

情報通信審議会 情報通信技術分科会
陸上無線通信委員会

～60GHz帯無線設備作業班～

報告(案)概要

平成27年3月20日

60GHz帯無線システムの検討体制及び検討状況



陸上無線通信委員会

主査 東京工業大学 安藤 真

60GHz帯無線設備作業班

主任 茨城大学 梅比良 正弘 作業班構成員 26名

○検討状況

- 第一回(平成26年11月21日)・・・60GHz帯無線設備の高度化に係る技術的条件の検討開始報告、検討の進め方の確認。
- 第二回(平成26年12月19日)・・・60GHz帯無線設備の新たな利活用方策の検討及び現在の利用状況の確認。干渉検討の進め方及び昨年度実施の技術試験事務の検討。
- 第三回(平成27年1月23日)・・・被干渉システムとの干渉検討。空中線電力等の検討及び増力した場合の電波防護指針との適合性の検討。
- 第四回(平成27年2月20日)・・・60GHz帯無線設備の技術的条件について検討。
- 第五回(平成27年3月6日)・・・60GHz帯無線設備の技術的条件について検討。
- 第六回(平成27年3月20日)・・・60GHz帯無線設備の高度化に係る技術的条件に関し、電波防護指針との適合について検討。60GHz帯無線設備の測定方法について検討。
報告書取りまとめ

検討経緯について

60GHz帯無線システムの高度化に関する検討経緯



概要

60GHz帯画像伝送及びデータ伝送用無線は、免許を要しない無線局(特定小電力無線局)として、平成12年に制度化。

近年、情報家電機器やモバイル端末等における大容量コンテンツを高速転送可能なシステムとして、IEEE802.11ad/WiGig等の国際標準規格に準拠した製品の導入が国際的に進められているところであり、欧米等の技術基準と調和のとれた国内の技術基準の見直しが求められており、既存無線局への影響に配慮しつつ、必要な技術的条件の改定を行うものである。

※ 既存無線システムに及ぼす影響等を調査するため、平成25年度に技術試験事務を実施済。

主な技術的条件の改定

(1) 空中線電力の緩和

現行の空中線電力は、10mW以下としているが、諸外国と同様に一定のEIRP規定を条件に空中線電力の増力を認めることにより、家庭、オフィスやホールなどにおける通信端末間の通信距離の拡大が可能。

(2) 占有周波数帯幅の許容値の規定緩和

現行の占有周波数帯幅の許容値は、2.5GHz以下としているが、国際標準規格等における広帯域利用にも適合できるよう、諸外国と同様に規定を緩和することにより、より柔軟なシステムの構築が可能となる。

諸外国の技術基準との比較

	日本	米国	欧州	中国
周波数帯	57~66GHz	57~64GHz	57~66GHz	59~64GHz
空中線電力	10mW	屋内 500mW 屋外 規定なし	規定なし (EIRPで規定)	10mW
EIRP	57dBm	屋内 40dBm 屋外 82dBm	40dBm	44dBm
占有周波数帯幅	2.5GHz	規定なし	規定なし	規定なし

利用イメージ



PC端末とスマートフォン間の大容量通信が可能

高出力化により、使用距離が延長

駅や公共スペースのデジタルサイネージ等と連動した高速ダウンロードが可能



60GHz帯無線システムの新たな利活用方策

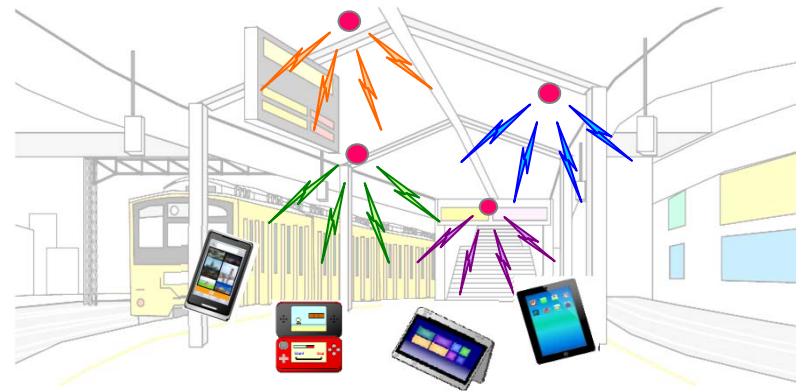


60GHz帯無線システムが今後どのような利活用方策が想定されるか、各メーカー等より提案。近距離・大容量通信の特性を生かし、主に下記のようなシステムへの利活用が期待されている。

大容量コンテンツストリーミング



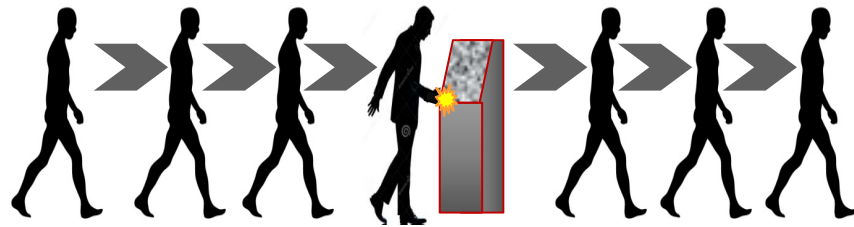
アクセスポイント・ルータ



ワイヤレズドック



データキオスク・タッチ&ゴーシステム

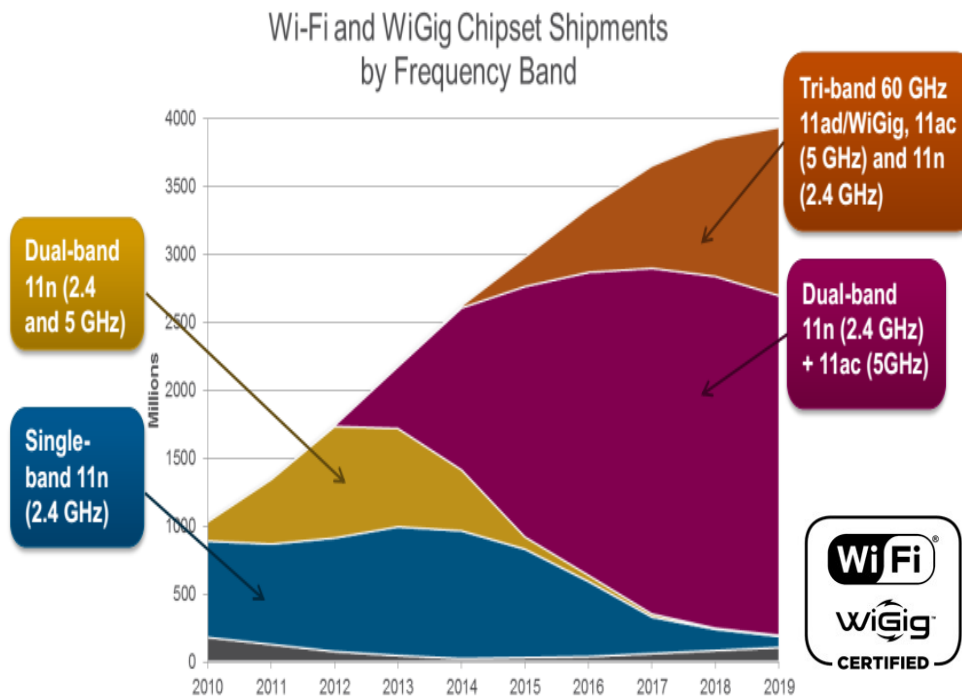




60GHz帯無線システムの普及予測

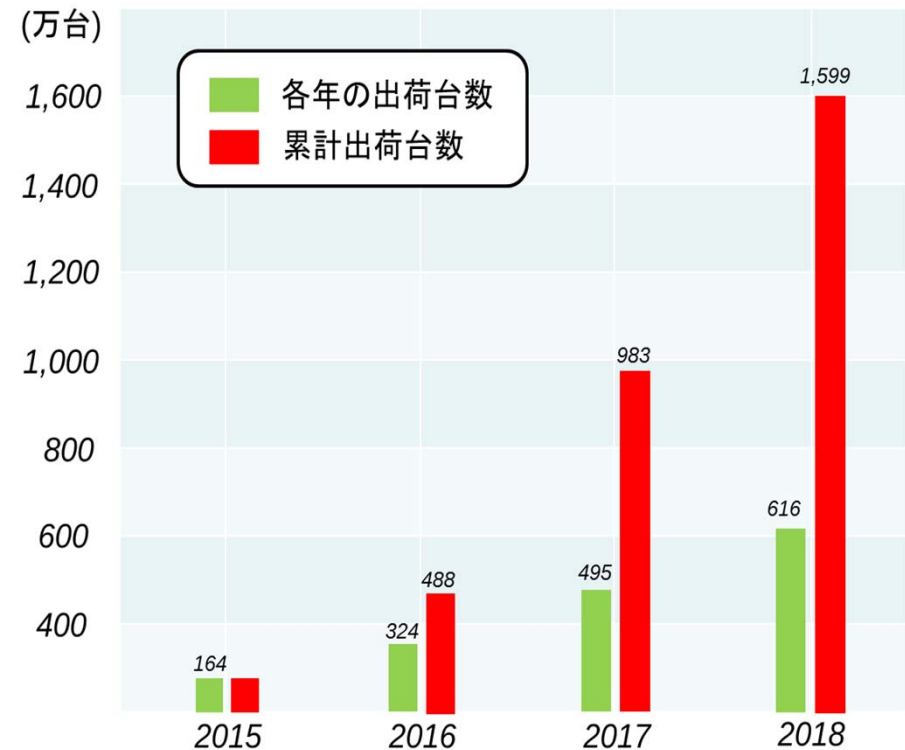
11ad/WiGig対応のチップセットは、今後PCやスマートフォン、タブレット端末等に順次搭載されていくものと予想され、Wi-Fi Allianceの試算では2019年の出荷台数の約3分の1が11ad/WiGigに対応しているものとされている。

Wi-Fi Allianceにおける普及予測



※ABI Research社による2.4GHz、5GHz、60GHz トライバンド対応チップセットの出荷台数

わが国における普及予測



※左図普及予測から、全Wi-Fiチップセットのうち60GHz帯に対応する出荷台数の割合を算出し、わが国のモバイルPC及びタブレットPCの出荷台数予測に乗じたもの。

世界主要各国における60GHz帯法規制一覧



国名	周波数帯(GHz)		最大等価等方輻射電力 (EIRP)	空中線電力及び空中線利得	占有帯域幅
日本	57-66		規定なし	空中線電力: 10dBm(10mW)以下 空中線利得: 47dBi以下	2.5GHz
米国	57-64	屋外	<ul style="list-style-type: none"> ・空中線利得: 51dBi未満の場合 EIRP=82dBm-2*(51-空中線利得) ・空中線利得51dBi以上 EIRP=82dBm 		規定なし
		屋内	40dBm	空中線電力: 27dBm(0.5W)以下 送信帯域幅<100MHzの場合はスペクトル密度に従い電力を制限	規定なし
カナダ	57-64		40dBm	規定なし	規定なし
韓国	57-64		43dBmまたは57dBm(固定: Point-to-Point)	指向性アンテナの場合 空中線電力: 27dBm(0.5W)以下 無指向性アンテナの場合 空中線電力: 20dBm(0.1W)以下	規定なし
欧州	57-66		40dBm チャンネル帯域幅<1GHzの場合は、スペクトル密度に従い電力を制限	規定なし	規定なし
中国	59-64		44dBm	空中線電力: 10dBm(10mW)以下 空中線利得: 34dBi以下	規定なし

空中線電力増力の必要性



- ・11ad/WiGig対応製品は一部製品化もなされ、Wi-Fiアライアンス認証が始まる2016年から本格普及が見込まれる
- ・11ad/WiGigはさまざまな利用シーンを想定した規格化がなされているが、現行の空中線電力10mWでは、所望の伝送速度で十分なカバーエリアが確保できないことから、増力を検討。

Wi-Fiアライアンス (WiGigアライアンス) が想定する11ad/WiGigの利用シーン

現行技術基準で概ねカバーできる
利用シーン

現行技術基準では対応が
困難な利用シーン



Instant wireless sync

- IP based P2P applications
- Wireless I/O
- Media HotSpot



Kiosk Sync & Nano small Cell



Wireless Display

- HD streams over HDMI or DP
- CE & PC & HH usages
- Hulu, IPTV, YouTube



フルHDから4K画質対応、イベント会場等での活用



Wireless Docking

- Combination of Wireless display, sync and I/O



Distributed peripherals



会議室でのデータ共有など



Internet Access

- WiFi, IEEE 802.11ad
- 3G/4G, Offload
- Small Cell Backhaul



100m程度のスモールセル

他の無線システムとの共用条件等

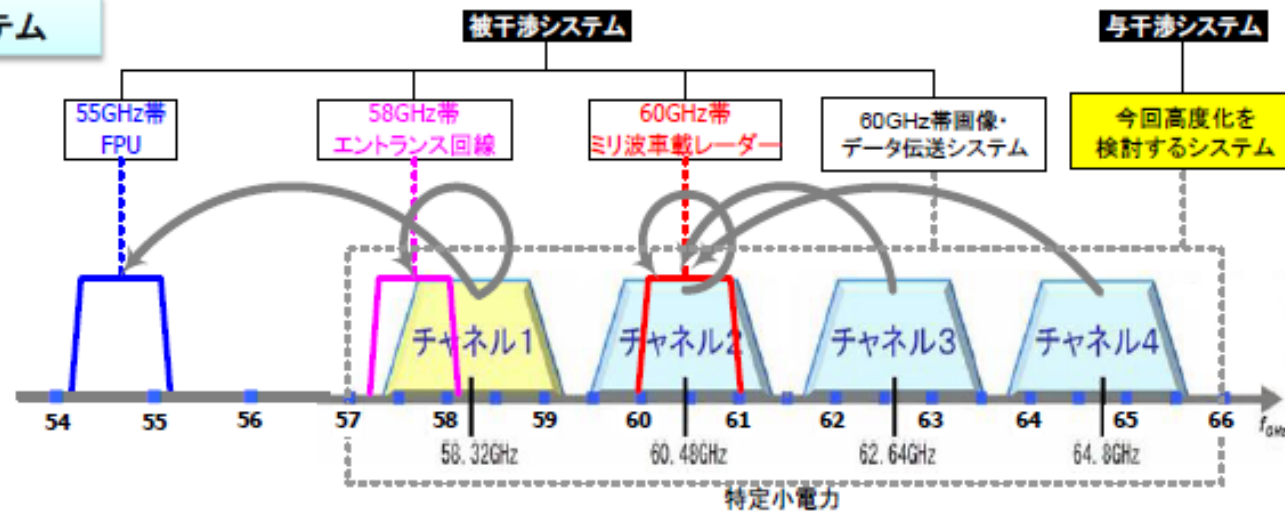
他の無線システムとの干渉検討



与干渉システム

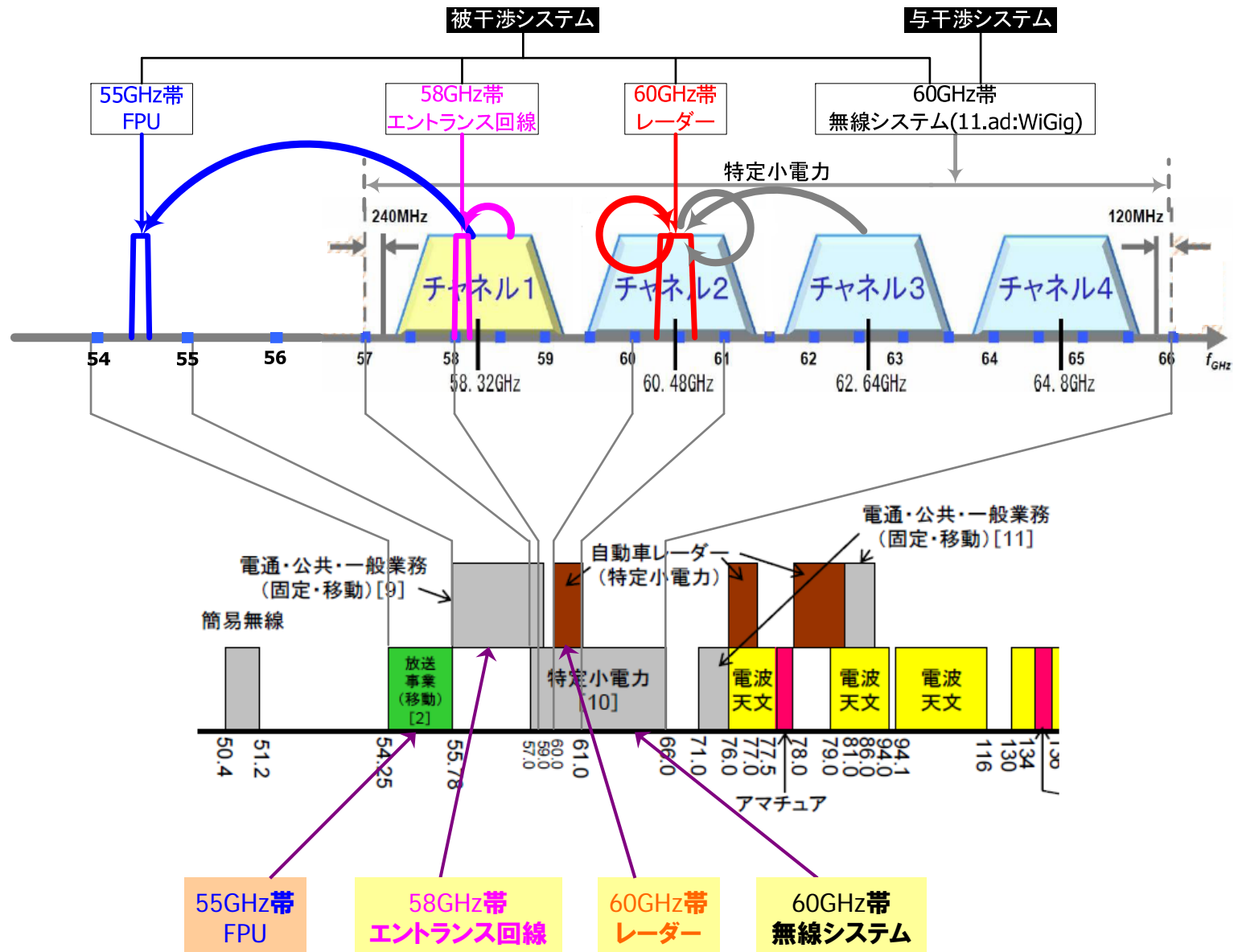
	周波数(GHz)	空中線電力	空中線利得
60GHz帯無線システム	57~66	30dBm, 25dBm, 20dBm, 10dBm(現行)	25dBiを上限として、可変とする。

被干渉システム



	周波数帯(GHz)	与干渉システムとの関係	諸元
FPU	54.25~55.78	隣接周波数帯	ARIB STD-B43
エントランス回線	55.78~59	同一周波数帯	実利用システムから引用
ミリ波車載レーダー	60~61	同一周波数帯	ARIB STD-T48
画像伝送/データ伝送	57~66	同一周波数帯	ARIB STD-T69/ IEEE802.11ad、WirelessHD

与干渉システムと被干渉システム



他の無線システムとの共用条件



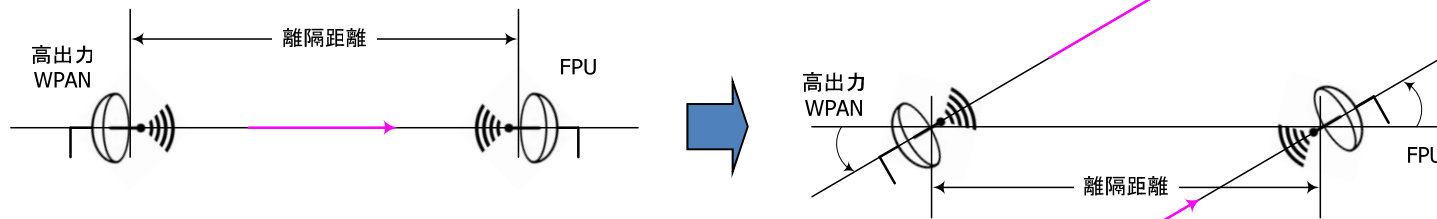
○無線局別干渉検討結果

無線システム	周波数帯	検討方法	共用検討結果
FPU	54.25～55.78GHz	所要INR基準(-20dB)を満たす離隔距離評価	<ul style="list-style-type: none"> ・アンテナが正対する条件では干渉が認めら得るが、指向性の角度差が生じることで干渉は緩和する ・与干渉システムの空中線電力30dBm、アンテナ利得25dBiとした場合、互いのアンテナに10度以上の角度差があれば離隔距離は20.7m(IEEEモデル)、286m(ITU-Rモデル)となり、実用上干渉の影響は低い
エントランス回線	55.78～59GHz	設置条件を想定した伝搬解析による所要改善量の場所率評価	<ul style="list-style-type: none"> ・与干渉システムの空中線電力30dBm、指向性15度であれば、所要改善量は-34dBで干渉は無視できる
		所要CNR基準およびINR基準(-10dB)を満たす離隔距離評価	<ul style="list-style-type: none"> ・与干渉システムの空中線電力25dBm、指向性15度の場合、アンテナ正対時の離隔距離936m(所要CNR評価)、5300m(INR評価)となるが、20度以上の角度差が生じれば離隔距離は0mとなる。
ミリ波車載レーダー	60～61GHz	設置条件を想定した伝搬解析による所要改善量の場所率評価	<ul style="list-style-type: none"> ・与干渉システムが交差点で高さ2mの設置条件では、空中線電力30dBmに対し、97%の場所率で改善不要となり、移動する車載レーダーに対する実用上干渉の影響は低い
画像伝送・データ伝送	57～66GHz	設置条件を想定した伝搬解析による所要改善量の場所率評価	<ul style="list-style-type: none"> ・IEEE802.11adシステム間の場合、与干渉システムの空中線電力30dBmで指向性15度～60度の組み合わせでは、同一チャネルでは44.4%の場所率で改善不要となるが、隣接チャネルを使うと、88%、次隣接チャネルで95.77%となり、システムとしての共存が可能である。 ・被干渉システムがWirelessHDの場合も同様で、同一チャネルでは干渉が認められるが、次隣接チャネルで95%以上の場所率で改善不要となる。

アプローチ

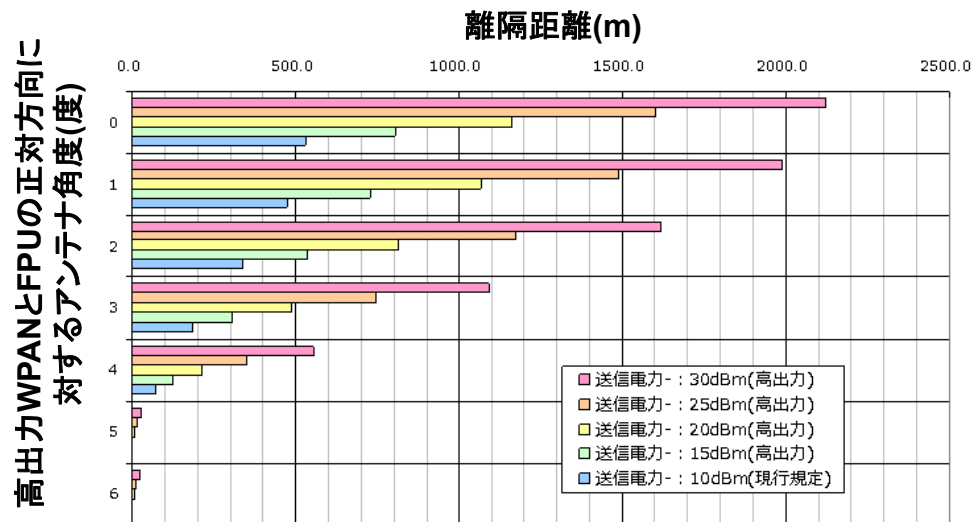
- 60GHz帯無線システムとFPUとの離隔距離を机上計算にて実施し評価
- FPUに要求される許容I/Nを基準に、FPUにおける許容干渉レベルを算出し、その許容すべき干渉レベルとなる距離を離隔距離として求める

高出力WPANとFPUの互いのアンテナ角度を可変しながら離隔距離を求める



評価結果

- 高出力WPANの空中線電力30dBm、アンテナ利得25dBiとした場合、互いのアンテナに5度以上の角度差があれば離隔距離は26.5m以下となり、実用上干渉の影響は低い結果

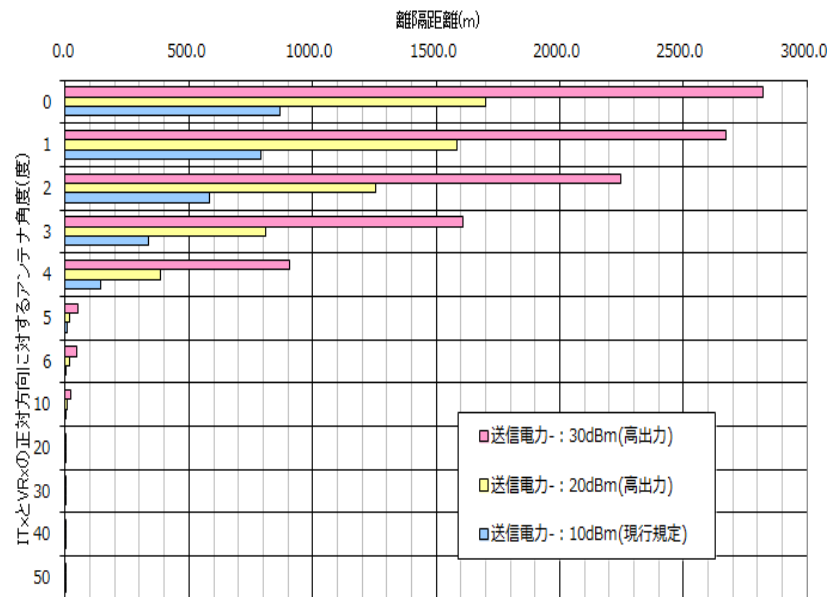




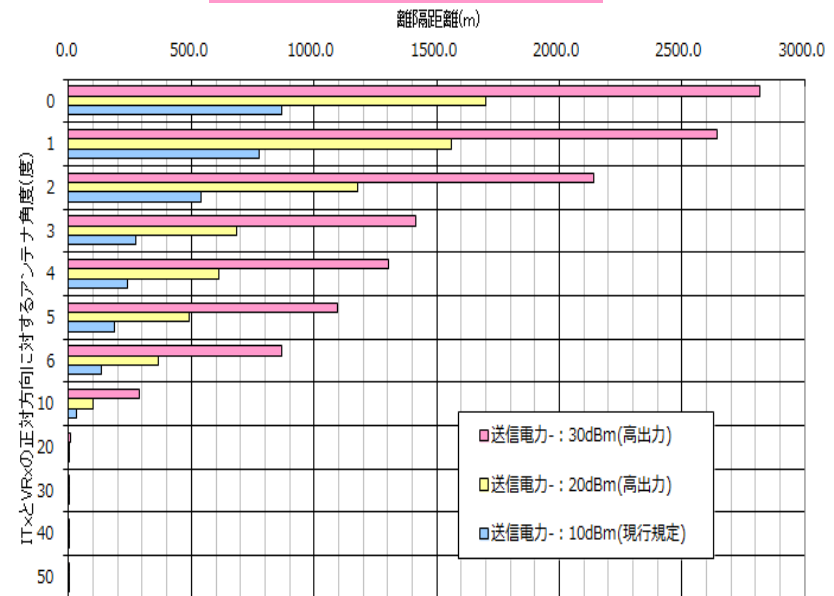
アンテナモデルによる差異の検証

- IEEEモデルとITU-Rモデルによる離隔距離の差を検証
- アンテナ指向性の差により、角度に対する離隔距離に差異が生じるが、指向性アンテナ同士が正対に近い条件にならない限り、離隔距離は大きくなる

離隔距離 (IEEEモデル)

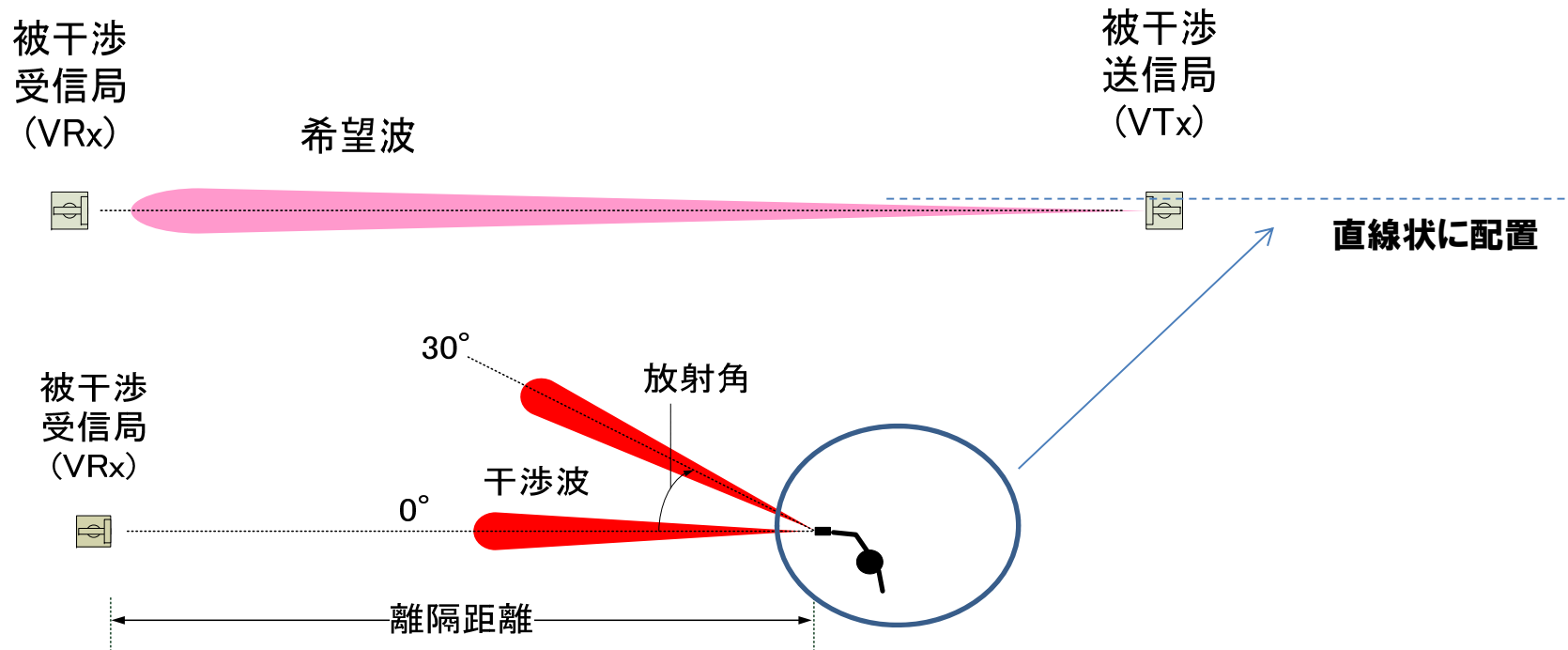


離隔距離 (ITURモデル)



アプローチ(2)

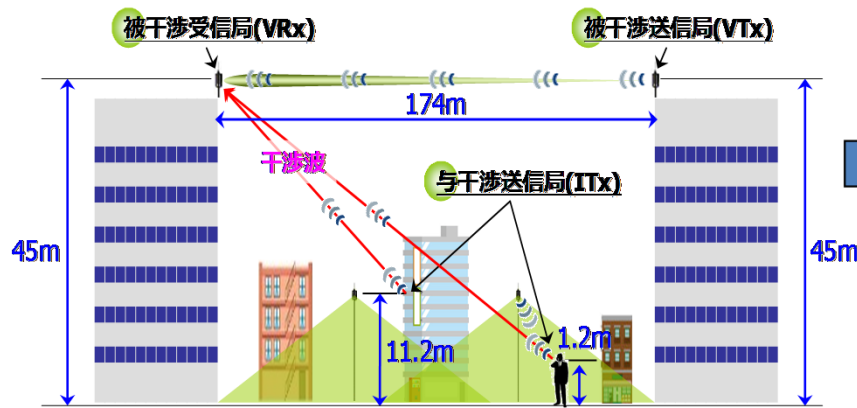
- 被干渉局間の運用状態の距離(受信CNR)を設定し、与干渉送信局(ITx)を直線上に配置して、ITxのアンテナ放射角を0度(VRxと正対する角度)から30度まで変えた場合の自由空間におけるITxとVRx間の離隔距離を机上計算により算出(所要CNR基準)
- 被干渉局の受信系総合雑音レベルに対する干渉信号の絶対量に対する離隔距離を机上計算により算出(所要INR基準)



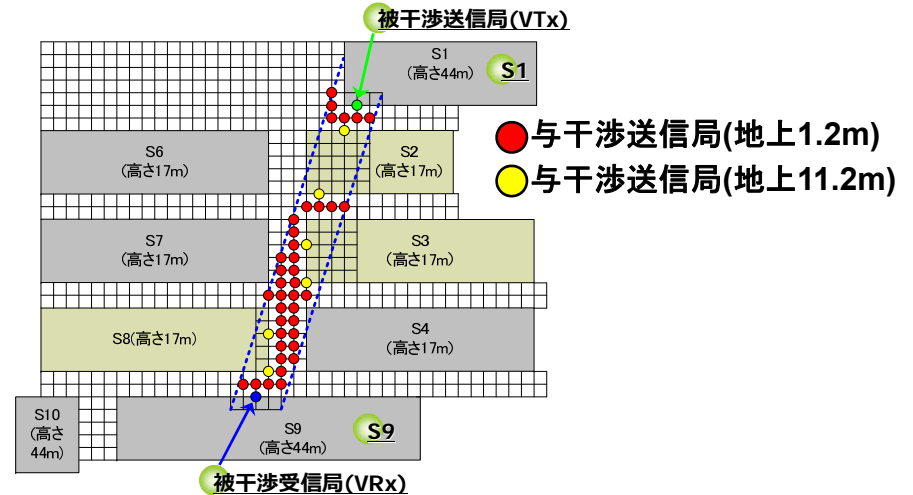
アプローチ(1)

- 市街地モデルを適用、ビル間通信を想定して地上45mの屋上に被干渉送受信局を配置
- 地上11.2mと地上1.2mに配置した44点の与干渉送信局から干渉波を放射し、44点の所要改善量を求める

【市街地モデル】

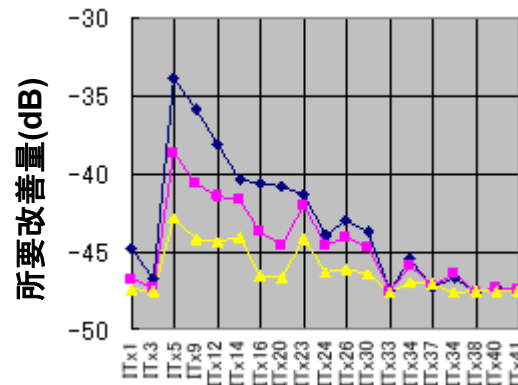


【44の与干渉送信局配置】※上空から見た図

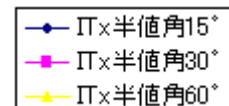


評価結果(1)

- 所要改善量は-40dB前後となり、大きなマージンを含む結果



与干渉送信局のアンテナ半値角



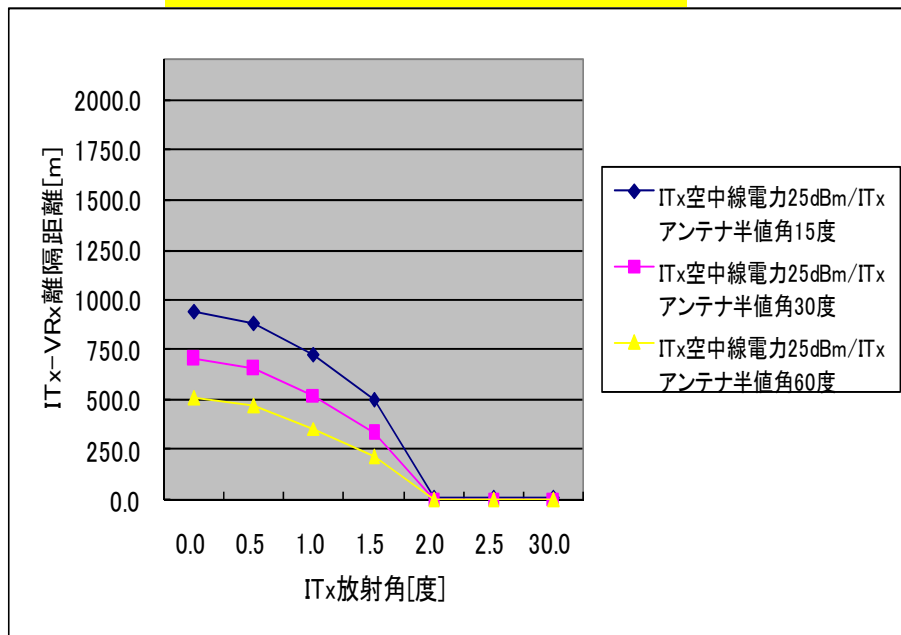
与干渉送信局 ※44点から19点を抜粋



評価結果(2)

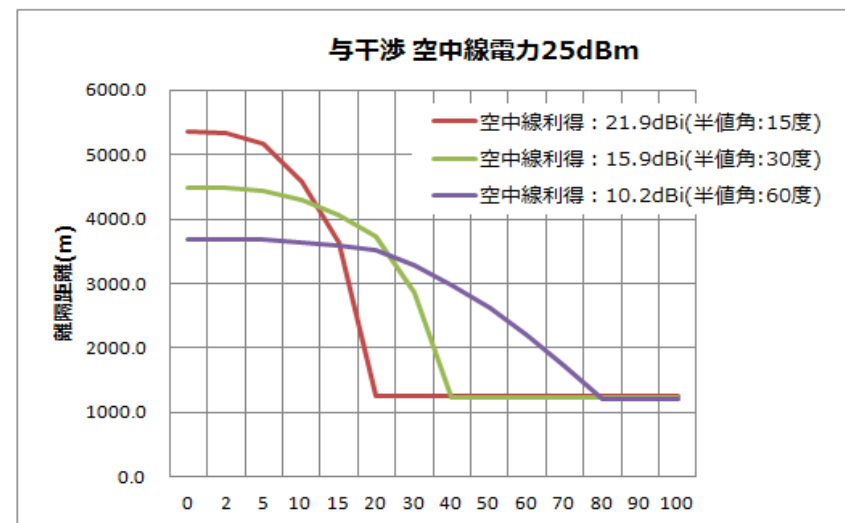
- 正対に近い条件では離隔距離が必要であるが、アンテナの指向性により与干渉システムが正対からずれると離隔距離が緩和される
- 所要INR基準の評価は絶対値評価のため、離隔距離が大きく算出される

所要CNR基準による離隔距離



所要INR基準による離隔距離

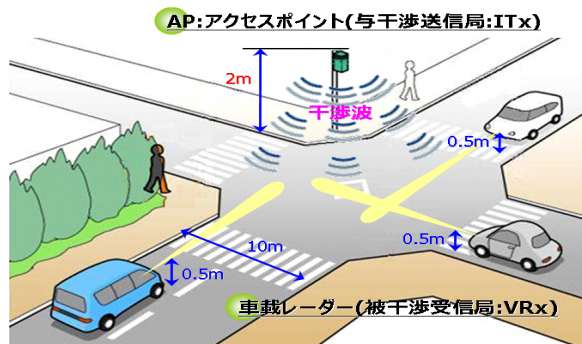
INR=-10dB



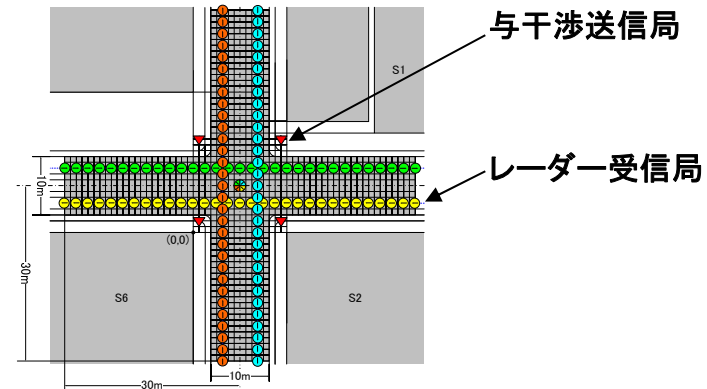
アプローチ

- 交差点モデルを適用、道路上に地上0.5mのレーダー受信局128点を設定
- 交差点に設置した地上2mの与干渉送信局から干渉波を放射し、128点の所要改善量を求める

【交差点モデル】

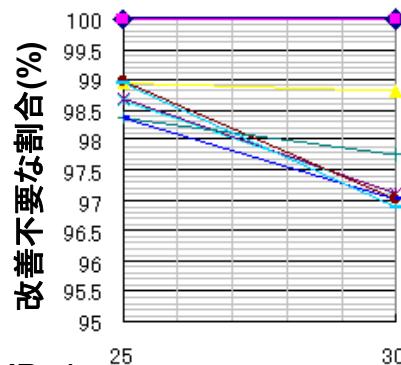


【128のレーダー受信局配置】



評価結果

- レーダー受信局128点の所要改善量から改善が不要な割合を算出
- 改善不要な割合は97%程度となり、レーダーの最大検出距離120mにおいても、高出力WPANからの干渉は無視できる結果



与干渉送信局の送信電力(dBm)

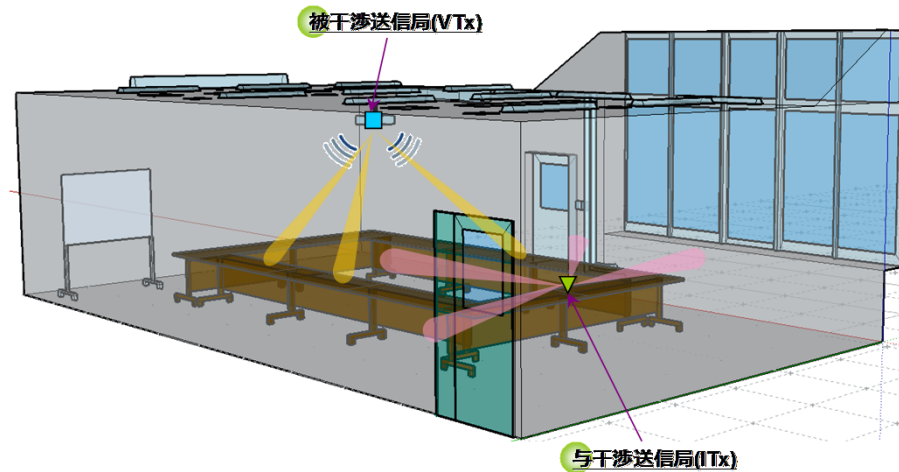
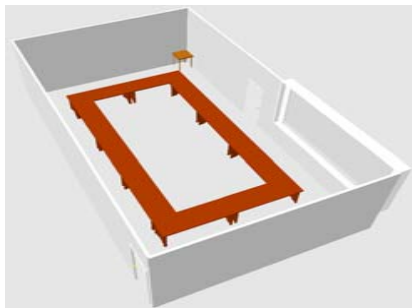
与干渉送信局のアンテナ半値角と放射俯角



アプローチ

- 会議室モデルを適用、地上2.5mの天井付近に被干渉送信局、地上1mに格子状の6527点の被干渉受信局を配置
- 地上1mの机上に配置した与干渉送信局から干渉波を放射し、6527点の被干渉受信局の所要改善量を求める

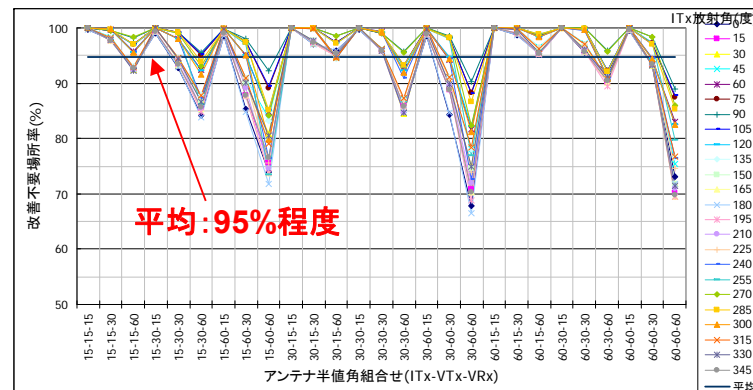
【会議室モデル】



評価結果

- 計算で求めた所要改善量から改善が不要な割合(場所率)を求めた結果、与干渉送信局の空中線電力30dBmの場合、概ね88~95%程度の結果を得た ※隣接チャネル設定時

【評価ケースAの改善不要場所率】→
 ・与干渉送信局空中線電力: 30dBm
 ・チャネル割り当て: 隣接





評価結果

- IEEE802.15.3eは、近年開発・標準化が進められつつある近接通信システムであり、802.11adに代表される高出力化したシステムとの間の周波数共用について、利用シーンなどを勘案した場合、影干渉がある可能性がある。
- 新たな60GHz帯無線システムの規定(案)としては、国際協調を鑑み、最大の空中線電力を250 mW、空中線利得の下限値を10 dBiとしているが、802.11adなどの無線システムではすべての無線局が空中線電力250 mW、アンテナゲイン10 dBiとなるわけではなく、実際は利用形態に応じて適切な最大空中線電力とアンテナゲインが設定される。
- また、11adシステムは、ビームフォーミング機能を有しており、通信相手以外の方向に電波を出すことはない。
- さらに、メインローブだけでなく、サイドローブが影響を及ぼす可能性もあるが、空中線電力が必要最小限となるように自動的に制御する機能を有すること、さらに近接通信システムが常に802.11adの無線局と見通しにあるとも限らず、人体吸収損や他の遮蔽物等で信号が減衰する可能性がある。
- 近接通信システムの普及予測や具体的な利用率などが示されていない状況では、定量的な干渉発生率の時間率、場所率を求めることは困難であるが、免許不要の無線局の運用の実態に照らし合わせ、上述した条件を総合的に勘案すれば許容できる干渉のレベルであると判断することが可能である。



探査衛星業務

- 探査衛星業務に関しては、日本で現状利用はないが、米国NOAA(海洋大気庁)やEUMETSAT(欧州気象衛星機関)の運用する低軌道衛星が世界の降雨強度等を観測するために60GHz付近の周波数を観測(受動)していることから、干渉検討を実施。
- 普及予測から普及密度を求め、衛星に搭載されている大気サウンダの最大可視範囲(75km×75km)から受けるaggregate 電力を計算。
- 結果は-278.219dBm/MHzとなり、想定されるアンテナ利得54dBiを考慮しても、ITU-R RS. 2017において定められているEESS(PASSIVE)における60GHz帯の保護基準 -169dBW/100MHzは満足できるものと考えられる。

電波天文業務

- 電波天文業務に関しては、日本で現状利用はされていない。
- 一方、60GHz帯無線設備の二次高調波が、一酸化炭素の電波天文観測帯域である114GHz - 115.3GHzに入りこむおそれがあることから、二次高調波について測定を実施。
- EIRP 11dBmの既存WiGig モジュールで実測を行ったところ。二次高調波は -100dBm/MHz以下(測定不能)という結果となった。
- 114GHz-115.3GHzにおける電波天文業務の保護基準値は -178.87 dBm/MHz となっているが、前述の測定結果に伝搬損失を考慮に入れることで、満足できるものと考えられる。

新たな60GHz帯無線設備の技術的条件(案)について

60GHz帯無線システムに対する技術基準



既存の60GHz帯特定小電力無線局の技術基準(空中線電力10mW、空中線利得47dBi)とは別に、10mWを超える空中線電力を使用する場合の無線設備の技術的条件を下記のとおり定める。

	60GHz帯特定小電力無線局	新たな60GHz帯無線システム
周波数帯	57-66GHz	57-66GHz
単位チャンネル	規定なし	規定なし
無線チャンネル	規定なし	規定なし
空中線電力	10dBm以下	24dBm以下
等価等方輻射電力	規定しない	40dBm以下
空中線利得	47dBi以下	空中線電力10dBmを超える場合は最大方向10dBi以上
変調方式	規定しない	規定しない
キャリアセンス	規定しない	キャリアセンスによる干渉低減機能を有すること。
占有周波数帯幅	9GHzを上限とし、規定しない。	9GHzを上限とし、規定しない。
不要発射の強度の許容値	55.62GHz未満:-30dBm/MHz以下 55.62~57GHz:-26dBm/MHz以下 66~67.5GHz:-26dBm/MHz以下 67.5GHz以上:-30dBm/MHz以下	55.62GHz未満:-30dBm/MHz以下 55.62~57GHz:-26dBm/MHz以下 66~67.5GHz:-26dBm/MHz以下 67.5GHz以上:-30dBm/MHz以下
空中線電力の許容偏差	上限50%、下限70%	上限50%、下限70%
周波数の許容偏差	指定周波数帯又は±500ppm	±20ppm

參考資料

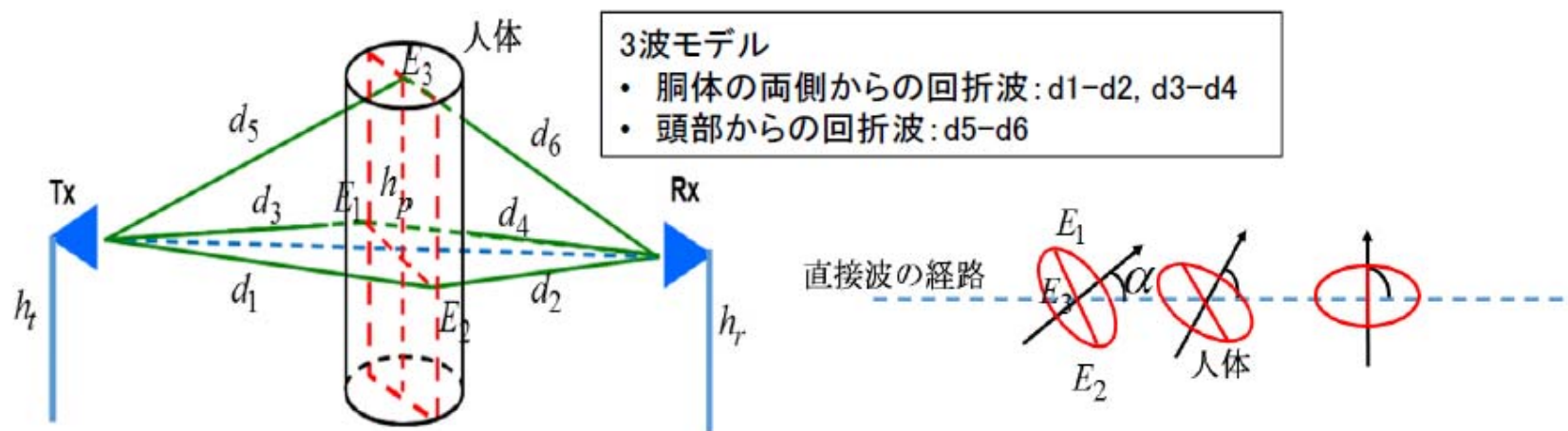
楕円柱モデルによるナイフエッジ

人体を一枚のナイフエッジで近似すると、SHF帯のシャドーイング損失の測定結果とよく一致する。

- T. Ishimine, K. Sato, "Shadowing of Millimeter Waves due to Human Body," IEICE Trans. B, vol. J83-B, No.4, pp.615-621(in Japanese).
- トランゴクハオ, 今井哲朗, 奥村幸彦, "高周波数における人体遮蔽のUTDによる解析," 信学技報, A・P2013-125.

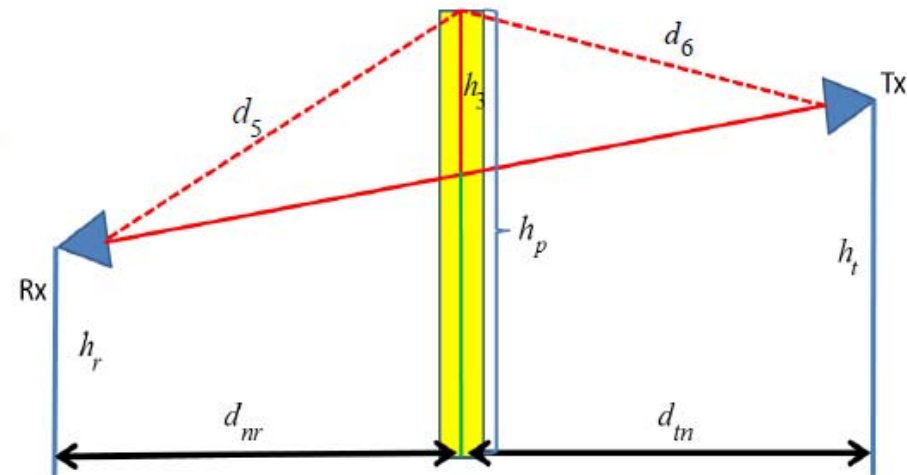
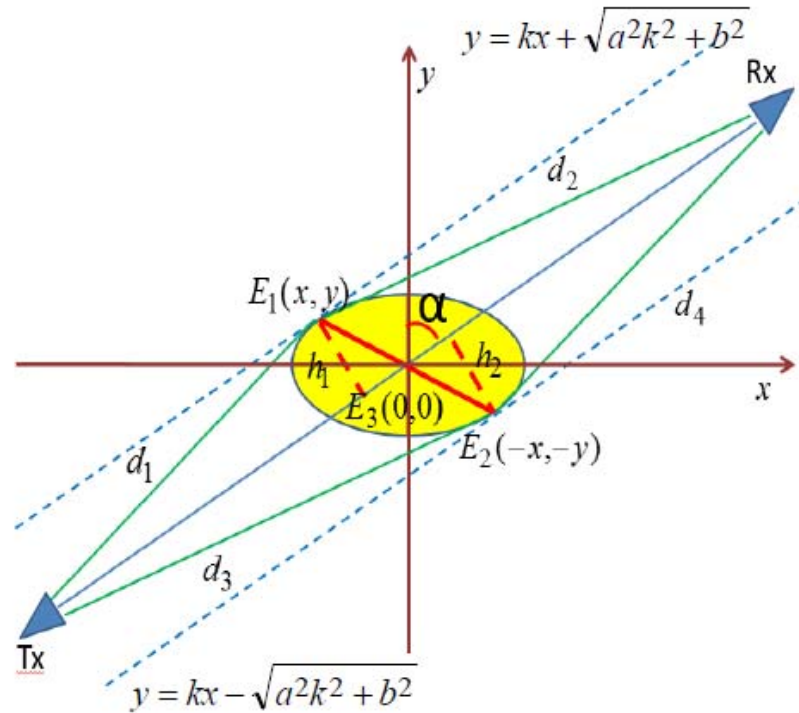
直接波の見通し経路に、遮蔽幅が最大となる1枚のナイフエッジを仮定し、遮蔽幅が最大になる二点をエッジ E_1 と E_2 とすると、任意の位置にある人体のシャドーイング損失の計算が可能。

- 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, 2014.





今回のシャドーイング計算で用いたナイフエッジの計算法



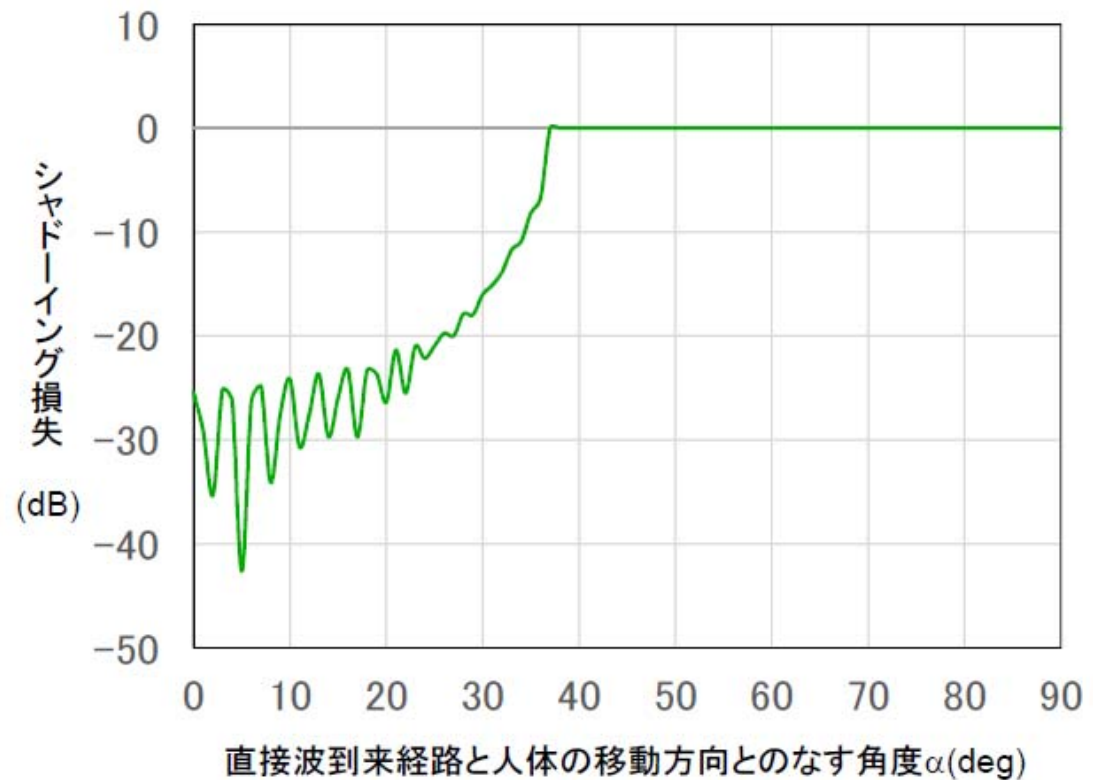
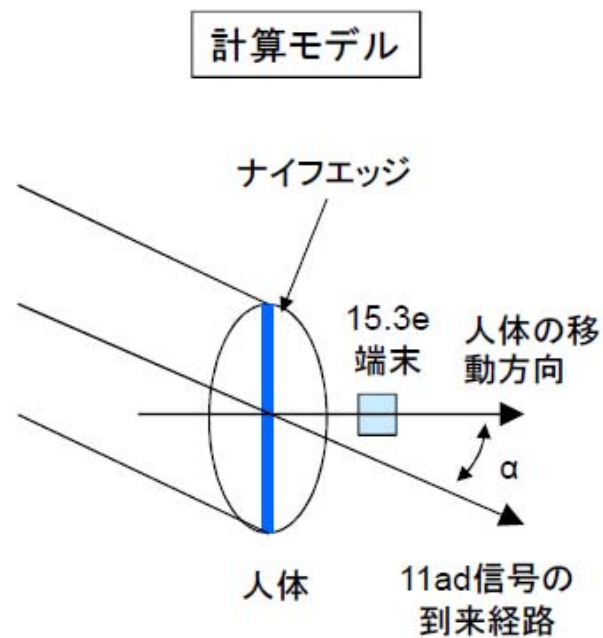
$$\begin{cases} y = kx + \sqrt{a^2k^2 + b^2} \\ \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \end{cases} \quad k = \tan(\pi/2 - \alpha) : 0 \leq \alpha \leq \pi/2$$

$$a = \frac{W_s}{2} \quad b = \frac{W_t}{2}$$

$$h_3 = h_p - \frac{h_t d_{nr} + h_r d_m}{d_m}$$

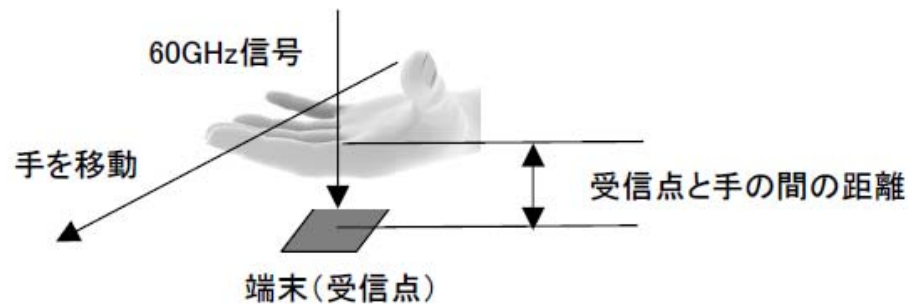


11adから15.3eへの人体によるシャドーイング損失の計算例





「手のひら」によるシャドーイング損失



縦:手にひらを端末に垂直
横:手のひらを端末に水平

