

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

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
「60GHz 帯の周波数の電波を利用する無線設備の高度化に向けた
技術的条件

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 60GHz 帯無線システムの概要.....	3
1-1 検討の背景.....	3
1-2 60GHz 帯無線システムの新たな利用形態.....	3
1-3 普及予測.....	8
第2章 諸外国における動向.....	13
2-1 国際動向.....	13
2-2 国際標準化動向.....	15
2-3 諸外国における規制.....	20
第3章 60GHz 帯の周波数の電波を使用する無線設備の高度化.....	28
3-1 60GHz 帯小電力広帯域ミリ波レーダーに関する要求条件.....	28
3-2 60GHz 帯小電力データ通信システムの筐体条件の見直し.....	28
第4章 他の無線システムとの共用検討.....	32
4-1 干渉検討の条件.....	32
4-2 干渉検討対象システム.....	33
4-3 他の無線システムとの共用検討.....	34
第5章 電波防護指針.....	77
5-1 電波防護指針.....	77
5-2 60GHz 帯無線設備における電波防護指針の適合について.....	77
第6章 60GHz 帯の周波数の電波を使用する無線設備の技術的条件.....	79
6-1 60GHz 帯小電力広帯域ミリ波レーダー（キャリアセンス無し）の技術的条件.....	79
6-2 60GHz 帯小電力広帯域ミリ波レーダー（キャリアセンス有り）の技術的条件.....	86
6-3 60GHz 帯小電力データ通信システムの技術的条件.....	93
第7章 今後の検討課題等.....	94

I 検討事項

陸上無線通信委員会は、情報通信審議会諮問第 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」（平成 14 年 9 月 30 日諮問）のうち、「60GHz 帯の周波数の電波を利用する無線設備の高度化に向けた技術的条件」について検討を行った。

II 委員会及び作業班の構成

委員会の構成については、別表 1 のとおり。

なお、検討の促進を図るため、本委員会の下に 60GHz 帯無線設備作業班（以下「作業班」という。）を設けて検討を行った。作業班の構成については、別表 2 のとおり。

III 検討経過

1 陸上無線通信委員会での検討

(1) 第 49 回（令和元年 5 月 17 日）

60GHz 帯無線設備の高度化に向けた技術的条件の検討開始の報告を行った。作業班の運営方針、検討の進め方、スケジュール等について確認をした。検討の進め方については、委員会内の意見を取りまとめ、作業班に送付した。

(2) 第 50 回（令和元年 9 月 5 日）

作業班で取りまとめられた陸上無線通信委員会報告(案)についての検討を行った。また、報告書(案)について、令和元年 9 月 10 日から同年 9 月 30 日までの間、意見募集をすることとなった。

(4) 第 51 回（令和元年 10 月 1 日～10 月 3 日、メールによる検討）

意見募集の結果、12 件の意見提出があり、それら意見を踏まえ、委員会報告を取りまとめ、情報通信技術分科会に報告することとした。

2 60GHz 帯無線設備作業班での検討

(1) 第 1 回（令和元年 5 月 29 日）

作業班運営方針、作業班での検討の進め方、今後のスケジュールについて確認を行うとともに、60GHz 帯無線設備の新たな利活用方策の紹介、60GHz 帯小電力広帯域ミリ波レーダー（キャリアセンス無し）との干渉検討結果について報告を行った。

(2) 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について検討を行った。

(3) 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について検討を行った。

(4) 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陸上無線通信委員会報告（案）について検討を行った。

(5) 第5回（令和元年9月2日）

陸上無線通信委員会報告（案）をとりまとめ、陸上無線通信委員会に報告することとなった。

IV 検討概要

第1章 60GHz 帯無線システムの概要

1-1 検討の背景

60GHz 帯の周波数の電波を使用する小電力無線局は、平成7年に制度化された60-61GHzのミリ波レーダー用の特定小電力無線局と、平成12年に制度化された57-66GHzのデータ通信システムの無線局が存在する。60-61GHzのミリ波レーダーは自動車に搭載され障害物検知用レーダーの用途以外に、踏切の障害検知等の用途でも利用されている。57-66GHzのデータ通信システムは平成12年当時、衛星放送等の映像伝送システムやビル間通信等の用途として制度化され、平成25年には、60GHz帯を利用する高速データ通信規格であるIEEE802.11ad/WiGigの導入のため、空中線電力の増力等がなされ、今日に至るまで様々なシステムにおいて利用がなされている。

近年、広帯域のミリ波レーダーを使用し、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、高精度に心拍数等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。

本検討は、こうした新たな利用ニーズ等をふまえ、60GHz帯無線システムの技術的条件の見直しを行うものである。

1-2 60GHz 帯無線システムの新たな利用形態

1-2-1 60GHz 帯小電力広帯域ミリ波レーダー

レーダーシステムの広帯域化及び高度化により、センシング機能の検出範囲について、現行は物体の存在有無のみ検出可能であるが、今後は物体の位置や指先の動き等のジェスチャーまで検出可能となり、それによって多種多様な商品開発に技術応用ができるようになると想定される。人感及びバイタル・モニターによる室内や車内での人体の安全確保サポートや、個人の健康チェック、直接触ることなく家電を操作するなどのスマート家電への応用などが予想される。

また、IEEE802.11adの後継規格としてIEEE802.11ayの標準化が進められているが、本規格には、データ通信用途の他、レーダーとして使用することも検討されている。

予想される利用シーンを以下に示す。

(1) スマート家電

バッテリー駆動する端末用に開発されたチップセットを搭載することで、多種多様な家電がスマート家電として利用できるようになると想定される。例えば、テレビやパソコン、タブレット端末やスマートウォッチなどに搭載されることで、ジェスチャーによる電子機器の操作（図1-2-1）や、人体感知による家電の自動制御（図1-2-2）が

可能になると予想される。この場合、レーダーシステムへは2つの要求がある。第1に小型化、第2に高分解能化である。60GHzというミリ波帯域を使用することでアンテナの物理的なサイズの小型化、及びレーダーセンサー自体の小型化が可能となる。また60GHz帯で最大7GHzの周波数帯域を使うことにより、高分解能レーダーが実現可能となり、従来にはなかった応用が期待できる。(例 ジェスチャーセンシングなど)



図 1-2-1 ジェスチャーによる電子機器操作



図 1-2-2 人感センサーによるディスプレイのオンオフ制御

(出典：60GHz無線設備作業班(第1回)資料作60作1-7のクアルコムジャパン(同)様の資料からの抜粋)

(2) 生体情報取得による個人の健康チェックや見守りシステム

遠隔から心臓の鼓動や呼吸による人体表面のわずかな動きを認識し、心拍数や呼吸数等の生体情報を取得できるため、健康状態に応じた健康アドバイスへの応用が可能になると予測される。

また、天井や機器などにセンサーを埋め込み、カメラなし見守りを実現することで、利用者がこれまでカメラ監視によって感じていたストレスを軽減しつつ、母子・高齢者の見守りなどのシステムとして利用されると想定される。リアルタイムで位置、姿勢、及び呼吸状態をモニタリングできるようになると想定され、介護施設や保育施設に導入することで介護職員や保育士の負担を軽減することができる。今回提案の60GHz広帯域レーダーセンサーを使うことによって複数人の生体情報を同時に取得することも可能と

なるため、更なる応用範囲の拡大が期待できる。

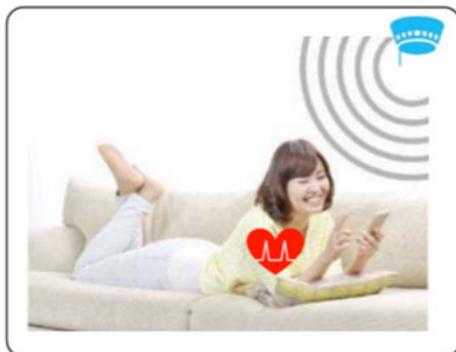


図 1-2-3 生体情報に応じた個々の健康監理



図 1-2-4 介護施設や保育施設での見守り

(出典： 60GHz 無線設備作業班（第 1 回）資料作 60 作 1-6 のルネサスエレクトロニクス（株）様の資料からの抜粋)

図 1-2-4 介護施設や保育施設での見守り

(出典： 60GHz 無線設備作業班（第 1 回）資料作 60 作 1-6 のルネサスエレクトロニクス（株）様の資料からの抜粋)

(3) 個人認証

現在ポータブル機器などには、セキュリティの観点から、個人認証機能の搭載が必須となっており、指紋認証、虹彩認証、顔認証など技術が使用されている。顔認証は、カメラを使用した画像処理技術がスマートフォン等に使用されているが、60GHz レーダー技術を使用した顔認証では、顔の検出だけでなく、生体認識を行う事も可能となる為、認証精度が上がる事が期待される。カメラを使用する場合、暗闇での認証が困難になるが、60GHz レーダーの技術ではこの問題は発生しない。

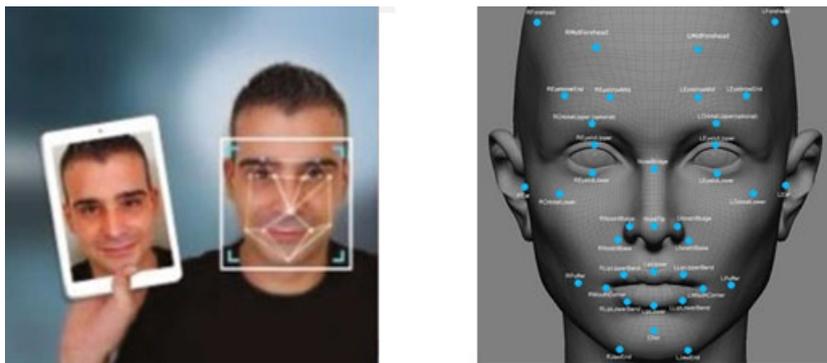


図 1-2-5 60GHz レーダーの技術による顔認証

(出典：60GHz 無線設備作業班（第1回）資料作 60 作 1-7 のクアルコムジャパン（同）様の資料からの抜粋）

(4) 自動車室内センシング

高分解能レーダーが実現できることによって、着座位置検出及び生体情報検出することが可能となるため、車内での生体確認に利用できることが想定され、Euro NCAP (New Car Assessment Program) への搭載が検討されている幼児放置検知機能の実現も容易となり、レーダーセンサーの新たな活用が期待される。



図 1-2-6 自動車室内センシングのイメージ

(出典：60GHz 無線設備作業班（第1回）資料作 60 作 1-5 のインフィニオン テクノロジーズ ジャパン（株）様の資料からの抜粋）

IEEE802.11ad/ay をベースとしたレーダーシステムは、通信に使用する信号と同じ信号を発射し、物体からの反射波を利用して、レーダーとしても利用するものである。IEEE 802.11ay preamble の一部（CEF：Complementary Golay sequence）をレーダー信号として活用し、モデムにおいて CEF と受信信号との相互相関をとり、チャンネルインパルス応答を計算する（図 1-2-7）。レーダーとしての利用形態は、上記（1）～（4）に含まれる。

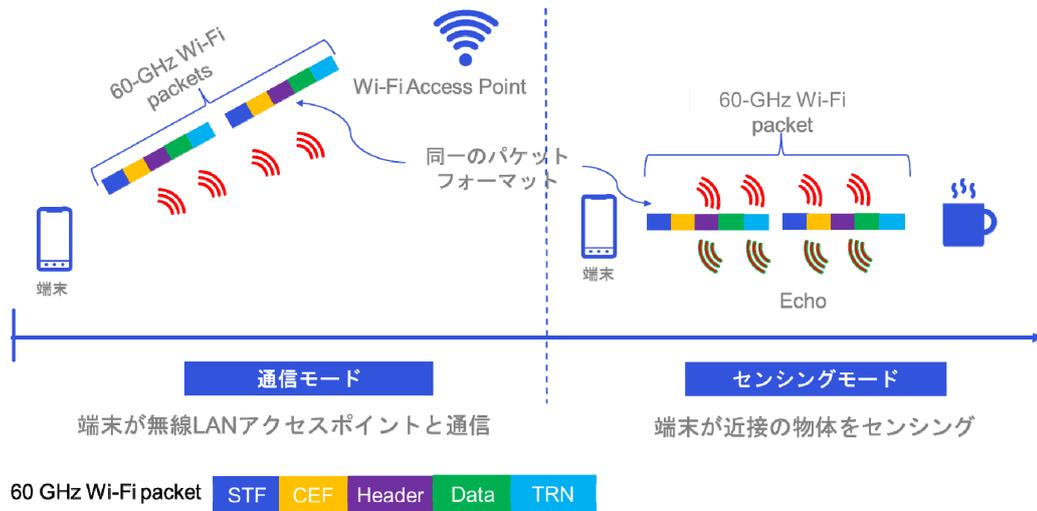


図 1-2-7 60 GHz 無線 LAN 通信モードとセンシングモード

(出典：60GHz 無線設備作業班（第 1 回）資料作 60 作 1-7 のクアルコムジャパン（同）様の資料を元に作成）

1-2-2 小電力データ通信システムを使用した VR システム等

WiGig は 2013 年当初、ノートブック PC やタブレットをデスクトップ環境でケーブルなしで接続するワイヤレス環境を提供するワイヤレス・ドッキング・ステーションが各 PC メーカーから販売された。2016 年には、WiFiAlliance (WFA) が WiGig の認証を開始し、これを受け Tri-Band (2.4/5/60GHz) の端末やアクセスポイントの製品化が始まっている。近年、今までの製品が想定していた静止・準静止環境での利用から、低速移動環境での製品が登場し、さらに高速移動環境を想定した製品開発、インフラ環境への応用など、多岐に渡る利用形態が登場してきている (図 1-2-8)。

- ・マルチメディア・ストリーミング
- ・Virtual Reality：自由な移動/体の動きに制限なし、複数のプレーヤで作業できる。例：ゲーミング、e-Sport、教育、リハビリテーション、医療現場での応用など。
- ・ITS：大量データの瞬時アップロード・ダウンロード
- ・ネットワーク・インフラ：無線高速回線で高速回線の機能拡張。光ファイバー同等品質を P2P メッシュネットワークで実現。



図 1-2-8 60 帯無線システムの製品開発動向

（出典：60GHz 無線設備作業班（第 1 回）資料作 60 作 1-8 のインテル（株）様の資料からの抜粋）

1-3 普及予測

60GHz 帯無線システムの普及予測について検討を行う。

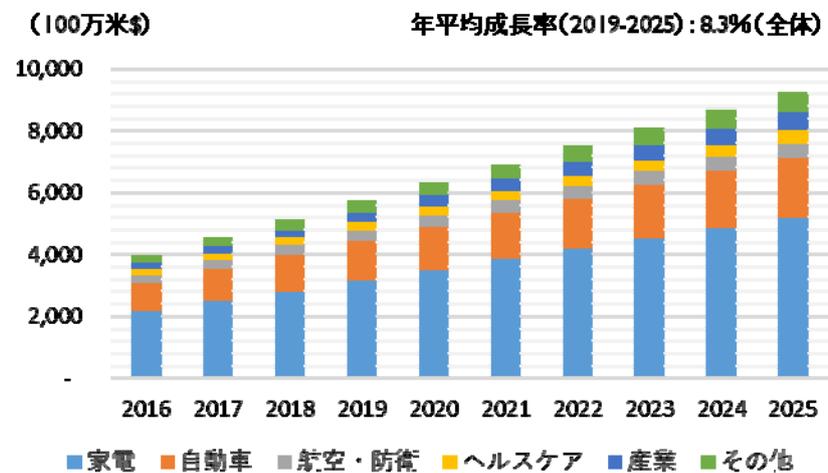
(1) グローバル

MarketsandMarkets 社の「Motion Sensor Market - Global Forecast to 2025」によると、世界の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、図 1-3-1 のとおりである。モーションセンサーとは、動く物体（特に人の動き）を検出するものである。

現状では、家電での利用が最も多く、次いで自動車、航空・防衛、ヘルスケア、産業となっている。2016 年から 2025 年までのグローバル市場全体の普及予測は、普及台数ベースで年平均成長率 9.2%、市場規模ベースで 8.3%の伸びが予測されている。



【普及台数】

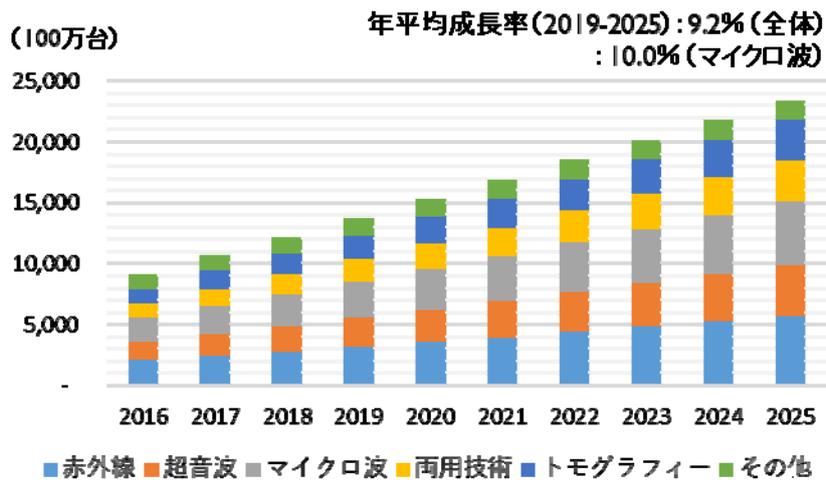


【市場規模】

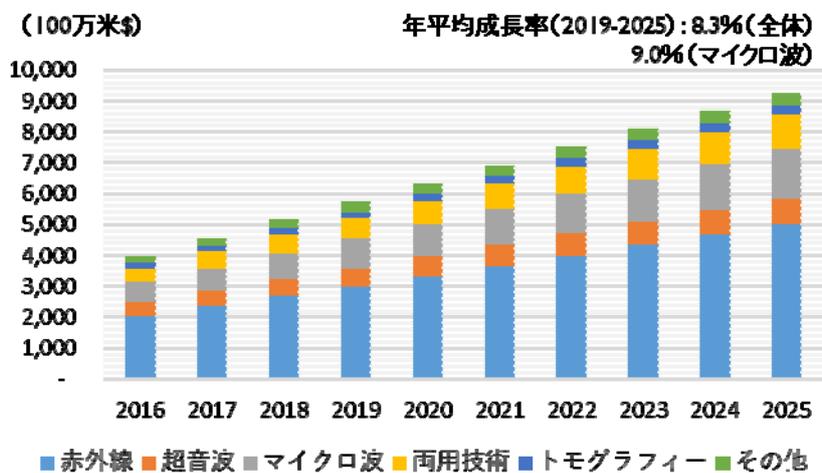
図 1-3-1 モーションセンサーシステムの普及予測（アプリケーション別）：グローバル

(出典：MarketsandMarkets, Motion Sensor Market – Global Forecast to 2025)

一方、図 1-3-2 に示すとおり、モーションセンサー技術別でみた場合、現状では、赤外線による利用が最も多く、次いで超音波、マイクロ波、両用技術、トモグラフィーとなっている。2016 年から 2025 年までの市場全体の普及予測は上述したとおりであるが、マイクロ波の普及予測は、普及台数ベースで年平均成長率 10.0%、市場規模ベースで 9.0%と、市場全体の伸びよりも約 1%高く予測されている。



【普及台数】



【市場規模】

〔用語〕

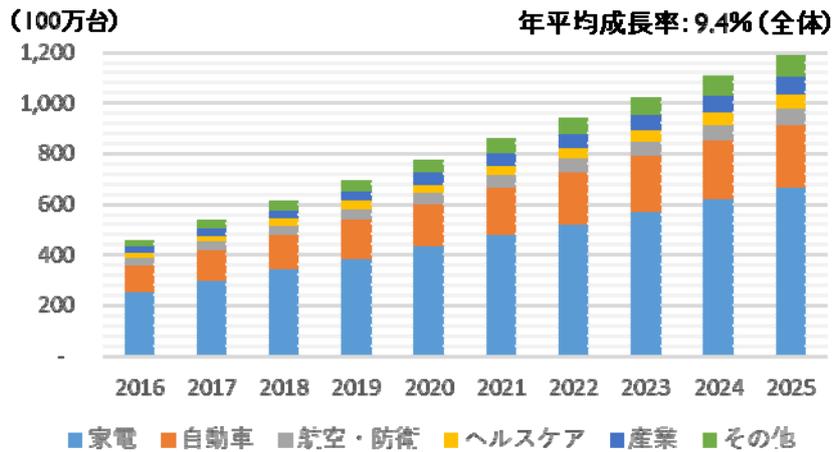
- マイクロ波 : レーダー技術を使用するもの。
- 両用技術 : パッシブ赤外線と超音波の組合せ。
- トモグラフィ : 多数のノードにセンサーを設置し、ノードの間でメッシュ状に電波を張り巡らせ、その中を動く物体による電波の乱れを感知する。

図 1-3-2 モーションセンサーシステムの普及予測（技術別）：グローバル

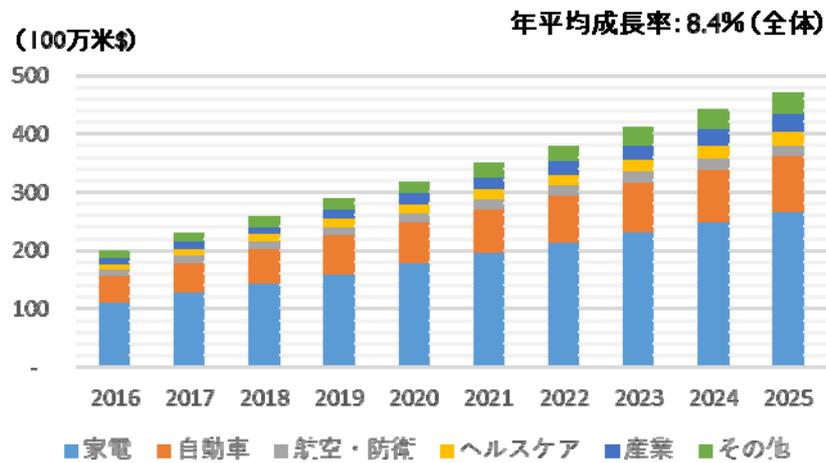
(出典：MarketsandMarkets, Motion Sensor Market – Global Forecast to 2025)

(2) 日本

MarketsandMarkets 社の「Motion Sensor Market - Global Forecast to 2025」によると、日本の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、図 1-3-3 及び図 1-3-4 に示すとおりである。2016 年から 2025 年までの日本市場全体の普及予測は、普及台数ベースで年平均成長率 9.4%、市場規模ベースで 8.4%と、グローバル市場の伸びに比べると 0.1~0.2%高く予測されている。



【普及台数*】

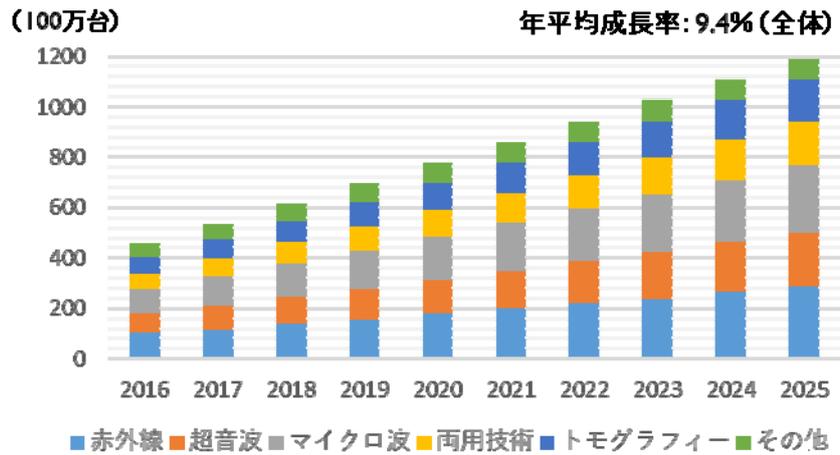


【市場規模*】

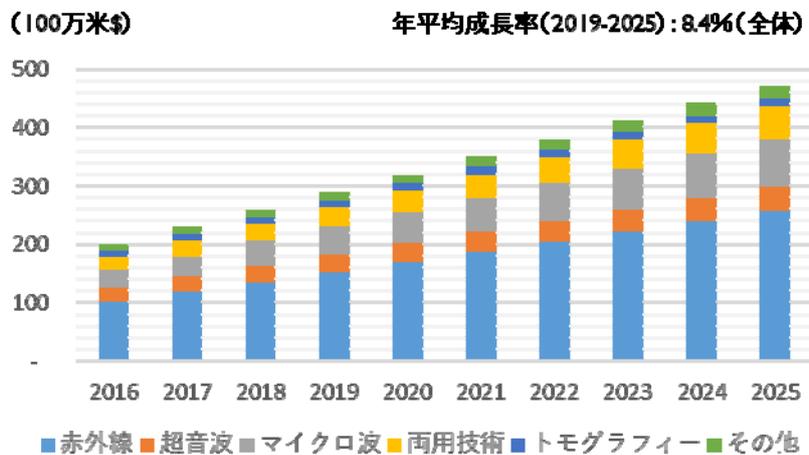
*前掲のグローバル市場での普及予測に準じて算出。

図 1-3-3 モーションセンサーシステムの普及予測（アプリケーション別）：日本

(出典：MarketsandMarkets, Motion Sensor Market – Global Forecast to 2025)



【普及台数*】



【市場規模*】

*前掲のグローバル市場での普及予測に準じて算出。

[用語]

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。

図 1-3-4 モーションセンサー技術別の普及予測：日本

(出典：MarketsandMarkets, Motion Sensor Market – Global Forecast to 2025)

第2章 諸外国における動向

2-1 国際動向

2-1-1 利用の現状

ミリ波レーダー（センサー）システム等の導入事例には、自動車用途や産業用途がある。自動車用センサーは、幼児やペットの車室内での置き去り防止を目的としたもので、フランスの Valeo 社が開発したシステムが、2019年5月に国内でデモンストレーションが実施された¹。当該システムは 79GHz 帯を使用するもので、車室内の天井にミリ波レーダーを配置して、生体検知センサーによる幼児やペットの置き去りを検知する。レーダーセンサーによって、呼吸により車室内の生体を検知するもので、毛布や暗がりで見えない乳幼児でも検知でき、車室内への置き去り防止などに活用できる。乳幼児が車室内に置き去りになってしまった際には、ドライバーのスマートフォンにアラームを出すなどの活用が可能である²。乳幼児やペットが車室内に取り残されて命の危険にさらされる事故が頻発し、社会的な問題になっていることから、欧州では、幼児置き去り検知機能は、自動車の安全性を評価する Euro NCAP（ヨーロッパ新車アセスメントプログラム）で 2022 年よりスコアリング対象になる見通しである³。

産業用途では、高精度なセンシングとインテリジェントな処理をシングル・チップに統合したミリ波センサーによって、人数計測、ビル・セキュリティ、安全保護、レベル・トランスミッタ、ロボット、交通監視などの広範な産業用アプリケーションとして利用される。Texas Instruments 社では 60-64GHz 帯を使用する産業用ミリ波センサーが販売されている⁴。



図 2-1-1 産業用ミリ波センサーの導入事例

（出典：Texas Instruments Incorporated）

2-1-2 今後の利用動向

今後見込まれるユースケースとして、モーションジェスチャー認識センサーがある。手の動きを追跡するためのレーダーを使用した専用のインタラクティブモーションセンサーによ

¹ https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/column/18/00001/02174/?i_cid=nbpnxt_reco

² <http://www.valeo.co.jp/medias/upload/2019/05/88226/2019.pdf>

³ <https://www.euroncap.com/en/press-media/press-releases/euro-ncap-launches-road-map-2025-in-pursuit-of-vision-zero/>

⁴ <http://www.tij.co.jp/ja-jp/sensors/mmwave/iwr/overview.html>

り、指や手の細かい動きで表現される動的なジェスチャーを追跡して認識することができる（図 2-1-2 参照）⁵。

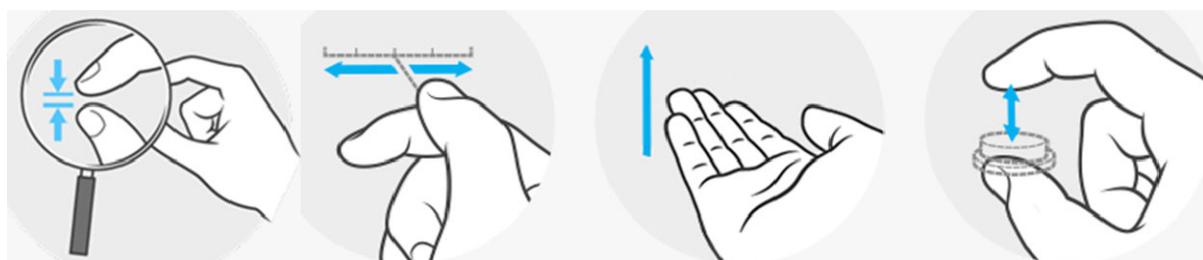


図 2-1-2 モーションジェスチャー認識センサー

（出典：Google ATAP）

Google の Soli は 57-64GHz のレーダービームを使用するもので、パソコンやタブレットなどの各種スクリーンのコントロールや、時計の機能コントロールなど、多種多様な機器でのインタラクティブモーションセンサーの適応が想定されている（図 2-1-3）

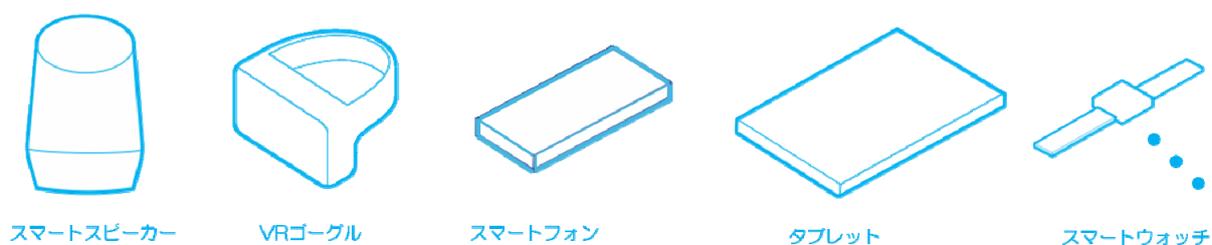


図 2-1-3 モーションジェスチャー認識センサーの適用例

（出典：Google ATAP）

その他、60GHz 帯での利用が見込まれるアプリケーションには、車室内センサー、スマート家電、着衣のまま脈拍を検知するバイタル・モニター、高精度な人感センサー、工場作業員の安全モニタリング、介護や保育の現場での見守りセンサー、セキュリティ用途の監視カメラなどがある。

⁵ <https://atap.google.com/soli/>

2-2 国際標準化動向

60GHz 帯無線システムとして無線パーソナルエリアネットワーク(WPAN: Wireless Personal Area Network)や無線ローカルエリアネットワーク(WLAN: Wireless Local Area Network)を取り巻く環境は急速に整いつつあり、家庭・オフィス等で広帯域を必要とするデータ通信等の利用に期待されている。諸外国における60GHz帯の周波数割当て状況は、アメリカが57-71GHz、カナダ・韓国が57-64GHz、中国が59-64GHz、日本・EUが57-66GHzとなっている(詳細は2-3節に示す。)

免許不要帯域である60GHz帯を対象とした代表的な国際標準規格としては、WirelessHDコンソーシアムが策定したWirelessHD、IEEE802.15.3c、IEEE802.11ad(WiGig)、IEEE802.15.3e、IEEE802.11adの後継規格のIEEE802.11ayがあり、これらの標準化動向について以下概要を示す。

(1) WirelessHD

WirelessHDは、WirelessHDコンソーシアムが策定した、テレビやDVDプレーヤなどAV機器間で有線のHDMIインターフェースに代わり、AVコンテンツを無線伝送することを主目的に策定された標準規格である。2006年に設立されたWirelessHDコンソーシアムには、主要な家電・AV機器メーカーや半導体メーカーなどが参加、2008年1月に初の規格となるWirelessHD 1.0が発表されている。通信距離は概ね10m以下を想定しており、機器間を最大4Gbps程度の高速なデータ転送を可能にしている。また、IEEE802.11ad同様、パスロスや障害物のある環境に対処した高速データ伝送を実現するためにビームフォーミング・ビームステアリング技術が採用されている。

WirelessHDは、制御情報用のLRP(Low-rate PHY)モードと、実際の映像データ伝送用のHRP(High-rate PHY)モードが用意されている。

利用シーンとしては、図2-2-1に示すように、Blu-rayなどに格納されたハイビジョン映像を非圧縮のままストリーミングして高品質のまま再生しモニタ等に接続することなどがあげられる。

導入状況については、ビデオプロジェクター・AVアンプ間やスマートフォン・大型モニタ間等を接続する機器が発売されている。



図 2-2-1 WirelessHD の利用シーンの例

(出典 : <http://www.wirelesshd.org/about/technology/>)

(2) IEEE802.15.3c

無線パーソナルエリアネットワークを議論する IEEE802.15WG(ワーキンググループ)では、2005 年に 60GHz 帯での標準規格を策定するタスクグループ 3c(TG3c)が設立された。本タスクグループは、60GHz 帯のミリ波を用い、2Gbps 以上の高速伝送技術によって、ハイビジョンの非圧縮映像のストリーム配信や、携帯端末への大容量コンテンツの配信などを旨として規格化作業が行われ、2009 年に標準化が完了し仕様書が発行された。

利用シーンとしては、サーバよりゲーム等のコンテンツをポータブル機器に高速でダウンロードすることや、図 2-2-2 に示すような大画面ディスプレイ等に高品質な映像をマルチギガビットで伝送することなどが挙げられる。

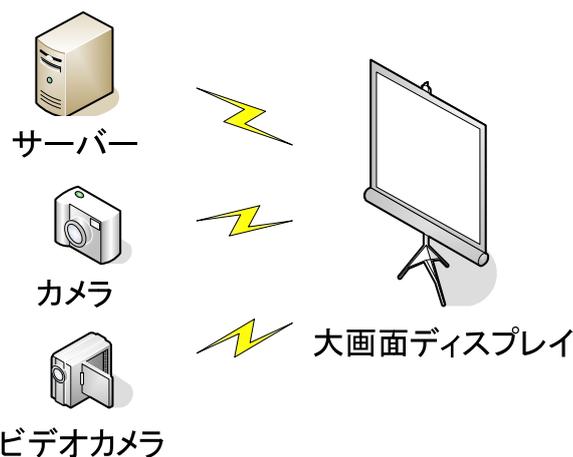


図 2-2-2 IEEE802.15.3c の利用シーンの例

(3) IEEE802.11.ad

IEEE802.11ad は、60GHz 帯を使う次世代無線 LAN として、2012 年 12 月に

IEEE802.11WG が策定した次世代高速無線 LAN 規格である。2008 年に、IEEE802.11n よりも高速な通信方式を定めるため、IEEE802.11VHT (Very High Throughput) という Study Group が立ち上がり、5GHz 帯を用いた IEEE802.11ac と 60GHz 帯を用いた IEEE802.11ad が策定された。規格策定を行うタスクグループ(TGad)においては、Wireless Gigabit Alliance (WiGig)が定めた MAC 層と PHY 層が提案され、結果として WiGig 規格がそのまま規格に取り入れられている。その特長は、屋内を想定した最大 10m 程度の通信距離で、最大 7Gbps 近いデータ速度に対応するところにあり、セッションを維持したまま 2.4GHz/5GHz と 60GHz 間をシームレスにセッション切り替えする FST(Fast Session Transfer)機能が備わっている。また、パソロスや障害物のある環境に対処した高速データ伝送を実現するためにビームフォーミングに対応したプロトコルが採用されている。

利用シーンとしては、図 2-2-3 に示すように、Blu-ray などに格納されたハイビジョン映像を非圧縮のままストリーミングして高品質のまま再生・他の AV 機器等に接続することなどが挙げられる。

IEEE802.11ad 規格に基づく相互接続性認証は平成 26 年末から開始されている。

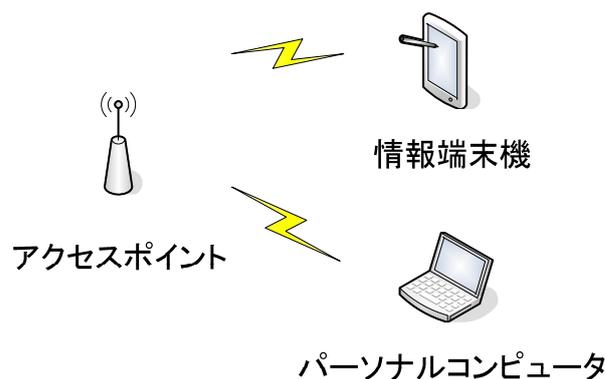


図 2-2-3 IEEE802.11ad/WiGig の利用シーンの例

(4) IEEE802.15.3e

IEEE802.15.3e は 1 対 1 通信に基づく超高速短距離非接触通信システムとして、2015 年 5 月より審議が開始され 2017 年 3 月に規格として公開されたものである。また、2018 年 1 月には ITU-R の M2003-2 として Recommendation も発行されている。本通信システムは、通信距離を極近接の 10cm 程度とすることで、他の通信システムや環境への影響を極小としながら「1 対 1」接続を堅持できるという特徴により、超高速接続を提供しようとするものである。その最も典型となるユースケースが「デバイス対デバイス」の超高速データ交換である。また IEEE802.15.3e では、数 ms での通信の確立/切断を可能とするスキームも具備させる規格となっており、「タッチ&ゲット」方式のユースケースなどにおいては、順番待ちが必要となるが、複数のユーザに大容量データ交換の機会を公平に順次提供できるといった特徴も備えているものである。

さらに、IEEE802.15.3e では、大口径アンテナ近傍界エリアの趨勢を利用し、横方向への伝搬の広がり抑制する高アイソレーションアンテナを使用することにより、「1対1の関係」を維持しつつも利便性を考慮した「拡がりを持った接続ゾーン」を提供する拡張型応用展開も計画されている。その典型的なユースケースがゾーン挿入型ホットスポットである。また、より大口径なアンテナのゾーン形成特性を用いると並列設置したゾーン間の干渉が極小に抑えられる特徴があり、より瞬時に厳格な本人確認（切符の保持）が求められる「駅改札」などへ適応についても有望視され、現在、次世代の改札としての開発も進められている。

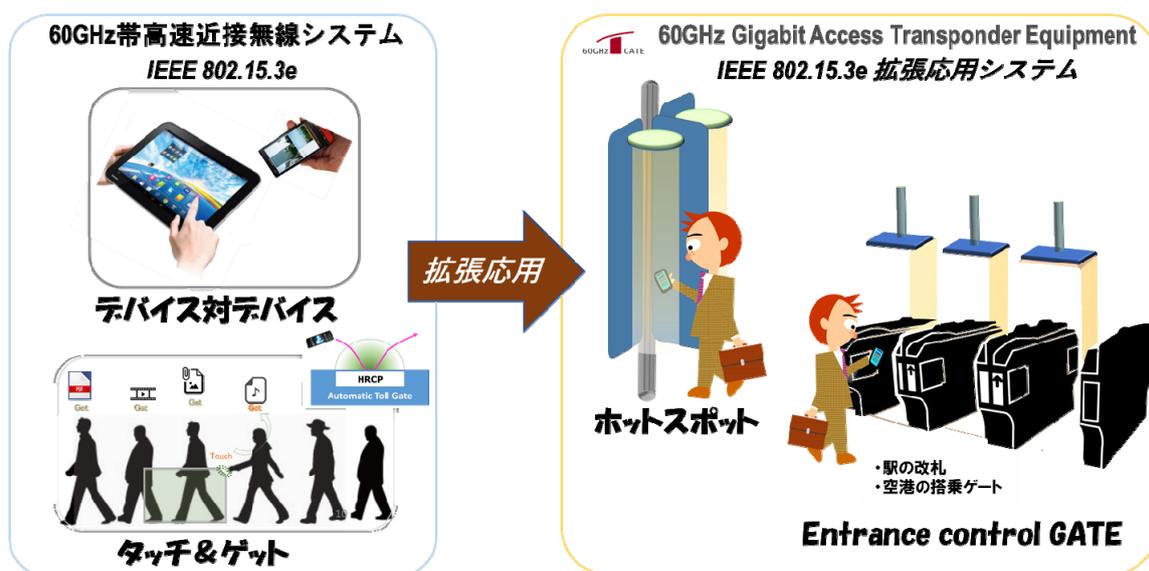


図 2-2-4 IEEE802.15.3e の利用シーンの例

(出典：60GHz 無線設備作業班（第 1 回）資料作 60 作 1-10 の日本無線（株）様の資料からの抜粋）

(5) IEEE802.11ay

IEEE802.11ay は IEEE802.11ad の後継規格であり、802.11ad のチャンネルを 4 つまで束ね広帯域化を図るチャンネルボンディング、802.11ad の制定時に見送りとなった DMG((Directional Multi Gigabit) OFDM、Single User/Multi User MIMO、TDD 運用(11ad は基本的に半二重の通信)がサポートされる。2019 年 6 月にドラフト 4.0 版が承認され、2020 年 3 月の制定を目指し作業中である。

それぞれの標準規格仕様の概要を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 60GHz 帯無線システムの標準規格の基本仕様

	WirelessHD	IEEE802.15.3c	IEEE802.11ad (WiGig)	IEEE802.15.3e	IEEE802.11ay
規格化の時期	2008 年	2009 年	2012 年	2017 年	2020 年 (予定)
カテゴリ	無線 PAN(VAN)	無線 PAN	無線 LAN	無線 PAN(VAN)	無線 LAN
周波数帯	60GHz 帯				
チャンネルプラン*1	Ch1:58.32GHz、Ch2:60.48GHz、Ch3:62.64GHz、Ch4:64.8GHz				
チャンネル間隔	2160MHz				
伝送方式	OFDM	SC(シングルキャリア) OFDM	SC OFDM(Optional)*	SC OOK	SC OFDM (optional) *2
最大伝送速度 (1ch.使用時)	7Gbit/s	6Gbit/s	7Gbit/s	13.1Gbit/s	30Gbit/s ³
最大伝送距離	10m 程度	10m 程度	100m 程度	10 cm未満 (拡張 GATE 接続の場合はゾーン内全域)	200m 以上
アプリケーション	<ul style="list-style-type: none"> HD 動画の非圧縮伝送 	<ul style="list-style-type: none"> コンテンツダウンロード 高速ファイル転送 ワイヤレスディスプレイ 無線アドホックネットワーク PC 周辺機器間通信 HD 動画の非圧縮伝送 	<ul style="list-style-type: none"> コンテンツダウンロード 高速ファイル転送 ワイヤレスディスプレイ 無線アドホックネットワーク PC 周辺機器間通信 HD 動画の非圧縮伝送 ドッキングステーション 無線 LAN 	<ul style="list-style-type: none"> 【近接続】 高速ファイル転送 監視カメラ・ドライブレコーダ・ロボットログなどの蓄積型データ瞬時移送 KIOSK ダウンロード 【拡張 GATE 接続】 エントランスコントロールゲートにおけるチケット認証 / コンテンツ類の授受 (次世代改札機 / 機内・車内用エンターテイメント配信) 高速ホットスポットによる非連続接続型モバイルオフロード 	<ul style="list-style-type: none"> コンテンツダウンロード 高速ファイル転送 ワイヤレスディスプレイ 無線アドホックネットワーク PC 周辺機器間通信 HD 動画の非圧縮伝送 ドッキングステーション 無線 LAN 無線バックホール
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ビームステアリング機能 NLOS 環境オペレーション 	<ul style="list-style-type: none"> ビームフォーミング機能 15.3 MAC 	<ul style="list-style-type: none"> 低電力と高速の両機器対応 ビームフォーミング機能 シームレスマルチバンドオペレーション (FST:高速セッション切替機能) IEEE802.15.3c との共存機能 	<ul style="list-style-type: none"> ITU-R2003-2 勧告化 1 対 1 通信 高速リンク確立/離脱 低電力と高速の両機器対応 	<ul style="list-style-type: none"> 低電力と高速の両機器対応 ビームフォーミング機能 シームレスマルチバンドオペレーション (FST:高速セッション切替機能) IEEE802.15.3c、802.11ad との共存機能 チャンネルボンディング機能 チャンネル推定区間を使った測位機能

*1 日本で使用可能なチャンネル

*2 OFDM 変調は将来の版で削除の予定であり使用は推奨されていない

*3 2 チャンネルボンディングで 2 ストリームの場合

2-3 諸外国における規制

(1) 米国及び欧州

米国における 57-71GHz 帯で使用する無線設備は、連邦通信委員会（FCC）規則パート 15 の § 15.255 に規定されている。ここでは、固定運用のフィールド妨害センサー、インタラクティブモーションセンサー用の SRD、屋外設置の P2P 送信用、その他のアプリケーション用について規定されている。2018 年 12 月には、レーダービームを使用した三次元空間のキャプチャーモーションセンサーである Google Soli を開発した Google LLC が、規制緩和を FCC に求め、特例措置が認められている。

欧州における 60GHz 帯レーダーや広帯域データ伝送用無線設備の技術標準については、欧州郵便電気通信主管庁会議（CEPT）加盟国において、短距離無線設備に対する共通的な周波数割当や最大電力、最大周波数帯域幅、干渉軽減技術等の管理要件に対する勧告である、ERC/REC 70-03（最新改正 2019 年 6 月 7 日）にまとめられている。また、その他の詳細な技術規格は、無線アプリケーション毎の欧州標準規格にまとめられている。2019 年の改定では、CEPT Report 70 で示された ERC/REC 70-03 への見直しを受けて、ワイドバンドデータ伝送用の周波数が 57-66GHz から 57-71GHz へと改訂されている。ERC/REC 70-03 では、以下の Annex において、60GHz 帯におけるレーダーや広帯域データ伝送のアプリケーションが勧告されている。

Annex 1：あらゆる種類の用途に有効であり、さらに一般的にテレメトリー、テレコマン
ド、警報及びデータ通信並びにその他の類似の用途にも使用される。
(Band n1, n2)

Annex 3：広帯域データ伝送システムに使用される。(Band c1, c2, c3)

Annex A：Annex1 から 13 に含まれないが、周波数範囲が ECC 決定に指定されており、
CEPT 行政機関によって一般認可の下で使用されているアプリケーション
(Band g)

欧米における 60GHz 帯のレーダー用途及び通信用途の規制を、表 2-3-1 及び表 2-3-2 に示す。表に示す無線アプリケーションは、米国及び欧州ともに免許不要である。

表 2-3-1 欧米における 60GHz 帯無線設備の技術標準（レーダー用途）

		米国			欧州	
規則・勧告等		FCC 47 CFR Part15 §15.255	FCC 47 CFR Part15 §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 ⁶	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		
占有帯幅の許容値			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.)	*参照	*参照
その他				Duty Cycle 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)	

⁶ ETSI EN 305 550 V2.1.0 (2017-10) : Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 40 GHz to 246 GHz frequency range; Harmonised Standard for access to radio spectrum
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/305500_305599/305550/02.01.00_20/en_305550v020100a.pdf

* 欧州非特定 SRD (Band n1, n2) のスプリアス制限

周波数帯 (MHz)	スプリアスラジエーションの制限値	検出タイプ
47 to 74	-54 dBm e.r.p.	準尖頭値
87,5 to 118	-54 dBm e.r.p.	準尖頭値
174 to 230	-54 dBm e.r.p.	準尖頭値
470 to 862	-54 dBm e.r.p.	準尖頭値
otherwise in band 30 to 1 000	-36 dBm e.r.p.	準尖頭値
f > 1 000 to 300 000 (注)	-30 dBm e.i.r.p.	実効値
注: CEPT / ERC / REC 74-01 [i.3]によれば、スプリアスエミッションは基本周波数の二次高調波まで測定される。		

表 2-3-2 欧米における 60GHz 帯無線設備の技術標準（通信用途）

		米国		欧州			
規則・勧告等		FCC 47 CFR Part15 §15.255	FCC 47 CFR Part15 §15.255	REC70-03 Annex 3 Band C1	REC70-03 Annex 3 Band C2	REC70-03 Annex 3 Band C3	REC70-03 Annex A Band 9
カテゴリ		固定運用フィールド妨害センサー又はインターラクティブモーションセンサー以外	屋外設置の固定 P2P 設備	広帯域データ伝送	広帯域データ伝送	広帯域データ伝送	ITS
標準規格				EN 302 567 ⁷ (ただし 57-66GHz)	標準規格未定	標準規格未定	EN 302 686 ⁸
周波数		57-71GHz	57-71GHz	57-71GHz	57-71GHz	57-71GHz	63-64GHz ⁹
空中線電力	平均				27dBm		
	尖頭	27dBm (500mW) 100MHz未満の放射帯域幅の送信機の場合、放射帯域幅を100MHzで割った値を500mWで乗じた値	27dBm (500mW) 100MHz未満の放射帯域幅の送信機の場合、放射帯域幅を100MHzで割った値を500mWで乗じた値				
電力密度 (PSD)	平均			23 dBm / MHz e.i.r.p	23 dBm / MHz e.i.r.p	38 dBm / MHz e.i.r.p	
	尖頭						
空中線利得			51dBi 以上			30 dBi 以上	20 dBi 以上
EIRP (等価等方輻射電力)	平均	40dBm	82dBm アンテナ利得が 51dBi を下回る場合は 1dB ごとに 2dB 下げなければならない。ただし、40dBm より低下させることを要しない。	40 dBm	40 dBm	55 dBm	40 dBm

⁷ ETSI EN 302 567 V2.1.1 (2017-07): Multiple-Gigabit/s radio equipment operating in the 60 GHz band; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU

https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302500_302599/302567/02.01.01_60/en_302567v020101p.pdf

⁸ ETSI EN 302 686 V1.1.1 (2011-02): Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 63 GHz to 64 GHz frequency band;

https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302686/01.01.01_60/en_302686v010101p.pdf

⁹ CEPT Report 70 では、63.72-65.88 GHz への変更が示されているが、まだ REC 70-03 に反映されていない。

		米国		欧州			
	尖頭	43dBm	85dBm アンテナ利得が 51dBiを下回る 場合は1dBごと に 2dB 下げな ければならな い。ただし、 43dBm より低 下させること を要しない。				
占有帯域幅							
不要発 射の強 度の許 容値	帯域外 輻射の 制限値						-29 dBm/ 200MHz 以 下 e.i.r.p
	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.)	**参照			***参照
その他				屋外固定設置は 不可 適切なスペクト ル共有メカニズ ムを実装すること	関連文書 ECC Report288 ¹⁰ 適切なスペクト ル共有メカニズ ムを実装すること	関連文書 ECC Report288 参 照 屋外固定設置の み可 適切なスペクト ル共有メカニズ ムを実装すること	関 連 文 書 ECC/DEC/(0 9)01 ¹¹
人体へのばく 露許容値 (電力密度)		1mW/cm ²		10W/m ² (1mW/cm ²)			

¹⁰ ECC Report 288: Conditions for the coexistence between Fixed Service and other envisaged outdoor uses/applications in the 57-66 GHz range, 25, January 2019

[https://www.ecodocdb.dk/download/4d5f88b8-7f6d/ECC Report 288.pdf](https://www.ecodocdb.dk/download/4d5f88b8-7f6d/ECC%20Report%20288.pdf)

¹¹ ECC Recommendation (09)01: USE OF THE 57 - 64 GHz FREQUENCY BAND FOR POINT-TO-POINT FIXED WIRELESS SYSTEMS

<https://www.ecodocdb.dk/download/a5bcf903-bb19/REC0901.PDF>

** 欧州広帯域データ伝送 (Band c1) のスプリアス制限

周波数帯	エミッション制限 ERP (≤ 1 GHz) EIRP (> 1 GHz)	測定帯域幅
30 MHz to 47 MHz	-36 dBm	100 kHz
47 MHz to 74 MHz	-54 dBm	100 kHz
74 MHz to 87.5 MHz	-36 dBm	100 kHz
87.5 MHz to 118 MHz	-54 dBm	100 kHz
118 MHz to 174 MHz	-36 dBm	100 kHz
174 MHz to 230 MHz	-54 dBm	100 kHz
230 MHz to 470 MHz	-36 dBm	100 kHz
470 MHz to 790 MHz	-54 dBm	100 kHz
790 MHz to 1 GHz	-36 dBm	100 kHz
1 GHz to 132 GHz	-30 dBm	1 MHz

*** 欧州 ITS (Band g) のスプリアス制限

周波数帯	47 MHz to 74 MHz 87.5 MHz to 108 MHz 174 MHz to 230 MHz 470 MHz to 862 MHz (注 1)	その他の周波数 ≤1000 MHz (注 1)	F > 1000 MHz (注 1 及び 2)
状態			
運用中	4 nW (-54 dBm)	250 nW (-36 dBm)	1 W (-30 dBm)
待機中	2 nW (-57 dBm)	2 nW (-57 dBm)	20 nW (-47 dBm)
注 1: 1GHz より下の周波数に適用可能な測定帯域幅は 100 kHz で、1 GHz より上の周波数に適用可能な測定帯域幅は 1 MHz。 注 2: 不要輻射の上限周波数は、EUT の二次高調波を含めること。しかし、実際的な測定目的のためだけに、スプリアスエミッションの周波数範囲は制限される。これは試験報告書に記載しなければならない。			

(2) 韓国及び中国

韓国では、免許を要しない無線機器を規定する「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」¹²の第 10 条 (UWB と用途未指定の無線機器) 第 4 項において、57-66GHz 帯の電波を使用する用途未指定の無線機器の技術基準が、中国では、業界標準である「60 GHz 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)¹³において、59-64 GHz の周波数範囲で動作する無線機器の技術基準が規定されている。

韓国及び中国における 60GHz 帯無線設備の技術標準を表 2-3-3 に示す。いずれも規定からは明確に用途が特定できないため、レーダー用途及び通信用途を区分していない。

¹² 科学技術情報通信部告示第 2018-90 号 (2018 年 12 月 27 日一部改正)

<http://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000174898#J10:0>

¹³ 標準番号: YD/T 2722-2014 60GHz 频段无线电设备射频技术要求及测试方法

<http://www.std.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=8B1827F1FC20BB19E05397BE0A0AB44A>

表 2-3-3 韓国及び中国における 60GHz 帯無線設備の技術標準

		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		表 2-3-4 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		・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	・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) ¹⁴	一級(安全区):10μW/cm ² 二級(中間区):40μW/cm ² ¹⁵

¹⁴ 「電磁波の人体保護基準」 (科学技術情報通信部告示第 2019-4 号) (2019 年 1 月 16 日一部改正)
<http://www.law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulId=2040745&efYd=&admRulNm=%EC%A0%84%EC%9E%90%ED%8C%8C%EC%9D%B8%EC%B2%B4%EB%B3%B4%ED%98%B8%EA%B8%B0%EC%A4%80#AJAX>

¹⁵ Natoinal Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China
<http://www.nhc.gov.cn/zwgkzt/pgw/201212/34317.shtml>
 GB 9175-88 「环境电磁波卫生标准 (環境電磁波健康基準)」
<http://www.nhc.gov.cn/ewebeditor/uploadfile/2014/11/20141103161157888.pdf>

表 2-3-4 YD/T 2722-2014 のスプリアス制限

周波数範囲	送信状態の制限値	待機又は休止状態 a	測定帯域幅
$30\text{MHz} \leq f < 48.5\text{MHz}$	-36 dBm	-47 dBm	100 kHz
$48.5\text{MHz} \leq f \leq 72.5\text{MHz}$	-54 dBm		100 kHz
$72.5\text{MHz} < f < 76\text{MHz}$	-36 dBm		100 kHz
$76\text{MHz} \leq f \leq 108\text{MHz}$	-54 dBm		100 kHz
$108\text{MHz} < f < 167\text{MHz}$	-36 dBm		100 kHz
$167\text{MHz} \leq f \leq 223\text{MHz}$	-54 dBm		100 kHz
$223\text{MHz} < f < 470\text{MHz}$	-36 dBm		100 kHz
$470\text{MHz} \leq f \leq 566\text{MHz}$	-54 dBm		100 kHz
$566\text{MHz} < f < 606\text{MHz}$	-36 dBm		100 kHz
$606\text{MHz} \leq f \leq 798\text{MHz}$	-54 dBm		100 kHz
$798\text{MHz} < f \leq 1\text{GHz}$	-36 dBm		100 kHz
$1\text{GHz} < f \leq 40\text{GHz}$	-30 dBm		1 MHz
$40\text{GHz} < f \leq 128\text{GHz}$	-20 dBm		1 MHz
注：fは送信器のスプリアス・エミッション周波数を意味する			
a 送信機が待機又は休止状態の制限値は、同状況をサポートする送信機にのみ適用			

第3章 60GHz帯の周波数の電波を使用する無線設備の高度化

3-1 60GHz帯小電力広帯域ミリ波レーダーに関する要求条件

近年、ミリ波のデバイス・アンテナ技術の向上により、単に物体の有無を検知するレーダーのみならず、家電やIoT機器での高度なセンシング技術といった新たな利用の需要が高まっている。2-1に示したモーションジェスチャーセンサーや産業用途でのインテリジェント・センシングといった、高度なセンシングには高精度な距離分解能を要するため、より広い周波数幅が必要となる。特に高精度な位置検知が必要となるジェスチャーセンサーについては、7GHz程度の帯域幅を必要とする。日本では、現在、小電力レーダーとしては、60-61GHz帯に自動車レーダー（特定小電力無線）が割当てられているが、1GHz幅ではこれらの新たな利用形態を満たす距離分解能を得ることができない。

また、IEEE802.11ad/ayでは、通信のチャンネル推定用の情報（CEF: Channel Estimation Field）を使用し、受信した反射波のCEFの部分と送信したCEF信号との相互相関を取り、チャンネルのインパルス応答を計算するレーダーとしての技術規格が検討されている。

このような状況から、本検討においては、現在、小電力データ通信システムとして割当てられている57-66GHzの周波数帯をレーダー用途として割り当てることを前提とした。

また、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ことから、これと同等の技術基準を前提とすることとし、10mW以下の場合に限り、キャリアセンス機能を要しないものとする。

表3-1 現行システムとの比較

	自動車レーダー (現行システム)	小電力データ通信 (現行システム)	小電力レーダー (検討システム)
用途	レーダー	データ通信	レーダー
占有周波数帯幅	500MHz	9GHz	7GHz程度
送信出力	10mW	10mW/250mW	10mW/250mW
キャリアセンス	-	10mW以下の場合不要	10mW以下の場合不要 (送信時間制御要)

3-2 60GHz帯小電力データ通信システムの筐体条件の見直し

現在の60GHz帯無線システムの最大の特徴はアクティブ・アンテナアレイを用いたビームフォーミングを活用し通信品質を確保することにある。アクティブ・アンテナアレイの製作では、60GHz帯信号が伝送路において大きな損失を被るため、RF信号（60GHz帯）の伝送路を極めて短くする必要がある。このため、周波数変換部・移相器・電力増幅器等のRF回路とアンテナアレイの各素子が一体となったRFアンテナ・モジュール¹⁶（高周波部）が開発され、変復調部は中間周波数信号を入出力するモデム・モジュールとして開発される。

したがって、60GHz帯無線システムは一般的にRFアンテナ・モジュールとモデム・モジュールを中間周波数帯（例:10GHz）の同軸ケーブルで接続するという形態になる。

¹⁶ 本報告書においては、「電波の特性に直接影響を与える「変復調部」、「高周波部（発振部を含む）」及び「増幅部」が、筐体、基板ユニット又は集積回路に組み込まれた状態のもの」と定義する。

例えば、図3-3-1におけるVRで使用される60GHz帯無線システムの構成は「デスクトップPC拡張ボード上のモデム・モジュール」→「同軸ケーブル」→「RFアンテナ・モジュール」→（60GHz無線）→「HMDに実装されたWiGigトランシーバ」となる。

同軸ケーブルはRFアンテナ・モジュールを適切な場所に設置するため、その長さは2～3m必要である。

現行制度では、筐体条件として、「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」と規定されているが、このようなシステム構成では、変調部と高周波部が物理的に分かれており、当該条件を満たすことができない。

このため、今後、日本でも導入が想定されるアクティブアンテナを利用した装置の筐体条件の見直しについて検討する。

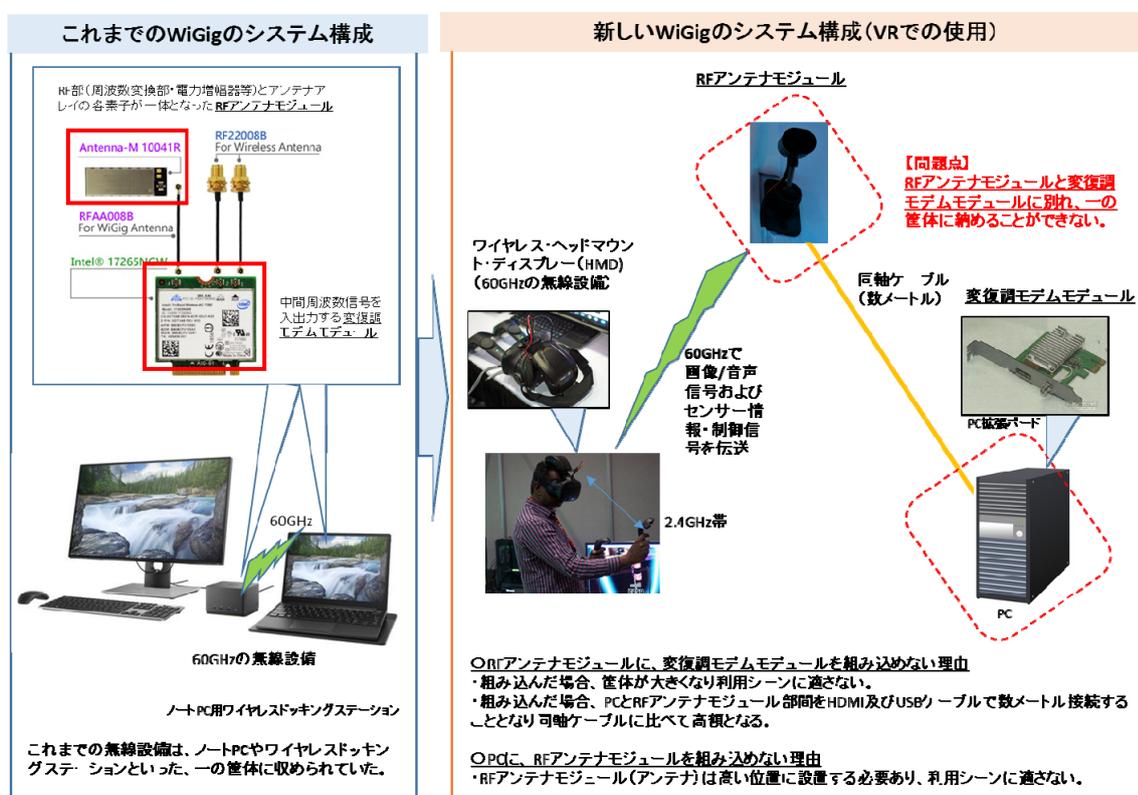


図3-3-1 60GHz帯無線システムの構成¹⁷

筐体条件は、1990年代に制定された不正改造防止を目的とした規定である。

図3-3-2にビームフォーミングを行うアクティブアンテナを用いた60GHz無線システムの一般的な構成例を示すが、実用上の性能はアンテナの設置場所に大きく左右される為、2つのモジュール(モデム・モジュールとRFアンテナ・モジュール)を損失が60GHzに比べ

¹⁷ イメージの参照元は以下のとおり。

<http://www.hwtools.net/Accessory/INTEL-17265.html>

<https://m.media-amazon.com/images/S/aplus-media/vc/eaf6b8c1-7b31-45f9-9700-315c7a714b1a.jpg>

<https://www.roadtovr.com/ces-2018-vive-wireless-adapter-hands-on-robust-connection-latency-too/>

<https://www.engadget.com/2017/06/14/intel-wireless-vr-htc-vive/>

<http://www.4gamer.net/games/329/G032967/20170623137>

小さい IF 帯高周波同軸ケーブルで接続する構成となる。

以下において、不正改造防止の観点から考察する。

- ① モデム・モジュールと RF アンテナ・モジュールは各社・各製品独自のプロトコルでハンドシェイクを行うことで初めて一つの無線システムとして機能する。このプロトコルは非開示であり他社のモジュールと取り換えて動作させることは不可能。
- ② アンテナ・モジュール各部の制御プロトコルも各社・各製品独自に開発され非開示。
- ③ RF アンテナ・モジュールを制御するデータはモデム・モジュール内の OTP メモリ（One-Time-Programmable メモリ：1 回だけ書き込めるメモリ）に格納され、ユーザのアクセスは不可能。
- ④ 同軸ケーブルで各信号を伝送する際の回路仕様も各社が独自に設計。

また、高周波同軸ケーブルではモデム・モジュールと RF アンテナ・モジュール間で 3 種類の信号が伝送される。

- ①RF アンテナ・モジュールを制御するデータ信号（各社/各製品独自のプロトコルを用いる）
 - a)モデム・モジュールと RF アンテナ・モジュールのコネクション確立のためのハンドシェイク
 - b)RF アンテナ・モジュールの各機能（周波数変換、移相器、電力増幅器など）の制御
 - c)接続されるモジュール同士がペアとなるべき製品かをチェック
- ②中間周波数帯で変調されたデータ信号（無線で伝送したい情報：HDMI、USB、IP パケットなど）
- ③RF アンテナ・モジュールに電源の電力を供給するための直流信号

上記 3 種類の信号を高周波ケーブルに乗せるハードウェア（回路仕様：(x)）も各社独自の仕様。

以上の考察及び信号の伝送の仕組みから、本システムが同軸ケーブルで接続された 2 つのモジュールで構成されていても、片方のモジュールを交換して使用する様な改ざんは不可能と判断して妥当と考える。

このため、筐体条件は、「高周波部及び変調部は、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。」とする。

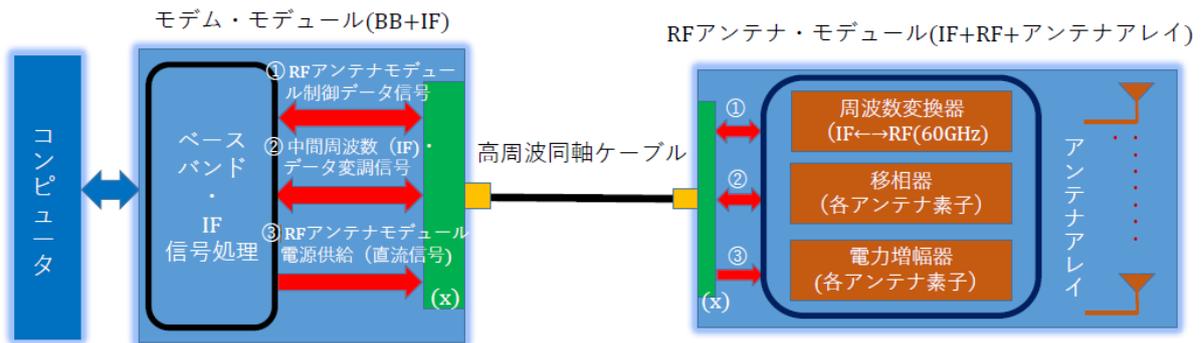


図 3-3-2 ビームフォーミングを行うアクティブアンテナを用いた 60GHz 無線システムの一般的な構成及び伝送信号

(出典：60GHz 無線設備作業班（第1回）資料作 60 作 1-8 のインテル（株）様の資料からの抜粋)

第4章 他の無線システムとの共用検討

4-1 干渉検討の条件

今回、新たに導入を想定している小電力レーダーシステムが同一又は隣接する周波数帯の既存無線システムへ与える影響について、検討を行う。

なお、本検討における与干渉側システムについては、特定小電力機器の種別に「ミリ波帯レーダー用」(60-61GHz 帯)のカテゴリがあるため、当該システムと区別するために「ミリ波センサーシステム」と表記する。

与干渉側システム（ミリ波センサーシステム）の主な技術諸元を表 4-1 及び図 4-1 に示す。

表 4-1 ミリ波センサーシステムの技術諸元

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.
Duty Cycle	3.3 / 29.7 msec. (MAX.)
キャリアセンス機能	実装無し

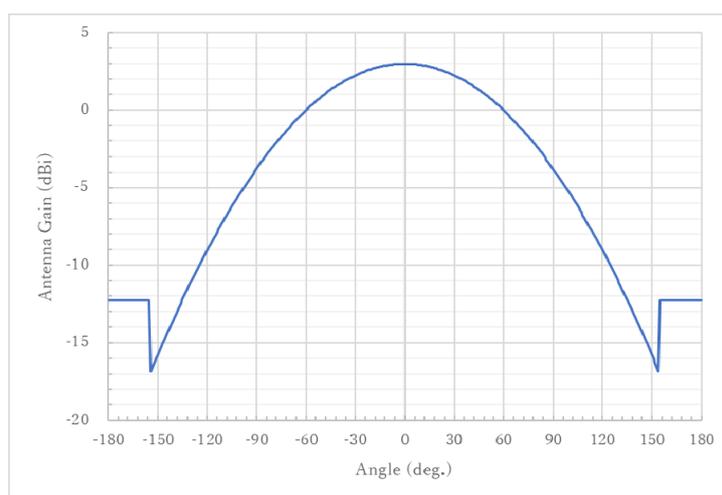


図 4-1 ミリ波センサーシステムのアンテナパターン（シミュレーション）
Beam= 120 [deg.], G= 3 [dBi], Sidelobe= 154 [deg.], -16.83 [dBi]

なお、Duty Cycleについては、米国での制度化における検討状況を踏まえ、既存システムとの共存に配慮し、33 ミリ秒以内における電波発射可能な時間率を 10%以内とする。

<送信時間制限について>

米国連邦通信委員会（FCC）の短距離間でのインタラクティブモーションセンサー端末規定（15.255(C)(3)）の免責事項（DA 18-1308A1）に係る裁定の検討において、33msの送信時間間隔当りの送信時間を10%以内に制限することが適切であるとの判断がなされている。

これは、現行の小電力データ通信システムのAR/VR等での映像伝送用途のフレーム伝送レートとして30fpsを想定した場合、フレーム送信間隔が33msとなるため、ミリ波センサーシステムの電波発射時にキャリアセンスによって通信がブロックされたとしても、フレーム送信間隔の10%以内に通信を開始できれば、映像伝送として許容できると考えられるためである。

4-2 干渉検討対象システム

検討を行うにあたり、現行の60GHz帯(57-66GHz)とその隣接周波数帯(54-57GHz、76-77.5GHz及び94.1-116GHz)の周波数割り当て状況を図4-2-1に、及びその周波数帯を用いる無線局の規格について表4-2-1に取りまとめた。

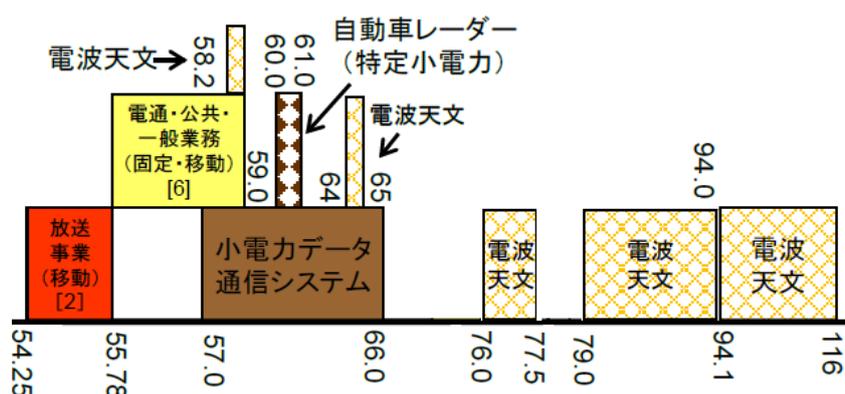


図4-2-1 干渉検討対象の周波数割り当て状況

表4-2-1 周波数割り当てと用途

周波数 (GHz)	システム	用途
54.25-66.78	放送事業用	55GHz帯 FPU
55.78-59.0	電通・公共・一般業務（固定・移動）	58GHz帯 エントランス回線
57.0-66.0	小電力データ通信システム (60GHz無線システム)	WiGig, データ・画像伝送, FWA
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
58.2-59.0 64.0-65.0 76.0-77.5 79.0-94.0 94.1-116.0	電波天文	
50.3-63.57	地球探査衛星	日本では運用されていない低軌道衛星

なお、55.78-59GHz帯の電通・公共・一般業務（固定・移動）については、現状免許の割

り当てがされていないことから検討の対象外とする。

また、50.3-63.57GHz の地球探査衛星については、日本での運用は行われていないが、米国 NOAA（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することとする。

4-3 他の無線システムとの共用検討

4-3-1 60GHz 無線システム

60GHz 帯小電力データ通信システムについては、次の無線設備について検討を行った。

	机上シミュレーション	実機検証
WiGig（主に屋内利用）	✓	✓
WiGig（主に屋外利用）	✓	
画像伝送システム（放送共聴システム）	✓	✓

4-3-1-1 データ・画像伝送（WiGig など）（屋内利用）の干渉検討

<前提条件>

- ミリ波センサーシステムにはキャリアセンス機能の実装を想定していないため、他のデータ・画像伝送システムの状態（待機中、送受信中等）に関係なく、電波の発射を行う。
- 一方、データ・画像伝送システムが送信を開始しようとする時又は通信終了後から次の通信開始の間に、自らが送信を行おうとする周波数に、他の無線設備からの電波の発射がないことを確認（キャリアセンス機能）してから通信を開始する。
- キャリアセンス機能を持たないミリ波センサーシステムが送信をした際、データ・画像伝送システムのキャリアセンス機能に影響を与え続ける懸念があるため、データ・画像伝送システムのキャリアセンス機能への影響及び相互通信時の干渉量について検討する。

以上のことから、複数台のミリ波センサーシステムが同時に動作した場合を想定し、以下の検討を行った。

- ミリ波センサーシステムの台数による影響及び所要離隔距離の算出（連続、複数台の同時送信）
- 送信 Duty Cycle、アンテナビーム幅の要因による所要離隔距離短縮のための検証（複数台の送信）
- データ・画像伝送システムの相互通信時距離対干渉波所要離隔距離の算出（1対1）

<キャリアセンス機能への検討>

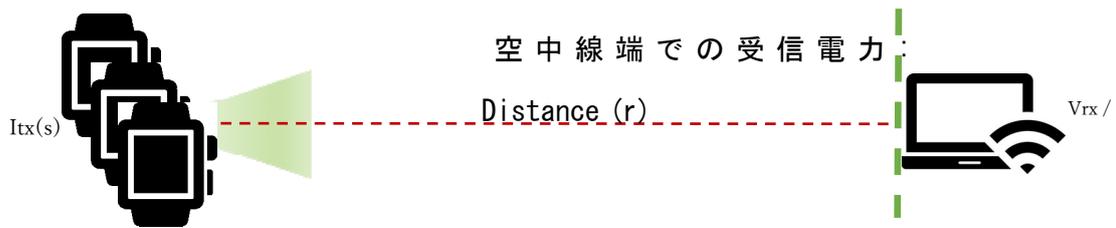
被干渉装置受信アンテナ端での受信電力限度値をキャリアセンスレベル-48dBm に設定し評価した。

表 4-3-1 干渉検討に用いた諸元

与干渉システムの諸元 (ミリ波帯センサー)	
f_{ITx}	60.48 GHz
P_{ITx}	10 dBm
G_{MAX}^{ITx}	3 dBi
Unit #	1, 5, 10

被干渉システムの諸元 (データ・画像伝送システム)	
f_{VRx}	60.48 GHz
BW_{VRx}	2.16 GHz
G_{MAX}^{VRx}	0 dBi
NF_{VRx}	10 dB
CN_{req}	8.5 dB

- 干渉波の電力 (I_{tx}) は、設置台数に限らず、送信電力を台数分積算した。(各端末の送信タイミングについては考慮していない。)
- 希望波の受信電力 (V_{Rx}) の Antenna 端面における電力を算出するため、被干渉システムのアンテナゲインは 0dBi として計算した。



計算結果を図 4-3-1 に示す。

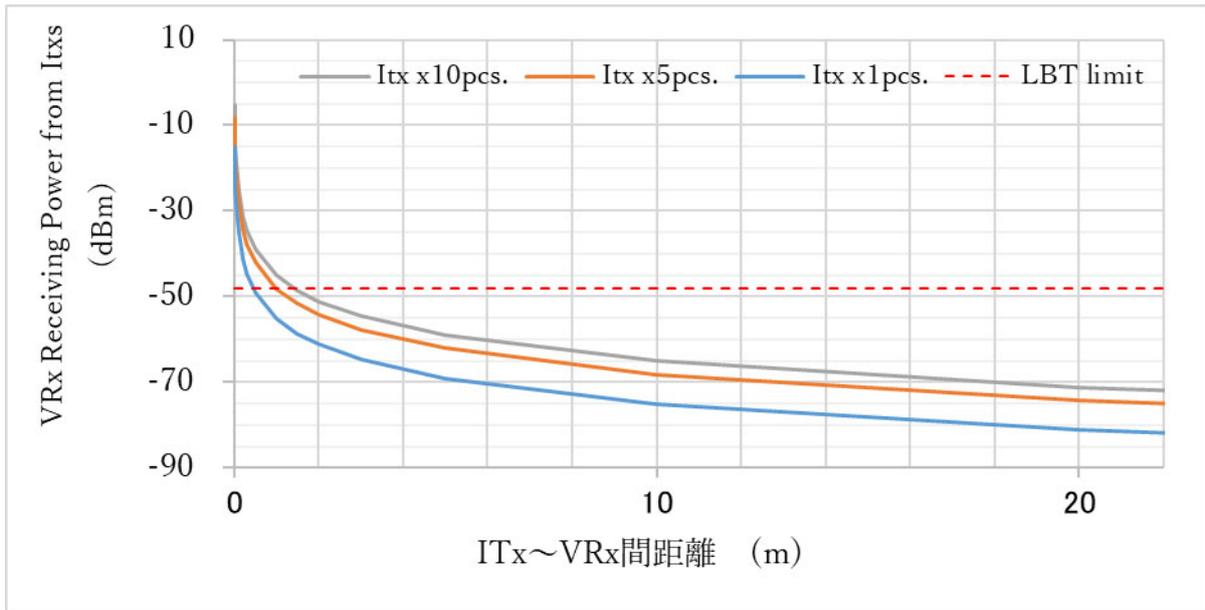


図 4-3-1 離隔距離による干渉波の受信電力

与干渉側装置が 1 台時 0.5m、5 台時 1m、10 台時 1.5m の離隔距離が必要との結果になった。

実運用では本シミュレーション条件の 100%送信は行わないため、送信時間率等について検討を実施する。

<WiGig の CCA(Clear Channel Assessment)がブロックされる確率の検討>

WiGig デバイス(DMG: Directional Multi Gigabit STA)とミリ波センサーシステムの電波送信の関係性を図 4-3-2 に示す。

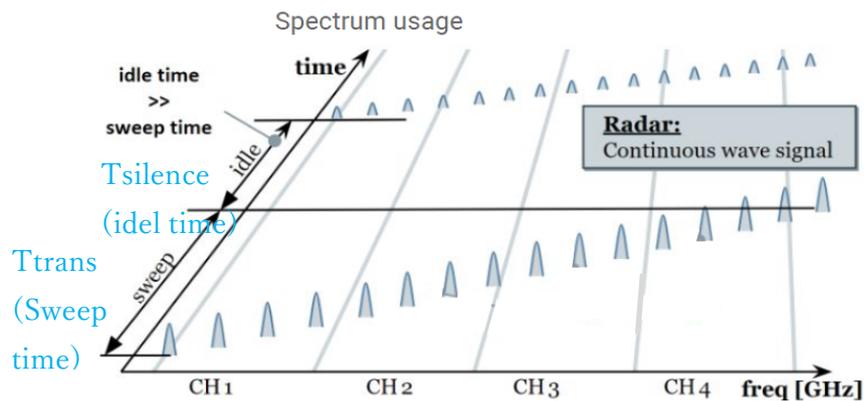


図 4-3-2 電波送信の関係

- WiGig デバイスはデバイス同士及び他のシステムとの共用を図る為、パケットを送信する前にチャンネル内の信号電力レベルを一定時間 (T_{CCA}) 検知し、チャンネルが空いているかを確認する CCA (Clear Channel Assessment) という手順を実施する。
- 一方、同じ帯域において、ミリ波センサーシステムはレーダー信号を T_{trans} の間送信し、その後 $T_{silence}$ の間休止することを繰り返す。

- この時、WiGig デバイスは CCA の期間内にミリ波センサーシステムの信号を検知して、CCA をクリアできない（CCA がブロックされる）可能性がある。

そこで、WiGig デバイスによる CCA がブロックされる確率 P_{blockage} を検討する。検討には以下のパラメータを用いる。

WiGig デバイス(DMG STA)のパラメータ：

$$T_{\text{CCA}} = 3 \text{ us}$$

1 チャンネル(BW:2.16GHz)のエネルギーを測定する。

ミリ波センサーシステムのパラメータ：

最大で 57GHz から 64 GHz まで（7GHz 幅）を T_{trans} 時間でスイープする（FMCW）

ここで、 T_{CCA} は $T_{\text{trans}} + T_{\text{silence}}$ より十分に短いので、WiGig デバイスがミリ波センサーシステムの使用中のチャンネルを検知する（CCA がブロックされる）確率は概ね以下の式で表す事ができる。

$$P_{\text{blockage}} = \frac{\text{Self is transmitting in the channel}}{\text{Total interval}} = \frac{T_{\text{trans}}}{T_{\text{trans}} + T_{\text{silence}}} = \text{Duty Cycle}$$

以上から、WiGig デバイスは CCA のプロセスの間、ミリ波センサーシステムの信号がチャンネル内に存在するときは必ずその信号を検知できるため、CCA がブロックされる確率は Duty Cycle で決まる。

以降の干渉検討においては特に記載しない限り、Duty Cycle を 10% として検証を実施する。

また、与干渉システムのアンテナ特性は X-Y 軸及び X-Z 軸それぞれに 120 度の電力半値角を有するような立体的な指向性を有するので、アンテナを中心とした球面に対する指向性は次のようになる。

$$(120 \text{ deg.} / 360 \text{ deg.})^2 = 11.1\%$$

WiGig の CCA がブロックされる確率は、Duty Cycle とアンテナの指向特性により次のようになる。

$$\text{Duty Cycle} \times \text{アンテナ指向性} = 0.1 \times 0.111 = 0.0111 \text{ より } 1.11\%$$

<所要離隔距離の検討>

WiGig 通信時における与干渉装置との離隔距離を評価する。

条件： $V_{\text{Tx}} \sim V_{\text{Rx}}$ ： 正対及び電力半値角分ずらした場合

$I_{\text{Tx}} \sim I_{\text{Rx}}$ ： 正対

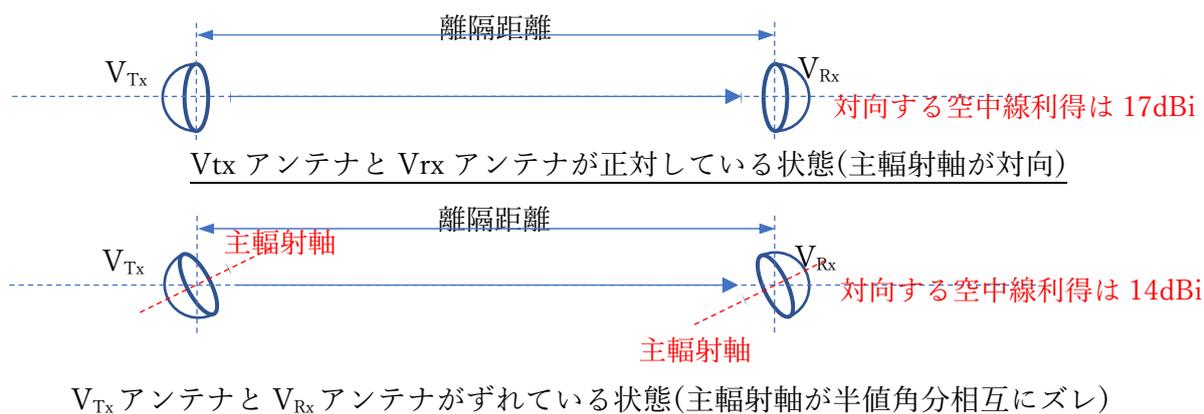


図 4-3-3 アンテナの正対モデルと非正対モデル

表 4-3-2 干渉検討に用いた諸元

**被干渉システムの送信諸元
(データ・画像伝送システム)**

f_{VTx}	60.48 GHz
P_{VTx}	23 dBm
G_{avt}	17, 14 dBi

**与干渉システムの送信諸元
(ミリ波帯センサー)**

f_{ITx}	60.48 GHz
P_{ITx}	10 dBm
G_{ait}	3 dBi

受信諸元		
	VRx	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)	

WiGig の通信距離に対する与干渉装置との所要離隔距離の計算結果を図 4-3-4 に示す。

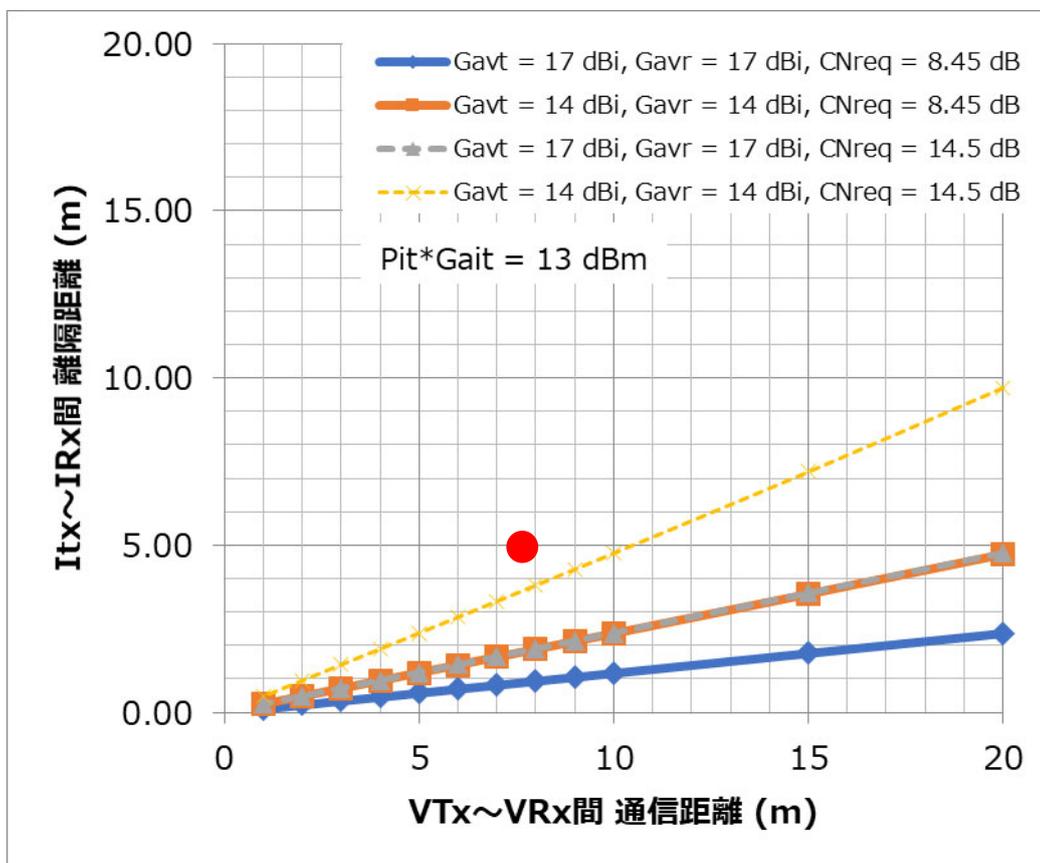


図 4-3-4 WiGig の通信距離に対する与干渉装置との所要離隔距離

<干渉検討結果>

与干渉側装置が被干渉側装置のキャリアセンス時に与える影響

被干渉側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) 以上の電力を受ける場合が示唆される。ただし、これは与干渉側装置が 100%連続送信していることを前提としており、実際は、与干渉側装置の送信時間率が 10%程度であること、アンテナの指向特性が 11.1%程度であること、及び最悪ケースとして与干渉システム 10 台で送信時間が完全に重複しないことを想定すると、キャリアセンスをブロックする可能性は 1.11~11.11%程度となる。

被干渉側装置通信時における干渉の影響

被干渉側装置が正対せずに通信を行っている状態でも、被干渉側装置の通信距離 10m 時に、5m の離隔距離が必要との結果となったが、送信時間率及びアンテナの指向性特性から離隔距離は更に短くなる。

これらの結果から、屋内利用時においては、データ伝送端末との共存は可能と考えられる。また、実際の通信状態では、ユースケースからも与干渉側装置から発射される電波は人体に

向いており、与干渉側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。よって、実際の通信状態では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。

<ミリ波センサーシステムにおける人体シャドーイング等の考察>

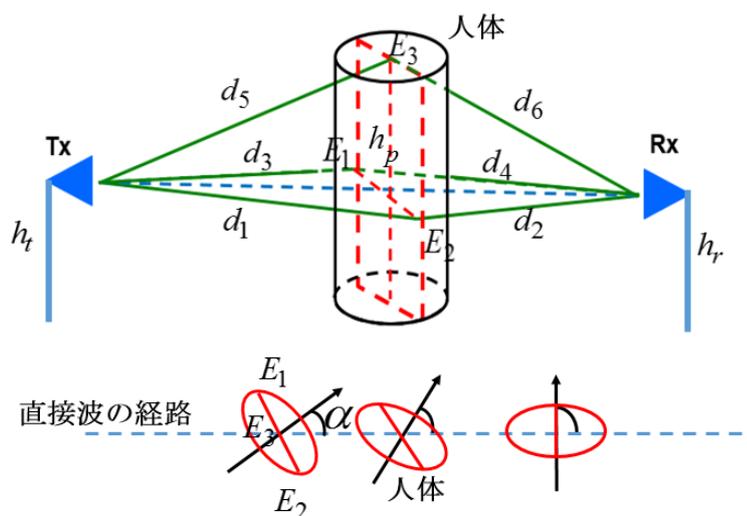
ミリ波センサーシステムと被干渉側デバイス間に人体が介入することで伝搬損失が発生する。

人体によるシャドーイング特性について、人体を楕円体とし、一枚のナイフエッジとして回折損失を近似する計算モデルが提案されている¹⁸。

ナイフエッジ回折損失は、フレネルゾーン内に遮蔽物が介入した際の回折損失と同等と考えられる。

第1フレネルゾーンが半分遮蔽された際の減衰量は約6dB、全遮蔽された際の減衰量は約16dBとなる¹⁹。

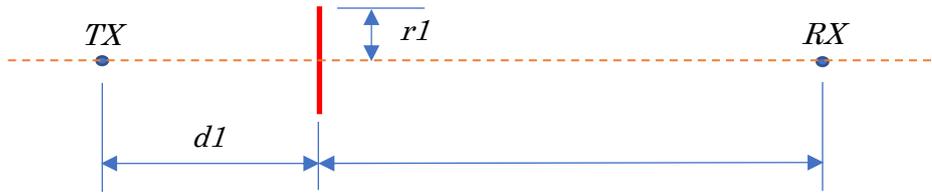
表4-3-1にミリ波センサーシステム(TX)と人体の距離を20, 50, 100cmと可変した場合の、被干渉側システム(RX)との離隔距離を屋内環境(5, 10, 15, 20m)及び屋外環境(56, 100, 300, 500m)に設定した場合のフレネル半径(r_1)の計算結果を記載する。



¹⁸ 王挺, 梅比良正弘, 武田茂樹, 宮嶋照行, 鹿子嶋憲一, “60GHz帯における移動する人体によるシャドーイングの計算モデルと実験による検証”, 信学技報, RCS2014-211, pp.85-90, Nov. 2014

¹⁹ 高田潤一, “電波伝搬の基礎理論”, 映像情報メディア学会誌, 2016, vol.70, no.1, pp.142-148, Jan. 2018

図 4-3-5 楕円体モデル[1]



$$r1 (m) = \sqrt{\lambda * ((d1 * d2) / (d1 + d2))}$$

図 4-3-6 フレネルゾーン模式図

表 4-3-4 設定離隔距離別のフレネル半径の計算結果
(Unit: cm, TX Freq. @ 60.5 GHz)

$d1 + d2$ (m) $d1$ (cm)	5	10	15	20	56	100	300	500
100	6.3	6.7	6.8	6.9	7.0	7.0	7.0	7.0
50	4.7	4.9	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0
20	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1

<実機検証の結果（実施日： 2019 年 7 月 26 日）>

WiGig 受信側にて、SSD ドライブ内のファイルをダウンロードし、その際の伝送速度を観測する。

同時に WiGig 受信側傍で受信信号をホーンアンテナで受信し、スペクトラムアナライザ画面上の波形を記録する。

図 4-3-7 に実機検証モデルの概要図を示す。

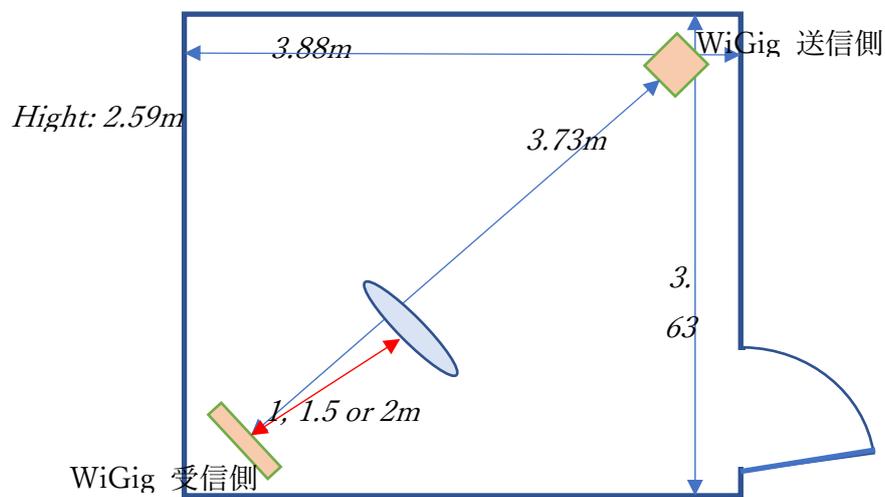
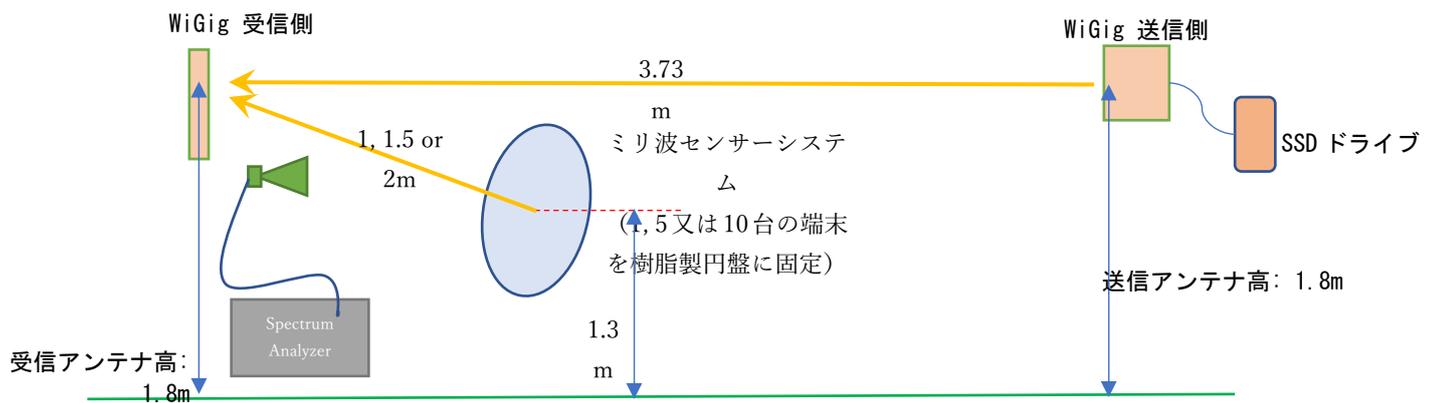


図 4-3-7 実機検証模式図

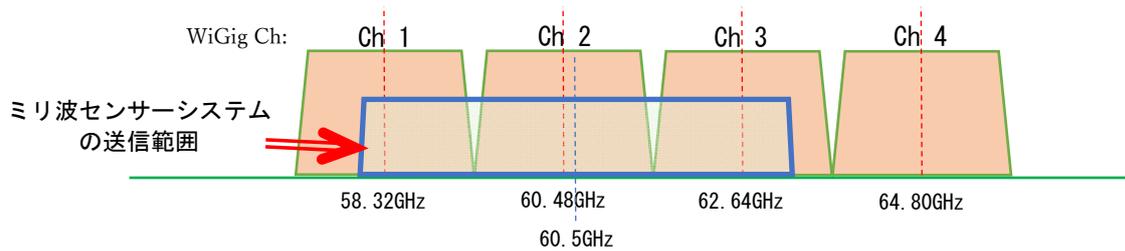


図 4-3-8 実機検証利用帯域概略図

測定結果は表 4-3-5 のとおりで、ミリ波センサーシステムから WiGig への干渉影響は、与干渉距離 1.5m で比較すると、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が、干渉影響のないときの伝送速度に比べると 4~12%程度の低下となり、シミュレーションの結果とほぼ合致する結果となった。

表 4-3-5 ミリ波センサーシステムによる干渉下における WiGig の伝送速度の測定結果

与干渉距離 (WiGig 受信側～ミリ波センサーシステム)	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%
1.5 m	1	960 Mbps, 4%	960 Mbps, 4%
	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.
	10 (No WiGig)		

4-3-1-2 データ・画像伝送 (WiGig の屋外版) (屋外利用) の干渉検討

<前提条件>

- ミリ波センサーシステムにはキャリアセンス機能の実装を想定していないため、他のデータ・画像伝送システムの状態 (待機中、送受信中等) に関係なく、電波の発射を行う。
- データ・画像伝送システムが送信を開始しようとする時又は通信終了後から次の通信開始の間に、自らが送信を行おうとする周波数に、他の無線設備からの電波の発射がないことを確認 (キャリアセンス機能) してから通信を開始する。
- キャリアセンス機能を持たないミリ波センサーシステムが送信をした際、データ・画像伝送システムのキャリアセンス機能に影響を与え続ける懸念がある。
- また、中・遠距離通信用高指向性・高利得アンテナを使用するシステムへのアンテナ軸外からの入射の影響に対する懸念がある。

以上のことから、以下について検討を行った。

- データ・画像伝送システムの設置地上高とアンテナ特性 (軸外方向からの受信) の関係に係る検討
- ミリ波センサーシステムの台数による影響及び所要離隔距離の算出 (連続、複数台の同時送信)
- データ・画像伝送システムの相互通信時距離対干渉波所要離隔距離の算出 (1対1)

<データ・画像伝送 (WiGig の屋外版) のアンテナモデル>

屋外利用用途のデータ伝送用アンテナには、平成 27 年度陸上無線通信委員会報告 (35 頁)

(図 4-3-9) のモデルを採用した。

(4) アンテナモデル

与干渉システムおよび被干渉システムのアンテナは、IEEE802.15.3c のミリ波 WPAN タスクグループのチャネルモデリングの基準アンテナモデルとして採用されたアンテナモデル※を適用した。このモデルは、アンテナの電力半値ビーム幅を設定することにより、メインローブパターンと平均化されたサイドローブレベルを得ることができるものである。

※I.Toiyoda and T.Seki, "Antenna Model and Its Application to System Design in the Millimeter-wave Wireless Personal Area Networks Standard" NTT Technical Review.

The developed antenna model is formulated in terms of directivity gain $G(\theta, \phi)$ as follows: [5]

$$G(\theta, \phi)[\text{dBi}] = G_0 - 3.01 \cdot \left(\frac{2\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2 \quad 0 \leq \theta \leq \theta_{ml}/2 \quad (2)$$

$$G(\theta, \phi)[\text{dBi}] = -0.411 \cdot \ln(\theta_{3dB}) - 10.6 \quad \theta_{ml}/2 < \theta \leq 180^\circ \quad (3)$$

$$\theta_{ml} = 2.58 \cdot \theta_{3dB} \quad (4)$$

$$G_0 = 20 \cdot \log \left(\frac{1.62}{\sin(\theta_{3dB}/2)} \right) \quad (5)$$

where θ_{3dB} is the antenna's half-power beamwidth and θ_{3dB} is in units of degrees. Equations (2) and (3) give the directivity gains of the main and side lobes, respectively. Here, the directivity gain is not a function of ϕ , which means that the antenna has a rotationally symmetric beam.

図 3-1.8 適用したアンテナモデルの定式

(NTT Technical Review "Antenna Model and Its Application to System Design in the Millimeter-wave Wireless Personal Area Networks Standard" より引用)

図 4-3-9 屋外利用用途のデータ伝送用アンテナモデル

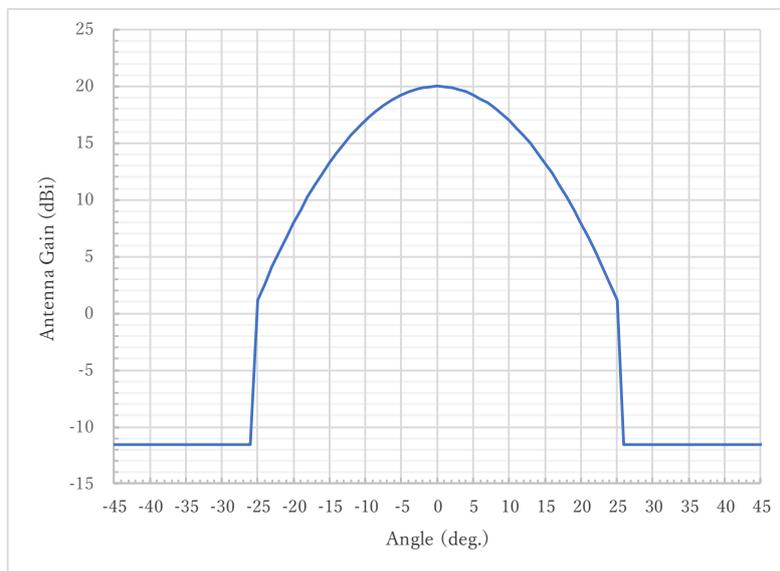


図 4-3-10 FWA システムのアンテナパターンシミュレーションの例 (Beam= 20 [deg.], G= 20 [dBi], sidelobe= 26 [deg.], -11.55 [dBi])

<画像・データ伝送 (屋外利用) の諸元>

以下にシミュレーションに用いたパラメータを示す。なお、被干渉装置のパラメータは平成 27 年陸上無線通信委員会報告書に記載の値を元に、屋外画像・データ伝送に採用されている標準的な値とした。

表 4-3-6 被干渉装置の諸元

被干渉装置送受信 Vtx/Vrx	周波数	fv	60.48	GHz
	送信電力	Pvt	20	mW
	送信アンテナ利得	Gavt	20	dBi
	送信空中線電力半値角	HPAVtx	20	deg.
	受信アンテナ利得	Gavr	20	dBi
	受信アンテナ利得 (10 度)	Gavr10	16.99	dBi
	受信空中線電力半値角	HPAVrx	20	deg.
	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

また、干渉モデルを図 4-3-11 に示す。

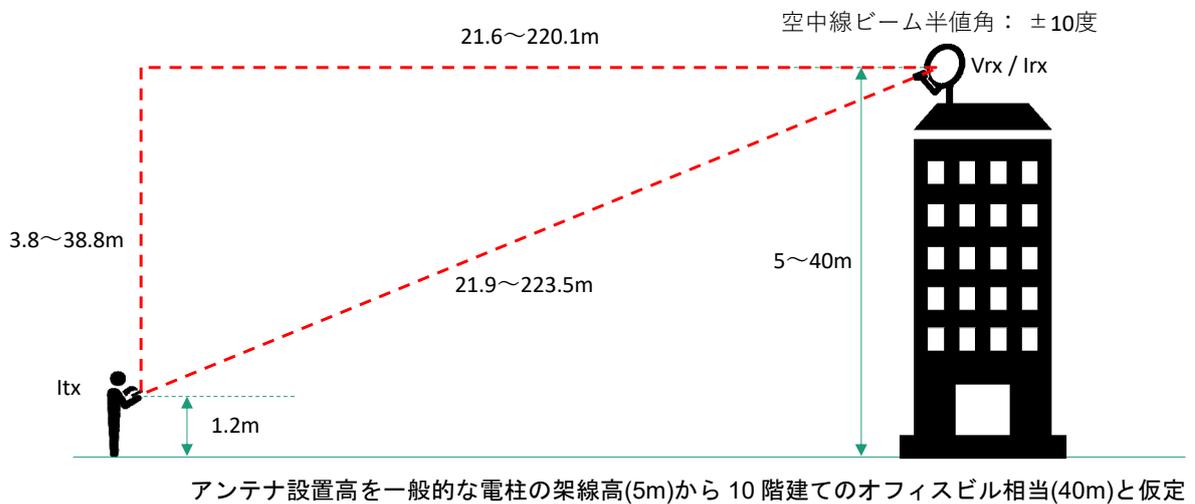


図 4-3-11 画像・データ伝送 (屋外利用) 干渉モデル

<キャリアセンス機能への影響の検討>

与干渉システムと被干渉システムの離隔距離による被干渉システムへの到達電力は下図のようになるので、Vrx / Irx の地上高 5m 時の離隔距離 21.9m においては、Itx 10 台の場合でも受信電力 -71.9dBm となり、キャリアセンス許容値-48dBm 以下となることがわかる。

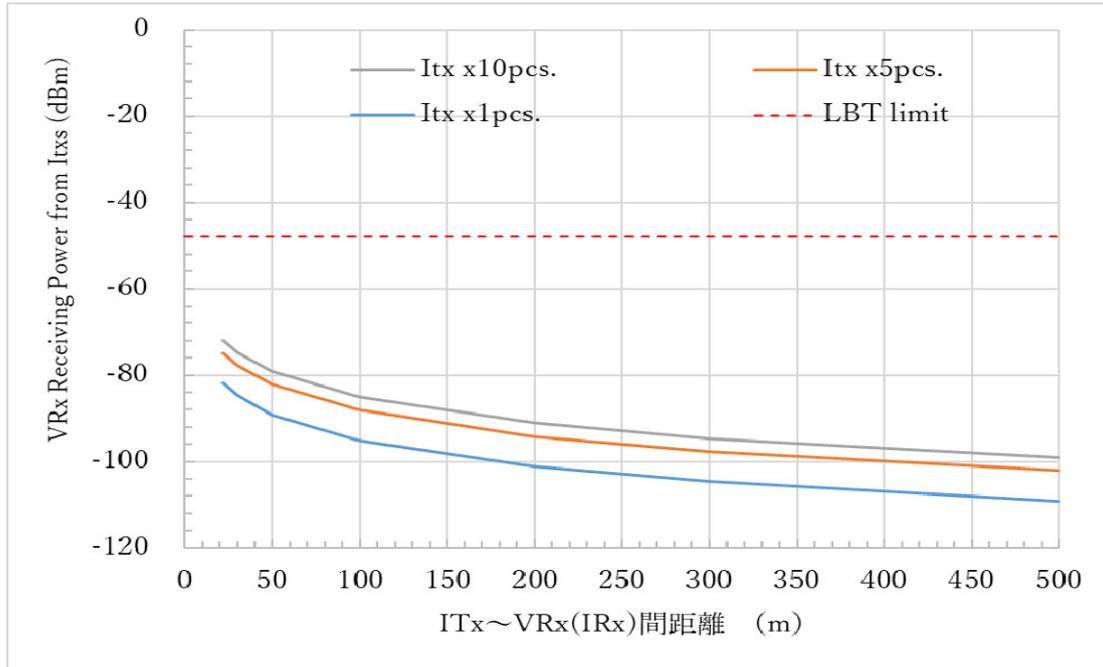


図 4-3-12 干渉検討結果

よって、被干渉装置受信アンテナ端でのキャリアセンスに問題ないことを確認した。

<通信距離対受信電力の検討>

被干渉側装置と与干渉側装置の離隔距離可変時の受信電力への影響を検討した。

干渉モデル及び与・被干渉装置の諸元を以下に示す。

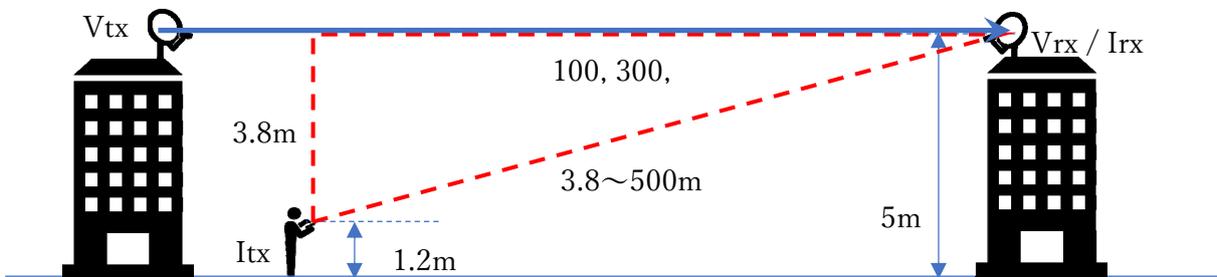


図 4-3-13 干渉モデル

表 4-3-6 干渉検討システムの諸元

被干渉装置送信 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
被干渉装置受信 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
与干渉装置送信 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
Irx	受信アンテナ利得	Gair	~ 20	dBi

与干渉システムの通信距離による被干渉システムへの影響を計算した結果を図 4-3-14 に示す。

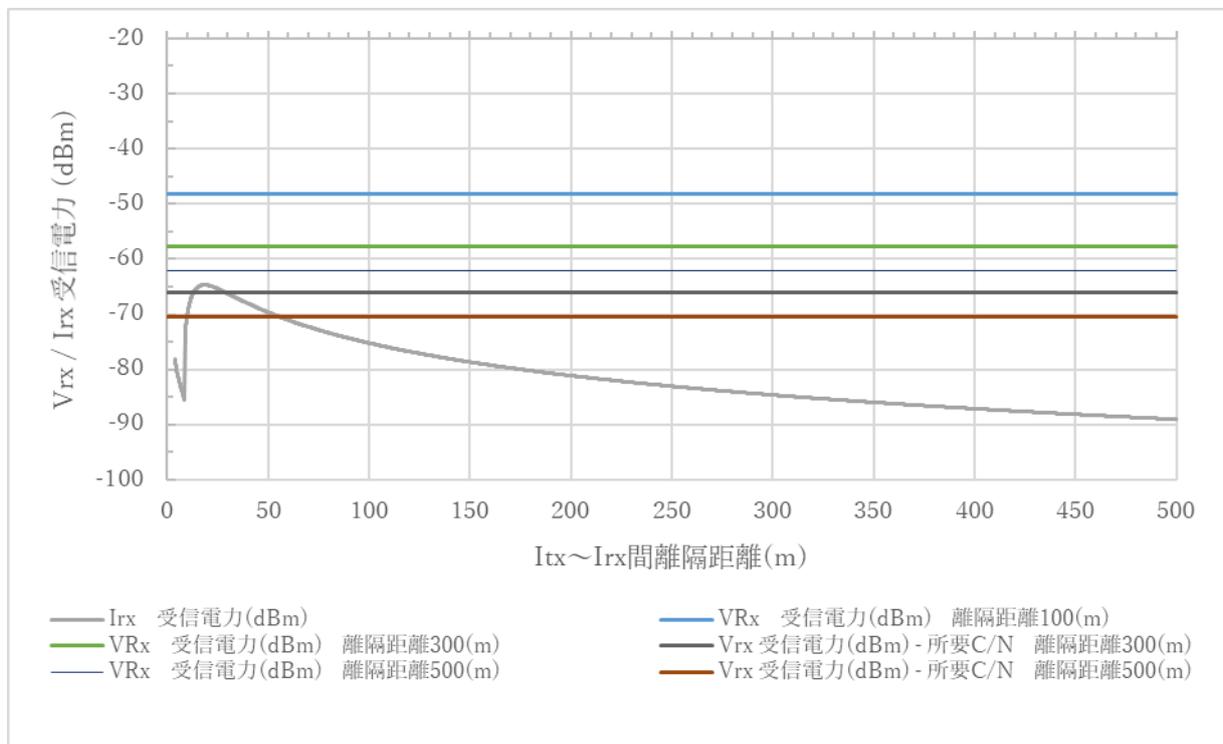


図 4-3-14 干渉検討結果

lrx~ltx 間離隔距離を 3.8~500m 可変した際の lrx の受信電力は、離隔距離約 19m、受信アンテナ利得約 16dBi(輻射軸との狭角約 11.5 度)の時、受信電力約-64.7dBm で最大となる。

Vtx~Vrx 間通信距離 300m 時の受信電力約-58dBm、同 500m 時約-62dBm に所要 CN 8.5dB を加算すると、離隔距離約 56m までは影響がある。

<検討結果>

被干渉側装置の設置高と与干渉側装置との関係としては、FWA や Wi-Fi バックホールとしての WiGig の屋外利用を想定する。屋外でのネットワーク構築を想定しているため、アンテナの設置高は 5m 以上を想定。アンテナの電力半値角を±10 度とし、地上 1.2m で与干渉側装置が使用されると想定の上離隔距離を算出した。

与干渉側装置が被干渉側装置のキャリアセンス時に与える影響

被干渉側装置と与干渉側装置の最低離隔距離は 21.9m となるが、この離隔距離において複数(最大 10 台と想定)の与干渉側装置から電波の発射を行っても、被干渉側装置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と言える。

被干渉側装置通信時における干渉の影響

被干渉側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 に固定設定し、与干渉側装置と被干渉側装置の離隔距離を 3.8~500m 可変した際の被干渉側装置が受ける受信電力を評価した。

その結果、被干渉側装置の所要 C/N を加算した受信電力に対し、被干渉側装置の通信距離 500m で離隔距離約 56m 以下の場合、影響のあることが確認されたが、以下の点から屋外利用時のデータ伝送端末との共存は可能と考えられる。

- (1) シミュレーションは 100%連続送信を条件として実施しており、実環境では、前述の「WiGig の CCA(Clear Channel Assessment)がブロックされる確率の検討」の前提条件を考慮すると、送信時間率は 1.11 %程度となる。
- (2) 影響のある離隔距離 56m 以内のアグリゲーション条件は、単位面積当たりの普及台数 $\times (56 \times 56 \times \pi) \times (\text{被干渉装置のアンテナビーム幅} \div 360)$ で求められ、単位面積当たりの普及台数 0.015(台/m²)(16 ページ参照)、アンテナビーム幅 20 度から、約 8 台となる。
- (3) 前述の人体遮蔽率約 50%及び送信時間率 1.11%から、人体遮蔽率を含む送信時間率は 0.56%となり、約 8 台の送信時間率を求めると、0.044 台となる。

これらの結果、影響のある台数は実質的に 1 台以下となるため、屋外利用時のデータ伝送端末との共存は可能と考えられる。

<与干渉側装置の普及密度（屋外利用における普及密度）>

普及密度算出の前提

総務省統計局発行の平成 27 年度国勢調査人口等基本集計結果から、人口密度の最も高い東京都の値 6,168.7(人/km²)に昼間の人口密度が 3 倍と仮定した値を適用し、普及率を一般社団法人電気通信事業者協会の「携帯電話の契約者数（2019 年 3 月 第 4 四半期）」の値 175,363(千台)と当該国勢調査の全国総人口 127,095(千人)から一人当たり所有台数 1.38(台/人)を算出、平成 29 年版 情報通信白書の「スマートフォン個人保有率の推移」普及率約 60%から一人当たりのスマートフォン所有台数 0.83(台/人)とし、15,321(台/km²)を算出した。

単位面積当たりのスマートフォン普及台数

$$\begin{aligned}
 &= (\text{携帯電話の契約数} \div \text{全国総人口}) \times \text{スマートフォン個人保有率} \times (\text{人口密度} \times 3) \\
 &= (175,363 \div 127,095) \times 0.6 \times (6,168.7 \times 3) \\
 &= 15,321 \text{ (台/km}^2\text{)} \\
 &= 0.015 \text{ (台/m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

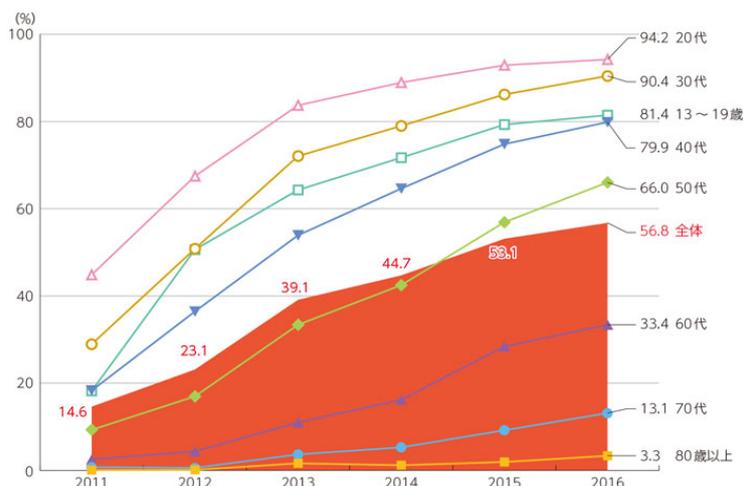


図 4-3-1-4 スマートフォン個人保有率の推移

(平成 29 年版 情報通信白書より抜粋)

4-3-1-3 ミリ波画像伝送システム（共同住宅共聴システム）の干渉検討

ミリ波画像伝送システムの代表的な運用形態の一つとして、図 4-3-3-1 に示すような集合住宅の屋上等で屋外アンテナに接続された基地局送信機から、各家庭のベランダ等に設置された加入者局受信機へ伝送する、縦系と呼ばれるシステムが実用化されている。

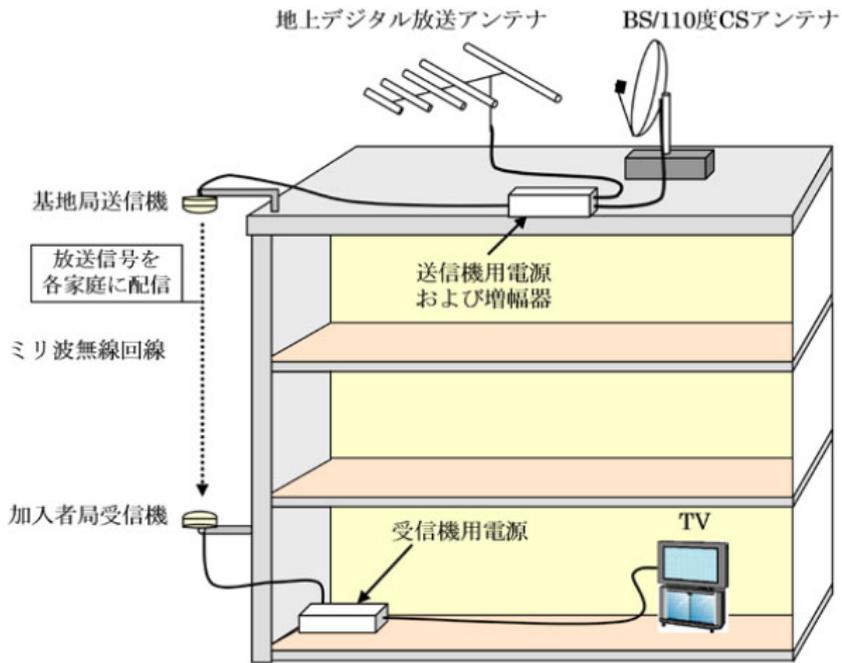


図4-3-15 ミリ波画像伝送システムの代表的な運用形態

ミリ波センサーシステムをミリ波画像伝送システムが設置されているマンション等の屋内（ベランダを含む）で使用した場合、ベランダの外に設置されているミリ波画像伝送システムの受信アンテナに対し干渉を与える可能性が示唆される。

そこで、以下の検討を行う。

- ミリ波センサーシステムによる影響を、所要改善量を算出し評価する
- 画像伝送システムの所要 C/N に対する影響を、実機を用いて評価する

<与干渉・被干渉装置のアンテナモデル>

画像伝送システムとミリ波センサーシステム間の離隔距離 r は 10cm~10m で可変とする。

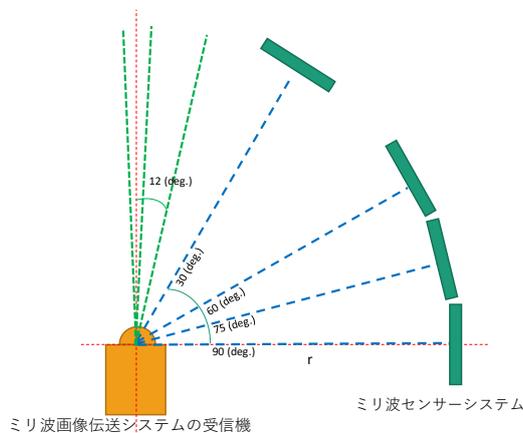


図4-3-16 ミリ波画像伝送システムの受信機

表 4-3-7 ミリ波画像伝送システムのアンテナ利得

Angle (deg.)	left (dBi)	right (dBi)
0	23.0	23.0
1	22.5	22.9
2	21.7	22.2
3	20.2	21.0
4	18.0	19.0
5	15.0	16.0
6	11.5	12.5
7	6.0	8.0
8	2.2	2.2
9	-6.5	-4.0
10	-12.0	-10.5
11	-13.6	-14.0
12	-13.0	-15.2

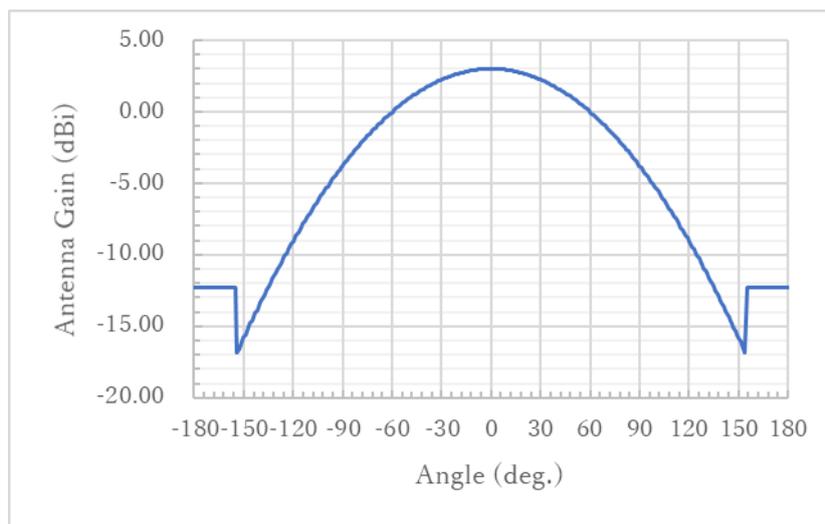


図 4-3-17 ミリ波センサーシステムのアンテナパターン (シミュレーション)
 (Beam= 120 [deg.], G= 3 [dBi], Sidelob= 154 [deg.], -16.83 [dBi])

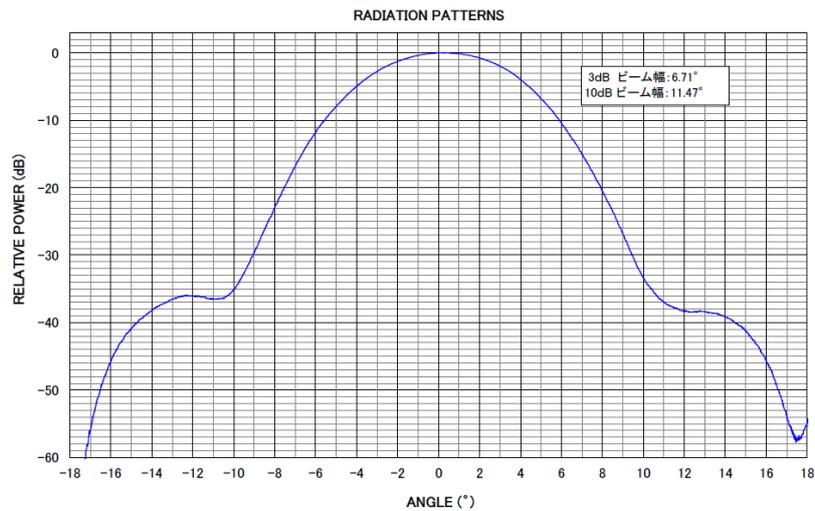


図 4-3-18 ミリ波画像伝送システムのアンテナパターン
(Beam= 6.71 [deg.], G= 23 [dBi])

- ミリ波画像伝送システムに対するミリ波センサーシステムの成す角は、90 度、75 度、60 度、30 度で検討
- ミリ波画像伝送システムのアンテナは ± 12 度以上はサイドローブ値であるので、-13dBi をすべての成す角で採用
- ミリ波画像伝送システムのアンテナ半値角 6.71 deg.に対するミリ波センサーシステムのアンテナ半値角 120 deg.との受信有効面積比は、 $6.71 / 120 = 5.59$ となり、ミリ波センサーシステムから放射される電力の 5.59%がミリ波画像伝送システムによって受信される。
- 受信面積比を対数で表すと、 $20\log(6.71/120) = -25.0$ dB となる

<ミリ波画像伝送システム（共同住宅共聴システム）評価システムの諸元>

表 4-3-8 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
90° 方向利得	-13 dBi 以下

表 4-3-9 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	57 - 64 GHz
占有周波数帯幅	7 GHz
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.
受信有効面積比	24.5 dB
Duty Cycle	3.3 / 29.7 msec. (MAX.)

※画像伝送システムとミリ波センサーシステム間の離隔距離は
10cm~10m 可変

<干渉計算結果>

画像伝送システムの受信側アンテナとミリ波センサーシステム間の離隔距離を 10cm から 10m の間で可変した場合の干渉波受信電力及び所要改善量を示す。

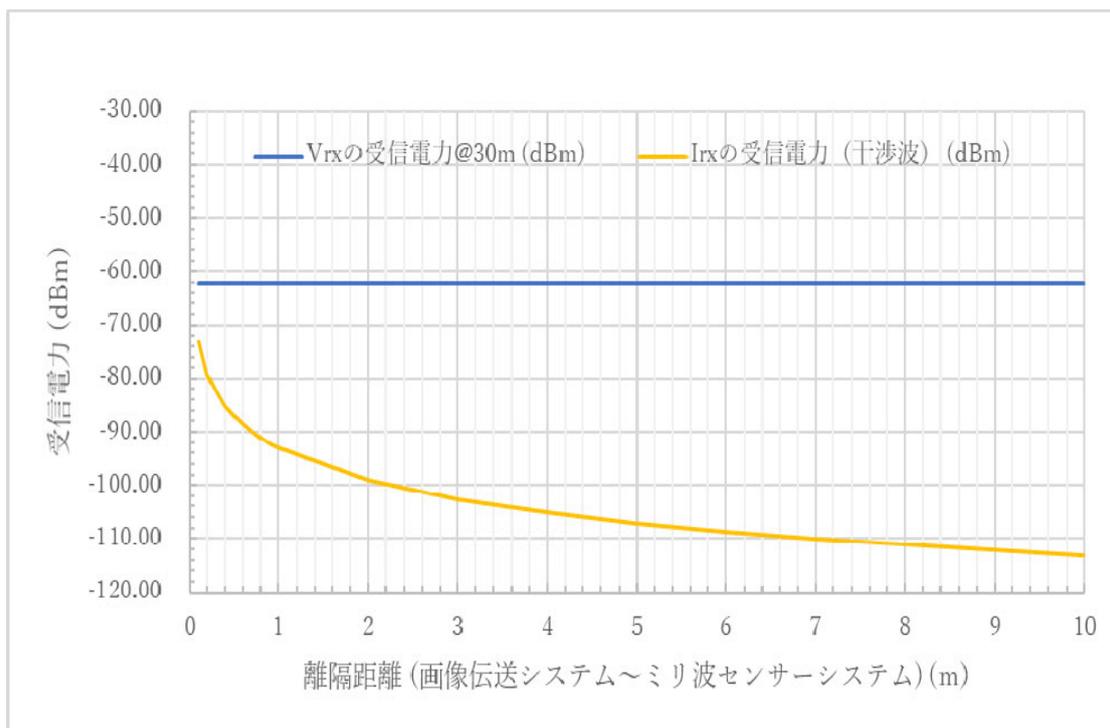


図 4-3-19 離隔距離を可変した場合の干渉波受信電力

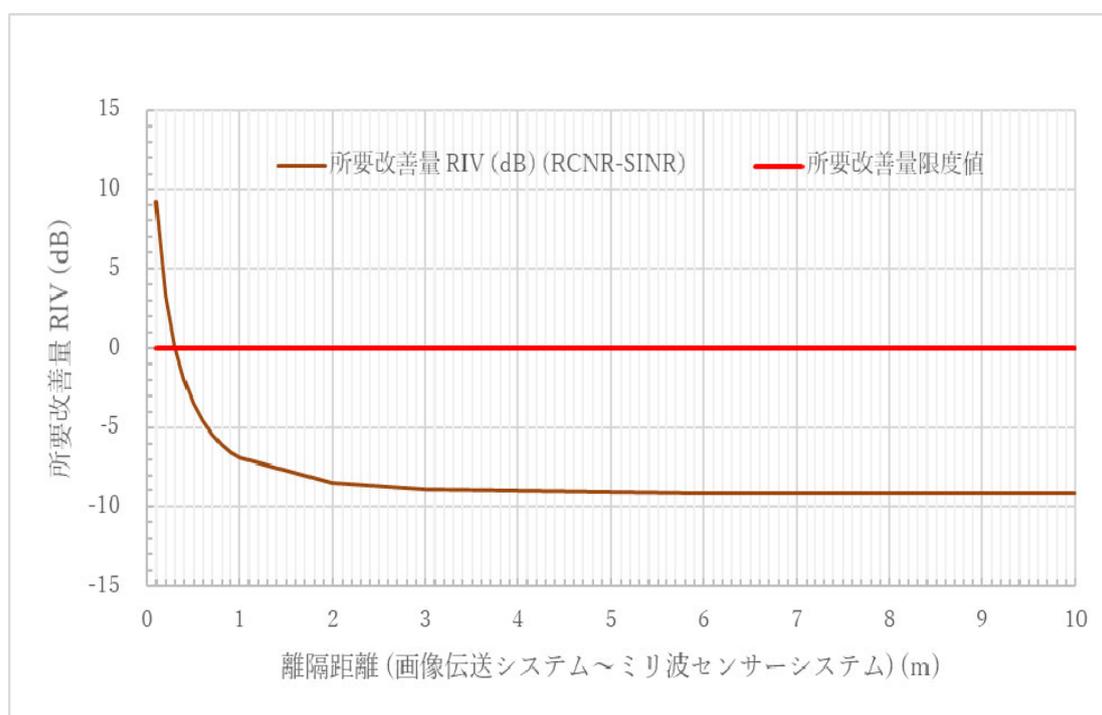


図 4-3-20 離隔距離を可変した場合所要改善量

これらの結果から、ミリ波センサーシステムが画像伝送システムの受信機に対し離隔距離を 40cm 以上確保すれば共用は可能である。

<実機による干渉評価>

実施日：2019年04月23日

実施場所：DX アンテナ株式会社 大型電波暗室(兵庫県神戸市西区室谷1丁目2番2号)

画像送信アンテナより、地デジ、BS 及び CS 放送波を送信し、受信アンテナで受信、映像受信装置にてブロッキングノイズ等の発生を確認するとともに、スペクトラムアナライザで受信電力を観測、電力計で C/N を確認する。

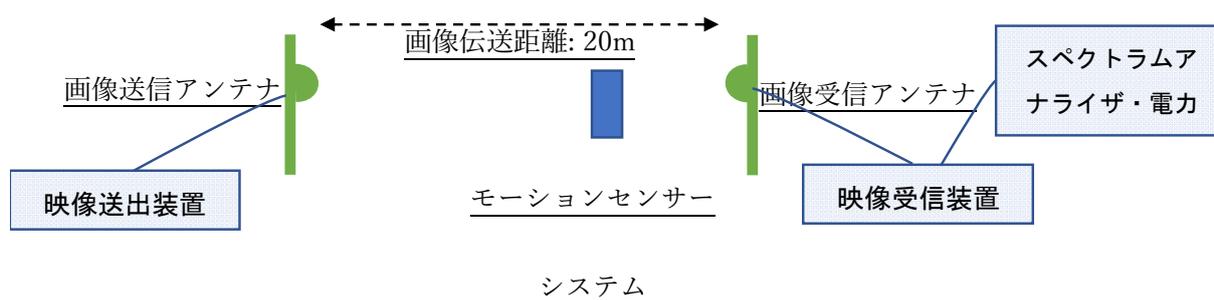


図 4-3-21 実機による干渉評価の概略図

<干渉評価の結果>

- ・ ミリ波画像伝送システムを 20m の離隔距離で対向させた状態で、当該受信機とミリ波センサーシステムとの離隔距離及びミリ波画像伝送システムの対向軸に対する角度を可変し、ミリ波画像伝送システム間で伝送される地デジ、BS/CS 衛星放送波を受信機で受信するとともに、スペクトラムアナライザで受信信号を観測する。
- ・ ミリ波画像伝送システムのアンテナ指向性が鋭いため、ミリ波センサーシステムの送出電波をミリ波画像伝送システムの正対軸上で受信できる位置に設置し離隔距離を縮めてゆくと、25cm 以内で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する。
- ・ 実験の結果、第 1 フレネルゾーン 50% 遮蔽の条件にて離隔距離 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。

以上から、実機による検証では離隔距離が更に小さくなることを考慮すると、共用は可能と考えられる。

4-3-2 ミリ波レーダー

特定小電力無線機器 ミリ波レーダー用については、次の 2 つの無線設備について検討を行った。

表 4-3-10 干渉検討の対象としたシステム

	机上シミュレーション	実機検証
踏切障害物検知装置	✓	✓
自動車レーダー	✓	

4-3-2-1 踏切障害物検知装置

本システムはミリ波を使って踏切を通行する 2.9m 以下の自動車等も検知可能な装置である。送受信機は 3 本のミリ波ビームを扇型に送信する。2 台の送受信機を踏切に設置し、計 6 本のミリ波ビームで踏切全域にわたり障害物を検出している。

構成機器

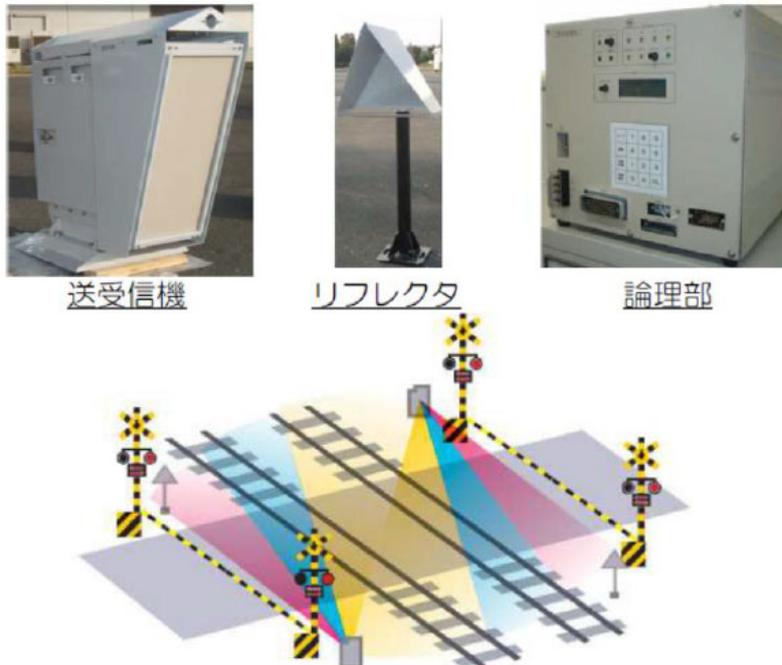


図 4-3-2 2 ミリ波踏切障害物検知装置

干渉モデルを以下に示す。

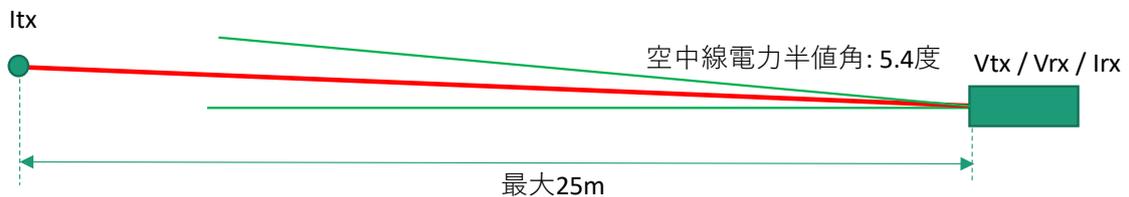


図 4-3-2 3 干渉モデルの概略図

シミュレーションに用いたパラメータを表 4-3-1 1 に示す。なお、被干渉側のパラメータは平成 27 年陸上無線通信委員会報告書に記載の値を採用した。

表 4-3-11 干渉検討システムの諸元

与干渉装置送信 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	dB
	距離	Di	1~25	m
Irx	受信アンテナ利得	Gair	28.5	dB

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	dB	
	空中線電力半値角	5.4	deg.	
	反射断面積	0.001	m ²	-30dBsm
	距離	5,10,15,20,25	m	
	受信アンテナ利得	28.5	dB	
	雑音帯域幅	1	kHz	変調帯域幅 300MHz
	最大検知距離	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	マージンを含む最小受信電力
	受信機雑音指数	10	dB	
所要 C/N	3	dB		

※所要 CNR は、希望波受信電力(S)と干渉波受信電力(I)が同値の場合、障害物検出が困難なことから、SIR マージンとして設定。

<机上シミュレーションの検討結果>

計測対象との離隔距離を可変した際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。

希望波（反射波）受信電力は以下の式で算出した。

$$P_r = \frac{\lambda^2 P_t G_r G_t \sigma}{(4\pi)^3 R^4 L_a L_r}$$

P_r : 反射波受信電力 [dBm]
 λ : 波長 [m]
 P_t : レーダー空中線電力 [dBm]
 G_r : 受信アンテナ利得 [dB]
 G_t : 送信アンテナ利得 [dB]
 σ : 反射断面積 [m²]
 R : レーダー検知距離 [m]
 L_a : 大気減衰量 [dB]
 L_r : 降雨減衰量 [dB]

ミリ波センサーシステムが踏切障害物検知センサーに正対する場合の踏切障害物検知センサーが受ける干渉波電力は図 4-3-24 のとおり。

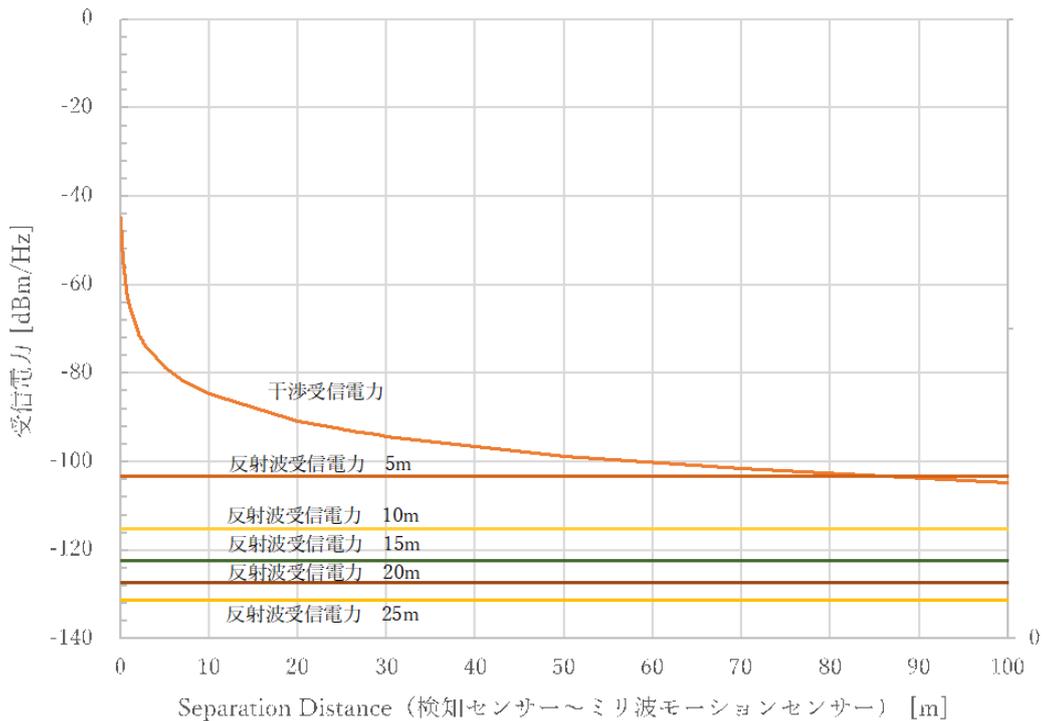


図 4-3-24 干渉検討の結果

この結果から、反射波による物体検出より干渉波電力による影響の可能性がみられる。

<実機検証試験の結果>

実施日： 2019年7月25日

実施場所：日本信号株式会社 屋外検証試験場（埼玉県久喜市）

踏切障害物検知装置の一番外側のセンサーに対し、ミリ波センサーシステムを正対させ電波を発射させたときの踏切障害物検知装置への影響を評価する。

評価方法は踏切障害物装置が障害物を検知した際にその受信電力と検知距離を PC の画面に表示するソフトウェアを用いて実施する。

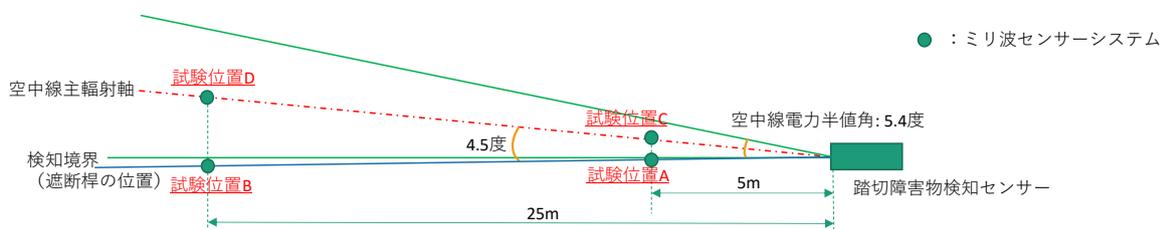


図 4-3-25 踏切障害物検知装置との干渉検討における配置図

評価結果を表 4-3-12 に示す。

表 4-3-12 干渉検討をした条件

試験位置				A	B	C	D
				検知境界（空中線電力半値角）		空中線主輻射軸上	
ミリ波センサーシステムとの離隔距離				5m	25m	5m	25m
ミリ波センサーシステム	RF OFF	リフレクタ	無	干渉無	干渉無	干渉無	干渉無
			有	干渉無	---	---	---
	RF ON	リフレクタ	無	---	干渉無	干渉無	干渉無
			有	干渉無	---	干渉無	---

この結果から、ミリ波センサーシステムから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。これは、踏切障害物検知装置の論理部において検知範囲内に障害物があると判定する閾値-18dBm を超えることがなかったことを意味する。

<検討結果>

机上シミュレーションの検討では、離隔 100m においても干渉ありとの結果であったが、実機検証試験からは離隔 5m でも干渉無しとなった。これは、シミュレーションは受信レベルによる机上検討であるが、実機検証試験では、踏切障害物検知装置の測距方法（フーリエ変換、複数回測距の平均処理等）も行われている点で差異が表れたものと想定される。

よって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。

ただし、今後、踏切障害物検知装置の測距方法（信号処理）を変更する場合、あるいはミリ波センサーシステムの送信信号条件（変調方式、Duty Cycle）を見直すなどが生じる場合は、耐干渉性能を考慮するとともに、干渉試験を実施するなど再検証を行うことが望ましい。

4-3-2-2 自動車レーダー

自動車レーダーは、現行制度上、60-61GHz、76-77GHz 及び 77-81GHz の 3 帯域で規律されており、国際共通の 76-81GHz の自動車レーダーは多数の機器が国内外で普及し、その保護基準は ITU-R 勧告 M.2057-0 で規定されている。

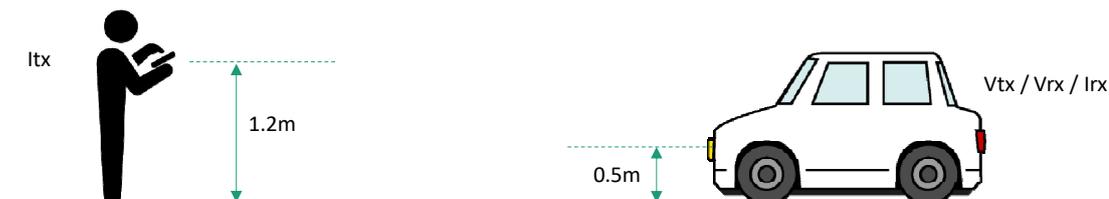
一方、60-61GHz の自動車レーダーは日本独自の周波数帯域であるため、現在のところほとんど普及しておらず、具体的な保護基準は策定されていない。

このような背景から、本検討では以下のとおり、簡便な机上計算によって周波数共用の可否を判断する。

1. ミリ波センサーシステムと正対したときの受信電力と干渉電力の比較、

2. ミリ波レーダーとミリ波センサーシステムの横方向のズレに関する考察、
3. 周波数軸及び時間軸で見た場合のミリ波レーダーとミリ波センサーシステムの関係
4. 走行する自動車に搭載されたミリ波レーダーが受ける干渉影響
5. 人体によるシャドーイングの影響

干渉モデル及びシミュレーションに用いたパラメータを以下に示す。なお、被干渉側のパラメータは平成27年陸上無線通信委員会報告書に記載の値を採用した。



人が携帯端末を持っている地上高を1.2mと設定

図4-3-26 自動車レーダーシステムとの干渉検討における配置図

表4-3-13 干渉検討システムの諸元

与干渉装置送信 Itx	周波数	f_i	60.48	GHz
	送信電力	P_{it}	10	dBm
	送信アンテナ利得	G_{ait}	3	dB
	距離	D_i	1~120	m
Irx	受信アンテナ利得	G_{air}	40	dB
被干渉装置送受信 Vtx/Vrx	周波数	f_v	60.48	GHz
	送信電力	P_{vt}	3	mW
	送信アンテナ利得	G_{avt}	40	dB
	空中線半値角	HPA	5.2	deg.
	反射断面積	σ	10	m²
	距離	D_v	20	m
	受信アンテナ利得	G_{avr}	40	dB
	帯域幅	B_{rx}	1	kHz
	検知距離	R	1~120	m
	スキャン角度		+/- 14	deg.
	大気減衰量	L_a	0	dB
	降雨減衰量	L_r	0	dB
	受信機雑音指数	NF	10	dB
	所要 C/N	CNreq	3	dB

※所要 CNR は、希望波受信電力(S)と干渉波受信電力(I)が同値の場合、障害物検出が困難なことから、SIR マージンとして設定。

<検討結果>

計測対象との離隔距離を可変した際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電力の比較を以下に示す。

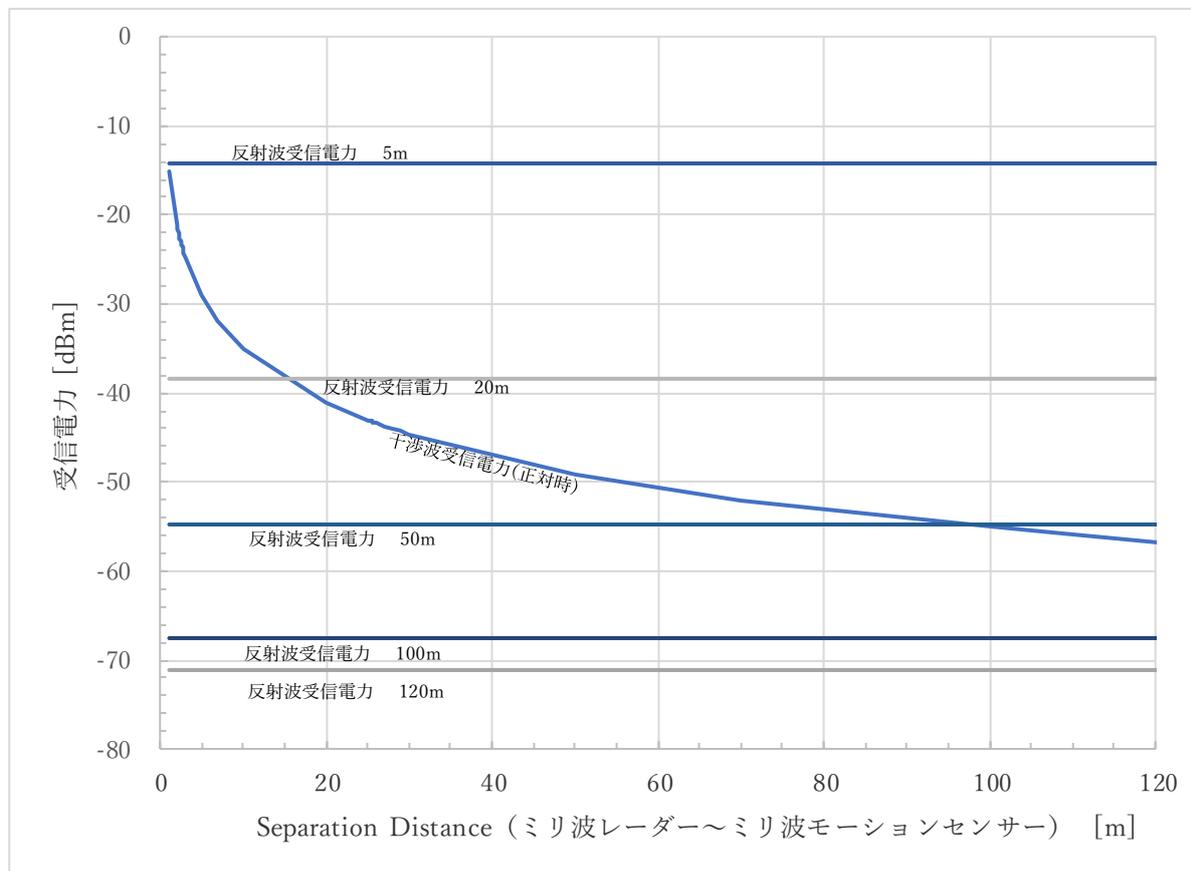


図 4-3-27 離隔距離を可変した場合の受信電力

この結果から、反射波による物体検出より干渉波電力による誤検出の可能性がみられる。

<ミリ波レーダーとミリ波センサーシステムの横方向のズレに関する考察>

ミリ波センサーシステムを持つ人が自動車レーダーと正対していない条件として、歩道等に立ってミリ波センサーシステムを使用している場合が考えられる。

そこで、ミリ波レーダーシステムの空中線特性を考慮し、電力半値角分ずれた位置に人が立っている条件を想定し検討を行った。

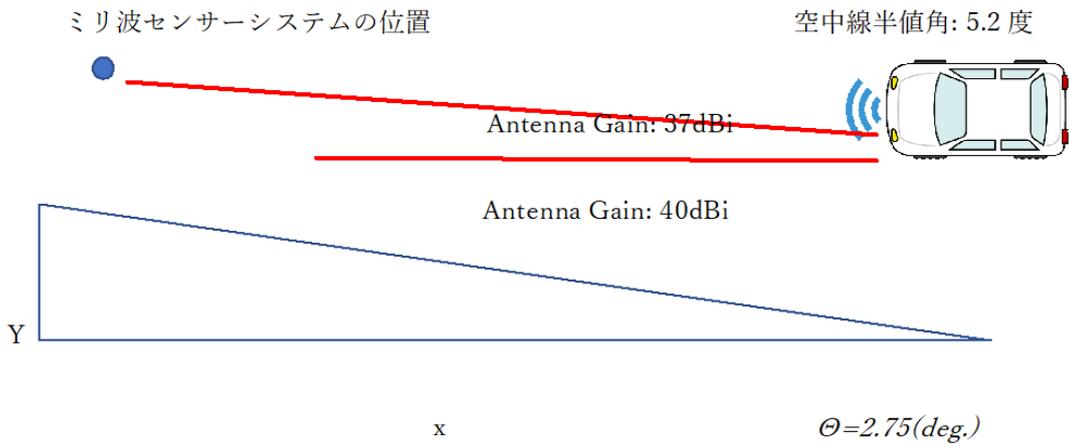


図 4-3-28 自動車レーダーシステムとの干渉検討の概略図

以下に、ミリ波レーダーの電力半値角の半値ずれた方向に対する正対したときの軸（X 軸）からのズレ（Y 軸）を示す。

表 4-3-13 干渉検討をした配置

X (m)	5	20	50	100	120
Y (m)	0.24	0.96	2.40	4.80	5.76

干渉波の受信電力の計算結果を下图に示す。

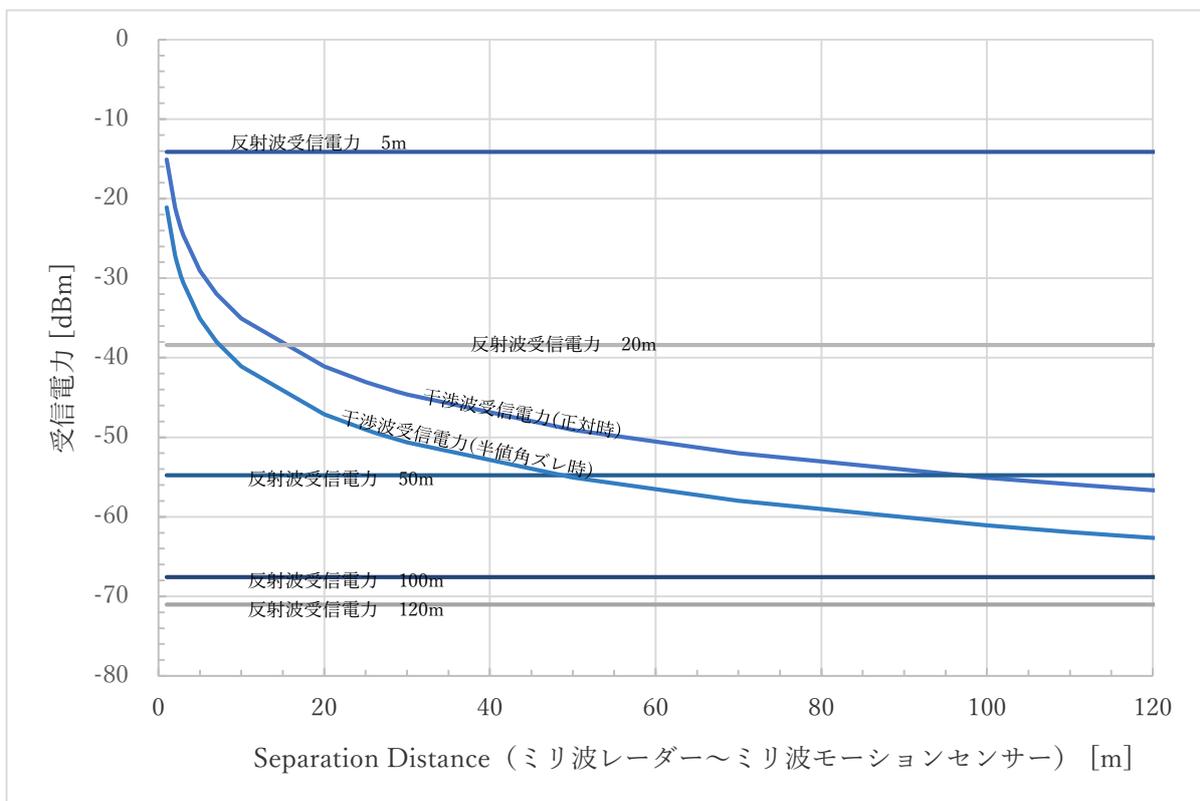


図 4-3-29 自動車レーダーシステムとの干渉検討の結果

ミリ波センサーシステム側の空中線特性を考慮すると、干渉電力は正対時に比較し 3~6dB 低くなることから、正対時に検知距離 20m 時で 14.7m、50m 時で 96.5m 以下での離隔距離において干渉の影響がみられたが、半値角ずれることで、検知距離 20m 時で 7.4m、50m 時で 48.35m 以下と影響が緩和された。

<周波数軸及び時間軸で見た場合のミリ波レーダーとミリ波センサーシステムの関係>

次に、ミリ波レーダーとミリ波センサーシステムの占有周波数帯幅及び送信時間率の違いから生じる干渉影響について検証を行った。

ミリ波レーダーの占有周波数帯幅 500MHz に対してミリ波センサーシステムは最大 7GHz までのチャープ幅を持つため、ここでは チャープ幅を 500MHz、4.5GHz 及び 7GHz としたときの、ミリ波レーダーとの時間的な重なりを計算した。

図 4-3-29 はミリ波レーダーとミリ波センサーシステムの周波数軸を横軸に見たときの重なりと、ミリ波センサーシステムの 1 周期あたりの ON/OFF 比を示したものである。

1 周期中の ON 時間内でチャープ変調が行われる前提で計算を実施した。

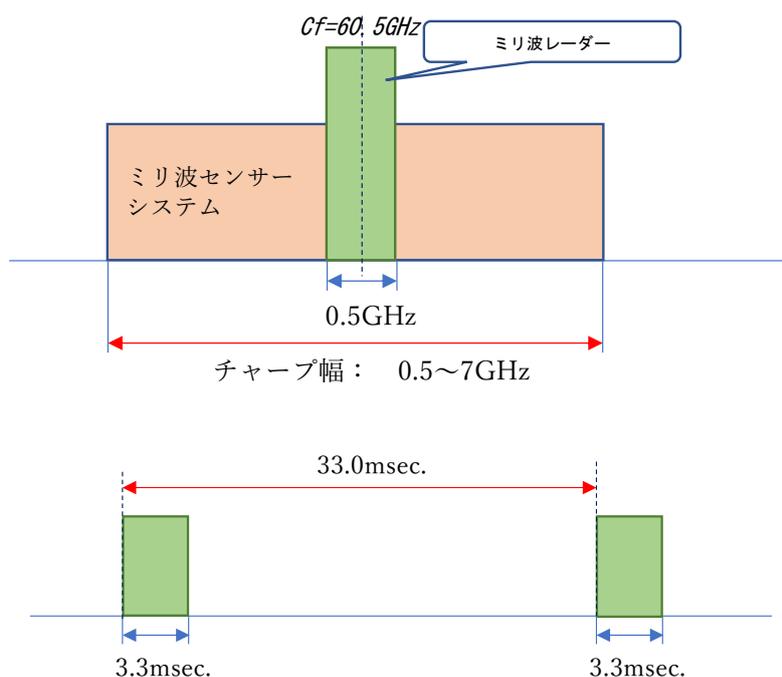


図 4-3-29 周波数帯域概略図

表 4-3-14 に示すとおり、チャープ幅に対するミリ波レーダーの占有周波数帯幅の重なりは、7.14%から 100%となる。また、1 周期あたりの ON 時間内(3.3msec.)にミリ波レーダーの占有周波数帯幅と重なる時間は、0.236msec.から 3.3msec.となる。この重なる時間をミリ波センサーシステムの 1 周期あたりで計算すると、0.71%から 10%となる。

表 4-3-14 干渉検討をした条件

チャープ幅 (GHz)	レーダーとの重複率(周波数軸) (%)	センサーシステム ON 時 (3.3ms)に重なる時間 (msec.)	1 サイクル(33ms)に重なる時間率 (%)
7	7.14	0.236	0.71
4.5	11.11	0.367	1.11
0.5	100	3.3	10

<走行する自動車に搭載されたミリ波レーダーが受ける干渉影響>

ミリ波レーダーを搭載した自動車が走行している条件下でのミリ波センサーシステムからの影響を検討した。

自動車が時速70kmでミリ波センサーシステムとの距離100mから20mに近づいた時、80mを走行する時間は約4.12秒となる。

$$4.12 \text{ (sec.)} / 0.033 \text{ (sec./cycle)} = 124.85 \text{ (cycle)}$$

1 サイクル 33msec.のミリ波センサーシステムは4.12秒間に約125サイクルとなるので、それぞれのチャープ幅における干渉時間は表4-3-14のようになる

表 4-3-14 チャープ幅別の干渉時間

チャープ幅 (GHz)	1 サイクル(33ms)に重なる時間 (msec.)	4.12(sec.)間の干渉影響を受ける時間(msec.)
7	0.236	29.5
4.5	0.367	45.88
0.5	3.3	412.5

<人体によるシャドーイングの影響>

ミリ波センサーシステムは、ユースケースから主に人体によって保持され使用されることから、ミリ波センサーシステムから電波が発射される方向には人体が存在することになる。

人体によるシャドーイングモデル（図4-3-30）を示す。

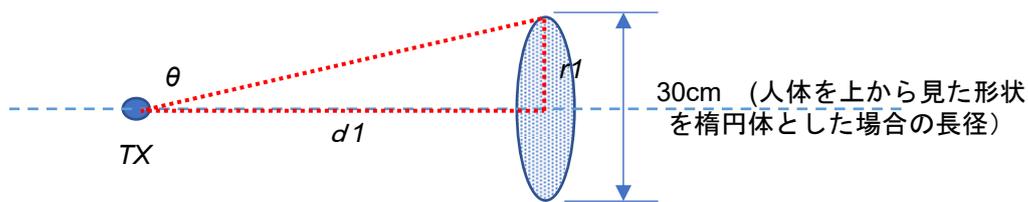


図 4-3-30 人体により遮蔽される面と遮蔽角(θ)の関係

上図に示す $d1$ を 1m、 $r1$ を 15cm とすると、 θ は約 8.5 度となる。この角度の意味は、8.5 度以内であれば人体による遮蔽が期待でき、8.5 度より広い場合は人体による遮蔽効果が薄いことを示す。

ミリ波帯センサーシステムのアンテナ半値角を 120 度とすると、 θ との間には次の関係がある。

0～ θ (度)： 人体による遮蔽効果あり

θ ～60(度)： 人体による遮蔽効果が期待できない

ミリ波帯センサーシステムのアンテナに対する、人体遮蔽率を表 4-3-15 に示す。

表 4-3-15 TX～人体間の距離の変化による人体遮蔽率 ($r1 = 0.15$ m)

$d1$ (m)	Θ (deg.)	アンテナ半値角: 120 度に対する人体遮蔽率 (%)
1	8.5	14
0.5	16.7	28
0.26	30	50
0.2	36.9	61
0.15	45.0	75

ミリ波センサーシステムを見ながら指によるジェスチャー操作を行うときの人体からの距離は、肩から肘までの長さに近似すると仮定すると、25cm 程度と考えられる。 $d1$ が 25cm の時は表 4-3-15 より人体遮蔽率は 50%程度である。

<検討結果>

ミリ波センサーシステムがミリ波レーダーシステムに正対又はアンテナ半値角分ずれた位置での評価では、正対時に検知距離 20m 時で 14.7m、50m 時で 96.5m 以下での離隔距離において干渉の影響がみられ、半値角ずれることで、検知距離 20m 時で 7.4m、50m 時で 48.35m 以下と影響が緩和されるものの、ミリ波レーダーへの影響があることが確認された。

しかし、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及び時間軸での重なりでの考慮、人体シャドローイングによる影響を検討した。

これらの緩和要素を考慮すると、ミリ波レーダーへの干渉は限定的であり、共用は可能で

あると考えられる。

ただし、現時点において、60GHz 帯の自動車レーダーは製品化されておらず、実機レベルでの耐干渉性等の性能が把握できないことから、今後、ミリ波レーダーシステムが製品化された場合にも相互のシステムの運用に支障がないよう、民間標準規格において考慮をするとともに、必要に応じて技術的条件の見直しを行うなどが望ましい。

4-3-3 FPU

ミリ波センサーシステムの低域側隣接には 55GHz 帯 FPU が割り当てられており、影響が懸念されるため干渉検討を実施した。

評価方法：

与干渉側システム（ミリ波センサーシステム (Itx)）と被干渉側システム（55GHz 帯 FPU (Vrx)）を正対させた条件下での許容 INR から離隔距離を算出。

評価条件：

Itx~Vrx を正対及び正対からずらした状態

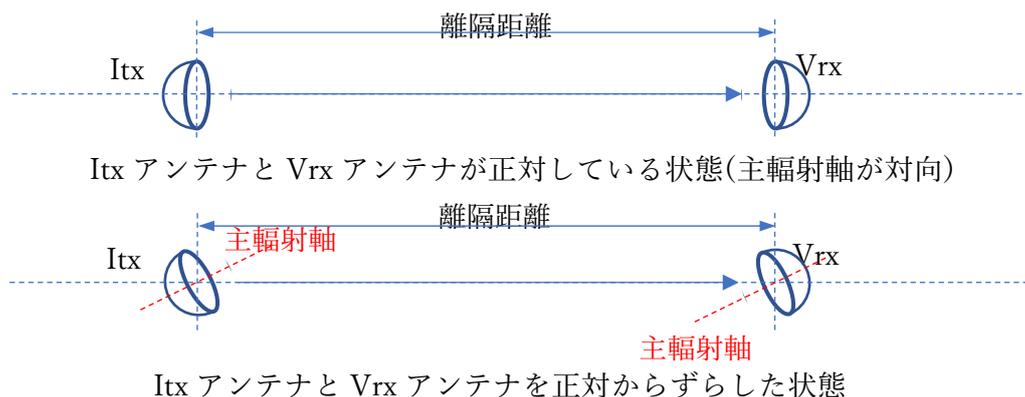


図 4-3-3 1 干渉検討モデル

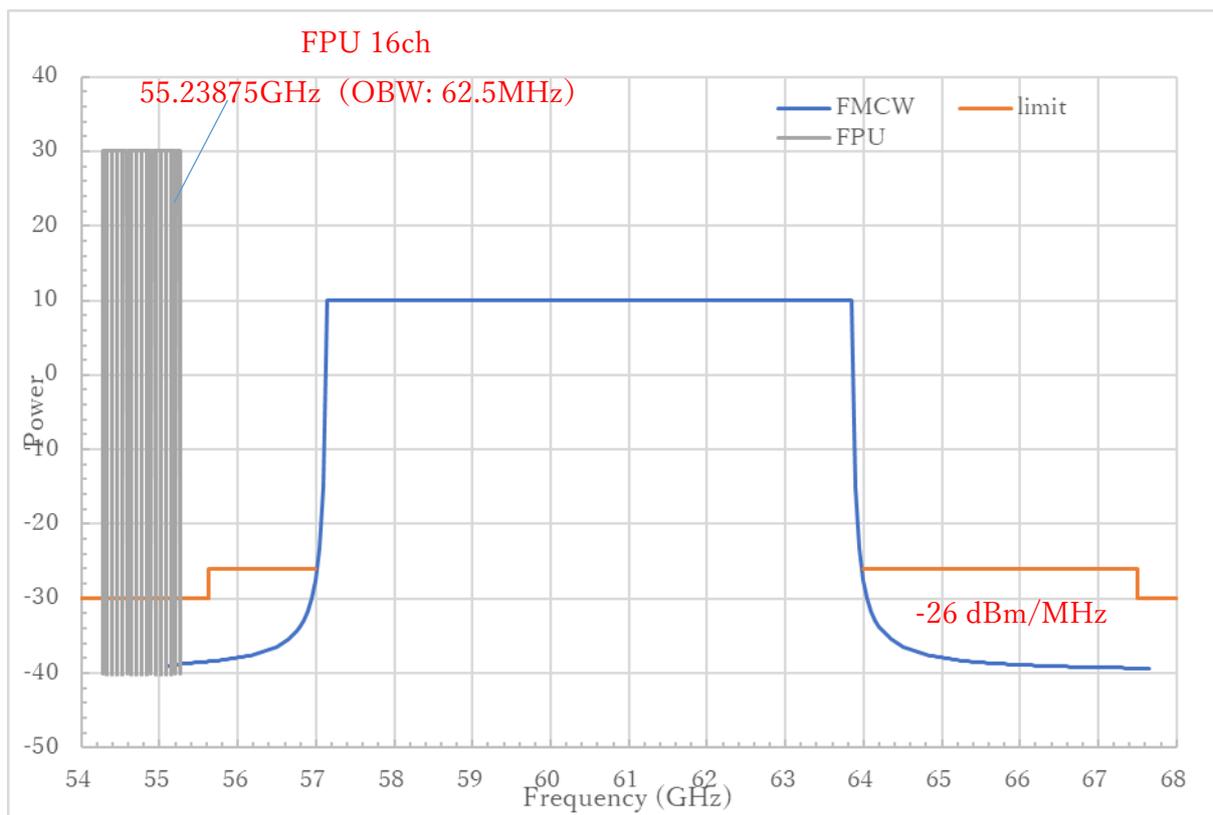


図 4-3-32 FPU とミリ波センサーシステムの周波数関係

- 許容 INR（干渉波レベルと受信局の熱雑音の比）を基準とした机上計算による離隔距離を評価指標とする。
- 離隔距離は、許容 INR を-20dB（ITU-R Rec. BT. 1895 より引用）と設定した場合の許容干渉波レベルを算出し、等価となるシステム間の距離となる。
- V_{rx} が I_{tx} より被る干渉電力は、60GHz 帯小電力データ通信システムの不要発射の限度値（-30 dBm/MHz）を用いる。

<干渉検討に用いたシステムの諸元及びアンテナモデル >

与干渉・被干渉システムの諸元及びアンテナパターンを以下に示す。

表 4-3-16 与干渉側システムの諸元

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.

*干渉電力値として帯域外漏洩電力のマスク値-30dBm を採用しているため、空中線利得は便宜的に 0dBi とした

表 4-3-17 被干渉側システムの諸元

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

*受信帯域オフセットは、Vrx が受信する干渉波の帯域内オフセットを示す

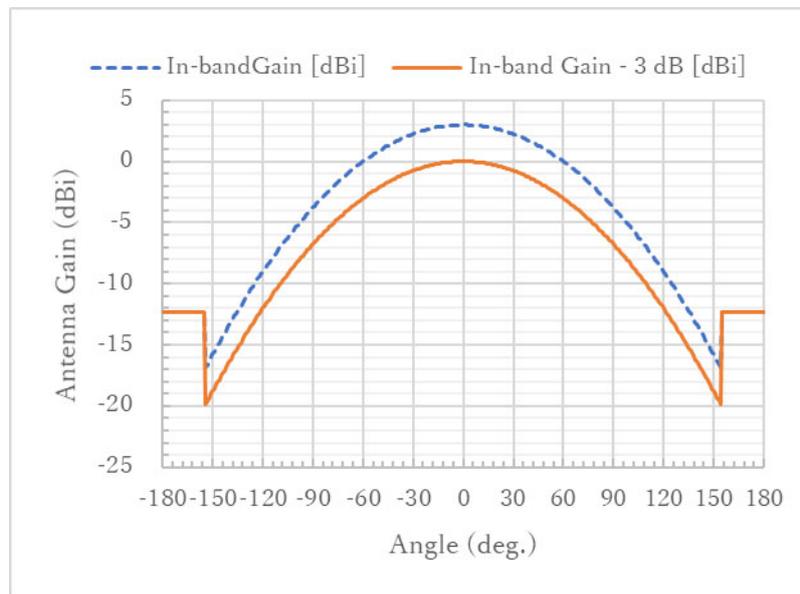


図 4-3-33 ミリ波センサーシステムのアンテナパターン (シミュレーション)
(Beam= 120 [deg.], G= 0 [dBi], Sidelob= 154 [deg.], -19.83 [dBi])

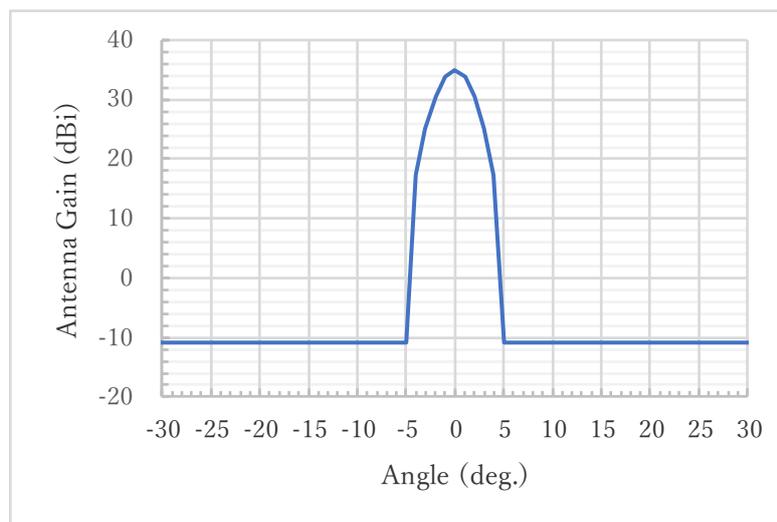


図 4-3-34 FPU のアンテナパターン (IEEE モデルによるシミュレーション)
(Beam= 33 [deg.], G= 35 [dBi], Sidelob= 5 [deg.], -10.81 [dBi])

シミュレーションに用いる与干渉システムの送信アンテナ利得及び被干渉システムの受信アンテナ利得の関係性は以下となる。

表 4-3-18 送受信アンテナ利得の関係性

Itx と Vrx の正対方向に対するアンテナ角度 (deg.)	Itx Antenna Gain (dBi)	Vrx Antenna Gain (dBi)
0	0	35
1	0	33.89
2	0	30.58
3	-0.01	25.05
4	-0.01	17.31
5	-0.02	-10.81
6	-0.03	-10.81
10	-0.08	-10.81

なお、与干渉側システムから発射される電波は CW をチャープ変調したものであり、FPU の帯域内においては CW 波が元となる不要発射成分となるため、帯域内において電力の積算は必要ないとする。

<検討結果>

離隔距離を評価指標として干渉評価を実施した結果を図 4-3-35 に示す。

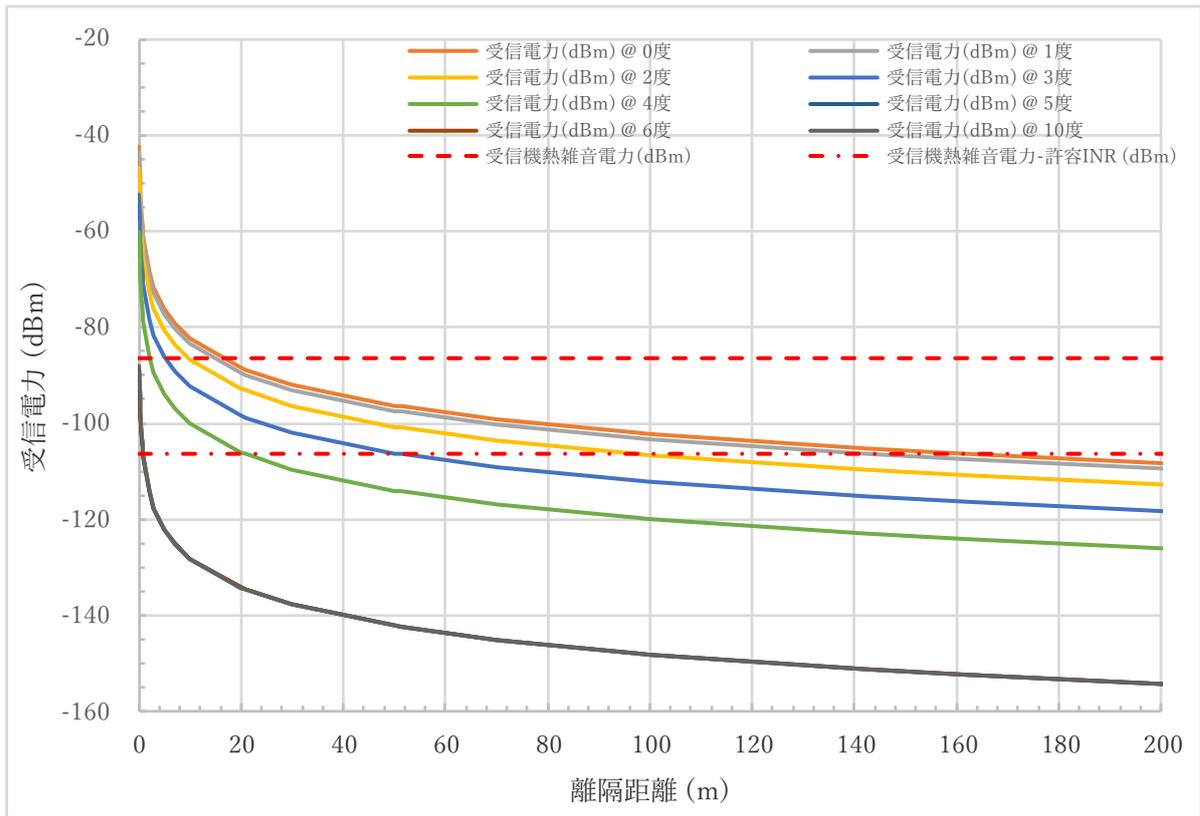


図 4-3-35 干渉評価結果

表 4-3-19 アンテナ角度を可変したときの改善量と離隔距離

Itx と Vrx の正対方向 に対するアンテナ 角度 (deg.)	0	1	2	3	4	5	6	10
所要改善量 (dB)	-64.18	-63.07	-59.76	-54.22	-46.48	-18.35	-18.34	-18.29
所要離隔距離 (m)	161.7	142.3	97.2	51.4	21.1	0.826	0.825	0.821

この結果から、FPU とミリ波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センサーシステムの進入を防ぐなどの運用により、共用可能と考えられる。

4-3-4 地球探査衛星業務（受動）

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、米国 NOAA（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。

- 東京都の昼間人口密度からミリ波センサーシステムの普及密度を算出し、地球探査衛星のフットプリント²⁰内に存在する端末台数を算出
- ミリ波センサーシステム1台あたりの衛星空中線入力端干渉電力を求め、フットプリント内に存在する端末の総干渉電力を算出
- 衛星の干渉許容レベルと総干渉電力から所要改善量を算出

表 4-3-20 検討対象とした衛星システム

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。

4-3-4-1 受信周波数 60GHz における干渉検討

次の前提条件を基に衛星受信局における干渉波の受信電力を算出し、保護基準との比較を行った。

前提条件

ミリ波センサー端末の普及密度 ²¹	20,000 (台/km ²)
地球探査衛星 (SSMIS(Special Sensor Microwave Imager Sounder)) のフットプリントサイズ ²²	25.8km×17.5km
地球探査衛星とミリ波センサー端末との離隔距離	833 (km)
大気減衰量 ²³	160 (dB)
地球探査衛星の受信アンテナ利得 ²⁴	54 (dBi)
地球探査衛星の干渉保護基準 ²⁵	-169 (dBW/100MHz)

計算結果

衛星受信局における干渉波の受信電力は、-206.81 dBm/MHz (-216.81 dBW/100MHz) で所要改善量は-47.81 dB となり、干渉保護基準を満足する。

²⁰ 人工衛星からの電波を直接受信することが可能な範囲。

²¹ 東京都の昼間人口密度を元に推計した 15,321 (台/km²) にマージンを加えた値

²² “<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/d/dmsp-block-5d>”

²³ 勧告 ITU-R P. 676-10 “Attenuation by atmosphere gases”

²⁴ 衛星の空中線利得が不明のため、NOAA NPOESS の 54dBi を採用 (平成 27 年陸上無線通信委員会報告書参照)

²⁵ 勧告 ITU-R RS. 2017 “Performance and interference criteria for satellite passive remote sensing”

4-3-4-2 受信周波数 57.29GHz による干渉検討

表 4-3-20 の周波数範囲内で酸素吸収量が最低となる周波数 57.29GHz に対して、次の前提条件を基に衛星受信局における干渉波の受信電力を算出し、保護基準との比較を行った。

前提条件

ミリ波センサー端末の普及密度 ²¹	20,000 (台/km ²)
ミリ波センサー端末の屋外滞在時間率 ²⁶	10%以下
地球探査衛星 (SSMIS(Special Sensor Microwave Imager Sounder)) のフットプリントサイズ ²²	25.8km×17.5km
地球探査衛星とミリ波センサー端末との離隔距離	833 (km)
大気減衰量 ²³	100 (dB)
地球探査衛星の受信アンテナ利得 ²⁷	54 (dBi)
地球探査衛星の干渉保護基準 ²⁵	-169 (dBW/100MHz)

計算結果

衛星受信局における干渉波の受信電力は、-161.41 dBm/MHz (-171.41 dBW/100MHz) で所要改善量は-2.41 dB となり、干渉保護基準を満足する。

4-3-4-3 検討結果

以上の結果から、いずれのケースにおいても干渉保護基準を満足するため、地球探査衛星業務 (受動) との共用は可能であると考えられる。

²⁶ “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 (塩津弥佳, 吉澤晋, 池田耕一, 野崎淳夫)

²⁷ 衛星の空中線利得をアンテナ径 0.6m から MTVZA-OK の 51dBi を採用 (勧告 ITU-R RS. 1861 ” Typical technical and operational characteristics of Earth exploration-satellite service (passive) systems using allocations between 1.4 and 275 GHz” の表 14 の Sensor K4)

4-3-5 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。

表 4-3-5-1 電波天文受信設備の諸元

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 ²⁸	-196.5 dBm/MHz	-198 dBm/MHz
アンテナ利得	0 dBi	

4-3-5-1 シングルエントリーによる干渉検討

次の伝搬モデルの損失を加味して、各周波数帯域における離隔距離を算出した。

表 4-3-5-2 干渉検討に用いた伝搬モデル

自由空間損失と大気吸収モデル ²⁹	$L(f_{\text{GHz}}, d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(f_{\text{GHz}}) + 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + \alpha(f_{\text{GHz}}) \times d_{\text{km}} + 92.45 \text{ dB}$ $L(d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + 0.13d_{\text{km}} + 140.12 \text{ dB} \quad (76.5 \text{ GHz})$ $L(d_{\text{km}}) = 20 \log_{10}(d_{\text{km}}) + 0.31d_{\text{km}} + 143.66 \text{ dB} \quad (115 \text{ GHz})$	
大気減衰係数 ³⁰	76.5 GHz	0.13 dB/km
	115 GHz	0.31 dB/km
人体による遮蔽損 ³¹	3dB	

離隔距離の算出においては、伝搬損失のみ考慮した場合と人体による遮蔽損を加味した場合の検討を行った。また、実際の製品を設計・製造する場合においては、帯域外輻射電力は限度値から一定程度のマージンをもって設計すると想定され、また、消費電力の観点などからも帯域外輻射をより小さく抑えることが求められることから、ミリ波センサーシステムの不要輻射の許容値となる-30dBm/MHzに加えて、-70dBm/MHzまで低減した場合の検討も行った。

²⁸ 勧告 ITU-R RA.769-2 参照

²⁹ $L(f_{\text{GHz}}, d_{\text{km}})$ 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)

³⁰ 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。

³¹ ユーザ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「シャドーイングと Duty Cycle の干渉検討に与える影響について」

結果を表 4-3-5-3 に示す。

表 4-3-5-3 離隔距離の算出結果

送信出力 (帯域外)	所要離隔距離 (km)			
	伝搬損失のみ考慮		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

<検討結果>

ミリ波センサーシステムの送信出力（帯域外）が不要輻射の許容値となる -30 dBm/MHz の場合、人体による遮蔽損（3dB）を考慮すると、76.5GHz 帯の電波天文の受信設備において 29.8km、115GHz 帯においては 18.9km の離隔距離が必要との結果となった。

ミリ波センサーシステムの送信出力（帯域外）を-40 dBm/MHz から-70 dBm/MHz に想定した際の必要離隔距離を計算したところ、送信出力（帯域外）-60dBm/MHz の場合、76.5GHz 帯の電波天文の受信設備において 1.4km、115GHz 帯においては 1.1km、-70dBm/MHz 時に 76.5GHz 帯において 500m、115GHz 帯において 400m の離隔距離が必要との結果となった。

帯域外輻射電力のレベルは個々の無線設備ごとに違うが、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。

4-3-5-2 アグリゲートモデルを用いた干渉検討

次のアグリゲートモデル及び干渉軽減モデルを元に、電波天文の受信設備から半径 30.5km 以内におけるミリ波センサーシステムによる総合干渉電力を算出した。

表 4-3-5-4 アグリゲートモデルの設定諸元

アグリゲートモデル				
方角	南西		北東	
離隔距離	10km 以内	10km~30km	10km 以内	10km~30km
離隔距離内の人口 ³² (人)	24,234	465,420	10,826	208,698
スマートフォン普及率 ³³	60%			
レーダー搭載端末の割合 ³⁴	1%			
屋外にあるデバイスの割合 ³⁵	10%			

表 4-3-5-5 干渉軽減モデルの設定諸元

時間軸における干渉軽減モデル		
デバイスの 1 日の利用時間の割合	10%	
屋内利用時における干渉軽減モデル		
壁損失（屋内のみ） ³⁶	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 ³⁷	10km 超	10km 以内
	10.16dB	適用なし

本干渉検討においては、国立天文台野辺山宇宙電波観測所を中心とする同心円のリングを考え、各リング内に存在するミリ波センサーシステムからの干渉電力を求め、これらを積算することで集合干渉電力を求めた（詳細は参考資料を参照）。

なお、伝搬モデルはシングルエントリーの場合と同様とした。

計算結果を表 4-3-5-3 に示す。

³² 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

³³ 調査会社ガ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

³⁴ “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（塩津弥佳，吉澤晋，池田耕一，野崎淳夫）

³⁵ http://www.soumu.go.jp/main_content/000159473.pdf

³⁶ “Outdoor to Indoor Penetration Loss at 28 GHz for Fixed Wireless Access”，arXiv:1711.00168 (2017)（Bas, C. U., et al.）<https://arxiv.org/pdf/1711.00168.pdf>

³⁷ 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

表 4-3-5-3 総合干渉電力の算出結果

送信出力 (帯域外)	76.5 GHz 帯		115 GHz 帯	
	総合干渉電力 [dBm/MHz]	所要マージン [dB]	総合干渉電力 [dBm/MHz]	所要マージン [dB]
-30 dBm/MHz	-182.3	-14.2	-186.4	-11.6
-40 dBm/MHz	-192.3	-4.2	-196.4	-1.6
-50 dBm/MHz	-202.3	5.8	-206.4	8.4
-60 dBm/MHz	-212.3	15.8	-216.4	18.4
-70 dBm/MHz	-222.3	25.8	-226.4	28.4

<検討結果>

ミリ波センサーシステムの送信出力（帯域外）が 不要輻射の許容値となる-30 dBm/MHz の場合、電波天文の受信設備の半径 30.5km 内におけるミリ波センサーシステムによる総合干渉電力は、76.5GHz 帯の電波天文の受信設備において-182.3dBm/MHz、115GHz において-186.4dBm/MHz となり、所要マージンがマイナスとなる結果となった。

シングルエントリーでの検討と同様に、参考として、ミリ波センサーシステムの送信出力（帯域外）を低減した場合の総合干渉電力を計算したところ、送信出力（帯域外）-50dBm/MHz のときに、76.5GHz 帯の電波天文の受信設備において-202.3dBm/MHz、115GHz において-206.4dBm/MHz となり、マージンを確保できる結果となった。

本検討は、一定の仮定のもと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が分かった。よって、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、製造事業者や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。

第5章 電波防護指針

5-1 電波防護指針

我が国では、人体に好ましくない影響を及ぼさない電波の強さの指針値等が「電波防護指針」（電気通信技術審議会答申 諮問第38号「電波利用における人体の防護指針」（平成2年6月答申。平成9年、平成23年、平成27年、平成30年にそれぞれ一部改定。）として定められている。そのため、電波利用システムは、その運用形態に応じて、電波防護指針に適合するようシステムを設計する必要がある。

5-2 60GHz帯無線設備における電波防護指針の適合について

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（表5-2-1）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範囲において適用除外となる電力（表5-2-2）となるため、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、局所吸収指針における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。

また、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。

なお、ノートパソコン、タブレット端末等への組み込みを前提とした無線機モジュールについては、技術基準適合証明等の審査の際は、筐体に組み込んだ状態で入射電力密度等の測定が必要となる。

表 5-2-1 局所吸収指針（一般環境）における要件（60GHz 帯無線設備に関する指針値）

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

表 5-2-2 6 GHz 以上の局所吸収指針（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]

第6章 60GHz帯の周波数の電波を使用する無線設備の技術的条件

第4章までの検討結果を踏まえ、本章では60GHz帯の周波数の電波を使用する無線設備の高度化に向けた技術的条件を以下のとおり取りまとめた。

6-1 60GHz帯小電力広帯域ミリ波レーダー（キャリアセンス無し）の技術的条件

6-1-1 一般条件

(1) 周波数帯

使用する周波数帯は、57GHzを超え64GHz以下であること。

(2) 変調方式

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であること。

(3) システム設計上の条件

ア 無線設備の筐体

高周波部及び変調部は、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。

イ 送信時間制御

特定の時間内における電波発射可能な時間率は10%以内であること。なお、特定の時間内は33ミリ秒以内とする。

(4) 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。

(5) 電波の停止機能

電波の発射を停止する機能を有すること。

6-1-2 無線設備の技術的条件

6-1-2-1 送信装置

(1) 空中線電力

尖頭電力は、10mW以下であること。

(2) 空中線電力の許容偏差

上限50%、下限70%であること。

(3) 空中線利得

規定しない。

(4) 等価等方輻射電力

13dBm以下であること。

(5) 周波数の許容偏差

指定周波数帯によることができるものとする。

(6) 占有周波数帯幅の許容値

7GHz であること。

(7) 不要発射の強度の許容値（参照帯域幅）

下表のとおりとする。

周波数	尖頭電力	備考
55.62GHz 以下	-30dBm/MHz	スプリアス領域
55.62GHz を超え 57GHz 以下	-26dBm/MHz	帯域外領域
64GHz を超え 67.5GHz 以下	-26dBm/MHz	帯域外領域
67.5GHz を超えるもの	-30dBm/MHz	スプリアス領域

6-1-2-2 受信装置

(1) 副次的に発する電波等の限度

副次的に発する電波等の限度は、1GHz 未満にあつては任意の 100kHz の帯域幅における平均電力が 4 nW 以下、1GHz 以上にあつては任意の 1MHz の帯域幅における平均電力が 20nW 以下であること。

6-1-3 測定法

国内で適用されている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。

単一の送受信装置（複数の送受信空中線及び送信増幅部を有する装置を含む。）の場合においては、以下のとおりとすることが適当である。

6-1-3-1 送信装置

周波数の偏差

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の空中線測定端子にて、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（パースト波にあつてはパースト内の平均値）を測定し、空中線測定端子における測定値（複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子における測定値）のうち周波数の偏差が最大であるものを周波数の偏差とすること。また、技術基準が指定周波数帯幅で規定される場合は、占有周波数帯幅の測定においてスペクトル分布の上限及び下限周波数が指定周波数帯内にあることをもって確認する。

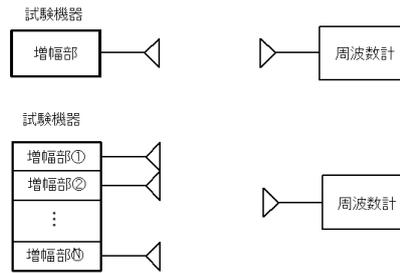
(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

周波数計に測定用空中線を接続し、(1)と同様にして測定することが適当である。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。



(空中線測定端子無しの場合の模式図)

占有周波数帯幅

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の空中線測定端子（複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子）にて、FM-CW 方式等のレーダーでは通常の変調で連続して送信している状態又は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。以下同じ。）により変調をかけた状態において得られるスペクトル分布の全電力について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電力の和が、全電力の 0.5% となる周波数幅を測定すること。

なお、スペクトル分布の電力最大点（キャリアリーク等を除く）から測定系の雑音レベルまで余裕がなく電力積算に影響を与える場合は、分解能帯域幅を 1MHz とした状態でキャリアリーク等を除く電力最大点から 23dB 減衰する点の上限周波数と下限周波数の差を用いることができる。また、23dB 低下した点が複数ある場合は、最も高い周波数と最も低い周波数の幅とする。

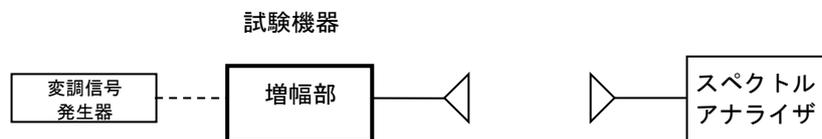
(2) 空中線測定端子無しの場合

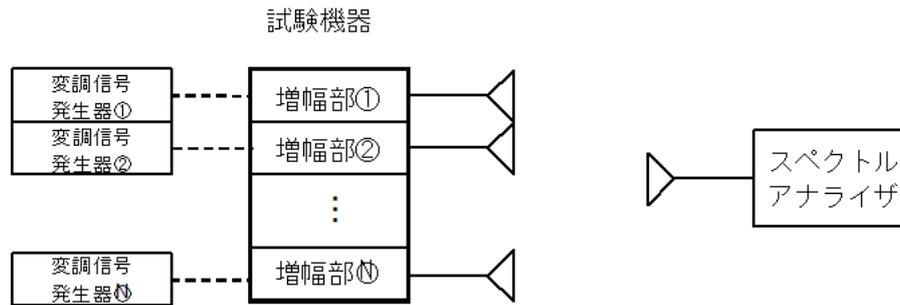
ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

スペクトルアナライザに測定用空中線を接続し、(1)と同様にして測定することが適当である。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。





空中線電力

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の空中線測定端子（複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子）にて、FM-CW方式等のレーダーでは通常の変調で連続して送信している状態又は標準符号化試験信号により変調をかけた状態における平均電力（尖頭電力で規定される場合は尖頭電力）を、スペクトルアナライザ、高周波電力計等を用いて測定する。なお、複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子で測定した測定値の総和を空中線電力とすること。

また、連続送信波により測定することが望ましいが、バースト送信波にて測定する場合は、送信時間率が最大となるバースト繰り返し周期よりも十分長い期間における平均電力を測定し、その測定値に最大の送信時間率の逆数を乗じて平均電力とすることが適当である。

(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

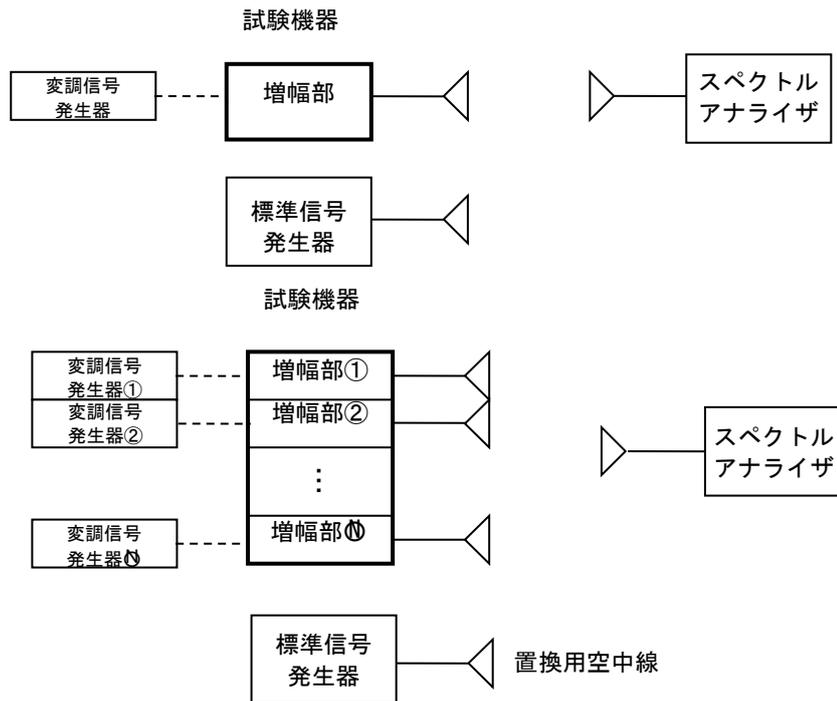
測定距離 3m 以上の電波暗室又は地面反射波を抑圧したテストサイトにおいて、スペクトルアナライザ等に測定用空中線を接続し、その他の条件は(1)と同様にして等価等方輻射電力を測定すること。この場合において、測定用空中線は指向性のものを用いること。また、試験機器の空中線開口径に留意し、遠方界条件を満たす試験機器と測定用空中線との離隔距離（試験機器の空中線開口径が小さく遠方界条件を満たす場合は 3m 以下の離隔距離とすることができる。）を確保すること。

なお、給電点での空中線電力は、等価等方輻射電力の測定値に、測定する周波数帯における送信空中線利得（工事設計書等に記載された値）を除いて換算を行うものとする。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。

ただし、試験機器の空中線の種類及び利得が異なる場合においては、空中線配置の中心を放射中心と仮定して測定し、偏波面が同一でない場合は、直交する偏波面についてそれぞれ測定した値の加算値を等価等方輻射電力の測定値とすること。



帯域外領域における不要発射の強度

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。

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の空中線測定端子（複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子）にて、FM-CW方式等のレーダーでは通常の変調で連続して送信している状態又は標準符号化試験信号により変調をかけた状態における平均電力（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。

なお、複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子で測定した測定値の総和を不要発射の強度とすること。

この場合において、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、1MHz に設定することが適当である。

(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

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において、スペクトルアナライザ等に測定用空中線を接続し、その他の条件は(1)と同様にして等価等方輻射電力を測定すること。この場合において、測定用空中線は指向性のものを用いること。また、試験機器の空中線開口径に留意し、遠方界条件を満たす試験機器と測定用空中線との離隔距離（試験機器の空中線開口径が小さく遠方界条件を満たす場合は 3m 以下の離隔距離とすることができる。）を確保すること。

なお、給電点での不要発射強度の電力は、等価等方輻射電力の測定値に測定する周波数帯における送信空中線利得（工事設計書等に記載された値）を除いて換算を行う

ものとする。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。

ただし、試験機器空中線の種類及び利得が異なる場合においては、空中線配置の中心を放射中心と仮定して測定し、偏波面が同一でない場合は、直交する偏波面についてそれぞれ測定した値の加算値を測定値とすること。

6-1-3-2 スプリアス領域における不要発射の強度

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 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、30MHz から 2 次高調波までとする。ただし、導波管を用いるものは測定周波数の下限をカットオフ周波数の 0.7 倍からとする他、導波管フィルタ及びデュープレクサ等による周波数特性により、不要発射が技術基準を満足することが明らかな場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。また、下限周波数においてカットオフ周波数の 0.7 倍としているが、導波管が十分に長く技術基準を十分満足するカットオフ減衰量が得られることが証明できる場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。

なお、67.5GHz を超える周波数範囲において測定系のダイナミックレンジ不足等により測定が困難である場合は、製造者の設計資料等を用いて技術基準適合に関する審査を行い、不要発射が技術基準を満足することが明らかな場合その周波数範囲の測定を省略することができる。

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の空中線測定端子（複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子）にて、FM-CW 方式等のレーダーでは通常の変調で連続して送信している状態又は標準符号化試験信号により変調をかけた状態における平均電力（バースト波にあつ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。

なお、複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子で測定した測定値の総和を不要発射の強度とすること。この場合において、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、1MHz に設定することが適当である。

(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

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において、スペクトルアナライザ等に測定用空中線を接続し、その他の条件は(1)と同様にして等価等方輻射電力を測定すること。この場合において、測定用空中線は指向性のものを用いること。また、試験機器の空中線開口径に留意し、遠方界条件を満たす試験機器と測定用空中線との離隔距離（試験機器の空中線開口径が小さく遠方界条件を満たす場合は 3m 以

下の離隔距離とすることができる。)を確保すること。

なお、給電点での不要発射強度の電力は、等価等方輻射電力の測定値に測定する周波数帯における送信空中線利得(試験申込者申告値)を除いて換算を行うものとする。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。

ただし、試験機器空中線の種類及び利得が異なる場合においては、空中線配置の中心を放射中心と仮定して測定し、偏波面が同一でない場合は、直交する偏波面についてそれぞれ測定した値の加算値を測定値とすること。

6-1-3-3 受信装置

副次的に発する電波等の限度

試験機器を連続受信等の状態に設定し、空中線測定端子(複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子)にて、スペクトルアナライザを用いて測定する。なお、複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子で測定した測定値の総和を副次的に発する電波等の強度とすること。この場合において、副次発射の強度の測定を行う周波数範囲については、30MHzから2次高調波までとする。ただし、導波管を用いるものは測定周波数の下限をカットオフ周波数の0.7倍からとする他、導波管フィルタ及びデュープレクサ等による周波数特性により、副次発射が技術基準を満足することが明らかな場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。また、下限周波数においてカットオフ周波数の0.7倍としているが、導波管が十分に長く技術基準を十分満足するカットオフ減衰量が得られることが証明できる場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。

なお、測定系のダイナミックレンジ不足等により測定が困難である場合は、製造者の設計資料等を用いて技術基準適合に関する審査を行い、副次発射が技術基準を満足することが明らかな場合その周波数範囲の測定を省略することができる。

試験機器の空中線測定端子無しの場合は、不要発射の強度の測定法の空中線測定端子無しの場合に準ずることが適当である。

6-1-3-4 送信装置又は受信装置以外の装置

送信時間制御機能

空中線測定端子付きの場合は、送信時間率が最大となるバースト長及びバースト繰り返し周期の状態に試験機器を設定し、オシロスコープ又はスペクトルアナライザのタイムドメインモード等を用いて、特定の時間内(33ミリ秒)における試験機器の送信時間及び送信時間率の測定を行うことが適当である。

試験機器の空中線測定端子無しの場合は、空中線測定端子付きの場合に準じて測定を行うことが適当である。

6-2 60GHz 帯小電力広帯域ミリ波レーダー（キャリアセンス有り）の技術的条件

6-2-1 一般条件

(1) 周波数帯

使用する周波数帯は、57GHz を超え 66GHz 以下であること。

(2) 変調方式

規定しない。

(3) システム設計上の条件

ア 無線設備の筐体

高周波部及び変調部は、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。

イ キャリアセンス

送信装置はキャリアセンス機能を備えつること。キャリアセンス方法は、混信を防止するため、電波発射の可否を、他の無線局から発射される電波を検出し、又は受信信号を演算し信号レベルを検出することにより判定を行うものとする。

(4) 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。

6-2-2 無線設備の技術的条件

(1) 送信装置

ア 空中線電力

250mW 以下とする。

イ 空中線電力の許容偏差

上限 50%、下限 70%とする。

ウ 空中線利得

10dBi 以上とし、等価等方輻射電力が 40dBm を超えないものとする。

エ 周波数の許容偏差

±20ppm とする。また、指定周波数帯によることができるものとする。ただし、空中線電力が 10mW 以下のものについては、±500 ppm とすることができる。また、指定周波数帯によることができるものとする。

オ 占有周波数帯幅の許容値

9GHz であること。ただし、9GHz から周波数の許容偏差分の帯域幅を減じた値とする。

カ 不要発射の強度の許容値(参照帯域幅)

下表のとおりとする。

周波数	尖頭電力	備考
55.62GHz 以下	-30dBm/MHz	スプリアス領域
55.62GHz を超え 57GHz 以下	-26dBm/MHz	帯域外領域
66GHz を超え 67.5GHz 以下	-26dBm/MHz	帯域外領域
67.5GHz を超えるもの	-30dBm/MHz	スプリアス領域

(2) 受信装置

副次的に発する電波等の限度については、1GHz 未満にあつては任意の 100kHz の帯域幅における平均電力が 4 nW 以下、1GHz 以上にあつては任意の 1MHz の帯域幅における平均電力が 20nW 以下とする。

6-2-3 電波防護指針

電波防護指針に適合すること。

6-2-4 測定法

国内で適用されている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。

単一の送受信装置 (複数の送受信空中線及び送信増幅部を有する装置を含む。) の場合においては、以下のとおりとすることが適当である。

6-2-4-1 送信装置

周波数の偏差

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の空中線測定端子にて、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 (バースト波にあつてはバースト内の平均値) を測定し、空中線測定端子における測定値 (複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子における測定値) のうち周波数の偏差が最大であるものを周波数の偏差とすること。また、技術基準が指定周波数帯幅で規定される場合は、占有周波数帯幅の測定においてスペクトル分布の上限及び下限周波数が指定周波数帯内にあることをもって確認する。

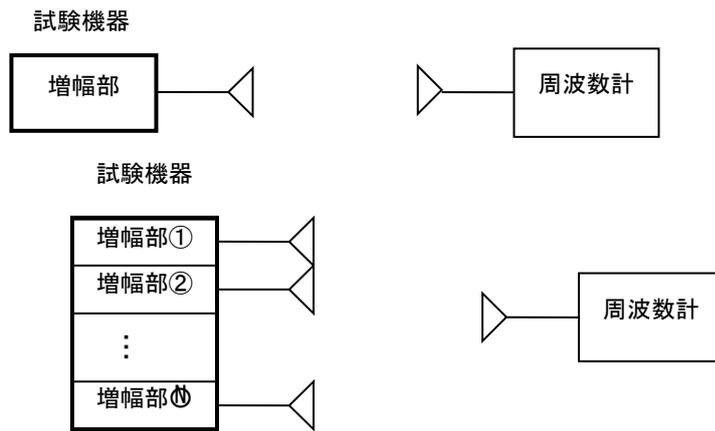
(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

周波数計に測定用空中線を接続し、(1)と同様にして測定することが適当である。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。



占有周波数帯幅

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の空中線測定端子（複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子）にて、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。以下同じ。）により変調をかけた状態において得られるスペクトル分布の全電力について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電力の和が、全電力の 0.5%となる周波数幅を測定すること。標準符号化試験信号による変調が困難な場合は制御符号等を除くデータ領域のみ標準符号化試験信号とすることができる。

なお、スペクトル分布の電力最大点（キャリアリーク等を除く）から測定系の雑音レベルまで余裕がなく電力積算に影響を与える場合は、分解能帯域幅を 1MHz とした状態でキャリアリーク等を除く電力最大点から 23dB 減衰する点の上限周波数と下限周波数の差を用いることができる。また、23dB 低下した点が複数ある場合は、最も高い周波数と最も低い周波数の幅とする。

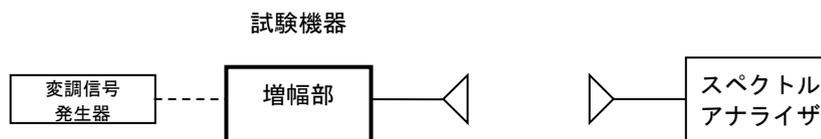
(2) 空中線測定端子無しの場合

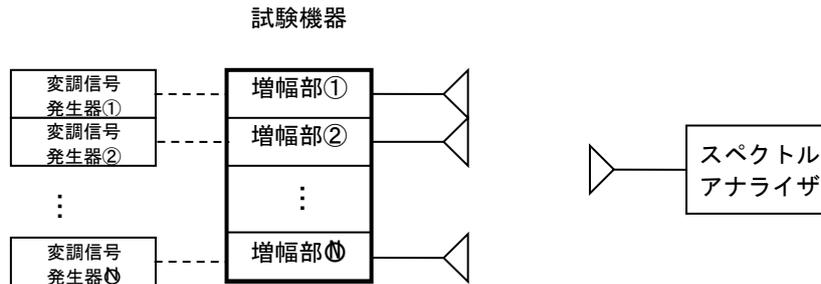
ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

スペクトルアナライザに測定用空中線を接続し、(1)と同様にして測定することが適当である。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。





空中線電力

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の空中線測定端子（複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子）にて、標準符号化試験信号を入力信号端子に加えたときの平均電力（尖頭電力で規定される場合は尖頭電力）を、スペクトルアナライザ、高周波電力計等を用いて測定する。なお、複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子で測定した測定値の総和を空中線電力とすること。標準符号化試験信号による変調が困難な場合は制御符号等を除くデータ領域のみ標準符号化試験信号とすることができる。また、連続送信波により測定することが望ましいが、パルス送信波にて測定する場合は、送信時間率が最大となるパルス繰り返し周期よりも十分長い期間における平均電力を測定し、その測定値に最大の送信時間率の逆数を乗じて平均電力とすることが適当である。

(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

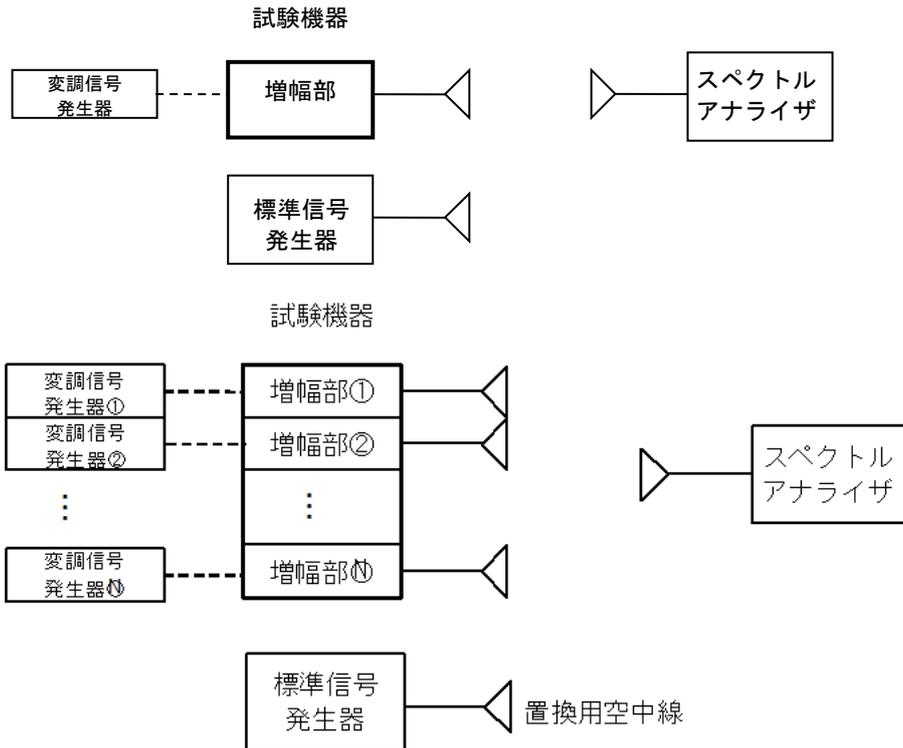
測定距離 3m 以上の電波暗室又は地面反射波を抑圧したテストサイトにおいて、スペクトルアナライザ等に測定用空中線を接続し、その他の条件は(1)と同様にして等価等方輻射電力を測定すること。この場合において、測定用空中線は指向性のものを用いること。また、試験機器の空中線開口径に留意し、遠方界条件を満たす 試験機器と測定用空中線との離隔距離（試験機器の空中線開口径が小さく遠方界条件を満たす場合は 3m 以下の離隔距離とすることができる。ただし、空中線測定端子を設けることが困難な 60GHz 帯近接システム等の近傍界領域で通信を行う無線設備は、遠方界条件を満たさない場合でも離隔距離を 3m 以下として測定を行うことができる。）を確保すること。

なお、給電点での空中線電力は、等価等方輻射電力の測定値に、測定する周波数帯における送信空中線利得（工事設計書等に記載された値）を除いて換算を行うものとする。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。

ただし、試験機器の空中線の種類及び利得が異なる場合においては、空中線配置の中心を放射中心と仮定して測定し、偏波面が同一でない場合は、直交する偏波面についてそれぞれ測定した値の加算値を等価等方輻射電力の測定値とすること。



帯域外領域における不要発射の強度

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。

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の空中線測定端子（複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子）にて、標準符号化試験信号を入力信号として加えたときの不要発射の平均電力（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。なお、複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子で測定した測定値の総和を不要発射の強度とすること。標準符号化試験信号による変調が困難な場合は制御符号等を除くデータ領域のみ標準符号化試験信号とすることができる。

この場合において、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、1MHz に設定することが適当である。

(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

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において、スペクトルアナライザ等に測定用空中線を接続し、その他の条件は(1)と同様にして等価等方輻射電力を測定すること。この場合において、測定用空中線は指向性のものを用いること。また、試験機器の空中線開口径に留意し、遠方界条件を満たす試験機器と測定用空中線との離隔距離（試験機器の空中線開口径が小さく遠方界条件を満たす場合は 3m 以下の離隔距離とすることができる。ただし、空中線測定端子を設けることが困難な 60GHz 帯近接システム等の近傍界領域で通信を行う無線設備は、遠方界条

件を満たさない場合でも離隔距離を 3m 以下として測定を行うことができる。)を確保すること。

なお、給電点での不要発射強度の電力は、等価等方輻射電力の測定値に測定する周波数帯における送信空中線利得（工事設計書等に記載された値）を除いて換算を行うものとする。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。

ただし、試験機器空中線の種類及び利得が異なる場合においては、空中線配置の中心を放射中心と仮定して測定し、偏波面が同一でない場合は、直交する偏波面についてそれぞれ測定した値の加算値を測定値とすること。

スプリアス領域における不要発射の強度

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 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、30MHz から 2 次高調波までとする。ただし、導波管を用いるものは測定周波数の下限をカットオフ周波数の 0.7 倍からとする他、導波管フィルタ及びデュープレクサ等による周波数特性により、不要発射が技術基準を満足することが明らかな場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。また、下限周波数においてカットオフ周波数の 0.7 倍としているが、導波管が十分に長く技術基準を十分満足するカットオフ減衰量が得られることが証明できる場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。

なお、67.5GHz を超える周波数範囲において測定系のダイナミックレンジ不足等により測定が困難である場合は、製造者の設計資料等を用いて技術基準適合に関する審査を行い、不要発射が技術基準を満足することが明らかな場合その周波数範囲の測定を省略することができる。

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の空中線測定端子（複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子）にて、標準符号化試験信号を入力信号として加えたときの不要発射の平均電力（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。なお、複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子で測定した測定値の総和を不要発射の強度とすること。標準符号化試験信号による変調が困難な場合は制御符号等を除くデータ領域のみ標準符号化試験信号とすることができる。

この場合において、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、1MHz に設定することが適当である。

(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

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において、スペクトルアナライザ等に測定用空中線を接続し、その他の条件は(1)と同様にして等価等方輻射電力を測定すること。この場合において、測定用空中線は指向性のものを用いること。また、試験機器の空中線開口径に留意し、遠方界条件を満たす試験機器と測定用空中線との離隔距離（試験機器の空中線開口径が小さく遠方界条件を満たす場合は 3m 以下の離隔距離とすることができる。ただし、空中線測定端子を設けることが困難な 60GHz 帯近接システム等の近傍界領域で通信を行う無線設備は、遠方界条件を満たさない場合でも離隔距離を 3m 以下として測定を行うことができる。）を確保すること。

なお、給電点での不要発射強度の電力は、等価等方輻射電力の測定値に測定する周波数帯における送信空中線利得（試験申込者申告値）を除いて換算を行うものとする。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。ただし、試験機器空中線の種類及び利得が異なる場合においては、空中線配置の中心を放射中心と仮定して測定し、偏波面が同一でない場合は、直交する偏波面についてそれぞれ測定した値の加算値を測定値とすること。

6-2-4-2 受信装置

副次的に発する電波等の限度

試験機器を連続受信等の状態に設定し、空中線測定端子（複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子）にて、スペクトルアナライザを用いて測定する。なお、複数の空中線測定端子を有する場合はそれぞれの空中線測定端子で測定した測定値の総和を副次的に発する電波等の強度とすること。この場合において、副次発射の強度の測定を行う周波数範囲については、30MHz から 2 次高調波までとする。ただし、導波管を用いるものは測定周波数の下限をカットオフ周波数の 0.7 倍からとする他、導波管フィルタ及びデュープレクサ等による周波数特性により、副次発射が技術基準を満足することが明らかな場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。また、下限周波数においてカットオフ周波数の 0.7 倍としているが、導波管が十分に長く技術基準を十分満足するカットオフ減衰量が得られることが証明できる場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。

なお、測定系のダイナミックレンジ不足等により測定が困難である場合は、製造者の設計資料等を用いて技術基準適合に関する審査を行い、副次発射が技術基準を満足することが明らかな場合その周波数範囲の測定を省略することができる。

試験機器の空中線測定端子無しの場合は、不要発射の強度の測定法の空中線測定端子無しの場合に準ずることが適当である。

6-2-4-3 送信装置又は受信装置以外の装置

キャリアセンス機能

空中線測定端子付きの場合は、キャリアセンス機能が動作する状態に試験機器を設定し、標準信号発生器から規定レベルの無変調信号を試験機器の空中線測定端子から加えた状態に

において、試験機器が送信動作しないことを確認することが適当である。

試験機器の空中線測定端子無しの場合は、空中線測定端子付きの場合に準じて試験機器が送信動作しないことを確認することが適当である。

6-3 60GHz 帯小電力データ通信システムの技術的条件

60GHz 帯小電力データ通信システムについては、筐体条件のみ変更することとする。

6-3-1 一般条件

(1) システム設計上の条件

ア 無線設備の筐体

高周波部及び変調部は、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。

第7章 今後の検討課題等

60GHz 帯小電力広帯域ミリ波レーダー（キャリアセンス無し）の技術的条件の検討においては、周波数変調で連続波方式（間欠的連続波方式を除く。）により送信するシステムの導入を前提として、他システムとの周波数共用検討を行った。

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。また、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、小電力レーダーシステム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は、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。

また、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。

別添 1

情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 構成員一覧

(令和元年5月22日現在 敬称略)

氏名	主要現職
主査委員 安藤 真	独立行政法人国立高等専門学校機構 理事
主査代理 専門委員 浜口 清	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総合研究センター 総合研究センター長
委員 森川 博之	東京大学大学院 工学系研究科 教授
専門委員 飯塚 留美	一般財団法人マルチメディア振興センター 電波利用調査部 研究主幹
〃 市川 武男	日本電信電話株式会社 技術企画部門 電波室長
〃 伊藤 数子	特定非営利活動法人 STAND 代表理事
〃 小花 貞夫	国立大学法人 電気通信大学 特任教授 産学官連携センター長
〃 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
〃 鈴木 薫	一般社団法人全国陸上無線協会 専務理事
〃 薄田 由紀	日本電気株式会社 電波・誘導事業部 情報システム部 マネージャ
〃 高田 政幸	日本放送協会 放送技術研究所 伝送システム研究部長
〃 田丸 健三郎	日本マイクロソフト株式会社 技術統括室 業務執行役員 ナショナルテクノロジーオフィサー
〃 日野岳 充	一般社団法人日本アマチュア無線連盟 専務理事
〃 藤野 義之	東洋大学 理工学部 電気電子情報工学科 教授
〃 本多 美雄	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長
〃 松井 房樹	一般社団法人電波産業会 代表理事・専務理事・事務局長
〃 松尾 綾子	株式会社東芝 研究開発本部 本部企画部 兼 研究開発センター 研究企画部 参事
〃 三谷 政昭	東京電機大学 工学部 情報通信工学科 教授
〃 三次 仁	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
〃 吉田 貴容美	日本無線株式会社 研究所 新領域開発企画部 エキスパートリーダー

別添2

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 構成員

(令和元年5月29日現在)

氏名	主要現職
【主任】 梅比良 正弘	国立大学法人茨城大学 教授
【主任代理】 児島 史秀	(国研)情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク総合研究センター ワイヤレスシステム研究室 室長
居相 直彦	NHK 放送技術研究所 伝送システム研究部 上級研究員
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
市川 正樹	日本電気(株)ワイヤレスアクセスソリューション事業部 マネージャー
市川 麻里	(国研)宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長
伊東 克俊	ソニー(株) RDSプラットフォームシステム研究開発本部基盤技術研究 開発第1部門・コネクティビティ技術開発部 統括部長
上田 陽市	(一社)電波産業会 研究開発本部 移動通信グループ 主任研究員
浦川 辰也	インフィニオン テクノロジーズ ジャパン(株) パワーマネジメント& マルチマーケット事業本部 RF&センサー 担当部長代理
大石 雅寿	自然科学研究機構 国立天文台 天文情報センター 周波数資源保 護室 室長・特任教授
大橋 洋二	富士通(株) 先行技術統括部 ワイヤレスイノベーション部 エキスパー ト
小竹 信幸	(一財)テレコムエンジニアリングセンター 技術部 部長
小島 仁	(株)NHKテクノロジーズファシリティ技術本部 送受信センター ソリ ューション技術部(受信・調査) チーフエンジニア
佐々木 邦彦	(株)デンソー 技術開発推進部 国際標準推進室 シニア・テクニカ ル・アドバイザー
佐々木 謙介	(国研)情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁環境研究室 研究員
城田 雅一	クアルコムジャパン(同) 標準化部長
関 正秀	Google(同) ハードウェア, デバイス&サービス, キャリアエンジニアリ ング アジア太平洋地域統括部長

高橋 和晃	パナソニック(株)インダストリアルソリューション社技術本部 無線技術総括担当
谷口 徹	日本無線(株) 新規事業開発本部 部長
富樫 浩行	(株)ディーエスピーリサーチ 認証部 部長
豊田 明久	日本信号(株) 久喜事業所 技術開発本部 久喜統括技術部 インフラ機器事業部 課長
中川 義克	インテル(株) 技術政策推進本部 主幹研究員
平木 充	ルネサスエレクトロニクス(株) インダストリアルソリューション事業本部 共通技術開発第一統括部 主管技師
藤本 浩	(一社)日本自動車工業会 ITS 技術部会 移動体通信分科会 分科会長
松下 智昭	DX アンテナ(株) 技術規格室 担当課長
三瀬 敏生	三菱電機(株) 交通事業部 計画部 技術グループ 担当部長

参 考 资 料

参考資料 1 地球探査衛星業務（受動）との干渉検討

(1) 受信周波数 60GHz における干渉検討

以下の手順で衛星受信局における干渉波の受信電力を算出し、保護基準との比較を行った。

- 1 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 SSMIS(Special Sensor Microwave Imager Sounder)のフットプリントサイズは 25.8km × 17.5km
- 3 上記、1 及び 2 より、フットプリント内に存在するデバイス数を 9,030,000 台と算出。

- 4 1 台のミリ波センサーシステムから衛星側アンテナが受ける電力 P_0 は

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

P_t : ミリ波帯センサーシステムの空中線電力

G_t : ミリ波センサーシステムの空中線利得

G_r : 衛星の空中線利得

L : 伝搬損失

- 5 集合干渉電力 $P_{\text{aggregate}}$ は

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

N : フットプリント内に存在するミリ波センサーシステムの台数

- 6 伝搬損失 L は

$$\begin{aligned} L &= 32.4 + 20\log(f) + 20\log(d) + L_1 \\ &= 32.4 + 20\log(60 \times 10^3) + 20\log(833) + 160 \\ &= 346.38 \text{ dB} \end{aligned}$$

f : freq. [MHz]

d : distance [km]

L_1 : 大気減衰

ただし、大地を平面とみなし、ミリ波センサーシステム～衛星間の距離を一律 833km、酸素吸収損を 160dB とした。

- 7 ミリ波センサーシステムの EIRP は 13dBm であることから、衛星側の空中線利得を考慮しない 1 デバイスからの干渉電力は、4 項より

$$P_0 = 13 - 346.38 = -333.38 \text{ dBm}$$

- 8 5 項及び 7 項より、フットプリント内のミリ波センサーシステムから受信する総電力は、

$$P_{\text{aggregate}} = -333.38 + 10\log(9,030,000) = -263.82 \text{ dBm}$$

- 9 ミリ波センサーシステムの実効帯域幅を 500kHz とすると

$$-263.82 - 10\log(0.5) = -260.81 \text{ dBm/MHz}$$

- 10 衛星の空中線利得が不明のため、NOAA NPOESS の 54dBi を採用した場合の干渉

量は、-206.81 dBm/MHz となる。

- 11 EESS(passive)の 60GHz 帯における保護基準は、-169 dBW/100MHz であり、10 項の干渉量-216.81 dBW/100MHz との所要改善量は-47.81 dB となり、保護基準を満足する。

(2) 受信周波数 57.29GHz による干渉検討

ミリ波センサーシステムの周波数と重複している地球探査衛星業務の受動センサの周波数範囲内で酸素吸収量が最低となる周波数 57.29GHz に対して、以下により、当該衛星に対する保護基準を満足するかを確認した。

- 1 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 SSMIS(Special Sensor Microwave Imager Sounder)のフットプリントサイズは 25.8km×17.5km
- 3 屋外での滞在時間率が 10%以下のデータを元に、フットプリント内に存在するデバイス数を 903,000 台と算出。
- 4 1 台のミリ波センサーシステムから衛星側アンテナが受ける電力 P_0 は

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

P_t : ミリ波センサーシステムの空中線電力

G_t : ミリ波センサーシステムの空中線利得

G_r : 衛星の空中線利得

L : 伝搬損失

- 5 集合干渉電力 $P_{\text{aggregate}}$ は

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

N : フットプリント内に存在するミリ波センサーシステムの台数

- 6 伝搬損失 L は

$$\begin{aligned} L &= 32.4 + 20\log(f) + 20\log(d) + L_1 \\ &= 32.4 + 20\log(57.29 \times 10^3) + 20\log(833) + 100 \\ &= 285.97 \text{ dB} \end{aligned}$$

f : freq. [MHz]

d : distance [km]

L_1 : 大気減衰

ただし、大地を平面とみなし、ミリ波センサーシステム～衛星間の距離を一律

833km、酸素吸収損を 100dB とした。

- 7 ミリ波センサーシステムの EIRP は 13dBm であるが、衛星センサ指向角前方 50 度を考慮し受信空中線利得から-2dB 減算するため、11dBm として計算、衛星側の空中線利得を考慮しない 1 デバイスからの干渉電力は、4 項より

$$P_0 = 11 - 285.97 = -274.97 \text{ dBm}$$

- 8 5 項及び 7 項より、フットプリント内から受信する総電力は

$$P_{\text{aggregate}} = -274.97 + 10\log(903,000) = -215.42 \text{ dBm}$$

9 ミリ波センサーシステムの実効帯域幅を 500kHz とすると;

$$-215.42 - 10\log(0.5) = -212.41 \text{ dBm/MHz}$$

10 衛星の空中線利得をアンテナ径 0.6m から MTVZA-OK の 51dBi とした場合の干渉量は、-161.41 dBm/MHz となる。

11 EESS(passive)の 57.29GHz 帯における保護基準は、-169 dBW/100MHz であり、10 項の干渉量 -171.41 dBW/100MHz との所要改善量は-2.41 dB となり、保護基準を満足する。

参考資料 2 電波天文の受信設備との干渉検討（アグリゲートモデル）

1. 概要

60GHz 帯センサーシステム（57-64GHz）の帯域外領域において、電波天文（76.5GHz/115GHz）への影響を検討する必要がある。76.5GHz の帯域はレーダーの動作周波数に近く、115GHz の帯域は、レーダーの動作範囲の 2 次高調波の範囲にある。

国立天文台野辺山宇宙電波観測所周辺の都市構造および 60GHz 帯センサーシステム搭載端末の稼働予測数を考慮し、60GHz 帯センサーシステムからの干渉電力を机上検討により評価し共用について検討した。

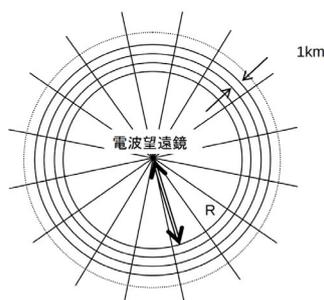
以降、干渉計算の詳細について述べる。

2. 干渉検討に用いた手法（リングモデル）

本干渉検討においては、干渉モデルを ITU-R 各種勧告 [1]、統計データ等をもとに構築し、干渉電力を机上検討により評価する方法を用いた。

以下のとおり、国立天文台野辺山宇宙電波観測所を中心とする同心円のリングからの各干渉電力を計算し積算することで集合干渉電力を求める。

- ・ 下図のとおり、天文台を中心とする 1km 刻みの同心円を離隔距離 R km 分を描き、幅 1km の各リング内に存在するレーダーから天文台望遠鏡への干渉電力を稼働レーダー搭載端末の密度分布を仮定し計算する。
- ・ リング内のレーダー台数密度及び伝搬損失はリングを 16 方位で分割し各弧毎に計算を行い合計することでリング 1 周分の干渉電力を求める。
- ・ 各リングからの干渉電力を積算し、天文台を中心とした方面別（南西/北東）および全方位での合計干渉電力を求められる。



3. 計算条件

3-1. 電波天文受信設備（被干渉側）の諸元

被干渉側の諸元は下表のとおりである。電波天文業務における干渉閾値は勧告 ITU-R RA. 769-2 に基づき、本検討対象帯域に最も近い値を採用した。なお、80GHz 付近を観測予定の天文台は国内では国立天文台野辺山宇宙電波観測所のみである。

周波数帯域	76.5 GHz 帯	115 GHz 帯
場所	位置 : 35° 56' 40" N, 138° 28' 21" E 標高 : 1350 m	
保護基準	-196.5 dBm/MHz	-198 dBm/MHz
アンテナ利得	0 dBi	

3-2. 60GHz 帯ミリ波センサー（与干渉側）の諸元
与干渉側の諸元は下表の通りである。

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 (参考として -40dBm/MHz, -50dBm/MHz, -60dBm/MHz, -70dBm/MHz)

3-3. 伝搬モデル

伝搬モデルおよび干渉緩和要素を含む干渉電力の計算概要は次の通りである。

		屋外		屋内	
パラボラアンテナからの距離		10km 以下	10km~30km	10km 以下	10km~30km
伝搬損失	自由空間損失と 大気吸収モデル [2]	$L(f, d) = 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) + \alpha(f) \times d + 92.45$ [dB] $L(d) = 20 \log_{10}(d) + 0.13d + 140.12$ [dB] (76.5 GHz) $L(d) = 20 \log_{10}(d) + 0.31d + 143.66$ [dB] (115 GHz)			
	大気減衰係数 [3]	0.13 dB/km @76.5 GHz / 0.31 dB/km @115 GHz			
	人体による遮蔽 損 [4]	3dB			
干渉緩和要素	都市構造による 遮蔽損失 [5]	適応なし	10.16dB	適応なし	10.16dB
	屋内利用時による 壁損失 [6]	適応なし		20dB	

3-4. 干渉電力計算条件（アグリゲートモデル）

アグリゲートモデルは下表に示す。

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	離隔距離によるエリ ア内人口（人）	35,060	674,118	24,234	465,420	10,826	208,698
	スマートフォン普及 率 [7]	60%					
	レーダー搭載端末の 割合 [8]	1%					
	屋外にあるデバイスの 割合 [9]	10%					
時間軸にお ける干渉軽 減を加えた 稼働端末数	デバイスの1日の利用 時間の割合 [10]	10%					

4. 必要離隔距離（シングルエントリー）

3-3項の伝搬損失モデルを加味し、送信出力毎に各周波数帯域における離隔距離を算出した。

送信出力（帯域外）	離隔距離[km]	
	76.5 GHz	115 GHz
-30 dBm/MHz	29.8	18.9
-40 dBm/MHz	12.3	8.6
-50 dBm/MHz	4.4	3.3
-60 dBm/MHz	1.4	1.1
-70 dBm/MHz	0.5	0.4

5. 総合干渉電力計算式

3-3項の伝搬モデルおよび3-4項の干渉電力計算条件をもとに、以下の手順によりミリ波センサーシステムからの総合干渉電力を算出した。

- ① 2-1項のリングモデルに基づき、離隔距離内（リング状）の人口密度と面積より、距離に応じた各リング内の人口を算出

$$N_p(d) = S(d) \times \sigma(d)$$

N_p : リング内人口 ,
 S : リング面積 ,
 σ : リングの人口密度
 d : 天文台からの距離

- ② 各リング人口にデバイスの普及率、スマートフォンの普及率、レーダー搭載端末普及率、一日の使用時間率を掛け合わせて、該当エリア内の端末台数を算出

$$N_m(d) = N_p(d) \times F_m \times F_s \times F_r$$

N_m : 端末台数
 F_m : デバイスの普及率
 F_s : スマートフォンの普及率
 F_r : レーダー搭載端末普及率
 F_u : 一日の使用時間率

- ③ 各リング内に存在する稼働端末数を元に電力合計値を算出。

$$\text{【屋外】} P_{out}(d) = R \times P_o \times N_m(d) \times L_b$$

$$\text{【屋内】} P_{in}(d) = (1 - R) \times L_{in} \times P_o \times N_m(d) \times L_b$$

$$P_{inout}(d) = P_{out}(d) + P_{in}(d) = [(1 - R) \times L_{in} + R] \times P_o \times N_m(d) \times L_b$$

P_o : 端末一台あたりの電力
 P_{out} : 屋外端末の総電力
 P_{in} : 屋内端末の総電力

Pinout : 総合干渉電力
 R : 端末が屋外にある確率
 Lin : 壁損
 Lb : Body Loss

④ 次の伝搬モデルより離隔距離に応じた伝搬損失を算出

$$L_t(f, d) = 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) + \alpha(f) \times d + 92.45 \text{ [dB]}$$

より、76.5GHz および 115GHz は以下のように求められる。

$$L_t(d) = 20 \times \log_{10}(d) + 0.13 \times d + 140.12 \text{ dB} \quad (76.5 \text{ GHz})$$

$$L_t(d) = 20 \times \log_{10}(d) + 0.31 \times d + 143.66 \text{ dB} \quad (115 \text{ GHz})$$

Lt : 伝搬損失

⑤ 天文台から 10km 以遠には、多くの建物が存在するので、以下により都市構造による遮蔽損を考慮して合計電力を算出する。

$$P_{all} = \sum_{0 < d \leq 10 \text{ km}} (P_{inout}(d) \times L_t(d)) + \sum_{10 \text{ km} < d \leq 30 \text{ km}} (P_{inout}(d) \times L_t(d) \times L_c)$$

Lc : 都市構造による遮蔽遮蔽損失

6. 結論

以上の検討により求められた国立天文台野辺山宇宙電波観測所に対するミリ波センサーシステムからの総合干渉電力を下表に示す。

	総合干渉電力 [dBm/MHz]					
	76.5 GHz 帯			115 GHz 帯		
送信出力 (帯域外)	全方位	南西	北東	全方位	南西	北東
-30 dBm/MHz	-182.32	-184.65	-186.13	-186.39	-188.81	-190.1
-40 dBm/MHz	-192.32	-194.65	-196.13	-196.39	-198.81	-200.1
-50 dBm/MHz	-202.32	-204.65	-206.13	-206.39	-208.81	-210.1
-60 dBm/MHz	-212.32	-214.65	-216.13	-216.39	-218.81	-220.1
-70 dBm/MHz	-222.32	-224.65	-226.13	-226.39	-228.81	-230.1

※被干渉側保護基準は、76.5 GHz 帯で-196.5dB/MHz、115GHz 帯で-198dB/MHz

7. 参考文献

- [1] ITU-R 勧告
Rec. ITU-R RA. 769-2
- [2] 自由空間損失と大気吸収モデル
L(f, d)は周波数および距離による損失 (dB)、fは周波数 (GHz)、dは距離 (km) および α (f)は周波数に依存する大気減衰係数 (dB/km)。
- [3]大気の減衰
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 (an 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。
- [4] 人体による遮蔽損
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「シャドローイングと Duty Cycle の干渉検討に与える影響について」
- [5] 都市構造による遮蔽損失
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
- [6] 壁損失
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>
- [7] スマートフォン普及率
平成 29 年版 情報通信白書の「スマートフォン個人保有率の推移」普及率約 60%を参照
- [8] レーダー搭載端末普及予測
調査会社ガ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
- [9] 屋外にあるデバイスの割合
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

[10] デバイスの1日の利用時間

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