

# ロボット用電波利用システムに関する要求要件及び無線通信システムの技術的条件（案）について

## ～ロボット用電波利用システム調査研究会～

- I **ロボット用電波利用システム調査研究会の概要**
- II **ロボット用電波利用システムへの検討対象範囲**
- III **ロボット用電波利用システムへの要求要件**
- IV **既存無線システムの利活用の可能性**
- V **ロボット用電波利用システムの技術的条件**
- VI **今後の検討課題**

平成27年4月22日

一般社団法人 電波産業会

# I ロボット用電波利用システム調査研究会の概要

## 目的

ロボット用電波利用システム調査研究会(以下「調査研究会」という。)は、災害や産業用ロボットの利用の現状と動向を踏まえ、ロボットを遠隔で操作する命令・制御系伝送や人が介在できない遠方の状況を把握するための画像伝送等の無線通信ニーズを把握し、それらに必要となる電波利用システムの技術的条件や他の無線通信システムとの周波数共用の可能性など検討し、様々な分野におけるロボットの円滑な導入を支援することを目的とする。

## 検討項目

- ① 各種分野におけるロボットの利用の現状と動向
- ② 各種分野におけるロボットの利用環境条件などのニーズ
- ③ 各種分野におけるロボットの電波利用に関するニーズ
- ④ ロボット用電波利用システムに適した周波数帯や技術
- ⑤ ロボット用電波利用システムの技術的条件と周波数共用の可能性
- ⑥ その他

## 構成員

別紙のとおり。

## 検討スケジュール

調査研究会は、平成26年11月20日に設置し、アンケート調査の実施や計4回の会合を開催(WGを別に4回開催)して検討を実施。

本年4月にロボット用電波利用システムの要求要件及び無線通信システムの技術的条件(案)について取りまとめた。今後、周波数の共用検討を実施していく予定。

### 【検討対象範囲】

- ① ロボットの運用に必要なロボット(機器)と操作者間における遠隔制御やデータ通信を検討対象とし、ロボットに搭載されるセンシング、レーダー及びワイヤレス給電等の機器の電波利用については、検討の対象外とする。

!【対象とする無線通信】

- テレコントロール : ロボットに動作をさせるため制御情報の伝送
- データ伝送 : ロボットの状態や搭載された各種機器からの情報の伝送(画像伝送を除く。) 例) GPS情報、ロボット機器搭載の各種センサ情報や残存バッテリー情報の伝送等
- 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

- ② 既に周波数が特定され、国内外の組織で技術的な検討が進められている無線通信システムについては、本調査研究会の対象外とする。

例) 国際民間航空機関(ICAO)で検討が進められている5GHz帯の無人航空機、ITS 等

- ③ 検討対象システムは、ホビー用以外の無線システムを想定して検討する。

(※ ホビー用は、既存利用範囲で対応が可能と考える。)

### Ⅲ ロボット用電波利用システムへの要求要件①

#### ○アンケート調査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

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

# III ロボット用電波利用システムへの要求要件②

## ■必要な通信距離における要望・分析

- アンケート調査結果によると、特に上空の利用であって、災害現場における需要として長距離通信の要望あり。
- その他送電線点検、荷物運搬や海上のロボット制御等に比較的長距離通信ニーズの要望があり。

- 災害時を除き、通常利用を想定すれば、約3kmの通信距離を確保できることが望ましい。  
⇒ 既存の制度の範囲内において、受信技術などで対応することにより対応の可否を検討。
- 災害時においては、災害規模により異なるため、一概に距離の算出は困難であるが、上空利用において、5～10kmを確保することが望ましい。  
⇒ テレコントロール、データ伝送、画像伝送を切り分けた無線システムの必要性の検討。  
⇒ 長距離通信(特に上空利用における無線設備の高出力化)は、他の無線局への干渉が広範囲にわたり発生することを十分考慮して無線システムの検討が必要。

## アンケート調査結果の分析

	具体的な利用用途	通信距離(km)
地上	火山の無人観測	～2
	災害現場における調査/復旧作業	～2
	建設/土木工事の無人化施工	～2
	農業機械の無人化	～2
	車両の自動車運転	～1
屋内	災害現場における調査/復旧作業	～2
	トンネル用災害調査	～2
	戸建住宅床下点検	～1
	屋内荷物の自動搬送	～0.5
上空	<b>災害現場における観測</b>	<b>～100</b>
	<b>火山の無人観測</b>	<b>～4</b>
	橋梁/建造物の老朽化点検	～2
	<b>送電線の点検</b>	<b>～5</b>
	プラント/工場施設等の警備監視作業	～3
	ソーラー発電のパネル異常検出	～3
	農産物生育状況の観測	～2
	農薬散布	～0.5
	空撮/地図作成	～3
	<b>荷物/運搬輸送</b>	<b>～5</b>
	番組制作/取材	～1
	海上	<b>水中ロボット等の位置把握等の測量探査</b>
深淺測量		～1

### Ⅲ ロボット用電波利用システムへの要求要件③

#### ■ロボット側からの電波利用システムに帯する要求要件

利用区分	用途	通信内容	通信方式	伝送容量	通信距離	使用台数	遅延時間	留意事項	
上空	マルチコプター	空撮・警備・インフラ点検・建設・農業・番組制作等	テレコントロール データ伝送 画像伝送	単向・単信 複信	テレコントロール: 数10kbps データ伝送: 数10kbps 画像伝送: 8Mbps	~300m	5台	100ms以下	・画像はVGA以上を要望
	マルチコプター、無人ヘリ、電動固定翼	災害・インフラ点検・農業・運送等	テレコントロール データ伝送 画像伝送	単向・単信 複信	テレコントロール: 数10kbps データ伝送: 数10kbps 画像伝送: 8Mbps	~5km	5台	100ms以下	・画像はVGA以上を要望
	無人ヘリ、エンジン固定翼	災害等	テレコントロール データ伝送 画像伝送	単向・単信 複信	テレコントロール: 数10kbps データ伝送: 数10kbps 画像伝送: 8Mbps	~15km	5台	100ms以下	・画像はVGA以上を要望
地上	無人化施工・農業・災害等	テレコントロール データ伝送 画像伝送	複信	5Mbps/台	~1km	20台/工区	100ms以下	・最大4工区程度併設も想定。 ・10MHz/波で3台収容実績有り。 ・画像はSD又はHDを要望。	
屋内	災害・屋内作業等	テレコントロール データ伝送 画像伝送	複信	10Mbps/台	~100m	3台	100ms以下	・ビル5階相当の通信 ・画像はSDを要望。 ・ロボット1台当たりカメラ5台搭載	
海上	測量探査等	テレコントロール データ伝送 画像伝送	複信	8Mbps/台	~10km	5台	100ms以下	・他のシステムを海上で利用希望。	

## ■無線設備への要望のまとめ

- 各利用における画像伝送は、標準画質(SD)又は高画質(HD)の伝送を要望。  
※ 上空使用については、各種観測や監視用途として画像伝送が必要。一方で無人化施工や屋内作業においては、各種ロボットの制御をするために画像が必要。
- 無人化施工や屋内作業等においては、ロボットの制御をはじめ、各種センサーやカメラ搭載を容易にするため、IP接続対応が可能な無線通信を要望。
- 非常時を想定して、最低限のロボットの状態把握や制御が可能な通信(100kbps程度：低レート画質の画像伝送)を複数ch確保することを要望。【災害現場を想定】
- 特に上空を飛行するものについては、搭載スペースから小型・低消費電力のものを要望。
- 無線設備の低廉化及び市場規模を勘案し、汎用性のある無線設備が望ましい。

## ■その他要望

- 新たな周波数帯の利用にあたっては、免許又は登録制により管理すべき。
- 干渉回避や災害時における優先利用など、運用調整の機能が必要。
- 災害時においては、更に送信出力を増力できる仕組みを考慮すべき。

## IV 既存無線システムの利活用の可能性①

現在、ロボット等の利用されている既存の主な無線通信システムとしては以下のとおりである。

### ■免許を要しない無線局の概要

周波数帯	送信出力	伝送速度	帯域幅	ch数	その他
73MHz帯	※1	5kbps	10kHz	10ch	ラジコン操縦用(産業用)
920MHz帯	20mW	~1Mbps	200kHz (最大1MHz)	38ch (200kHz間隔)	特定小電力無線局 (テレメ/テレコン/データ伝送)
2.4GHz帯	200mW※2	200k~54Mbps	20MHz	FHパターン	小電力データ通信システム
5GHz帯		~6.93Gbps	20/40/80/160MHz		小電力データ通信システム

※1 500mの距離において、電界強度が200 $\mu$ V/m以下。

※2 空中線電力は、1MHz幅当たり10mW以下(FHの場合は1MHz当たり3mW以下。)

### ■免許又は登録を要する無線局の概要

周波数帯	送信出力	伝送速度	帯域幅	ch数	その他
1.2GHz帯 ※	1W	アナログ	5MHz	1ch	携帯局(空撮用の画像伝送)
4.9GHz帯	250mW	~54Mbps	5/10/20MHz		陸上移動局(無線アクセス)

※1.2GHz帯は、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許容することが運用条件

## IV 既存無線システムの利活用の可能性②

### 【通信距離】

#### ■テレコントロール及びデータ伝送（受信感度： $-100\text{dBm}$ （ $\text{BER}=1 \times 10^{-3}$ ））

伝搬モデル : 奥村・秦カーブの開放地を適用

操作者の高さ : 2m

【空中線の利得 :  $2.14\text{dBi}$ 】

周波数	出力	感度 $\text{BER}=1 \times 10^{-3}$	ロボットの高度	通信距離	通信距離 受信電力10dB余裕
920MHz	20mW(13dBm)	$-100\text{dBm}$	3m	1.3km	0.7km
			100m	6.5km	3.1km
920MHz	250mW(24dBm)	$-100\text{dBm}$	3m	2.4km	1.3km
			100m	14.4km	7.0km
2.4GHz	240mW(23dBm)	$-100\text{dBm}$	3m	1.6km	0.9km
			100m	8.9km	4.3km
5GHz帯	200mW(23dBm)	$-100\text{dBm}$	3m	1.4km	0.8km

テレコントロールやデータ伝送など、低速な伝送容量を想定した通信距離について、伝搬モデルを踏まえ、算出すると、上記の表のとおりとなる。なお、空中線の工夫することにより、更に通信距離は伸びるものと考えられ、特に比較的長距離通信ニーズの高い上空使用においても、一定程度の通信距離の確保が可能と考えられる。

# IV 既存無線システムの利活用の可能性③

## ■画像伝送(受信感度:-87dBm (BER=1 × 10<sup>-5</sup>))

### 【必要な画質と遅延時間】

(画像サイズ、帯域幅、遅延時間)

用途	画質	遅延時間	占有周波数帯幅	受信感度 BER=1 × 10 <sup>-5</sup>	安定通信 受信電力+10dB
飛行制御用	QVGA	500ms以下	4MHz 2GFSK	-89dBm	-79dBm
飛行制御用	VGA or SD	1ms以下	6MHz FM	-87dBm	-77dBm
監視	VGA or SD	500ms以下	4MHz 16QAM	-87dBm	-77dBm
観測調査	HD	500ms以下	10MHz OFDM	-87dBm	-77dBm
撮影調整	VGA or SD	1ms以下	6MHz FM	-87dBm	-77dBm
撮影調整	HD 30fps	1ms以下	20MHz OFDM MIMO	-87dBm	-77dBm
撮影調整	HD 60fps	1ms以下	40MHz OFDM MIMO	-87dBm	-77dBm

### 【通信距離 : 空中線利得2.14dBiの場合】

伝搬モデル : 奥村・秦カーブの開放地を適用  
 操作者の高さ : 2m

(ただし、計算上、自由空間電波伝搬モデルによる通信距離を超える場合は、自由空間電波伝搬モデルによる通信距離を上限値とする。)

周波数	出力	感度 BER=1 × 10 <sup>-5</sup>	ロボットの高度	通信距離	通信距離 受信電力10dB余裕
2.4GHz	240mW(23dBm)	-87dBm	3m	0.8km	<b>0.5km</b>
			100m	3.7km	<b>1.2km</b>
5GHz帯	200mW(23dBm)	-87dBm	3m	0.7km	<b>0.4km</b>

# IV 既存無線システムの利活用の可能性④

## ■無線LANにおける通信距離（2.4GHz帯）【参考】

回線形態	空中線利得 (dBi)	給電線損失 (dB)	空中線電力 (dBm/MHz)	EIRP (dBm/MHz)	伝送速度 (Mbps)と受信感度 (dBm)に対する通信距離 (m)								
					54	48	36	24	18	12	9	6	Mbps
					-65	-66	-70	-74	-77	-79	-81	-82	dBm
P-MP	2	0	10	12	350	400	630	1.0k	1.4k	1.8k	2.2k	2.5k	m
	5	2	9		400	450	710	1.1k	1.6k	2.0k	2.5k	2.8k	
P-P	9	2	10	17	1.1k	1.2k	2.0k	3.2k	4.5k	5.6k	7.1k	7.9k	
	15	2	9	22	4.0k	4.5k	7.1k	11.2k	15.8k	20.0k	25.1k	28.2k	
	24	2	0		11.2k	12.6k	20.0k	31.6k	44.7k	56.2k	70.8k	79.4k	

P-PM: Point to Multi-Point    P-P: Point to Point

条件: **自由空間伝搬** 送信側: EIRP規定電力 受信側: 802.11g規定感度  
 (マルチパスフェージングマージン・遮蔽損失・土地係数等については、含まず)

出典・引用: RFワールド、No.24 CQ出版社、2013.11.1発行

画像伝送など、高速な伝送容量を想定した通信距離について、伝搬モデルを踏まえ、算出すると、上記の表のとおりとなる。利用ニーズに適した通信距離を確保することは厳しいところであるが、空中線の高利得アンテナの使用など工夫することにより、更に通信距離は伸びるものと考えられ、一定の利用用途には対応可能と考えられる。

## IV 既存無線システムの利活用の可能性⑤

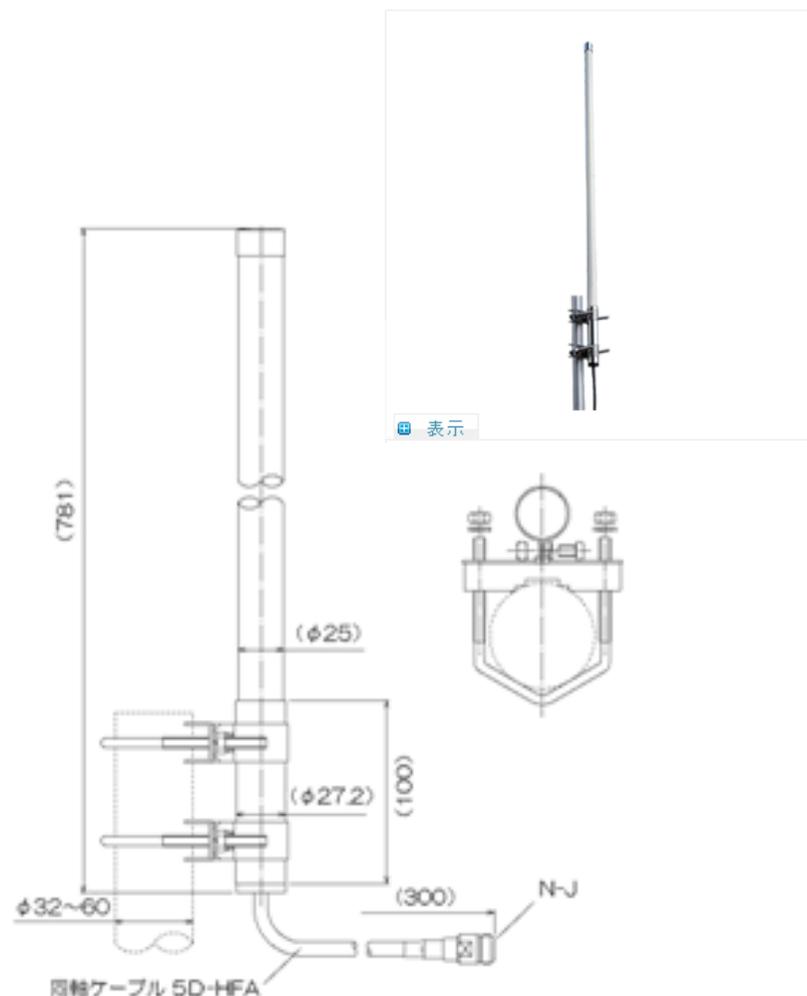
12

■無線LANにおける空中線【参考】 ◆5GHz帯コリニアアンテナ(NATEC殿HP):  
[http://www.natecj.com/antenna/va510a\\_w56.htm?c=5lanantenna&d=10collinear](http://www.natecj.com/antenna/va510a_w56.htm?c=5lanantenna&d=10collinear)

5GHz帯無線LAN10dBiコリニアアンテナ  
VA510A-W56

### 仕様

空中線形式	無指向性コリニア型アンテナ
周波数	5470MHz~5725MHz
無線LAN規格	IEEE 802.11a(W56)
利得	10dBi
用途	固定局用
半値幅	E面:約6度
入力インピーダンス	50Ω
耐入力	3W
電圧定在波比	2.0以下
接栓	NJ(同軸ケーブル30cm付)
全長	約780mm(アンテナ部)
重量	約0.55kg(取付金具含)
耐風速	50m/sec
取付金具(適合マスト径)	φ32-60



## 1 通信内容と伝送容量

### (1)テレコントロール

ロボットの動作ための制御信号であり、伝送容量としては、数kbpsである。

### (2)データ伝送

ロボットのGPS位置情報及び機体の状態情報の伝送であり、伝送容量としては、数kbpsである。

### (3)画像伝送

ロボットに搭載されるカメラ画像の伝送であり、伝送容量としては、数Mbps～数十Mbpsである。

### 【市販されている主な製品の概要(画像サイズ、帯域幅、遅延時間)】

	画像サイズ	ピクセル数	フレーム	A社	B社	C社	D社	E社①	E社②	アナログ
帯域幅	—	—	—	0.7MHz	3.6MHz	4.0MHz	9.5MHz	20MHz	40MHz	6.0MHz
QVGA	320×240	76,800	10	500ms	—	—	—	—	—	—
QVGA	320×240	76,800	30	—	100ms	—	—	—	—	—
VGA	640×480	307,200	15	—	100ms	—	—	—	—	—
VGA	640×480	307,200	30	—	—	500ms	—	—	—	—
SD	720×480	345,600	30	—	—	500ms	—	—	—	—
HD	1920×1080	2,073,600	30	—	—	—	500ms	1ms	—	—
HD	1920×1080	2,073,600	60	—	—	—	—	—	1ms	—
NTSC	640×480	307,200	30	—	—	—	—	—	—	0

○画像圧縮技術については M-JPEG、MPEG、H263、H264等が利用されている。

## 2 通信方式及び変調方式

### (1) 通信方式

- 現在のロボット用電波利用システムの通信方式については、①テレコントロール／データ伝送と②画像伝送をそれぞれ別の通信システムとして構成するものもある。無人飛行機のように機器の搭載スペース等を踏まえると、一つの無線システムにより、テレコントロール、データ伝送及び画像伝送をそれぞれ伝送できる無線システムが望まれているが、画像利用としては、観測や監視の目的が主流であり、機体の制御と切り離して運用することは可能である。

また、無人化施工や屋内作業用など、現在の利用システムが無線LANを踏まえたシステム構成を行っており、カメラや各種センサーの接続を容易に実現できるIP接続が可能な無線システムが望まれており、画像を見ながら機器の操作を行うなど、一体的な運用が必要である。

このため、無線装置の低廉化及び市場規模を勘案し、汎用的な無線LANと同様に、通信方式としては、一周波方式の時分割多重方式とするもの、または無人飛行機のように観測・監視した画像を地上側へ送るなど一周波方式の単向通信、同報通信又は単信等式によるものも可能とすることが適当と考えられる。

- その他、災害分野など人が容易に立ち入れない場所などでロボットを運用する場合において、通常の通信が途絶し、ロボットの操作に不具合が生じるケースもあり、そのような緊急時において、最低限の通信を確保するためにVHF帯による低速伝送の無線システムの要望あることから、それらのニーズに適した通信システムの検討も必要である。

### (2) 変調方式

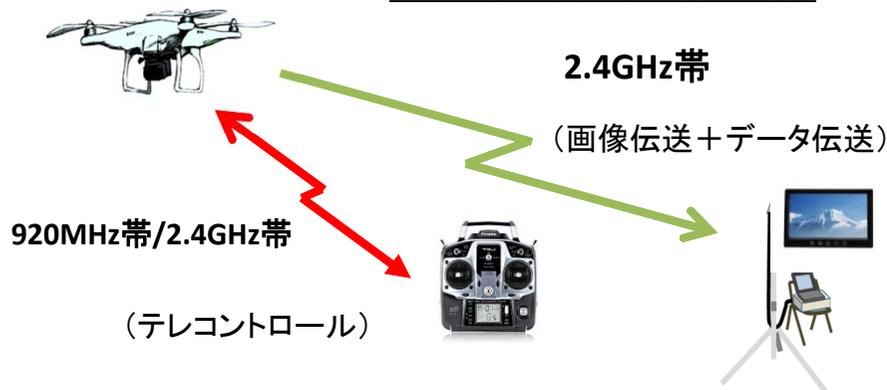
- 変調方式については、将来技術を考慮して規定しない。

(現行の無線LANでは、直交周波数分割多重方式(OFDM)、スペクトル拡散方式(DS方式)又は単一搬送波(SC方式)が主流。)

## ■ 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的な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。

## ■ 想定される汎用システムの方式比較事例

項目	無線LAN	モバイルWiMAX	Bluetooth	ZigBee
IEEE規格	802.11a/b/g/n	802.16e	IEEE802.15.1	802.15.4
ARIB規格	ARIB STD-T66 ARIB STD-T71	---	ATIB STD-T66	ARIB STD-T66
周波数帯(現行)	2.4GHz, 5GHz	2.5GHz	2.4GHz*4	2.4GHz
免許(現行)	不要	必要*3	不要	不要
通信距離	数10m～数100m*1	数km～10数km	数1m～100m*5	数m～数10m*7
伝送速度(変調仕様上の速度)	～600Mbps*2	～54Mbps	～1Mbps *6	～250kbps
変調方式	FSHH, DSSS, OFDM	OFDM	FHSS	DSSS
備考	*1: 数10kmの例あり *2: 1Gbps超あり	*3: 包括免許制度 (端末局免許不要)	*4: 海外900MHz帯あり *5: 高出力(?)規格あり *6: 高速規格(?)あり	*7: メッシュ・ネットワークで利用拡大

## 3 占有周波数帯幅

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を候補とする。

### ■ロボット向け無線方式の候補(案):無線LANの基本プロトコルの標準規格(概要)

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

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum(直接シーケンス・スペクトラム拡散) FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum(周波数ホッピング・スペクトラム拡散) CCK: Complementary Code Keying(相補型符号変調) OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing(直交周波数分割多重) MIMO: Multiple-Input and Multiple-Output(多入力多出力) SC: Single Carrier(単一搬送波)

## ■ 要求要件を踏まえた可能性のある周波数帯の検討

周波数帯の検討においては、既存システムとの共用検討の他、以下の観点も考慮に入れた検討が必要。

- 既存無線システムの周波数の使用状況
- グローバル市場を踏まえた国際協調のある周波数帯かどうか
- 電波の特性や利用技術を考慮し、通信内容の実現性のある周波数帯かどうか

### 【主要要望周波数帯における可能な通信内容や国際協調性】

候補周波数帯	主な既存無線システム	通信内容			国際協調
		テレコン	データ	画像	
73MHz帯	ラジコン	○			
200MHz帯	公共BBシステム	○	○	○	
400MHz帯	特小、業務無線	○	○		
470-710MHz	地デジ放送、ラジオマイク、エリア放送	○	○	○	
920MHz帯	RFID、特小(スマートメーター)	○	○	△	△
1.2GHz帯	レーダー、FPU、準天頂、特小、アマチュア	○	○	○	
2.4GHz帯	小電力(無線LAN、ラジコン)、アマチュア、ISM機器	○	○	○	○
4.9GHz帯	無線アクセス	○	○	○	
5.2/5.6GHz帯	レーダー、小電力(無線LAN)、アマチュア	○	○	○	○
5.8GHz帯	レーダー、DSRC、アマチュア、ISM機器	○	○	○	△

### 4 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。

## 5 通信距離及び空中線電力

【通信距離：空中線利得2.14dBiの場合】

伝搬モデル：奥村・秦カーブの開放地を適用

操作者の高さ：2m

(ただし、計算上、自由空間電波伝搬モデルによる通信距離を超える場合は、自由空間電波伝搬モデルによる通信距離を上限値とする。)

周波数	出力	感度 BER=1×10 <sup>-5</sup>	ロボットの高度	通信距離	通信距離 受信電力10dB余裕
2.4GHz	1W(30dBm)	-87dBm	3m	1.2km	0.7km
			100m	6.2km	2.8km
5GHz帯	1W(30dBm)	-87dBm	3m	1.0km	0.6km
			100m	3.7km	1.2km

- 空中線電力を1Wへ増力することにより、概ね要望ニーズを満たす通信距離を確保することが可能と考えられる。なお、空中線について更に高利得アンテナを使用するなど工夫を行うことにより、長距離通信の確保が可能である。
- また、屋内通信について、3.5乗損の伝搬モデルによる算出をすると、2.4GHz帯で90～180m、5GHz帯で60～110m程度の通信距離を確保することが可能である。
- なお、2.4GHz帯及び5GHz帯において、諸外国による規制においては、空中線電力は1W以下となっていることから、国際協調の観点からも空中線電力を1W以下とすることが適当と考えられる。なお、具体的な値については、利用シーンを踏まえ、同一又は隣接周波数帯を使用する既存無線局との周波数の共用検討の結果による。

## ■ロボット用電波利用システムの要求要件(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
周波数帯	2.4GHz帯, / 5GHz帯	VHF帯
通信方式	単向・同報・単信・複信	単向・同報・単信・複信
変調方式	各種	各種
伝送容量	3M~54Mbps	100k~200kbps
占有周波数帯幅の許容値	5/10/20MHz	100k/200kHz
等価等方輻射電力	4W	1W
その他		

- 当面の検討として、上記の周波数帯において、周波数の共用の可能性を検討することが適当である。
- また、空中線電力について、一般的に上空での利用は、干渉範囲が広範囲となるため、可能な限り空中線電力の抑えることが必要があるなど、利用シーンに応じて周波数共用検討の中で必要な検討を行うこととする。

### 周波数確保に向けたその他の技術的検討課題

#### ■ラジコン用周波数帯(73MHz帯)

73MHz帯の産業用のラジコン用周波数帯について、上空用のニーズの高まりや地上用の周波数利用がほとんどない状況を踏まえ、地上用と上空用の周波数の用途を撤廃し、上空用で使用可能な周波数の確保について検討することとする。

#### ■公共ブロードバンド用周波数帯(200MHz帯)

現在、公共ブロードバンドの周波数帯においては、共同利用型の無線システムの検討がされているところであり、今後、当該無線システムにおける端末として各種ロボットの利活用の可能性もあることから、共同利用型の無線システムの議論の中で検討を進めることとする。

#### ■TVホワイトスペース周波数帯(470-710MHz)

TVホワイトスペース周波数帯の利用は、TV受信機をはじめ、特定ラジオマイクへの干渉を与えないことが前提条件となり、使用場所については、予め干渉が生じないことを検討する必要があることから、ロボットの利用シーンを想定した場合、使用しづらい周波数帯であるが、海上利用など利用シーンによっては、TV放送受信や特定ラジオマイク利用が想定されない場所での利活用が期待できるため、引き続き、周波数利用の検討を進めていくこととする。

#### ■既存無線システムの技術条件の見直しの検討

2.4GHz帯などにおいては、送信出力の増力より、無指向性の高利得空中線の使用ニーズもあるなど、既存の技術的条件の見直すことにより、一定程度の通信距離が確保できる可能性もあるため、併せて検討することとする。

### 制度面における検討課題

#### ■免許制度の在り方

限られた周波数を効率よく利用するためには、一定の運用ルールが必要であり、無線局の運用管理が必要であるところであり、免許不要の無線局ではなく、免許制度(又は登録制度)による無線局の管理について、検討する必要がある。

また、既存無線システムの利活用を推進するとともに、長距離通信は、真に必要なものに限定すべきである。

#### ■運用調整の仕組み

干渉の回避を図ることや災害時など優先的利用を図るため、無線局の免許人間の柔軟な運用調整が図れるような体制、調整方法について、検討する必要がある。

### 将来的な技術検討課題

#### ■中継技術等の検討

長距離通信を確保するため、地上インフラ整備によるハンドオーバー技術やマルチホップ技術などの中継技術等についても、将来的な技術検討が必要と考えられる。

#### ■ミリ波帯における利用技術の検討

周波数の使用状況を踏まえると、広帯域通信ニーズに対応するためには、将来的にミリ波帯における利活用も含めた技術検討が必要である。

## ロボット用電波利用システム調査研究会 構成員名簿

(敬称略・順不同)

氏名	所属
客員 羽田 靖史	工学院大学 機械システム工学科
客員 野波 健蔵	ミニサーベイヤーコンソーシアム (千葉大学)
客員 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
委員 鈴木 信雄	株式会社KDDI研究所 スワートワイヤレスG
委員 姉齒 章	双葉電子工業株式会社 無線機器事業センター無線機器企画開発グループ
委員 野田 正樹	株式会社日立製作所 研究開発グループ 生産イノベーションセンター
委員 西山 勝	株式会社テレビ朝日 技術局 技術戦略部
委員 稲垣 裕滋	トヨタ自動車株式会社 パートナードロ봇部 製品設計室電気G
委員 千葉 洋治	日本電業工作株式会社 経営企画室
委員 加藤 数衛	株式会社日立国際電気 映像・通信事業部
委員 阿良田 洋雄	一般財団法人電波技術協会 技術調査・研究部
委員 山田 和晴	株式会社NTTドコモ R&Dイノベーション本部 R&D戦略部
委員 岡本 直樹	シャープ株式会社 研究開発本部 通信・映像技術研究所
委員 小島 敏裕	株式会社フジテレビジョン 総合技術局
委員 櫻井 稔	アイコム株式会社 ソリューション事業部
委員 川上 皓平	日本テレビ放送網株式会社 技術統括局技術開発部
委員 梶原 好生	富士通株式会社 特機システム事業本部 特機戦略室
委員 有賀 寿	日本放送協会 技術局計画部
委員 川島 靖史	オムロン株式会社 技術・知財本部 応用開発センター
委員 金原 義彦	三菱電機株式会社 開発本部 開発業務部 企画グループ
委員 佐古 仁司	TOA株式会社 オーディオ開発本部オーディオ開発部
委員 小川 智明	日本電信電話株式会社 NTTアクセスサービスシステム研究所
委員 青木 章	ソフトバンクモバイル株式会社 電波制度室 標準化推進部制度推進課
委員 上杉 充	パナソニック株式会社 AVCネットワークス社技術本部技術活用グループ
委員 渡並 智	セコム株式会社 IS研究所 コミュニケーションネットワークグループ
委員 福永 茂	沖電気工業株式会社 通信システム事業本部 スマートフォンコミュニケーション事業部
委員 石垣 悟	日本無線株式会社 事業本部 事業統括部
委員 柏谷 篤	日本電気株式会社 情報・メディアプロセッシング研究所
委員 小宮山 真康	株式会社サーキットデザイン

## 別紙 調査研究会 構成員 (1/2)

# 別紙 調査研究会 構成員 (2/2)

委員	小関 健一郎	株式会社 JVCケンウッド i-ADAS事業化タスクフォース 自動運転技術チーム
委員	飯塚 国明	アミモン ジャパン KK
委員	岡田 俊英	株式会社日立国際八木ソリューションズ 製品設計本部 機器設計部
〆〃ザ〃-ハ	長谷川 裕	一般社団法人農林水産航空協会
〆〃ザ〃-ハ	布谷 貞夫	産業競争力懇談会 (コマツ) 災害対応ロボットの社会実装プロジェクト
〆〃ザ〃-ハ	北原 成郎	産業競争力懇談会 (熊谷組) 災害対応ロボットの社会実装プロジェクト
〆〃ザ〃-ハ	細田 祐司	産業競争力懇談会 (ロボット学会) 災害対応ロボットの社会実装プロジェクト
〆〃ザ〃-ハ	秋本 修	産業競争力懇談会 (日立製作所) 災害対応ロボットの社会実装プロジェクト
〆〃ザ〃-ハ	木村 政俊	建設無人化施工協会
〆〃ザ〃-ハ	坂本 修	日本産業用無人航空機協会
〆〃ザ〃-ハ	神林 喜彦	一般財団法人日本ラジコン電波安全協会
〆〃ザ〃-ハ	吉田 弘	独立行政法人海洋研究開発機構 海洋工学センター海洋技術開発部
〆〃ザ〃-ハ	河村 暁子	独立行政法人電子航法研究所
〆〃ザ〃-ハ	鈴木 真二	一般社団法人日本UAS産業振興協議会
〆〃ザ〃-ハ	畑 能正	一般社団法人日本ロボット工業会
〆〃ザ〃-ハ	櫻井 正巳	神奈川県 産業労働局 産業・観光部 産業振興課
〆〃ザ〃-ハ	岡本 健太郎	経済産業省製造産業局産業機械課
〆〃ザ〃-ハ	府川 秀樹	経済産業省製造産業局航空機武器宇宙産業課
〆〃ザ〃-ハ	橋本 昌史	警察庁情報通信局通信施設課
〆〃ザ〃-ハ	新田 恭士	国土交通省総合政策局公共事業企画調整課
〆〃ザ〃-ハ	中森 茂	農林水産省消費・安全局植物防疫課
〆〃ザ〃-ハ	新村 満弘	消防庁国民保護・防災部参事官室
〆〃ザ〃-ハ	天野 久徳	消防庁消防研究センター
〆〃ザ〃-ハ	星野 哲雄	総務省総合通信基盤局電波部電波政策課
〆〃ザ〃-ハ	臼井 文良	総務省総合通信基盤局電波部基幹通信課
〆〃ザ〃-ハ	馬場 秀樹	総務省総合通信基盤局電波部基幹通信課重要無線室
〆〃ザ〃-ハ	竹下 文人	総務省総合通信基盤局電波部衛星移動通信課
〆〃ザ〃-ハ	伊藤 英知	総務省総合通信基盤局電波部移動通信課
事務局	八木 義男	一般社団法人電波産業会 研究開発本部
事務局	金澤 昌幸	一般社団法人電波産業会 研究開発本部 固定通信G

## ロボット用電波利用システム調査研究会WG 構成員名簿

(敬称略・順不同)

氏名	所属
委員長 羽田 靖史	工学院大学 機械システム工学科
副委員長 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
主任 姉齒 章	双葉電子工業株式会社 無線機器事業センター無線機器企画開発グループ
構成員 加藤 数衛	株式会社日立国際電気 映像・通信事業部
構成員 櫻井 稔	アイコム株式会社 ソリューション事業部
構成員 渡並 智	セコム株式会社 IS研究所 コミュニケーションネットワークグループ
構成員 福永 茂	沖電気工業株式会社 通信システム事業本部 スマートフォンコミュニケーション事業部
構成員 石垣 悟	日本無線株式会社 事業本部 事業統括部
構成員 柏谷 篤	日本電気株式会社 情報・メディアプロセスシナジー研究所
〇〇〇〇〇〇	
〇〇〇〇〇〇 布谷 貞夫	産業競争力懇談会 (コアツ) 災害対応ロボットの社会実装プロジェクト
〇〇〇〇〇〇 北原 成郎	産業競争力懇談会 (熊谷組) 災害対応ロボットの社会実装プロジェクト
〇〇〇〇〇〇 細田 祐司	産業競争力懇談会 (ロボット学会) 災害対応ロボットの社会実装プロジェクト
〇〇〇〇〇〇 秋本 修	産業競争力懇談会 (日立製作所) 災害対応ロボットの社会実装プロジェクト
〇〇〇〇〇〇 早瀬 幸知	建設無人化施工協会 (大本組)
〇〇〇〇〇〇 木村 政俊	建設無人化施工協会 (大成建設)
〇〇〇〇〇〇 坂本 修	日本産業用無人航空機協会
〇〇〇〇〇〇 吉田 弘	独立行政法人海洋研究開発機構 海洋工学センター海洋技術開発部
〇〇〇〇〇〇 星野 哲雄	総務省総合通信基盤局電波部電波政策課
〇〇〇〇〇〇 臼井 文良	総務省総合通信基盤局電波部基幹通信課
〇〇〇〇〇〇 馬場 秀樹	総務省総合通信基盤局電波部基幹通信課重要無線室
〇〇〇〇〇〇 竹下 文人	総務省総合通信基盤局電波部衛星移動通信課
〇〇〇〇〇〇 伊藤 英知	総務省総合通信基盤局電波部移動通信課
事務局 八木 義男	一般社団法人電波産業会 研究開発本部
事務局 金澤 昌幸	一般社団法人電波産業会 研究開発本部 固定通信G

## 別紙 調査研究会 WG構成員