数共用を図るためには、ロボット用無線システム側において既存無線局の運用に配慮する必要がある。また、ロボット用無線システムは、今後、多種多様なロボットに搭載され、様々な用途で活用される可能性もあることからロボット用無線システム相互間での運用調整を行うことが必要となると考えられる。

このため、本検討によるロボット用無線システム(73MHz 帯ラジコン操縦用を除く)については、運用者を把握して円滑な運用調整を図るため、また、ドローンに関しては航空法においては目視範囲を超える長距離を飛行させる場合には許可が必要であること等を勘案し、本件無線システムにより長距離伝送が可能となることを踏まえ、無線局免許の取得を必要とすることが適当と考えられる。また、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、既存の無線システムやロボット用無線システム相互間の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。

また、2.4GHz 帯及び 5.7GHz 帯については、無線 LAN 等の他の無線システムと共用して運用されることから、一定程度の干渉を受ける可能性があることを考慮すべきである。このため、特に上空で使用する場合にあっては、画像伝送用無線システムと遠隔操縦用無線システム(テレコントロール)は、周波数を別にし、それぞれ独立した無線システムとするなど、安全性の確保を考慮したシステム構築¹³や運用を行う事が望ましい。

なお、169MHz 帯無線システムについては、上空で 1W の空中線電力を使用した場合、既存の無線システムと共用するための所要の離隔距離は、比較的大きな値となったが、バックアップ用無線としての用途を基本として考えていることから、空中線電力の上限を状況によって限定することは必ずしも望ましくないため、技術的条件を検討する上では空中線電力の上限を特段定めないこととする。一方で、メインの回線を保有しないような運用形態で使用する場合には、必要最低限の空中線電力のみの電波発射とするべきである。

¹³ 例えば、現在使用されている 2.4GHz 帯のラジコン用遠隔操縦用無線システムでは、周波数ホッピング方式を用いることで、被干渉への耐性を高めているものが存在する。

第5章 ロボットにおける電波利用システムの技術的条件

5.1 169MHz 帯バックアップ用通信システムの技術的条件

これまでの検討を踏まえ、169MHz 帯を使用するロボット用通信システムの技術的条件については、以下のとおりとすることが適当である。

5.1.1 一般的条件

(1) 無線周波数帯

169.050MHz～169.3975MHz 及び 169.8075MHz～170.000MHz であること。

(2) 通信方式

単向・同報・単信・複信の各方式とする。

5.1.2 無線設備の技術的条件

(1) 送信装置

ア 周波数の許容偏差

± 3.0×10^{-6} 以内であること。

イ 占有周波数帯幅の許容値

300kHz 以内であること。

ウ スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値

無線設備規則別表第3号に定めるとおり、以下のとおりとすることが適切である。

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

エ 空中線電力及びその許容偏差

空中線電力は、1W（等価等方輻射電力 3.25W）以下とし、その許容偏差は、上限 20%、下限 50%以下とすること。

オ 隣接チャンネル漏えい電力

(ア) 占有周波数帯幅が 100kHz 以内のものにあつては、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。

(イ) 占有周波数帯幅が 100kHz を超え 200kHz 以内のものにあつては、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。

(ウ) 占有周波数帯幅が 200kHz を超え、300kHz 以内のものにあつては、搬送波の周波数から 300kHz 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。

カ 送信空中線利得

5.12dBi 以下であること。

(2) 受信装置

- ア 副次的に発する電波等の限度
4 nW 以下であること。

5.1.3 測定法

国内で一般的に適用されている VHF 帯無線設備等の測定法に準ずることが適当であるが、今後、国際電気標準会議（IEC）等の国際的な動向を踏まえて対応することが望ましい。

測定に用いる変調入力信号は、特別の規定がない限り、データ端子から与えた標準符号化試験信号（符号長 511 ビット 2 値擬似雑音系列）とするか又は装置内で発生した標準符号化試験信号とする。また、専用の動作モード（テスト・モード）がある場合はそれによる。

なお、空中線接続端子がない場合の測定法は、試験時に測定用の空中線接続端子（臨時に設ける試験用端子を含む。）を設けることが困難な場合にのみ適用すること。

(1) 周波数の偏差

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷（インピーダンス整合回路又は減衰器等）を接続し、無変調波（搬送波）を送信した状態で周波数計を用いて平均値（バースト波にあってはバースト内の平均値）を測定すること。

イ 空中線接続端子がない場合

(ア) の条件又は適当な RF 結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

(ア) 測定条件

a 測定場所の条件

昭和 63 年郵政省告示第 127 号（発射する電波が著しく微弱な無線局の電界強度の測定方法）の条件に準じて、試験機器を木その他絶縁材料により作られた高さ 1.5 m の回転台の上に設置して測定することとし、測定距離 3 m 以上の電波暗室又は地面反射波を抑圧したテストサイトとすること。この場合において、テストサイトの測定用空中線は、指向性のものを用いること。また、試験機器の大きさが 60 cm を超える場合は、測定距離をその 5 倍以上として測定すること。

b 試験機器の条件

電源ケーブル、外部インタフェースケーブル等のケーブルが付属する場合、空中線の形状が変化する場合及び金属板等により放射特性が影響を受ける場合においては最大の放射条件となる状態を特定して測定すること。

(2) 占有周波数帯幅

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えたときに得られるスペクトル分布の全電力を、スペクトルアナライザ等を用いて測定し、スペクトル分布の上限及び下限部分におけるそれぞれの電力和が全電力の 0.5% となる周波数帯幅を測定すること。

なお、標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち占有周波数帯幅が最大となる信号で変調をかける。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件又は適当な RF 結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

(3) スプリアス発射又は不要発射の強度

帯域外領域におけるスプリアス発射の強度及びスプリアス領域における不要発射の強度の測定は、以下のとおりとすることが適当である。この場合において、参照帯域幅は技術的条件で定められた値に設定すること。スプリアス領域における不要発射の強度の測定を行う周波数範囲については、可能な限り 9 kHz から 110 GHz までとすることが望ましい。ただし、当面の間は 9 kHz から第 10 次高調波までとすることができる。

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、帯域外領域におけるスプリアス発射測定の際は無変調状態、スプリアス領域における不要発射測定の際は標準符号化試験信号を入力信号として加えた変調状態に設定し、スプリアス発射成分又は不要発射成分の平均電力（バースト波にあっては、バースト内の平均電力）を、スペクトルアナライザ等を用いて測定すること。

なお、標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には通常運用に使用される信号で変調をかける。

試験用端子が空中線接続端子と異なる場合は、空中線接続端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により等価等方輻射電力を測定し、スプリアス発射周波数又は不要発射周波数における送信空中線利得（試験申込者申告値）を除いて送信装置出力点での強度に換算を行うものとする。

(4) 空中線電力の偏差

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えた変調状態（4 値 FSK 変調方式にあっては、フレーム構造を含まない変調状態に設定してもよい。）とし、高周波電力計等を用いて平均電力を測定すること。

なお、標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち空中線電力が最大となる信号で変調をかける。

また、連続送信波によって測定することが望ましいが、バースト波にて測定する場合は、送信時間率（電波を発射している時間／バースト繰り返し周期）が最大となる値で一定の値としてバースト繰り返し周期よりも十分長い区間における平均電力を測定し、送信時間率の逆数を乗じてバースト内平均電力を算出する。

試験用端子が空中線接続端子と異なる場合は、空中線接続端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により等価等方輻射電力を測定し、送信空中線利得（工事設計書等に記載された値）を除いて送信装置出力点での空中線電力に換算を行うものとする。

ただし、偏波面の特定が困難な場合は、水平偏波及び垂直偏波にて求めた空中線電力の最大値に3 dB加算すること。

(5) 隣接チャンネル漏えい電力

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えた変調状態として、スペクトルアナライザ等を用いて搬送波の電力及び搬送波から隣接チャンネル間隔離れた周波数において技術的条件で定められる帯域内の電力を測定し、搬送波の電力との比を求め隣接チャンネル漏えい電力を算出すること。

なお、標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち占有周波数帯幅が最大となる信号で変調をかける。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

(6) 受信装置の副次的に発する電波等の限度

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、受信装置を連続受信状態として、スペクトルアナライザ等を用いて測定すること。

試験用端子が空中線接続端子と異なる場合は、空中線接続端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により副次発射の強度を測定し、副時発射周波数における受信空中線利得（試験申込者申告値）を除いて受信装置入力点での強度に換算を行うものとする。

5.2 2.4GHz 帯システムの技術的条件

これまでの検討を踏まえ、2.4GHz 帯を使用するロボット用電波利用システムの無線設備の技術的条件については、以下のとおりとすることが適当である。

5.2.1 一般的条件

(1) 無線周波数帯

2483.5MHz～2493.5MHz とする。

(2) 通信方式

単向・同報・単信・複信方式とする。

(3) 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。

(4) 周波数チャンネル配置

表 5.1 のとおり。

表 5.1 2.4GHz 帯ロボット用無線システムの周波数チャンネル配置

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

5.2.2 無線設備の技術的条件

(1) 送信装置

ア 周波数の許容偏差

±50×10⁻⁶以下であること。

イ 占有周波数帯幅の許容値

10MHz システム：9MHz 以下であること。

5MHz システム：4.5MHz 以下であること。

ウ 空中線電力及びその許容偏差

空中線電力は、1W（等価等方輻射電力 4W）以下とし、その許容偏差は、上限 20%、下限 80%以下とする。

エ スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値¹⁴

表 5.2 及び表 5.3 のとおり。

①10MHz システム

表 5.2 2.4GHz 帯ロボット用無線システムの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 μW 以下
2473.5MHz 以上 2478.5MHz 未満及び 2498.5MHz を超え 2500MHz 以下	150 μW 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 μW 以下

¹⁴ 参考資料 6 にスペクトルマスクを示す。

②5MHz システム

表 5.3 2.4GHz 帯ロボット用無線システムの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

オ 送信空中線利得

6dBi 以下とすることが適当である。

(2) 受信装置

ア 副次的に発する電波等の限度

副次的に発射する電波の強度は、2.4GHz 帯小電力データ通信システム (無線 LAN) と同様、1GHz 未満の周波数において 4nW 以下、1GHz 以上の周波数において、20nW 以下とする。

5.2.3 測定方法

国内で一般的に適用されている 2.4GHz 帯小電力データ通信システム等の測定法に準ずることが適当であるが、今後、国際電気標準会議 (IEC) 等の国際的な動向を踏まえて対応することが望ましい。

測定に使用する変調入力信号は、特別の規定がない限り、標準符号化試験信号 (符号長 511 ビット 2 値疑似雑音系列等) とするか又は装置内部で発生した標準符号化試験信号とする。また、専用の動作モード (テスト・モード) がある場合はそれによる。ただし、アナログ変調方式を用いる場合は、通常運用に使用される信号と同等の試験信号を用いる。

なお、空中線接続端子がない場合の測定法は、試験時に測定用の空中線接続端子 (臨時に設ける試験用端子を含む。) を設けることが困難な場合にのみ適用すること。

(1) 周波数の偏差

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷 (インピーダンス整合回路又は減衰器等) を接続し、無変調波 (搬送波) を送信した状態で周波数計を用いて平均値 (バースト波にあってはバースト内の平均値) を測定すること。

イ 空中線接続端子がない場合

(ア) の条件又は適当な RF 結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

(イ) 測定条件

a 測定場所の条件

昭和 63 年郵政省告示第 127 号 (発射する電波が著しく微弱な無線局の電界強度の測定方法) の条件に準じて、試験機器を木その他絶縁材料により作られた高さ 1.

5m の回転台の上に設置して測定することとし、測定距離 3m 以上の電波暗室又は地

面反射波を抑圧したテストサイトとすること。この場合において、テストサイトの測定用空中線は、指向性のものを用いること。また、試験機器の大きさが60cmを超える場合は、測定距離をその5倍以上として測定すること。

b 試験機器の条件

電源ケーブル、外部インタフェースケーブル等のケーブルが付属する場合、空中線の形状が変化する場合及び金属板等により放射特性が影響を受ける場合においては最大の放射条件となる状態を特定して測定すること。

(2) 占有周波数帯幅

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えたときに得られるスペクトル分布の全電力を、スペクトルアナライザ等を用いて測定し、スペクトル分布の上限及び下限部分におけるそれぞれの電力和が全電力の0.5%となる周波数帯幅を測定すること。

なお、アナログ変調方式を用いる場合等の標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち占有周波数帯幅が最大となる信号で変調をかける。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件又は適当なRF結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

(3) スプリアス発射又は不要発射の強度

スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度の測定は、以下のとおりとすることが適当である。この場合において、参照帯域幅は1MHzとし、スプリアス領域における不要発射の強度の測定を行う周波数範囲については、可能な限り9kHzから110GHzまでとすることが望ましい。ただし、当面の間は30MHzから第5次高調波までとすることができる。

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えたときの変調状態とし、不要発射成分の平均電力（バースト波にあっては、バースト内の平均電力）を、スペクトルアナライザ等を用いて測定すること。

なお、アナログ変調方式を用いる場合等の標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には通常運用に使用される信号で変調をかける。

試験用端子が空中線接続端子と異なる場合は、空中線接続端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により等価等方輻射電力を測定し、不要発射周波数における送信空中線利得（試験申込者申告値）を除いて送信装置出力点での強度に換算を行うものとする。

(4) 空中線電力の偏差

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えた変調状態とし、スペクトルアナライザ又は高周波電力計等を用いて平均電力を測定すること。

なお、アナログ変調方式を用いる場合等の標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち空中線電力が最大となる信号で変調をかける。

また、連続送信波によって測定することが望ましいが、バースト波にて測定する場合は、送信時間率（電波を発射している時間／バースト繰り返し周期）が最大となる値で一定の値としてバースト繰り返し周期よりも十分長い区間における平均電力を測定し、送信時間率の逆数を乗じてバースト内平均電力を算出する。

試験用端子が空中線接続端子と異なる場合は、空中線接続端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により等価等方輻射電力を測定し、送信空中線利得（工事設計書等に記載された値）を除いて送信装置出力点での空中線電力に換算を行うものとする。

ただし、偏波面の特定が困難な場合は、水平偏波及び垂直偏波にて求めた空中線電力の最大値に3dB加算すること。

(5) 受信装置の副次的に発する電波等の限度

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、受信装置を連続受信状態として、スペクトルアナライザ等を用いて測定すること。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により副次発射の強度を測定し、副時発射周波数における受信空中線利得（試験申込者申告値）を除いて受信装置入力点での強度に換算を行うものとする。

5.3 5.7GHz 帯システムの技術的条件

これまでの検討を踏まえ、5.7GHz帯を使用するロボット用電波利用システムの無線設備の技術的条件については、以下のとおりとすることが適当である。

5.3.1 一般的条件

(1) 無線周波数帯

5650MHz 以上 5755MHz 以下とする。

(2) 通信方式

単向・同報・単信・複信方式とする。

(3) 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。

(4) 周波数チャンネル配置

表 5.4 のとおりとすることが適当である。

なお、既存の無線システムとの共用の観点から、ロボット用無線システムとしては、より周波数の高いチャンネルで運用することが望ましい。

表 5.4 5.7GHz 帯ロボット用無線システムの周波数チャンネル配置

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 5725MHz までの 10MHz 間隔の 8 波並びに 5740MHz 及び 5750MHz
20MHz システム	5660MHz から 5720MHz までの 20MHz 間隔の 4 波及び 5745MHz

5.3.2 無線設備の技術的条件

(1) 送信装置

ア 周波数の許容偏差

±20×10⁻⁶ 以下とする。

イ 占有周波数帯幅の許容値

20MHz システム：19.7MHz 以下とする。

10MHz システム：9MHz 以下とする。

5MHz システム：4.5MHz 以下とする。

ウ 空中線電力及びその許容偏差

空中線電力は、1W（等価等方輻射電力 4W）以下とし、その許容偏差は、上限 50%、下限 50%以下とする。

エ 隣接チャンネル漏えい電力

隣接チャンネル漏えい電力は、以下のとおりとする。

搬送波の周波数から F1MHz 及び F2MHz 離れた周波数の±F3MHz 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。ただし、それぞれのシステムにおける F1、F2 及び F3 の値は表 5.5 のとおりとする。

表 5.5 各システムにおける F1、F2、F3 の値

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

オ スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値¹⁵
表 5.6 及び表 5.7 のとおりとする。

①20MHz 及び 10MHz システム

表 5.6 5.7GHz 帯ロボット用無線システムの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

②5MHz システム

表 5.7 5.7GHz 帯ロボット用無線システムの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
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

カ 送信空中線利得
6dBi 以下とする。

(2) 受信装置

ア 副次的に発する電波等の限度

副次的に発射する電波の強度は、1GHz 未満の周波数において 4nW 以下、1GHz 以上の周波数において、20nW 以下とする。

5.3.3 測定方法

国内で一般的に適用されている 5GHz 帯小電力データ通信システム等の測定法に準ずることが適当であるが、今後、国際電気標準会議 (IEC) 等の国際的な動向を踏まえて対応することが望ましい。

測定に使用する変調入力信号は、特別の規定がない限り、標準符号化試験信号 (符号長 511 ビット 2 値疑似雑音系列等) とするか又は装置内部で発生した標準符号化試験信号とする。また、専用の動作モード (テスト・モード) がある場合はそれによる。ただし、アナログ変調方式を用いる場合は、通常運用に使用される信号と同等の試験信号を用いる。

なお、空中線接続端子がない場合の測定法は、試験時に測定用の空中線接続端子 (臨時に設ける試験用端子を含む。) を設けることが困難な場合にのみ適用すること。

(1) 周波数の偏差

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷 (インピーダンス整合回路又は減衰器等) を接続し、無変調波 (搬送波) を送信した状態で周波数計を用いて平均値 (バースト波にあってはバースト内

¹⁵ 参考資料 6 にスペクトルマスクを示す。

の平均値)を測定すること。

イ 空中線接続端子がない場合

(ア)の条件又は適当なRF結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

(ア) 測定条件

a 測定場所の条件

昭和63年郵政省告示第127号(発射する電波が著しく微弱な無線局の電界強度の測定方法)の条件に準じて、試験機器を木その他絶縁材料により作られた高さ1.5mの回転台の上に設置して測定することとし、測定距離3m以上の電波暗室又は地面反射波を抑圧したテストサイトとすること。この場合において、テストサイトの測定用空中線は、指向性のものを用いること。また、試験機器の大きさが60cmを超える場合は、測定距離をその5倍以上として測定すること。

b 試験機器の条件

電源ケーブル、外部インタフェースケーブル等のケーブルが付属する場合、空中線の形状が変化する場合及び金属板等により放射特性が影響を受ける場合においては最大の放射条件となる状態を特定して測定すること。

(2) 占有周波数帯幅

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えたときに得られるスペクトル分布の全電力を、スペクトルアナライザ等を用いて測定しスペクトル分布の上限及び下限部分におけるそれぞれの電力和が全電力の0.5%となる周波数帯幅を測定すること。

なお、アナログ変調方式を用いる場合等の標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち占有周波数帯幅が最大となる信号で変調をかける。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件又は適当なRF結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

(3) スプリアス発射又は不要発射の強度

スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度の測定は、以下のとおりとすることが適当である。この場合において、参照帯域幅は1MHzとし、スプリアス領域における不要発射の強度の測定を行う周波数範囲については、可能な限り9kHzから110GHzまでとすることが望ましい。ただし、当面の間は30MHzから26GHzまでとすることができる。

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えたときの変調状態とし、不要発射成分の平均電力(バースト波にあっては、バースト内の平均電力)を、スペクトルアナライザ等を用いて測定すること。

なお、アナログ変調方式を用いる場合等の標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には通常運用に使用される信号で変調をかける。

試験用端子が空中線接続端子と異なる場合は、空中線接続端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により等価等方輻射電力を測定し、不要発射周波数における送信空中線利得（試験申込者申告値）を除いて送信装置出力点での強度に換算を行うものとする。

(4) 空中線電力の偏差

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えた変調状態とし、スペクトルアナライザ又は高周波電力計等を用いて平均電力を測定すること。

なお、アナログ変調方式を用いる場合等の標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち空中線電力が最大となる信号で変調をかける。

また、連続送信波によって測定することが望ましいが、バースト波にて測定する場合は、送信時間率（電波を発射している時間／バースト繰り返し周期）が最大となる値で一定の値としてバースト繰り返し周期よりも十分長い区間における平均電力を測定し、送信時間率の逆数を乗じてバースト内平均電力を算出する。

試験用端子が空中線接続端子と異なる場合は、空中線接続端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により等価等方輻射電力を測定し、送信空中線利得（工事設計書等に記載された値）を除いて送信装置出力点での空中線電力に換算を行うものとする。

ただし、偏波面の特定が困難な場合は、水平偏波及び垂直偏波にて求めた空中線電力の最大値に3 dB加算すること。

(5) 隣接チャネル漏えい電力

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、標準符号化試験信号を入力信号として加えた変調状態として、スペクトルアナライザ等を用いて搬送波の電力及び搬送波から隣接チャネル間隔又は次隣接チャネル間隔離れた周波数において技術的条件で定められる帯域内の電力を測定し、搬送波の電力との比を求め隣接チャネル漏えい電力を算出すること。

なお、アナログ変調方式を用いる場合等の標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には、通常運用に使用される信号のうち占有周波数帯幅が最大となる信号で変調をかける。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

(6) 受信装置の副次的に発する電波等の限度

ア 空中線接続端子がある場合

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、受信装置を連続受信状態として、スペクトルアナライザ等を用いて測定すること。

イ 空中線接続端子がない場合

(1)イ(ア)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザ等を用いる場合は、置換法により副次発射の強度を測定し、副次発射周波数における受信空中線利得（試験申込者申告値）を除いて受信装置入力点での強度に換算を行うものとする。

5.4 その他

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、表 5.8 のとおりとすることが適当である。

表 5.8 73MHz 帯無線操縦用周波数（産業の用に供するもの）

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つて、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つて、産業の用に供するものに限る。

※下線部が変更部分

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 構成員

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 (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 (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 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

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
 ロボット作業班 構成員（敬称略：主任以外は五十音順）

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) I S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

参考資料 1 : 各共用検討対象システムにおける共用検討用パラメータ

各共用検討対象システムにおける検討用パラメータを以下に示す。

① 169MHz 帯

(ア) 放送事業用連絡用無線

表参 1.1 放送事業用連絡用無線 共用検討用諸元

	基地局	車載機	携帯機
送信空中線電力	50W	50W	5W
送信周波数帯	168MHz 帯		166MHz 帯
受信周波数帯	166MHz 帯		168MHz 帯
占有周波数帯幅	5.8kHz		
空中線利得 (送受信)	10.2dBi	4.65dBi	2.15dBi
給電線系損失	3.0dB	1.0dB	0dB
フィルタ損失	4.5dB	0dB	0dB
隣接チャンネル 漏えい電力	-55dB	-55dB	-52dB
帯域外領域における スプリアス発射	2.5 μ W 以下又は基本周波数の平均電力より 60dB 低い値		
スプリアス領域に おける不要発射	2.5 μ W 以下又は基本周波数の搬送波電力より 60dB 低い値		
空中線高	50m	3m	1.5m
許容干渉レベル	-106.1dBm/MHz	-100.7dBm/MHz	

(イ) 公共業務用無線

表参 1.2 公共業務用無線 共用検討用諸元

項目	パラメータ
送信空中線電力	1W
周波数帯	169MHz 帯
占有周波数帯幅	16kHz
空中線利得 (送受信)	2.14dBi
受信感度 (許容干渉レベル)	6dB μ V (-127dBm ¹⁶)
帯域外領域における スプリアス発射	100 μ W (0dBm/MHz)
空中線高 (送受信)	2m

¹⁶ 受信感度における D/U を 20dB とした。

(ウ) 広帯域テレメーター

表参 1.3 広帯域テレメーター 共用検討用諸元

	計測用テレメーター	騒音テレメーター
送信空中線電力	1W	0.03W
周波数帯	169MHz 帯	
占有周波数帯幅	400kHz	30kHz
受信帯域幅	400kHz	30kHz
空中線利得 (送受信)	0dBi	
許容干渉レベル	55dB μ V/m	

(エ) 公共ブロードバンド移動通信システム

表参 1.4 公共ブロードバンド移動通信システム 共用検討用諸元

	基地局	移動局	
		可搬型以外	可搬型
送信空中線電力	20W	5W	
送受信周波数帯	172.5MHz~202.5MHz		
占有周波数帯幅	5MHz		
空中線利得 (送受信)	10.0dBi	0.0dBi	10.0dBi
給電線系損失	2.0dB	0.0dB	0.0dB
フィルタ損失	0.0dB	0.0dB	0.0dB
下側隣接周波数帯に対する最大漏えい電力	-44.0dBm/MHz	-20.0dBm/MHz	
空中線高	30m	1.5m	3m
許容干渉レベル	-101.8dBm/MHz		

② 2.4GHz 帯

(ア) 2.4GHz 帯無線 LAN

表参 1.5 2.4GHz 帯無線 LAN 共用検討用諸元

項目	パラメータ
空中線電力	①FH 方式 (2427MHz~2470.75MHz) のもの : 3mW/MHz 以下 ②スペクトル拡散方式のもの (①を除く) : 10mW/MHz 以下 ③OFDM のもの (①を除く) 占有周波数帯幅が 26MHz 以下 : 10mW/MHz 以下 占有周波数帯幅が 26MHz を超え 38MHz 以下 : 5mW/MHz 以下 ④上記以外のもの : 10mW 以下
空中線利得	2.14dBi
スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値	2387MHz 未満及び 2496.5MHz を超えるもの : 2.5 μ W/MHz 以下 2387MHz 以上 2400MHz 未満及び 2483.5MHz を超え、2496.5MHz 以下 : 25 μ W/MHz 以下

表参 1.6 2.4GHz 帯無線 LAN システムの受信特性

変調方式 (コーディングレート)	所要 D/U (dB)			受信感度 (dBm)	
	同一 チャンネル	隣接 チャンネル	次隣接 チャンネル	10MHz	20MHz
BPSK (1/2)	10	-16	-32	-85	-82
QPSK (1/2)	13	-13	-29	-82	-79
16QAM (1/2)	18	-8	-24	-77	-74
64QAM (2/3)	26	0	-16	-69	-66

(イ) 構内無線局 (移動体識別用)

表参 1.7 構内無線局等 共用検討用諸元

		構内無線局	特定小電力無線局
送信空中線電力		300mW	10mW
送受信周波数帯		2.4GHz 帯	
送受信 空中線利得	質問機	11dBi	11dBi
	応答機	2dBi	2dBi
給電線損失(送受信)		0dB	0dB
応答機損失		10dB	
伝搬マージン		10dB	
干渉マージン		10dB	
受信帯域幅		32kHz	
許容干渉入力 (空中線利得 11dBi を含む)		-98dBm	-97dBm

(ウ) 電波ビーコン

表参 1.8 電波ビーコン 共用検討用諸元

項目	パラメータ
送信空中線電力	20mW
周波数	2499.7MHz
占有周波数帯幅	85kHz
スプリアス領域における不要発射	2.5 μ W 以下
車載機受信利得	2dB
受信フィルタ減衰量	52.5dB
許容干渉入力	-90.4dBm

(エ) 移動衛星通信システム (ダウンリンク)

表参 1.9 移動衛星通信システム (ダウンリンク) 共用検討諸元

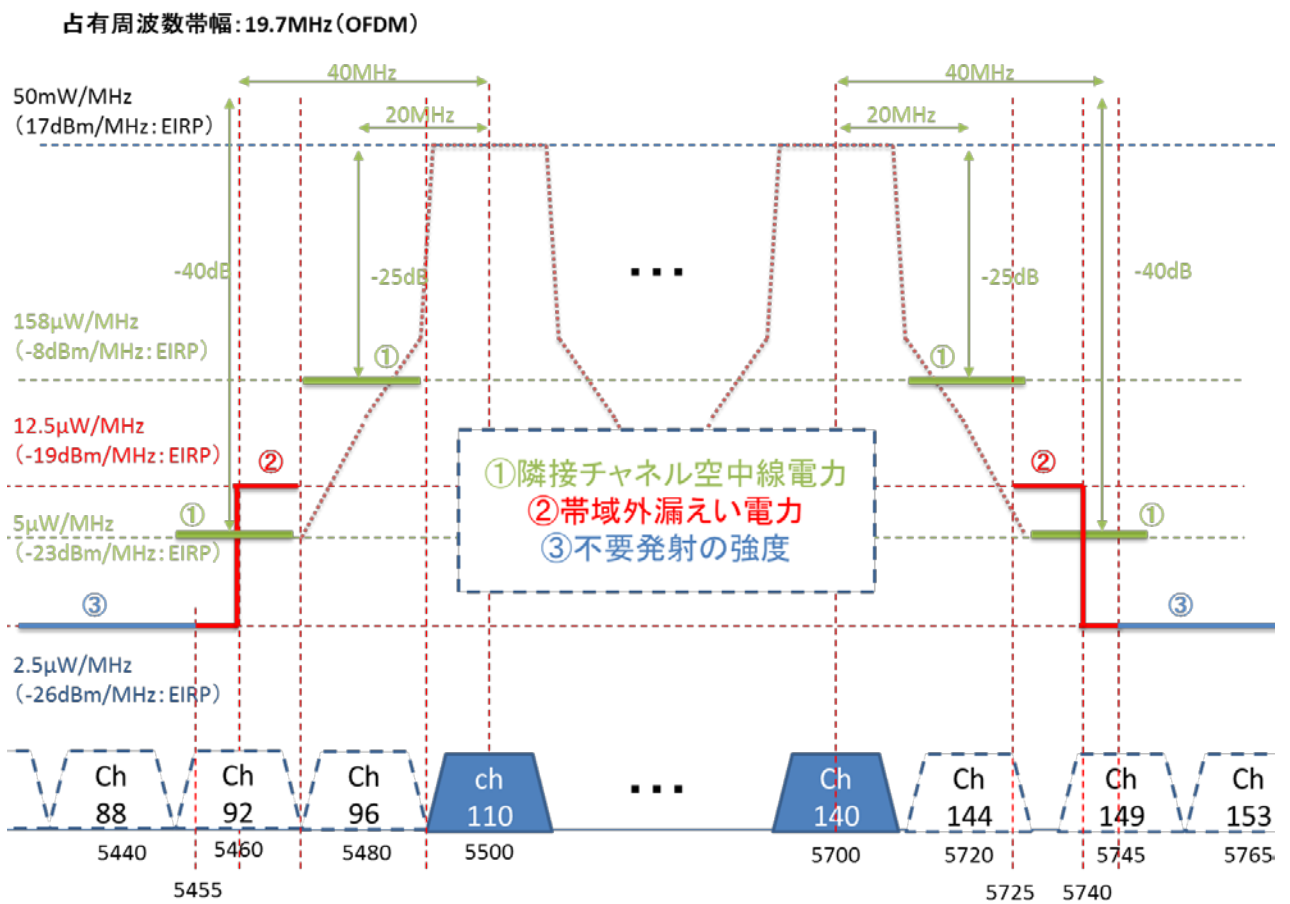
項目	パラメータ
受信利得	12.6dBi
給電線損失	0dB
許容干渉入力 (帯域内)	-124.9dBm/MHz
許容干渉入力 (~20MHz 離調)	-60dBm

③ 5.7GHz 帯

(ア) 5GHz 帯無線 LAN

表参 1.10 5GHz 帯無線 LAN システムの受信特性

変調方式 (コーディングレート)	所要 D/U (dB)			受信感度 (dBm) 20MHz
	同一 チャンネル	隣接 チャンネル	次隣接 チャンネル	
BPSK (1/2)	10	-16	-32	-82
QPSK (1/2)	13	-13	-29	-79
16QAM (1/2)	18	-8	-24	-74
64QAM (2/3)	26	0	-16	-66



図参 1.1 5GHz 帯無線 LAN 共用検討諸元

(イ) 狭域通信システム

表参 1.11 狭域通信システム 共用検討用諸元

		車載機	路側機	
			クラス 1	クラス 2
送信空中線電力		10mW 以下		300mW 以下
占有周波数帯幅		4.4MHz		
最大 EIRP		20dBm	30dBm	44.7dBm
隣接チャネル漏えい電力		隣接チャネル：-30dBm 以下 次隣接チャネル：-40dBm 以下		
帯域外領域における スプリアス発射強度		-25 μ W 以下		
スプリアス領域における不要発射強度		2.5 μ W 以下		25 μ W 以下
受信感度		-60dBm	-65dBm	-75dBm
隣接波 選択度	10MHz 離調	15dB		20dB
	30MHz 離調	20dB		20dB
	50MHz 離調	20dB		20dB
スプリアス レスポンス	ISM バンド帯域内	24dB	28dB	30dB
	ISM バンド帯域外	18dB	16dB	18dB

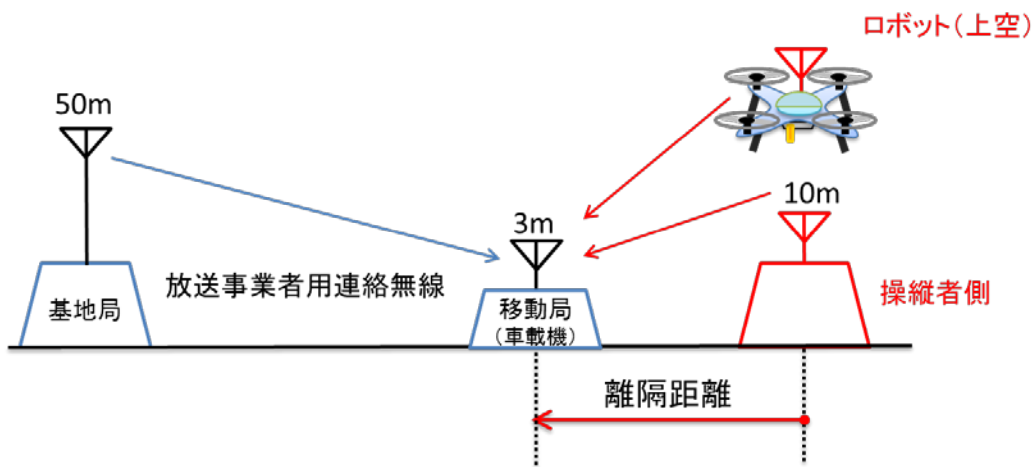
参考資料 2 : 169MHz 帯における共用検討について

169MHz 帯ロボット用無線システムと各共用検討対象システムとの間で共用検討を行い、以下の結果を得た。

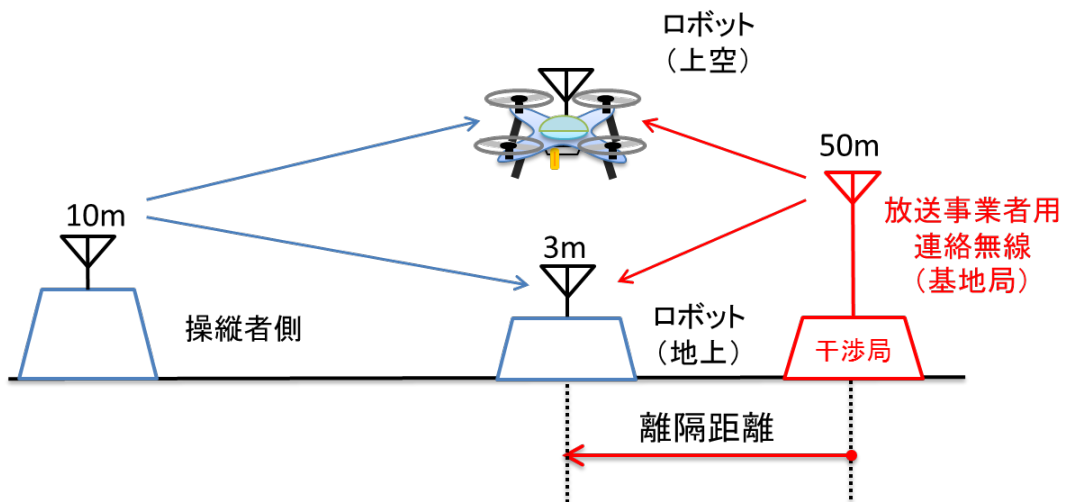
(ア) 放送事業用連絡用無線との共用検討

(1) 共用検討モデル

図参 2.1 及び図参 2.2 のモデルにより干渉検討を行った。電波伝搬モデルについては、地上間の伝搬については、奥村・秦モデルの郊外型を、上空と地上の間については自由空間モデルを使用した。



図参 2.1 放送事業用連絡用無線への与干渉モデル



図参 2.2 放送事業用連絡用無線局からの被干渉モデル

(2) 共用検討結果

(1) の干渉検討モデルに基づき共用検討を行ったところ、表参 2.1~2.4 のとおりの結果が得られた。

表参 2.1 ロボット（上空）から放送事業用連絡用無線への与干渉

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰（自由空間）		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
ロボット (上空)	連絡用無線 (車載機)	-15.0	5.1	1.0	4.7	1.0	1.0	77.0	-84.2	-100.7	16.5
							2.0	83.0	-90.2		10.5
							5.0	91.0	-98.2		2.5
							7.0	93.9	-101.1		-0.4
							8.0	95.1	-102.3		-1.6

表参 2.2 ロボット（操縦者側）から放送事業用連絡用無線への与干渉

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰（奥村・秦）		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
ロボット (操縦者側)	連絡用無線 (車載機)	-15.0	5.1	1.0	4.7	1.0	0.05	54.9	-62.1	-100.7	38.6
							0.1	66.4	-73.6		27.1
							0.3	84.7	-91.9		8.8
							0.5	93.2	-100.4		0.3
							0.7	98.8	-106.0		-5.3
							1.0	104.7	-112		-11.3

表参 2.3 放送事業用連絡用無線からロボット（上空）への被干渉

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰（自由空間）		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
連絡用無線 (基地局)	ロボット (上空)	-3	10.2	7.5	5.1	1.0	1.0	77.0	-73.2	-105.3	32.1
							5.0	91.0	-87.2		18.1
							10	97.0	-93.2		12.1
							20	103.0	-99.2		6.1
							30	106.5	-102.7		2.6
							40	109.0	-105.2		0.1
							50	111.0	-107.2		-1.9

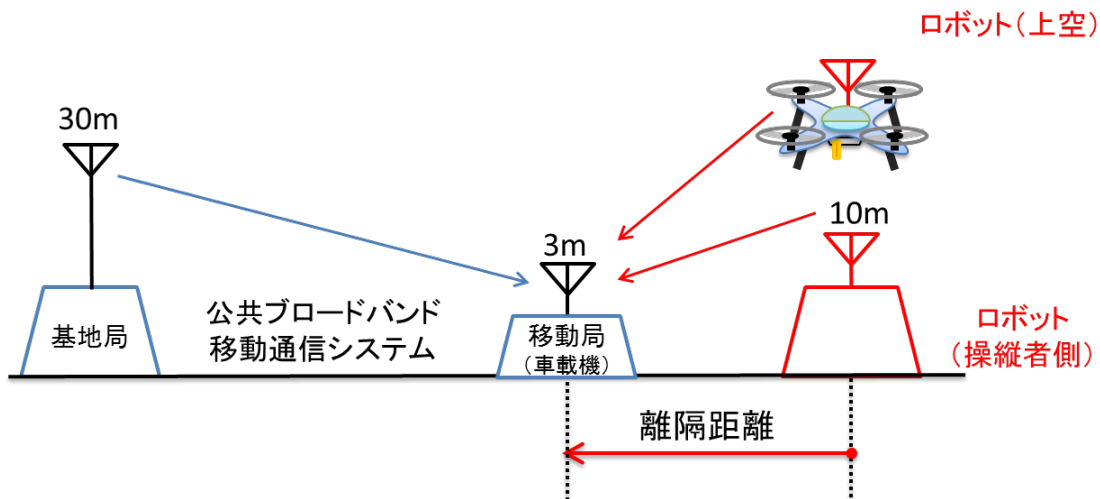
表参 2.4 放送事業用連絡用無線からロボット（操縦者）への被干渉

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰（奥村・秦）		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
連絡用無線 (基地局)	ロボット (操縦者側)	-3	10.2	7.5	5.1	1.0	0.1	61.4	-67.6	-105.3	47.7
							0.3	77.5	-83.7		31.6
							0.5	85.0	-91.2		24.1
							1	95.2	-101.4		13.9
							2	105.3	-111.5		3.8
							3	111.3	-107.5		-2.2

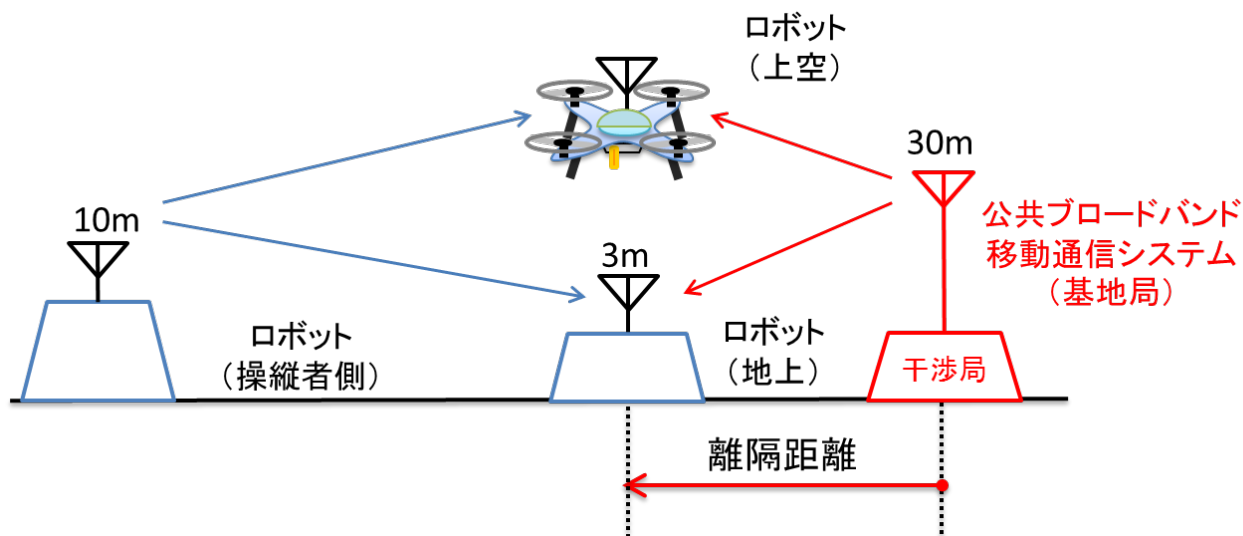
(イ) 公共ブロードバンド移動通信システムとの共用検討

(1) 共用検討モデル

図参 2.3 及び図参 2.4 のモデルにより干渉検討を行った。電波伝搬モデルについては、地上間の伝搬は、奥村・秦モデルの郊外型を、上空と地上の間は自由空間モデルを使用した。



図参 2.3 公共ブロードバンド移動通信システムへの与干渉モデル



図参 2.4 公共ブロードバンド移動通信システムからの被干渉モデル

(2) 共用検討結果

(1) の干渉検討モデルに基づき共用検討を行ったところ、表参 2.5～2.8 のとおりの結果が得られた。

表参 2.5 ロボット（上空）から公共 BB への与干渉

与干渉	被干渉	送信			受信			距離減衰（自由空間）		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)				
ロボット （上空）	公共 BB 移動局 （可搬型）	-15.0	5.1	1.0	10.0	0.0	1.0	77.0	-77.9	-101.8		23.9
							2.0	83.0	-83.9			17.9
							5.0	90.9	-91.8			10.0
							7.0	93.9	-94.8			7.0
							10.0	97.0	-97.9			3.9
							15.0	100.5	-101.4			0.4
							16.0	101.0	-101.9			-0.1
							17.0	101.6	-102.5			-1.7

表参 2.6 ロボット（操縦者側）から公共 BB への与干渉

与干渉	被干渉	送信			受信			距離減衰（奥村・秦）		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)				
ロボット （操縦者側）	公共 BB 移動局 （可搬型）	-15.0	5.1	1.0	10.0	0.0	0.1	66.4	-67.3	-101.8		34.5
							0.3	84.7	-85.6			16.2
							0.5	93.2	-94.1			7.7
							0.7	98.8	-99.7			2.1
							1.0	104.7	-105.6			-3.8

表参 2.7 公共 BB からロボット（上空）への被干渉

与干渉	被干渉	送信			受信			距離減衰（自由空間）		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)				
公共 BB （基地局）	ロボット （上空）	-44	10.0	2.0	5.1	1.0	0.1	57.0	-88.9	-105.3		16.4
							0.3	66.5	-98.4			6.9
							0.5	70.9	-102.8			2.5
							0.7	73.9	-105.8			-0.5
							1.0	77.0	-108.9			-3.6

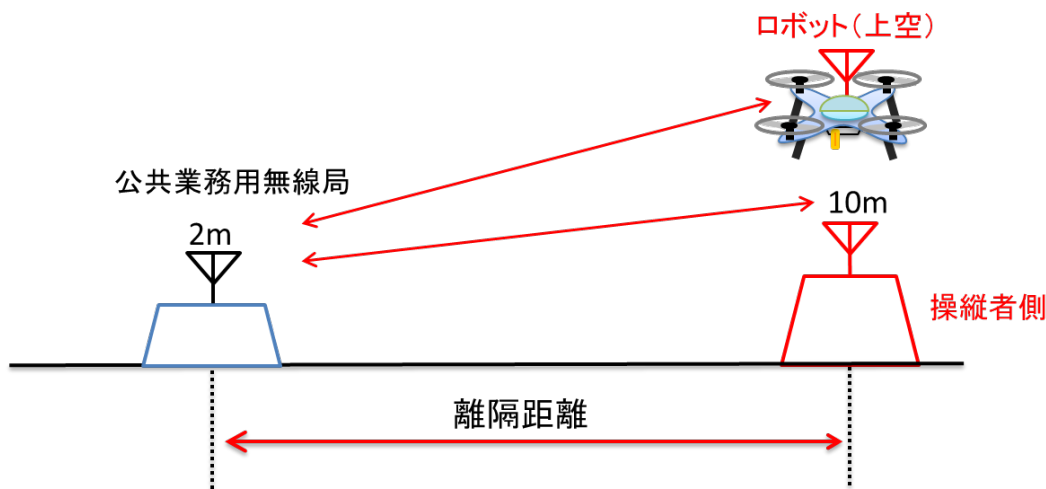
表参 2.8 公共 BB からロボット（操縦者側）への被干渉

与干渉	被干渉	送信			受信			距離減衰（自由空間）		受信電力 (dBm/MHz)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)				
公共 BB （基地局）	ロボット （操縦者側）	-44	10.0	2.0	5.1	1.0	0.01	27.7	-59.6	-105.3		45.7
							0.05	52.3	-84.2			21.1
							0.1	62.9	-88.9			10.5
							0.3	79.7	-98.4			-6.3
							0.5	87.6	-102.8			-14.2

(ウ) 公共業務用無線局との共用検討

(1) 共用検討モデル

図参 2.5 のモデルにより干渉検討を行った。電波伝搬モデルについては、地上間の伝搬は、拡張秦モデルの郊外型を、上空と地上の間は自由空間モデルを使用した。



図参 2.5 公共業務用無線局との干渉モデル

(2) 共用検討結果

(1) の干渉検討モデルに基づき共用検討を行ったところ、表参 2.9~2.12 のとおりの結果が得られた。

表参 2.9 ロボット（上空）から公共業務用無線局への与干渉

与干渉	被干渉	送信				受信		距離減衰（自由空間）		受信電力 (dBm)	許容干渉量 (dBm)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	帯域換算 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
ロボット (上空)	公共業務用無線局	-15.0	-17.9	5.1	1.0	2.14	0.0	1	77.0	-103.7	-127	23.3
								2	83.0	-109.7		17.3
								5	91.0	-117.7		9.3
								10	97.0	-123.7		3.3
								15	100.5	-127.2		-0.2
								16	101.1	-127.8		-0.8
								17	101.6	-128.3		-1.3
								18	102.1	-128.8		-1.8

表参 2.10 ロボット（操縦者側）から公共業務用無線局への与干渉

与干渉	被干渉	送信				受信		距離減衰（拡張秦）		受信電力 (dBm)	許容干渉量 (dBm)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	帯域換算 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
ロボット (操縦者側)	公共業務用無線局	-15.0	-17.9	5.1	1.0	2.14	0.0	0.1	64.2	-90.8	-127	36.2
								0.3	81.1	-107.7		19.3
								0.5	88.9	-115.5		11.5
								0.7	94.0	-120.6		6.4
								1.0	99.4	-126		1
								2.0	110.0	-136.7		-9.7

表参 2.11 公共業務用無線局からロボット（上空）への被干渉

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰（自由空間）		受信電力 (dBm)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
公共業務 用無線局	ロボット (上空)	0	2.14	0.0	5.1	1	1	77.0	-70.8	-105.3	34.5
							3	86.5	-80.3		25.0
							5	91.0	-84.8		20.5
							10	97.0	-90.8		14.5
							20	103.0	-96.8		8.5
							30	106.5	-100.3		5.0
							40	109.0	-102.8		2.5
							50	111.0	-104.8		0.5
							60	112.6	-106.4		-1.1

表参 2.12 公共業務用無線局からロボット（操縦者側）への被干渉

与干渉	被干渉	送信			受信		距離減衰（奥村・秦）		受信電力 (dBm)	許容干渉量 (dBm/MHz)	所要改善量 (dB)
		漏えい電力 (dBm/MHz)	利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	距離 (km)	伝搬損失 (dB)			
公共業務 用無線局	ロボット (操縦者)	0	2.14	0.0	5.1	1	0.1	64.2	-57.0	-105.3	48.3
							0.3	81.1	-73.9		31.4
							0.5	88.9	-81.7		23.6
							0.7	94	-86.8		18.5
							1	99.4	-92.2		13.1
							2	110.1	-102.9		2.4
							3	116.2959	-109.1		-3.8

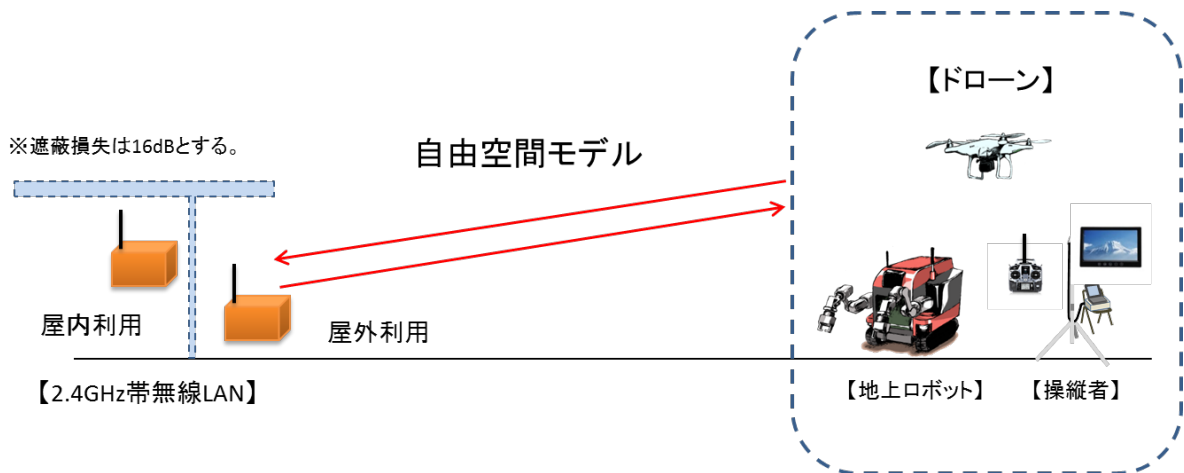
参考資料 3 : 2.4GHz 帯における共用検討について

2.4GHz 帯ロボット用無線システムと各共用検討対象システムとの間で共用検討を行い、以下の結果を得た。

(ア) 2.4GHz 帯無線 LAN との共用検討

(1) 共用検討モデル

図参 3.1 のモデルにより干渉検討を行った。電波伝搬モデルについては、ロボット・2.4GHz 帯無線 LAN の間を自由空間モデル、2.4GHz 帯無線 LAN 相互間の通信における屋内伝搬を 3.5 乗損失モデルとした。また、屋根・壁による損失を見込む場合、透過損失を 16dB とした。



図参 3.1 2.4GHz 帯無線 LAN との共用検討モデル

(2) 共用検討結果

(1) の干渉検討モデルに基づき共用検討を行ったところ、表参 3.1 及び表参 3.2 のとおりの結果が得られた。

表参 3.1 2.4GHz 帯無線 LAN への与干渉

許容干渉電力 (受信アンテナ利得 2.14dBi 込み) (dBm)		ロボット側の電力に応じた所要離隔距離 (km)				
		遮蔽	100mW EIRP	354mW EIRP	1W EIRP	4W EIRP
同一波干渉 (ch14 への干渉)	-94.14	なし	5.0	9.8	15.7	31.3
		あり (-16dB)	0.8	1.6	2.5	5.0
隣接波干渉 (ch13 への干渉)	-68.14	なし	0.2	0.5	0.8	1.6
		あり (-16dB)	0.04	0.08	0.1	0.2
次隣接波干渉 (ch9 への干渉)	-52.14	なし	0.04	0.08	0.1	0.2
		あり (-16dB)	0.006	0.01	0.02	0.04

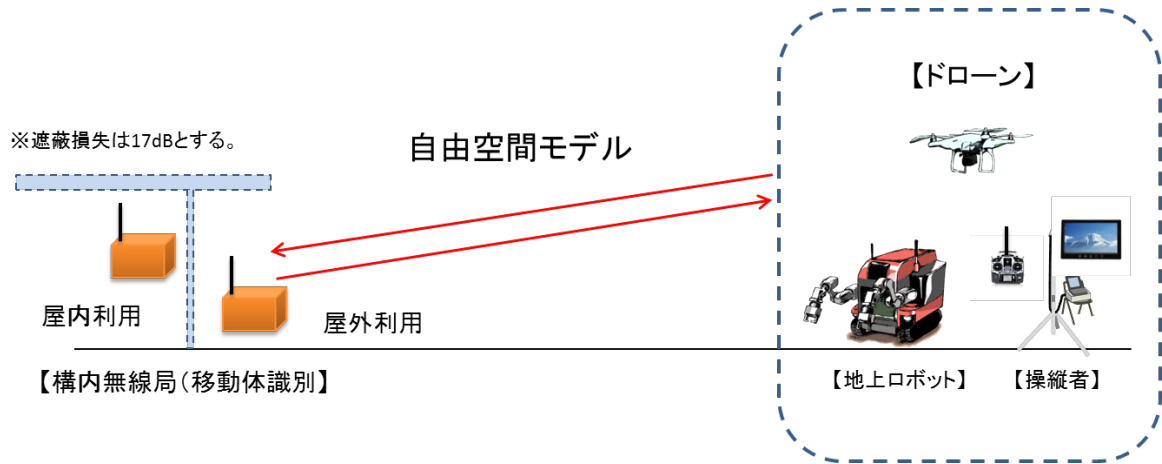
表参 3.2 2.4GHz 帯無線 LAN からの被干渉

許容干渉電力 (受信アンテナ利得 6dBi 込み) (dBm)		所要局間距離 (km)
同一波干渉 (ch14 からの干渉)	-98	4.9
隣接波干渉 (ch13 からの干渉)	-72.0	0.4
次隣接波干渉 (ch9 からの干渉)	-56.0	0.06

(イ) 構内無線局（移動体識別）との共用検討

(1) 共用検討モデル

図参 3.2 のモデルにより共用検討を行った。電波伝搬モデルについては、自由空間モデルとし、屋根・壁等による損失を見込む場合、遮蔽損失を 17dB とした。



図参 3.2 構内無線局（移動体識別）との共用検討

(2) 共用検討結果

(1) の干渉検討モデルに基づき共用検討を行ったところ、表参 3.3 及び表参 3.4 のとおりの結果が得られた。

表参 3.3 構内無線局（移動体識別）への与干渉

与干渉	帯域外輻射電力 (送信空中利得 6dBi 込) (dBm/MHz)	帯域換算 (32kHz) (dB)	遮蔽損失 (dB)	許容干渉レベル (受信空中線利得 11dBi 込) (dBm)	所要伝搬損失 (dB)	所要離隔距離 (m)
ロボット (10MHz システム)	-14	-15	0	-98	69	27
			17		52	4
ロボット (5MHz システム)	-11		0		72	39
			17		55	6

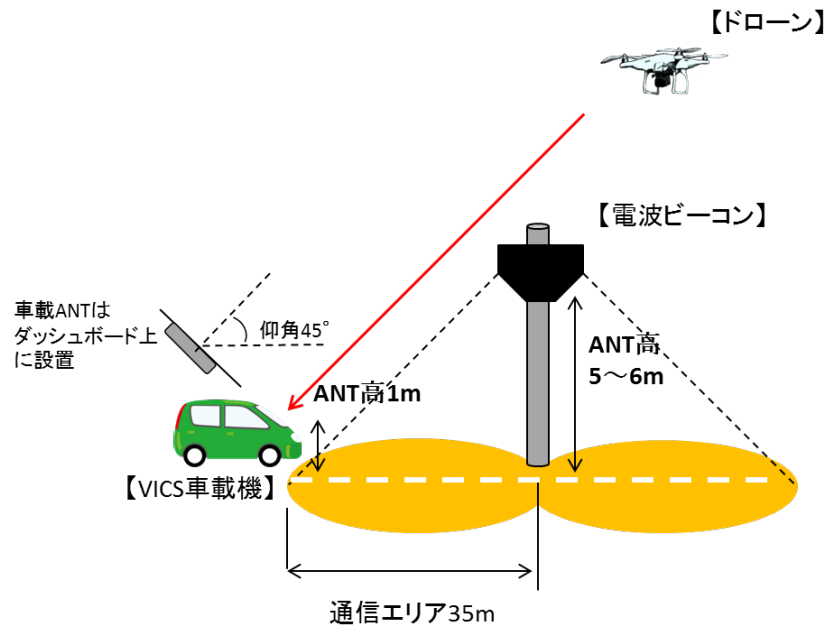
表参 3.4 構内無線局（移動体識別）からの被干渉

被干渉	帯域外輻射電力 (送信空中線利得 11dBi 込) (dBm)	遮蔽損失 (dB)	許容干渉レベル (受信空中線利得 6dBi 込) (dBm)	所要伝搬損失 (dB)	所要離隔距離 (m)
ロボット (10MHz システム)	5	0	101	106	1914
		17		89	270
ロボット (5MHz システム)	2	0		103	1356
		17		86	192

(ウ) 電波ビーコンとの共用検討

(1) 共用検討モデル

図参 3.3 のモデルにより電波ビーコンに対する共用検討を行った。電波伝搬モデルについては、自由空間モデルとし、VICS 車載機の空中線指向性方向にドローンが位置する場合を想定した。また、ロボット用無線システムの不要発射による電波ビーコンの帯域内での干渉（干渉タイプ A とする。）と、感度抑圧による帯域外での干渉（干渉タイプ B とする。）の双方の評価を行った。



図参 3.3 電波ビーコンとの共用検討

(2) 共用検討結果

(1) の干渉検討モデルに基づき共用検討を行ったところ、表参 3.5 のとおりの結果が得られた。

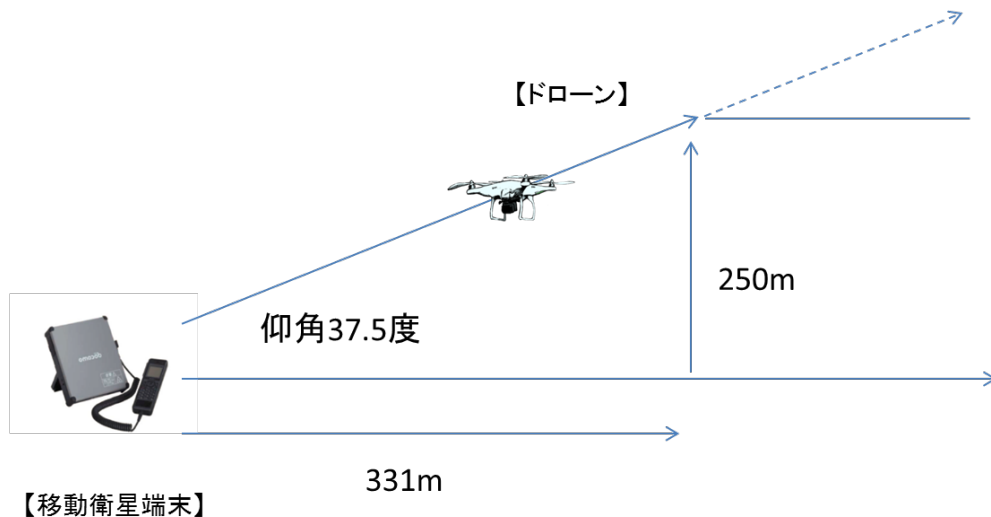
表参 3.5 電波ビーコンへの与干渉検討

干渉タイプ		送信 EIRP (dBm)	周波数離調による減衰(dB)	受信利得 (dBi)	帯域換算 (dB)	受信フィルタ減衰量 (dB)	許容干渉雑音レベル (dBm)	所要伝搬損失 (dB)	所要離隔距離 (A,Bの合算) (m)
10MHz システム	A	36	28	2	-20.2	/	-90.4	80.2	114.0
	B		/		52.5	75.9			
5MHz システム	A		40		-17.2	/		71.2	69.0
	B		/		52.5	75.9			

(エ) 移動衛星通信システム（ダウンリンク）との共用検討

(1) 共用検討モデル

図参 3.4 のモデルにより、移動衛星通信システム（ダウンリンク）との共用検討を行った。電波伝搬モデルについては、拡張秦モデル（郊外型）とし、上空での利用については、高度 250m を上限に、移動衛星通信端末の空中線指向性方向にドローンが位置する場合を基本（仰角は、最も影響の大きくなる稚内での仰角 37.5 を想定）として検討を行った。また、ロボット用無線システムの不要発射による帯域内での干渉（干渉タイプ A とする。）と、感度抑圧による帯域外での干渉（干渉タイプ B とする。）の双方の評価を行った。



図参 3.4 移動衛星端末との共用検討

(2) 共用検討結果

(1) の干渉検討モデルに基づき共用検討を行ったところ、表参 3.6 のとおりの結果が得られた。

表参 3.6 移動衛星通信システム（ダウンリンク）との共用検討

与干渉タイプ			各離隔距離における干渉回避のための所要改善量(dB)					
			10m	100m	250m	331m	500m	750m
ロボット上空 利用	10MHz	A	59.2	26.4	17.4	15.0	9.4	4.1
		B	46.3	13.5	4.4	2.1	-3.5	-8.8
	5MHz	A	62.2	29.4	20.4	18.0	12.4	7.1
		B	49.3	16.5	7.4	5.1	-0.5	-5.8
ロボット(地上 高 10m)	10MHz	A	58.7	7.8	-7.6	-12.2	-18.7	-25.1
		B	45.8	-5.1	-20.5	-25.1	-31.6	-38.0
	5MHz	A	61.7	10.8	-4.6	-9.2	-15.7	-22.1
		B	48.8	-2.1	-17.5	-22.1	-28.6	-35.0

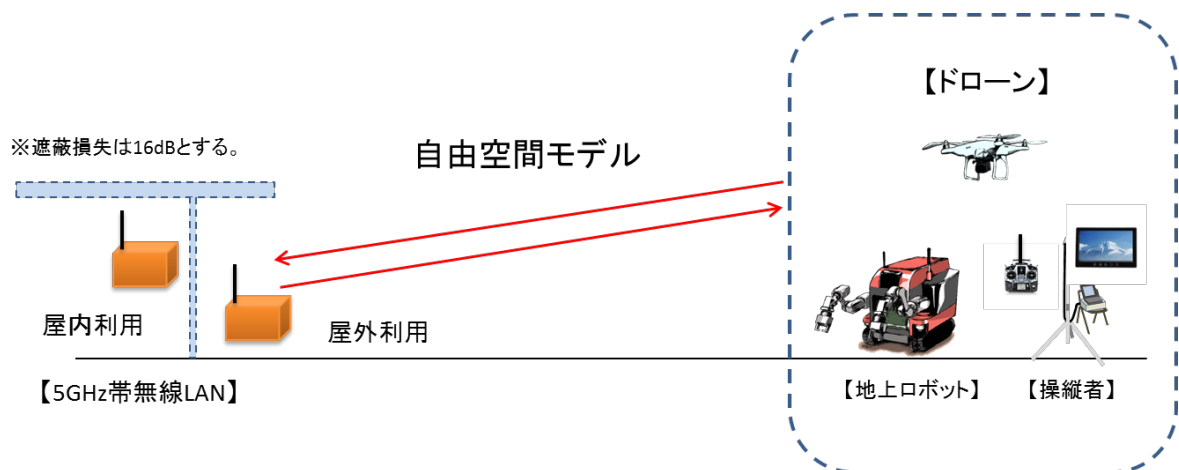
参考資料 4 : 5.7GHz 帯における共用検討について

5.7MHz 帯ロボット用無線システムと各共用検討対象システムとの間で共用検討を行い、以下の結果を得た。

(ア) 5GHz 帯無線 LAN との共用検討

(1) 共用検討モデル

図参 4.1 のモデルにより干渉検討を行った。電波伝搬モデルについては、ロボット・5GHz 帯無線 LAN の間を自由空間モデル、2.4GHz 帯無線 LAN 相互間の通信における屋内伝搬を 3.5 乗損失モデルとした。また、屋根・壁による損失を見込む場合、透過損失を 16dB とした。



図参 4.1 5GHz 帯無線 LAN との共用検討モデル

(2) 共用検討結果

(1) の干渉検討モデルに基づき共用検討を行ったところ、表参 4.1 及び表参 4.2 のとおりの結果が得られた。

表参 4.1 5GHz 帯無線 LAN への与干渉

許容干渉電力 (受信アンテナ利得 2.14dBi 込み) (dBm)	遮蔽	ロボット側の電力に応じた所要離隔距離(km)			
		200mW EIRP	1W EIRP	4W EIRP	
同一波干渉	-94.14	なし	3.0	6.7	13.4
	あり (-17dB)	0.4	9.6	1.9	
隣接波干渉	-68.14	なし	0.2	0.3	0.7
	あり (-76dB)	0.02	0.05	0.1	
次隣接波干渉	-52.14	なし	0.02	0.05	0.1
	あり (-17dB)	0.003	0.008	0.001	

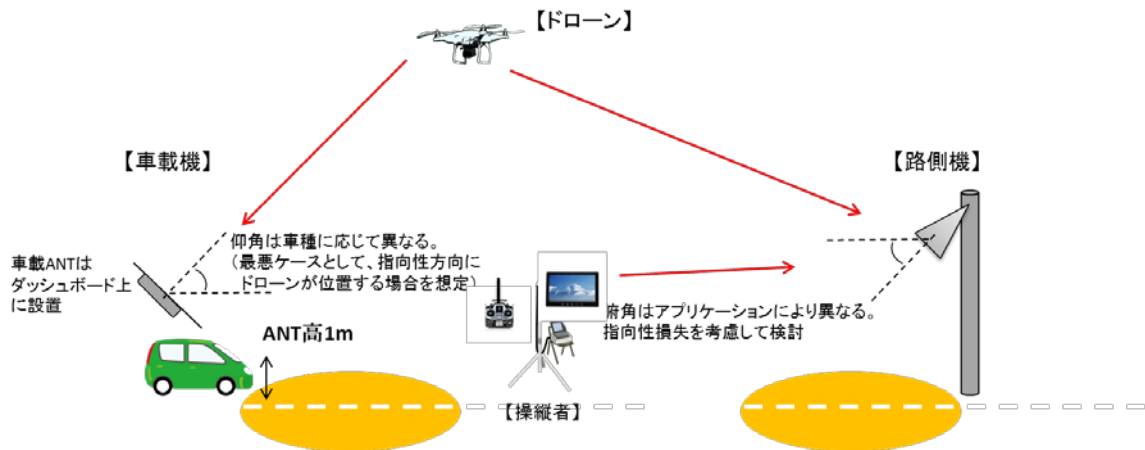
表参 4.2 5GHz 帯無線 LAN から被干渉

許容干渉電力 (受信アンテナ利得 6dBi 込み) (dBm)		遮蔽	所要局間距離 (km)
同一波干渉	-98.0	なし	4.7
		あり (-17dB)	0.7
隣接波干渉	-72.0	なし	0.2
		あり (-17dB)	0.03
次隣接波干渉	-56.0	なし	0.04
		あり (-17dB)	0.005

(イ) 狭域通信システムとの共用検討

(1) 共用検討モデル

図参 4.2 のモデルにより狭域通信システムとの共用検討を行った。電波伝搬モデルについては、自由空間モデルとし、車載機との共用検討については、最悪ケースとして、車載機の指向性方向にドローンが位置する場合を想定し、路側機との共用検討については、指向性損失を見込んで共用検討を行った。



図参 4.2 狭域通信システムとの共用検討モデル

(2) 共用検討結果

(1) の干渉検討モデルに基づき共用検討を行ったところ、表参 4.3 及び表参 4.3 のとおりの結果が得られた。

表参 4.3 狭域通信システムへの与干渉

干渉タイプ		所要離隔距離 (m)		離隔距離 100m に対する 所要改善量 (dB)	
		ダウンリンク	アップリンク	ダウンリンク	アップリンク
20MHz	A	124	688	1.9	16.8
	B	257	1431	8.2	23.1
10MHz	A	180	1000	5.1	23.0
	B	257	1431	8.2	23.1
5MHz	A	254	1415	8.1	23.1
	B	257	1431	8.2	23.0

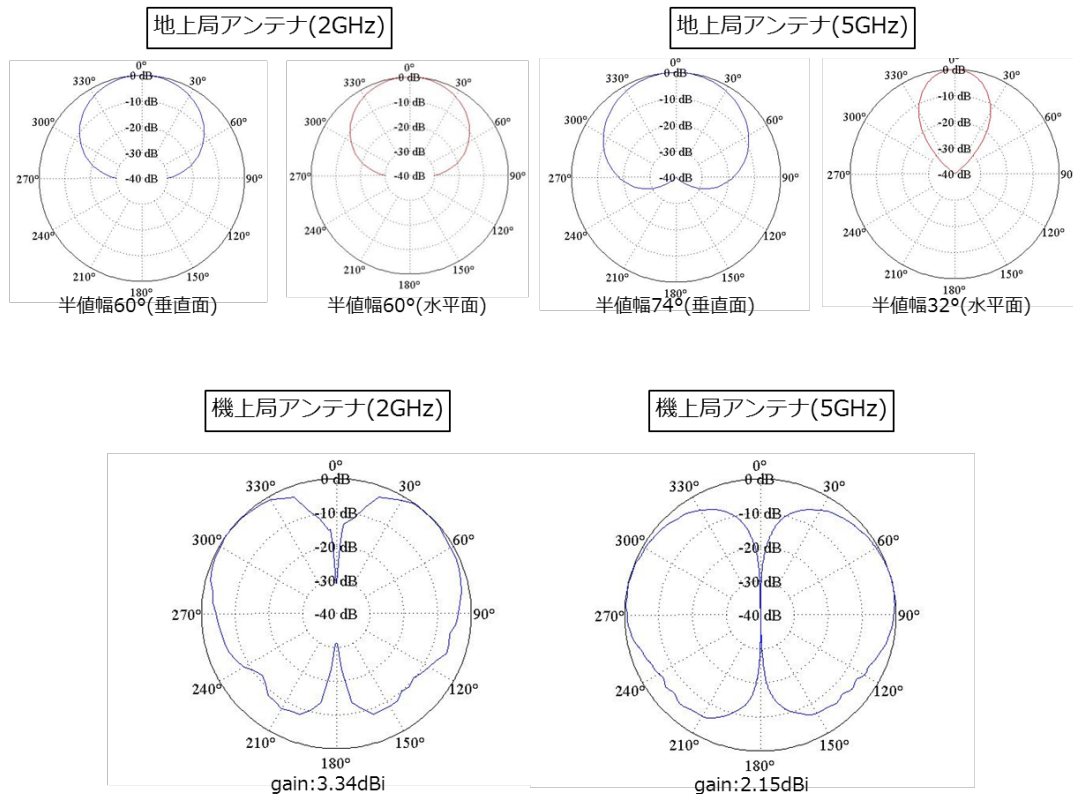
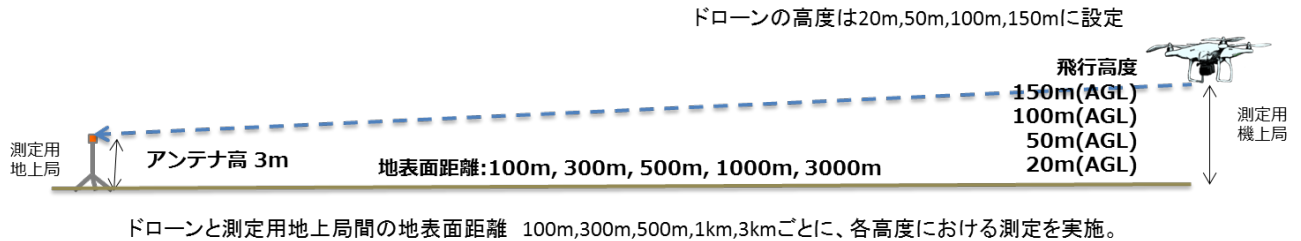
表参 4.4 狭域通信システムからの被干渉

与干渉 (DSRC)	被干渉 (ロボット)	狭域通信システム 帯域外漏えい 電力(dBm)	許容干渉レベル (dBm)	所要減衰量 (dB)	所要 離隔距離 (m)
路側機	20MH システム	2	-92	94	208
	10MHz システム	-1.5	-95	93.5	197
	5MHz システム	-4.5	-98	93.5	197
車載機	20MH システム	-18	-92	74	21
	10MHz システム	-21.5	-95	73.5	20
	5MHz システム	-24.5	-98	73.5	20

参考資料 5 : 2GHz 帯及び 5GHz 帯における伝搬特性について

(ア) 測定条件

図参 5.1 の条件により、ドローンを用いて 2GHz 帯及び 5GHz 帯における電波伝搬特性の測定を行った（測定、データ提供：国立研究開発法人情報通信研究機構）。

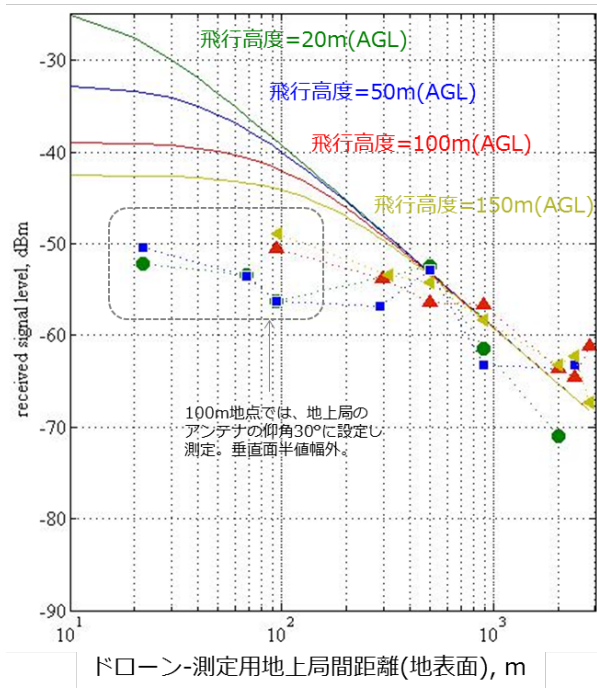


図参 5.1 測定条件

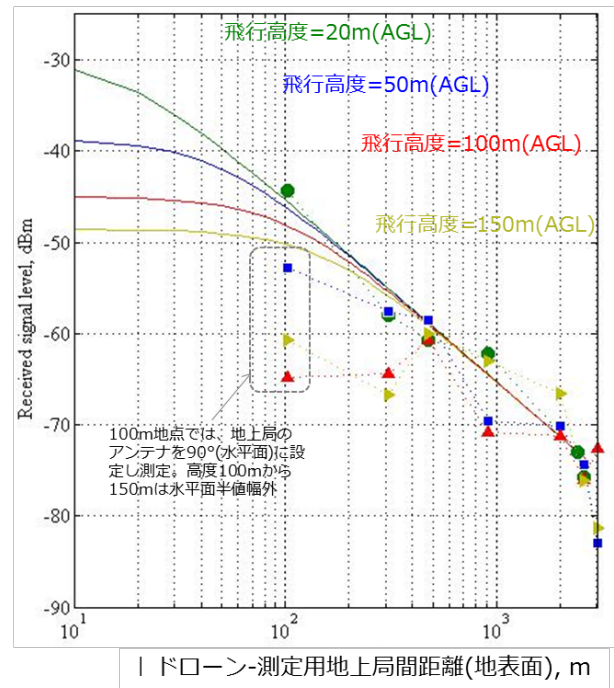
(イ) 測定結果

各測定点における測定結果及び自由空間モデルの理論カーブ（空中線指向特性による補正後）を図参 5.2 に示す。近距離（100m 未満）においては、実測値と理論値との間に差が見られるが、数百メートル以上離れた場合には、実測値と理論値がほぼ一致することが確認された。

2GHz帯 (機上局→地上局)



5GHz帯 (地上局→機上局)



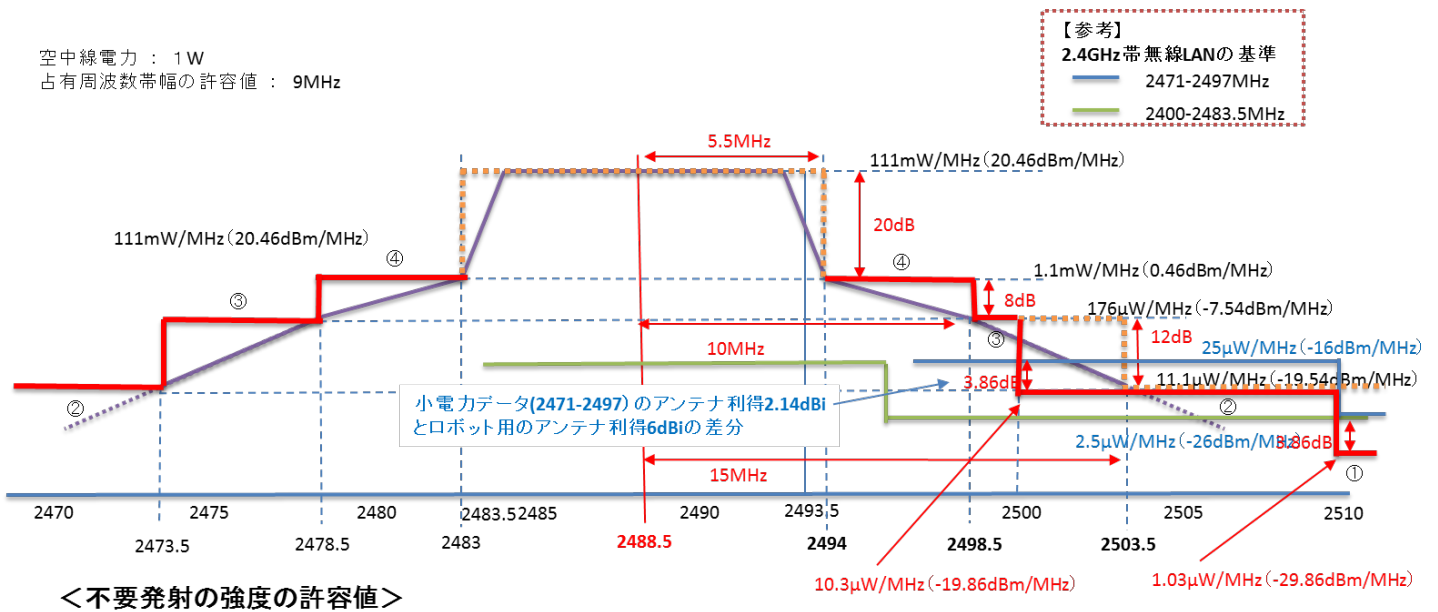
実線 : 自由空間モデルによる理論カーブ
(空中線指向特性による補正後)
プロット点 : 各飛行高度における実測値
(各測定点における2σの中央値)

図参 5.2 測定結果

参考資料6：メイン回線用無線システムのスペクトルマスク

(ア) 2.4GHz 帯

2.4GHz 帯無線システム（10MHz システム及び5MHz システム）のそれぞれの不要発射の強度の許容値を、図参 6.1 及び 6.2 に図示する。



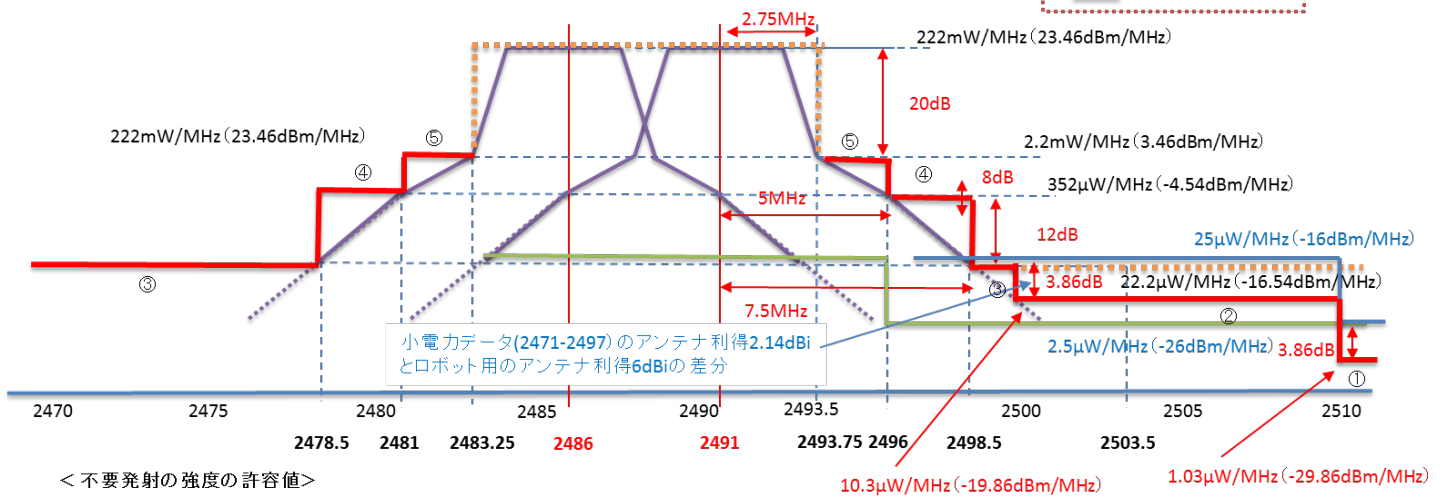
<不要発射の強度の許容値>

周波数帯	不要発射の強度の許容値
① 2510MHzを超えるもの	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が $1\mu\text{W}$ (-30dBm) 以下
② 2473.5MHz未満及び2500MHzを超え2510MHz以下	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が $10\mu\text{W}$ (-20dBm) 以下
③ 2473.5MHz以上2478.5MHz未満及び 2498.5MHzを超え2500MHz以下	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が $150\mu\text{W}$ (-8.23dBm) 以下
④ 2478.5MHz以上2483MHz未満及び 2494MHzを超え2498.5MHz以下	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が 1mW (0dBm) 以下

図参 6.1 10MHz システムのスペクトルマスク

空中線電力：1W
占有周波数帯幅の許容値：4.5MHz

【参考】
2.4GHz帯無線LANの基準
— 2471-2497MHz
— 2471-2497MHz



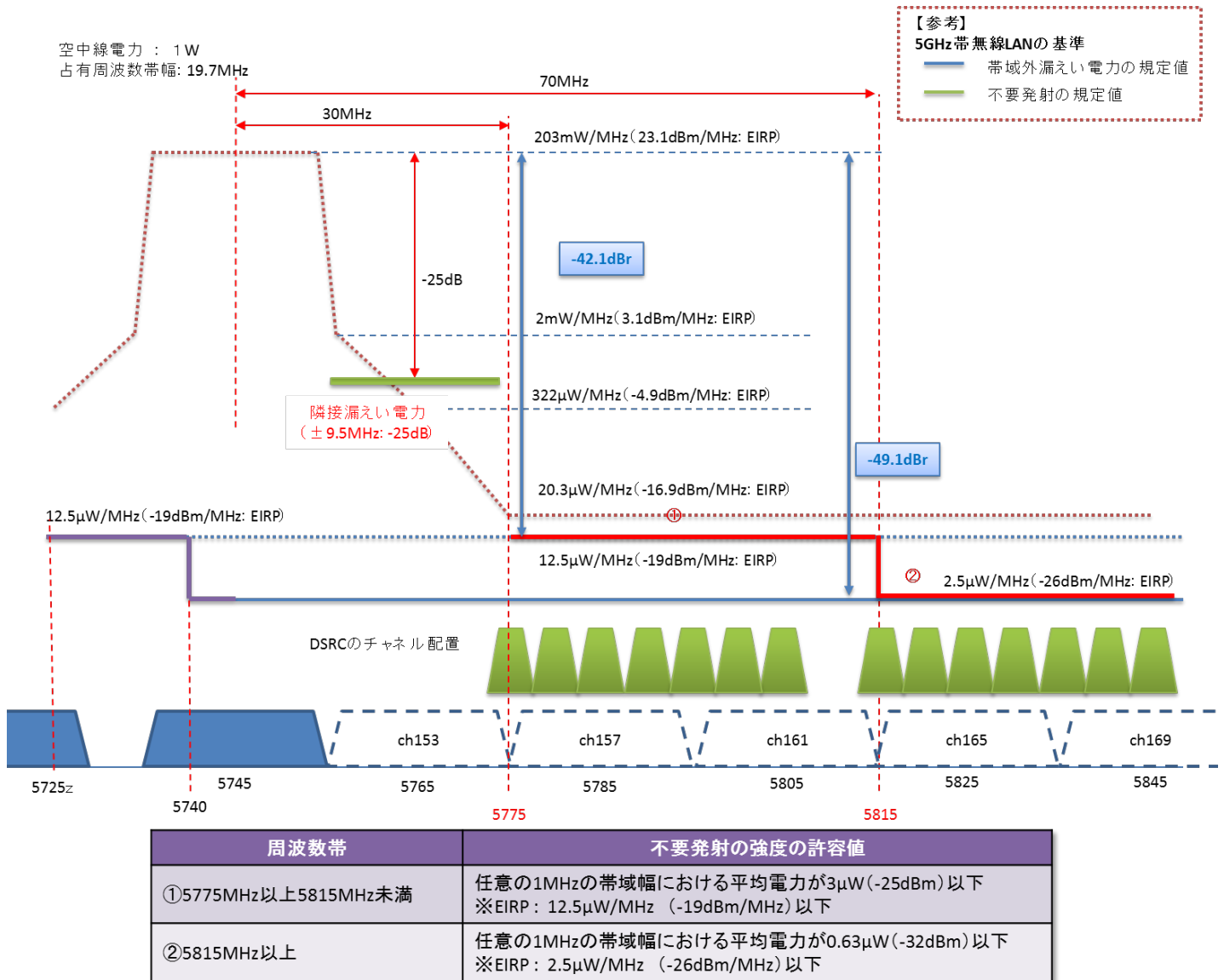
< 不要発射の強度の許容値 >

周波数帯	不要発射の強度の許容値
① 2510MHzを超えるもの	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が $1\mu\text{W}$ (-30dBm) 以下
② 2500MHzを超え2510MHz以下	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が $10\mu\text{W}$ (-20dBm) 以下
③ 2478.5MHz未満及び2498.5MHzを超え2500MHz以下	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が $20\mu\text{W}$ (-17dBm) 以下
④ 2478.5MHz以上2481MHz未満及び2496MHzを超え2498.5MHz以下	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が $300\mu\text{W}$ (-5.23dBm) 以下
⑤ 2481MHz以上2483.25MHz未満及び2493.75MHzを超え2496MHz以下	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が 2mW (3dBm) 以下

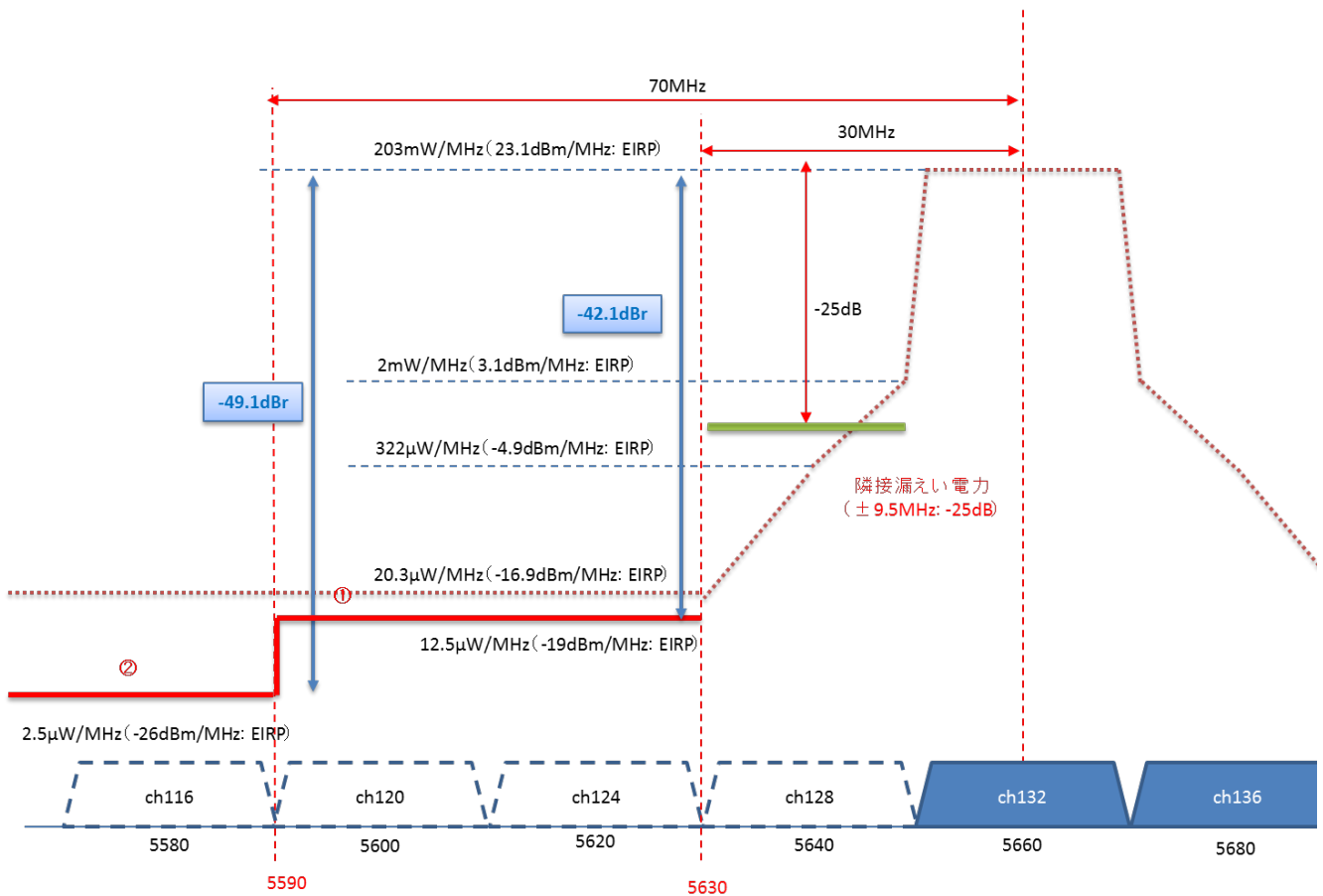
図参 6.2 5MHz システムのスペクトルマスク

(イ) 5.7GHz 帯

5.7GHz 帯無線システム（20MHz システム、10MHz システム及び 5MHz システム）のそれぞれの不要発射の強度の許容値を、図参 6.3～6.8 に図示する。

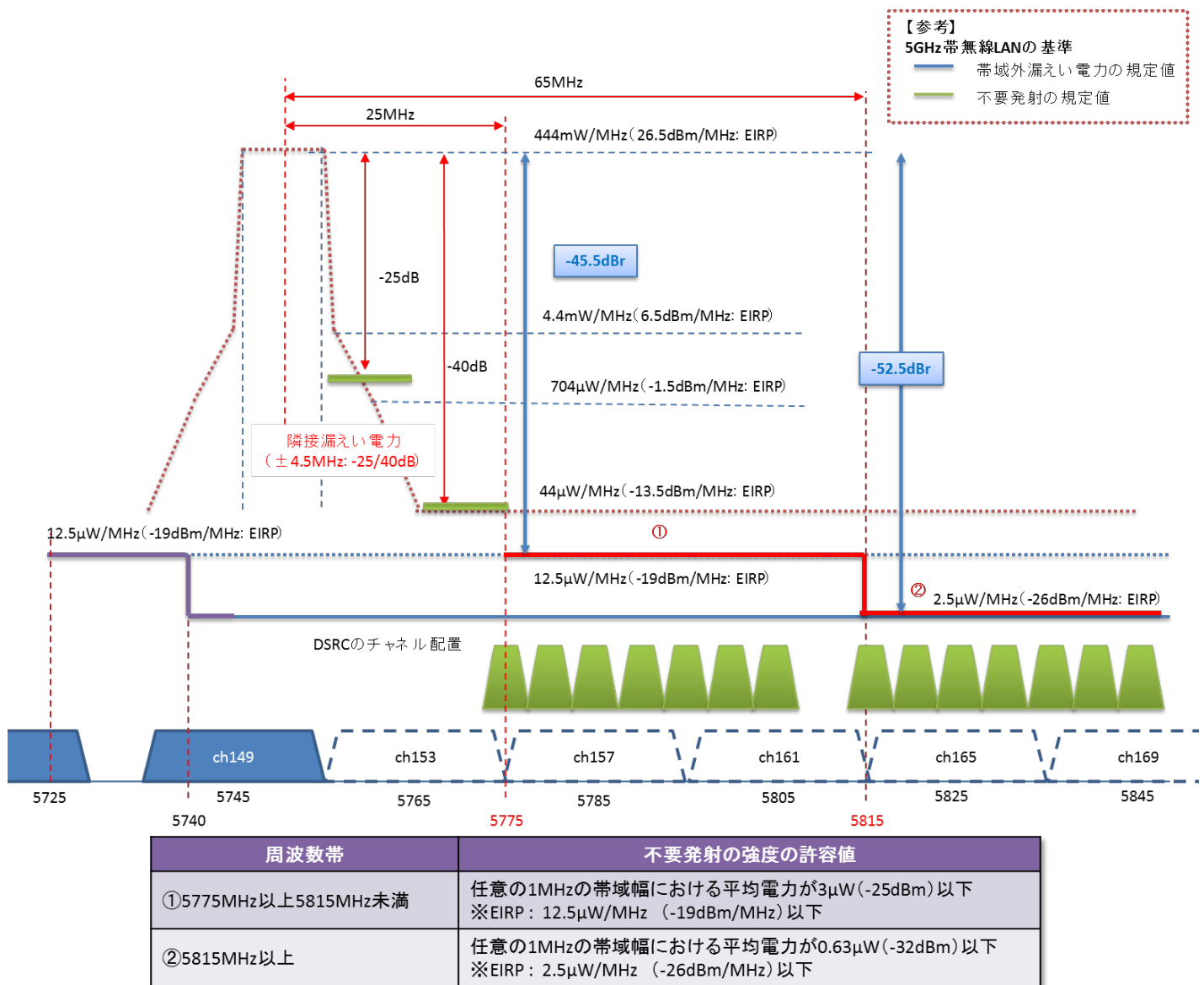


図参 6.3 20MHz システムのスペクトルマスク (上側)

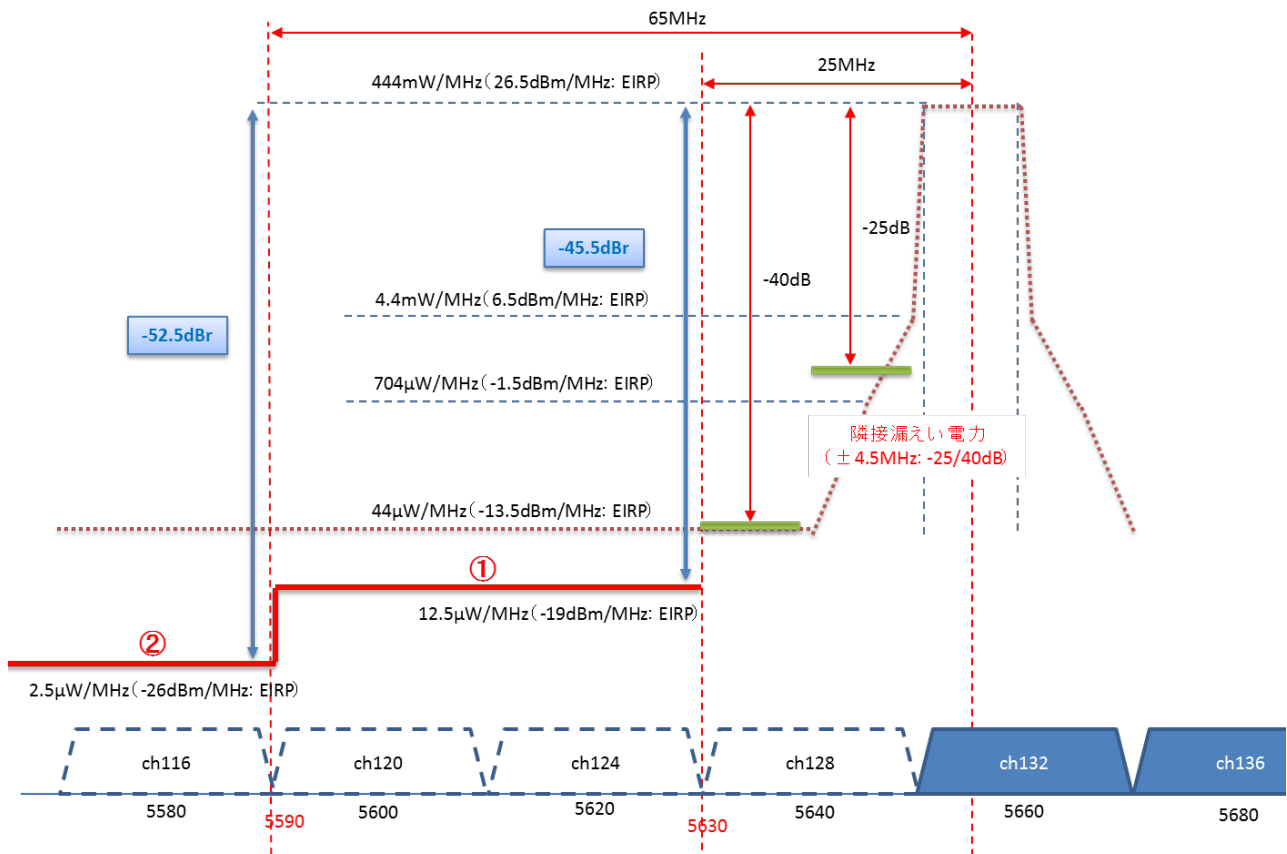


周波数帯	不要発射の強度の許容値
①5590MHz以上5630MHz未満	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が3μW(-25dBm)以下 ※EIRP: 12.5μW/MHz (-19dBm/MHz) 以下
②5590MHz未満	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が0.63μW(-32dBm)以下 ※EIRP: 2.5μW/MHz (-26dBm/MHz) 以下

図参 6.4 20MHz システムのスペクトルマスク (下側)

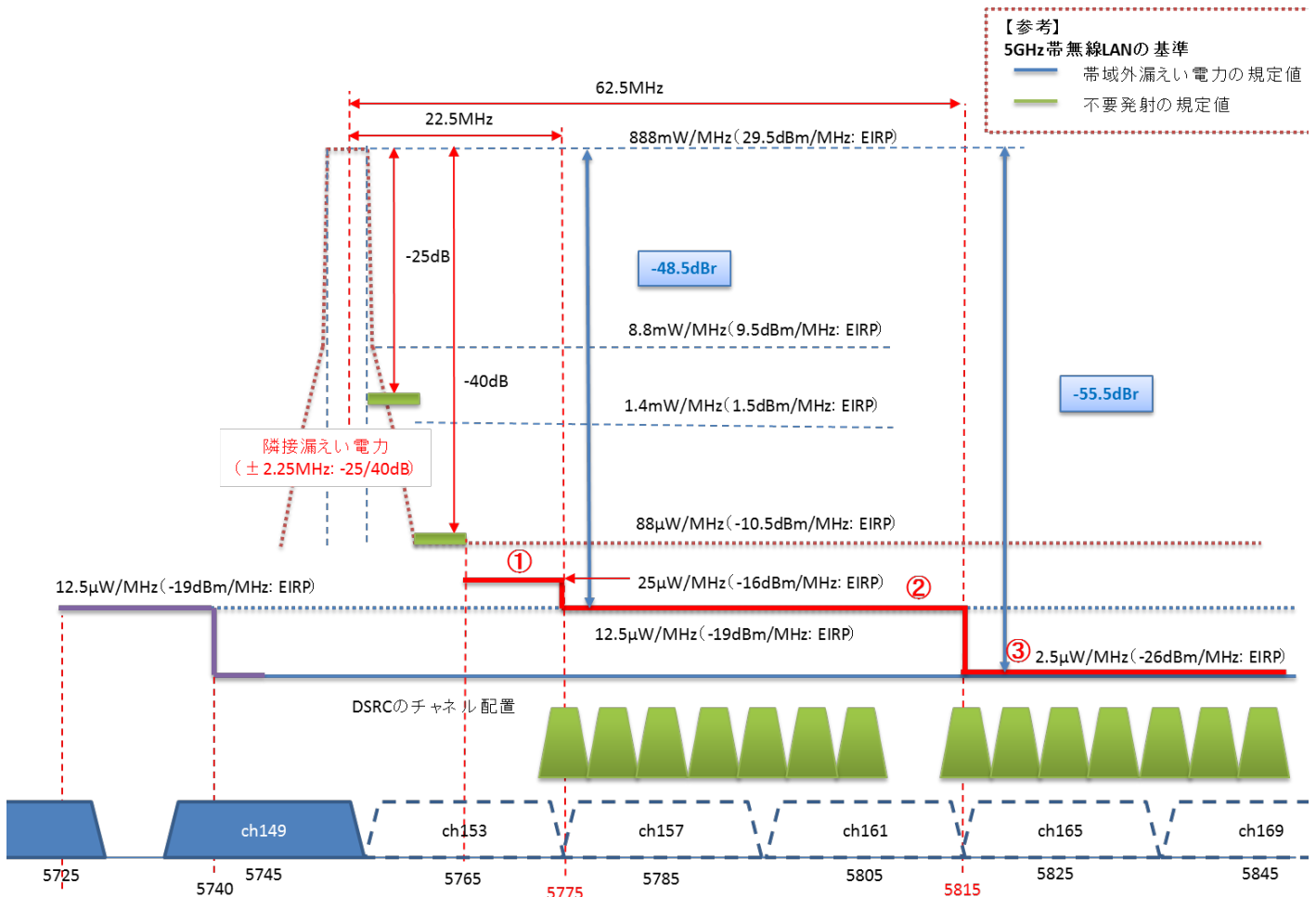


図参 6.5 10MHz システムのスペクトルマスク (上側)



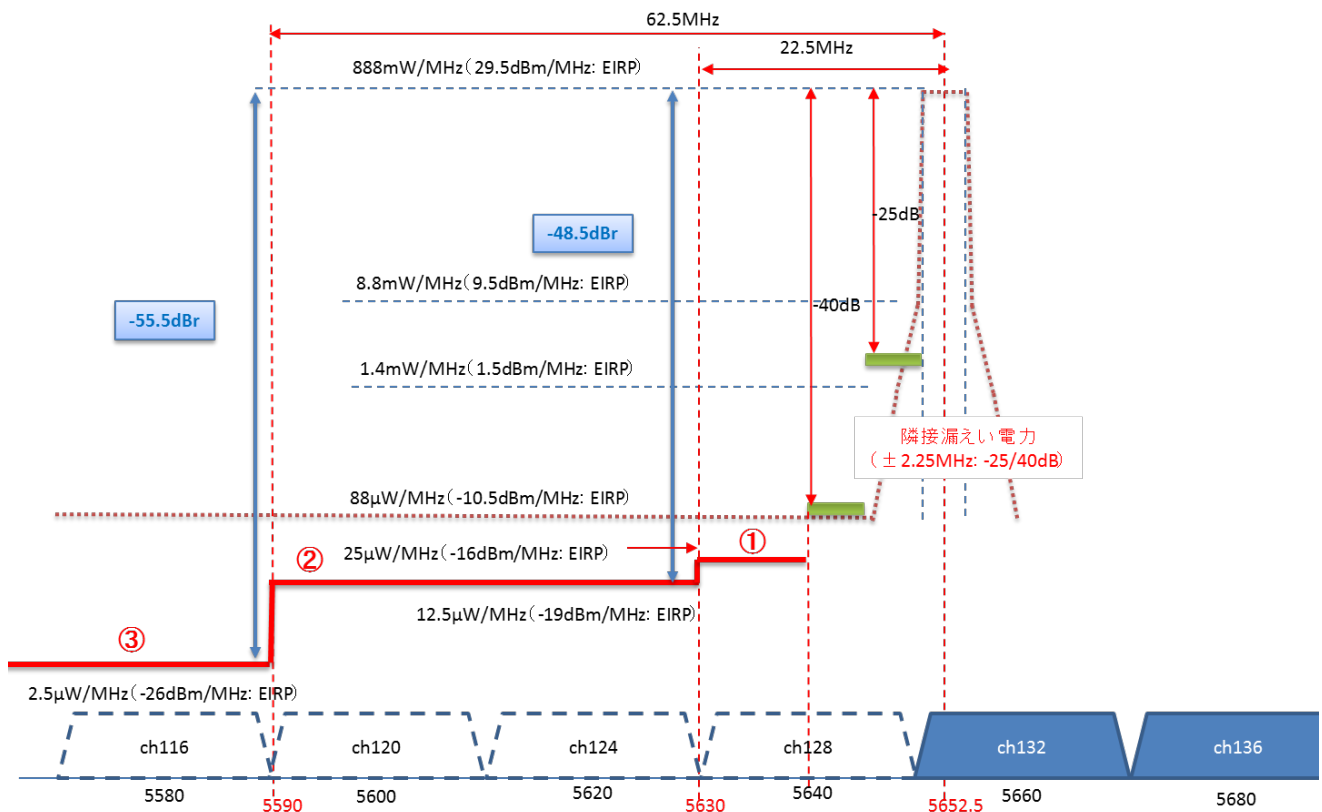
周波数帯	不要発射の強度の許容値
①5590MHz以上5630MHz未満	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が3μW(-25dBm)以下 ※EIRP: 12.5μW/MHz (-19dBm/MHz)以下
②5590MHz未満	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が0.63μW(-32dBm)以下 ※EIRP: 2.5μW/MHz (-26dBm/MHz)以下

図参 6.6 10MHz システムのスペクトルマスク (下側)



周波数帯	不要発射の強度の許容値
①5765MHz以上5775MHz未満	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が6.3μW(-22dBm)以下 ※EIRP: 25μW/MHz (-16dBm/MHz) 以下
②5775MHz以上5815MHz未満	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が3μW(-25dBm)以下 ※EIRP: 12.5μW/MHz (-19dBm/MHz) 以下
③5815MHz以上	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が0.63μW(-32dBm)以下 ※EIRP: 2.5μW/MHz (-26dBm/MHz) 以下

図参 6.7 5MHz システムのスペクトルマスク (上側)



周波数帯	不要発射の強度の許容値
①5630MHz以上5640MHz未満	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が $6.3\mu\text{W}$ (-22dBm) 以下 ※EIRP: $25\mu\text{W}/\text{MHz}$ (-16dBm/MHz) 以下
②5590MHz以上5630MHz未満	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が $3\mu\text{W}$ (-25dBm) 以下 ※EIRP: $12.5\mu\text{W}/\text{MHz}$ (-19dBm/MHz) 以下
③5590MHz未満	任意の1MHzの帯域幅における平均電力が $0.63\mu\text{W}$ (-32dBm) 以下 ※EIRP: $2.5\mu\text{W}/\text{MHz}$ (-26dBm/MHz) 以下

図参 6.8 5MHz システムのスペクトルマスク (下側)