

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
概要

「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち
「無線LANシステムの高度化利用に係る技術的条件」のうち
「5GHz帯無線LANの上空利用に係る技術的条件」

- 近年、ドローン等に無線LANの技術が活用されるようになり、5GHz帯周波数の上空利用ニーズ・要望が高まっている。5GHz帯無線LANは、高精細な映像の送受信が可能なことから、橋梁等のインフラ点検や空撮による映像作成などへの拡充が期待されている。
- 現在、我が国では、5GHz帯無線LANのうち5.2GHz帯(条件付き、仰角制限あり)及び5.6GHz帯(DFS機能※¹⁾の具備)を屋外で使用することが可能であるが、上空利用についてはいずれの帯域においても利用不可となっている。
- これらを踏まえ、5GHz帯無線LANと既存無線局との周波数共用の可能性を整理し、上空での利用を可能とする条件を明らかにするため、「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」(※²⁾)のうち5GHz帯無線LANの上空利用に係る技術的条件の検討が必要である。

(※1) Dynamic Frequency Selection: レーダー波を検出した場合に無線LANが干渉を回避する機能。

(※2) 情報通信審議会諮問第2009号 (H14.9.30)

■ 検討背景

・周波数再編アクションプラン(令和5年度版):

5GHz帯(5.2GHz/5.6GHz帯)及び6GHz帯の無線LANが使用している周波数について、他の無線システム等への混信を防止しつつ、上空における更なる利用拡大を図るための検討を行い、令和5年度末頃から、順次方向性をとりまとめる。

・規制改革推進に関する中間答申(令和5年12月26日規制改革推進会議):

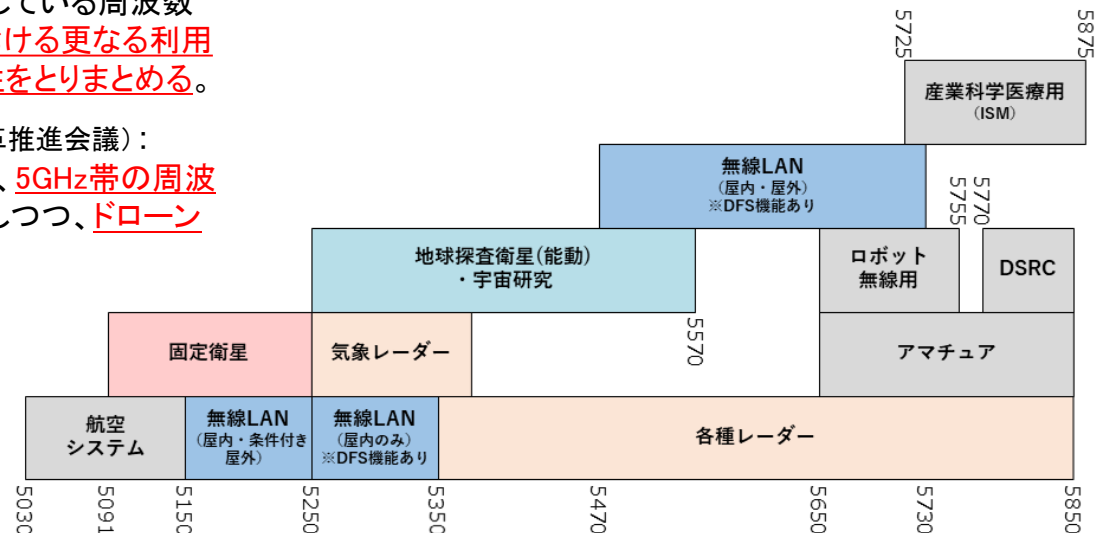
総務省は、多様な分野におけるドローンの利活用を促進するよう、5GHz帯の周波数について、気象レーダー等の無線システム等への混信を防止しつつ、ドローンに利用可能な無線LAN用周波数帯を拡大する。

■ 主な検討項目

5GHz帯無線LANの上空利用に係る技術的条件の検討

- ・ 5GHz帯無線LANと他システムとの周波数共用条件
- ・ 5GHz帯無線LANの上空利用の無線設備の技術的条件

我が国の5GHz帯の主な割当て



- 5GHz帯無線LANの屋外利用における現状は以下のとおり。
 - 5.2GHz帯: 条件付きで屋外利用可能、上空利用は不可
 - 5.3GHz帯: 屋外利用不可
 - 5.6GHz帯: 屋外利用可能、上空利用は不可
- 5GHz帯無線LANのうち、**5.3GHz帯、5.6GHz帯についてはDFSの具備が必須**であり、上空での利用には、DFSの実装コストがかかる他、レーダー受信により通信断が発生することによる安全面等への支障が懸念される。また、平成29年度陸上無線通信委員会報告において、5.6GHz帯は、ドローンを始めとする無人航空機等システムでの使用が回避されることが必要である旨記載あり(※)。

※参考:平成29年度陸上無線通信委員会報告(該当箇所抜粋)
平成14年9月30日付け諮問第2009号「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち「5GHz帯無線LAN の周波数帯拡張等に係る技術的条件」のうち「5.2GHz帯及び5.6GHz帯を使用する無線LANの技術的条件」

5.6GHz 帯では、小電力データ通信システムの上空利用に当たりDFS 機能の具備が必須となるため、それがレーダー波を探知した場合には一定時間の停波が必要となる。加えて、今後、無人移動体画像伝送システムの普及が進み、5.6GHz 帯小電力データ通信システムと同一チャネルの利用の増加に伴う干渉確率の増加も見込まれる。このため、いわゆるドローンを始めとする無人航空機等の安全性の確保を考慮すると、上空でそれを遠隔操作する手段としては、**5.6GHz 帯小電力データ通信システムの使用が回避されることが必要である。**

周波数帯		2.4GHz帯 (2400-2497MHz)	5.2GHz帯 (5150-5250MHz)	5.3GHz帯 (5250-5350MHz)	5.6GHz帯 (5470-5730MHz)
現状	利用範囲	屋内・ 屋外(上空を含む)	屋内・ 屋外(条件付き)	屋内	屋内・屋外
	DFSの要否	不要	不要	必要	必要



上記の点を鑑み、今回は主にDFS機能が不要な**5.2GHz帯の上空利用**について検討

5.2GHz帯無線LANの屋外利用の条件

- 5.2GHz帯の周波数利用は、決議229(WRC-19改定)において屋外利用条件が提示されている。
- 現在、我が国において、5.2GHz帯無線LANの屋外利用は、
 - ①「5.2GHz帯高出力データ通信システム」の技術基準適合証明等を取得した機器の利用
 - ②アクセスポイント及び中継器については、事前に「登録局」の手続が必要
 - ③気象レーダーに影響を与えない場所(告示に示す「開設区域」内)でのみ利用可能に制限されている。
- ①に関しては、衛星への与干渉を抑えつつ、一台でも多く利用できるよう、我が国では**仰角制限**のある利用条件(以下の図のOption 1)を採用している。

5.2GHz帯無線LANの屋外利用について

根拠規定

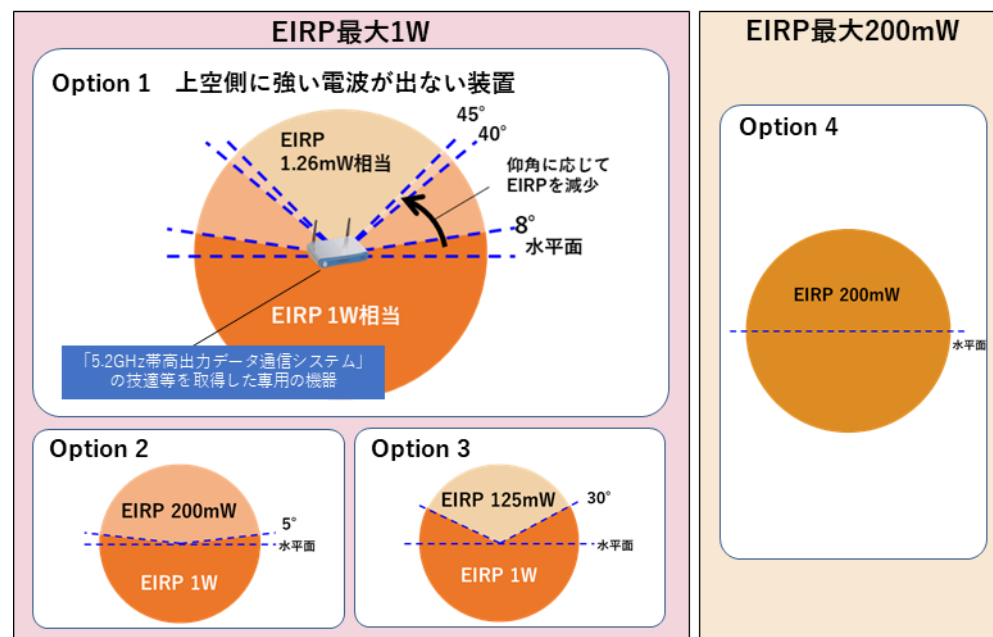
決議229
(WRC-19改訂)

利用条件※

- 行政当局は、**最大平均電力200mWの制御された、及び/または制限された屋外での使用を許可する適切な措置を講じることにより、ある程度の柔軟性を行使することができる。**
- 行政当局は、移動サービス局に対し、**最大平均EIRP30dBm(1W)までの運用を許可する更なる選択肢を有する。**
 - 水平線から測定した5度以上の最大EIRPが200mW(23dBm)を超えないことを保証するか、または仰角30度以上の最大EIRPが30dBm(1W)を超えないことを保証すること。(その場合、管理者は、これらの高出力屋外WAS/RLAN基地局の数を推定総数の最大2%までに制御するものとする)
 - 5.3GHz帯無線LANと同等の仰角制限等を講じること。

※根拠規定の条文を意識したもの。

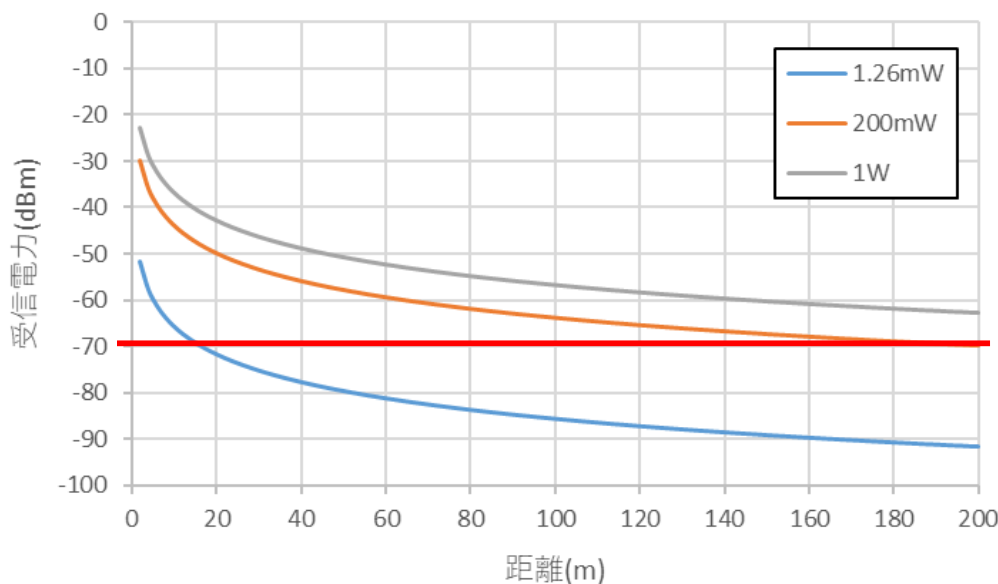
屋外利用に係る4つのOption



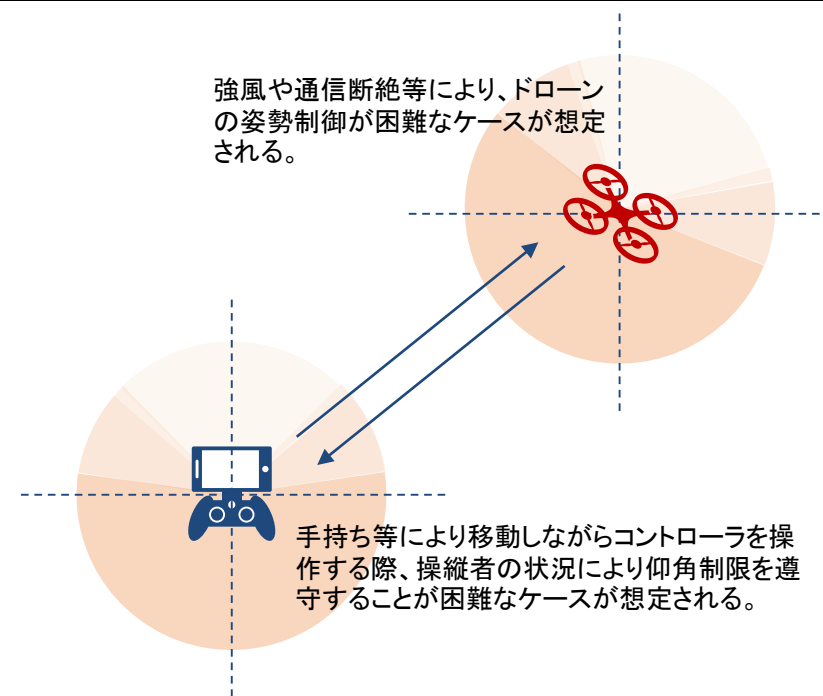
- 決議229(WRC-19改定)で提示された5.2GHz帯無線LANの屋外利用条件のうち日本はOption1を、欧州及び英国はOption4を採用している。
- 米国は、5.2GHz帯の利用条件に係る規定を留保し、独自の利用条件を規定している。

5.2GHz帯無線LANの上空利用に対する要求条件

- 無線LANの場合、受信電力は少なくとも -70dBm 程度ないと安定的な通信が困難とされているところ、決議229(WRC-19改定)における屋外利用条件のOption 1の上空方向の出力(1.26mW)では、 20m 以上離れると -70dBm を満足できない。一方で、Option 4の出力(EIRP 200mW)では、約 200m 程度の通信が可能であり、想定されるユースケース(橋梁等のインフラ点検や空撮による映像作成)において必要十分な飛行距離が確保できる。
- また、ドローン側に仰角制限がある場合、上空を飛行するドローンにおいて、自然環境による姿勢制御への影響が大きいことや、コントローラ側に仰角制限がある場合、人が持ってコントローラを操作することを想定すると、規制を遵守することが困難になる状況も考えられるため、 5.2GHz 帯無線LANの上空利用において仰角制限を設けることは適切ではない。



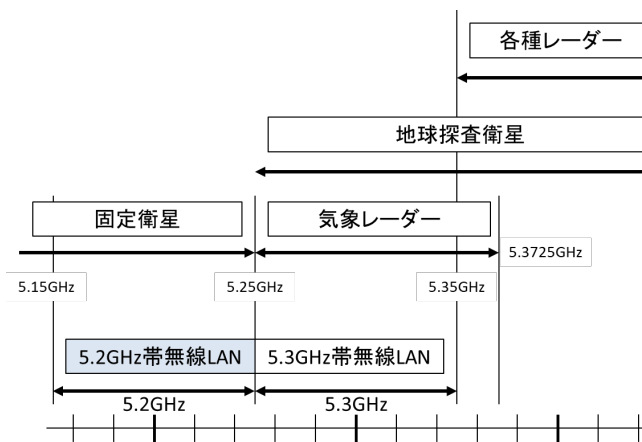
上空利用時の受信電力の距離特性



以上から、上空利用時のカバーエリアを広げ、使用できるユースケースを広げるため、 5.2GHz 帯無線LANの上空利用におけるEIRPの上限値として、Option 4を採用し、仰角によらず 200mW を上限とすることが望まれる。

5.2GHz帯無線LANと他の無線システムとの周波数共用検討

- 今回の検討周波数となる5.2GHz帯(5150～5250MHz)は、世界的に固定衛星業務(地球から宇宙。非静止衛星システムによる移動衛星業務(MSSフィーダリンク))に分配されている。
- また、隣接する5.3GHz帯(5250～5350MHz)は、我が国では気象レーダーや地球探査衛星等で利用されている。
- これらのシステムに対して共用検討を行った結果、無線局の間隔・台数を管理し、既存無線局と適切な離隔を確保することで共用の可能性があると考えられる。

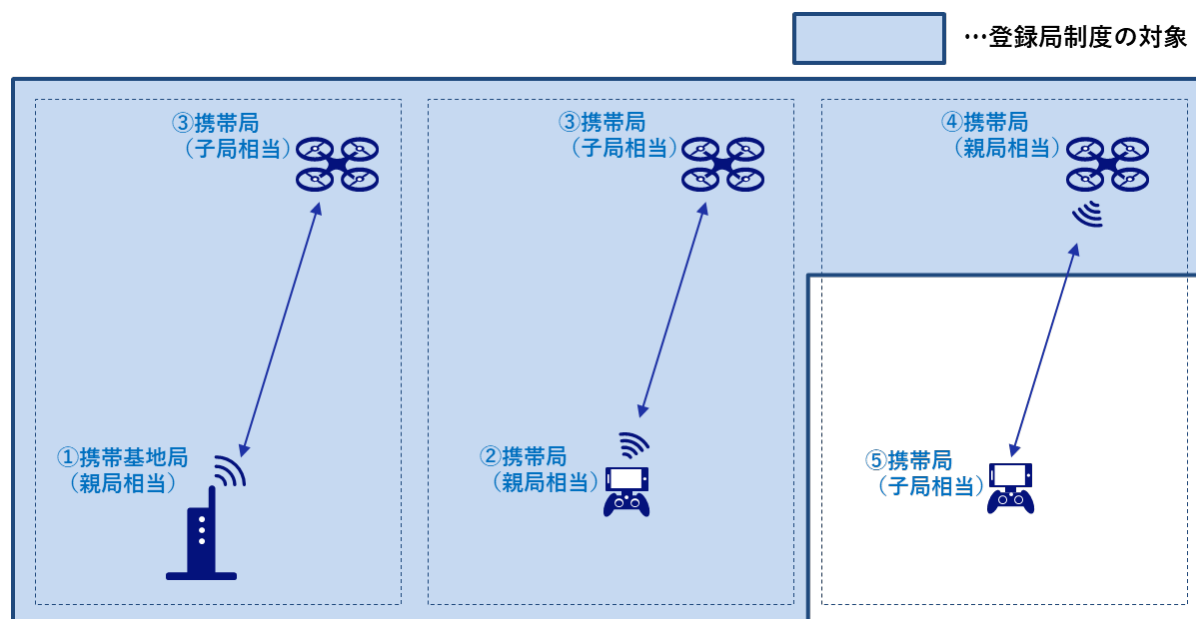


5.2GHz帯の使用状況

周波数帯	対象無線システム	共用検討結果
5.2GHz帯	固定衛星(非静止衛星システムによる移動衛星業務)	現状の屋外地上利用と今回検討する上空利用について、EIRPの仰角制限(Option 1及びOption4)を併用した場合においても、登録局として上限台数を超えないよう管理することで共用可能
	小電力データ通信システム	従来のキャリアセンス機能を具備することで共用可能
	5.2GHz帯高出力データ通信システム	
5.3GHz帯	気象レーダー	レーダーと適切な離隔を確保し、かつ、運用調整等により上空利用を行う無線局の間隔・台数を管理することで共用可能性あり
	地球探査衛星	5.2GHz帯小電力データ通信システムの帯域外漏えい電力値と同等であることを前提として共用可能

5.2GHz帯無線LANの上空利用の導入のイメージ

- 5.2GHz帯無線LANの上空利用の導入に当たっては、高度制限は不要であるものの移動衛星業務との共用のため台数管理が必要となること、また、気象レーダーとの共用のため運用調整が必要なことから、登録局制度の対象とする必要があるため、既に登録局制度の対象として運用されている「5.2GHz帯高出力データ通信システム」とすることを想定している。
- ユースケースとしては、下図のパターンが考えられるところ、このうち、陸上に開設する移動しない無線局(親局)については「携帯基地局」、移動中又はその特定しない地点に停止中運用する無線局(親局／子局)については「携帯局」とし、携帯基地局及び親局に相当する携帯局について、登録局制度の対象とする。
- なお、地上で使用する子局に相当する携帯局については、親局に相当する携帯局の制御の下で通信を行うとともに、既存の5.2GHz帯小電力データ通信システムと同様のEIRP200mW以下で使用することにより、登録不要で使用可能とする。また、子局には既存の5.2GHz帯小電力データ通信システムの子局を含むこととし、当該局についても、地上で使用する場合に限り、登録不要とする。



想定されるユースケースと登録局制度の対象範囲

- 5.2GHz帯無線LANの上空利用に関して、既存システムとの周波数共用の検討結果を踏まえ、次のとおり技術的条件を取りまとめた。

5.2GHz帯無線LANの上空利用に係る技術的条件

項目	一般的条件
1. システム種別	5.2GHz帯高出力データ通信システム
2. 周波数帯の呼称	5.2GHz帯
3. 周波数帯	5150～5250MHz
4. チャンネル配置（中心周波数）	20MHz幅以下：5180MHz、5200MHz、5220MHz、5240MHz 20MHz幅を超え40MHz幅以下：5190MHz、5230MHz 40MHz幅を超え80MHz幅以下：5210MHz
5. 周波数チャンネルの使用順位	特段規定しない
6. 周波数の使用条件	登録局制度により管理される条件下において利用を可能とする。なお、上空で利用される携帯局から制御を受けて通信する条件下において、登録不要での利用を可能とする。
7. 伝送速度	20MHz幅以下：20Mbps以上 20MHz幅を超え40MHz幅以下：40Mbps以上 40MHz幅を超え80MHz幅以下：80Mbps以上
8. 変調方式	直交周波数分割多重（OFDM：Orthogonal Frequency Division Multiplex）方式とする。 なお、1MHzの帯域幅当たりの搬送波の数が1以上であること。

■ 5.2GHz帯無線LANの上空利用に係る技術的条件のうち、無線設備の技術的条件について、次のとおり取りまとめた。

5.2GHz帯無線LANの上空利用に係る無線設備の技術的条件

*小電力データ通信システム及び高出力データ通信システムと異なる部分を抜粋

項目	5.2GHz帯小電力データ通信システム		5.2GHz帯高出力データ通信システム（屋外利用）			5.2GHz帯高出力データ通信システム（上空利用）	
空中線電力	帯域幅	空中線電力	帯域幅	空中線電力		帯域幅	空中線電力
	20MHz	10mW/MHz以下	20MHz	10mW/MHz以下	200mW以下 (基地局及び陸上移動中継局に限る)	20MHz	10mW/MHz以下
	40MHz	5mW/MHz以下	40MHz	5mW/MHz以下		40MHz	5mW/MHz以下
	80MHz	2.5mW/MHz以下	80MHz	2.5mW/MHz以下		80MHz	2.5mW/MHz以下
等価等方輻射電力	帯域幅	等価等方輻射電力	帯域幅	等価等方輻射電力		帯域幅	等価等方輻射電力
	20MHz	10mW/MHz以下	20MHz	水平面からの仰角(θ)		20MHz	10mW/MHz以下
	40MHz	5mW/MHz以下		8° 未満	50mW/MHz	40MHz	5mW/MHz以下
	80MHz	2.5mW/MHz以下		8° 以上40° 未満	$10^{(1.7-0.0716(\theta-8))}$ mW/MHz	80MHz	2.5mW/MHz以下
				40° 以上45° 以下	$10^{(-0.59-0.122(\theta-40))}$ mW/MHz		
			45° 超	0.063mW/MHz			
	40MHz		40MHz	8° 未満	25mW/MHz		
				8° 以上40° 未満	$0.5 \cdot 10^{(1.7-0.0716(\theta-8))}$ mW/MHz		
				40° 以上45° 以下	$0.5 \cdot 10^{(-0.59-0.122(\theta-40))}$ mW/MHz		
				45° 超	0.0315mW/MHz		
	80MHz		80MHz	8° 未満	12.5mW/MHz		
				8° 以上40° 未満	$0.25 \cdot 10^{(1.7-0.0716(\theta-8))}$ mW/MHz		
				40° 以上45° 以下	$0.25 \cdot 10^{(-0.59-0.122(\theta-40))}$ mW/MHz		
				45° 超	0.01575mW/MHz		
混信防止機能	主として同一の機構において使用される無線局の無線設備であって、識別符号を自動的に送信し、又は受信するもの		識別符号を自動的に送信し、又は受信するもの			同左	

5.2GHz帯無線LANの上空利用に係る無線設備の技術的条件

*小電力データ通信システム及び高出力データ通信システムと異なる部分を抜粋

項目	5.2GHz帯小電力データ通信システム	5.2GHz帯高出力データ通信システム（屋外利用）	5.2GHz帯高出力データ通信システム（上空利用）
使用・運用条件	5.2GHz帯高出力データ通信システムの基地局又は陸上移動中継局若しくは5.2GHz帯自動車内無線LANシステムと通信する場合を除き、屋内での使用に限る。	陸上移動局は、5.2GHz帯高出力データ通信システムの基地局又は陸上移動中継局と通信する場合を除き、屋内での使用に限る。	一の通信系内に上空で使用するものを含む場合に限る。
通信系内における制御等	適用外	基地局： 他の無線局から制御されることなく送信を行うとともに、一の通信系内の他の無線局が使用する電波の周波数の設定その他の当該他の無線局の制御を行うこと。 陸上移動中継局： 基地局からの制御を受けて当該基地局と通信するとともに、一の通信系内の陸上移動局及び小電力データ通信システムの無線局が使用する電波の周波数の設定その他の当該陸上移動局及び小電力データ通信システムの無線局の制御を行うこと。 陸上移動局： 基地局又は陸上移動中継局からの制御を受けて当該基地局又は陸上移動中継局と通信するものであること。	携帯基地局： 他の無線局から制御されることなく送信を行うとともに、一の通信系内の他の無線局が使用する電波の周波数の設定その他の当該他の無線局の制御を行うこと。 携帯局： 他の無線局から制御されることなく送信を行うとともに、一の通信系内の他の無線局が使用する電波の周波数の設定その他の当該他の無線局の制御を行うこと。若しくは、携帯基地局又は上記携帯局の制御を受けて当該携帯基地局又は携帯局と通信するものであること。

制度化に向けた諸課題

- 移動衛星業務の無線局及び5.3GHz帯気象レーダーとの共用検討結果を踏まえ、無線局の間隔や台数を管理するため、5.2GHz帯無線LANの上空利用に当たっては、登録局としての運用が求められる。
- 5.3GHz帯の気象レーダーは、順次設備更改の機会を捉えて固体素子化と周波数帯の移行が進められている。この移行状況を十分に考慮しつつ、5.2GHz帯無線LANの上空利用の不要発射から5.3GHz帯で運用する気象レーダーを保護するため、懸念のある気象レーダーの近傍において5.2GHz帯無線LANの上空利用がされないよう、これらの開設区域については特に留意する必要がある。

今後の検討課題

- 5.2GHz帯無線LANの上空利用を含む将来の無線システムに関して、IEEE等の国際標準化機関の動向に注視するとともに、新たな利用ニーズや技術方式の高度化に迅速に対応するため、必要に応じて無線LANの技術的条件を見直すことが適当である。
- 5.2GHz帯無線LANの上空利用の導入に当たっては、WRC-19の結果を踏まえた周波数共用条件に基づき技術的条件を定めているが、5.2GHz帯周波数の電波を使用する移動衛星通信システムとの共用条件に影響を及ぼす事象が生じる場合又は生じるおそれがある場合には、必要に応じて当該共用条件等の見直しを図ることが適当である。
- 5.3GHz帯及び5.6GHz帯についてはDFS機能の具備が必須であり、既存システムからの信号検出により通信遮断が発生する可能性があるため、上空運用において安全面等に支障が懸念される。今後、DFSの高度化やAFC（Automated Frequency Coordination：自動周波数調整）の活用により当該懸念が解消される可能性がある場合には、当該帯域の上空利用について改めて検討することが適当である。

- 本検討では、5.2GHz帯無線LANの上空利用に際し、5150～5250MHzで運用されている固定衛星(非静止衛星システムによる移動衛星業務)への影響や共用条件(許容台数)について確認する。

共用検討モデル

- 右下図のモデル (ITU-R勧告M.1454から引用) を用いて、地球の半径を6,371km、衛星の高度を1,414km、被干渉衛星局のフットプリントの弧の長さを5,800kmとした。
- 無線LAN機器がフットプリント内に一様分布していると想定し、各無線LAN機器の仰角を考慮の上、与干渉端末からの干渉の総和を計算した。
- 被干渉衛星局のフットプリントがアジア太平洋地域にある場合を想定し、フットプリント内の人口は1,663,236,000人とした。また、許容運用台数を算出する際、フットプリント内の人口比率を考慮し、日本で使用できる台数を全体の7%と仮定した。
- 許容干渉値 I/N は、以下の式により計算した。

$$I/N = EIRP - PL - L_{bldg.} - L_p - L_c - L_b - L_f + G - 10 \log_{10}(kTB/1mW)$$

$EIRP$ = アンテナ利得、人体損失を含めた与干渉端末の EIRP 値 (dBm)

PL = 自由空間伝搬損失 (dB)

$L_{bldg.}$ = 建物もしくは自動車の遮蔽損失 (dB)

L_p = 偏波識別度 (dB)

L_c = クラッタ損失 (dB)

L_b = 帯域補正 (dB)

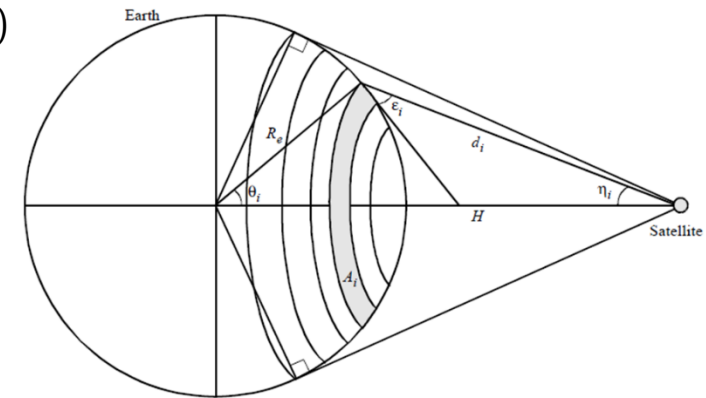
L_f = フィーダ損失 (dB)

G = 衛星のアンテナ利得 (dBi)

k = ボルツマン定数 $= 1.3806488 \times 10^{-23}$ (J/K)

T = 等価雑音度 (K)

B = 帯域幅 (Hz)



移動衛星業務 (MSSフィーダリンク) との共用検討モデル

周波数共用検討結果

- 上空利用による無線LANの使用高度の変化によるI/Nへの影響について検証した。
- 高度が3kmと極端なパラメータであっても、寄与度は0.1dB以下となり、I/Nに大きな変化は見られなかった。これは、衛星の高度1,414kmに対して無線LAN機器の使用高度が低いことにより、全体への自由空間伝搬損失に大きく寄与しなかったためと考えられる。このことから、衛星への与干渉の観点では、屋外利用と上空利用は同等に扱える。

無線LAN機器の使用高度の影響

(屋外無線LAN機器233万台、屋内無線LAN機器1.11億台、自動車内無線LAN349万台)

無線LAN機器の使用高度	0m	50m	150m	3km
I/N(dB)	-13.67	-13.67	-13.67	-13.66
マージン(dB)	1.47	1.47	1.47	1.46

- 決議229（WRC-19改定）における5.2GHz帯の屋外利用条件のうち、Option 1とOption 4を併用した場合のI/N及び許容台数への影響について検証した。
- 衛星システム側の許容干渉値を満たすためには、屋外無線LANを135万台に制限する必要がある。
なお、135万台は、現状の5.2GHz帯高出力データ通信システムの登録数（令和6年10月1日現在で342局）から見ても十分な数である。

仰角制限を併用した場合の影響

(屋外無線LAN機器233万台、屋内無線LAN機器1.11億台、自動車内無線LAN349万台)

仰角制限	Option1	Option1,4 併用(1:1)
I/N(dB)	-13.67	-10.79
マージン(dB)	1.47	-1.41
日本における屋外無線LAN機器の許容台数(万台)	507	許容干渉値を満たすためには135万台に制限する必要がある

- 本検討では、5.2GHz帯無線LANの上空利用に際し、5.3GHz帯で運用されている気象レーダーへの影響や共用条件について確認する。

共用検討モデル

- 平成16年11月の情通審（諮問第2014号）一部答申における参考資料7及び平成30年2月の情通審（諮問第2009号）一部答申における参考資料2の基本的な考え方を踏襲し、かつ、新たに地上（屋外高所利用）並びに上空利用を考慮し、以下のとおりモデルを設定し、モンテカルロシミュレーションにより検証した。
- 屋外利用率26%を評価条件とし、建物損を5.6dBに引き下げることで、新たに上空利用の効果を反映する。
- 今回新たに考慮する上空利用においては、決議229（WRC-19改定）における5.2GHz帯の屋外利用条件のうちOption 4に基づきEIRP200mWを想定している。過去のシミュレーションにおいては、空中線の指向性等を勘案し無線LANのEIRP200mWで検証しており、今回についても同値により検討することが適当である。

上空		地上	屋内・屋外	屋外高所
UASの飛行高度※	1～150m	高所利用率	1%	
伝搬定数及び遮蔽損失	伝搬定数：2 遮蔽損失：0dB	WASの設置高度※	都市部：30m 住宅地、郊外等：6m	30～300m (東京都の高層建築分布を基にモデル分布)
UASの展開密度	0.03 System/km ² /4Ch (UAS同士の離隔10km)	伝搬定数及び遮蔽損失	伝搬定数：2～3.5 遮蔽損失：0～20dB	伝搬定数：2 遮蔽損失：0dB
設定離隔距離（上空）	各気象レーダーの諸元に応じて個別に設定	アクティブシステムの展開密度	都市部 工場、倉庫地域 郊外 山岳・ルールル地域	20 System/km ² /Ch 7 System/km ² /Ch 4 System/km ² /Ch 2 System/km ² /Ch 80 System/km ² /4Ch 28 System/km ² /4Ch 16 System/km ² /4Ch 8 System/km ² /4Ch
※山岳レーダーの場合、UAS飛行高度・WAS設置高度はレーダー海拔高-100m地点を基準とする。		設定離隔距離（地上）	なし	1km (空港レーダーについては4km)

対象レーダー：羽田空港（東京）、名古屋（愛知）、
牧之原（静岡）、車山（長野）、国見山（鹿児島）、
白鷹山（山形）、大楠山（神奈川）

周波数共用検討結果

- シミュレーションの結果、下表のとおり、5.2GHz帯の上空利用に当たっては、気象レーダーに対して適切な距離を確保し、かつ、運用調整等によりドローンの間隔・台数等を管理すれば、ドローンに高度制限を設定しない場合でも、気象レーダーの許容干渉レベルに対して一定のマージンが確保されることが確認できた。
- ただし、ここでのシミュレーションの評価は、多数の無線LANからの干渉量を求めるものであり、総合的な与干渉を評価する手法として有効であるが、仮に特定の無線LANが気象レーダーに非常に接近し、かつ互いのアンテナ指向方向が正対して設置される等、特殊な設置状況を想定する場合の検討には適当でない。
- このような特殊な状況が生じることを踏まえ、実際の開設区域の設定に当たっては、気象レーダーとの位置関係に十分な配慮をする必要がある。

シミュレーション結果から導出した各気象レーダーの許容干渉レベルと無線LANの許容輻射電力の差

諸元	羽田空港 (東京)	名古屋 (愛知)	牧之原 (静岡)	車山 (長野)	国見山 (鹿児島)	白鷹山 (山形)	大楠山 (神奈川)
マージン(dB)	15.8	6.3	8.9	11.5	7.7	16.7	7.3