

**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**

～60GHz帯無線設備作業班～

報告(案)概要

令和元年9月5日

陸上無線通信委員会

主査 東京工業大学 安藤 真

60GHz帯無線設備作業班

主任 茨城大学 梅比良 正弘 作業班構成員 26名

○検討状況

<陸上無線通信委員会>

第49回(令和元年5月17日)・・・60GHz帯無線設備の高度化に係る技術的条件の検討開始の報告

第50回(令和元年9月5日)・・・60GHz帯無線設備の高度化に係る技術的条件の検討結果の報告

<60GHz帯無線設備作業班>

第1回(令和元年5月29日)・・・作業班の運営方針、検討の進め方、今後のスケジュール等の確認

第2回(令和元年6月14日)・・・他システムとの干渉検討結果の報告及び技術的条件案の検討

第3回(令和元年7月10日)・・・他システムとの干渉検討結果の報告及び技術的条件案の検討

第4回(令和元年8月6日)・・・他システムとの干渉検討結果の報告及び技術的条件案の検討

第5回(令和元年9月2日)・・・作業班報告書取りまとめ

■ 検討背景

近年、広帯域のレーダーを使用し、離れたところからモバイル端末やテレビなどを手の動きを使って操作するモーションセンサーや、人体表面のわずかな動きを捉え、高精度に心拍数や心拍間隔を計測する生体情報センサー、一つの無線設備でデータ通信と無線標定を行うといった新たな無線システムの導入が期待されている。また、57-66GHzのデータ通信システムの構成要素は、制度の導入当初から大きく変更になっており、近年の無線システムの状況を鑑み、更なる利便性向上に向けて、筐体条件の技術基準を見直すことが要望されている。

このため、新たな無線システムの導入等に向け、60GHz帯の周波数の電波を使用する無線設備の高度化について、他の無線システムへの影響を確認した上で、必要な技術的条件の改定を検討するもの。

■ 主な検討項目

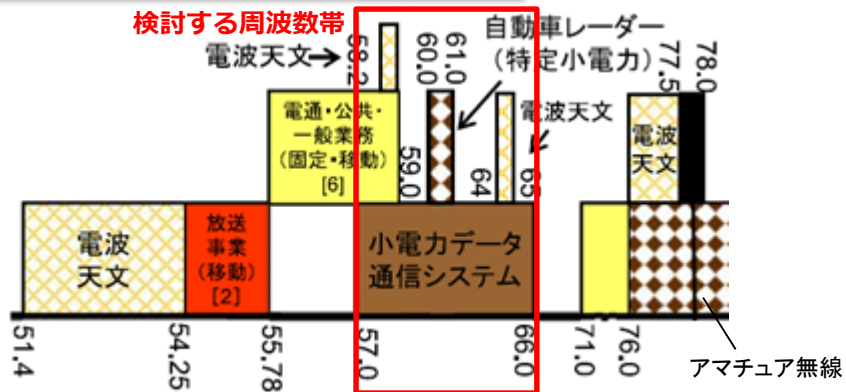
(1) 60GHz帯の新たな無線システムの導入のための必要な技術基準の検討

周波数帯や空中線電力、占有周波数帯幅等の技術基準について、他の無線システムへの影響を確認した上で検討する。

(2) その他技術基準の見直し

近年の60GHz帯無線システムの状況を鑑み、更なる利便性向上に向けて、筐体条件の技術基準を見直しについて検討する。

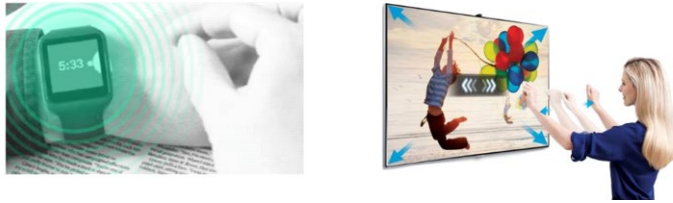
■ 60GHz帯の周波数割り当て状況



■ 新たな利用シーン

応用分野	想定されるサービス
スマート家電	<ul style="list-style-type: none"> ジェスチャーによる電子機器操作 人感センサー
生体情報取得	<ul style="list-style-type: none"> 家庭での見守りサービス、ヘルスチェック 介護施設等でのモニタリング等
個人認証	<ul style="list-style-type: none"> 生体認識による高精度な顔認識
自動車室内センシング	<ul style="list-style-type: none"> 幼児放置検知

スマート家電



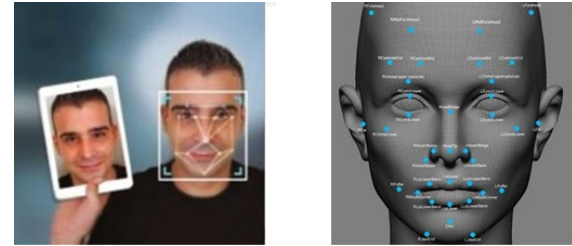
ジェスチャーによる電子機器操作



人感センサーによるディスプレイのオンオフ制御

(出典：クアルコムジャパン(同)様の資料(第1回作業班)からの抜粋)

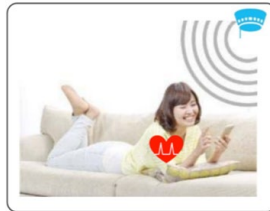
個人認証



60GHz レーダーの技術による顔認証

(出典：クアルコムジャパン(同)様の資料(第1回作業班)からの抜粋)

生体情報取得



生体情報に応じた個々の健康監視



(出典：ルネサスエレクトロニクス(株)様の資料(第1回作業班)からの抜粋)

自動車室内センシング



自動車室内センシングのイメージ

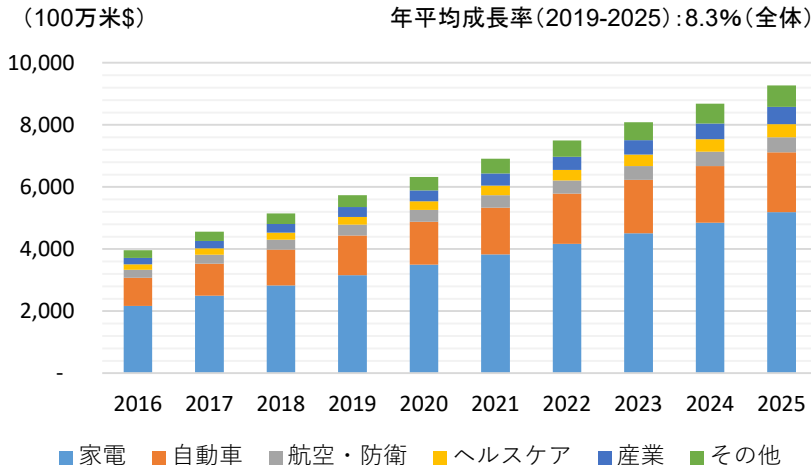
(出典：インフィニオンテクノロジーズジャパン(株)様の資料(第1回作業班)からの抜粋)

60GHz帯無線システム(モーションセンサーシステム)の普及予測

モーションセンサーシステム(ミリ波レーダー含む)市場のアプリケーション別の普及予測は、2016年から2025年までのグローバル市場で普及台数ベースで年平均成長率9.2%の伸びが予測されている。また、技術別では、現状、赤外線や超音波によるものが多いが、マイクロ波は、普及台数ベースで年平均成長率10.0%と予測されている。

【アプリケーション別】

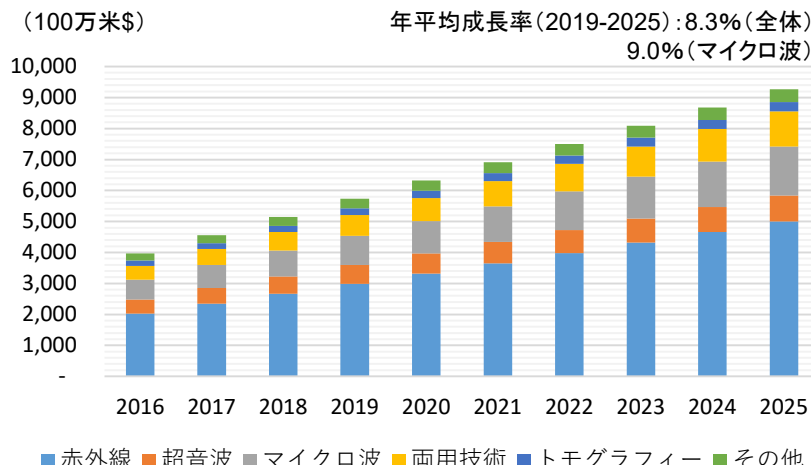
年平均成長率(2019-2025): 8.3%(全体)



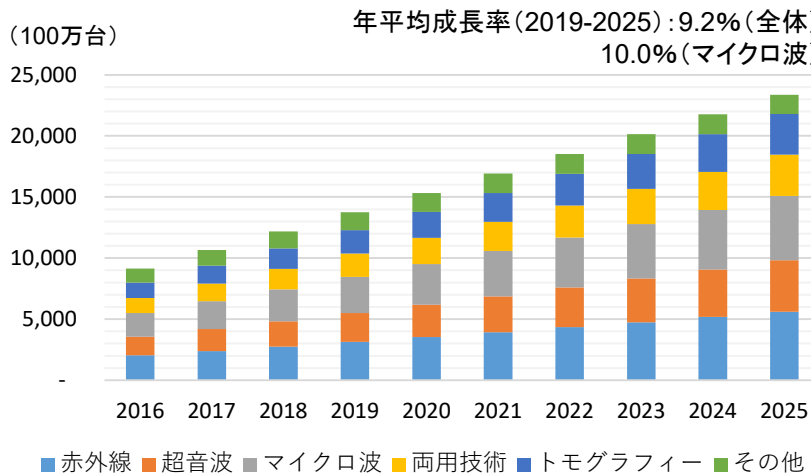
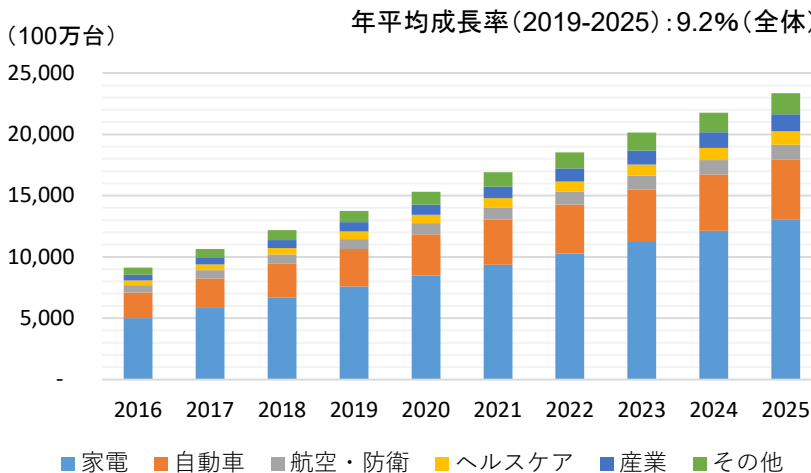
【市場規模】

【モーションセンサー技術別】

年平均成長率(2019-2025): 8.3%(全体)
9.0%(マイクロ波)



【普及台数】



モーションセンサー: 動く物体(特に人の動き)を検出するもの。 マイクロ波: レーダー技術を使用するもの。 両用技術: パッシブ赤外線と超音波の組合せ。 トモグラフィー: 多数のノードにセンサーを設置し、ノードの間でメッシュ状に電波を張り巡らせ、その中を動く物体による電波の乱れを感知する。

諸外国の60GHz帯レーダーに係る技術基準(欧米)

		米国			欧州	
規則・勧告等		FCC 47 CFR Part 15 §15.255	FCC 47 CFR Part 15 §15.255	2018年発効特例措置 DA 18-1308	REC70-03 Annex 1 Band n1	REC70-03 Annex 1 Band n2
カテゴリ		固定運用フィールド妨害センサー及びインターラクティブモーションセンサー	固定運用のフィールド妨害センサー	Google Soliのみ適用	非特定SRD	非特定SRD
標準規格等					EN 305 550	EN 305 550
周波数		57-71GHz	61-61.5GHz	57-64GHz	57-64GHz	61-61.5GHz
空中線電力	平均				10dBm	10dBm
	尖頭	-10dBm		10dBm		
電力密度 (PSD)	平均				13dBm/MHz e.i.r.p	No limit
	尖頭			13dBm/MHz e.i.r.p		
空中線利得						
等価等方輻射電力(EIRP)	平均		40dBm		20dBm	20dBm
	尖頭	10dBm	43dBm	13dBm		
占有帯域幅			500MHz			
不要発射の強度の許容値	帯域外輻射の制限値		61.0-61.5GHzを除く、57-71GHzにおける平均電力が10dBm以下、尖頭値は13dBm以下		43-57GHz, 64-78GHz; RMS電力密度が-20dBm/MHz以下	60-61GHz, 61.5-62.5GHz; RMS電力密度が-10dBm/MHz以下
	スプリアスの強度の許容値	40GHz未満: §15.209の限度値を適用 40GHz- 200GHz: 90pW/cm ² 以下@3m (≒- 10dBm/MHz RMS e.i.r.p.)	40GHz未満: §15.209の限度値を適用 40GHz- 200GHz: 90pW/cm ² 以下@3m (≒- 10dBm/MHz RMS e.i.r.p.)	40GHz未満: §15.209の限度値を適用 40GHz- 200GHz: 90pW/cm ² 以下@3m (≒- 10dBm/MHz RMS e.i.r.p.)	*記載省略(報告書参照)	*記載省略(報告書参照)
その他				デューティサイクルは、33msの間に10%以内。		
人体へのばく露許容値(電力密度)		1mW/cm ²			10W/m ² (1mW/cm ²)	

諸外国の60GHz帯レーダーに係る技術基準(韓国・中国)

		韓国	中国
規則・勧告等		「申告せず開設することができる無線局の無線設備の技術基準」(科学技術情報通信部告示第2018-90号)	「60GHz帯無線機器のための無線周波数技術要件及び試験方法」(YD/T 2722-2014)
カテゴリ		UWB及び用途未指定の無線機器	
標準規格等			GB9254-2008 ITU-R SM.1539-1 (2002)
周波数		57-66GHz	59-64GHz
空中線電力	平均		
	尖頭	500mW (無指向性アンテナの場合は100mW以下)	10dBm
電力密度 (PSD)	平均		
	尖頭	13dBm/MHz	
空中線利得		16dBi以下 (絶対利得の超過分は空中線電力で低減)	
等価等方輻射電力(EIRP)	平均		44dBm
	尖頭	43dBm	47dBm
占有帯域幅		57-66GHz	
不要発射の強度の許容値	帯域外輻射の制限値	1GHz未満: -36dBm/100kHz(e.i.r.p.) 1GHz~40GHz未満: -30dBm/MHz(e.i.r.p.) 40GHz以上: -10dBm/MHz(e.i.r.p.)	57-59及び64-66GHz: 電力密度が-5dBm/MHz
	スプリアスの強度の許容値		*記載省略(報告書参照)
	副次発射の許容値	副次発射の基準値(平均値) 1GHz未満: -54dBm/100kHz 1GHz以上: -47dBm/MHz	
その他		<ul style="list-style-type: none"> ・機器間の誤作動を防止するため識別コードを使用(ただし固定P2Pは適用除外) ・57-58GHzを使用する機器が27dBm(e.i.r.p.)を超過し、電波天文アンテナから半径300メートル以内に設置する場合は、事前の合意が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・設備メーカーが事前に設備の利用環境に関する条件を明示し、指定された環境下で利用 ・利用者による設備改造を防ぐため、設備はアンテナ一体型の構造
人体へのばく露許容値(電力密度)		10W/m ² (1mW/cm ²)	一級(安全区): 10μW/cm ² 二級(中間区): 40μW/cm ²

※ 韓国、中国ともに技術基準において、レーダー用途の適用ができるかは明示はされていない。

■高精度な距離分解能

- 本検討において想定するユースケースとなるモーションジェスチャー認識センサーや生体情報の検知・認証には高精度な距離分解能を要することから、最大7GHz程度の占有周波数帯幅が必要となる。
- このため、現行制度化されている60-61GHz帯のミリ波レーダーの帯域幅では十分な分解能を得ることができないことから、現在、小電力データ通信システムに利用されている57-66GHzにおいてレーダー用途での割当てを前提として検討する。

■キャリアセンス機能

- 現行の小電力データ通信システムとの共用を前提とするため、当該システムの技術基準と同じく、10mW超の場合はキャリアセンスを要することとし、10mW以下の場合はキャリアセンス機能を要しないこととする。
- また、小電力レーダーシステムの導入にあたっては、海外でも限定的な運用となっている状況を鑑み、10mW以下の場合であっても、キャリアセンスを要しない場合は、送信時間33ミリ秒以内に対して電波発射可能な時間率を10%以内とする規定を設ける。

概要

- 60GHz帯無線システムは、ノートPCやスマートフォンなどモバイル機器への実装が広がっており、ノートPC用ワイヤレスドッキングステーション等に加え、海外ではVRゲーム用ワイヤレス・ヘッドマウント・ディスプレイ（HMD）が開発され、新しいユーザインタフェースに応用されている。
- 60GHz帯無線システムの筐体条件は、現行規定上、「送信機は、一の筐体に収められており、かつ、容易に開けることができないこと」とされているが、近年、海外では、アクティブ・アレイアンテナを用いるため、高周波部と変調部を分け、その間をIFケーブルで接続する製品が発売されている。
- このため、高周波部と変調部が分かれた無線機器についても技術基準適合証明や工事設計認証を取得できるよう、筐体条件として、「高周波部及び変調部が別の筐体に収められている場合には、送信装置としての同一性を維持できる措置が講じられており、かつ、各々が容易に開けることができないこと。」の規定を設ける。

これまでの無線設備の構成 (2.4/5GHz帯の無線設備も同様)

現行の無線設備は、送信機(高周波部+変調部)は、一の筐体に収められており、かつ、容易に開けることができない構造となっている

アンテナ

高周波部(RF) + MAC/変調部(Base Band)

一の筐体

新しい無線設備の構成

新しい無線設備は、アンテナと高周波部が一の筐体に収められ、そこから変調部までIFケーブルで接続する構成となっている。

アクティブ・アレイアンテナ

RF

10GHz

数メートルの60GHz専用のIFケーブル

中間周波数(IF) + MAC/Base Band

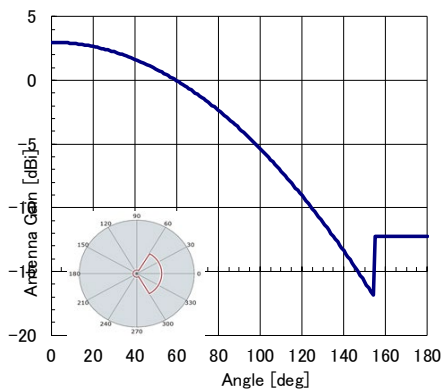
一の筐体に収めることが難しい

他システムとの共用検討 ① 干渉検討の条件

- 本検討においては、新たな無線システムとして導入を想定する、キャリアセンスなし(10mW以下)のミリ波レーダーシステム(ここでは、自動車レーダー等と区別するため、「センサーシステム」と表記する。)と他の無線システムとの干渉について検討する。
- なお、キャリアセンスあり(10mW超)のシステムについては、現行の小電力データ伝送システムと同一の技術基準とするため、他の既存無線システムとの共用条件は変わらないことから、本検討における干渉検討は不要とする。

<ミリ波センサーシステムの主な技術諸元>

電波の型式	F3N
変調方式	FMCW
周波数	57 ~ 64 GHz
占有周波数帯幅	7 GHz以下
空中線電力	10 mW
等価等方輻射電力	+13 dBm
空中線半値角	+ / - 60 deg.
デューティーサイクル	3.3 / 29.7 msec(最大)
キャリアセンス機能	実装無し



Beam= 120 [deg.], G= 3 [dBi],
Sidelobe= 154 [deg.], -16.83 [dBi]

ミリ波センサーシステムのアンテナパターン(シミュレーション)

<干渉検討対象システム>

周波数 (GHz)	システム	
54.25~55.78	放送事業用(FPU)	帯域外
55.78~59.0	電通・公共・一般業務(固定・移動) (エントランス回線)	—※1
57.0~66.0	小電力データ通信システム (WiGig、データ・画像伝送、FWA)	帯域内
60.0~61.0	特定小電力(ミリ波レーダー) (自動車レーダー、障害物検知装置)	帯域内
58.2~59.0	電波天文	帯域外※2
64.0~65.0		
76.0~77.5		
79.0~94.0		
94.1~116.0		
50.3~63.57	地球探査衛星業務(受動)	帯域内

※1 現状、無線局が存在しないため、検討対象外とする。

※2 58.2~59.0GHz、64.0~65.0GHzは付加分配の割当てであり、現状、対象設備がないため、検討対象外とする。

周波数帯	無線システム名	検討結果
57.0～66.0GHz	小電力データ通信システム	
	WiGig（屋内利用）	<ul style="list-style-type: none"> ・机上検討での所要離隔距離は、WiGigの通信距離10m時に5m。 ・実際には、アンテナの指向特性やミリ波センサーシステムの送信時間率等を考慮すると影響は更に小さくなり、共用可能。 ・実機による検証でも机上検討と同様の結果。
	WiGig（屋外利用）	<ul style="list-style-type: none"> ・机上検討での所要離隔距離は、WiGigの通信距離500m時に56m。 ・実際には、Wigigのビーム幅やミリ波センサーの送信時間率等を考慮すると影響は更に小さくなり、共用可能。
60.0～61.0GHz	共同住宅共聴システム	<ul style="list-style-type: none"> ・机上検討での所要離隔距離は、40cm。 ・実機による検証では所要離隔距離8.5cmとなり、実際のシステムへの影響を考慮すると、共用可能。
	特定小電力無線（ミリ波レーダー）	
	踏切障害物検知装置	<ul style="list-style-type: none"> ・机上検討での所要離隔距離は、80m以上（レーダーの検知距離による。） ・実機による検証では、離隔距離5mでも踏切障害物検知装置への干渉の影響はなかったため、実際のシステムへの影響を考慮すると、共用可能。
自動車レーダー	<ul style="list-style-type: none"> ・机上検討での所要離隔距離は、自動車レーダーの検知距離20mで14.7m、50mで96.5m。 ・実際には、相互のシステムの信号の重複や人体による遮蔽の影響を考慮すると、干渉の影響は限定的となり、共用可能。 	

周波数帯	無線システム名	検討結果
54.25～55.78GHz	放送事業用無線局(FPU)	<ul style="list-style-type: none"> ・机上検討での所要離隔距離(正対時)は、161.7m。 ・FPUに正対する位置へのミリ波帯センサーシステムの進入を防ぐなどの運用により、両立可能。
50.3～63.57GHz	地球探査衛星業務(受動)	<ul style="list-style-type: none"> ・机上検討において、地球探査衛星(受動センサー)のフットプリント内のミリ波センサーシステムの集合干渉電力を算出。 ・酸素吸収量が最低となる周波数57.29GHzにおいても許容干渉電力を満足する結果となり、共用可能。
76.0～116.0GHz	電波天文	<ul style="list-style-type: none"> ・机上検討(シングルエントリー)での所要離隔距離は20km超。 ・アグリゲートモデル(30km以内)での検討では、送信出力(帯域外電力)が-50dBm/MHzで干渉マージンを確保。 ・アグリゲートモデルの検証の一例から、ミリ波センサーシステムの実際の利用形態や利用技術などを考慮すると、一定の干渉電力の緩和が見込めることから、使用エリアの制限等の運用調整により両立性が成立する可能性が十分に見込める。

以上の結果から、既存無線システムとの共用は可能。

ただし、机上検討においては、一定の離隔距離が必要となるケースもあることから、実システムの導入においては、以下のような点に留意する必要がある。

- ・ 今後、既存無線システムの通信方式等やミリ波センサーシステムの送信信号条件の変更が生じる場合は、既存無線システムの耐干渉性能を考慮するとともに、実機での再検証を行うことが望ましい。
- ・ 電波天文受信設備への影響を考慮し、製造および販売事業者においては、帯域外輻射電力を最大限抑えること、使用エリアの制限が必要となるケースがあることの注意喚起を行うこと(マニュアルへの記載)といった点に配慮する必要がある。

電波防護指針の適合性

基本的な考え方

- 人体から20cm以内に近接した場合における無線設備から発射される電波の強度は、電波防護指針における局所吸収指針(下表左)に適合する必要がある。また、それ以外の場合においては、電磁界強度指針、補助指針又は局所吸収指針のいずれか1つを満たせば基礎指針を満たしていると判断できる。
- 57-64GHz帯の小電力広帯域ミリ波レーダーについては、送信出力10mWであるが、電波発射可能な時間率が10%以内であることを考慮すると、局所吸収指針の適用除外となる。仮に無線局の全出力が身体のごく一部に吸収される場合でも、入射電力密度の電波防護指針を満たしており、入射電力密度を評価する必要はない。また、局所吸収指針の一般環境における全身平均SAR(比吸収率(SAR)を全身にわたり平均したもの)についても同様に、仮に無線局の全出力が全身に吸収される場合でも、局所吸収指針の適用範囲において要件を満たすものと考えられる。
- ただし、当該無線設備と同一の筐体に収められた他の無線設備(総務大臣が別に告示するものに限る。)が同時に複数の電波を発射する機能を有する場合にあっては、総務大臣が別に告示する方法により算出した総合照射比が1以下でなければならない。
- 57-66GHz帯の広帯域のミリ波レーダー及び57-66GHz帯小電力データ通信システムについては、57-66GHz帯小電力データ通信システムの現行規定と同等の技術基準となるが、人体の近傍で利用するケースにおいては指針値を超える可能性があるため、利用ケースに応じて送信出力の低減、通信機能、または送信時間を考慮する等、電波防護指針に適合するための措置を講じていくことが必要である。

所吸収指針(一般環境)における要件(抜粋)


周波数	要件	指針値
100kHz以上 300GHz以下	全身平均SAR*	0.08W/kg
30GHzを超え 300GHz以下	入射電力密度	任意の体表面1cm ² 当たり2mW

*比吸収率(SAR)を全身にわたり平均したもの

局所吸収指針(一般環境)の適用除外となる
空中線電力(6分間平均値)(抜粋)

周波数	空中線電力
30GHzを超え300GHz以下	2[mW]

技術的条件案

		現行基準		今回追加する技術基準(案)		
		日本 (ミリ波レーダー)	日本 (小電力データ通信)		技術基準案 (新規ミリ波レーダー) キャリアセンス無し	技術基準案 (新規ミリ波レーダー) キャリアセンス有り
周波数		60-61GHz	57-66GHz		57-64GHz	57-66GHz
空中線電力	平均	10dBm ※型式により平均・尖頭の適用が決定	10dBm ※型式により平均・尖頭の適用が決定	10-24dBm ※型式により平均・尖頭の適用が決定	-	10-24dBm ※型式により平均・尖頭の適用が決定
	尖頭				10dBm	
空中線利得		40dBi	47dBi	10dBi以上	-	10dBi以上
EIRP (等価 方輻射電力)	平均	-	-	40dBm ※型式により平均・尖頭の適用が決定	13dBm	40dBm ※型式により平均・尖頭の適用が決定
	尖頭	-	-			
変調方式		-	-		周波数変調であり、連続波方式	-
占有周波数帯幅の許容値		500MHz	9GHz		7GHz	9GHz
不要発射の強度の許容値		帯域外領域: 100 μW/MHz スプリアス領域: 50 μW/MHz	55.62GHz以下: -30dBm/MHz 55.62を超え57GHz以下: -26dBm/MHz 66を超え67.5GHz以下: -26dBm/MHz 67.5GHzを超えるもの: -30dBm/MHz		55.62GHz以下: -30dBm/MHz 55.62を超え57GHz以下: -26dBm/MHz 64を超え67.5GHz以下: -26dBm/MHz 67.5GHzを超えるもの: -30dBm/MHz	55.62GHz以下: -30dBm/MHz 55.62を超え57GHz以下: -26dBm/MHz 66を超え67.5GHz以下: -26dBm/MHz 67.5GHzを超えるもの: -30dBm/MHz
その他		-	-	キャリア センス	特定の時間内(33ミリ秒以内)における 電波発射可能な時間率は10%以内	キャリアセンス
人体への電波ばく露 許容値(電力密度)		任意の体表面1cm ² あたり2mW/cm ² <small>(令和元年5月20日以降のものが適用)</small>		任意の体表面1cm ² あたり2mW/cm ² <small>(令和元年5月20日以降のものが適用)</small>		
混信防止機能		受信した電波の変調方式その他の特性を識別することにより、自局が送信した電波の反射波と他の無線局が送信した電波を判別できるもの。	主として同一の構内において使用される無線局の無線設備であつて、識別符号を自動的に送信し、又は受信するもの。		受信した電波の変調方式その他の特性を識別することにより、自局が送信した電波の反射波と他の無線局が送信した電波を判別できるもの。	
その他		-		電波の発射を停止する機能を有すること。		-
筐体条件		送信機は、一の筐体に収められており、かつ、容易に開けることができないこと。	送信機は、一の筐体に収められており、かつ、容易に開けることができないこと。		送信機は、一の筐体に収められており、かつ、容易に開けることができないこと。また、高周波部及び変調部が別の筐体に収められている場合にあっては、送信装置としての同一性を維持できる措置が講じられており、かつ、各々が容易に開けることができないこと。	
				 筐体条件のみ 見直し		

○新たな技術基準の整備に係る留意事項

- 今回、小電力広帯域ミリ波レーダー(キャリアセンス無し)については、周波数変調であり、連続波方式(間欠的連続波方式を除く。)により送信するものについて技術基準の検討を行った。
- 今後、当該システムの製品の普及状況や国内外の技術動向及び市場ニーズ等に応じて、他の変調方式の導入等の技術基準の見直しを図ることが適当である。
- 60GHz帯小電力データ通信システムとの共用検討においては、小電力広帯域ミリ波レーダーが現行システムと同じような利用形態となることを前提としており、今後、同帯域を使用する免許不要局の普及状況、技術動向や諸外国の動向に注視しつつ、必要に応じて適切な技術基準として見直しを図ることが適当である。

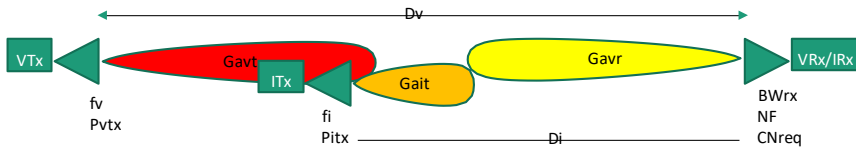
○電波防護指針の適合について

- 57-66GHz帯の広帯域のミリ波レーダー及び57-66GHz帯小電力データ通信システムについては、57-66GHz帯小電力データ通信システムの現行規定と同等の技術基準となるが、人体の近傍で利用するケースにおいては指針値を超える可能性があるため、利用ケースに応じて送信出力の低減、通信機能、または送信時間を考慮する等、電波防護指針に適合するための措置を講じていくことが必要である。
- 身体に近接して利用されるミリ波帯通信デバイスの電波防護指針への適合性評価手法に関しては、国際的な動向を踏まえながら、必要に応じて正確かつ効率的な評価手法の整備について検討することが望ましい。

(参考)他の無線システムとの共用条件等

(1) WiGig (屋内利用)

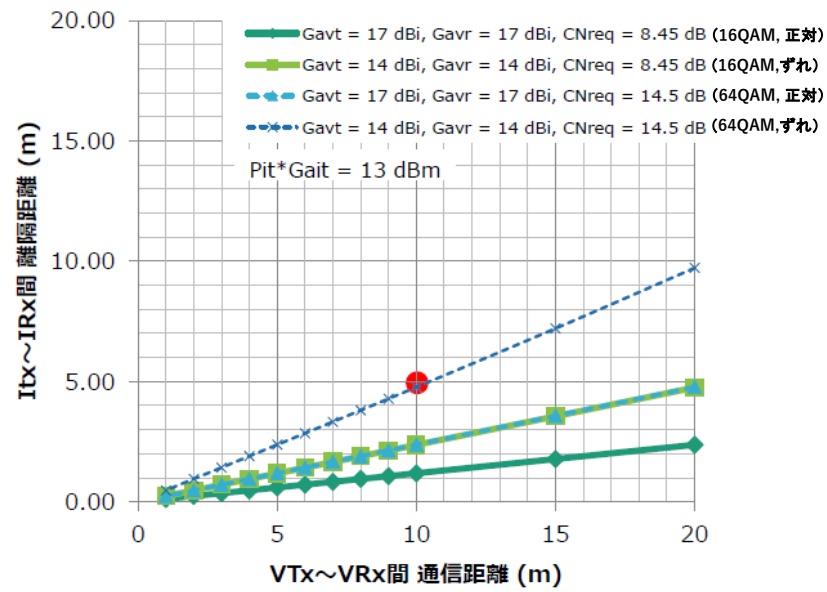
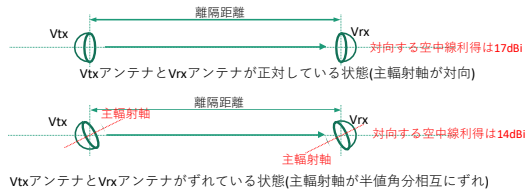
WiGigのキャリアセンス機能への影響及び通信時における与干渉装置との離隔距離の評価を行った。



Wigig (VTx) の送信諸元	
f_{VTx}	60.48 GHz
P_{VTx}	23 dBm
G_{avt}	17, 14 dBi

ミリ波センサー (ITx) の送信諸元	
f_{ITx}	60.48 GHz
P_{ITx}	10 dBm
G_{ait}	3 dBi

受信諸元		
	Wigig (VRx)	ミリ波センサー (IRx)
f_{VRx}	60.48 GHz	
BW_{Rx}	2.16 GHz	
G_{avr}	17, 14 dBi	17 dBi
NF_{Rx}	10 dB	
CN_{req}	8.45 dB (16QAM) 14.5 dB (64QAM)	



検討結果

Wigig端末のキャリアセンス時に与える影響

机上計算(100%連続送信と仮定)では、被干渉装置のアンテナ端においてキャリアセンス閾値以上の電力を受ける可能性があるが、実際のミリ波センサーシステムの送信時間率が10%程度であり、アンテナの指向特性も考慮すると、キャリアセンスにより通信をブロックする可能性は十分に低いと考えられる。

Wigig端末通信時における干渉の影響

Wigig端末が正対せずに通信を行っている状態でも、通信距離10m時に、5mの離隔距離が必要との結果となったが、実際には、アンテナの指向特性により離隔距離は更に短くなることや、ミリ波センサーシステムの送信時間率を考慮すると、影響は更に小さくなることから、共用可能と考えられる。
また、人体に近接して使われるようなケースでは、与干渉装置と被干渉装置との間には人体によるシャドーイングの影響が発生するため、更に離隔距離を短縮することができるものと考えられる。

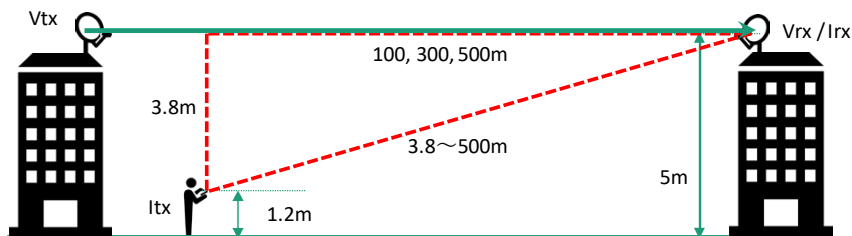
(2) WiGig (屋外利用)

WiGigのキャリアセンス機能への影響及び通信時における与干渉装置との離隔距離の評価を行った。

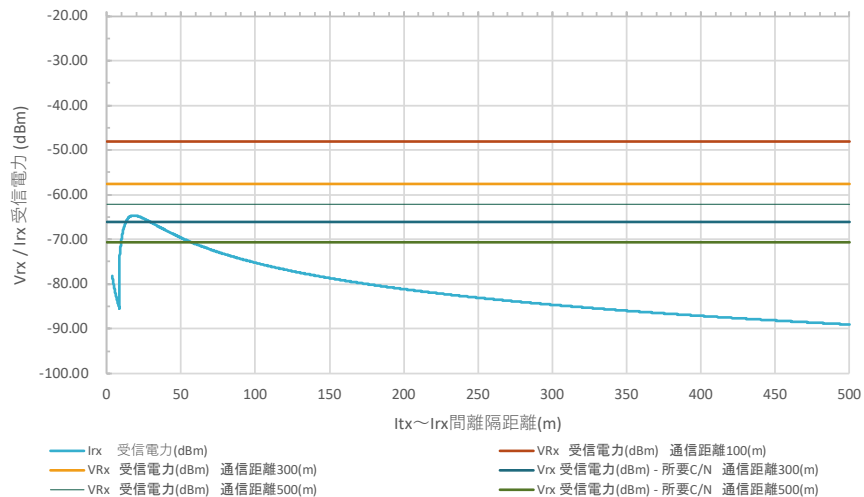
(主な諸元)

WiGig送信 (VTx)	周波数	fv	60.48 (GHz)
	送信電力	Pvt	20 (dBm)
	送信アンテナ利得	Gavt	20 (dBi)
	距離	Dv	100, 300, 500 (m)
	アンテナ地上高	Hvt	5 (m)
WiGig受信 (Vrx)	受信アンテナ利得	Gavr	20 (dBi)
	帯域幅	Brx	2.16 (GHz)
	受信機雑音指数	NF	10 (dB)
	所要C/N	CNreq	8.5 (dB)
	アンテナ地上高	Hvr	5 (m)
ミリ波センサー送信 (Itx)	周波数	fi	60.48 (GHz)
	送信電力	Pit	10 (dBm)
	送信アンテナ利得	Gait	3 (dBi)
	距離	Di	3.8 ~ 500 (m)
	アンテナ地上高	Hit	1.2 (m)
ミリ波センサー受信 (Irx)	受信アンテナ利得	Gair	~ 20 (dBi)

(干渉モデル)



- 被干渉装置のアンテナ主輻射軸を正対した条件で通信距離を100、300、500mに固定設定
- 与干渉装置は、被干渉装置の離隔距離を3.8~500mに変じた場合の被干渉側置の受信電力を評価



WiGigの通信距離に対する与干渉装置との所要離隔距離

検討結果

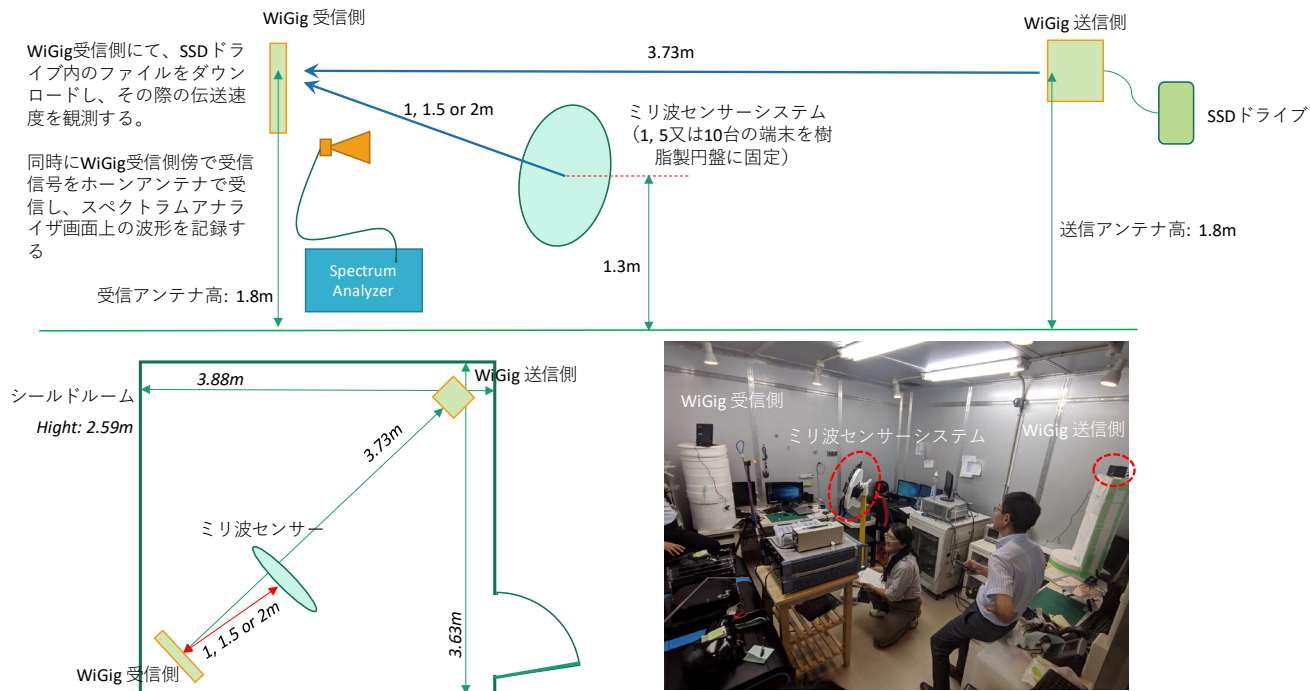
WiGig端末のキャリアセンス時に与える影響

被干渉装置と与干渉装置の最低離隔距離 (l_{tx-Vr}) は21.9mとなったが、この離隔距離において複数(最大10台と想定)の与干渉装置から電波の発射を行っても、被干渉装置のアンテナ端においてキャリアセンスレベル閾値 (-48dBm) を超える電力を受信することはないため、キャリアセンスへの影響はない。

WiGig端末通信時における干渉の影響

WiGig端末の通信距離が500mの場合、最低離隔距離は56mとの結果となったが、実際には、人体遮蔽面積率やWiGigのビーム幅やミリ波センサーの送信時間率、単位面積当たりの使用台数を考慮すると影響は更に小さくなることから、共用可能と考えられる。

(WiGig 実機による検証)



実施日: 2019/7/26 実施場所: 株式会社ディーエスピーリサーチ シールドルーム(兵庫県神戸市中央区)

<測定結果>

与被干渉間の距離	ミリ波センサーシステム数(台)	WiGig 通信CH 伝送速度, 低下率	
		CH 1	CH 2
1.0 m	10	880 Mbps,12%	880 Mbps,12%
	1	960 Mbps,4%	960 Mbps,4%
1.5 m	5	960 Mbps,4%	936 Mbps,6.4%,
	10	896 Mbps,10.4%,	880 Mbps,12%
2.0 m	10	904 Mbps,9.6%	880 Mbps,12%
1.5 m	0 (WiGig only)	960 Mbps,4%	1000 Mbps,ref

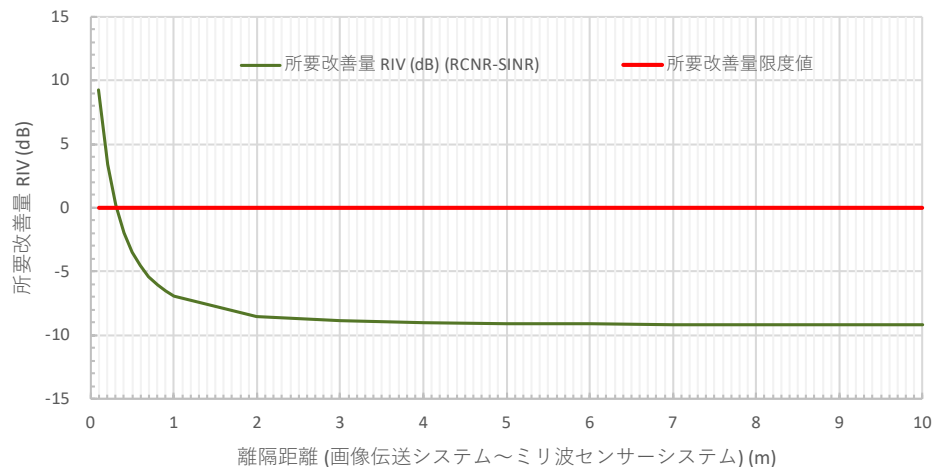
- ミリ波センサーシステムからWiGigへの干渉影響は、与被干渉距離1.5mの場合、ミリ波センサーシステムの台数が増えると伝送速度の低下がみられた。
- 与被干渉間の距離が2mの場合でも速度の低下がみられ、シミュレーションの結果とほぼ合致する結果となった。

(3)ミリ波画像伝送システム(共同住宅共聴システム)

共同住宅共聴システムと与干渉装置との離隔距離の評価を行った。

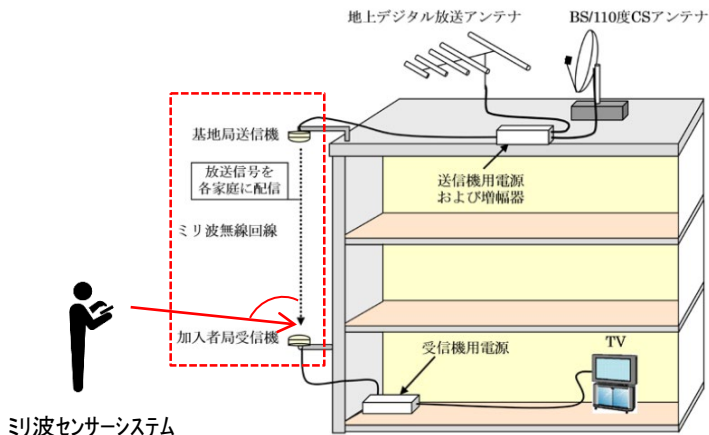
(ミリ波帯画像伝送システムの諸元)

周波数(中心周波数)	58.8 ~ 61.3 GHz (60.05 GHz)
占有周波数帯幅	0.0345 GHz/CH
空中線電力	0.04 mW/CH (-14dBm/CH)
空中線利得	23 dBi
等価等方輻射電力	+9 dBm
空中線半値角	+ / - 3.355 deg.
NF	7 dB
所要CNR	20.2 dB
信号伝送距離	20 m
受信空中線利得*	-13 dBi以下



離隔距離ごとの所要改善量

(干渉モデル)

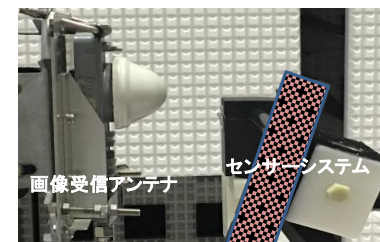


※ミリ波センサーシステムの電波の到来方向はミリ波帯画像伝送システムの受信アンテナの主軸方向から+/-12度以内になることは通常ないと想定されるため、受信アンテナのサイドローブ値を採用。

検討結果

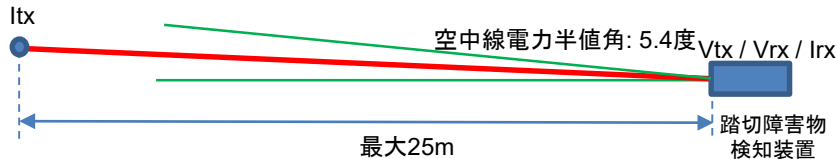
- 被干渉装置と与干渉装置の最低離隔距離は40cmとなる。
- 実機による検証(室内実験)では、離隔距離8.5cm※を確保すれば、伝送画像信号の所要CNを満足する結果となったため、実際のシステムへの影響を考慮すると、十分共用可能であると考えられる。

※離隔距離25cm以内ではセンサーシステムの設置版(右図)によりミリ波画像伝送システムの第1フレネルゾーンを100%遮蔽してしまうため、離隔距離25cm以内では、第1フレネルゾーンを50%遮蔽する位置を最も正対軸に近い場所として設定。



(1) 踏切障害物検知装置

与被干渉間の離隔距離を可変した際の踏切障害物検知装置の反射受信電力とミリ波センサーシステムから受信する干渉電力の比較を行った。

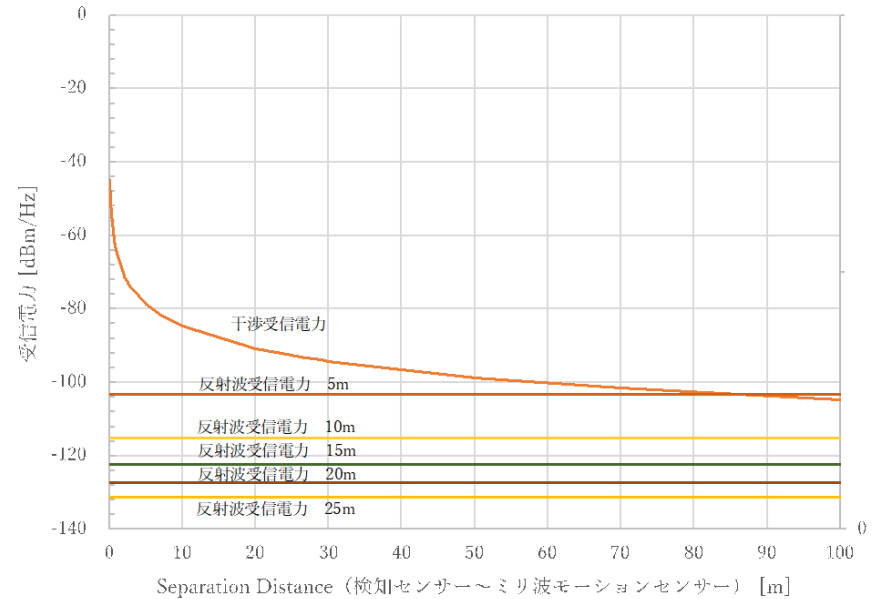


与干渉装置

送信 (Itx)	周波数	60.48 (GHz)
	送信電力	10 (dBm)
	送信アンテナ利得	3 (dBi)
	距離	1~25 (m)
受信 (Irx)	受信アンテナ利得	28.5 (dBi)

被干渉装置

送受信 Vtx/Vrx	周波数	60.5 (GHz)
	送信電力	10 (mW)
	送信アンテナ利得	28.5 (dBi)
	空中線電力半値角	5.4 (deg.)
	反射断面積	0.001 (m ²)
	通信距離	5,10,15,20,25 (m)
	受信アンテナ利得	28.5 (dBi)
	雑音帯域幅	1 (kHz)
	障害物検知最大距離	25 (m)
	最小受信電力	-98.7 (dBm/kHz)
	レーダー最小受信電力	-131.7 (dBm/Hz)
	受信機雑音指数	10 (dB)
	所要C/N	3 (dB)



離隔距離ごとの受信電力

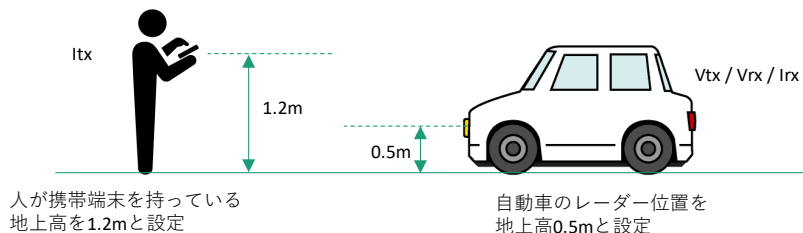
検討結果

- ・踏切障害物検知装置の通信距離(反射波の受信電力)により、一定程度の離隔距離が必要となる。
- ・実機による検証では、与被干渉間の離隔距離5mの場合でも踏切障害物検知装置への干渉の影響は認められなかったため、実際のシステムへの影響を考慮すると、共用は可能であると考えられる。
- ・今後、踏切障害物検知装置の測距方法やミリ波センサーシステムの送信信号条件の変更等が生じる場合は、耐干渉性能を考慮するとともに、実機での再検証を行うことが望ましい。

干渉検討結果②(特定小電力無線)

(2) 自動車レーダー

与被干渉間の離隔距離を可変した際の自動車レーダーの反射受信電力とミリ波センサーシステムから受信する干渉電力の比較を行った。

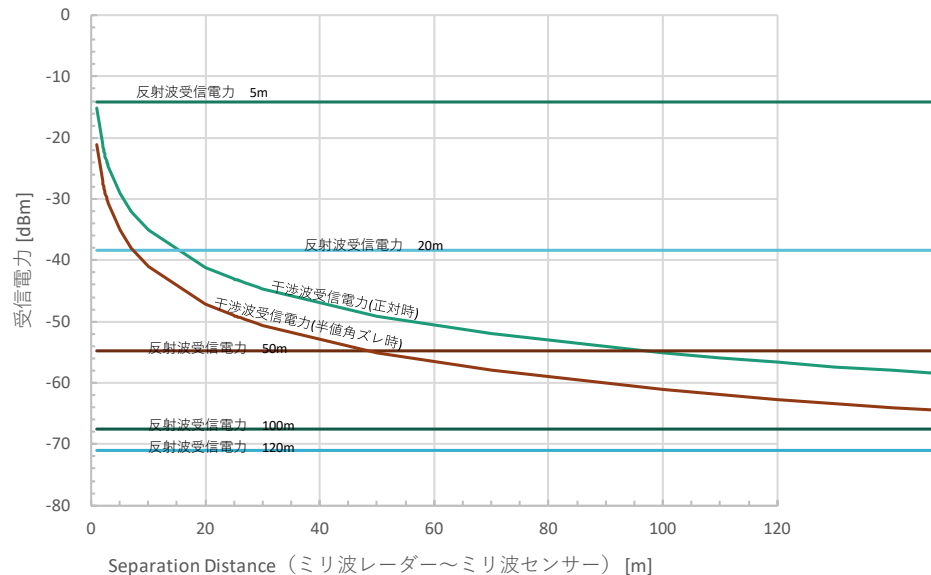


与干渉装置

送信 (Itx)	周波数	60.48 (GHz)
	送信電力	10 (dBm)
	送信アンテナ利得	3 (dBi)
	距離	1~120 (m)
受信 (Irx)	受信アンテナ利得	40 (dBi)

被干渉装置

送受信 Vtx/Vrx	周波数	60.48 (GHz)
	送信電力	3 (mW)
	送信アンテナ利得	40 (dBi)
	空中線半値角	5.2 (deg.)
	反射断面積	10 (m ²)
	距離	20 (m)
	受信アンテナ利得	40 (dBi)
	帯域幅	1 (kHz)
	検知距離	1~120 (m)
	スキャン角度	+/- 14 (deg.)
	大気減衰量	0 (dB)
	降雨減衰量	0 (dB)
	受信機雑音指数	10 (dB)
	所要C/N	3 (dB)



離隔距離ごとの受信電力

検討結果

- ミリ波センサーシステムの送信アンテナと自動車レーダーの受信アンテナが正対する場合、最低離隔距離は、検知距離20mで14.7m、50mで96.5mとなった。
- 双方のアンテナが半値角分ずれた場合、最低離隔距離は、緩和されるものの、ミリ波レーダーへの影響の可能性はある。
- これは最悪条件での検討であり、ミリ波センサーシステムの実際の動作及び運用を想定し、ミリ波レーダーシステムとミリ波センサーシステムの周波数軸及び時間軸での信号の重なりや人体によるシャドローイングによる影響を考慮すると、ミリ波レーダーへの干渉は限定的であり、共用可能であると考えられる。

FPUと与干渉装置との離隔距離の評価を行った。

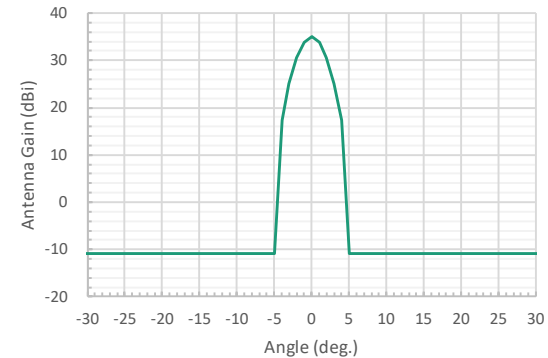
離隔距離の計算にあたっては、与干渉側システム(ミリ波帯センサーシステム)と被干渉側システム(FPU)を正対させた条件下での許容INRから、正対時及び双方のアンテナ方向をずらした場合の離隔距離を算出した。

与干渉装置

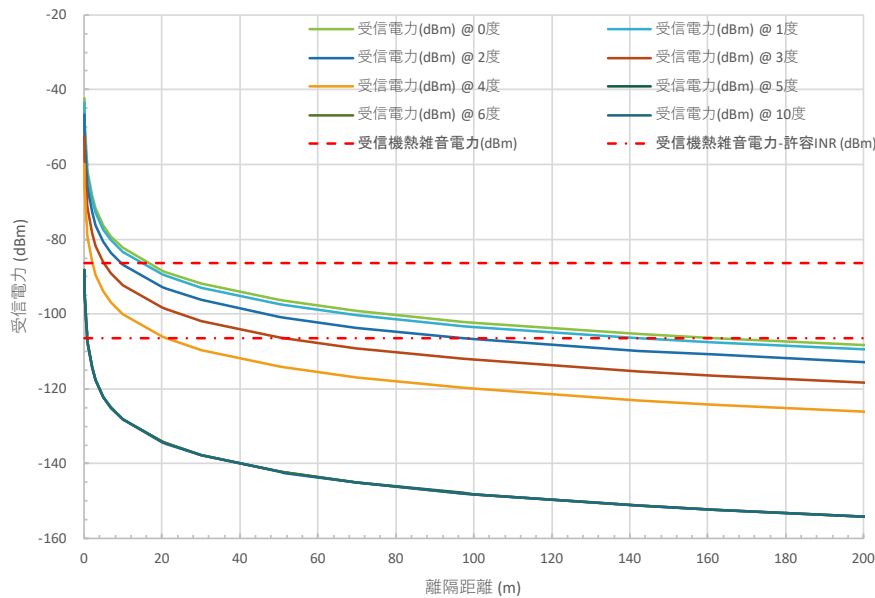
周波数	55.27 GHz
干渉電力	-30 dBm
空中線利得	0 dBi
空中線半値角	+ / - 60 deg.

被干渉装置

受信空中線利得	35 dBi
受信空中線半値角	+ / - 1.65 deg.
受信帯域幅	54.4MHz
受信帯域オフセット	-15.99 dB
大気吸収損	5 dB/km
雑音指数	10 dB
熱雑音電力	-86.47 dB
許容INR	-20 dB



FPUのアンテナパターン
(IEEEモデルによるシミュレーション)



離隔距離ごとの受信電力

検討結果

- FPUとミリ波帯センサーシステムが正対した場合は161.7mの離隔距離が必要となったが、アンテナ指向性による角度差が大きくなるほど干渉量が緩和される。
- FPUとミリ波帯センサーシステム間では特定の対向条件では干渉が起こり得るが、FPUに正対する位置へのミリ波帯センサーシステムの進入を防ぐなどの運用により、両立可能と考えられる。

地球探査衛星業務(受動)は、60GHz帯において、日本での運用は行われていないが、NOAA(米国海洋大気庁)やEUMETSAT(欧州気象衛星機関)が運用する低軌道衛星が日本上空を通過するため、ミリ波帯センサーシステムがこれらに与える影響について干渉検討を実施した。

衛星名	軌道高度(km)	受信周波数(GHz)
DMSP F-16	833	50.3, 52.8, 53.596, 54.4, 55.5, 57.29, 59.4, 60.792668 ± 0.357892, 63.283248 ± 0.285271
DMSP F-17	850	
DMSP F-18	850	

※受信周波数は60GHz付近を抜粋。平成27年陸上無線通信委員会報告書より抜粋。

＜計算の手順＞

- 1 ミリ波帯センサーシステムの端末普及密度を東京都の昼間人口密度を元にした 15,321(台/km²)にマージンを加えた 20,000(台/km²)と仮定
- 2 屋外での滞在時間率を10%以下と仮定
- 3 1、2から、SSMIS(Special Sensor Microwave Imager Sounder)のフットプリント内に存在するデバイス数を算出
- 4 1台のミリ波帯センサーシステムから衛星側アンテナが受ける電力 P₀を算出

$$P_0 = P_t + G_t + G_i - L$$

P_t: ミリ波帯センサーシステムの空中線電力

G_t: ミリ波帯センサーシステムの空中線利得

G_i: 衛星の空中線利得

L: 伝搬損失 = 32.4 + 20log(f) + 20log(d) + L₁^{*/**}
(f: 周波数[MHz]、d: 伝搬距離[km]、L₁: 大気減衰)

- 5 集合干渉電力 P_{aggregate}を算出

$$P_{\text{aggregate}} = P_0 + 10\log(N)$$

N: ミリ波帯センサーシステムのフットプリント内に存在する台数

検討結果

地球探査衛星の受信周波数が60GHz、57.29GHz(軌道高度は833km)の場合の集合干渉電力を算出したところ、それぞれ、-206.81 dBm/MHz(-216.81 dBW/100MHz)、-161.41 dBm/MHz(-171.41 dBW/100MHz)となり地球探査衛星業務(受動)の保護基準-169 dBW/100MHz^{***}を満足する結果となった。

※衛星の空中線利得については、60GHz の場合、NOAA NPOESSの54dBi、57.29GHz の場合、MTVZA-OKの51dBiを採用した。

* Rec. ITU-R P. 525-2 "Calculation of free-space attenuation"

** Rec. ITU-R P. 676-10 "Attenuation by atmosphere gases"

*** ITU-R RS. 2017 "Performance and interference criteria for satellite passive remote sensing"

干渉検討結果⑤(電波天文)

電波天文業務については、隣接システムとして76.5GHz帯(76-77.5GHz)の受信設備を、60GHz帯無線設備の2次高調波の影響を想定して115GHz帯(94.1-116GHz)の受信設備を検討対象とした。

この周波数帯における観測を行っている国内の天文台は国立天文台野辺山宇宙電波観測所のみであるため、シングルエントリー、アグリゲートモデルでの机上検討により干渉検討を行った。

与干渉側システムの諸元	
電波の型式	F3N
変調方式	FMCW
周波数(In-band)	57 ~ 64 GHz
占有周波数帯幅	7 GHz以下
空中線電力	10 mW
等価等方輻射電力	0 dBm
空中線半値角	± 60 deg.
デューティサイクル	3.3 / 29.7 msec. (MAX.)
キャリアセンス機能	実装無し
シミュレーション周波数	76.5 GHz及び 115 GHz
送信出力	-30 dBm/MHz

被干渉側システムの検討条件		
周波数帯域	76.5 GHz	115 GHz
場所	位置: 35° 56' 40" N, 138° 28' 21" E 標高: 1350 m	
保護基準 ^{*1}	-196.5 dBm/MHz	-198 dBm/MHz
アンテナ利得	0 dBi	

*1: Rec. ITU-R RA.769-2 (43~89 GHzまたは89~150 GHz) で適用可能な値の間を補間

伝播モデル		
自由空間損失と大気吸収モデル*	$L(f_{\text{GHz}}, d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(f_{\text{GHz}}) + 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + \alpha(f_{\text{GHz}}) \times d_{\text{km}} + 92.45 \text{ dB}$ $L(d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + 0.13d_{\text{km}} + 140.12 \text{ dB} \quad (76.5 \text{ GHz})$ $L(d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + 0.31d_{\text{km}} + 143.66 \text{ dB} \quad (115 \text{ GHz})$	
大気減衰係数**	76.5 GHz	0.13 dB/km
	115 GHz	0.31 dB/km
人体による遮蔽損***	3dB	

* $L(f_{\text{GHz}}, d_{\text{km}})$ は周波数および距離による損失(dB)、 f_{GHz} は周波数(GHz)、 d_{km} は距離(km)、 $\alpha(f_{\text{GHz}})$ は周波数に依存する大気減衰係数(dB/km)。

** ハーバードスミソニアン天体物理センターの電波天文学者によって作成されたエーエムアトモスフィックモデル(am atmospheric model)を採用。減衰値を計算するために、標高1350 mで相対湿度50%の標準大気を想定。

*** ユーザーが被干渉側機器の方向を向いてデバイスを利用している場合(参照: 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60GHz帯無線設備作業班(第2回)資料「シャードーイングとDuty Cycleの干渉検討に与える影響について」)

シングルエントリーにおける離隔距離の算出結果

送信出力 (帯域外)	所要離隔距離(km)			
	伝播損失のみ考慮		人体による遮蔽損を加味	
	76.5 GHz帯	115 GHz帯	76.5 GHz帯	115 GHz帯
-30 dBm/MHz	37.6	23.0	29.8	18.9
-40 dBm/MHz	16.3	11.1	12.3	8.6
-50 dBm/MHz	6.0	4.5	4.4	3.3
-60 dBm/MHz	2.0	1.6	1.4	1.1
-70 dBm/MHz	0.7	0.5	0.5	0.4

アグリゲートモデルによる干渉検討結果(電波天文の受信設備の半径30.5km内の総合干渉電力)

送信出力 (帯域外)	総合干渉電力			
	76.5 GHz帯		115 GHz帯	
	総合干渉電力 [dBm/MHz]	所要改善マージン [dB]	総合干渉電力 [dBm/MHz]	所要改善マージン [dB]
-30 dBm/MHz	-182.32	-14.18	-186.39	-11.61
-40 dBm/MHz	-192.32	-4.18	-196.39	-1.61
-50 dBm/MHz	-202.32	5.82	-206.39	8.39
-60 dBm/MHz	-212.32	15.82	-216.39	18.39
-70 dBm/MHz	-222.32	25.82	-226.39	28.39

検討結果

- シングルエントリーでの検討では、20kmを超える離隔距離が必要との結果となったが、帯域外輻射電力を極力抑えることで、電波天文受信設備との運用調整が必要なエリアを狭めることができ、両立性が成立する可能性が十分に見込める。
- アグリゲートモデルでの検討では、送信出力(帯域外)が-50dBm/MHzのときに、76.5GHz帯の電波天文の受信設備において、-202.32dBm/MHz、115GHzにおいて-206.39dBm/MHzとなり、マージンを確保できる結果となった。
- 本検討は一定の仮定の下に実施した例であるが、ミリ波センサーシステムの実際の利用形態や利用技術などを考慮すると、一定の干渉電力の緩和が見込めることから、使用エリアの制限等の運用調整により両立性が成立する可能性が十分に見込める。
- なお、製造および販売事業者においては、電波天文受信設備への影響を考慮し、帯域外輻射電力を最大限抑えること、使用エリアの制限が必要となるケースがあることの注意喚起を行うこと(マニュアルへの記載)といった点に配慮する必要がある。

(参考)アグリゲートモデルの考え方

アグリゲートモデル及び干渉軽減モデル

アグリゲートモデル				
方角	南西		北東	
離隔距離	10km以内	10km ~ 30km以内	10km以内	10km ~ 30km以内
離隔距離内の人口*(人)	24,234	465,420	10,826	208,698
スマートフォン普及率**	60%			
レーダー搭載端末の割合***	1%			
屋外デバイスの割合****	10%			

時間軸における干渉軽減モデル		
デバイスの1日の利用時間	10%	
屋内利用時における干渉軽減モデル		
壁損失(屋内のみ)*	20dB	
電波天文受信設備からの距離における干渉軽減モデル		
	パラボラアンテナからの距離	
都市構造による遮蔽損失**	10km超	10km以内
	10.16dB	適用なし

【軽減モデル】

*Bas, C. U., et al., "Outdoor to Indoor Penetration Loss at 28 GHz for Fixed Wireless Access", arXiv:1711.00168 (2017) <https://arxiv.org/pdf/1711.00168.pdf>

**情報通信審議会 情報通信技術分科会 移動通信システム委員会「79GHz帯高分解能レーダー作業班」参考資料7の「市街地構造による干渉緩和要素」および「植生による遮蔽損」を参照

【アグリゲートモデル】

*平成29年版 情報通信白書の「スマートホン個人保有率の推移」普及率約60%を参照

**調査会社ガーートナーのフォルダブル式モデルの2023年の普及予測を参照

***塩津弥佳, 吉澤晋, 池田耕一, 野崎淳夫, "生活時間調査による屋内滞在時間量と活動量: 室内空気汚染物質に対する曝露量評価に関する基礎的研究 その1", 日本建築学会計画系論文集, 1998-63-511, pp. 45-52, Feb. 2017

****http://www.soumu.go.jp/main_content/000159473.pdf

集合干渉電力の計算方法(概略)

1. 離隔距離内(リング状)の人口密度と面積より、距離に応じた平均人口を算出
2. 平均人口にデバイスの普及率を掛け合わせて、該当エリア内の端末台数を算出
3. 離隔距離内に存在する稼働端末数を元に電力合計値を算出(計算式: $10\log_{10}(\text{端末台数})$)

【屋外】離隔距離内の人口×スマートフォンの普及率(60%)×レーダー搭載端末普及率(1%)×1日利用時間(10%)×屋外(10%)

【屋内】離隔距離内の人口×スマートフォンの普及率(60%)×レーダー搭載端末普及率(1%)×1日利用時間(10%)×屋内(90%)×壁損失

【10km超】都市構造による遮蔽損失を含める。

対象端末数						
方角	全方位		南西		北東	
離隔距離	10km以内	10km~30km以内	10km以内	10km~30km以内	10km以内	10km~30km以内
対象端末数(屋外)(台)	21	404	15	279	6	125
対象端末数(屋内)(台)	189	3,640	131	2,513	58	1,127
時間軸における干渉軽減モデルを加えた稼働端末数						
稼働端末数(屋外)(台)	2	40	2	28	1	13
稼働端末数(屋内)(台)	19	364	13	251	6	113

4. 伝播モデルより離隔距離に応じた電力合計値を算出
5. 3と4より集合干渉電力を算出